

Universidade Federal de Minas Gerais
Departamento de Engenharia Mecânica

Monografia de Especialização em Soldagem

SOLDAGEM DE TANQUES DE ARMAZENAMENTO

Autores: Júnio do Carmo Trindade e Gleison Costa da Silva
Junho/2016

JÚNIO DO CARMO TRINDADE
GLEISON COSTA DA SILVA

SOLDAGEM DE TANQUES DE ARMAZENAMENTO

Monografia apresentada ao curso de pós-graduação da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Soldagem.

Orientador: Alexandre Queiroz Bracarense
Co orientador: Paulo José Modenesi

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2016

T833s	<p>Trindade, Júnio do Carmo.</p> <p>Soldagem de tanques de armazenamento [manuscrito] / Júnio do Carmo Trindade, Gleison Costa da Silva. – 2016.</p> <p>40 f., enc.: il.</p> <p>Orientador: Alexandre Queiroz Bracarense. Coorientador: Paulo José Modenesi.</p> <p>“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia de Soldagem da UFMG, como requisito à obtenção do título de Especialista em Engenharia da Soldagem.”</p> <p>Bibliografia: f. 40.</p> <p>1. Soldagem. 2. Tanques de armazenamento. I. Silva, Gleison Costa da. II. Bracarense, Alexandre Queiroz, 1959-. III. Modenesi, Paulo José. IV. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. V. Título.</p> <p>CDU: 621.791</p>
-------	--

JÚNIO DO CARMO TRINDADE
GLEISON COSTA DA SILVA

SOLDAGEM DE TANQUES DE ARMAZENAMENTO

Monografia apresentada ao curso de pós-graduação da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Soldagem.

Alexandre Queiroz Bracarense (Orientador) – UFMG

Paulo José Modenesi – UFMG

Ariel Rodriguez Arias – UFMG

Belo Horizonte, 15 de março de 2017.

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar por tudo que nos proporcionou, e nossos familiares pela compreensão nos momentos de ausência.

Somos gratos a todos professores e alunos que nos proporcionaram um crescimento profissional e humano.

EPÍGRAFE

“O Senhor é o meu Pastor e nada me faltará.”

Salmos 23:1

RESUMO

A construção de tanques de armazenamento é uma obra de muita responsabilidade devido aos riscos de explosão e incêndio. A soldagem é a fase mais importante de um empreendimento como esse, portanto deve-se ter uma atenção especial a fim de garantir a execução dentro dos parâmetros impostos pela EPS qualificada. Todo o processo construtivo desde o projeto, fabricação e por fim a montagem deve ser amparada por normas credenciada.

ABSTRACT

The construction of storage tanks is a work of great responsibility due to the risks of explosion and fire. Welding is the most important phase of a development such as this; therefore, special attention must be paid to guarantee the execution within the parameters imposed by the qualified WPS. The whole construction process from the design, manufacture and finally the assembly must be supported by accredited standard.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Esquema de um tanque de armazenamento.....	15
Figura 02: Tipos de tanques fixo auto portante.	16
Figura 03: Tanques com teto suportados.	17
Figura 04: Tanques de baixa pressão.....	17
Figura 05: Tanque externo com flutuador.....	19
Figura 06: Tanque flutuante com flutuador na periferia.....	19
Figura 07: Tanque com flutuador duplo.	20
Figura 08: Tanques de baixa pressão.....	23
Figura 09: Chapa o fundo do costado.....	26
Figura 10: Junta chapa do fundo.....	26
Figura 11: Juntas verticais do costado.	28
Figura 12: Juntas horizontais do costado.....	28
Figura 13: Juntas da chapa do teto.....	29
Figura 14: Juntas do teto – costado.....	29
Figura 15: Alternativas para junta do teto – costado.....	30
Figura 16: Montagem de tanques com magazine.....	31
Figura 17: Disposição das chapas do fundo.	32
Figura 18: Disposição das chapas anulares.	33
Figura 19: Travamento das chapas do fundo.	33
Figura 20: Juntas que serão soldadas por último.....	34
Figura 21: Juntas que serão soldadas por último.....	35
Figura 22: Travamento das juntas anulares com fundo.....	35
Figura 23: Atracção de juntas verticais.....	36
Figura 24: Atracção da junta horizontal.	37
Figura 25 Travamento e sequência de soldagem da boca de visita.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipo de tanque em função do líquido armazenado.....	20
Tabela 2 – Altura do reforço em relação espessura da chapa	24

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 Introdução.....	14
2.2 Tipos de tanques.....	15
2.3 Seleção do tipo de tanque de armazenamento em função do líquido armazenado .	20
2.4 Normas de construção.....	22
2.5 Processo de soldagem FCAW.....	22
2.6 Especificações de projeto.....	24
2.7 Tipos de montagem.....	30
3 ESTUDO DE CASO.....	32
4 CONCLUSÃO.....	39
REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

A armazenagem assumiu, nas últimas décadas, um papel fundamental na estratégia das empresas representando uma importância muito grande na otimização de gastos e aumento dos lucros. Esta condição não é diferente para as empresas do segmento de petróleo e seus derivados onde a armazenagem dos produtos e insumos relacionados a este segmento é um fator fundamental na estratégia da indústria.

Tanques de armazenamento são equipamentos usados para armazenagem de grandes inventários de produtos como o petróleo e seus derivados, produtos químicos, resíduos diversos, misturas e águas. As características do produto armazenado, tais como volatilidade, inflamabilidade, temperatura e pressão de armazenamento são importantes fatores na seleção do tipo de tanques a ser utilizado. São considerados equipamentos de caldeiraria pesada devido a grande quantidade de material utilizado na sua fabricação e operam normalmente com pressão atmosférica ou levemente acima. Esses tanques são construídos em diferentes tipos, formas, tamanhos e materiais dependendo do tipo de aplicação. Devido ao domínio da tecnologia de fabricação e de controle de deterioração usa-se o aço carbono como principal material de fabricação de tanques de armazenamento.

A soldagem é um processo fundamental na montagem de tanques de armazenamento, e em função da sua importância esta é gerenciada por normas que determinam por exemplo aspectos relacionados a qualidade e segurança que devem ser seguidos à risca, pois uma falha nesse processo pode levar a enormes prejuízos econômicos/financeiros, prejuízos ao meio ambiente e até mesmo perda de vidas humanas.

Diante do exposto é possível perceber que a experiência do construtor na utilização das melhores técnicas de montagem e soldagem conta bastante apesar de todas as determinações das normas que regem este tipo de construção. Neste contexto a proposta do presente trabalho é explanar de maneira geral as formas construtivas dos tanques de armazenagem utilizados atualmente na indústria, as técnicas de soldagem, além de demonstrar as recomendações dadas pelas normas de tanques de construção soldada.

O trabalho está dividido em quatro capítulos. O primeiro é esta introdução que apresenta o valor que representa para as empresas a armazenagem de produtos, as características básicas dos tanques de armazenamento e a importância relacionada as técnicas de montagem e soldagem. O segundo capítulo faz uma explanação sobre os tipos de tanques de armazenagem utilizados na indústria, sobre as normas de construção, sobre o processo de soldagem FCAW normalmente utilizado na construção de tanques, sobre as especificações de projeto e os tipos de montagem. O terceiro capítulo caracteriza o estudo de caso, com ênfase nas técnicas de soldagem das partes de armazenagem de 20 milhões de litros para etanol. No quarto capítulo são apresentadas as conclusões baseadas nas pesquisas relacionadas ao assunto temas deste trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

- **Histórico**

O homem tem lidado com as dificuldades de armazenamento de petróleo e seus derivados a mais de 140 anos. Inicialmente armazenava-se esses produtos em barris de madeiras. Os primeiros tanques de aço eram pequenos, feitos de aço, galvanizados e rebitados. Os primeiros tanques soldados surgiram entre 1920 e 1930. Com o crescimento das indústrias após a Segunda Guerra Mundial, necessidades foram sendo identificadas nesta área, principalmente quando à questão de perda e riscos provocados pela vaporização dos fluidos e derivados do petróleo. Aos poucos o homem começou a identificar que os custos reduziam quando o volume de armazenagem aumentava. Surgindo assim projetos de tanques cada vez maiores, seguindo do desenvolvimento de normas e códigos envolvendo este tipo de equipamento. E vindo a se tornar constante para atender as mudanças de um cenário.

Pode-se considerar inicialmente que tanques de armazenamento são equipamentos simples e fáceis de lidar. Porém, os riscos que envolvem estes equipamentos exigem atenção e práticas direcionadas desde a fase de projeto até a sua desativação e consequente retirada do local onde foram instalados, exigindo normas e procedimentos para toda a vida relacionada.

É interessante mostrar as partes que compõem um tanque de armazenamento, o que pode ser visualizado na Figura 01.

