

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS – UFMG

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Curso de Especialização em Soldagem

GABRIELA BERSAN MOREIRA CAMPOS

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA MECANIZAÇÃO NA SOLDAGEM –
SMAW x SAW**

BELO HORIZONTE

2023

GABRIELA BERSAN MOREIRA CAMPOS

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA MECANIZAÇÃO NA SOLDAGEM –
SMAW x SAW**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização em Soldagem da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito para a obtenção do título de Engenheiro de Soldagem.

Professor orientador: Dr. Ariel Rodriguez Arias

BELO HORIZONTE

2023

C198e	<p>Campos, Gabriela Bersan Moreira. Estudo da viabilidade da mecanização na soldagem – SMAW x SAW [recurso eletrônico] / Gabriela Bersan Moreira Campos. – 2023. 1 recurso online (65 f.: il., color.) : pdf.</p> <p>Orientador: Ariel Rodriguez Arias.</p> <p>"Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia da Soldagem da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais"</p> <p>Bibliografia: f. 64-65. Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.</p> <p>1. Engenharia mecânica. 2. Soldagem. 3. Processos de fabricação. 4. Mecanização. 5. Dínamos. I. Rodríguez Arias, Ariel. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 621.791</p>
-------	---

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Ângela Cristina Silva CRB/6 2361
Biblioteca Prof. Mário Werneck, Escola de Engenharia da UFMG



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica
Programa de Pós-Graduação
Curso de Especialização em Soldagem



ATA 11ª/2023 DA DEFESA DE MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

No dia 12 de dezembro de 2023, às 18:30 h, a Comissão Examinadora se reuniu remotamente para avaliar o trabalho:

Título: ESTUDO DA VIABILIDADE DA MECANIZAÇÃO NA SOLDAGEM – SMAW x SAW

Aluna: GABRIELA BERSAN MOREIRA CAMPOS – Matrícula: 2021662378

Local: Remotamente via plataforma “TEAMS”.

Parecer:

A Comissão Examinadora, após a apresentação pelo (a) candidato (a) durante 30 minutos e após ter argüido o(a) candidato(a) por 40 minutos, é de parecer Favorável à aprovação do trabalho de monografia com a nota final de 90 e com (com ou sem) sugestões de modificação.

Sugere-se o prazo de 30 dias para efetuar-se as modificações sugeridas com revisão final acompanhada e homologada pelo orientador Prof. Dr. Ariel Rodriguez Arias.

Assinaturas:

Prof. Dr. Ariel Rodriguez Arias
DEMEC/UFMG – Orientador

Especialista - Rafael Assunção Abreu
Milplan Engenharia – Avaliador

Eng. Rodrigo Santos Vieira
Milplan Engenharia – Avaliador

Aluna: Gabriela Bersan Moreira Campos

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus por me proporcionar concluir mais uma etapa na construção da minha carreira, agregando novas experiências e mais conhecimento. Agradeço à minha família por me apoiarem. E aos queridos Alacoque e Dodô, pelo apoio e grande incentivo, dividindo comigo conhecimento e me proporcionando ainda mais aprendizado. Agradeço aos professores e amigos do Curso de Especialização em Soldagem pela troca e ensino de qualidade, em especial à Regiane e Carla, pelo companheirismo e paciência nas aulas práticas. Agradeço também à Milplan Engenharia por me permitir compartilhar um pouquinho dos seus projetos.

RESUMO

Com a crescente demanda por maior produtividade, uma alternativa para aumentar a eficiência, investindo em qualidade e segurança é a mecanização dos processos de soldagem. Com este intuito, o presente trabalho faz um estudo sobre a implementação do processo mecanizado SAW no processo de fabricação e montagem da tubulação de um turbogerador. Através de uma pesquisa exploratória sobre os processos de soldagem envolvidos no projeto, com abordagem qualitativa e quantitativa da produtividade de cada processo, utilizando de pesquisa bibliográfica e um estudo de caso da atividade de soldagem realizada no projeto de montagem eletromecânica dos turbogeradores, desenvolvido pela Milplan Engenharia, que gentilmente cedeu informações para o desenvolvimento desse trabalho, é feita a análise da utilização e produtividade dos processos de soldagem SMAW e SAW.

Palavras-chave: Mecanização da Soldagem; SMAW; SAW.

ABSTRACT

With the growing demand for greater productivity, an alternative to increase efficiency, investing in quality and safety is the mechanization of welding processes. With this purpose, the present work makes a study on the implementation of the mechanized process SAW in the process of manufacturing and assembly of the pipeline of a turbogenerator. Through an exploratory research on the welding processes involved in the project, with a qualitative and quantitative research and a case study of the welding activity carried out in the electromechanical assembly project of the turbogenerators, developed by Milplan Engenharia, which kindly provided information for the development of this work, the use and productivity of the SMAW and SAW welding processes is analyzed.

Key words: Mechanization of Welding; SMAW; SAW.

LISTA DE SÍMBOLOS

SMAW	<i>Shielded Metal Arc Welding</i> – Soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido
SAW	<i>Submerged Arc Welding</i> – Soldagem a arco submerso
MIG	Metal Inert Gas
MAG	Metal Active Gas
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>
EPI	Equipamento de Proteção Individual
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CC+	Corrente contínua com polaridade inversa
CC-	Corrente contínua com polaridade direta
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding – Soldagem por gás inerte de tungstênio
ASTM	American Society for Testing and Materials - Sociedade americana de testes e materiais
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i> – Sociedade americana de engenheiros mecânicos
EPS	Especificações de Procedimento de Soldagem
END	Ensaio Não Destrutivo
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
ESAB	Empresa multinacional da indústria de soldagem e corte
Ø	Diâmetro
SCH	Schedule

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Esquema representativo do processo de soldagem SMAW
- Figura 2 – Eletrodo revestido
- Figura 3 – Representação dos equipamentos para soldagem com o processo de soldagem SMAW
- Figura 4 – Esquema de soldagem a arco submerso
- Figura 5 – Arame e fluxo utilizados na soldagem a arco submerso
- Figura 6 – Sobra de escória com fluxo aderido
- Figura 7 – Representação esquemática dos componentes básicos do equipamento de soldagem a arco submerso
- Figura 8 – Fluxograma das etapas do trabalho
- Figura 9 – EPS GTAW / SMAW
- Figura 10 – RQPS GTAW / SMAW
- Figura 11 – EPS GTAW / SAW
- Figura 12 – RQPS GTAW / SMAW
- Figura 13 – Consumível de soldagem GTAW
- Figura 14 – Equipamento de soldagem GTAW / SMAW
- Figura 15 – Soldagem pelo processo GTAW, passe de raiz
- Figura 16 – Consumível de soldagem SMAW
- Figura 17 – Soldagem pelo processo SMAW
- Figura 18 – Solda pelo processo SMAW finalizada
- Figura 19 – Consumíveis de soldagem SAW
- Figura 20 – Equipamento de soldagem SAW
- Figura 21 - Torre para máquina de solda, processo SAW utilizado para soldagem da tubulação
- Figura 22 – Soldagem pelo processo SAW

Figura 23 – Processo de soldagem SAW

Figura 24 - Processo de soldagem SAW

Figura 25 – Solda de enchimento pelo processo SAW

Figura 26 – Solda pelo processo SAW finalizada, com ensaio de ultrassom aprovado

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Processos de soldagem por fusão

Tabela 2 – Características da corrente contínua

Tabela 3 – Variável e indicadores

Tabela 4 – Dados da tubulação

Tabela 5 – Cálculo da área do cordão de solda e da massa de metal depositado

Tabela 6 – Cálculo do tempo de soldagem para cada processo

Tabela 7 – Valor do fator de ocupação para diferentes modos de operação

Tabela 8 – Valores típicos de φ para diferentes processos

Tabela 9 – Dados para levantamento de custos de soldagem

Tabela 10 – Custos de soldagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Formulação do Problema.....	13
1.2	Justificativa	13
1.3	Objetivos.....	14
1.3.1	Geral	14
1.3.2	Específicos	14
1.4	Estrutura do Trabalho.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Soldagem	16
2.2	Processo de Soldagem a Arco Elétrico com Eletrodo Revestido - SMAW 18	
2.2.1	Arco Elétrico	19
2.2.2	Eletrodo Revestido	20
2.2.3	Equipamentos do Processo SMAW	21
2.2.4	Processo Manual.....	23
2.2.5	Vantagens do Processo SMAW	24
2.2.6	Limitações do Processo SMAW.....	24
2.3	Processo de Soldagem por Arco Submerso - SAW	25
2.3.1	Princípios do Processo de Soldagem a Arco Submerso	26
2.3.2	Tipos de Eletrodos e Fluxos.....	27
2.3.3	Processo Mecanizado.....	29
2.3.4	Equipamentos do Processo de Soldagem SAW	30
2.3.5	Vantagens do Processo SAW	32
2.3.6	Limitações do Processo SAW	32
3	METODOLOGIA	34
3.1	Tipos de Pesquisa.....	34

3.2	Materiais e Métodos	35
3.3	Variáveis e Indicadores	35
3.4	Instrumentos de Coleta de Dados.....	36
3.5	Tabulação de Dados	36
3.6	Considerações Finais.....	36
4	RESULTADOS.....	38
4.1	Estudo de Caso.....	38
4.2	Metal de Base.....	38
4.3	Normas	39
4.4	Processos de Soldagem.....	40
4.4.1	Especificações de Procedimento de Soldagem (EPS)	41
4.4.2	Passe de Raiz no Processo GTAW	48
4.4.3	Enchimento e Acabamento pelo Processo SMAW	50
4.4.4	Enchimento e Acabamento pelo Processo SAW.....	52
4.5	Levantamento de Dados	56
4.6	Levantamento de Custos.....	59
5	Conclusão	61
5.1	Conclusão	61
6	Referências BIBLIOGRÁFICAS	63

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a problemática a ser estudada, a justificativa da escolha do tema, e os objetivos esperados a serem alcançados.

1.1 Formulação do Problema

Uma atividade amplamente utilizada em diversas aplicações de fabricação, reparação e manutenção de equipamentos e estruturas é a soldagem, que desempenha um papel fundamental na indústria. Uma área de constante inovação, desenvolvendo novos processos, materiais e tecnologias para melhorar a eficiência, qualidade e segurança dos processos de soldagem industrial.

