



**Universidade Eduardo Mondlane**  
**Faculdade de Engenharia**  
**Departamento de Engenharia Mecânica**  
**Licenciatura em Engenharia Mecânica**

ESTÁGIO PROFISSIONAL

**Análise dos defeitos de soldadura na fabricação de tanque metálico para armazenamento de combustível líquido**

**Autor:** Peixe, Helder Francisco

**Supervisor da Empresa**

Eng<sup>o</sup>. Gervásio Cuna

**Supervisor da Faculdade**

Eng<sup>o</sup>. Roberto David

Maputo, Dezembro de 2022



**Universidade Eduardo Mondlane**  
**Faculdade de Engenharia**  
**Departamento de Engenharia Mecânica**  
**Licenciatura em Engenharia Mecânica**

ESTÁGIO PROFISSIONAL

**Análise dos defeitos de soldadura na fabricação de tanque metálico para armazenamento de combustível líquido**

**Autor:** Peixe, Heldo Francisco

**Supervisor da Empresa**

---

Eng<sup>o</sup>. Gervásio Cuna

**Supervisor da Faculdade**

---

Eng<sup>o</sup>. Roberto David

Maputo, Dezembro de 2022



**Universidade Eduardo Mondlane**  
**Faculdade de Engenharia**  
**Departamento de Engenharia Mecânica**

**Termo de entrega do relatório de estágio profissional**

Declaro que o estudante **Heldo Francisco Peixe**, cujo código de estudante é 20174052 entregou no dia 14 de Dezembro de 2022 às 3 cópias do relatório de estágio profissional, intitulado: Análise dos defeitos de soldadura na fabricação de tanque metálico para armazenamento de combustível líquido, realizado na empresa Protecna localizada na província de Maputo.

Maputo, Dezembro de 2022

O Chefe da Secretaria

---

Maputo, Dezembro de 2022

## **Agradecimentos**

Em primeiro Lugar quero agradecer a Deus pelo dom da vida e pela oportunidade que concedeu-me de fazer parte da turma de Engenharia Mecânica 2018.

Quero agradecer aos meus pais que contribuíram grandemente para a minha formação, nomeadamente: Francisco Peixe, Maria de Fátima Cossa e Lígia João David.

Agradecer aos meus irmãos que de alguma forma apoiaram-me durante esse tempo de convivência com eles.

Agradecer a Deus por ter colocado ao meu lado a minha namorada que grandemente tem contribuído no meu desenvolvimento pessoal e que de várias formas incentiva-me e apoia.

Agradecer aos meus colegas da turma e todos aqueles que ajudaram-me a alcançar essa grande vitória.

Em especial, quero agradecer aos meus amigos da faculdade e da igreja pelo apoio e carinho que têm demonstrado a mim.

Agradecer aos meus supervisores da empresa e da faculdade pelos conhecimentos transmitidos.

Muitíssimo Obrigado.

## Declaração de Honra

Eu, Heldo Francisco Peixe declaro por minha honra que o presente trabalho é exclusivamente de minha autoria, que foi resultado de vários conhecimentos teóricos e práticos adquiridos durante o estágio profissional, o mesmo foi concebido para ser submetido apenas para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Mecânica na Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, Outubro de 2022

---

(Heldo Francisco Peixe)

## Resumo

Os tanques metálicos utilizados no armazenamento de combustível líquido, geralmente são fabricados com chapas de aço com baixo teor de carbono calandradas e soldadas através dos processos GMAW/SAW e SMAW, dependendo do local de fabricação, seja em galpões fechados ou em campo. Os processos de fabricação podem introduzir defeitos nas juntas soldadas, tais como, falta de fusão, falta de penetração, porosidade, mordedura, inclusões entre outros, que podem comprometer a estrutura ou componente, com relação à resistência à propagação de trincas e até mesmo quanto a resistência mecânica. O presente trabalho tem por objetivo analisar as causas que levam ao surgimento dos defeitos encontrados nas soldas de tanques metálicos, e apresentar soluções para que sejam evitados. A maioria dos defeitos encontrados na soldagem é causado por práticas de soldagem inadequadas. Uma vez que as causas sejam determinadas, o operador pode facilmente corrigir o problema.

**Palavra-chave:** Tanque subterrâneo, defeito de soldadura.

## Índice

<b>Capítulo I - Introdução</b> .....	11
1. Contextualização .....	1
1.1. Problematização .....	2
1.2. Motivação.....	2
1.3. Objectivos .....	3
1.3.1. Geral.....	3
1.3.2. Especifico .....	3
1.4. Metodologia de Investigação.....	4
<b>Capítulo II – Revisão Bibliográfica</b> .....	5
2. Revisão Bibliográfica .....	6
2.1. Tanque de Combustível em Aço .....	6
2.1.1. Normas de Soldadura.....	6
2.1.2. Constituição dos tanques de armazenamento.....	7
2.1.3. Classificação dos tanques .....	7
2.1.3.1. Em relação à forma os tanques podem ser.....	7
2.1.3.2. Os tanques quanto à sua localização podem designar-se por.....	8
2.2. Combustível .....	8
2.2.1. Classificação dos combustíveis de acordo com a origem .....	9
2.3. Processos para a Fabricação de um tanque.....	9
2.3.1. Dimensionamento do tanque.....	10
2.3.1.1. Cálculo do comprimento do tanque.....	10
2.3.1.2. Perímetro do diâmetro do tanque.....	11
2.3.2. Escolha das dimensões das chapas .....	11

2.3.2.1. Ensaio requeridos para chapa utilizada em tanque armazenamento subterrâneo .....	13
2.3.3. Calandramento .....	13
2.3.4. Soldagem .....	15
2.3.4.1. Soldadura com Eléctrodo Revestido .....	16
2.3.4.1.1. Influência da atmosfera na poça de fusão .....	18
2.3.4.1.2. Eléctrodos Revestidos .....	18
2.3.4.1.3. Componentes necessários ao processo .....	22
2.3.4.2. Soldadura com Protecção Gasosa MIG/MAG .....	24
2.3.4.2.1. Equipamento para Soldagem .....	27
2.3.4.2.2. Escolha do Arame de Solda .....	28
2.3.4.2.3. Consumíveis .....	29
2.3.4.2.4. Gases de protecção .....	29
<b>Capitulo III- Contextualização da investigação .....</b>	<b>34</b>
3. Apresentação da Empresa .....	35
3.1. Divisão de áreas de trabalho .....	36
3.1.1. Secção de Mecânica Auto .....	36
3.1.2. Secção de Maquinas- Ferramentas .....	36
3.1.3. Secção de Caldeiraria .....	36
3.1.4. Secção de Manutenção-Industrial .....	37
3.1.5. Secção de Engenharia e Projectos .....	37
3.1.6. Secção de recursos humanos .....	37
3.2. Motivos de realização do trabalho na referida empresa .....	37
<b>Capitulo IV- Metodologia de resolução do problema .....</b>	<b>38</b>
4.1. Ensaio para detectar de defeitos de Soldadura .....	39

4.1.1.	Ensaaios não destrutivos (EDN).....	39
4.1.1.1.	Objetivos dos END .....	40
4.1.1.2.	Norma que rege os END .....	40
4.1.1.3.	Tipos de Ensaaios Não destrutivos .....	40
4.1.1.3.1.	Ensaio por inspeção visual .....	40
4.1.1.3.2.	Ensaio por partículas magnéticas .....	41
4.1.1.3.3.	Teste de estanqueidade.....	41
4.1.1.3.4.	Ensaio por líquido penetrante .....	44
4.1.1.3.5.	Ensaio por ultrassom .....	45
4.1.1.3.6.	Ensaio por radiografia .....	46
<b>Capítulo V- Apresentação e análise dos resultados .....</b>		<b>47</b>
5.1.	Defeitos na soldagem com eléctrodos revestidos .....	48
5.1.1.	Porosidade .....	48
5.1.2.	Mordeduras .....	49
5.1.3.	Falta de penetração.....	51
5.1.4.	Inclusão de escória.....	52
5.2.	Defeitos na soldagem com MIG/MAG .....	53
5.2.1.	Falta de fusão.....	54
5.2.2.	Mordedura .....	55
5.2.3.	Porosidade .....	56
5.2.4.	Trincas no cordão de solda .....	56
5.3.	Limpeza e pintura.....	58
<b>Capítulo VI – Conclusões e Recomendações .....</b>		<b>60</b>
6.	Conclusão.....	61
7.	Recomendações.....	62

8. Bibliografia .....	63
8.1. Referências Bibliográficas.....	63
9. Anexo .....	65

## Lista de símbolos

$a$	Comprimento do arco voltaico	$mm$
$C$	Carbono	-
$CO_2$	Dióxido de carbono	-
$d$	Diâmetro do eléctrodo	$mm$
$d_i$	Diâmetro interno	$mm$
$d_{ext}$	Diâmetro externo	$mm$
$d_m$	Diâmetro médio	$mm$
$H$	Hidrogénio	-
$H_2O$	Água	-
$I$	Corrente de soldagem	A
$k$	Quilo	$10^3$
$L$	Comprimento total do tanque	$mm$
$M$	Mega	$10^6$
$N$	Nitrogénio	-
$N_v$	Número de virolas	-
$O_2$	Oxigénio	-
$pa$	Pascal	-
$P_0$	Perímetro do tanque	$mm$
$SO_2$	Dióxido de enxofre	-
$T$	Temperatura de pré-aquecimento;	$^{\circ}C$
$U$	Tensão de soldagem	V
$v$	Velocidade de soldagem	$m/s$
$V_r$	Volume real do tanque	$m^3$

## Lista de Abreviaturas

Abreviatura	Significado	Abreviatura	Significado
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas	<b>GMAW</b>	Gas Metal Arc Welding
<b>ASME</b>	American Society of Mechanical Engineers	<b>ISO</b>	International Standards Organization
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials	<b>MAG</b>	Metal Active Gas
<b>API</b>	American Petroleum Institute	<b>MIG</b>	Metal InertGas
<b>AWS</b>	American Welding Society	<b>SAW</b>	Subnerged arc welding
<b>CNC</b>	Comando Numérico Computadorizado	<b>SIS</b>	Pictorial Surface Preparation Satandards For Pating Stell Surfaces
<b>END</b>	Ensaio não destrutivos	<b>SMAW</b>	Shielded Metal Arc Welding
<b>EPS</b>	Especificação de Procedimento de Soldagem.	<b>ZTA</b>	Zona Termicamente Afetada

## Lista de figuras

Figura 1- Tanque Subterrâneo de parede simples.....	7
Figura 2- Calandragem de uma chapa plana .....	14
Figura 3- Acoplamento horizontal dos anéis .....	14
Figura 4- União de virolas para formar o corpo do tanque .....	16
Figura 5- Arco elétrico produzido pela soldadura SMAW.....	18
Figura 6- Norma AWS A 5.1.....	21
Figura 7- Representação esquemática de uma máquina de solda por arco elétrico.....	22
Figura 8- Soldadura SMAW .....	24
Figura 9- Princípios básicos do processo MIG / MAG.....	25
Figura 10- Polaridade na soldadura MIG/MAG .....	26
Figura 11- Equipamento básico para a soldagem MIG/MAG .....	27
Figura 12- tocha de soldagem.....	28
Figura 13- Perfil de cordões de solda feitos com diferentes gases .....	31
Figura 14- Modos de transferência do metal de solda .....	32
Figura 15- Processo MIG/MAG automatizado.....	32
Figura 16- MIG/MAG Automatizado .....	33
Figura 17- Vista Frontal da Protecna.....	35
Figura 18- Teste de estanqueidade em tanque.....	42
Figura 19- Teste de estanqueidade de um tanque.....	44
Figura 20- Equipamento de ensaios por ultra-som.....	45
Figura 21- Técnica geral para inspeção de soldas por ultrassom .....	46
Figura 22- Porosidades no cordão .....	48
Figura 23- Porosidade na parte interna do cordão.....	49
Figura 24- Mordeduras identificados em um tanque metálico .....	50
Figura 25- Falta de penetração .....	51
Figura 26- Inclusão de escória .....	52
Figura 27- falta de fusão na junta.....	54
Figura 28- Mordeduras no metal base .....	55
Figura 29- trinca no cordão de solda.....	57

## Lista de tabelas

Tabela 1- Classificação do combustível .....	9
Tabela 2- Diâmetro das virolas normalizados .....	10
Tabela 3- Nomenclatura das chapas.....	12
Tabela 4- Composição química do aço .....	12
Tabela 5- Materiais da alma dos revestimentos .....	19
Tabela 6- Elementos adicionados no revestimento.....	19
Tabela 7- Especificações AWS para eletrodos revestidos .....	20
Tabela 8- Classificação dos eletrodos segundo AWS.....	21
Tabela 9- Especificações AWS de Materiais de adição para MIG/MAG .....	29
Tabela 10- Gases e misturas utilizados na soldagem MIG/MAG .....	30
Tabela 11- Ensaio não destrutivo .....	40
Tabela 12- Pintura contra corrosão.....	59
Tabela 13- Parâmetros de Solda com MIG-MAG.....	65
Tabela 14- Composição química para arames de aços doces e de baixa liga especificação AWS A5.18 .....	65
Tabela 15- Flanges com orifício, normalizados .....	66
Tabela 16- Esboço do bocal de visita.....	67
Tabela 17- Escolha de Chanfros de acordo com a espessura da Chapa .....	68
Tabela 18- Dimensões das chapas normalizadas.....	69

## **Organização do Trabalho**

O presente trabalho segue a seguinte estrutura:

- **Capítulo I – Introdução**

Neste capítulo é feita a introdução do trabalho, a definição do problema, a contextualização, os objectivos do trabalho e a metodologia usada para a elaboração do trabalho.

- **Capítulo II – Revisão Bibliográfica**

Neste capítulo é feito o desenvolvimento do trabalho, abordando todos aspectos relevantes para o tema em causa de modo a colocar a fundamentação teórica do mesmo.

- **Capítulo III – Contextualização da Investigação**

Neste Capítulo e apresentado a empresa e os motivos que levaram-me a realizar esse trabalho.

- **Capítulo IV- Metodologia de Resolução do problema**

Neste capítulo são apresentados os procedimentos para que o problema seja resolvido.

- **Capítulo V- Análise e apresentação dos resultados**

Neste capítulo é apresentado os resultados da investigação, as causas e solução.

- **Capítulo IV – Conclusões e Recomendações**

Neste capítulo são apresentadas as últimas considerações do trabalho respondendo a cada objectivo específico. São ainda apresentadas algumas recomendações.

- **Capítulo V – Referências Bibliográficas**

Neste capítulo são mostradas as fontes usadas para a elaboração do presente trabalho.

# **Capítulo I - Introdução**

## 1. Contextualização

A soldagem é um dos processos industriais mais importantes já desenvolvidos, sendo capaz de unir materiais de diferentes ligas metálicas, esse processo permitiu grandes avanços tecnológicos para indústria metalomecânica. O processo de soldadura é hoje o principal processo usado na união permanente de peças metálicas.

A soldagem permitiu um grande avanço na indústria, agilizando o tempo de produção e reduzindo custos. Começando a ser usada em todos os meios possíveis por prover qualidade e resistência, ao longo dos anos, diversos tipos de soldagem foram desenvolvidos e aperfeiçoados para cada tipo de material específico a ser soldado.

Mesmo com a evolução da soldadura no meio industrial, a probabilidade de surgimento de defeitos é iminente em diversas peças soldadas. Estes diminuem a resistência da junta soldada, podendo levar à falha da peça ou equipamento. São vários os factores que influenciam na qualidade da soldagem, e é muito importante seguir a técnica correta de soldar, pois vários defeitos não são visíveis e só são detectados através de ensaios, como líquido penetrante, ultrassom e raio X.

Os tanques metálicos são unidos por esse processo e submetidos a pressões nas paredes devido ao líquido que nele é armazenado, por essa razão a soldadura deve ser resistente para que possa suportar as tensões exercida sobre as paredes e sem defeitos para que não ocorra a perda do combustível devido à alguma falha de soldagem.