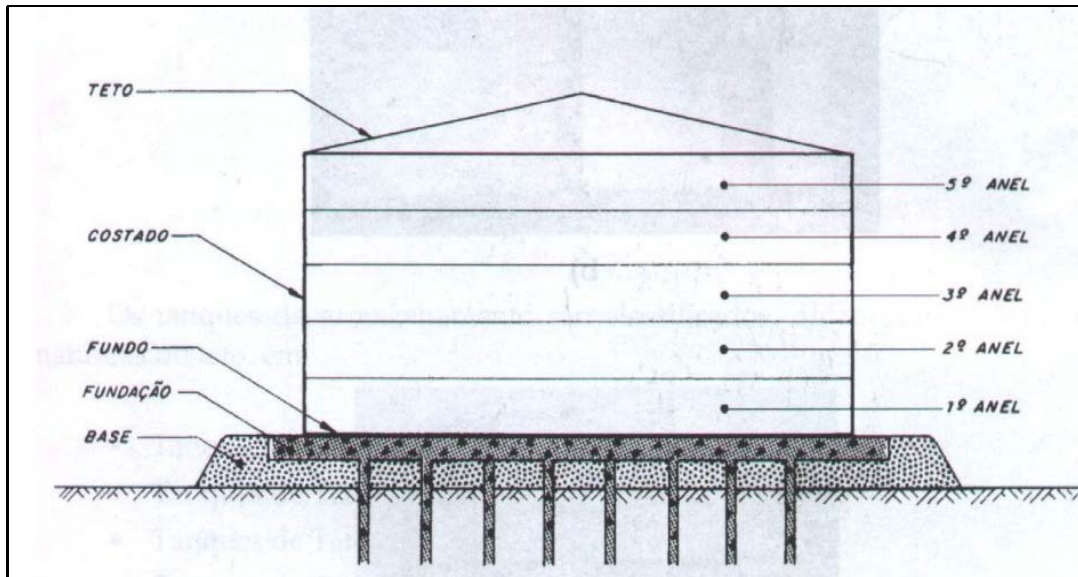


Figura 01: Esquema de um tanque de armazenamento. **API 620**

2.2 Tipos de tanques

Os tanques de armazenamento podem ser classificados de acordo com suas características de projeto como: Tanques Atmosféricos e tanques de baixa pressão.

- **Tanques atmosféricos**

São equipamentos projetados para operar com um espaço de gás e vapor com pressões interna que se aproximam da pressão atmosférica: $0,05 \text{ kg/cm}^2$, acima do nível do líquido armazenado, criando assim o chamado "espaço vapor". Os tanques são normalmente construídos em aço carbono, aço ligado ou outros materiais dependendo do serviço. Tanques atmosféricos são usados para armazenar fluidos que possuam uma pressão de vapor substancialmente menor que a pressão atmosférica. Normalmente são protegidos por sistema de alívio e vácuo que devem manter e controlar a diferença de pressão entre o espaço vapor e a pressão externa, menor que $0,5 \text{ kg/cm}^2$ para garantir a sua operacionalidade e integridade quando a possíveis falhas.

As normas que regulamentam o projeto e a construção desses tanques em aço

carbono são as seguintes: NBR 7821, API Standard 650 e API Standard 12A.

Os tanques atmosféricos são usados para o armazenamento de líquidos de baixa volatilidade. Estes são líquidos que têm na temperatura de armazenamento uma pressão de vapor absoluta inferior à atmosférica. Petróleo bruto, óleo pesado, gasóleo, nafta, gasolina e produtos químicos não voláteis são usualmente armazenados em tanques atmosféricos.

Há vários tipos de tanques atmosféricos classificados de acordo com a forma do teto. Inicialmente, estes são divididos em tanques de teto fixo, tanques de teto flutuante.

- **Tanques atmosférico de teto fixo**

Entre os tanques de teto fixo o mais simples deles é o de teto cônico, que tem a forma aproximada de um cone reto, atingindo suas dimensões até 75 m de diâmetro e até 18 m de altura. Nos tanques de maior diâmetro o teto é suportado por elementos estruturais. Os tanques de teto curvo, com a forma de um superfície esférica, e os de teto em umbrela, estes decorrentes da modificação do teto curvo de tal forma que qualquer seção de corte horizontal do teto seja um polígono regular, são raramente empregados acima de 18 m de diâmetro. Pode-se classificar os tanques de teto fixo em autoportantes e suportados.

- **Tanques de Teto fixo - autoportantes**

Neste tipo de tanque as chapas do teto estão diretamente ligadas às chapas do costado, sem estruturas internas para suportação como mostrado na Figura 02.

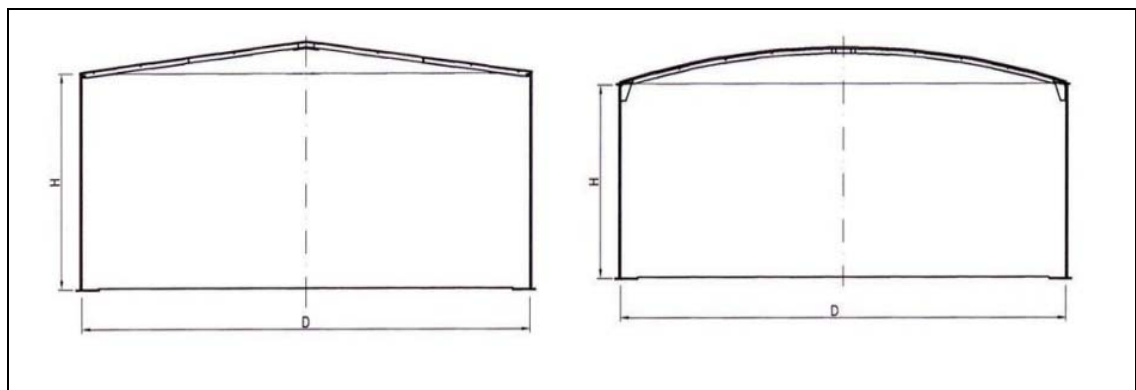


Figura 02: Tipos de tanques fixo auto portante. **API 620**

- **Tanques de Teto - suportado**

Este tipo possui estruturas internas formadas por colunas e longarinas que dão suporte para as chapas do teto como mostrado na Figura 03.

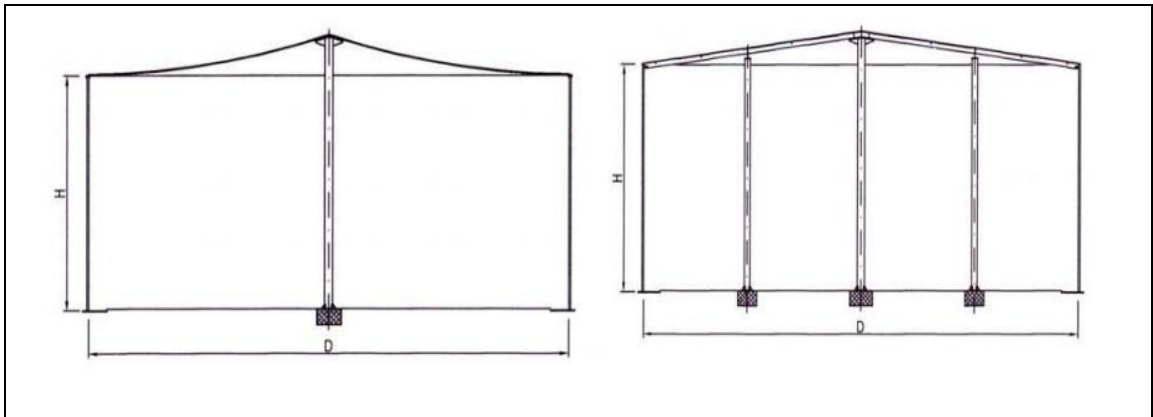


Figura 03: Tanques com teto suportados. **API 620**

- **Tanques atmosféricos de baixa pressão**

São tanques projetados para operar a pressão entre 0,05 e 1,05 kg/cm². São usualmente construídos de aço carbono e, mais comumente, soldados. A norma que regulamenta o seu projeto e construção é a API Standard 620 e a Figura 04 exemplifica um tanque de baixa pressão.



Figura 04: Tanques de baixa pressão. **API 620**

Os tanques de baixa pressão são usados para o armazenamento de fluidos mais voláteis. Estes líquidos que têm na temperatura de armazenamento uma pressão de

vapor entre 0,5 e 1,00 kg/cm². Petróleo bruto leve, mistura para uso na gasolina, nafta leve, pentano e produtos químicos voláteis são armazenados em tanques de baixa pressão

Os dois tipos mais comumente empregados são semi-esferoidal e esferoidal, projetados para resistirem à pressão que se desenvolve no interior do tanque, sem dispositivos ou meios capazes de alterar seu volume interno. Para isso tais tanques são providos de válvulas de segurança a fim evitar que a pressão não ultrapasse os valores admissíveis.