Se tratando de aplicações industriais e de produção em larga escala, a utilização de processos de soldagem mecanizados oferece diversas vantagens em comparação com a soldagem manual. É uma abordagem eficaz para melhorar a qualidade, a produtividade e a segurança em muitas aplicações industriais.

Os processos de soldagem manuais são fundamentais na fabricação e reparação de produtos em uma ampla variedade de indústrias. Embora a automação e a mecanização da soldagem sejam importantes, em muitos casos, a soldagem manual ainda é amplamente utilizada devido à sua versatilidade e aplicabilidade em várias situações.

Com o avanço da tecnologia e a crescente demanda por maior produtividade, qualidade e segurança nas operações de soldagem, a mecanização desse processo tem se tornado uma área de interesse significativa.

Dessa forma, chega-se na seguinte questão:

É viável a substituição de processos manuais de soldagem para processos mecanizados?

1.2 Justificativa

A soldagem manual com eletrodo revestido (SMAW) é um método confiável e amplamente adotado há muitas décadas. No entanto, as demandas crescentes por maior eficiência e qualidade têm levado à investigação de alternativas, como a soldagem por arco submerso (SAW), que é um processo mecanizado e oferece benefícios notáveis em

termos de produtividade e qualidade das soldas. Dessa forma é conveniente e de interesse fazer o estudo sobre a implementação do processo de soldagem SAW para esta finalidade.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Realizar o estudo sobre a viabilidade da mecanização na soldagem, comparando os processos SMAW (*Shielded Metal Arc Welding* - soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido), manual, e SAW (*Submerged Arc Welding* - soldagem a arco submerso), mecanizado.

1.3.2 Específicos

- Realizar estudo bibliográfico sobre os processos de soldagem SMAW e SAW;
- Fazer o estudo de caso com a implementação do processo mecanizado na produção;
- Fazer o estudo sobre a produtividade de cada um dos processos em questão;
- Realizar o levantamento de custo dos dois processos de soldagem;
- Analisar os resultados.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho será dividido em cinco capítulos, sendo o primeiro introdutório, onde é apresentada a problemática a ser estudada, a justificativa da escolha do tema, e os objetivos esperados a serem alcançados.

O segundo capítulo apresentará a revisão bibliográfica sobre os processos de soldagem.

No capítulo três será apresentada a metodologia da pesquisa, contendo os materiais, cálculos e procedimentos realizados na implementação dos processos. E em seguida, no capítulo quatro, a parte de resultados e discussões apresentará os resultados obtidos em um estudo de caso.

A conclusão do trabalho será apresentada no capítulo cinco, e por fim, as referências bibliográficas, que disponibiliza todas as fontes consultadas para embasamento teórico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Soldagem

A soldagem é definida por Brandão (2019) como o processo de união permanente de materiais, pelo aquecimento localizado, com ou sem a utilização de metal de adição e pressão, conferindo continuidade metálica à junta e preservando as propriedades dos metais de base. A aplicação de forças interatômicas assegura a continuidade das propriedades físicas, mecânicas e químicas do metal de base, e o processo de soldagem confere ao metal depositado ou à junta soldada propriedades e características similares aos do metal de base. Muitos processos de soldagem são usados também visando a recuperação de peças desgastadas ou para a formação de um revestimento com características especiais (Marques, et al, 2016).

Mondenese, et al (2020) explica que os processos de soldagem são divididos em dois grupos, processos de soldagem por pressão, que consiste na aplicação de pressões elevadas, em geral aquecidas localmente, de forma a deformar plasticamente; e processos de soldagem por fusão, que se baseia na aplicação localizada de calor na região de união para a sua fusão e do metal de adição (quando utilizado), produzindo a ligação pela solidificação do metal fundido.

Os processos de soldagem por fusão podem ser subdivididos de acordo com o tipo de fonte de energia utilizada para fundir a peça, como mostra a tabela a seguir com as principais características de cada processo.

Tabela 1 - Processos de soldagem por fusão (Mondenese, et al, 2020)

PROCESSO	FONTES DE CALOR	TIPO DE CORRENTE E POLARIDADE	AGENTE PROTETOR OU DE CORTE	OUTRAS CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÕES
Soldagem por eletro-escória	Aquecimento por resistência da escória líquida	Contínua ou alternada	Escória	Automática / Mecanizada. Junta na vertical. Arame alimentado mecanicamente na poça de fusão. Não existe arco.	Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga, espessura \geq 50mm. Soldagem de peças de grande espessura, eixos, etc.
Soldagem ao Arco Submerso	Arco elétrico	Contínua ou alternada Eletrodo +	Escória e gases gerados	Automática / mecanizada, ou semi-automática. O arco arde sob uma camada de fluxo granular	Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga. Espessura \geq 10mm. Posição plana ou horizontal de peças estruturais, tanques, vasos de pressão, etc.

Soldagem com Eletrodos Revestidos	Arco elétrico	Contínua ou alternada Eletrodo + ou -	Escória e gases gerados	Manual. Vareta metálica recoberta por camada de fluxo	Soldagem de quase todos os metais, exceto cobre puro, metais preciosos, reativos e de baixo ponto de fusão. Usado na soldagem em geral.
Soldagem com Arame Tubular	Arco elétrico	Contínua Eletrodo +	Escória e gases gerados ou fornecidos por fonte externa. Em geral CO ₂	O fluxo está contido dentro de um arame tubular de pequeno diâmetro. Automático ou semi-automático	Soldagem de aço carbono com espessura ≥ 1mm. Soldagem de chapas.
Soldagem MIG / MAG	Arco elétrico	Contínua Eletrodo +	Argônio ou Hélio, Argônio + O ₂ , Argônio + CO ₂ , CO ₂	Automática / mecanizada ou semi-automática. O arame é sólido	Soldagem de aço carbono, baixa e alta liga, não ferrosos, com espessura ≥ 1mm. Soldagem de tubos, chapas, etc. Qualquer posição.
Soldagem a Plasma	Arco elétrico	Contínua Eletrodo -	Argônio, Hélio ou Argônio + Hidrogênio	Manual ou automática. O arame é adicionado separadamente. Eletrodo não consumível de tungstênio. O arco é constricto por um bocal	Todos os metais importantes em engenharia, exceto Zn, Be e suas ligas, com espessura de até 1,5mm. Passes de raiz.
Soldagem TIG	Arco elétrico	Contínua ou alternada Eletrodo -	Argônio, Hélio ou mistura destes	Manual ou automática. Eletrodo não consumível de tungstênio. O arame é adicionado separadamente	Soldagem de todos os metais, exceto Zn, Be e suas ligas, espessura entre 1 e 6mm. Soldagem de não ferrosos e aço inox. Passe de raiz de soldas em tubulações.
Soldagem por Feixe Eletrônico	Feixe eletrônico	Contínua Alta tensão Peça +	Vácuo	Soldagem automática. Não há transferência de metal. Feixe de elétrons focalizado em um pequeno ponto.	Soldagem de todos os metais, exceto nos casos de evolução de gases ou vaporização excessiva, a partir de 25mm de espessura. Indústria nuclear e aeroespacial.
Soldagem a Laser	Feixe de luz		Argônio ou Hélio	Como acima	Como acima. Corte de materiais não metálicos.
Soldagem a Gás	Chama oxiacetilênica		Gás (CO, H ₂ , CO ₂ , H ₂ O)	Manual. Arame adicionado separadamente	Soldagem manual de aço carbono, Cu, Al, Zn, Pb e bronze. Soldagem de chapas finas e tubos de pequeno diâmetro.

O arco elétrico é a fonte de calor mais utilizada na soldagem por fusão, e consiste em uma descarga elétrica sustentada através de um gás ionizado em alta temperatura, o plasma, produz energia térmica suficiente para ser usado na união de peças por fusão localizada.

A soldagem é uma tecnologia de fabricação e manutenção no contexto industrial, e existem diferentes modos de operação que podem influenciar na produtividade.

Modos de operação:

- Manual: soldagem na qual toda a operação é realizada e controlada manualmente pelo soldador.
- Semi-automático: soldagem com controle automático da alimentação de metal de adição, mas com controle manual pelo soldador do posicionamento da tocha e seu acionamento.
- Mecanizado: soldagem com controle automático da alimentação de metal de adição, controle do deslocamento do cabeçote de soldagem pelo equipamento e supervisão da operação por um operador de soldagem.
- Automático: soldagem com controle automático de praticamente todas as operações necessárias.

2.2 Processo de Soldagem a Arco Elétrico com Eletrodo Revestido - SMAW

A soldagem manual com eletrodo revestido, também conhecida como SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), é um dos processos de soldagem mais antigos e amplamente utilizados. Segundo a *American Welding Society* (AWS), a SMAW é definida como “um processo no qual a união de metais é produzida pela fusão do metal base e do metal do eletrodo, ambos fundidos pelo calor do arco elétrico e do eletrodo”.

O eletrodo utilizado na soldagem com eletrodo revestido é um fio metálico coberto por um revestimento especial. Esse revestimento possui diversas finalidades, como proteger o metal líquido do ar atmosférico, estabilizar o arco elétrico, fornecer elementos de liga e criar uma escória que ajuda a proteger a solda enquanto esfria.

O arco elétrico é criado entre o eletrodo e a peça a ser soldada, e gera calor intenso. Esse calor derrete tanto o eletrodo quanto o metal base, formando uma poça de metal líquido, criando a junta sólida à medida que ela esfria e solidifica.

Durante o processo, o soldador move o eletrodo ao longo da junta, controlando a quantidade de calor aplicada e a penetração da solda. A velocidade e a técnica de movimentação do eletrodo têm impacto significativo na qualidade da solda.

No entanto, esse processo requer habilidade por parte do soldador, pois é um processo manual que exige controle preciso do arco elétrico e do movimento do eletrodo para obter soldas de qualidade.