O seguinte trabalho tem como propósito abordar sobre as causas do surgimento dos defeitos de solda e apresentar as possíveis soluções para minimizar esses defeitos.

### **1.1. Problematização**

Durante a soldagem dos elementos que constituem um tanque metálico tem surgido alguns defeitos que comprometem a integridade do cordão e isso compromete na produtividade da própria empresa de produção e reduz a qualidade dos tanques soldados que podem levar a vários danos. O surgimento dos defeitos também influencia na confiabilidade do produto fabricado. E defeitos como trincas podem causar danos caso não sejam eliminados.

Por essa razão é de suma importância estudar as causas que levam ao surgimento dos defeitos e apresentar as soluções para minimizar.

### **1.2. Motivação**

Dentre várias razões que levaram-me a abordar sobre o tema do presente relatório é a atratividade sobre assuntos relacionados a processos de fabricação, em ênfase a soldadura por arco voltaico, e por ser um dos processos mais usados nos tempos modernos garante com que a sua aplicação seja vasta.

É de suma importância que nas costuras de solda de um tanque metálico de armazenamento não haja fuga do líquido garantindo assim à sua quantidade exata, e a forma de garantir que não existe nenhuma fuga é por meio da inspeção da soldagem, e com base em pesquisas para solucionar esses defeitos consolidarei às matérias estudadas durante a jornada académica.

Dos processos de fabricação estudados durante às aulas a soldadura foi a mais atrativa para mim, devido a sua flexibilidade, economia do tempo e versátil.

As disciplinas leccionadas como Soldadura e Protecção dos Metais assim com Controle de Qualidade foram as que mais despertaram em mim um profundo desejo incentivando-me a abordagem do tema do presente relatório, e com essa motivação espero alcançar os objectivos mencionados a baixo.

### **1.3. Objectivos**

#### **1.3.1. Geral**

- ✓ Minimizar o surgimento dos defeitos de soldadura na fabricação de tanque metálico de armazenamento de combustível.

#### **1.3.2. Especifico**

- ✓ Identificar às causas que influenciam o surgimento dos defeitos de soldadura;
- ✓ Especificar os métodos para minimizar a ocorrência dos defeitos que surgem durante a soldagem do tanque.

#### **1.4. Metodologia de Investigação**

O presente trabalho foi desenvolvido com base em:

- Pesquisas bibliográficas;
- Consulta nos técnicos e os supervisores da empresa;
- Auxílio do supervisor da faculdade;
- Uso de internet.

## **Capítulo II – Revisão Bibliográfica**

## **2. Revisão Bibliográfica**

### **2.1. Tanque de Combustível em Aço**

Tanques de armazenamento são equipamentos usados para armazenagem de grandes inventários de produtos como o petróleo, álcool, biodiesel, gasolina, nafta, óleo combustível, água e outros. 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. No que diz respeito à resistência à corrosão, a superfície interna do reservatório do tanque deve resistir ao meio combustível, como por exemplo, gasolina, etanol, diesel e biodiesel. 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.

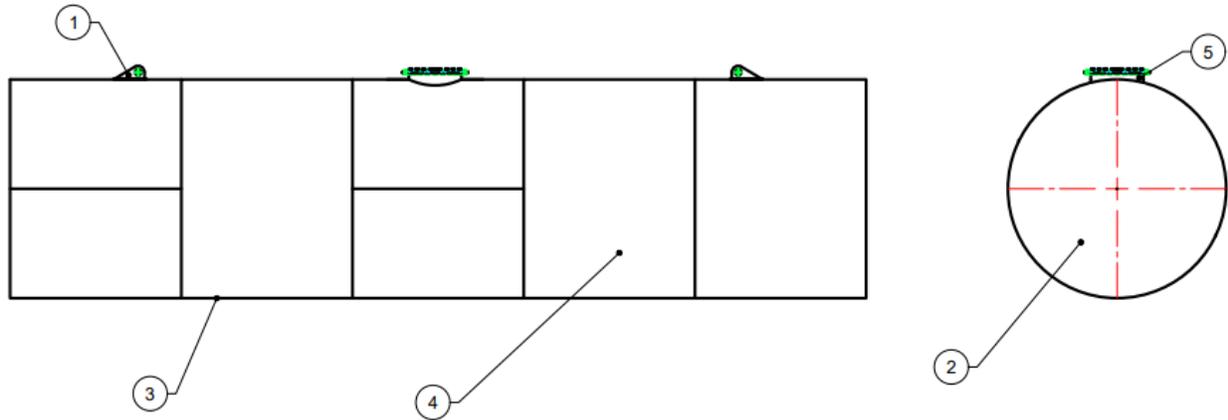
A soldagem é um processo fundamental na montagem de tanques de armazenamento, e em função da sua importância esta é gerenciada por normas que determinam por exemplo aspectos relacionados a qualidade e segurança que devem ser seguidos à risca, pois uma falha nesse processo pode levar a enormes prejuízos econômicos/financeiros, prejuízos ao meio ambiente e até mesmo perda de vidas humanas (Trindade & Silva, 2016).

#### **2.1.1. Normas de Soldadura**

A norma API *Standar* 650 é uma das normas mais usuais na construção de tanques. 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 (GOMES, 2017).

## 2.1.2. Constituição dos tanques de armazenamento

Figura 1- Tanque Subterrâneo de parede simples



Fonte: Desenhado pelo Autor

### Legenda

- 1- Olhal para levantamento
- 2- Tampo Circular
- 3- Corpo do tanque
- 4- Virola
- 5- Bocal de visita ou Escotilha

## 2.1.3. Classificação dos tanques

### 2.1.3.1. Em relação à forma os tanques podem ser

- **Cilíndricos**

Segundo (LINDENBERG, 2008) São todos aqueles cujo formato tem a forma cilíndrica, ou seja, corpo longo e arredondado de igual diâmetro em todo o comprimento. Estes podem ser verticais ou horizontais.

- **Esféricos**

Entre todos os tipos de tanques de armazenamento, o mais recomendado e usado para armazenar gás é o tanque esférico. A sua forma geométrica não permite, quando

esvaziado, que nenhum resíduo ou sobra de gás permaneça no interior do tanque. Não apresenta vértices, o que possibilita uma libertação mais eficaz do gás contido nele. Seguindo tal raciocínio, grande parte das empresas e indústrias que utilizam de tanques para armazenamento de gás fazem uso do tipo esférico. Como qualquer tanque, este também precisa de ser inspeccionado periodicamente para prevenção de acidentes (LINDENBERG, 2008).

### **2.1.3.2. Os tanques quanto à sua localização podem designar-se por**

- **Aéreos**

Os tanques de armazenamento aéreo têm forma cilíndrica e podem ser verticais ou horizontais (LINDENBERG, 2008).

- **Subterrâneos**

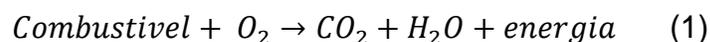
Os tanques subterrâneos são usados para o armazenamento de combustíveis fósseis. Esta classe de tanques, fabricados em aço-carbono, ficam sujeitos aos efeitos da corrosão principalmente nos pontos de solda das chapas e conexões.

## **2.2. Combustível**

De acordo com (Suzuk, 2007) Combustíveis são substâncias que reagem com um comburente liberando energia na forma de calor, geralmente de modo vigoroso, formando inclusive chamas e gases. O comburente mais comum é o gás oxigênio ( $O_2$ ). A reação entre o combustível e o comburente é exotérmica (libera energia) e é chamada de combustão. A maior parte dos combustíveis é formada por hidrocarbonetos, moléculas constituídas basicamente por átomos de carbono e hidrogênio.

Assim, os produtos de uma combustão, além de energia, são o dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e a água.

A equação geral da combustão pode ser expressa da seguinte forma:



Algumas substâncias combustíveis podem possuir outros átomos em sua composição, os quais darão origem a outros óxidos, como o dióxido de enxofre ( $SO_2$ ). Quando houver enxofre na composição do material combustível. O  $CO_2$  e o  $SO_2$  são substâncias que contribuem para a poluição atmosférica e intensificam o efeito estufa (Suzuk, 2007).

### 2.2.1. Classificação dos combustíveis de acordo com a origem

- Combustíveis primários
- Combustíveis secundários

### 2.2.2. Classificação dos combustíveis de acordo com o estado físico

- Combustíveis sólidos
- Combustíveis líquidos
- Combustíveis gasosos

O gás hidrogênio é uma das apostas como combustível do futuro, por ser isento de emissões de gases poluentes, uma vez que sua reação de combustão com o oxigênio forma apenas vapor de água (Suzuk, 2007).

Tabela 1-Classificação do combustível

Estado físico	Fontes primárias	Fontes secundárias
<b>Combustíveis sólidos</b>	Madeira, carvão mineral, biomassa	Carvão vegetal, coque
<b>Combustíveis líquidos</b>	Petróleo	Gasolina, óleo diesel, querosene, etanol
<b>Combustíveis gasosos</b>	Gás natural	Biogás (metano), hidrogênio, GLP

### 2.3. Processos para a Fabricação de um tanque

Antes da construção dos tanques há uma análise criteriosa dos materiais, documentações e equipamentos utilizados na fabricação destes, com o intuito de garantir a qualidade e especificação necessária para atender as solicitações e esforços que serão submetidos.

### 2.3.1. Dimensionamento do tanque

Para concepção de um tanque é necessário calcular o seu comprimento total, escolher o diâmetro segundo a (tabela 2) e o número de virolas necessárias.

Tabela 2- Diâmetro das virolas normalizadas

<b>Diâmetros normalizado (mm)</b>	<b>Ø1900</b>	<b>Ø2000</b>	<b>Ø2200</b>	<b>Ø2500</b>	<b>Ø2550</b>	<b>Ø3100 *</b>
-----------------------------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	----------------

Compensação do volume (litros):  $(100 \div 300)$

#### Dados

$V_u = 50 m^3 \rightarrow$  O volume real será:  $V_r = 50,2m^3$

$d_{ext} = 2550 mm$

$d_i = 2540 mm$

$d_m = 2545 mm$

$L - ?$

$d_{ext}$  – Diâmetro externo;

$d_i$  – Diâmetro interno;

$d_m$  – Diâmetro médio.

#### 2.3.1.1. Cálculo do comprimento do tanque

$$V_r = \frac{\pi * d^2}{4} * L \quad (1)$$

$$L = \frac{4 * V_r}{\pi * (d_i)^2} \quad (2)$$

$$L = \frac{4 * V_r}{\pi * (2,54)^2}$$

$$L = 9,9070m \approx 9907 mm$$

$V_u$  – É o volume útil do tanque fornecido na especificação do projeto;

$L$  – Comprimento total do tanque;

$V_r$  – Volume real do tanque.

### 2.3.1.2. Perímetro do diâmetro do tanque

$$P_o = 2 * \pi * r \quad (3)$$

$$\leftrightarrow r = \frac{d}{2} \quad (4)$$

Escolhemos o diâmetro médio para o cálculo do perímetro porque a linha neutra permanece imutável:

$$P_o = \pi * d_m \quad (5)$$

$$P_o = \pi * 2545$$

$$P_o = 7995,353 \text{ mm}$$

Para saber o número de virolas dividimos o comprimento total ( $L$ ) pela largura da chapa que segundo a Tabela 19 (Anexo 6-68) é de (8000x2000x6).

$$N_v = \frac{9907}{2000} = 4,9535 \approx 4 \text{ virolas}$$

Em seguida multiplicamos o número de virolas pela largura da chapa:

$$N_v * l_{chapa} \quad (6)$$

$$(4 * 2000 = 8000 \text{ mm})$$

E subtraímos esse valor no comprimento total da chapa ( $9907 - 8000 = 1907 \text{ mm}$ ) que será a largura que estará em falta.

### 2.3.2. Escolha das dimensões das chapas

As chapas são produtos laminados, nos quais duas dimensões (a espessura) é muito menor que as outras duas (largura e comprimento). As chapas se dividem nas duas categorias: Chapas grossas: de espessura superior a 5,0 mm (GOMES, 2017).

Chapas finas: fabricadas a frio e a quente conforme tabela 3.

Tabela 3- Nomenclatura das chapas

Chapas	Fabricação	Espessuras	Utilização em Construção
Grossas	A quente	> 5,0 mm	Estruturas metálicas em geral
Finas	A quente	1,2 – 5,0 mm	Perfis de chapas dobradas
Finas	O frio	0,3 – 2,65 mm	Acessórios de construção com calhas, rufos etc..

O material das chapas a usar será aço de construção S355JR pois este apresenta boas propriedades de soldabilidade.

### Propriedades do aço S355JR

A designação JR confirma que o aço foi submetido a testes de impacto longitudinal.

### Composição Química

Tabela 4- Composição química do aço

Elemento	Concentração (%)
Carbono (C)	0,26 (max)
Manganês (Mn)	1,35 (max)
Fósforo (P)	0,03 (max)
Enxofre (S)	0,03 (max)
Silício (Si)	0,40 (max)

### Limite de escoamento

O limite de escoamento ou tensão de escoamento do **aço S355JR** é de, no mínimo:

- 415 MPa ou 60000 psi.

### **Resistência a tração**

- 520 MPa (75 ksi)

### **Alongamento**

- 16%.

Pela tabela 19 (Anexo 6-68), a chapa escolhida terá as seguintes dimensões (8000x2000x6).

#### **2.3.2.1. Ensaio requeridos para chapa utilizada em tanque armazenamento subterrâneo**

- ✓ Medição de espessura por ultrassom;
- ✓ Análise química da chapa.

#### **2.3.3. Calandramento**

Calandramento consiste na conformação a frio de chapas metálicas para a forma cilíndrica ou côncava dependendo do diâmetro ou comprimento da chapa utilizada. É um procedimento que demanda calandras hidráulicas ou manuais. Em seguida as chapas são ponteadas, formando anéis (Virolas) soldados por soldas horizontais.

Na (Figura 3) demonstra-se o calandramento de uma chapa com uso de calandra hidráulica. O raio de calandramento é controlado através de padrões previamente determinados (GOMES, 2017).

*Figura 2- Calandragem de uma chapa plana*



Fonte: Autor

### **União das Virolas**

Pode-se observar o processo de calandragem da virola (Figura 3), onde uma chapa passa em um rolo que a comprime e cria a forma cilíndrica do corpo do tanque. Nesse mesmo processo é feito a soldagem do cilindro ainda na calandra onde é mais simples de trabalhar e realizar o seu fechamento (PAIVA, 2020).

Em seguida os anéis são acoplados na posição vertical ou horizontal, seguido de ponteamto para alinhamento dos anéis. A montagem dos anéis na posição vertical favorecem um melhor alinhamento entre as chapas, pois a circularidade do anel é mantida durante o posicionamento.

A montagem dos anéis na posição horizontal dificulta o correto alinhamento entre as chapas, pois os anéis apresentam uma ovalização durante o posicionamento, conforme demonstrado na fig. 4 (GOMES, 2017)

*Figura 3- Acoplamento horizontal dos anéis*



Fonte: (GOMES, 2017)

#### **2.3.4. Soldagem**

De acordo com (Mulima, 2020) Soldadura é um processo de ligação química (interatômica), isto é, permanente de pelo menos dois materiais, por meio de calor ou pressão ou, ainda por meio de acção combinada daqueles dois.