- **Tanque atmosférico com teto flutuante**

De acordo com a API 650, são tanques cujos tetos estão diretamente apoiados na superfície do líquido armazenado, no qual flutuam, acompanhando sua movimentação durante os períodos de esvaziamento e enchimento. São utilizados com o objetivo de minimizar as perdas por evaporação devido à movimentação de produto. Como o teto flutuante movimenta-se internamente ao costado, haverá necessidade de um sistema de selagem. O teto flutuante pode ser externo ou interno a um tanque de teto fixo.

O teto flutuante externo simples consiste essencialmente de um lençol de chapas. O teto é enrijecido por uma estrutura metálica, na sua parte superior, para lhe conferir a necessária estabilidade conforme Figura 05. É o tipo mais simples e de construção mais barata. A flutuabilidade é precária, esse tipo de teto flutuante é o que apresenta maior perda. Esse tipo de tanque não é mais permitido, pela API 650.

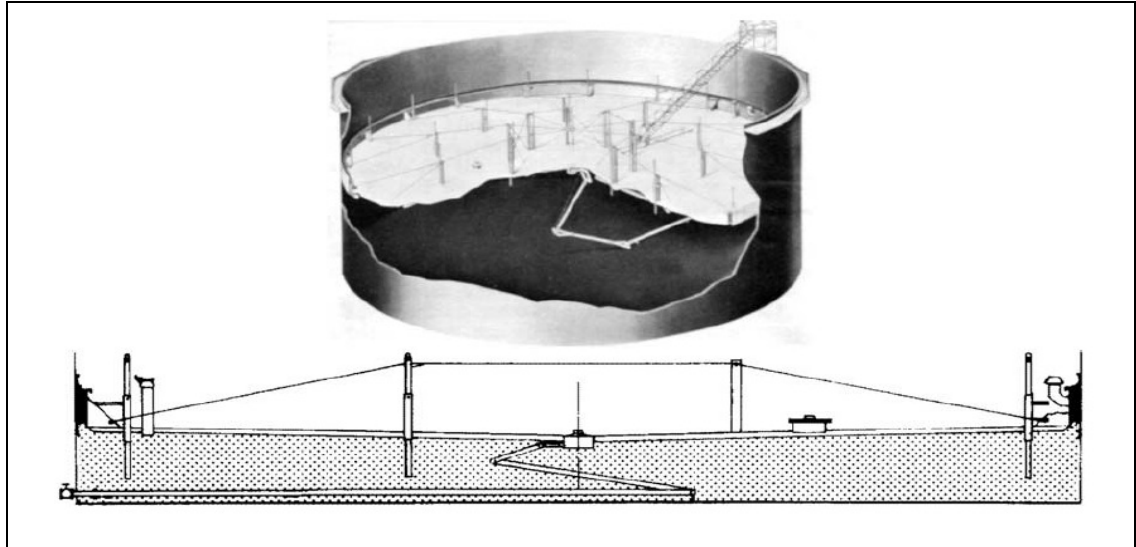


Figura 05: Tanque externo com flutuador. *API 650*

Outro tipo teto flutuante externo é o com flutuador na periferia, esse tipo possui em sua construção convencional, um disco central e um flutuador na periferia do teto como mostra a Figura 06. Apresenta maior flutuabilidade, menor perda por evaporação e maior custo do que o anterior.

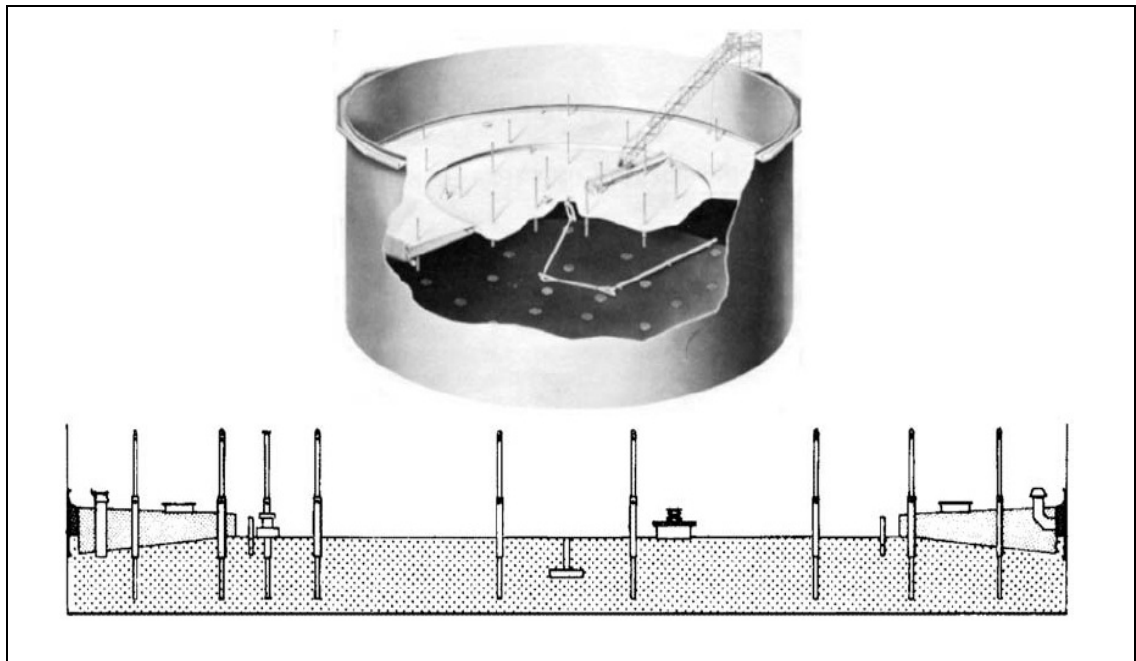


Figura 06: Tanque flutuante com flutuador na periferia. *API 650*

O teto flutuante duplo possui dois lençóis de chapas ligados, internamente, por uma estrutura metálica formando compartimentos estanques conforme a Figura 07. É uma estrutura robusta e de excelente flutuabilidade. É o tipo de teto flutuante mais caro,

porém apresenta a menor perda por evaporação, pois os dois lençóis de chapas formam um colchão de ar que funciona como isolamento térmico entre a superfície do líquido armazenado e a superfície externa do teto.

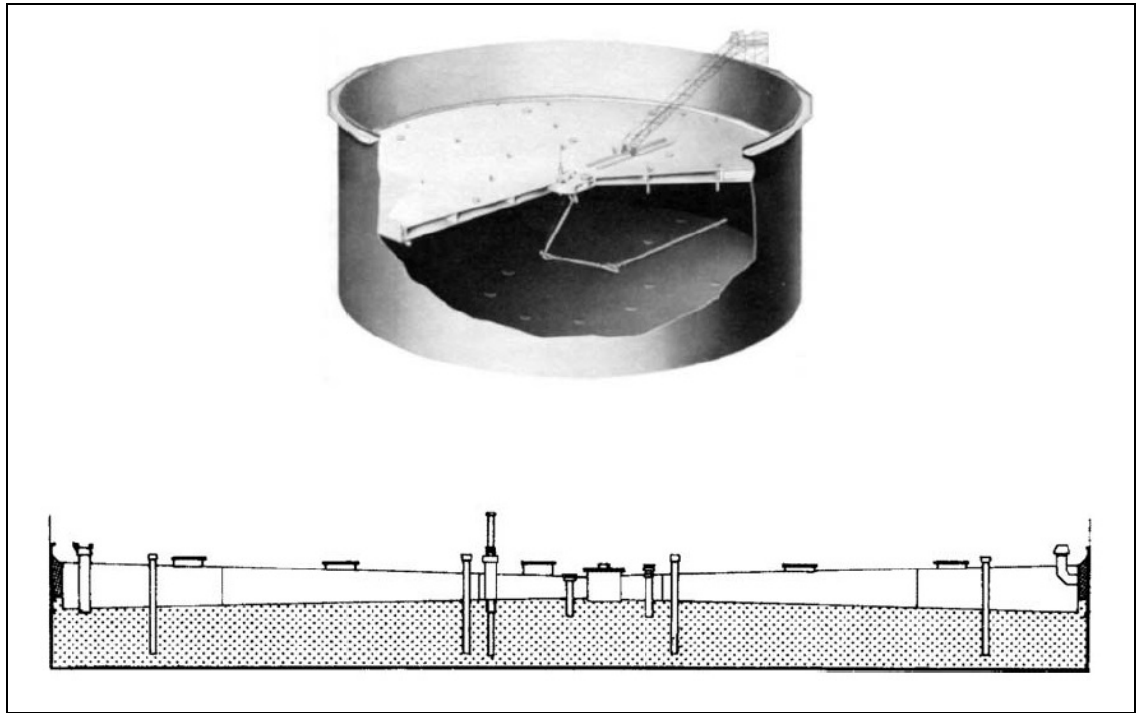


Figura 07: Tanque com flutuador duplo. **API 650**

O tanque com flutuador interno funciona montando uma membrana que irá flutuar com o produto com a variação do volume armazenado, esse tipo de construção é o mais usual pelas indústria pois apresentam um baixo custo além de evitar perdas por evaporação.