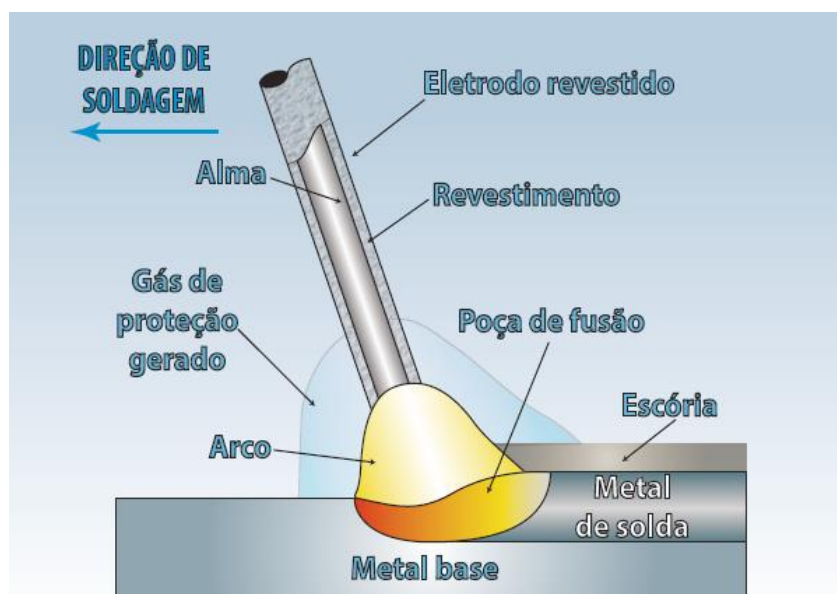


Figura 1 - Esquema representativo do processo de soldagem SMAW
Fonte: Soldagem na Indústria do Petróleo, 2022

2.2.1 Arco Elétrico

Quando um circuito elétrico é estabelecido entre o eletrodo revestido e a peça de trabalho, surge uma diferença de potencial. Ao aproximar o eletrodo da peça de trabalho, uma alta concentração de elétrons é gerada na ponta do eletrodo. Isso cria uma ionização do gás presente na região, como o ar, e forma um canal condutor de eletricidade, o arco elétrico.

O arco elétrico é um elemento central no processo de soldagem manual com eletrodo revestido. Ele tem a capacidade de gerar calor resultando a poça de metal líquido, proteger a solda criando uma nuvem de gases ionizados que, juntamente com a escória gerada pelo revestimento do eletrodo, atuam contra a contaminação do oxigênio atmosférico, importante para evitar defeitos na solda como porosidade e inclusões, e permitir o fluxo de corrente elétrica, é crucial para criar juntas de solda fortes e confiáveis em uma variedade de aplicações industriais.

2.2.2 Eletrodo Revestido

O núcleo do eletrodo é feito de um metal compatível com o material da peça a ser soldada. A composição do núcleo varia de acordo com o tipo de eletrodo e o metal base a ser soldado. Alguns exemplos incluem aços carbono, aços inoxidáveis, ligas de níquel, entre outros.

O revestimento é uma mistura complexa de materiais aplicados ao redor do núcleo do eletrodo. Essa mistura inclui elementos químicos que têm diversas funções durante a soldagem.

O eletrodo revestido é uma peça chave no processo SMAW, pois seu revestimento desempenha um papel crucial na proteção do metal fundido, na estabilidade do arco, na melhoria das propriedades da solda e na formação da escória. A composição específica do revestimento é selecionada com base nas necessidades da aplicação e do metal base a ser soldado.

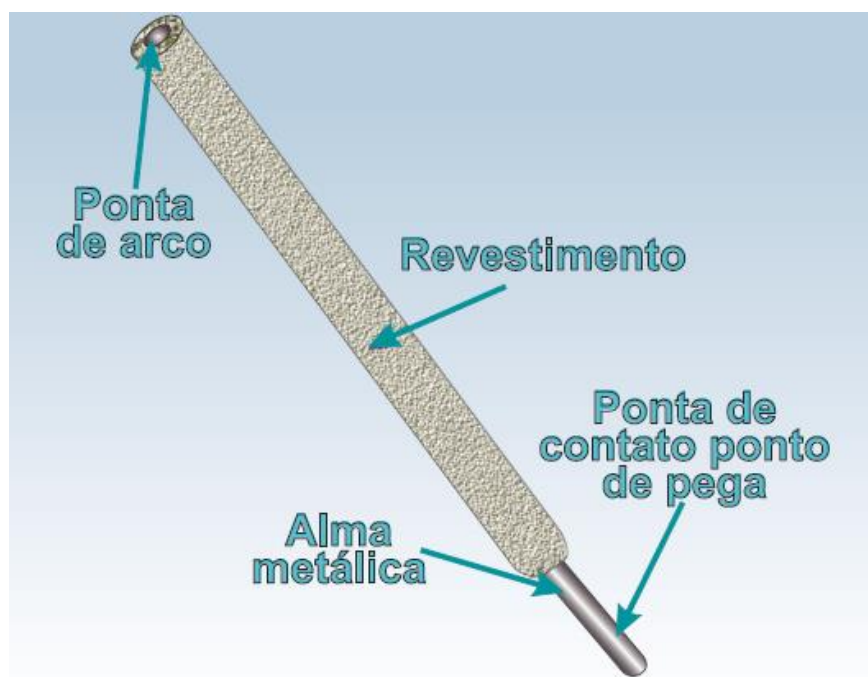


Figura 2 - Eletrodo revestido
Fonte: Soldagem na Indústria do Petróleo, 2022

De acordo com Rodrigues, et al (2022), os consumíveis de soldagem SMAW devem:

- Fornecer agentes para formação de gases de proteção da poça de fusão;

- Formar uma camada de escória protetora com elementos do metal de solda (desoxidação, dessulfuração, etc.);
- Possibilitar a soldagem nas diversas posições de soldagem;
- Reduzir o número de respingos e fumos metálicos;
- Possibilitar o uso de diferentes tipos de corrente e polaridade;
- Prover agentes que possibilitem o controle da taxa de deposição (quantidade de metal depositado por unidade de tempo);
- Controlar a temperatura do eletrodo;
- Proteger as gotas durante a transferência pelo arco elétrico;
- Moldar o cordão de solda;
- Dissolver óxidos e contaminações na superfície da poça;
- Controlar a velocidade de resfriamento da solda.

2.2.3 Equipamentos do Processo SMAW

Os equipamentos necessários para uma operação de soldagem com o processo SMAW consistem em uma fonte de energia, cabos de ligação elétrica, porta-eletrodos, ferramentas (picadeira, escova de aço, etc.) e equipamentos de proteção individual (EPI).

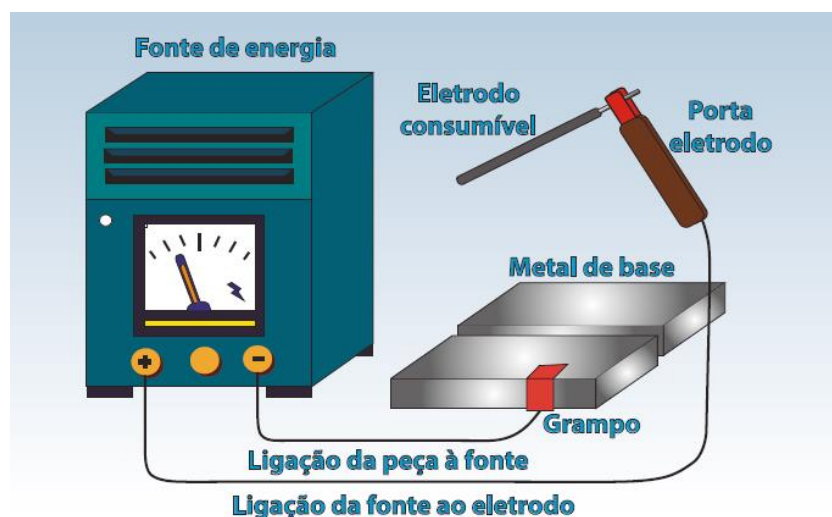


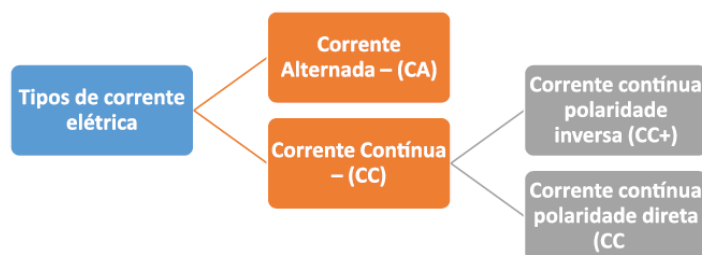
Figura 3 - Representação dos equipamentos para soldagem com o processo de soldagem SMAW
 Fonte: Soldagem na Indústria do Petróleo, 2022

De acordo com Rodrigues et al (2022):

- 1) Fonte de energia elétrica: máquinas convencionais ou eletrônicas de soldagem de corrente contínua (retificadores) ou corrente alternada (transformadores), com característica estática tombante ou corrente

constante. As fontes de energia utilizadas para soldagem exercem grande influência sobre o desempenho de um processo de soldagem (qualidade e produtividade). Deve transformar a energia da rede, que é de alta tensão e baixa corrente em energia de soldagem, que é de baixa tensão e alta corrente.

- 2) Porta-eletrodo: O porta-eletrodo ou alicate para fixação dos eletrodos é um acessório usado para fixar mecanicamente o eletrodo, possibilitando a passagem segura da corrente elétrica de soldagem para o eletrodo revestido.
- 3) Cabos de interligação e garras: são acessórios utilizados para conectar e transportar a corrente elétrica da fonte de energia ao grampo e ao porta-eletrodo.
- 4) Tipos de corrente elétrica: a corrente elétrica pode ser alternada ou contínua. O tipo de corrente e sua polaridade afetam as dimensões e a forma da poça de fusão, o modo de transferência metálico e a estabilidade do arco elétrico.



Corrente Alternada (CA): É obtida a partir do estabelecimento de uma diferença de potencial elétrico entre dois terminais, cuja polaridade é alternadamente positiva e negativa. Geralmente, não é muito utilizada nas aplicações de campo.