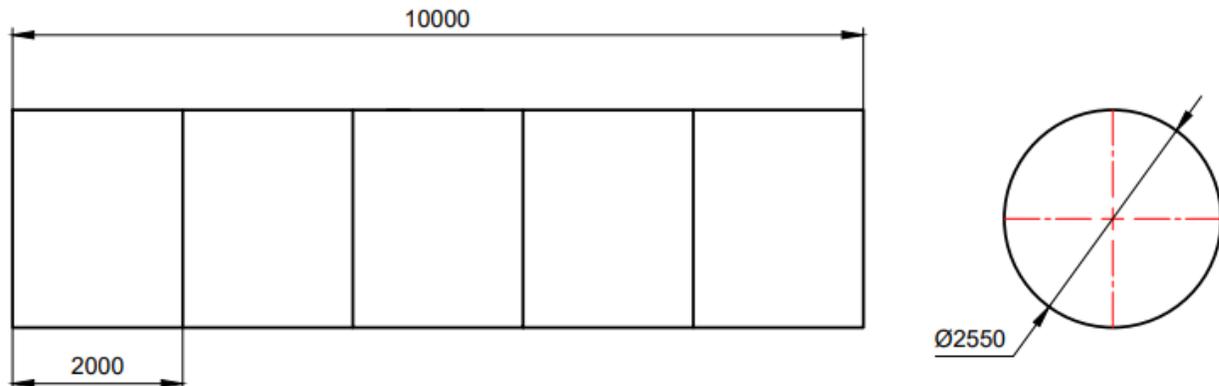
Operação que visa obter a união de duas ou mais peças, assegurando, na junta soldada, a continuidade de propriedades físicas, químicas e metalúrgicas“ durante o seu desempenho.

Segundo (GOMES, 2017), é utilizada a Soldadura com Eléctrodo Revestido (SMAW) para a preparação dos passos de enchimento para a soldadura circular.

Utiliza-se a soldadura MIG/MAG como parte do processo da soldadura circular para a união de virolas. Esta técnica é usada para fixar a posição das virolas a soldar.

A sequência de soldagem nas fases de montagem e soldagem são de suma importância para evitar distorções nas chapas provenientes das contrações geradas durante a solidificação do metal de adição. Após o correto alinhamento horizontal das virolas são efetuados pequenos pontos nas extremidades de forma a criar um cilindro (GOMES, 2017).

Figura 4- União de virolas para formar o corpo do tanque



Fonte: Desenhado pelo autor

Atenção especial deve ser tomada para o uso da corrente adequada à espessura da chapa, espaçamento entre as chapas e tamanho do reforço de solda, pois estes são fatores agravantes para deformações em chapas após soldagem (Tomé, 2014).

#### 2.3.4.1. Soldadura com Eléctrodo Revestido

Segundo (Jr & Ramalho, 2002) o processo de soldagem por arco eléctrico com eléctrodo revestido consiste, basicamente, na abertura e manutenção de um arco eléctrico entre o eléctrodo, o revestido e a peça a ser soldada.

O arco funde simultaneamente o eléctrodo e a peça. O metal fundido do eléctrodo é transferido para a peça, formando uma poça fundida que é protegida da atmosfera ( $O_2$  e  $N_2$ ) pelos gases de combustão do revestimento. O metal depositado e as gotas do metal fundido que são ejetadas recebem uma proteção adicional através do banho de escória, que é formada pela queima de alguns componentes do revestimento (Jr & Ramalho, 2002).

#### Características do processo

- ✓ Processo extremamente simples;
- ✓ Investimento em equipamento é relativamente baixo;
- ✓ Processo bastante utilizado na soldagem de aços baixo carbono, aços de baixa, média e alta liga, aço inoxidável, ferros fundidos, alumínio, cobre, níquel e ligas destes;
- ✓ Diferentes combinações de metais dissimilares podem ser soldadas com eléctrodo revestido;
- ✓ Pode ser usado em todas as posições (depende do tipo de revestimento);
- ✓ É indicado para metal de base com espessura entre 3,0 mm a 40 mm e em áreas de acesso limitado. Para espessuras inferiores a 2 mm, o material é facilmente perfurado pelo calor do arco, antes da formação da poça de fusão;
- ✓ Para espessuras muito grandes a baixa produtividade do processo pode ser um fator limitante;

A grande limitação do processo é o fato de se tratar de um processo tipicamente manual, cujo nível de habilidade do soldador é fundamental para se obter uma solda de qualidade. O soldador é responsável pela abertura e fechamento do arco elétrico, pela troca do eléctrodo e pela execução dos movimentos e controle das velocidades de avanço e de mergulho do mesmo. Estes movimentos devem ser realizados de forma que o comprimento do arco seja mantido constante durante o processo (GOMES, 2017).

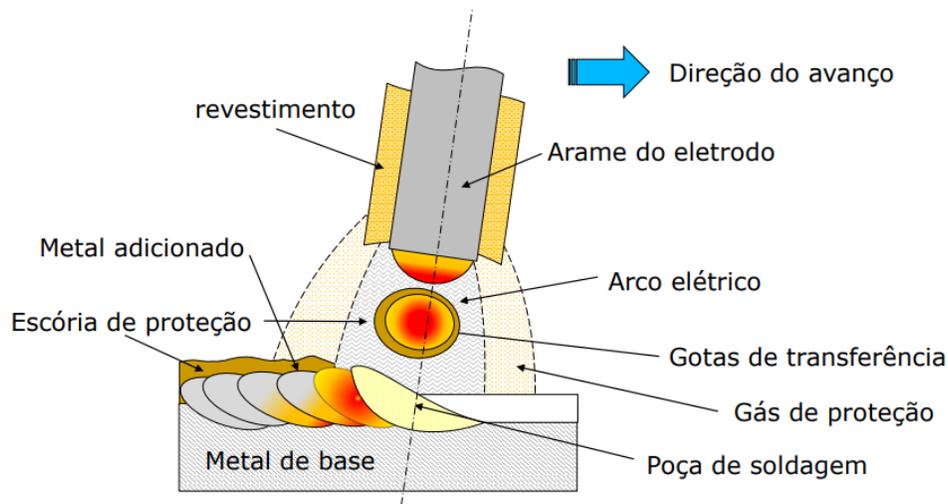
### **Parâmetros de soldagem**

Parâmetros de soldagem para o processo de soldagem manual com eléctrodo revestido:

- ❖  $v$ =velocidade de soldagem;
- ❖  $d$ =diâmetro do eléctrodo;
- ❖  $a$ =comprimento do arco voltaico;
- ❖  $T$ =temperatura de preaquecimento;
- ❖  $U$ =tensão de soldagem;
- ❖  $I$ = corrente de soldagem.

Os parâmetros de soldagem, portanto, devem ser regulados antes da soldagem e durante a soldagem, devem ser permanentemente monitorados.

Figura 5- Arco elétrico produzido pela soldadura SMAW



Fonte: (GOMES, 2017)

#### 2.3.4.1.1. Influência da atmosfera na poça de fusão

De acordo com (Jr & Ramalho, 2002) todos os processos de soldagem por arco elétrico precisam de algum tipo de proteção para evitar contaminações da atmosfera.

No caso do processo de soldagem aqui estudado, será o revestimento dos eléctrodos que, entre outras coisas, produzirá uma protecção gasosa através de sua queima.

Um eléctrodo sem revestimento e sem nenhum outro tipo de protecção, após sua fusão perde parte de seus elementos e deposita um metal nitretado e oxidado, cujo valor das propriedades mecânicas será relativamente inferiores as das chapas de aço doce. Estes dois elementos químicos (Nitrogênio e Oxigênio) são os principais para influenciar a deterioração das propriedades.

#### 2.3.4.1.2. Eléctrodos Revestidos

Os eléctrodos revestidos são constituídos de uma alma metálica rodeada de um revestimento composto de matérias orgânicas e/ou minerais, de dosagens bem definidas. O material da alma metálica depende do material a ser soldado, podendo ser da mesma natureza ou não do metal de base, uma vez que há a possibilidade de se utilizar revestimentos que complementem a composição química da alma.

O diâmetro indicado de um eléctrodo corresponde sempre ao diâmetro da alma. Os diâmetros de mercado variam na faixa de 2 a 6 mm, embora existam eléctrodos especiais com dimensões diferentes destas (Jr & Ramalho, 2002).

Para os materiais mais comumente soldados, os tipos de almas utilizados são os que aparecem na tabela 5.

Tabela 5- Materiais da alma dos revestimentos

<b>MATERIAL SOLDAR</b>	<b>MATERIAL DA ALMA</b>
Aço doce e baixa liga	Liga Aço efervescente ( $C < 0,10 \%$ )
Aços inoxidáveis	Aço efervescente ou aço inoxidável
Ferros fundidos	Níquel puro, liga Fe-Ni, Ferro fundido, aço, bronze, etc.

## Composição dos Revestimentos

Tabela 6- Elementos adicionados no revestimento

<b>FUNÇÕES BUSCADAS</b>	<b>ELEMENTOS ADICIONADOS</b>
Formadores de gás	Celulose, dolomita, $CaCO_3$ , etc.
Formadores de escória e materiais fundentes	Argila, talco, $TiO_2$ , $CaCO_3$ , $SiO_2$ , Fe-Mn, FeO, feldspato, asbestos, etc.
Estabilizadores de arco	$TiO_2$ , ilmenita, silicatos de Na e K, etc.
Desoxidantes	Fe-Si, Fe-Mn, Fe-Cr, etc.
Elementos de liga	Fe-Ni, Fe-Mn, Fe-Cr, etc.

A AWS - American Welding Society (Sociedade Americana de Soldagem) criou um padrão para a identificação dos eléctrodos revestidos que é aceite, ou pelo menos conhecido, em quase todo o mundo. Devido a simplicidade, e talvez o pioneirismo, esta

é a especificação mais utilizada no mundo atualmente para identificar eléctrodos revestidos (Jr & Ramalho, 2002).

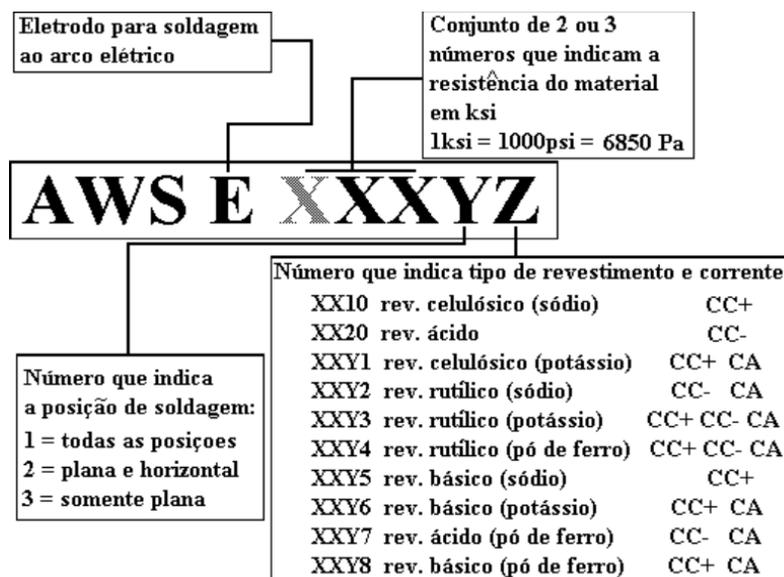
Estas especificações são numeradas de acordo com o material que se pretende classificar, conforme a tabela 7.

*Tabela 7- Especificações AWS para eléctrodos revestidos*

<b>REF. AWS</b>	<b>Eléctrodo para:</b>
A 5.1	Aços ao Carbono
A 5.3	Alumínio e suas ligas
A 5.4	Aços inoxidáveis
A 5.5	Aços com baixa liga
A 5.6	Cobre e suas ligas
A 5.11	Níquel e suas ligas
A 5.13	Revestimento (alma sólida)
A 5.15	Ferros fundidos
A 5.21	Revestimento (alma tubular com carbonetos de Tungstênio)

Entre estas especificações as mais populares são as utilizadas para aço Carbono (AWS A 5.1), as utilizadas para aços de baixa liga (AWS A 5.5), e as utilizadas para aços inoxidáveis (AWS A 5.4). A primeira (AWS A 5.1) tem uma forma simples de ser interpretada que pode ser vista na figura 7 a seguir.

Figura 6- Norma AWS A 5.1



Fonte: (Jr & Ramalho, 2002)

## Escolha do diâmetro

Tabela 8- Classificação dos eléctrodos segundo AWS

Classificação AWS							
Diâmetro (mm)	Corrente de Soldagem (A)						
	E XX10 E XX11 E XX10-XX	E XX12	E XX13	E XX14	E XX24	E XX15 E XX16	E XX18 E XX18-XX
1.60	-	25-40	30-50	-	-	-	-
2.00	-	40-65	40-65	-	-	-	45-70
2.50	55-75	60-85	60-85	60-90	80-120	65-90	70-90
3.25	90-130	100-130	100-130	100-140	180-225	100-130	100-140
4.00	130-160	140-180	140-180	140-180	270-320	130-170	130-190
5.00	160-200	200-250	200-250	200-250	300-340	180-230	180-250
6.00	180-220	280-350	170-350	230-300	320-360	230-300	230-310

Sendo assim, para o eléctrodo utilizado E7018 temos:

- ✓ Um eléctrodo (letra E);
- ✓ Tensão de roptura do metal de adição: 70 ksi (70) ou 485 MPa;
- ✓ Soldabilidade em todas as posições (1);
- ✓ Básico ou baixo hidrogênio com adição de pó de ferro (8).

As condições adequadas de armazenagem e utilização são disponibilizadas pelos fabricantes de eléctrodos.

De acordo com (GOMES, 2017), os eléctrodos de classificação E7018 são de baixo hidrogênio com adição de pó de ferro. O arco mais suave e a facilidade de soldagem do eléctrodo E7018 tornam-no o favorito dos soldadores. Correntes de soldagem relativamente mais altas e adições de pó de ferro fundindo no metal de solda resultam em maiores taxas e eficiências de deposição. O eléctrodo básico E7018 deposita o metal de solda de melhor qualidade para a soldagem de aços de baixo carbono. Quando os eléctrodos E7018 tiverem que ser empregados em passes de raiz de juntas de topo, a raiz deve ser selada por um cobre-juntas.

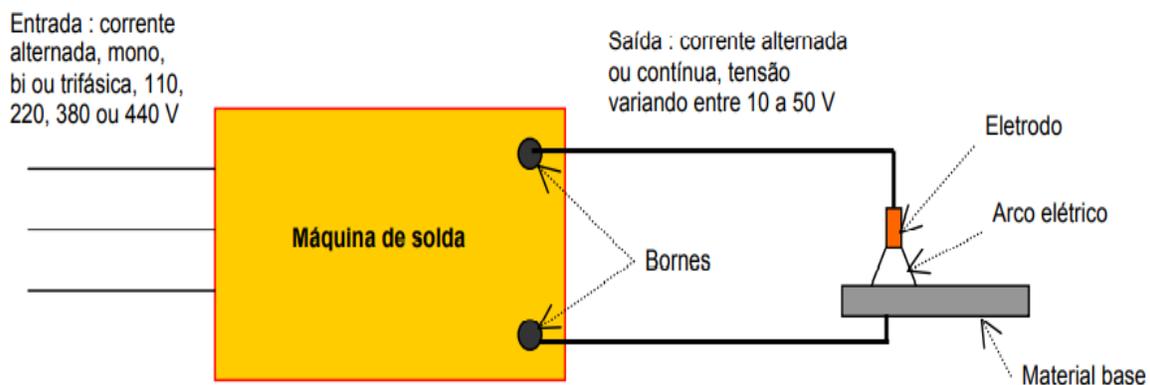
### 2.3.4.1.3. Componentes necessários ao processo

#### Fontes de energia

Para obtenção do arco elétrico necessitamos de uma fonte de energia, denominada vulgarmente de máquina de solda e tecnicamente de fonte de soldagem. São máquinas que permitem a obtenção do arco elétrico em baixas tensões (10 a 50 V) e altas correntes (40 a 500 A), sendo utilizada em soldagem nos processos Eléctrodo Revestido, MIG/MAG, TIG, Arco Submerso, Plasma e Eletroescória (Okimoto, 2007).

De forma esquemática, uma máquina de solda pode ser representada pela figura 8.