2.3 Seleção do tipo de tanque de armazenamento em função do líquido armazenado

De acordo com a norma N-270, a seleção do tipo de tanque deve ser feita levando em consideração: As condições ambientais, segurança operacional, o custo do equipamento e as perdas operacionais conforme mostra a Tabela 01.

Tabela 01: Tipos de tanques em função do líquido armazenado. **Norma N-270**

Produto armazenado	Tipo de tanque (selecionado conforme o projeto)
Produtos leves da faixa de gasolina e nafta leve. Petróleo cru.	<ul style="list-style-type: none"> — tanque atmosférico de teto flutuante externo; — tanque atmosférico de teto fixo com teto flutuante interno; — tanque atmosférico para pequena pressão interna, segundo a API STD 650 "Annex" F; — tanque para baixa pressão de teto cônico, segundo a API STD 620.
Gasolina de Aviação (GAV).	<ul style="list-style-type: none"> — tanque atmosférico de teto fixo com teto flutuante interno; — tanque atmosférico para pequena pressão interna, segundo a API STD 650 "Annex" F; — tanque para baixa pressão de teto cônico, segundo a API STD 620.
Álcool etílico hidratado. Metanol.	<ul style="list-style-type: none"> — tanque atmosférico de teto flutuante externo; — tanque atmosférico de teto fixo com teto flutuante interno.
Biodiesel.	<ul style="list-style-type: none"> — tanque atmosférico de teto fixo com teto flutuante interno; — tanque atmosférico para pequena pressão interna, segundo a API STD 650 "Annex" F.
Álcool etílico anidro.	— tanque atmosférico de teto fixo com teto flutuante interno.
Óleo diesel classes I e II.	<ul style="list-style-type: none"> — tanque atmosférico de teto flutuante externo; — tanque atmosférico de teto fixo com teto flutuante interno.
Querosene de Aviação (QAV).	<ul style="list-style-type: none"> — tanque atmosférico de teto fixo; — tanque atmosférico de teto fixo com teto flutuante interno.
Produtos da faixa de querosene ou mais pesados, tais como: a) nafta pesada; b) querosene; c) óleo diesel classe III; d) resíduo de vácuo; e) diesel do FCC ("cycle-oil"); f) óleo combustível; g) resíduos ("slop"); h) óleo lubrificante; i) "flushing-oil"; j) asfalto e cimento asfáltico; k) lastro de navio.	— tanque atmosférico de teto fixo.
Água bruta.	— tanque sem teto.
<p>NOTA 1 A seleção de um tanque atmosférico de teto flutuante (interno ou externo) está condicionada à pressão de vapor do produto (evitar deformação do teto). Tanque de teto flutuante não deve ser utilizado para armazenamento de produtos com Pressão de Vapor Verdadeira (PVV) acima de 76,5 kPa (11,1 psi) na temperatura máxima de projeto (ver 7.1.2). Neste caso, deve-se utilizar tanque: de teto fixo conforme API STD 650 "Annex" F, de teto fixo conforme API STD 620 ou de teto fixo com sistema de recuperação de vapor.</p>	

2.4 Normas de construção

A norma API Standar 650 "Welded Steel Tanks for OilStorage" do American Petroleum Institute é uma das normas mais usuais na construção de tanques no Brasil. Ela abrange especificações sobre material, projeto, fabricação, montagem e testes de tanques de armazenamento verticais, cilíndricos, não enterrados, com o topo fechado ou aberto, de construção soldada, com várias dimensões e capacidades, para serviço não refrigerados, com temperatura de projeto máxima de 260° C e pressão interna aproximadamente atmosférica.

A Norma NBR 7821 "Tanques Soldados para armazenamento de Petróleo e Derivados" da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT estabelece as exigências mínimas que devem ser seguidas para materiais, projeto, fabricação, montagem e testes de tanques de aço-carbono, soldados, cilíndricos, verticais, não enterrados, com teto fixo ou flutuante, destinados ao armazenamento de petróleo e seus derivados líquidos. A norma abrange apenas tanques sujeitos a uma pressão próxima da atmosférica (pressão manométrica máxima de 0,0035 kgf/cm² e vácuo máximo de 0,0038 kgf/cm²) e cujos produtos armazenados tenham temperaturas compreendidas entre 6°C e 200°C. Seu anexo F estabelece requisitos adicionais para tanques de teto fixo dimensionados para pequenas pressões internas, acima de 0,0035 kgf/cm².

Além dessas, existem a N-270 e a N-271 que são normas de projeto e construção de tanques de armazenamento atmosférico da comissão de normas técnicas da Petrobras.

2.5 Processo de soldagem FCAW

O processo de soldagem ao arco elétrico com arame tubular, também conhecido por FCAW (Flux-Cored ArcWelding), utiliza um eletrodo metálico tubular, com diversos formatos internos. A proteção da poça de fusão e do arco elétrico pode ser feita pelo fluxo contido no interior do arame (no caso de arames tubulares autoprotetidos) ou por uma fonte gasosa externa conforme a Figura 8. Esta proteção gasosa é realizada

na maioria das vezes utilizando 100% CO₂ como gás de proteção e em alguns casos utilizando misturas 75%Ar/25%CO₂.

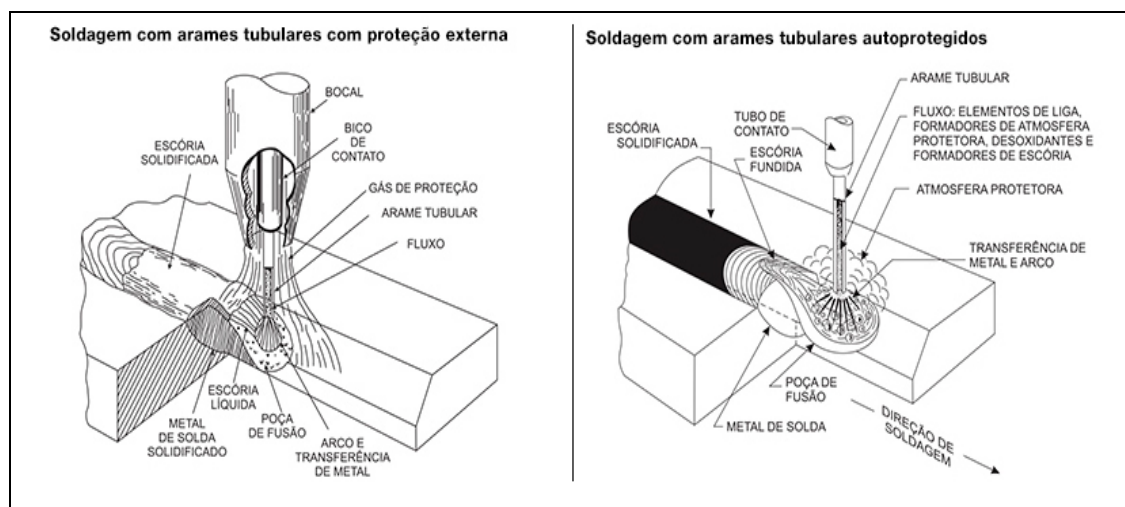


Figura 08: Tanques de baixa pressão. API 620

A soldagem com arame tubular com ou sem proteção gasosa pode ser semi-automática, em que o soldador controla a posição e o deslocamento da tocha, ou automática, quando a tocha é deslocada pela máquina. Nos primeiros tempos de utilização deste processo, os arames tinham um diâmetro grande e, por isso, a posição de soldagem era geralmente horizontal ou plana; com o desenvolvimento da fabricação dos arames tubulares com diâmetros cada vez menores, tornou-se possível soldar em qualquer posição e com qualquer tipo de junta.

A soldagem com arame tubular apresenta uma camada de escória que deve ser removida antes que um novo cordão seja executado. O tipo de arame utilizado condiciona a consistência e a aderência da escória; assim, existem escórias que se partem ao esfriar e se destacam facilmente do cordão, enquanto que outras aderem de tal modo ao cordão que precisam ser quebradas por meios mecânicos.

A utilização do processo de soldagem com arame tubular tem aumentado em razão de ser mais produtivo que a soldagem com eletrodos revestidos e também devido ao desenvolvimento de novos tipos de consumíveis. Sua aplicação é notada nas indústrias nuclear e naval, na construção de plataformas para exploração de petróleo e na fabricação de estruturas e peças de aço carbono, aços de baixa liga e aços inoxidáveis.

O processo com arame tubular autoprottegido possibilita a soldagem em todas as posições, em chapas ou tubos e em qualquer tipo de junta. As espessuras dos materiais a soldar por este processo são as mesmas possíveis com outros consumíveis, com a vantagem de que os autoprottegidos admitem montagens irregulares porque utilizam um "stick-out", ou extensão do eletrodo, maior que 20mm, embora este valor varie de arame para arame. Esta extensão maior permite que o aquecimento por efeito Joule seja maior, o que leva a uma redução do valor de tensão do arco elétrico e da intensidade de corrente. Estes fatos, por sua vez, acarretam redução da energia de soldagem.