Corrente Contínua (CC): É definida como a que se obtém a partir do estabelecimento de uma diferença de potencial entre dois terminais cujas polaridades são invariáveis no tempo. As características principais são apresentadas a seguir:

Tabela 2 - Características da corrente contínua (SENAI, 2011)

Corrente contínua	
Queda de tensão nos cabos	Maior queda de tensão do arco elétrico
Estabilidade do arco	É favorecida quando se emprega eletrodos de menor diâmetro, devida à baixa intensidade de corrente de soldagem
Ignição do arco elétrico	É favorecida principalmente na soldagem de eletrodos com menor diâmetro, devida à baixa intensidade de corrente de soldagem
Comprimento do arco	É de mais fácil soldagem com o arco elétrico curto (baixa tensão)
Posição de soldagem	É usada para soldar nas posições vertical descendente e sobrecabeça
Espessura do metal de base	Devida à baixa intensidade de corrente de soldagem possibilita a soldagem de chapas finas e grossas

Corrente contínua polaridade inversa (CC+): nessa configuração, temos o eletrodo conectado no polo positivo da fonte de soldagem e a peça conectada no polo negativo, fazendo com que o eletrodo consumível fique mais quente do que a peça a ser soldada, proporcionando maiores penetrações do cordão de solda e menores taxas de deposição. Os elétrons se deslocam da peça para o eletrodo.

Corrente contínua polaridade direta (CC-): nessa configuração, teremos o eletrodo conectado no polo negativo da fonte de soldagem e a peça no polo positivo. Produz uma maior taxa de deposição com uma menor profundidade de penetração. Elétrons deslocam-se do eletrodo para a peça.

Para o processo SMAW, é necessário um cuidado quanto à corrente, pois o excesso de corrente provoca a quebra do revestimento isolante (chegando ao rubro) em função da dilatação interna da alma metálica, comprometendo a qualidade final do depósito (perda de elementos químicos e proteção).

2.2.4 Processo Manual

No processo de soldagem com eletrodo revestido, o soldador realiza a soldagem diretamente, controlando manualmente o posicionamento do eletrodo, a formação do arco elétrico e o movimento adequado para criar o cordão de solda.

Diferentemente de outros processos de solda como GMAW ou GTAW, em que a soldagem pode ser semi ou totalmente automatizada, a soldagem SMAW requer a intervenção direta do soldador em todas as etapas do processo.

Embora a soldagem SMAW seja manual, é um processo amplamente utilizado devido à sua versatilidade e capacidade de ser executado em diversas condições, incluindo locais remotos, espaços confinados e situações adversas. A qualidade da solda e o sucesso da operação dependem em grande parte das habilidades e experiência do soldador, que deve ter um controle preciso sobre o arco elétrico e o movimento do eletrodo para obter resultados consistentes e de alta qualidade.

2.2.5 Vantagens do Processo SMAW

- Versatilidade: pode ser usado para soldar uma ampla variedade de materiais.
- Portabilidade e acessibilidade: o equipamento necessário para o SMAW é relativamente simples e portátil. Pode ser utilizado em locais de difícil acesso, ao ar livre e em ambientes adversos, onde outros processos podem ser impraticáveis.
- Baixo custo inicial: comparado a alguns outros métodos de soldagem, o SMAW tem um custo inicial relativamente baixo em termos de equipamento e materiais.
- Menor sensibilidade à contaminação: devido à formação da escória e ao revestimento do eletrodo, o que pode ser vantajoso em condições de trabalho menos controladas.
- Flexibilidade de posicionamento: o SMAW permite uma certa flexibilidade no posicionamento do soldador em relação à junta de solda, facilitando a soldagem em diferentes ângulos e posições.

2.2.6 Limitações do Processo SMAW

- Baixa taxa de deposição: comparado a alguns processos automatizados, o SMAW geralmente tem uma taxa de deposição mais baixa, o que pode torná-lo menos eficiente para soldagem de grandes volumes.

- Produtividade relativa: devido à natureza manual do processo, a produtividade do SMAW pode ser menor em comparação com métodos automatizados, especialmente em soldagens de alta produção.
- Resíduos de escória: isso pode exigir tempo e esforço adicionais de preparação e limpeza.
- Limitações em materiais de pequena espessura: em materiais com a espessura pequena, o calor intenso do arco elétrico pode causar distorção excessiva ou até mesmo perfuração, o que pode ser desafiador de controlar.
- Baixo controle sobre a zona afetada pelo calor: o processo SMAW pode criar uma zona afetada pelo calor relativamente ampla, o que pode afetar as propriedades mecânicas do metal base adjacente à junta de solda.

O SMAW é um processo de soldagem versátil e acessível, mas também tem suas limitações em termos de produtividade, controle de processo e dependência das habilidades do soldador. A escolha de usar o processo SMAW dependerá das necessidades específicas da aplicação e das considerações sobre a qualidade, eficiência e ambiente de trabalho.

2.3 Processo de Soldagem por Arco Submerso - SAW

SAW (*Submerged Arc Welding*) é um processo de soldagem em que um arco elétrico é estabelecido entre um eletrodo consumível em forma de fio e a peça a ser soldada. A particularidade desse processo é que o arco elétrico e o eletrodo são completamente cobertos por um fluxo granuloso (composto de materiais fundentes e desoxidantes). Esse fluxo cria uma camada protetora em torno do arco e da poça de fusão, que impede a contaminação do metal de solda pelo oxigênio e nitrogênio do ar atmosférico, reduzindo a formação de defeitos na solda.

Ao iniciar o processo SAW, o fluxo granuloso é colocado sobre a junta de solda e o eletrodo consumível é posicionado acima. O arco elétrico é estabelecido entre o eletrodo e a peça a ser soldada, e o calor gerado pelo arco promove a fusão de ambos, gerando a solda que fica submersa numa proteção de fluxo fundido. A parte do fluxo que se funde forma uma escória protetora sobre o cordão de solda depositado. A parte do fluxo que não se funde pode ser reaproveitada até sua granulometria e contaminação permitir (Brandão, 2019).

“A soldagem por arco submerso é um processo altamente produtivo e versátil, sendo amplamente usado na fabricação de grandes estruturas metálicas, especialmente em indústrias como a construção naval e a fabricação de vasos de pressão.” (Cary, H., & Helzer, S., 2005).

2.3.1 Princípios do Processo de Soldagem a Arco Submerso

Um arco elétrico é formado através da corrente elétrica conduzida pelo eletrodo, gerando calor suficiente para fundir o metal de base e o eletrodo.

Durante o processo de soldagem, o eletrodo se funde para adicionar material à junta. O eletrodo é continuamente alimentado à região da solda e se funde juntamente com parte do fluxo.

O fluxo desempenha funções essenciais ao processo, o fluxo granulado isola o arco elétrico e a poça de fusão do ambiente externo, evitando a contaminação do metal de solda por gases atmosféricos, como oxigênio e nitrogênio. Isso é especialmente importante para soldagem de aços e ligas que são sensíveis à oxidação. O fluxo forma uma escória protetora sobre a poça de fusão, o que ajuda a manter a proteção contra a contaminação, além de fornecer isolamento térmico para a poça de fusão durante o resfriamento. Esse fluxo pode conter elementos químicos adicionais que ajudam a melhorar a qualidade da solda, como desoxidantes para reduzir a quantidade de inclusões e limpeza das impurezas.

A soldagem SAW envolve um resfriamento controlado da poça de fusão para garantir a formação de uma junta sólida e livre de defeitos. A escória protetora formada pelo fluxo granulado ajuda a controlar a taxa de resfriamento e evitar trincas de solidificação.

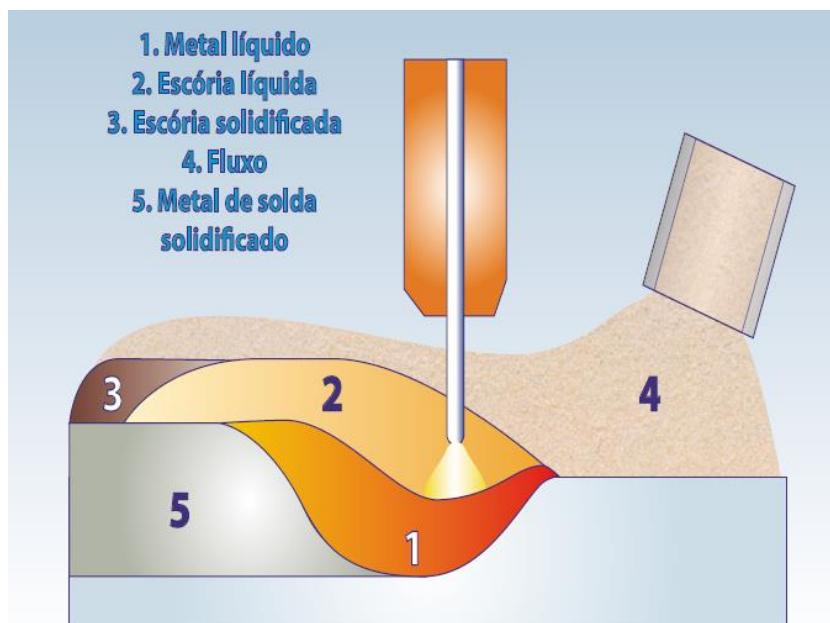


Figura 4 - Esquema de soldagem a arco submerso
Fonte: Soldagem na Indústria do Petróleo, 2022

2.3.2 Tipos de Eletrodos e Fluxos

Na soldagem a arco submerso (SAW), existem diferentes tipos de eletrodos consumíveis e fluxos granulados, cada um com suas características e aplicações específicas.



Figura 5 - Arame e fluxo utilizados na soldagem a arco submerso
Fonte: Produtos Energyarc

- Eletrodos Consumíveis:

Os eletrodos mais comuns na soldagem SAW são os eletrodos de arame sólido, é um eletrodo de arame contínuo de metal sólido, consumido durante a soldagem. São utilizados em ampla variedade de materiais e aplicações industriais.

Eletrodos tubulares são recheados com pó de fluxo em seu interior. São projetados para fornecer elementos de liga, desoxidantes ou outros aditivos químicos à poça de fusão. São utilizados em aplicações especiais, que requerem maior controle da composição química da solda.