Figura 7- Representação esquemática de uma máquina de solda por arco elétrico



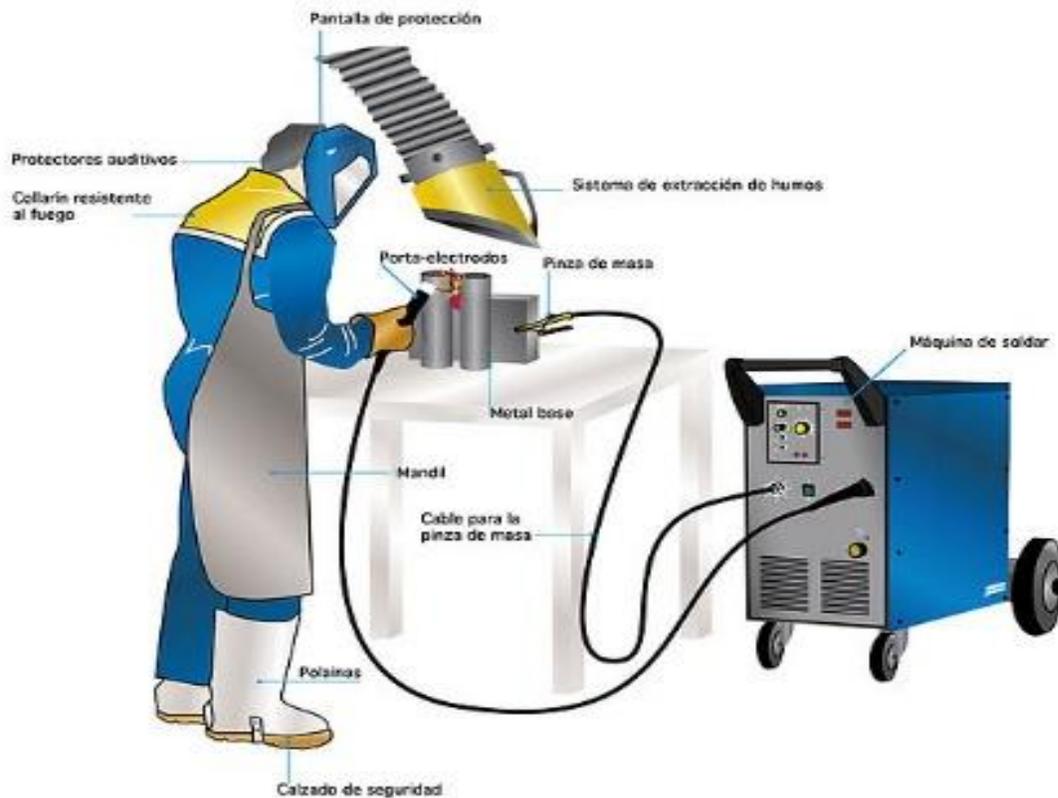
Fonte: (Okimoto, 2007)

A máquina de solda é alimentada pela rede elétrica, monofásica, bifásica ou trifásica, em tensões normais de 110, 220, 380 ou 440V. Qualquer que seja a alimentação, a tensão de saída nos bornes da máquina deverá estar entre 10 a 50 V, e o tipo de corrente poderá ser alternada ou contínua (Okimoto, 2007).

As máquinas de solda mais simples são pequenos transformadores, que reduzem a tensão de alimentação para as tensões mencionadas, mantendo a corrente alternada. Devido a simplicidade do equipamento, são de baixo custo e aplicados em processos de soldagem que se trabalhe com corrente alternada. Exemplo típico deste tipo de equipamento são as pequenas máquinas de solda de eléctrodo revestido utilizadas em metalúrgicas de pequeno porte ou mesmo para uso em campo (Okimoto, 2007).

Para processos que requeiram o uso de corrente contínua, existem as máquinas de solda conhecidas como fontes retificadoras. Elas retificam a corrente através de díodos e tirístores, sendo muito aplicados no processo MIG/MAG, eléctrodo revestido e TIG. Devido a maior complexidade do equipamento, seu custo é mais elevado. Devido a grande evolução da eletrônica, atualmente são construídos equipamentos cada vez menores e mais versáteis. Na década de 80/90 foram lançadas as chamadas fontes inversoras, que reduziram drasticamente o tamanho dos equipamentos (Okimoto, 2007).

Figura 8- Soldadura SMAW

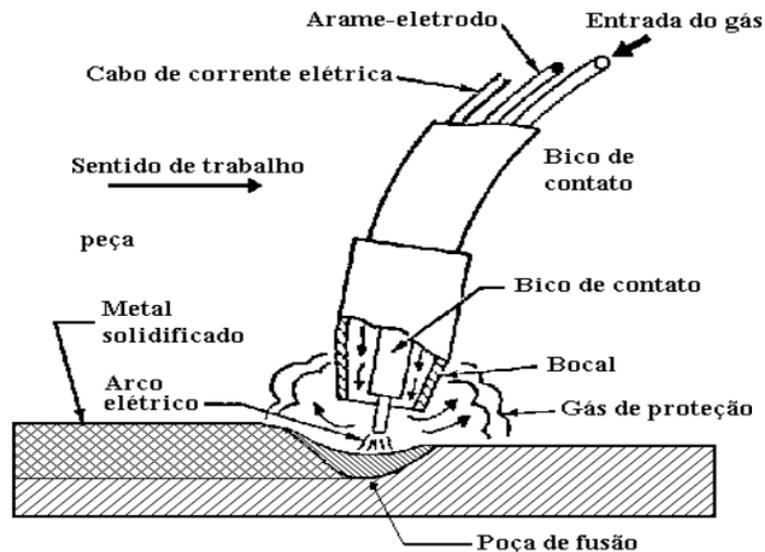


Fonte: (Okimoto, 2007)

#### 2.3.4.2. Soldadura com Proteção Gasosa MIG/MAG

Na soldagem ao arco elétrico com gás de proteção (GMAW- Gas Metal Arc Welding), também conhecida como soldagem MIG/MAG (MIG- Metal Inert Gas e MAG – Metal Active Gás), um arco elétrico é estabelecido entre a peça e um consumível na forma de arame. O arco funde continuamente o arame à medida que este alimenta a peça de fusão. O metal de solda é protegido da atmosfera pelo fluxo de um gás (ou mistura de gases) inerte ou ativo (Jr & Ramalho, 2002).

Figura 9- Princípios básicos do processo MIG / MAG



Fonte: (Jr & Ramalho, 2002)

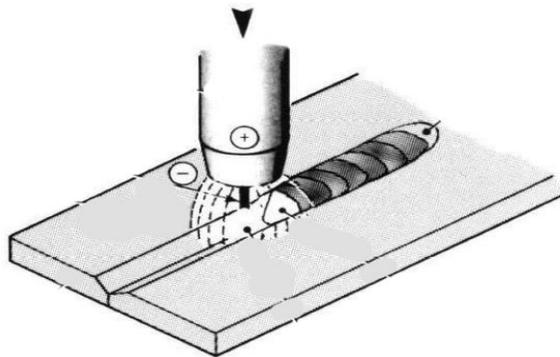
Segundo (Jr & Ramalho, 2002), os dois processos diferem entre si unicamente pelo gás que utilizam, uma vez que os componentes utilizados são exatamente os mesmos. A simples mudança do gás por sua vez será responsável por uma série de alterações no comportamento das soldagens. Os gases nobres (processo MIG) são preferidos por razões metalúrgicas, enquanto o CO<sub>2</sub> puro, é preferido por razões econômicas.

O processo MAG é utilizado somente na soldagem de materiais ferrosos, enquanto o processo MIG pode ser usado tanto na soldagem de materiais ferrosos quanto não ferrosos como Aços, Alumínio, Cobre, Magnésio, Níquel e suas ligas.

Uma das características básicas deste processo, em relação aos outros processos de soldagem manuais, é sua alta produtividade, que é motivada, além da continuidade do arame, pelas altas densidades de corrente que o processo pode ser utilizado.

O processo de soldagem funciona com corrente contínua (CC), normalmente com o arame no polo positivo (figura 11). Essa configuração é conhecida como polaridade reversa. A polaridade direta é raramente utilizada por causa da transferência deficiente do metal fundido do arame de solda para a peça (Jr & Ramalho, 2002).

Figura 10- Polaridade na soldadura MIG/MAG



Fonte: (Jr & Ramalho, 2002)

### Características do Processo

- Índice de deposição: 1 a 15 kg / h;
- Diâmetro do Eléctrodo: varia entre 0,8 e 3,2 mm;
- Espessuras soldáveis: 1,2 mm mínimo na soldagem automática semi-automática;
- Posições de soldagem: todas;
- Diluição: 10 a 30% com adição;
- Tipo de junta: todas;
- Faixa de corrente: 60 a 400 A

### As principais vantagens da soldagem MIG/MAG:

- ✓ Alta taxa de deposição e alto fator de trabalho do soldador;
- ✓ Grande versatilidade, quanto ao tipo de material e espessuras aplicáveis;
- ✓ Não existência de fluxos de soldagem e, conseqüentemente, ausência de operações de remoção de escória e exigência de menor habilidade do soldador, quando comparada à soldagem com eléctrodos revestidos;
- ✓ Controlo da Penetração Razoável;
- ✓ Taxa de Depósito entre 12 a 15 Kg/h;
- ✓ Automatização, Eléctrodo Contínuo;
- ✓ Facilidade de operação;
- ✓ Alta produtividade;

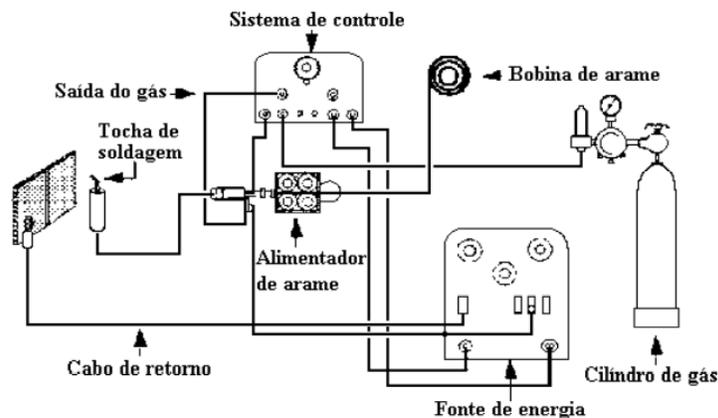
- ✓ Cordão de solda com bom acabamento;
- ✓ Soldas de excelente qualidade.

### A principal limitação da soldagem MIG/MAG

- ✓ Maior sensibilidade à variação dos parâmetros elétricos de operação do arco de soldagem, que influenciam diretamente na qualidade do cordão de solda depositado;
- ✓ Maior custo do equipamento;
- ✓ Maior necessidade de manutenção deste, em comparação com o equipamento para soldagem com eléctrodos revestidos e menor variedade de consumíveis são outras limitações deste processo;
- ✓ Risco de Inclusões com CO<sub>2</sub>;
- ✓ Boas Competências do Soldador;
- ✓ Grande sensibilidade às correntes de ar;
- ✓ Custos dos Gases de Protecção;
- ✓ Regulagem do processo bastante complexa;
- ✓ Probabilidade elevada de gerar porosidade;
- ✓ Não deve ser utilizado em presença de corrente de ar.

#### 2.3.4.2.1. Equipamento para Soldagem

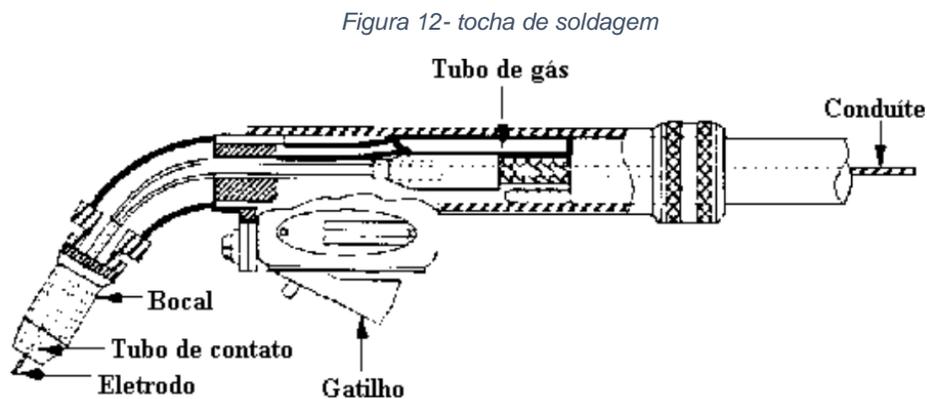
Figura 11- Equipamento básico para a soldagem MIG/MAG



Fonte: (Jr & Ramalho, 2002)

### O equipamento básico para soldagem MIG/MAG consiste de:

- Uma fonte de energia;
- Uma tocha de soldagem com um jogo de bocais;
- Um alimentador de arame;
- Um sistema de controle;
- Um par de cabos elétricos;
- Um jogo de válvulas redutoras para o gás de proteção, canalizações para transporte do gás;
- Uma fonte para o gás de proteção e uma garra para fixação do cabo a peça.



#### 2.3.4.2.2. Escolha do Arame de Solda

O arame será escolhido conforme a tabela 15 (anexo A-2-64) e os parâmetros de solda será escolhido mediante a espessura do arame pela tabela 14 (anexo A-1-64).

Especificação de arame sólido destinado à soldagem de aço carbono: Arame ER 70S6.

Neste caso:

**ER** – O prefixo E indica Eléctrodo e ER sob forma de arame ou vareta;

**70** – Indica o limite mínimo de resistência à tração multiplicado por 1.000 psi que neste caso seria de 70.000 psi ou 490 Mpa;

**S** – Indica arame ou vareta sólido;

**6** – Indica uma determinada composição química e obtida conforme ensaios específicos estabelecidos pela especificação AWS.

#### **2.3.4.2.3. Consumíveis**

Os principais consumíveis utilizados na soldagem MIG/MAG, são o arame-eletrodo e os gases de proteção. Os arames para soldagem são constituídos de metais ou ligas metálicas que possuem composição química, dureza, condições superficiais e dimensões bem controladas. Arames de má qualidade em termos destas propriedades citadas podem produzir falhas de alimentação, instabilidade do arco e descontinuidades no cordão de solda. Arames de aço Carbono geralmente recebem uma camada superficial; de cobre com o objetivo de melhorar seu acabamento superficial e seu contato elétrico com o bico de Cobre. Os arames de aço usados com proteção de CO<sub>2</sub> contém maiores teores de Silício e Manganês em sua composição, devido a sua ação desoxidante. A seleção do arame a ser utilizado em uma dada operação, é feita em termos da composição química do metal de base, do gás de proteção a ser usado e da composição química e propriedades mecânicas desejadas para a solda. A tabela 9 relaciona as especificações AWS de arames para soldagem MIG/MAG (GOMES, 2017).

*Tabela 9- Especificações AWS de Materiais de adição para MIG/MAG*

<b>Especificação</b>	<b>Materiais</b>
AWS - A 5.10	Alumínio e suas ligas
AWS - A 5.7	Cobre e suas ligas
AWS - A 5.9	Aço inóx e aços com alto Cr
AWS - A 5.14	Níquel e suas ligas
AWS - A 5.16	Titânio e suas ligas
AWS - A 5.18	Aço Carbono e baixa liga
AWS - A 5.19	Magnésio e suas ligas

#### **2.3.4.2.4. Gases de proteção**

Os gases de proteção utilizados em soldagem MIG/MAG podem ser inertes, ativos ou misturas destes dois tipos. O tipo de gás influencia as características do arco e

transferência do metal, penetração largura e formato do cordão de solda, velocidade de soldagem, tendência a aparecimento de defeitos e o custo final do cordão de solda (GOMES, 2017).

Os principais gases e misturas utilizados na soldagem MIG/MAG são apresentados na tabela 10.