A soldagem com arame tubular apresenta as vantagens dos outros processos com proteção gasosa (por exemplo com arame sólido), como alta taxa de deposição, grande rendimento que resulta em boa produtividade e qualidade da solda e também as vantagens da soldagem com eletrodo revestido, como alta versatilidade, possibilidade de ajustar a composição química do cordão e facilidade para operar no campo. Além disso, a soldagem com arame tubular apresenta melhor estabilidade do arco, necessita menor vazão de gás e produz cordão de melhor aspecto.

2.6 Especificações de projeto

Na soldagem de tanques de armazenamento de petróleo e seus derivados podem ser utilizados processos de soldagem manual, semi-automática ou automática, dependendo das EPS's e qualificações dos soldadores, da disponibilidade de equipamentos ou até mesmo do requisito do comprador.

Recomendações Gerais

As normas API 650 a NBR7821 e as Normas Petrobrás N-270 e 271 fornecem as especificações/requisitos para soldagem do fundo, costado, teto e acessórios de tanques para armazenamento de petróleo e seus derivados. As principais recomendações retiradas destas normas estão descritas abaixo:

- As soldagem não poderão ser produzidas sobre superfícies molhadas. Sobre a

ação de ventos fortes, deverão ser providenciadas proteções adequadas;

- As juntas sobrepostas devem estar garantidamente assentadas umas sobre as outras durante toda soldagem;
- Cada passe de solda, deve ser devidamente limpo de escórias ou outras impurezas antes da aplicação do passe subsequente;
- Os pontos de solda nas juntas verticais do costado e na união das chapas do costado ao fundo devem ser retirados quando for feita a soldagem manual definitiva; os pontos de solda empregados para a fixação das chapas não precisam ser removidos quando for empregado o processo por arco submerso; deverão, no entanto, estar bem limpos e livres de escórias e materiais estranhos; os pontos de solda empregados para a fixação das chapas do fundo, do teto e nas juntas circunferenciais do costado não necessitam ser removidos quando tiverem fusão completa com o metal de base e quando os cordões subsequentes tiverem também fusão completa com os pontos de solda; os pontos de solda que não vierem a ser completamente removidos antes da soldagem devem ser feitos por soldador qualificado.
- Quando as superfícies a soldar estiverem no mesmo plano, a altura máxima do reforço da solda deve estar de acordo com o indicado na Tabela 02;

Tabela 02: Altura do reforço em relação espessura da chapa. **NBR 7821-1983**

<u>Espessura da chapa</u> <u>(mm)</u>	<u>Altura máxima do</u> <u>reforço de solda</u> <u>(mm)</u>
<u>Até 12,5</u>	<u>1</u>
<u>Maior que 12,5 até 25,0</u>	<u>2</u>
<u>Maior que 25,0</u>	<u>3</u>

Soldagem do Fundo:

Nas Figuras 9 e 10, podem-se verificar exemplos de juntas típicas utilizadas na montagem das chapas do fundo.

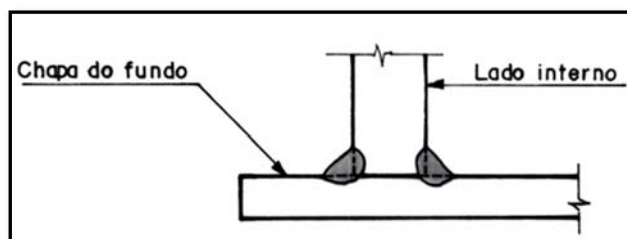


Figura 09: Chapa o fundo do costado. **NBR 7821-1983**

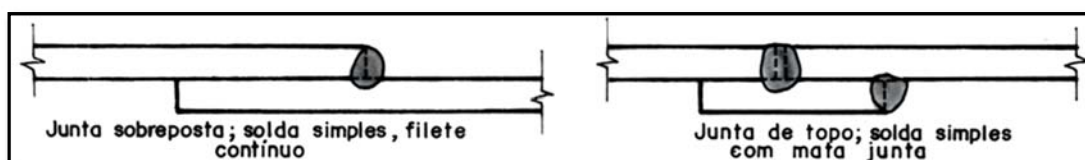


Figura 10: Junta chapa do fundo. **NBR 7821-1983**

As chapas do fundo, depois de terem sido distribuídas e ponteadas, devem ser soldadas entre si numa sequência tal que resulte num mínimo de distorção devido à contração e permita a obtenção de uma superfície com o mínimo de empenos e ondulações. O ponteamento e a soldagem das chapas do fundo devem obedecer à sequência de soldagem indicada no projeto, de tal forma a minimizar as deformações. A sequência de soldagem a ser adotada em todo o equipamento deve sempre ser submetida à aprovação do comprador do equipamento.

Uma boa prática adotada na soldagem é a utilização da técnica de passe a ré¹ para controle do aporte térmico, porém, neste caso, a inspeção deve estar atenta pois os soldadores/operadores costumam não seguir a risca a especificação de soldagem sem que haja uma fiscalização mais intensa. Caso aconteça empeno, os pontos de solda deverão ser removidos e as chapas novamente ajustadas. Para soldagem das juntas das chapas dos fundos são utilizados normalmente cobre-junta na montagem ou juntas com sobreposição conforme a indicação do projeto.

¹**Soldagem com passe a ré (backstepsequence)**

Soldagem na qual trechos do cordão de solda são executados em sentido oposto ao da progressão da soldagem, de forma que cada trecho termine no início do anterior, formando ao todo, um único cordão.

Por recomendação de norma, as juntas soldadas das chapas centrais entre si, bem como das chapas centrais com as chapas recortadas, devem ser por junta sobreposta com transpasse mínimo de 5 vezes a espessura nominal da chapa.

As juntas soldadas entre as chapas centrais e as chapas anulares devem ser por junta sobreposta que garanta um transpasse mínimo de 60 mm, após a soldagem. Estas soldas devem ser devidamente adoçadas após a sua realização.

As chapas anulares são sempre ligadas entre si por solda de topo. Essa solda de topo deve ser feita por um só lado (com o uso de um cobre-junta), ou pelos 2 lados.

Todas as sobreposições devem ser feitas no sentido da melhor drenagem e, no caso de não serem usadas as chapas anulares, deve ser discriminado que as linhas de sobreposição fiquem perpendiculares à linha de solda da chapa de soleira da porta de limpeza.

Recomenda-se que todas as soldas do fundo, quando executadas com processo de soldagem manual, sejam realizadas no mínimo em 2 passes.

A solda interna da ligação do costado ao fundo deve ser devidamente adoçada, após a sua realização, para evitar presença de concentrador de tensões.

Soldagem do Costado:

A sequência de soldagem a ser utilizada deve ter como objetivo minimizar as deformações decorrentes das contrações das juntas soldadas.

Nas Figuras 11 e 12, podem-se verificar exemplos de juntas típicas utilizadas na montagem das chapas do costado.