Eletrodos de metal duro são compostos por ligas de alta resistência ao desgaste, projetados para soldagem de componentes expostos a abrasão severa, como peças de equipamentos de mineração e terraplanagem.

Eletrodos de aço inoxidável contém elementos de liga que proporcionam resistência à corrosão e outras propriedades específicas aos aços inoxidáveis.

- Fluxos Granulados:

Utilizado em uma variedade de aplicações de soldagem SAW, o fluxo básico contém elementos químicos básicos, como carbonatos e silicatos, que proporcionam uma escória fluida e proteção adequada contra a contaminação.

Fluxo ácido possui elementos como ferro-silício e ferro-manganês, projetados para aumentar a penetração da solda. Gera escória mais viscosa, sendo adequado para soldagem em posições verticais e horizontais.

Com uma composição equilibrada entre o básico e o ácido, o fluxo neutral proporciona características intermediárias de penetração e fluidez da escória.

É observado em Wainer et al. (1992), que o fluxo fundido sobrenada e se distingue do metal de solda líquida na forma de escória. Como o metal de solda tem o ponto de fusão mais alto que o da escória, este se solidifica primeiro enquanto que a escória tem o papel de proteger o metal de solda contra reações com oxigênio e nitrogênio da atmosfera, uma vez que ainda se encontra na forma fundida. Após o seu resfriamento, a escória se desprende do metal de solda de forma simples e rápida.



Figura 6 - Sobra de escória com fluxo aderido
Fonte: Tecnologia da Soldagem, 2019

A escolha dos eletrodos consumíveis e fluxos granulados é crucial para obter uma solda de qualidade, com as propriedades mecânicas e químicas desejadas para atender às necessidades específicas e cada aplicação. Um correto entendimento das características dos materiais a serem soldados e das propriedades desejadas na solda é essencial para realizar uma soldagem eficiente e com alto desempenho.

2.3.3 Processo Mecanizado

O processo SAW é considerado um processo mecanizado, pois a soldagem é realizada com a ajuda de máquinas e equipamentos automatizados ou semiautomatizados, em oposição à soldagem manual.

“Dispositivos automáticos asseguram a alimentação do eletrodo a uma velocidade conveniente de tal forma que sua extremidade mergulhe constantemente no banho do fluxo em fusão” (Cunha, 1989).

As características que tornam a soldagem SAW um processo mecanizado incluem:

- Alimentação automática do eletrodo: no processo SAW, o eletrodo consumível é fornecido automaticamente por meio de um alimentador de arame. Isso permite uma alimentação contínua e consistente do eletrodo, sem a necessidade de intervenção manual constante.
- Movimentação automática do cabeçote de soldagem: o cabeçote de soldagem, que contém o arco elétrico, o eletrodo e o fluxo granulado, é normalmente montado em uma máquina de movimentação automática. Essa máquina é guiada ao longo da junta de soldagem em uma trajetória predeterminada, automatizando o processo de soldagem.
- Controle de parâmetros por computador: muitas máquinas de soldagem SAW possuem sistemas de controle computadorizado que permitem

ajustar e monitorar os parâmetros de soldagem, como a corrente elétrica, velocidade do alimentador de arame e taxa de fluxo granulado. Esse controle preciso garante a repetibilidade e consistência da soldagem.

- Soldagem contínua em larga escala: a mecanização da soldagem SAW permite a realização de soldagens em larga escala e de longa extensão, com alta taxa de deposição de metal de solda. Isso torna o processo adequado para aplicações em indústrias que demandam produção em grandes volumes.
- Minimização da intervenção do operador: em um processo mecanizado, a intervenção do operador é reduzida, resultando em menos fadiga e maior eficiência. Os operadores são responsáveis por configurar a máquina, monitorar o processo e realizar inspeções, mas a soldagem em si é realizada automaticamente.

2.3.4 Equipamentos do Processo de Soldagem SAW

Resumidamente, Guerra (1996) define o princípio de funcionamento como sendo a alimentação do arame nu ou maciço, tracionado por rolos e energizado ao passar pelo tubo de contato e antes que haja formação de arco elétrico, há deposição do fluxo sobre a junta na presença de um aspirador para retirar o excesso de material não fundido assim que a solda ocorre. Além disso, deve-se possuir equipamentos acoplados para adequar as velocidades, amperagem, tensão e corrente.

O equipamento é composto por fonte de energia, tocha de soldagem, alimentador de arame, sistema de controle, dispositivo para alimentação do fluxo, par de cabos elétricos e uma garra de fixação do cabo à peça.

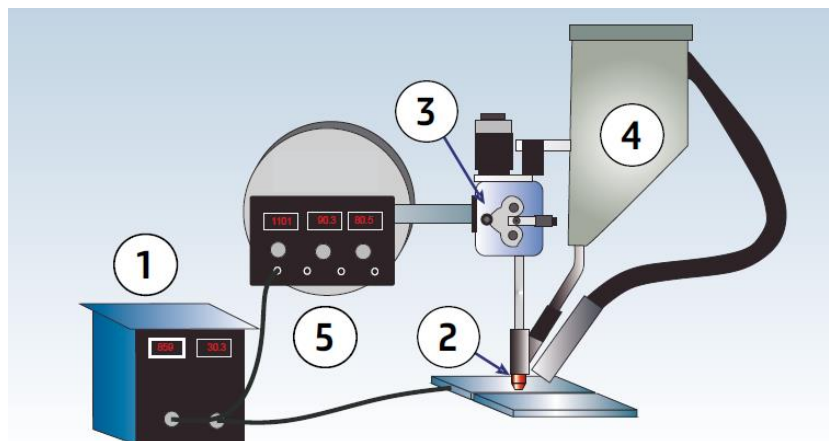


Figura 7 - Representação esquemática dos componentes básicos do equipamento de soldagem a arco submerso

Fonte: Soldagem na Indústria do Petróleo, 2022

Rodrigues, et al. (2022) explica:

- 1) Fonte de energia: Para soldagem pelo processo SAW, as fontes podem ser transformadoras de corrente alternada, conjunto transformador-retificador, para corrente alternada / corrente contínua ou conversores para corrente contínua. A fonte de energia pode ser de corrente ou tensão constante. As tensões usuais situam-se na faixa de 20 a 55V, e as intensidades de corrente mais usuais chegam até 2000A. Em casos excepcionais podem chegar a intensidades de até 4000A. A utilização de corrente alternada permite melhor controle da diluição, velocidade de soldagem e proporciona melhor abertura do arco. A corrente contínua com polaridade inversa (CC+) irá permitir melhor penetração e controle do cordão, já a corrente contínua com polaridade direta (CC-), proporciona a maior taxa de deposição. Conseqüentemente, apresentará menor penetração quando comparada à CC+ e CA. Sendo CC- muito utilizado para revestimentos e soldagem de chapas finas. Todavia, a utilização de correntes mais elevadas há a ocorrência do sopro magnético, que a deflexão do arco pelo efeito do campo eletromagnético induzido ao redor do arame. Nestes casos, é necessária a utilização de corrente alternada.
- 2) Tocha de soldagem: É formada por um bico de contato de cobre com o diâmetro de acordo com o diâmetro do arame que será usado e um bocal de cobre.

- 3) Alimentador de arame: É um motor com controlador de velocidade, conjunto de roldanas de tracionamento para alimentação do arame eletrodo e um suporte da bobina de arame.
- 4) Alimentador de fluxo: É composto por um reservatório e mangueiras que alimentam o fluxo de forma concêntrica à tocha ou à sua frente, geralmente por gravidade.
- 5) Painel de controle: Permite o ajuste dos parâmetros de soldagem como intensidade de corrente, tensão do arco e velocidade de soldagem.

Vale lembrar que a soldagem a arco submerso pode trabalhar em amplas faixas de intensidade de corrente, tensão e velocidade de avanço, distinguindo de outros processos. Porém, cada uma dessas variáveis pode ser controlada separadamente, desde que operem em conjunto para produzir soldas de acordo com as propriedades desejadas, uma vez que esses fatores influenciam diretamente no perfil do cordão de solda, na aparência e limpeza da junta. (Diniz, 2013)

2.3.5 Vantagens do Processo SAW

- Alta produtividade: o SAW é conhecido por sua alta taxa de deposição de metal de solda, tornando-o adequado para soldagem em larga escala.
- Baixo nível de fumos: como o arco e o eletrodo ficam submersos em um fluxo granuloso, a geração de fumos e gases é reduzida, proporcionando melhores condições de trabalho.
- Boa qualidade de solda: o SAW geralmente produz soldas de alta qualidade com penetração completa e baixas taxas de inclusões e defeitos.
- Baixo índice de respingos, o que reduz a necessidade de retrabalho.

2.3.6 Limitações do Processo SAW

- Restrição em juntas estreitas: devido ao tamanho do fluxo e do eletrodo, o processo SAW pode ser limitado em aplicações com juntas estreitas ou locais de difícil acesso.
- Não é adequado para peças com espessura inferior a 6mm, devido ao alto nível de energia envolvido.
- Requer equipamentos complexos e especializados.

- Possibilidade de trincas de solidificação devido à rápida taxa de resfriamento.

A soldagem a arco submerso é um processo de soldagem eficiente e confiável, capaz de unir materiais com alta qualidade e produtividade. Suas aplicações em diversos setores industriais demonstram a importância do método para a fabricação e manutenção de estruturas metálicas. No entanto, é essencial considerar as vantagens e desvantagens antes de optar por esse processo, garantindo sua adequação aos requisitos específicos de cada projeto.

Segundo Rodrigues et al. (2022), o processo SAW é um processo que alia uma boa qualidade de metal de solda com muito boa produtividade. Na maioria das vezes é o processo preferido quando o volume de solda é grande, para espessuras maiores, desde que seja viável tecnicamente.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipos de Pesquisa

A pesquisa pode ser classificada de acordo com os seus objetivos, a sua forma de abordagem, e quanto aos procedimentos técnicos utilizados.