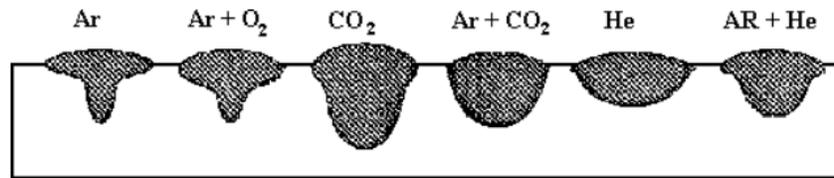
Tabela 10- Gases e misturas utilizados na soldagem MIG/MAG

<b>Gás ou mistura</b>	<b>Comportamento químico</b>	<b>Aplicações</b>
<b>Argônio (Ar)</b>	Inerte	Quase todos metais (- aço)
<b>Hélio (He)</b>	Inerte	Al, Mg, Cu e suas ligas
<b>Ar + 20 a 50 % He</b>	Inerte	ídem He (melhor que 100% He)
<b>Nitrogênio (N<sub>2</sub>)</b>	Inerte	Cobre e suas ligas
<b>Ar + 20 a 30 % N<sub>2</sub></b>	Inerte	ídem N <sub>2</sub> (melhor que 100% N <sub>2</sub> )
<b>Ar + 3 a 5 % O<sub>2</sub></b>	Oxidante	Aços Carb. e alguns b. liga
<b>CO<sub>2</sub></b>	Oxidante	Aços Carb. e alguns b. liga
<b>Ar + 20 a 50 % CO<sub>2</sub></b>	Oxidante	div. aços - transf. c. circ
<b>Ar + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub></b>	Oxidante	Diversos aços

Os gases inertes puros são utilizados principalmente na soldagem de metais não ferrosos, principalmente os mais reativos como Titânio e Magnésio. Na soldagem de metais ferrosos, a adição de pequenas quantidades de gases ativos melhora sensivelmente a estabilidade do arco e a transferência de metal. Para aços Carbono e baixa liga, o custo da soldagem pode ser reduzido com a utilização de CO<sub>2</sub> como gás de proteção. As misturas de gases inertes ou inertes com ativos, em diferentes proporções, permitem a soldagem com melhor estabilidade de arco e transferência de metal em certas aplicações.

A figura 14 mostra o perfil do cordão de solda característico para diversos gases e misturas. Entretanto, deve-se lembrar que o perfil do cordão de solda também pode ser alterado por alterações nos parâmetros de soldagem (GOMES, 2017).

Figura 13- Perfil de cordões de solda feitos com diferentes gases



Fonte: (Jr & Ramalho, 2002)

### Tipo de gás a ser usado (CO<sub>2</sub>)

A utilização de CO<sub>2</sub> puro como gás de proteção apresenta, inicialmente, uma vantagem muito grande em comparação a utilização de gases inertes que é o custo do gás. Por isto sua utilização na soldagem de aços Carbono tem aumentado muito ultimamente. A utilização deste gás possibilita a transferência metálica ocorrer tanto em modo globular ou curto-circuito. A obtenção de transferência tipo *spray* com a utilização deste gás é discutível, e de qualquer forma, instável e com muitos salpicos. Uma outra característica deste gás é sua característica oxidante. Na elevada temperatura do arco, o CO<sub>2</sub> se decompõe em monóxido de Carbono (CO) e Oxigênio (O<sub>2</sub>). O O<sub>2</sub> livre oxida o ferro do metal de base dando FeO e este reage com o Carbono da poça de fusão liberando monóxido de carbono (gás) que pode vir a provocar porosidades no cordão de solda (GOMES, 2017).

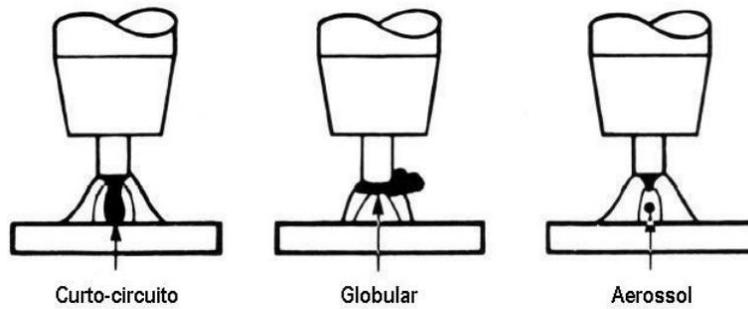
### Modos de transferência de metal

Basicamente o processo MIG/MAG inclui três técnicas distintas de modo de transferência de metal:

- Curto-circuito;
- Globular;
- Aerossol.

Essas técnicas descrevem a maneira pela qual o metal é transferido do arame para a poça de fusão.

Figura 14- Modos de transferência do metal de solda



Fonte: (Jr & Ramalho, 2002)

Os principais fatores que influenciam no modo de transferência são:

- Intensidade e tipo de corrente;
- Tensão do arco elétrico;
- Densidade da corrente;
- Natureza do arame-eléctrodo;
- Extensão livre do eléctrodo;
- Gás de proteção;
- Características da fonte de energia.

## Automação em Soldagem

Figura 15- Processo MIG/MAG automatizado



Fonte: (Protecna, 2022)

A fabricação de equipamentos através do processo de Soldagem para ser competitiva, necessita de um grau de automatização maior ou menor, dependendo das condições geométricas, disponibilidade de investimento e avaliação de objetivos. Existem desde equipamentos simples, que são manipulados manualmente, até sistemas sofisticados com controle numérico computadorizados (CNC) (Jr & Ramalho, 2002).

Segundo (Jr & Ramalho, 2002), a Soldagem pode partir do sistema manual, evoluindo até o automatizado, este último como uma característica diferenciada quando comparado ao sistema automático. À capacidade de realizar tarefas pré-definidas sem que ocorra a interferência do homem designa o sistema automático, porém quando o sistema vai além, como capacidade de decisão quando as variáveis externas e de parâmetros durante a soldagem estiverem desajustadas e ou interferindo negativamente; isto somente é possível graças a recursos sensoriais que monitoram e informam ao equipamento para que seja tomada a correta decisão.

*Figura 16- MIG/MAG Automatizado*



Fonte: Autor

## **Capitulo III- Contextualização da investigação**

### 3. Apresentação da Empresa

A Protecna é uma empresa Moçambicana de Metalomecânica e Engenharia, em 1965 fundou os seus alicerces a partir de uma reconhecida empresa de reparações de navios.



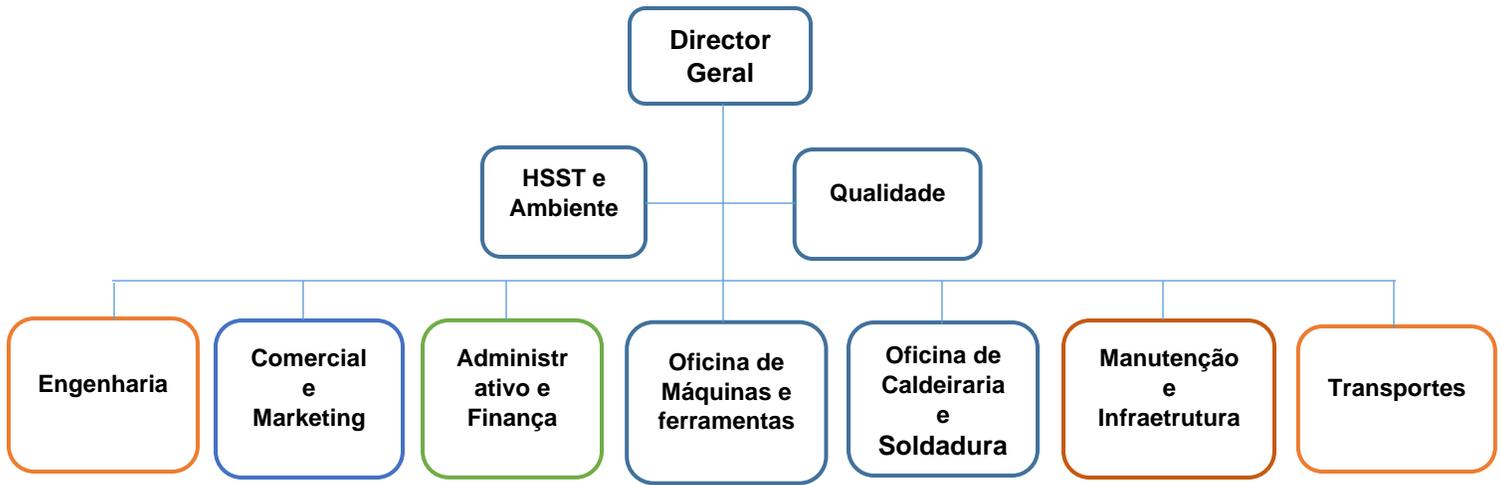
Figura 17- Vista Frontal da Protecna

Após os anos 80, a empresa foi reconstituída, e reconheceu que o melhor caminho a seguir, seria começar a prestar serviços na área da Indústria Siderúrgica, em particular na área de armazenamento e gestão de combustível.

A Protecna estabeleceu uma posição importante junto dos principais Clientes nacionais do setor de Petróleo e Gás, realizando com sucesso diversas obras importantes em diversos terminais de combustíveis de norte a sul do país.

Com o crescimento da empresa foi-lhe permitido estar presente em vários projetos simultaneamente, e em diversas áreas de negócio. Desde terminais de combustíveis, infraestruturas públicas a trabalhos realizados para vários ramos diferentes, como por exemplo o da energia hidroelétrica e da indústria geotécnica.

## Organograma Geral da Protecna



Fonte: (Protecna, 2022)

### 3.1. Divisão de áreas de trabalho

- Secção de Mecânica Auto;
- Secção de Máquinas-ferramentas;
- Secção de Caldeiraria;
- Secção de Manutenção-Industrial;
- Secção de Engenharia e Projectos.
- Secção de recursos humanos.

#### 3.1.1. Secção de Mecânica Auto

Os trabalhadores desta secção são responsáveis pela manutenção dos veículos da empresa.

#### 3.1.2. Secção de Maquinas- Ferramentas

Os trabalhadores desta secção são responsáveis por todo tipo de trabalho relacionado com a usinagem das peças e auxilia trabalhos de outras secções.

#### 3.1.3. Secção de Caldeiraria

É um ramo do setor industrial responsável pela fabricação de peças e equipamentos diversos, tendo uma versatilidade enorme.

Principais produtos fabricados:

- Tanques para armazenamento de Combustível;
- Canopy para bombas de combustível.

### **3.1.4. Secção de Manutenção-Industrial**

Nesta secção faz-se atividades que tem o objetivo de verificar e garantir a vida útil de um equipamento por mais tempo. Existem diferentes tipos de manutenção realizadas: preventiva, preditiva e corretiva. As três são importantes na rotina de uma manufatura para garantir máxima produtividade.

### **3.1.5. Secção de Engenharia e Projectos**

É a área de atuação que se dedica a oferecer soluções práticas para problemas concretos.

Nesta área são executados diversos projetos de engenharia desde os de desenvolvimento de produtos (pesquisa, concepção e desenho de produto, orçamentação, etc), gestão de projectos (desenho e projectos) e gestão de qualidade (implementação e auditoria do Sistema Integrado de Gestão, controle de qualidade, etc) entre outras atividades.

### **3.1.6. Secção de recursos humanos**

A área de Recursos Humanos é essencialmente de serviços. Suas funções variam de acordo com o tipo de organização a que pertencem, sempre visando a integração eficaz de todos os departamentos em busca dos melhores resultados.

## **3.2. Motivos de realização do trabalho na referida empresa**

Durante a fabricação dos tanques metálicos usando soldadura como um dos processos principais de fabricação, ocorriam alguns defeitos de soldadura que comprometiam a integridade do cordão, de algum modo esses defeitos comprometem a qualidade do próprio tanque. Durante a soldagem é de suma importância minimizar o máximo possível a ocorrência desses defeitos pois os tanques de armazenamento de combustível são de grande responsabilidade, em caso de existência de algum defeito que possa ocasionar vazamento do combustível causará danos sociais, económicos e prejudicará outras áreas ao redor. A realização desse trabalho tem como objectivo principal minimizar a ocorrência desses defeitos e como consequência garantir uma boa qualidade dos tanques de armazenamento de combustível.

## **Capítulo IV- Metodologia de resolução do problema**

Neste capítulo são apresentados os procedimentos necessários para responder os objectivos do trabalho, os passos que levarão a resolver um certo problema.

## **Procedimentos**

- Realizar ensaios com vista a fazer a interpretação dos resultados obtidos;
- Descrever a razão (causas) do surgimento dos defeitos;
- Apresentar a metodologia para a sua resolução, com base nas normas e especificações de soldadura (AWS) descrito na revisão bibliográfica.

### **4.1. Ensaios para detectar de defeitos de Soldadura**

#### **4.1.1. Ensaios não destrutivos (EDN)**

São ensaios praticados a um material ou equipamento, que não altere de forma permanente suas propriedades físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais.

Ensaios não destrutivos são utilizados para detectar e avaliar falhas nos materiais. Estas, geralmente, são caracterizadas por trincas, poros, inclusões de materiais no cordão de solda ou ainda variações nas propriedades estruturais, que podem levar à perda da resistência e posteriormente à falha do material (Jr & Ramalho, 2002).

**As falhas classificam-se da seguinte forma:**

#### **▪ Descontinuidades**

Imperfeições que não interferem no funcionamento de um equipamento, por exemplo vazios internos formados na estrutura do material, decorrentes de soldagem e se situam dentro do critério de aceitação.

A descontinuidade deve ser analisada à luz de algum padrão de aceitação, caso seja reprovável ela se constituirá em um defeito (Jr & Ramalho, 2002).

#### **▪ Defeitos**

Um defeito é uma descontinuidade que é crítica para o funcionamento de um equipamento, e se situam acima do critério de aceitação. Os ensaios não destrutivos são

usados para inspeção e também para o monitoramento das condições de operação das máquinas. A grande vantagem é o não descarte do material ou estrutura sob teste (Jr & Ramalho, 2002).

#### 4.1.1.1. Objetivos dos END

São utilizados para detectar e avaliar discontinuidades nos materiais. Também para controle da qualidade de materiais e produtos, contribuindo para reduzir os custos e aumentar a confiabilidade dos processos associados (Jr & Ramalho, 2002).

#### 4.1.1.2. Norma que rege os END

Existem normas específicas para cada método de ensaio, por isso é importante a correta qualificação do profissional que irá realizar o ensaio e a elaboração de procedimentos conforme tais normas. Existem também normas que regulam empresas de END, tais como a ISO 17020 (Jr & Ramalho, 2002).

#### 4.1.1.3. Tipos de Ensaio Não destrutivos

- Ensaio por inspeção visual;
- Ensaio por partículas magnéticas (Não aplicável a materiais não magnéticos);
- Ensaio por líquido penetrante;
- Ensaio por ultrassom;
- Ensaio por radiografia.

Tabela 11- Ensaio não destrutivos

	<b>Superficiais</b>	<b>Volumétricos</b>
<b>Ensaio</b>	Visual	Ensaio por ultrassom
	Líquido penetrante	Ensaio por radiografia
	Partículas magnéticas	-----

##### 4.1.1.3.1. Ensaio por inspeção visual

É uma técnica simples para detectar não somente falhas na superfície ou distorções na estrutura, mas também o grau de acabamento e de formato de uma peça. O resultado depende das condições de acesso ao local, do ambiente (iluminação) e, principalmente,

da capacidade e da experiência da pessoa responsável. Por isso é importante que o inspetor que realizar esse tipo de inspeção tenha um bom treinamento, com um conhecimento claro das exigências da peça analisada. A principal ferramenta utilizada no ensaio visual são os olhos, e podem ser usados para auxiliar na análise lupas, microscópios, projetores óticos, gabaritos e comparadores. Apresenta como principal vantagem, simplicidade de operação e baixo custo operacional (Jr & Ramalho, 2002).

#### **4.1.1.3.2. Ensaio por partículas magnéticas**

O ensaio por partículas magnéticas é utilizado na localização de descontinuidades superficiais e sub-superficiais em materiais ferromagnéticos. Pode ser aplicado tanto em peças acabadas quanto semi-acabadas e durante as etapas de fabricação.

Nesse ensaio observamos o comportamento do campo magnético dos materiais ferromagnéticos que, pela configuração das partículas, pode-se identificar características dos materiais e a possibilidade de determinação de falhas superficialmente e sub superficialmente (Jr & Ramalho, 2002).

#### **4.1.1.3.3. Teste de estanqueidade**

O teste de estanqueidade em tanques é a forma que será possível descobrir se existe algum vazamento e se isso não causará grandes problemas para a sociedade onde está instalado.