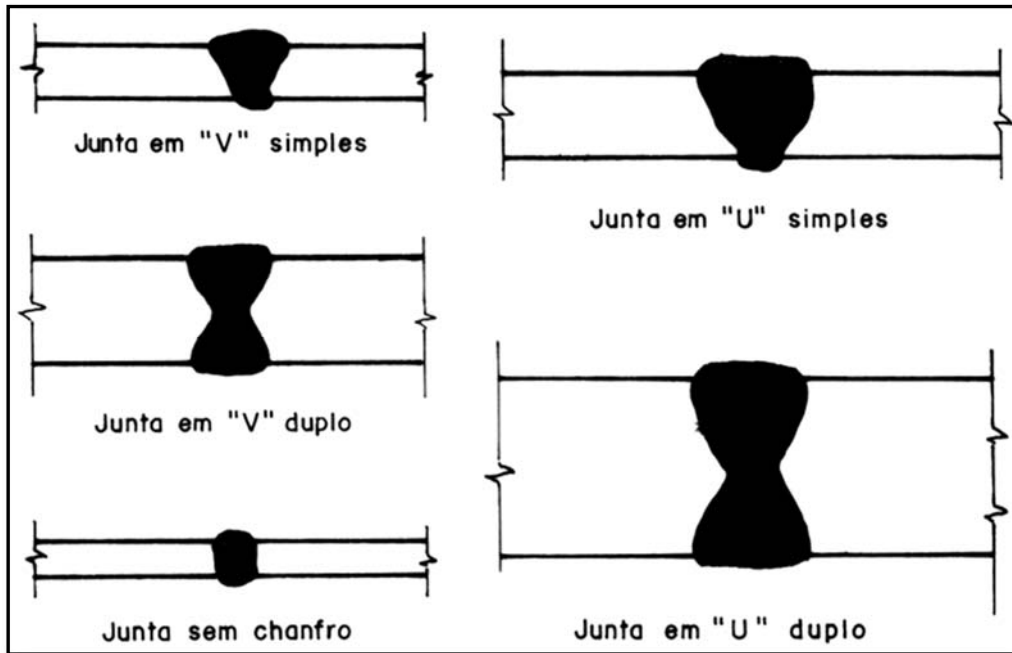


Figura 11: Juntas verticais do costado. **NBR 7821-1983**

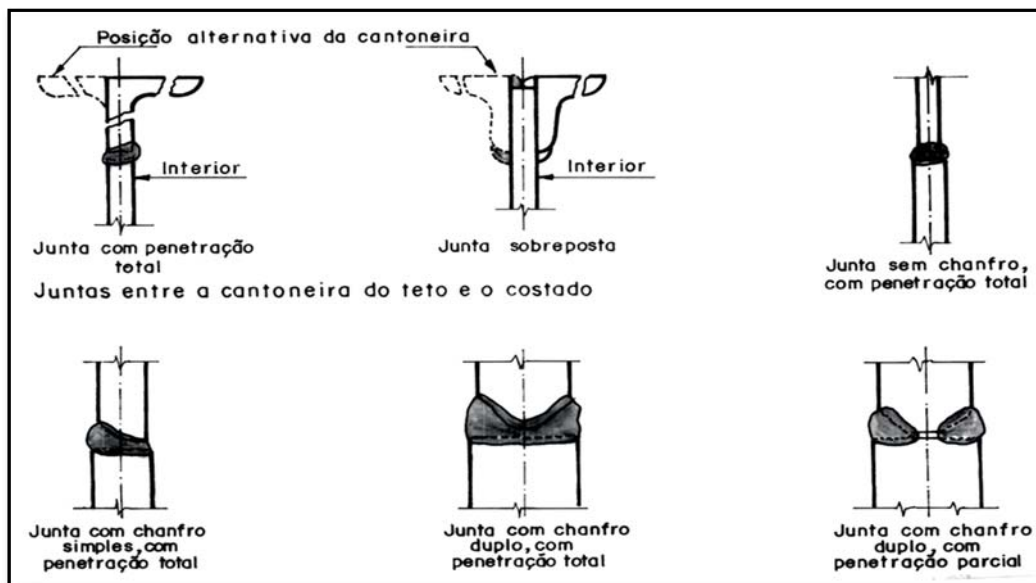


Figura 12: Juntas horizontais do costado. **NBR 7821-1983**

Todas as soldas nas chapas do costado e nas seções da cantoneira de topo do costado devem ser de topo, pelos 2 lados, com fusão e penetração total. As chapas unidas por solda de topo devem ser cuidadosamente ajustadas e mantidas em posição durante a operação de soldagem; o desalinhamento das juntas verticais concluídas não deve exceder 10% da espessura da chapa ou 2mm, prevalecendo aquele que for menor.

Obs. 1: É permitida soldagem em um só passe na soldagem das juntas verticais do costado por processo automático.

Obs. 2: Na solda do costado com o fundo (rodo ou rodapé) é permitida falta de penetração conforme especificado pela API STD 650.

A soldagem da chapa de soleira da porta de limpeza ao fundo, na região de assentamento do primeiro anel do costado, deve ser executada antes do posicionamento das chapas do costado adjacentes à porta de limpeza.

As aberturas das juntas soldadas devem obedecer aos valores indicados pelo procedimento de Soldagem.

A soldagem da junta vertical de fechamento de um anel só pode ser feita após a ajustagem da junta horizontal entre o anel considerado e o anterior.

Soldagem do Teto:

Nas Figuras 13, 14 e 15, podem-se verificar exemplos de juntas típicas utilizadas na montagem das chapas do teto.

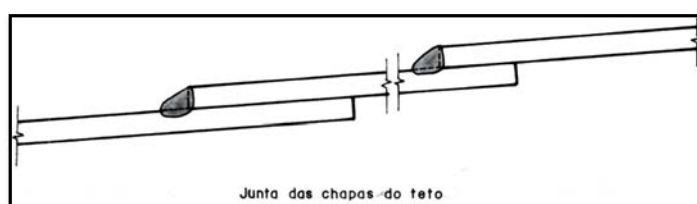


Figura 13: Juntas da chapa do teto. **NBR 7821-1983**

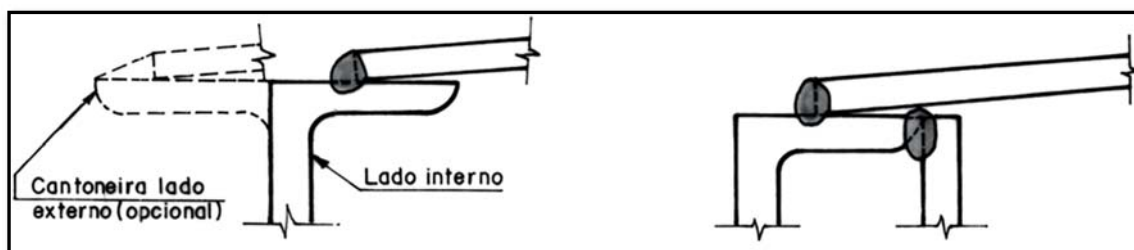


Figura 14: Juntas do teto – costado. **NBR 7821-1983**

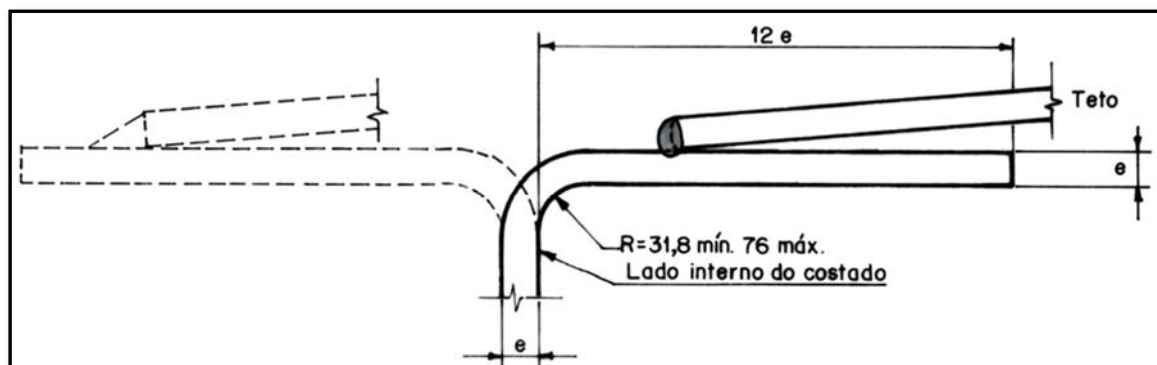


Figura 15: Alternativas para junta do teto – costado. **NBR 7821-1983**

- Tetos Fixos:

O ponteamto e soldagem das chapas do teto, devem obedecer a sequência de soldagem indicada no projeto (semelhante à do fundo do equipamento). As soldas da periferia do teto à cantoneira de topo do costado devem ser executadas antes da soldagem do miolo com as chapas periféricas do teto. Visando a obtenção da ligação fraca entre teto e costado, as chapas do tetonão podem ser soldadas à estrutura de sustentação. A sobreposição entre as chapas da periferia e o miolo do teto deve ter um adicional (~20 mm) para compensar a contração de soldagem.

- Tetos Flutuantes:

Ponteamto e soldagem das chapas do teto devem ser feitas obedecendo à sequência de soldagem indicada no projeto.

As camisas das pernas de sustentação e outros acessórios que atravessem verticalmente o flutuador do teto pontão ou os compartimentos do teto duplo devem ser montados e soldados simultaneamente com a chaparia do teto para tornar menos penosa sua operação de soldagem.

2.7 Tipos de montagem

- Montagem de tanque chapa por chapa

Nesse tipo de montagem as chapas chegam na obra já calandradas, é feita toda a montagem do costado, em seguida é feita a soldagem como mostra a Figura 10.

- Montagem de tanques com macacos hidráulicos

A montagem de tanques através de macacos, a virola é montada e soldada em magazines e após a soldagem o tanque é içado e a virola é calandrada em carrinhos que são instalados no fundo do tanque, esse método de montagem vem sendo empregado em substituição do chapa a chapa por oferecer maior segurança durante a execução, além de proporcionar maior qualidade por que as chapas são maiores e conseqüentemente requerem menos soldas, com isso diminui-se os embicamentos nas soldas verticais, e, por serem soldadas no magazine tem-se maiores recursos em instalar travamentos e atracações que irão restringir os embicamentos. A Figura 16 mostra uma montagem com macacos hidráulicos.



Figura 16: Montagem de tanques com magazine. **Autores**

3 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso trata de um tanque de 20 milhões de litros para armazenamento de etanol, localizado em um grande produtor nacional. O tanque foi projetado com 7 anéis de aço A36 e foi utilizado FCAW como processo de soldagem protegido com CO₂.