Com relação aos objetivos da pesquisa, ela pode ser exploratória, que, para Gil (2008), tem o objetivo de proporcionar uma visão geral acerca de determinado fato, com a finalidade de explicitar e aumentar a familiaridade com o problema. Descritiva, que analisa, observa, registra e correlaciona aspectos que envolvem fatos ou fenômenos, sem manipulá-los. Para Triviños (1987), este tipo de pesquisa exige uma precisa delimitação de técnicas, métodos, modelos e teorias na coleta e interpretação de dados, e ainda assim podem existir resultados equivocados que geram imprecisão. E explicativa, que, segundo Gil (2008), é a que mais aprofunda o conhecimento da realidade, sendo o tipo de pesquisa mais complexo e delicado. Tendo a preocupação de identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos.

De acordo com a forma de abordagem, a pesquisa pode ser qualitativa ou quantitativa. De acordo com Minayo, et al (2009), a pesquisa qualitativa trata dos significados, com um nível de realidade que não é quantificado. Já a pesquisa quantitativa, para Fonseca (2002), está centrada na objetividade, recorrendo à linguagem matemática para traduzir as informações. A utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa, é interessante por permitir recolher mais informações do que se conseguiria isoladamente.

Quanto aos procedimentos técnicos utilizados, Gil (2008) afirma que a pesquisa bibliográfica se dá a partir de material já elaborado, como livros e artigos científicos. Fonseca (2002) sugere cuidado ao selecionar e analisar documentos de pesquisa, para não comprometer a qualidade do estudo com erros de dados coletados ou processados de forma equivocada. Gil (2008) diz que a diferença entre a pesquisa bibliográfica e documental está na natureza da fonte de pesquisa, a pesquisa documental, segundo Fonseca (2002), recorre a fontes mais diversificadas e dispersas, sem tratamento analítico. Para Gil (2008), a pesquisa experimental “consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto”. São responsáveis por grandes avanços tecnológicos e científicos. De acordo com Yin (2001), o estudo de caso se dá por um estudo empírico de investigação de um fenômeno atual dentro do seu

contexto de realidade. Conforme França (2017), pesquisa ação estabelece a relação de uma ação com a resolução de um problema coletivo, e pesquisa participante, é desenvolvida a partir da interação entre pesquisador e membros das situações investigadas.

Dessa forma, o presente trabalho consiste em uma pesquisa exploratória dos processos de soldagem em questão, com abordagem qualitativa e quantitativa da viabilidade da implementação do processo de soldagem mecanizado, utilizando de pesquisa bibliográfica e estudo de caso da soldagem da tubulação de um turbo gerador, pelos processos SMAW e SAW, no pipe shop de uma obra da Milplan Engenharia.

3.2 Materiais e Métodos

O presente trabalho fará um estudo sobre a viabilidade da substituição do processo SMAW pelo processo SAW, ou seja, viabilidade da mecanização do processo de soldagem.

O fluxograma da Figura 8 mostra as etapas de desenvolvimento do trabalho.

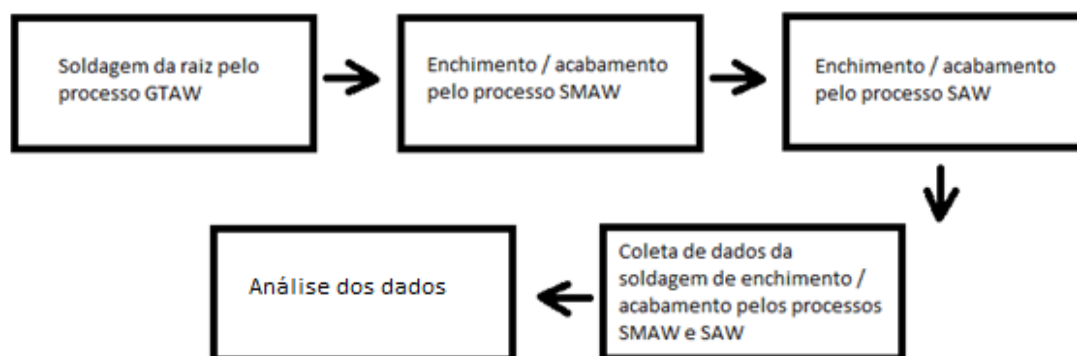


Figura 8 - Fluxograma das etapas do trabalho
Fonte: Pesquisa direta, 2023

A partir da coleta de dados sobre os processos de soldagem em questão e o levantamento de custos e produtividade será possível analisar a viabilidade da implementação ou não do processo de soldagem mecanizado SAW ao invés do processo manual SMAW.

3.3 Variáveis e Indicadores

Triviños (1987) conceitua variável como característica perceptível de algo que pode assumir diversos valores. Uma variável pode conduzir diversos indicadores que as

caracterizam, e para a escolha desses indicadores, é necessário um aprofundamento sobre o problema analisado (Gil, 2008).

A tabela a seguir indica a variável principal e seus respectivos indicadores, que serão utilizados nesse trabalho.

Tabela 3 - Variável e indicadores (Pesquisa direta, 2023)

VARIÁVEL	INDICADORES
Processo de soldagem	<ul style="list-style-type: none"> - Tempo de soldagem - Taxa de deposição de metal de solda - Mão de obra - Equipamento

3.4 Instrumentos de Coleta de Dados

Como mencionado anteriormente, este trabalho trata de uma pesquisa bibliográfica e estudo de caso, no entanto, os instrumentos de coleta de dados serão livros, obras acadêmicas, dissertações, catálogos, entre outros.

3.5 Tabulação de Dados

Os dados de entrada do problema serão aproveitados no programa *Microsoft Excel*, que receberá os dados de entrada e executará os cálculos, apresentando os resultados, sendo eles demonstrados nesse documento, utilizando o programa *Microsoft Word*.

3.6 Considerações Finais

Nesse capítulo foi possível acompanhar as etapas em que a pesquisa será desenvolvida, junto com os métodos e materiais que serão utilizados, sendo possível também visualizar os instrumentos de análises de dados, e as formas em que os dados serão apresentados.

No próximo capítulo serão mostrados resultados referentes ao processo de soldagem da tubulação de um turbo gerador.

4 RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os dados coletados em cada um dos processos a serem analisados e o comparativo dos mesmos a fim de concluirmos sobre a viabilidade da mecanização do processo.

4.1 Estudo de Caso

Será apresentado o desenvolvimento de soldagem em juntas de tubulações da montagem eletromecânica do turbo gerador, realizada em uma obra da Milplan Engenharia, em uma unidade de papel e celulose, que tinha como ponto crítico o curto prazo para conclusão das atividades, logo, precisava aumentar sua produtividade.

O metal de base é o ASTM 335 – P11 – (1,0 a 1,25 Cr – 0,5 Mo) P N° 4, conforme as normas ASME B31.1 – *Power Piping* e ASME B31.3 – *Process Piping*.

A partir disso, serão coletados dados que nos permitirão analisar qual o processo de soldagem mais viável de ser utilizado em relação a produtividade.

4.2 Metal de Base

O metal de base é o ASTM A335 – P11 – *P number 4*. A norma ASTM A335 é uma especificação padrão da *ASTM International (American Society for Testing and Materials – Sociedade americana de testes e materiais)* que abrange tubos de aço ligado de alta temperatura. No caso específico da classe P11, isso se refere a tubos de aço ligado de cromo-molibdênio. Esses elementos conferem ao material boas propriedades de resistência a altas temperaturas. O ASTM A335 P11 é frequentemente utilizado em aplicações de alta temperatura e alta pressão, como em caldeiras, trocadores de calor e tubulações de superaquecedores em usinas termelétricas e indústrias petroquímicas. Ele é projetado para suportar temperaturas de operação de até 590°C (1100°F). Os tubos ASTM A335 P11 estão disponíveis em uma variedade de tamanhos e espessuras para atender a diferentes requisitos de projeto.

O P11 normalmente requer um tratamento térmico para otimizar suas propriedades mecânicas e garantir sua adequação para serviços de alta temperatura. O tratamento térmico geralmente envolve o recozimento e o resfriamento controlado.

A presença de cromo no P11 confere boa resistência à corrosão, o que é uma característica importante para aplicações em ambientes quentes e úmidos. A fabricação

de tubos ASTM A335 P11 segue as especificações rigorosas da *ASTM International*, garantindo a qualidade e a conformidade do material com os padrões estabelecidos.

P number é uma classificação usada na indústria de fabricação e soldagem para identificar grupos de materiais similares que têm características de soldagem semelhantes. *P number 4* é um número de grupo de material de acordo com a norma ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) para qualificação de procedimentos de soldagem e especificação de materiais. Este número P4 é comumente associado a materiais de aço cromo-molibdênio comumente usados em aplicações de alta temperatura e pressão, como ASTM A387 Gr. 11 e ASTM A335 Gr. P11. O ASTM A387 Gr.11 é uma especificação para chapas de aço de cromo-molibdênio, projetadas para uso em vasos de pressão e caldeiras a altas temperaturas. Estas chapas são usadas principalmente em aplicações industriais onde a resistência à temperatura e à pressão é crucial.

O ASTM A335 P11 possui resistência à tração mínima de 451Mpa, limite de escoamento mínimo de 205Mpa, alongamento mínimo de 30%, temperatura de operação entre 450°C e 600°C e densidade em torno de 7,8g/cm³ (Linkun, 2023).

4.3 Normas

ASME B31.1, também conhecida como “*ASME Boiler and Pressure Vessel Code – Section I*” (Código ASME de Caldeiras e Vasos de Pressão), é uma norma estabelecida pela *American Society of Mechanical Engineers* (ASME), que trata de requisitos para o projeto, construção, inspeção e teste de sistemas de tubulação para transporte de fluidos sob pressão. Essa norma é aplicada principalmente a sistemas de tubulação em usinas elétricas, usinas nucleares, instalações industriais e outras instalações que lidam com fluidos pressurizados.

A ASME B31.1 fornece diretrizes abrangentes para o projeto e construção de sistemas de tubulação, incluindo aspectos relacionados à integridade estrutural, segurança operacional e eficiência. Esta norma é amplamente adotada e respeitada na indústria de engenharia e é usada como referência para garantir que os sistemas de tubulação em instalações críticas funcionem com segurança e eficácia.

A norma ASME B31.3 se concentra especificamente em requisitos para sistemas de tubulação de processo. Essa norma é amplamente adotada na indústria de engenharia

e é usada para o projeto, construção, teste, inspeção e operação de sistemas de tubulação que transportam fluidos e materiais em processos industriais.