Em locais em que acontece o acúmulo da água da chuva, existem outros problemas em tanques subterrâneos com a contaminação por conta da água da chuva, caso o tanque não esteja estanque, a água pode entrar e estragar o produto. É necessário o teste de estanqueidade em tanques para garantir a sua integridade (GOMES, 2017).

Figura 18- Teste de estanqueidade em tanque



Fonte: Autor

O teste de estanqueidade em tanques é a forma que será possível descobrir se existe algum vazamento e se isso não causará grandes problemas para a sociedade onde está instalado.

Em locais em que acontece o acúmulo da água da chuva, existem outros problemas em tanques subterrâneos com a contaminação por conta da água da chuva, caso o tanque não esteja estanque, a água pode entrar e estragar o produto. É necessário o teste de estanqueidade em tanques para garantir a sua integridade (GOMES, 2017).

### **Sequência de Ensaio**

- (a) Preparar a superfície a ser ensaiada;
- (b) Executar inspeção visual em 100% da região a ser ensaiada;
- (c) Instalar o equipamento de pressurização;
- (d) Pressurizar até atingir a pressão especificada;

- (e) Deixar o sistema pressurizado por no mínimo 15 minutos;
- (f) Aplicar a solução formadora de bolhas com auxílio de pincel ou pulverização evitando-se a formação de excesso de bolhas quando da aplicação;
- (g) Executar a inspeção visual em 100% da região ensaiada para detecção de possíveis defeitos;
- (h) Após a inspeção, despressurizar o sistema e desconectar o conjunto de pressurização;
- (i) Elaborar o relatório de ensaio.

### Pressão de Ensaio

A Tabela 12 abaixo apresenta os valores exigidos pelas normas citadas nas unidades de medida de pressão mais usuais.

Tabela 12- Valor exigido de vácuo parcial

Norma aplicável	Valores de vácuo parcial (abaixo da pressão atmosférica)									
	Kgf/cm <sup>2</sup>		psi		KPa		In.Hg		mm Hg	
ASME V artigo 10 e ABNT NBR 15571	0,14		2		15		4		112	
API 620	0,21		3		20		6		156	
API 650 (normal)	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
	0,21	0,36	3	5	21	35	6	10	157	262
API 650 (vazamentos muito pequenos)	0,56	0,70	8	10	56	70	16	20	420	525

Segundo a tabela 12 a pressão a ser usada é de 30kpa.

Figura 19- Teste de estanqueidade de um tanque



Fonte: Autor

#### 4.1.1.3.4. Ensaio por líquido penetrante

De acordo com (GOMES, 2017), aplica-se, após a limpeza do material, uma camada de líquido penetrante na superfície a ser ensaiada, remove-se o excesso e, com o revelador, é possível identificar a região em que há penetração do líquido, indicando trincas ou porosidade no material. Obtêm-se melhores e mais confiáveis resultados, observando um tempo mínimo de ação do penetrante antes e depois da aplicação do revelador. O método pode revelar descontinuidades trincas extremamente finas (da ordem de 0,001 mm de abertura).

#### Vantagens

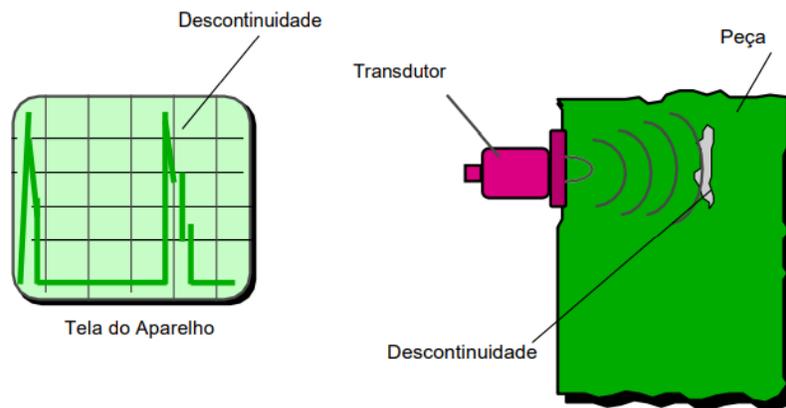
Simplicidade de aplicação e interpretação dos resultados, baixo custo, não requer grande treinamento, podem revelar descontinuidades da ordem milésima e não há limitação de tamanho ou forma da peça ensaiada (Jr & Ramalho, 2002).

## Limitações

Só detecta descontinuidades abertas para a superfície, já que o penetrante tem que entrar na descontinuidade para ser posteriormente revelado. Por esta razão, a descontinuidade não deve estar preenchida com material estranho (Jr & Ramalho, 2002).

### 4.1.1.3.5. Ensaio por ultrassom

Figura 20- Equipamento de ensaios por ultra-som



Fonte: (Jr & Ramalho, 2002)

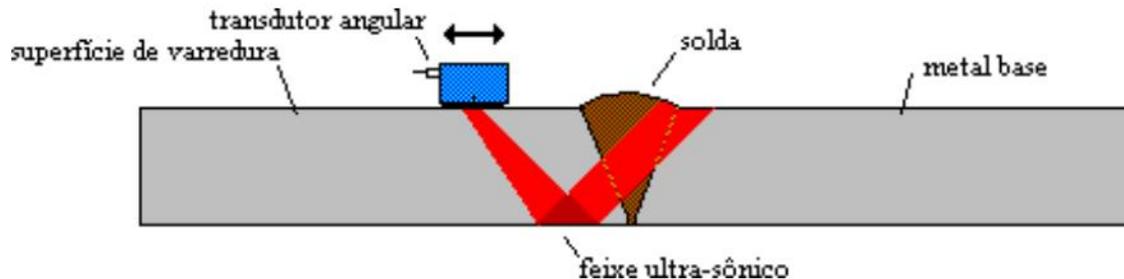
O ensaio por ultrassom caracteriza-se num método não destrutivo que tem por objetivo a detecção de defeitos ou descontinuidades internas, presentes nos mais variados tipos ou forma de materiais ferrosos ou não ferrosos. Tais defeitos são caracterizados pelo próprio processo de fabricação da peça ou componentes a ser examinada como por exemplo: bolhas de gases fundidos, dupla laminação em laminados, micro-trincas em forjados, escórias em uniões soldadas e muitos outros. Portanto, o exame ultra-sônico, assim como todo exame não destrutivo, visa diminuir o grau de incerteza na utilização de materiais ou peças de responsabilidades (Jr & Ramalho, 2002).

### Vantagens em relação a outros ensaios

O método ultra-sônico possui alta sensibilidade na decetabilidade de pequenas descontinuidades internas, por exemplo: Trincas devido a tratamento térmico, fissuras e outros de difícil detecção por ensaio de radiações penetrantes (radiografia ou gamagrafia). Para interpretação das indicações, dispensa processos intermediários,

agilizando a inspeção. No caso de radiografia ou gamagrafia, existe a necessidade do processo de revelação do filme, que via de regra demanda tempo do informe de resultados. Ao contrário dos ensaios por radiações penetrantes, o ensaio ultra-sônico não requer planos especiais de segurança ou quaisquer acessórios para sua aplicação. A localização, avaliação do tamanho e interpretação das discontinuidades encontradas são fatores intrínsecos ao exame ultra-sônico, enquanto que outros exames não definem tais fatores. Por exemplo, um defeito mostrado num filme radiográfico define o tamanho mas não sua profundidade e em muitos casos este é um fator importante para proceder um reparo (Jr & Ramalho, 2002).

Figura 21- Técnica geral para inspeção de soldas por ultrassom



Fonte: (Jr & Ramalho, 2002)

#### 4.1.1.3.6. Ensaio por radiografia

A radiografia industrial utilizada na detecção de falhas segue o mesmo princípio da radiografia clínica usada nos seres humanos, porém com doses de radiação algumas vezes maiores, o que exige um nível de segurança elevado. O princípio básico de funcionamento consiste em emitir os raios (X ou gama), sendo que uma parte é absorvida pelo material e a outra parte irá atravessá-lo sensibilizando o filme e produzindo uma imagem. A importância do ensaio de radiografia está no fato de detectar falhas em equipamentos que exigem alta confiabilidade, como gasodutos transportando óleo à alta pressão, caldeiras de vapor e equipamentos de refinaria. A radiografia industrial e o ensaio de ultrassom são dois métodos muito utilizados para comprovar a qualidade de uma peça e para poder confrontar com o que determinam as normas de construção e serviço (Jr & Ramalho, 2002).

## **Capítulo V- Apresentação e análise dos resultados**

## 5.1. Defeitos na soldagem com electrodos revestidos

### 5.1.1. Porosidade

Trata-se de um defeito em forma de cavidade que surge devido ao aprisionamento de gases durante a solidificação do metal de solda. Existem várias maneiras de se prevenir a formação de poros em juntas soldadas (Warren, 1952).

- Cavidades (falta de material) nas formas esférica/ vermicular observadas na solda.

*Figura 22- Porosidades no cordão*



Fonte: O autor

A maioria desses efeitos pode ser facilmente evitada, embora a porosidade não seja um defeito excessivamente danoso às propriedades mecânicas, exceto quando aflora à superfície.

A ocorrência desse tipo de defeito em componentes soldados pode comprometer a qualidade do produto; seja no aspecto de resistência da junta, seja no aspecto meramente estético (Warren, 1952).

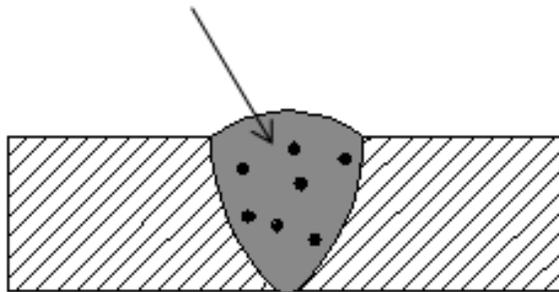
### Causas predominantes

- Soldar com presença de fortes correntes do vento;
- Chapa com humidade, verniz, tinta, graxa ou outra sujeira qualquer;
- Metal de base com teores de Carbono e/ou de Silício muito elevado;
- Eléctrodos húmidos;
- Arco muito longo;
- Intensidade muito elevada.

### Soluções práticas

- Soldar em lugares onde não haja fortes correntes do vento;
- Fazer a secagem e limpeza adequadas antes da operação de soldagem;
- Mudar o metal de base. Caso não seja possível, mudar o eléctrodo para um do tipo básico ou aumentar a temperatura de pré-aquecimento;
- Diminuir ligeiramente o valor da corrente de soldagem principalmente se o eléctrodo utilizado é do tipo rutílico.

*Figura 23- Porosidade na parte interna do cordão*



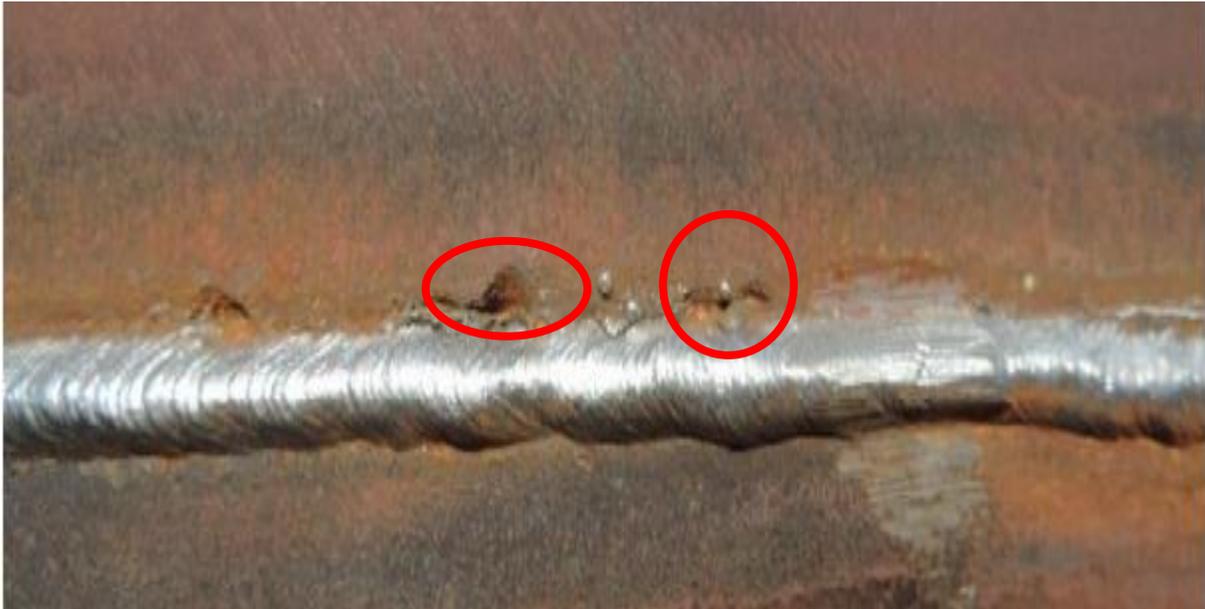
Fonte: (Warren, 1952)

#### 5.1.2. Mordeduras

Mordedura (corte) é um defeito que aparece como um entalhe no metal de base ao longo das bordas do cordão de soldadura. Geram um enfraquecimento da resistência da solda devido a perda de seção e podem ser agravadas quando submetidas a esforços cíclicos. São consideradas como um grave concentrador de tensões e geralmente são ocasionadas pelo uso de correntes elevadas, velocidade de soldagem elevada,

comprimento do arco, manipulação inadequada do eléctrodo ou tocha e por sopro magnético (GOMES, 2017).

*Figura 24- Mordeduras identificados em um tanque metálico*



Fonte: Próprio autor.

### **Causas predominantes**

- Intensidade de corrente muito elevada;
- Chapas muito oxidadas;
- Balanceamento do eléctrodo inadequado, permanecendo tempo demais nos cantos.

A diminuição da velocidade de soldadura reduzirá gradualmente o tamanho da mordedura e eventualmente eliminá-la-á.

### **Soluções práticas**

- Utilizar intensidade de corrente adequada;
- Executar limpeza e preparação adequadas;

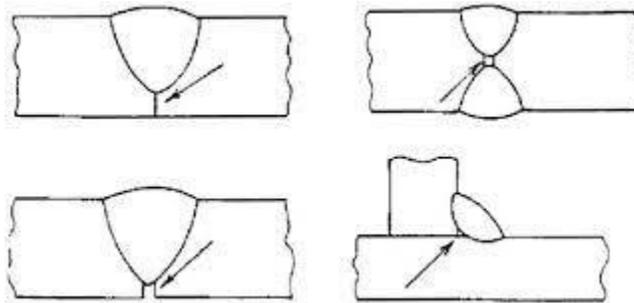
- Executar o balanço adequado Além disto, ter sempre em mente que uma velocidade de soldagem muito elevada favorece a formação deste defeito devido a não haver tempo suficiente para a adequada deposição de material.

### 5.1.3. Falta de penetração

Segundo (Jr & Ramalho, 2002) Esse tipo de defeito é encontrado quando:

- O cordão de soldadura não penetra completamente na espessura do metal de base;
- Quando dois cordões de soldadura opostos não se interpenetram;
- Quando o cordão de soldadura não penetra na garganta de uma junta angular.

*Figura 25- Falta de penetração*



Fonte: (Jr & Ramalho, 2002)

### Causas predominantes

- Má preparação de junta (afastamento insuficiente ou ângulo do chanfro insuficiente);
- Eléctrodo de diâmetro muito grande;
- Intensidade de corrente muito baixa.

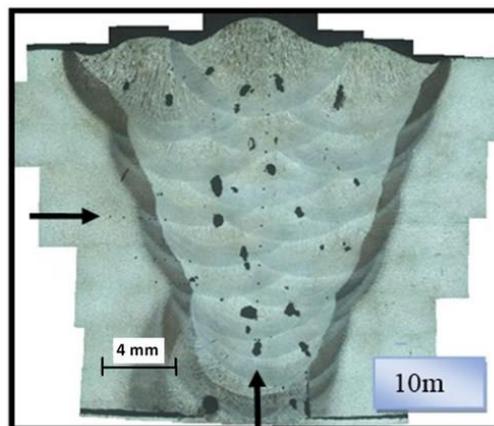
### Soluções práticas

- Utilizar uma preparação de junta adequada;
- Utilizar um eléctrodo de diâmetro menor;
- Utilizar intensidade de corrente adequada.