3.1 Soldagem do fundo

A montagem do fundo é uma das etapas mais críticas para se soldar. Um procedimento incorreto de soldagem pode comprometer toda a chaparia levando a deformações permanentes.

A soldagem do fundo divide-se basicamente em 3 etapas distintas, a primeira delas e mais crítica é a do miolo central, nessa etapa como mostrado na Figura 17 temos um volume de solda que representa cerca de 85% da solda do fundo, por isso é necessário tomar todos os cuidados para evitar danos permanentes na chaparia e comprometer as etapas futuras de soldagem do fundo.

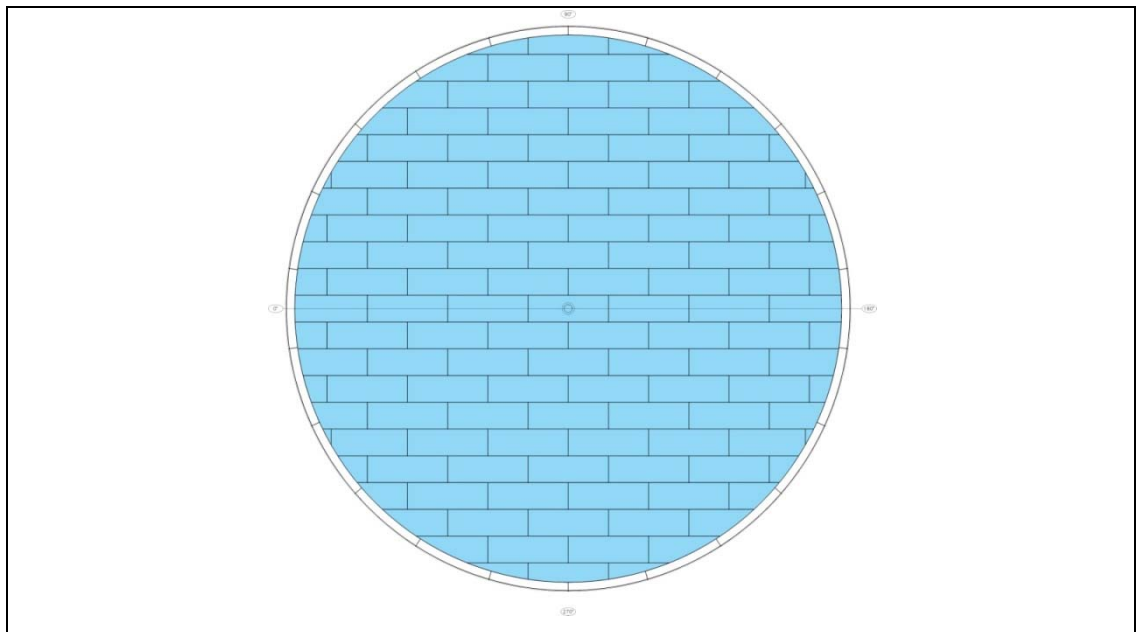


Figura 17: Disposição das chapas do fundo. **Autores**

A segunda é a soldagem das chapas anulares, como mostra a Figura 18.

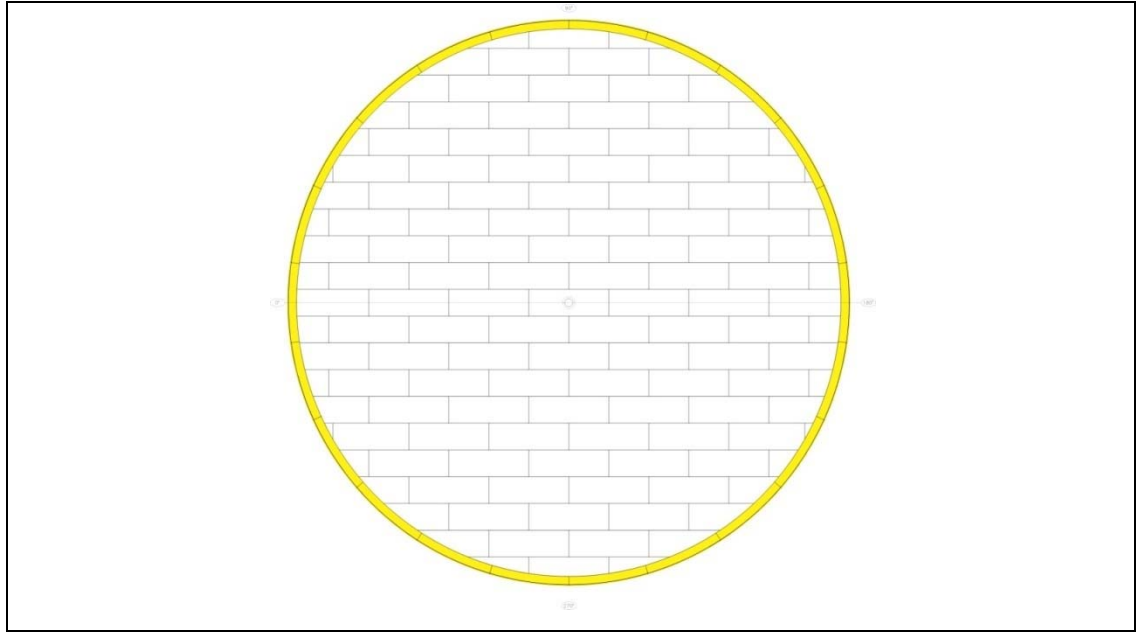


Figura 18: Disposição das chapas anulares. **Autores**

E por fim a soldagem da chapa do fundo com a anular. Na soldagem do fundo o primeiro passo é fazer o travamento da chaparia em todos os cruzamentos com 400 mm de solda para cada direção como mostrado na Figura 19.



Figura 19: Travamento das chapas do fundo. **Autores**

Durante a soldagem alguns pontos isolados começam a empenar devido ao aporte de calor, para controlar esse efeito é importante deixar algumas juntas somente ponteadas.

É importante a técnica do passe a ré durante a soldagem para minimizar os efeitos da temperatura, dessa forma sempre inicia a soldagem de um ponto mais frio e com isso minimiza os defeitos por empenamento.

As juntas que ficarão sem soldar, é determinada pela engenharia de campo. A Figura 20 mostra a forma que foi adotada no caso aqui estudado e que trouxe resultados satisfatório.

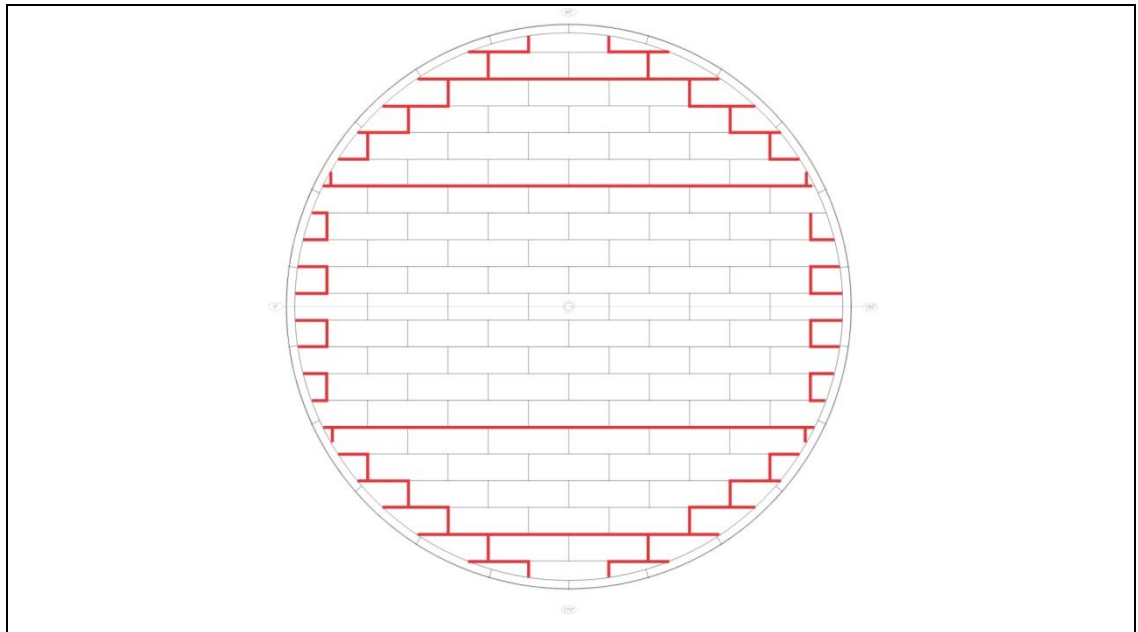


Figura 20: Juntas que serão soldadas por último. **Autores**

Nota-se que as juntas na extremidades do fundo ficaram sem soldar, são esses pontos que sofrem com o aporte térmico e empenam, se estiverem somente ponteadas é possível eliminar a tensão removendo os pontos e ajustando as chapas novamente. Foi importante deixar algumas juntas longitudinais sem soldar. No nosso caso foram escolhidas 04 juntas, sendo duas centrais e duas próximas a extremidades.