As especificações de procedimento de soldagem (EPS) utilizadas no desenvolvimento desse projeto se basearam também na norma ASME IX, utilizada principalmente na indústria de fabricação e inspeção de equipamentos pressurizados, como caldeiras, vasos de pressão e tubulações. A ASME IX especifica os requisitos para a qualificação de procedimentos de soldagem, soldadores e operadores de soldagem. Ela define os procedimentos que devem ser seguidos para garantir que as soldas em equipamentos pressurizados atendam aos padrões de qualidade e segurança exigidos pelas regulamentações e códigos de construção.

Alguns dos principais tópicos abordados pela norma ASME IX incluem os requisitos para a criação e qualificação de procedimentos de soldagem, que descrevem como uma solda específica deve ser realizada, isso inclui informações sobre materiais, processos de soldagem, parâmetros de soldagem e procedimentos de teste. Define os critérios que os soldadores e operadores de soldagem devem atender para serem qualificados para executar soldas em equipamentos pressurizados. Especifica os métodos e critérios para a realização de ensaios não destrutivos (END), como ultrassom e líquido penetrante, para verificar a integridade das soldas. Estabelece os requisitos para testes mecânicos, como ensaio de tração e dobramento, que devem ser realizados para avaliar as propriedades mecânicas das soldas.

4.4 Processos de Soldagem

O procedimento de soldagem da tubulação em questão se dá a partir das informações qualificadas nas EPSs. Antes disso, é necessário a preparação e limpeza das extremidades das juntas, todas as juntas (biseis) devem ser preparadas, livres de oxidação, mordedura, tinta, óleo e graxa, e protegidas com verniz, antes dos tubos serem posicionados para montagem e soldagem. Todas as juntas devem ser pré-aquecidas antes da soldagem, conforme especificado na EPS, pelo método de maçarico tipo chuveiro por chama (GLP) ou por manta com resistência. E após a realização da solda são realizados ENDs como líquido penetrante e ultrassom.

Ao final do processo de soldagem, é necessário realizar o tratamento térmico para garantir que o material ASTM A335 P11 mantenha suas propriedades mecânicas e sua integridade após o processo de soldagem. A soldagem gera tensões residuais no material

devido ao aquecimento e resfriamento rápidos que ocorrem durante o processo. Essas tensões residuais podem levar a deformações, trincas e redução da resistência do material. O tratamento térmico de recozimento é utilizado para aliviar essas tensões e melhorar a estabilidade dimensional da peça. Como o ASTM A335 P11 é usado em aplicações de alta temperatura, a resistência à fratura e a tenacidade são essenciais. A soldagem pode alterar a microestrutura do material e, em alguns casos, torná-lo mais frágil. O tratamento térmico revenido pode melhorar a tenacidade, tornando o material mais resistente a trincas e fraturas. O tratamento térmico pode também ajudar a recristalizar a estrutura do material e refinar os grãos, melhorando a uniformidade das propriedades mecânicas e a resistência do material. O tratamento térmico pós soldagem também permite controlar a dureza do material, importante para garantir que o material não seja muito duro, o que poderia torná-lo quebradiço e propenso a trincas, especialmente em aplicações de alta temperatura. E ajuda a homogeneizar a composição química, melhorando a consistência das propriedades em toda a peça soldada.

4.4.1 Especificações de Procedimento de Soldagem (EPS)

Foi feito o processo de qualificação das EPSs pela norma ASME IX, em que os processos de soldagem utilizados foram:

- passe de raiz pelo processo GTAW e demais passes pelo processo SMAW;
- passe de raiz pelo processo GTAW, e os demais passes pelo processo SAW.


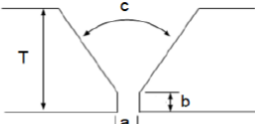
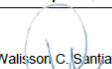
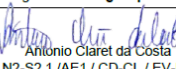

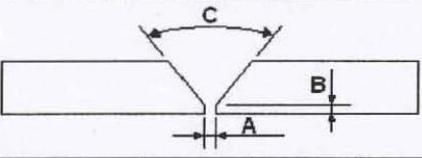
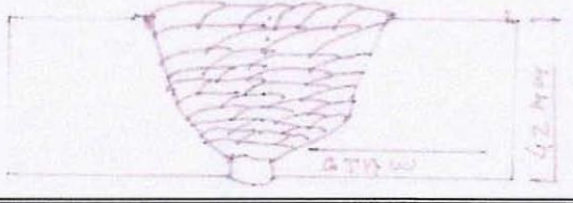
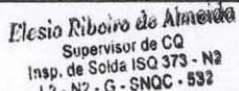
		ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM WELDING PROCEDURE SPECIFICATION CÓDIGO DO DOCUMENTO / DOCUMENT CODE: QUA,QUA,FP-017 - Rev. 00																							
Empresa / Fabricante: MILPLAN Engenharia				Folha: 1 / 1																					
Company Name:				Sheet:																					
RQPS qualificada por: Elésio Ribeiro de Almeida		EPS / WPS Nº: 039/2013		Rev.: 1																					
PQR qualified by:		RQPS / PQR Nº: 039/2013		Rev.: 0																					
Código / Norma: ASME IX Ed. 2021																									
Code:																									
Processo de soldagem: GTAW + SMAW		Tipo: Manual		Data: 12/05/2023																					
Welding process:		Type: Manual		Date:																					
Metal de base																									
Base Metals																									
Metal de base: ASTM A 335 Gr. P11 x ASTM A 335 Gr. P11		PNº: Todos 4		Grupo Nº: Todos 1																					
Base Metal:		PNº: All 4		Group Nº: All 1																					
Espessura: Juntas de Topo: 5,0 a 200,0mm				Ø nominal: Qualquer																					
Solda em ângulo (Fillet Weld): Dimensões da Garganta/ Perna: Ilimitado				Ø nominal: Any																					
Thickness: Butt joint - 5.0 a 200.0mm / Fillet Weld - Unlimited																									
Posição de soldagem: Todas Posições																									
Groove position: All positions																									
Progressão de soldagem: Ascendente																									
Welding progress: Uphill																									
Metais de adição																									
Filler metals																									
Classificação / Especificação: SFA5.28 / ER 80S B2; SFA5.5 / E 8018-B2		Diâmetro: Qualquer		FNº: 6 / 4 ANº: 3																					
Specification / classification: SFA5.28 / ER 80S B2; SFA5.5 / E 8018-B2		Diâmetro: Any		FNº: 6 / 4 ANº: 3																					
Espessura metal soldado: Juntas de Topo: ≤ GTAW 10,0 mm; SMAW ≤ 190,0 mm / Solda em ângulo (Fillet Weld): Ilimitado																									
Filler metal thcness: Butt Weld : ≤ GTAW 10.0 mm; SMAW ≤ 190.0 mm / Fillet Weld: unlimited																									
Gás de proteção: GTAW - 99,99%Ar		Vazão do Gás: 10 a 20 l/min.		Eletrodo Tungstênio: Todos SFA 5.12																					
Shielded gas:		Flow rate gas:		Tungsten Electrode: All SFA 5.12																					
				Diâmetro: Qualquer																					
				Diâmetro: Any																					
Controle de temperaturas																									
Welding temperature control																									
Tratamento térmico: 704 a 746°C		Tempo de Patamar: 3 horas (mínimo)		Pré-aquecimento: ≥ 150° C																					
heating treatment: 704 to 746°C		Heating Time: 3 hour(minimum)		Minimum pre-heat:																					
Taxa de aquecimento: ≤ 100°C / hora		Taxa de resfriamento: ≤ 100°C / hora		Máxima temperatura interpasse: ≤ 300°C																					
Heating rate: ≤ 100°C / hour		Cooling rate: ≤ 100°C / hour		Interpasse maximum temperature:																					
Início de Controle: ≤ 300°C		Fim de Controle: ≤ 300°C		Pós-aquecimento: NA																					
Start Control:		End Control:		Post heat: NA																					
Técnicas de soldagem																									
Welding technique																									
Limpeza inicial: Escovamento ou esmerilhamento		Limpeza entre passes: Escovamento ou esmerilhamento																							
Initial cleaning: Brushing or grinding		Interpass cleaning: Brushing or grinding																							
Corrente: GTAW - Contínua polaridade direta = CC- / SMAW - Contínua polaridade inversa = CC+		Velocidade de Alimentação do Arame: NA																							
Current: GTAW - Direct current electrood negative - DCEN / SMAW - Direct current electrood positive - DCEP		Wire feed speed: NA																							
Modo de transferência FCAW: N/A		Velocidade de Soldagem: 5,0 a 30,0 cm/min.																							
Transfer mode FCAW:		Speed travel: 5.0 to 30.0 cm/min.																							
Junta: Todos os Tipos de Juntas		Largura Máxima: 15,0 mm																							
Joint design: All, Types of Joints		Maximum width:																							
Croqui da junta e da solda																									
Joint details																									
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de chanfro</th> <th>Ângulo do chanfro</th> <th>Nariz (mm)</th> <th>Raiz (mm)</th> <th>Tipo de cobre-junta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>V / X</td> <td>C = 65° a 75°</td> <td>b = 0,8 a 1,5</td> <td>a = 2 a 4</td> <td>com ou sem cobre junta</td> </tr> <tr> <td>1/2V / K</td> <td>C = 40° a 50°</td> <td>b = 0,8 a 1,5</td> <td>a = 2 a 4</td> <td>com ou sem cobre junta</td> </tr> <tr> <td>Ângulo (Fillet Weld)</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>a = 0 a 5</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>		Tipo de chanfro	Ângulo do chanfro	Nariz (mm)	Raiz (mm)	Tipo de cobre-junta	V / X	C = 65° a 75°	b = 0,8 a 1,5	a = 2 a 4	com ou sem cobre junta	1/2V / K	C = 40° a 50°	b = 0,8 a 1,5	a = 2 a 4	com ou sem cobre junta	Ângulo (Fillet Weld)	-	-	a = 0 a 5	-		
Tipo de chanfro	Ângulo do chanfro	Nariz (mm)	Raiz (mm)	Tipo de cobre-junta																					
V / X	C = 65° a 75°	b = 0,8 a 1,5	a = 2 a 4	com ou sem cobre junta																					
1/2V / K	C = 40° a 50°	b = 0,8 a 1,5	a = 2 a 4	com ou sem cobre junta																					
Ângulo (Fillet Weld)	-	-	a = 0 a 5	-																					
Esta qualificado para juntas de penetração total indicada no croqui e na tabela acima, juntas de penetração parcial e soldas em ângulo para passe simples, e para passes múltiplos.																									
It is qualified for complete joint penetration conform indicated in the sketch and above table, partial penetration joints and fillet welds for single pass, and for multi-passes.																									
Parâmetros da soldagem																									
Welding procedure																									
Processo	Eletrodo	Ø (mm)	Passe Pass	Polaridade Current	Temperatura (° C)	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade (cm/min)	Veloc. aliment. arame (m/min)	Aporte térmico (Heat Input) (J/cm)															
Process	Electrod																								
GTAW	ER 80S B2	QUALQUER (Any)	RAIZ (Root)	CC-	≥ 150°C	100 - 210	10 - 15	5,0 - 15,0	NA	SEM RESTRIÇÃO															
GTAW	ER 80S B2	QUALQUER (Any)	ENCHIMENTO (Fill)	CC-	≤ 250°C	100 - 210	10 - 15	5,0 - 15,0	NA	SEM RESTRIÇÃO															
SMAW	E 8018-B2	QUALQUER (Any)	ENCHIMENTO (Fill)	CC+	≤ 250°C	80 - 200	20 - 30	10,0 - 30,0	NA	SEM RESTRIÇÃO															
SMAW	E 8018-B2	QUALQUER (Any)	ACABAMENTO (Cap)	CC+	≤ 250°C	80 - 200	20 - 30	10,0 - 30,0	NA	SEM RESTRIÇÃO															
Observações																									
Remarks																									
1* Utilizar marca OK TIGROD 13.16 / OK 76.18 - ESAB ou outras marcas de consumíveis da mesma classificação desde que homologados pela FBTS																									
1* Use brands OK TIGROD 13.16 / OK 76.18 - ESAB or others consumable brands of the same classification provided they are approved by the FBTS																									
Qualidade Milplan / Milplan Quality:		Inspetor de Soldagem / Welding Inspector:			Fiscalização / Authorized by:																				
 Walisson C. Santiago Assistente Técnico da Qualidade Matrícula: 094749		 Antonio Claret da Costa US-N3 / N2-S2.1 / AE1 / CD-CL / EV-N3 / PM N3 Inspetor de Soldagem N2 AWS / ASME / API IS294N2 / SNQC: 651																							
Data / Date:		Data / Date:			Data / Date:																				