#### 5.1.4. Inclusão de escória

Este termo é usado para descrever partículas de óxido e outros sólidos não-metálicos aprisionados entre passes de solda ou entre a solda e o metal de base (figura 18). Em vários processos de soldagem, uma escória é formada por materiais pouco solúveis no metal fundido e que tendem a sobrenadar na superfície da poça de fusão devido à sua menor densidade. Uma manipulação inadequada do eléctrodo durante a soldagem pode fazer com que parte da escória escoe à frente da poça de fusão aprisionando-a sob o cordão. Adicionalmente, na soldagem com vários passes, parte da escória depositada com um passe pode ser inadequadamente removida e não ser refundida pelo passe seguinte ficando aprisionada sob este passe. Diversos fatores podem dificultar a remoção da escória, incluindo, a formação de um cordão irregular ou o uso de um chanfro muito fechado. Este tipo de descontinuidade aparece, em geral, com uma forma alongada em radiografias. Inclusões de escória podem agir como concentradores de tensão favorecendo a iniciação de trincas (Jr & Ramalho, 2002).

Figura 26- Inclusão de escória



Fonte: (Jr & Ramalho, 2002)

Podem ser identificadas com o uso de aparelho de ultrassom ou por ensaios com partículas magnéticas.

### **Causas predominantes**

- Chapas oxidadas;
- Intensidade de corrente muito baixa;
- Má repartição dos cordões;
- Falta ou inadequada limpeza entre os cordões.

As causas geralmente estão associadas a falta de limpeza da região a ser soldada ou entre passes, falta de remoção da escória entre passes, aporte térmico abaixo do necessário para fundir toda a escória, manipulação inadequada do eléctrodo, projeto do chanfro inadequado e falta de remoção da raiz da solda (GOMES, 2017).

### **Soluções práticas**

- Executar limpeza e preparação adequadas;
- Utilizar intensidade de corrente adequada;
- Planejar uma sequência adequada para dividir os cordões;
- Fazer uma adequada limpeza entre os cordões de solda.

Esta descontinuidade pode ser evitada por meio de limpeza total de óxidos, graxas, de toda junta a ser soldada, remoção de toda escória, soldagem com eléctrodos aquecidos e limpeza entre passes. Pode ser identificada utilizando-se ensaios visuais nos chanfros antes da execução das soldas, ensaios com líquido penetrante na raiz e soldagem com eléctrodos na temperatura adequada (GOMES, 2017).

## **5.2. Defeitos na soldagem com MIG/MAG**

Com as condições e técnicas de soldagem corretas e com os materiais também corretos o processo MIG/MAG resultará num depósito de solda de alta qualidade. Entretanto, assim como em qualquer outro processo de soldagem, os defeitos de solda podem ocorrer. A maioria dos defeitos encontrados na soldagem é causada por práticas de soldagem inadequadas. Uma vez que as causas sejam determinadas, o operador pode facilmente corrigir o problema (GOMES, 2017).

Alguns defeitos as suas causas e soluções são idênticas com as que ocorrem na soldadura por eléctrodo revestido, nomeadamente:

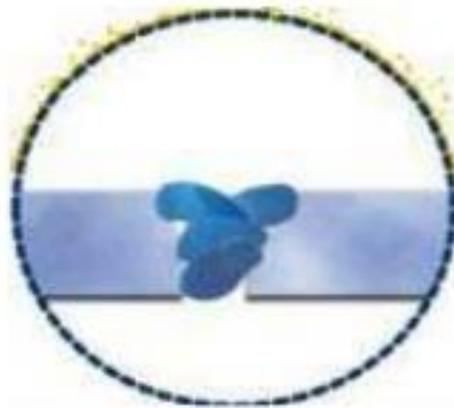
- Falta de penetração;
- Falta de fusão;
- Mordedura;
- Porosidade;
- Trincas;

Alguns defeitos encontrados no processo MIG/MAG tem causas diferentes em relação a soldadura por eléctrodo revestido.

### 5.2.1. Falta de fusão

Segundo (Jr & Ramalho, 2002) a falta de fusão ocorre onde não existir fusão entre o metal de solda e as superfícies do metal de base. Este defeito pode ser observado na Figura 19.

*Figura 27- falta de fusão na junta*



Fonte: (Felizardo, 2016)

### Causas predominantes

- Uso de uma junta de solda muito larga. Se o arco for dirigido diretamente para o centro da junta, o metal de solda fundido apenas fluirá e fundir-se-á contra as paredes do chanfro sem, porém, fundi-las.

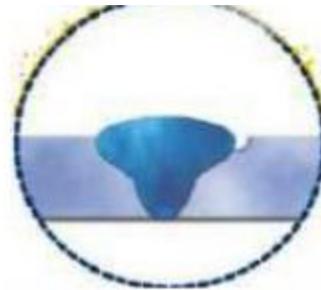
- Uso de uma corrente de soldagem muito baixa ou uma velocidade de soldagem inadequada.

### Soluções práticas

- O calor do arco deve ser usado também para fundir o metal de base, o que é alcançado tornando a junta mais estreita ou dirigindo o arco também para as paredes do chanfro.
- Ajustar a intensidade da corrente adequada e velocidade de solda segundo às recomendações técnicas.

### 5.2.2. Mordedura

*Figura 28- Mordeduras no metal base*



Fonte: (Felizardo, 2016)

Esse tipo de defeito na soldadura por MIG/MAG é mais comumente causado por parâmetros de soldagem inadequados, particularmente a velocidade de soldagem e a tensão do arco (Jr & Ramalho, 2002).

### Soluções práticas

- A diminuição da velocidade de soldagem reduzirá gradualmente o tamanho da mordedura e eventualmente eliminá-la-á;
- O comprimento do arco deve ser mantido curto, não só para evitar mordeduras, mas também para aumentar a penetração e garantir a integridade da solda.
- É sempre recomendável permanecer dentro das faixas de correntes especificadas para cada diâmetro de arame.

### 5.2.3. Porosidade

As causas mais comuns da porosidade são a contaminação atmosférica, excesso de oxidação nas superfícies das peças a serem soldadas, elementos de liga desoxidantes inadequados no arame e a presença de sujeira (GOMES, 2017).

A contaminação atmosférica pode ser causada por:

- Vazão de gás de proteção insuficiente;
- Vazão de gás de proteção excessiva, que pode causar aspiração de ar para dentro do fluxo do gás de proteção;
- Bocais obstruídos ou sistema de fornecimento de gás danificado (mangueiras e conexões com vazamentos, etc.);
- Correntes de ar excessivas na área da soldagem, que podem arrastar o gás de proteção da região da poça de fusão.

### Soluções práticas

- Verificar o nível de gás existente na botija;
- Regular segundo as recomendações técnicas o vazamento do gás necessário para proteção do banho de solda;
- Fazer limpeza e verificação dos bocais necessários para o fornecimento do gás de proteção;
- Soldar em locais em que a corrente de ar são adequadas para soldar com MIG/MAG;
- Vazão de gás deve ser inspecionada a intervalos regulares para assegurar que esteja livre de vazamentos.

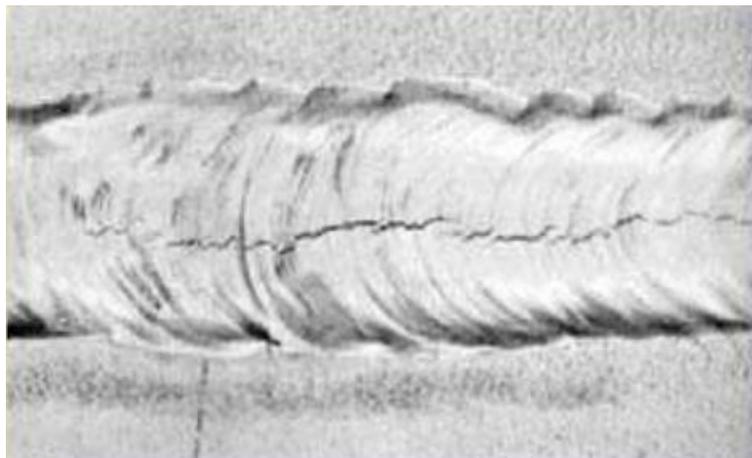
### 5.2.4. Trincas no cordão de solda

Trincas no cordão de solda são frequentemente encontradas na soldagem MIG/MAG. As Trincas de solidificação, conhecidas também como trincas a quente, são fissuras produzidas pela alta temperatura. Normalmente, ocorrem durante o processo de resfriamento, especialmente em metais de solda e na Zona Termicamente Afetada (ZTA).

As trincas podem aparecer na zona afetada pela solda (Zona Fundida ou Zona Afetada pelo Calor) devido a diversos fatores, como pela contração do metal em solidificação e pelo crescimento de grãos, e podem ser classificadas como trincas a frio, trincas de solidificação, trincas de liquação e trincas de reaquecimento (GOMES, 2017).

A maioria dos aços pode ser soldada com um metal de solda de composição similar à do metal de base. Muitos aços com alto teor de liga e a maioria das ligas não ferrosas requerem eléctrodos ou metal de adição diferentes do metal de base porque possuem uma faixa de temperatura de solidificação maior do que outras ligas. Isso torna essas ligas suscetíveis à fissuração de solidificação ou a quente, que pode ser evitada mediante a escolha de consumíveis especiais que proporcionam a adição de elementos que reduzem a faixa de temperatura de solidificação. A fissuração a quente também é fortemente influenciada pela direção de solidificação dos grãos na solda (Jr & Ramalho, 2002).

*Figura 29- trinca no cordão de solda*



Fonte: (Jr & Ramalho, 2002)

Entretanto, essas trincas só podem ser de dois tipos:

- Trincas de solidificação
- Trincas induzidas por hidrogênio

Trincas formam-se no cordão de solda durante o resfriamento, ou seja, devido ao efeito das contrações.

Causas predominantes Podem ser diversas, algumas para exemplificar:

- Aço muito duro (% de Carbono elevada);
- Espessura muito elevada e peça soldada sem pré-aquecimento;
- Falta de penetração ou secção do cordão de solda insuficiente;
- Temperatura ambiente muito baixa;

### **Soluções práticas**

- Trocar o material ou soldar com pré-aquecimento;
- Pré-aquecer caso utilizar material de base de elevada espessura;
- Executar o cordão da maneira adequada;
- Resfriar a peça lentamente;

A maioria dos defeitos que ocorrem durante são causados por regulação incorreta dos parâmetros de soldagem e falta de habilidades do próprio soldador. Com observância de normas de soldagem consoante o tipo de material que será usado para a fabricação, pode reduzir-se de forma significativa vários defeitos que ocorrem. A qualidade dos soldadores também influenciará na qualidade da solda, investir na formação dos técnicos de soldagem e oferecendo certificações contribuirá no alcance dos resultados satisfatórias.

E por fim faz-se a limpeza e pintura.

### **5.3. Limpeza e pintura**

#### **a) Limpeza**

Antes da pintura todo o tanque será limpo por decapagem, ou por escova de aço e/ou lixas. Na decapagem o ar usado deve ser seco sem inclusos de óleo, para tal o equipamento do ar comprimido deve conter o filtro de queda de água. A granalha de aço deve ser muito bem seca e de grãos apropriados e especificada de acordo com SIS 0559 00 Depois da decapagem o tanque ou seja, toda superfície limpa será soprado por ar comprimido e seco. Antes de escovar o tanque e acessórios devem ser rebarbadas nas zonas das soldaduras e as fagulhas coladas nela sem danificar a parede do tanque, as

superfícies que serão lixadas deve serem escovada com escova de aço antes de lixar. As escovas e lixas deve serem secos e sem inclusões de óleo (Protecna, 2022).

### **b) Pintura**

A pintura não deve ser feita nas superfícies que contém massas consistentes, óleos, sujidade, por cima de corrosão ou no material não preparado para o efeito. A pintura não deve ser feita nos dias de mão tempo (Baixa temperatura, ventos fortes e chuvas). Durante o processo da pintura não deve se seguir a outra demão antes do tempo de secagem especificado por fabricante. A tinta deve ser agitada com um mexedor mecânico de modo a ficar homogénea pronto para uso. A pintura deve ser uniforme em todas superfícies, cantos e outras similares (Protecna, 2022).

A pintora protegerá o tanque metálico contra a corrosão (tabela 13).

*Tabela 13- Pintura contra corrosão*

<b>Sequência</b>	<b>Actividade</b>
<b>Primeiro</b>	O tanque será lavado e seco.
<b>Segundo</b>	Após o tanque estar limpo seco, será pintado com a Tinta <i>Epoxy</i>

## **Capítulo VI – Conclusões e Recomendações**

## **6. Conclusão**

De acordo com os objectivos específicos apresentados no capítulo I do presente trabalho, a fabricação 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.

Maioria dos defeitos encontrados na soldagem são causados por práticas de soldagem inadequadas que podem ser devido a regulagem inadequado dos parâmetros de soldagem, pouca experiência por parte do soldador e não observância de normas de soldagem preestabelecidas para que sejam cumpridas, garantindo uma soldadura eficaz.

Para que esses defeitos sejam minimizados será necessário regular os parâmetros corretos de soldagem conforme às normas que especificam os procedimentos de solda, e atribuir tarefas a soldadores qualificados.

## 7. Recomendações

Para diversas aplicações, as normas relevantes exigem que, antes da execução da soldagem de produção, os procedimentos que serão adotados para a sua execução sejam especificados e testados (qualificados). Este processo visa demonstrar que, através do procedimento proposto, soldas adequadas, de acordo com os requisitos colocados pela norma possam ser obtidas.

Na soldagem a arco, variáveis do procedimento que podem fazer parte de uma Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS) incluem, por exemplo, a composição, classe e espessura do(s) metal(is) base, processo(s) de soldagem, tipos de consumíveis e suas características, projeto da junta, posição de soldagem, corrente, tensão e velocidade de soldagem.

Por essa razão recomenda-se fazer:

- A certificação interna dos soldadores, pois contribuirá para o controle de qualidade mais efetivo nas soldas executadas.
- A observância das normas de procedimento de soldagem com vista a reduzir a quantidade de defeitos.

## 8. Bibliografia

### 8.1. Referências Bibliográficas

1. Barros, A. D. (2002). Óleos combustíveis. Belo Horizonte, Brasil: DENEK da UFMG.
2. Felizardo, I. (2016). tecnologia da soldagem. *centro federal de educação tecnológica*, p. 13-16.
3. Gomes, E. F. (2017). soldagem em reservatórios metálicos para armazenamento de água. (pp. p. 18-21). belo horizonte: universidade federal de minas gerais.
4. Jr, L. G., & Ramalho, J. P. (2002). tecnologia dos processos de soldagem e corte. pp. 174-869.
5. LINDENBERG, A. [. (2008). Área de tancagem [Em linha]. Salvador da Baía, Brasil: SENAI.
6. Mulima, J. (2020). Introdução ao processo de soldadura. *UEM - Faculdade de Engenharia- Departamento de Engenharia Mecânica*, p. 5-6.
7. Okimoto, P. C. (2007). Introdução ao Arco elétrico. *Universidade Federal , Paraná*, p. 1-7.
8. PAIVA, M. (2020). análise de construção e ativação de caldeiras flamotubular de acordo com a NR-13. *centro universitário do sul de minas – UNIS/MG*, pp. 25-26.
9. Protecna. (2022). Memória Descritiva dos Tanques Modelo Galp. p. 1-5.
10. SATO, A. K. (2015). projeto de um tanque de armazenamento atmosférico com teto flutuante para estocagem de gasolina. Guaratinguetá - SP.
11. Souza, M. B. (2021). Implantação da certificação interna de soldagem e soldadores em uma empresa de fabricação de tanques metálicos jaquetados subterrâneos para combustíveis em Teresina. *Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica, Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central*, p.23.
12. Suzuk, C. E. (2007). Estudo comparativo de alternativas para o desenvolvimento, Projecto e Fabricação de um tanque de combustível para automóveis de passageiros dentro da General Motors do Brasil., (pp. 12-21). Universidade de São Paulo.
13. Tomé, P. M. (2014). Simulação de um Processo Industrial de Fabrico de Torres Eólicas. *Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em*, (p. p.20). Lisboa.