A montagem deve estar conforme o projeto para garantir que a soldagem atenda satisfatoriamente aos requisitos de engenharia, pontos como abertura do chanfro e alinhamento são essenciais para serem conferidos antes de iniciar a soldagem.

É importante separar os soldadores durante a soldagem, colocar soldadores próximos uns dos outros concentra o aporte térmico em uma determinada região provocando empenos indesejados.

Deve se ter o mesmo cuidado na soldagem das chapas anulares, nesse caso foram deixadas 02 juntas sem soldar para ajustes como mostra a Figura 21.

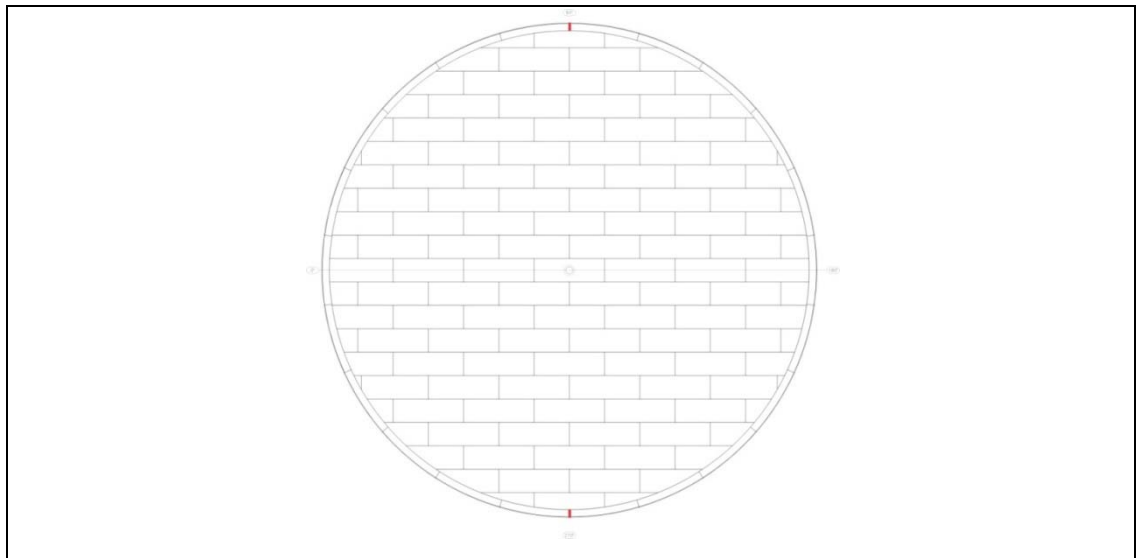


Figura 21: Juntas que serão soldadas por último. **Autores**

A última etapa é a soldagem do fundo com as chapas anulares. Deve-se fazer o travamento como mostra a Figura 22 para evitar empenamento.



Figura 22: Travamento das juntas anulares com fundo. **Autores**

Após a soldagem do fundo o próximo passo é a montagem e soldagem dos anéis que irão compor o costado do tanque. Nessa etapa, a atracação das juntas é extremamente importante; uma boa atracação irá garantir um perfeito alinhamento entre as juntas e não permitirá o embicamento. O tanque foi montado com macacos hidráulicos, portanto, as soldas verticais dos anéis foram realizadas nos magazines. A Figura 23 mostra a atracação na junta.



Figura 23: Atracação de juntas verticais. **Autores**

Como uma boa prática de soldagem, é importante realizar um passe de cada vez, dessa forma o aporte térmico foi reduzido. Um cuidado especial com abertura da raiz e alinhamento da junta foi tomado para evitar embicamento.

Antes da soldagem deve certificar se foi feita a limpeza da junta e que o back cerâmico foi montado de forma correta.

Com as soldas verticais dos anéis concluídas, as juntas horizontais não soldadas. Nessa fase, o travamento é extremamente importante, e a junta foi travada com um espaçamento de 400 mm entre os dispositivos como é mostrado na Figura 24.



Figura 24: Atracação da junta horizontal. **Autores**

Como boa prática de soldagem os travamentos são retirados após a conclusão da soldagem, dessa forma garante-se um perfeito alinhamento entre as chapas.

Deve se ter um cuidado especial na execução do passe de raiz, nesse momento a abertura de raiz, vento e uma técnica inadequada podem ser grandes vilões, o máximo de cuidado deve ser tomado para garantir uma boa penetração e um perfeito acabamento no passe de raiz. Outro ponto importante é manter os parâmetros de soldagem dentro da faixa estabelecida na EPS.

Após a conclusão do costado, inicia-se a montagem e soldagem dos bocais como boca de visita, saída baixa, entrada e saída de produto, porta de inspeção, válvula de pressão e vácuo, medição manométrica e sistema radar. Nesse momento deve-se ter bastante cuidado com o aporte térmico; além de travar os bocais é necessário alternar os passes de solda para minimizar o aporte térmico. Na Figura 22 é demonstrado o travamento de uma boca de visita e mostrada a solda finalizada.

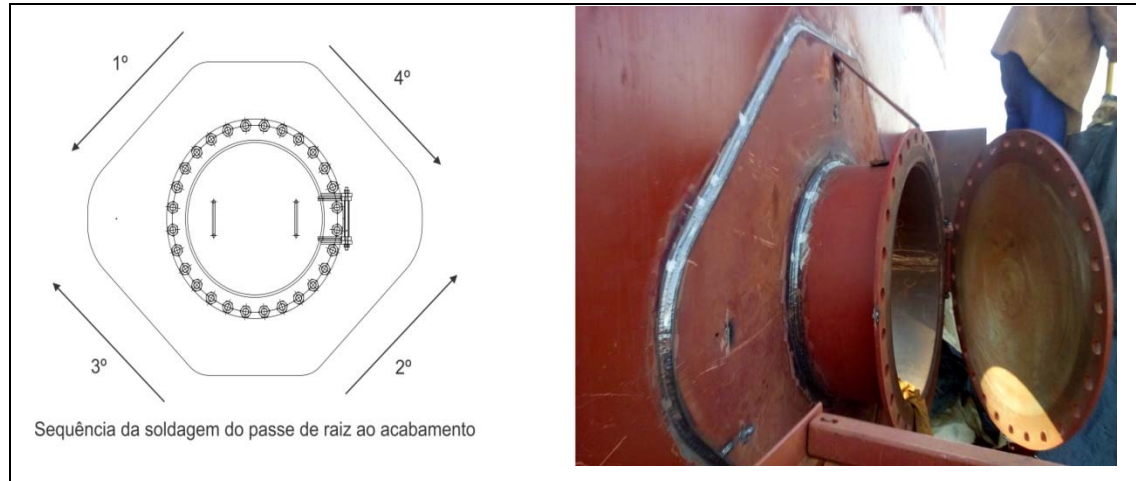


Figura 25 Travamento e sequência de soldagem da boca de visita. **Autores**

O mesmo cuidado tomado com o fundo tem que ser adotado na soldagem do teto. Deve ser realizada sempre do centro para a periferia, tomando o cuidado de deixar algumas juntas sem soldar para eventuais correções de empenamentos. Contudo, considerando que a chapa do teto é fina e se consegue finalizar a solda em um único passe, não ocorreram problemas com distorções e empenamentos consideráveis.

4 CONCLUSÃO

A montagem de um tanque de armazenamento deve ser feita com base em normas reconhecidas, no caso descrito foi adotada a norma API 650. Desde a fabricação até a montagem, todo o cuidado deve ser tomado a fim de garantir um equipamento íntegro que atenda a todos os requisitos de engenharia e segurança.

Durante a montagem, alguns eventos podem acontecer como chuvas e ventos. É necessário se precaver antes e providenciar todos os meios possíveis para evitar ou minimizar os danos que esses eventos podem proporcionar para a soldagem.

Durante a obra é de extrema importância fazer o acompanhamento de soldagem para garantir que os parâmetros estejam dentro do especificado na EPS.

Outro ponto importante na execução do projeto é prever com antecedência as peças que serão soldadas a fim de já prever nos desenhos especificações de pintura. Isso parece básico, mas pode gerar inúmeros problemas na execução de soldagem.

A montagem de equipamento de armazenamento de produtos inflamáveis é de extrema responsabilidade, ocorrem com frequência explosões desses equipamentos. A solda é a fase mais importante no projeto independentemente do tipo de montagem, todo cuidado deve ser despendido no momento da soldagem para garantir os requisitos de engenharia e segurança.

REFERÊNCIAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 7821 – Tanques soldados para armazenamento de petróleo e derivados. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

PETROBRAS – COMISSÃO DE NORMALIZAÇÃO TÉCNICA. N270 – Projeto de tanque de armazenamento atmosférico. rev.F 05/2014.

PETROBRAS – COMISSÃO DE NORMALIZAÇÃO TÉCNICA. N271: montagem de tanque de armazenamento. rev.B 04/2014.