14. Trindade, J. d., & Silva, G. C. (Junho de 2016). Soldagem de tanques de armazenamento. *Monografia de Especialização em Soldagem, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica*, 12.
15. Warren, D. (1952). Porosity in Mild Steel Weld Metal. *Welding Journal*, p. 381-387.

## 9. Anexo

## Anexo A-1-64

Tabela 14- Parâmetros de Solda com MIG-MAG

Espessura (mm)	Arame Ø (mm)	Corrente CC+ (A)	Tensão (V)	Vel. alim. arame (mm/s)	Vazão gás prot. (L/min)	Vel. sold. (mm/s)	Número passes
1,6	0,8	60-100	15-18	65-80	12-14	6-13	1
	0,9			40-80			
2,4	0,9	125-150	17-21	95-120	12-14	8-13	1
3,2	0,9	130-160	18-24	105-120	12-14	8-10	1
4,0	1,2	190-250	22-26	85-120	12-14	10-13	1
	1,2			110-155			
6,5	1,6	225-300	22-30	45-65	14-21	10-13	1
10,0	1,6	275-325	22-30	95-105	14-21	6-8	2
12,5	2,4	300-350	22-30	30-35	14-21	2	3-4
19,0	2,4	350-375	22-30	35-40	14-21	2	5-6
25,0	2,4	350-375	22-30	35-40	14-21	1	7-8

Fonte: (Jr &amp; Ramalho, 2002)

## Anexo A-2-64

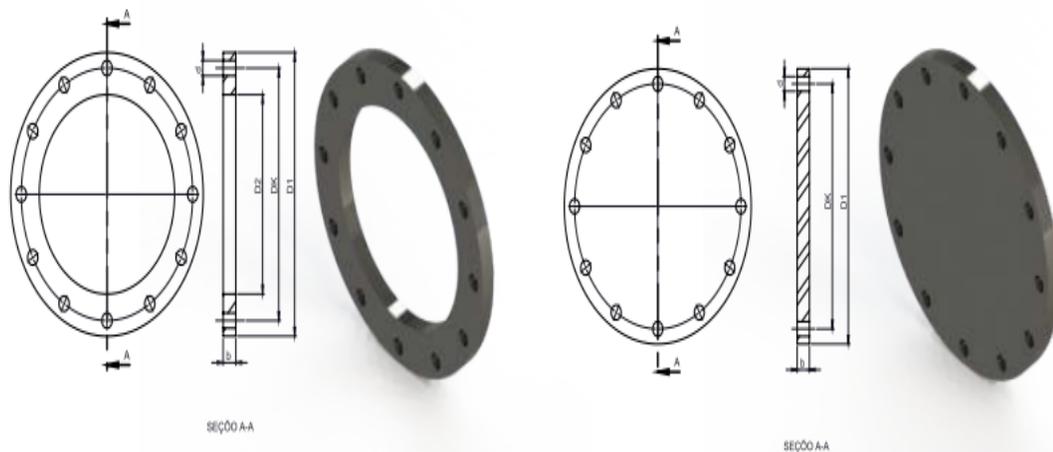
Tabela 15- Composição química para arames de aços doces e de baixa liga especificação AWS A5.18

AWS	ESAB	C	Mn	Si	S	P	Mo	Outros
ER70S-2	65	0,07	0,90-1,40	0,40-0,70	≤0,035	≤0,025	-	0,05-0,15 Ti 0,02-0,12 Zr 0,05-0,15 Al
ER70S-3	29S ou 82	0,06-0,15	0,90-1,40	0,45-0,75	≤0,035	≤0,025	-	
ER70S-4	85	0,07-0,15	1,00-1,50	0,65-0,85	≤0,035	≤0,025	-	
ER70S-5	-	0,07-0,19	0,90-1,40	0,30-0,60	≤0,035	≤0,025	-	0,50-0,90 Al
ER70S-6	OK 12.51	0,07-0,15	1,40-1,80	0,80-1,15	≤0,035	≤0,025	-	
ER70S-7	87HP	0,07-0,15	1,50-2,00	0,50-0,80	≤0,035	≤0,025	-	
ER80S-D2	83 ou Hi84	0,07-0,12	1,60-2,10	0,50-0,80	≤0,035	≤0,025	0,40-0,60	
ER70S-G	não especificado - requisitos a serem acordados entre o cliente e o fornecedor							

Fonte: (Jr &amp; Ramalho, 2002)

Anexo A-3-65

Tabela 16- Flanges com orifício, normalizados



**código FS = Flange Solto**

**código FC = Flange Cego**

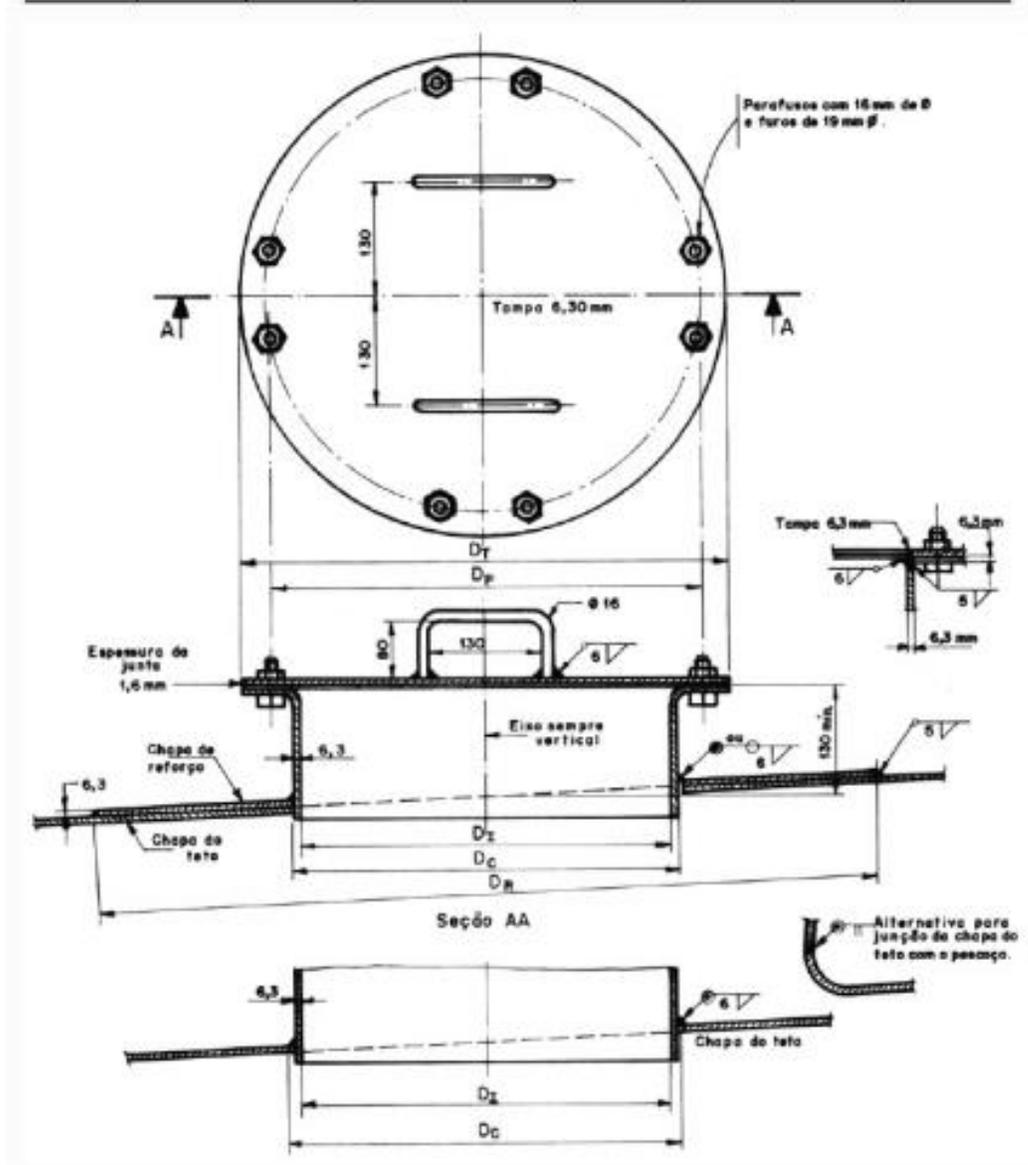
É necessário o uso de junta de vedação em borracha nitrílica com espessura de 1/8" ou 3 mm

CÓDIGO	DE (mm)	Dnom (pol)	Dnom (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	DK (mm)	d (mm)	b (mm)	Parafusos			Peso - Aço	
									qtde	Ø	L min. (mm)	solto (kg)	cego (kg)
FX25A032D	32	1"	-	115	42	85	14	18	4	M 12	100	1,1	1,3
FX25A040D	40	1 1/4"	-	140	51	100	18	18	4	M 16	100	1,7	2,0
FX25A050D	50	1 1/2"	-	150	62	110	18	18	4	M 16	110	1,9	2,3
FX25A063D	63	2"	50	165	78	125	18	21	4	M 16	130	2,5	3,3
FX25A075D	75	2 1/4"	75	185	92	145	18	22	8	M 16	140	3,2	4,3
FX25A075E	75 *	2 1/4"	75	194	92	154	18	22	8	M 16	140	3,6	4,8
FX25A090E	90 *	3"	75	194	108	154	18	25	8	M 16	140	3,6	5,5
FX25A090D	90	3"	75	200	108	160	18	25	8	M 16	140	4,0	5,8
FX25A110D	110	4"	100	235	128	190	22	25	8	M 20	150	5,4	8,0
FX25A125D	125	4"	100	235	135	190	22	25	8	M 20	160	5,2	8,0
FX25A140D	140	5"	-	270	158	220	26	25	8	M 24	170	6,6	10,5
FX25A160D	160	6"	150	300	178	250	26	29	8	M 24	180	9,3	14,8
FX25A180D	180	6"	150	300	188	250	26	29	8	M 24	190	8,6	14,8
FX25A200D	200	8"	200	360	235	310	26	32	12	M 24	200	12,9	23,6
FX25A225D	225	8"	200	360	238	310	26	32	12	M 24	200	12,6	23,6
FX25A250D	250	10"	250	425	288	370	30	32	12	M 27	200	16,9	33,0
FX25A280D	280	10"	250	425	294	370	30	32	12	M 27	210	16,2	33,0
FX25A315D	315	12"	300	485	338	430	30	35	16	M 27	230	22,8	47,3
FX25A355D	355	14"	350	555	376	490	33	38	16	M 30	250	34,8	67,8
FX25A400D	400	16"	400	620	430	550	36	41	16	M 33	260	45,2	92,0
FX25A450D	450	18"	450	670	470	600	36	41	20	M 33	290	51,1	107,0

Anexo A-4-66

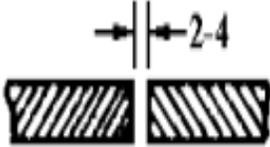
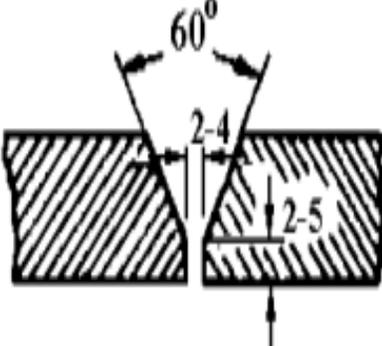
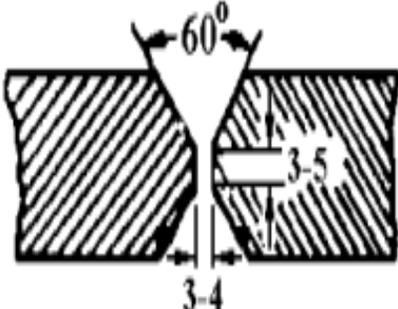
Tabela 17- Esboço do bocal de visita

1	2	3	4	5	6		8	9
					Interno	Externo		
Tamanho da boca de visita (mm)	Diâmetro do pescoço $D_1$ (mm)	Diâmetro da tampa $D_T$ (mm)	Diâmetro do círculo dos parafusos $D_P$ (mm)	Número de parafusos	Diâmetro da junta (mm)		Diâmetro do furo no teto ou na chapa de reforço $D_C$ (mm)	Diâmetro externo da chapa de reforço $D_A$ (mm)
20	508	660	597	16	508	660	524	1067
24	610	762	698	20	610	762	626	1168



Anexo A-5-67

Tabela 18- Escolha de Chanfros de acordo com a espessura da Chapa

Espessura da chapa mm	Diâmetro do eletrodo mm	Preparação da junta
Até 5 - 8	3 - 4	
4 - 26	4 - 5	
12 - 60	4 - 6	

Fonte: (Jr & Ramalho, 2002)

## Anexo A-6-68

Tabela 19- Dimensões das chapas normalizadas

NOMINAL SIZE MILLIMETRES				MASS EACH	MBOMBELA EXCL.	
					100KGS	EACH
2000	x	1000	x 4.5 *	70.7	1,131.99	800.32
2500	x	1200	x 4.5	106	1,116.24	1,183.21
3000	x	1500	x 4.5	159	1,116.24	1,774.82
2000	x	1000	x 5 *	78.5	1,131.99	888.61
2500	x	1200	x 5	118	1,116.24	1,317.16
3000	x	1500	x 5	177	1,116.24	1,975.74
4000	x	2000	x 5 *	314	1,341.53	4,212.41
8000	x	2000	x 5 *	628	1,341.53	8,424.82
10000	x	2400	x 5 *	942	1,572.44	14,812.38
2000	x	1000	x 6 *	94.2	1,131.99	1,066.33
2500	x	1200	x 6	141	1,116.24	1,573.90
3000	x	1500	x 6	212	1,116.24	2,366.43
4000	x	2000	x 6	377	1,240.87	4,678.07
8000	x	2000	x 6 *	754	1,240.87	9,356.15
10000	x	2400	x 6	1130	1,334.82	15,083.47
2000	x	1000	x 8 *	126	1,136.10	1,431.48
2500	x	1200	x 8	188	1,120.35	2,106.25
3000	x	1500	x 8	283	1,120.35	3,170.58
4000	x	2000	x 8	502	1,240.87	6,229.16
8000	x	2000	x 8 *	1005	1,240.87	12,470.73
10000	x	2400	x 8	1507	1,235.53	18,619.39
2000	x	1000	x 10 *	157	1,140.21	1,790.12
2500	x	1200	x 10	236	1,124.46	2,653.72
3000	x	1500	x 10	353	1,124.46	3,969.33
4000	x	2000	x 10	628	1,163.63	7,307.57
8000	x	2000	x 10 *	1256	1,163.63	14,615.13
10000	x	2400	x 10	1884	1,221.15	23,006.40
2000	x	1000	x 12 *	188	1,145.00	2,152.60
2500	x	1200	x 12	283	1,129.25	3,195.78
3000	x	1500	x 12	424	1,129.25	4,788.02
4000	x	2000	x 12	754	1,163.63	8,773.73
8000	x	2000	x 12 *	1507	1,163.63	17,535.83
10000	x	2400	x 12	2261	1,221.15	27,610.13
2000	x	1000	x 14 *	220	1,149.79	2,529.54
2500	x	1200	x 14 *	330	1,134.04	3,742.34
3000	x	1500	x 14 *	495	1,134.04	5,613.51
4000	x	2000	x 14 *	879	1,163.63	10,228.27
10000	x	2400	x 14 *	2638	1,221.15	32,213.85

Fonte: (Protecna, 2022)