Figura 9 - EPS GTAW / SMAW
Fonte: Milplan Engenharia

		REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM <i>(Welding Procedure Qualification Records)</i>			RQPS: 039/13 (WPQR)				
					Folha (Sheet): 01 / 02	Data (Date): 11/07/2013			
EPS (WPS): 039/13		NORMA DE REFERÊNCIA: <i>(Reference Specification)</i>		ASME IX 2010					
PROCESSO DE SOLDAGEM <i>(Welding Process)</i> : GTAW(TIG) + SMAW (ER)				TIPO <i>(Type)</i> : MANUAL					
DETALHE DA JUNTA <i>(Detail of Joint)</i> :			SEQÜÊNCIA DE PASSES <i>(Pass Sequence)</i> :						
									
Dimensões: <i>(Dimensions)</i>		A	B	C					
		3,0 mm	1,5 mm	70°					
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS <i>(Electrical Characteristics)</i> :									
Camada <i>(Layer)</i>	Passo <i>(Pass)</i>	Classe AWS <i>(AWS Class)</i>	Diâmetro <i>(Diameter)</i>	Corrente / Polaridade <i>(Curr. / Polar.)</i>	Amp. <i>(Current)</i> (A)	Tensão <i>(Voltage)</i> (V)	Velocidade <i>(Speed)</i> (cm/min)	Calor Fornecido <i>(Heat Input)</i>	Progressão <i>(Progression)</i>
1°	1	ER80S-B2	3,2mm	CC -	110-140	14			Ascendente (Uphill)
2°	2	ER80S-B2	3,2mm	CC -	110-140	16			
DEMAIS	DEMAIS	E8018-B2	3,2mm	CC +	150-160	24			Ascendente (Uphill)
MATERIAL DE BASE <i>(Base Metal)</i> :						METAIS DE ADIÇÃO <i>(Filler Metals)</i> :			
Especificação <i>(Specification)</i> : ASTM A335Gr 11 x ASTM A335Gr 11						Especificação SFA <i>(SFA Specification)</i> : 5.28 / 5.5			
P N° / Grupo <i>(Group)</i> N°: 4 x 4						Classificação AWS <i>(AWS Class)</i> : ER80S-B2 / E8018-B2			
Grupo <i>(Group)</i> -: 1						F N°: 6/4 A N°: 3			
Espessura <i>(Thickness)</i> : 42,0 mm (5,0mm GTAW + 37,0mm SMAW)						Fabricante <i>(Manufacturer)</i> : ESAB			
Diâmetro <i>(Diameter)</i> : N/A						Marca Comercial <i>(Trade Name)</i> : OK TIGROD 13.16/OK 76.18			
GÁS DE PROTEÇÃO <i>(Shielding Gas)</i> :						Fluxo <i>(Flux)</i> : ---			
	Gas	Mistura <i>(Mixture)</i>	Vazão <i>(Flow Rate)</i>			Classificação Fluxo-Arame <i>(Wire-Flux Classification)</i> : ---			
Prot. do Arco AT <i>(Shielding)</i>	N/A	N/A	NA			Fabricante Fluxo <i>(Flux Manufacturer)</i> : ---			
Prot. do Arco GTAW <i>(Shielding)</i>	ARGÔNIO	99,99%	10 to 20 l/min			Marca Comercial do Fluxo <i>(Flux Trade Name)</i> : ---			
PRÉ-AQUECIMENTO <i>(Preheat)</i> :					TRATAMENTO TÉRMICO PÓS SOLDAGEM: <i>(Postweld Heat Treatment)</i>				
Temperatura de Pré-Aquecimento <i>(Preheat Temp.)</i> : >=150°C					Conforme Relatório N° <i>(According Report N°)</i> : AUSTEN(363/2013)				
Temperatura de Interpassos <i>(Interpass Temp.)</i> : <=300 °C					POSIÇÃO <i>(Position)</i> :				
Temperatura de Pós-Aquecimento <i>(Postheat Temp.)</i> : ---									
Técnica Utilizada <i>(Technical Used)</i> : ---					Posição de Soldagem <i>(Welding Position)</i> : 5G				
TÉCNICA <i>(Technique)</i> :									
Limpeza Inicial / Interpassos: Escovamento / Esmerilhamento <i>(Cleaning Initial / Interpass): Brushing / Grinding</i>					Téc. de Acoplamento <i>(Acoppling Technique)</i> :				
Método de Goivagem <i>(Gauging Method)</i> : N/A					Modo de transferência <i>(Transfer mode)</i> :				
Distância Bucal / Peça <i>(Stickout)</i> : 10mm					N/A				
Proteção de Bisel <i>(Bevel Protection)</i> : N/A					Cordão Retilíneo ou Oscilante <i>(String or Weave Bead)</i> : Oscilante				
					Oscilação <i>(Oscillation)</i> : SIM				
OBSERVAÇÕES <i>(Remarks)</i> :									
Inspetor de Soldagem Nível 2 <i>(Welding Inspector Level 2)</i>			Controle da Qualidade <i>(Quality Control)</i>			Cliente <i>(Client)</i>			
 Eclesio Ribeiro de Almeida Supervisor de CQ Insp. de Solda ISQ 373 - N2 1.2 - N2 - G - SNQC - 532									


	REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM <i>(Welding Procedure Qualification Records)</i>				RQPS: 039/13 <i>(WPQR)</i>		
					Folha <i>(Sheet):</i> 02 / 02	Data (Date): 11/07/2013	
ENSAIO DE TRAÇÃO (Tensile Test) :Aprovado (Approved)							
Corpo de Prova <i>(Specimen)</i>	Largura <i>(Width)</i>	Espessura <i>(Thickness)</i>	Área <i>(Area)</i>	Carga de Resist. <i>(Ultimate Tensile)</i>	Limite de Resistência <i>(Ultimate unit Stress)</i>	Localização da Fratura <i>(Location of Failure)</i>	Certificado <i>(Certified)</i>
TR01	20,33(mm)	39,65(mm)	806,08(mm ²)	42796kgf	520,8 MPa	Metal de Base <i>(Base Metal)</i>	222632
TR02	19,93(mm)	39,70(mm)	791,22(mm ²)	43060Kgf	533,9 MPa		222632
ENSAIO DE DOBRAMENTO (Guided-Bend Test) :							
Corpo de Prova <i>(Specimen)</i>	Tipo <i>(Type)</i>		Resultado <i>(Result)</i>		Certificado <i>(Certified)</i>		
1	DL - SIDE		Aprovado <i>(Approved)</i>		222632(UNIVERSIDADE ITAUNA)		
2	DL - SIDE		Aprovado <i>(Approved)</i>		222632(UNIVERSIDADE ITAUNA)		
3	DL - SIDE		Aprovado <i>(Approved)</i>		222632(UNIVERSIDADE ITAUNA)		
4	DL - SIDE		Aprovado <i>(Approved)</i>		222632(UNIVERSIDADE ITAUNA)		
ENSAIO DE IMPACTO (CHARPY TEST) :							
CP Nº	LOCALIZAÇÃO PLACE		TEMPERATURAT <i>EMPERATURE</i>	ENERGIA <i>ENERGY</i>	ESPANSÃO LATERAL <i>LATERAL EXPANSION</i>		
ENSAIO DE DUREZA (HARDNESS TEST) :Aprovado (Approved) CERTIFICADO: 222772							
Local do CP	ZTA	SOLDA	METAL BASE				HARDNESS
FACE	170HB	187HB	156HB				HB
RAIZ	156HB	170HB	143HB				HB
SOLDADOR (Welder) :							
NOME:				Sinete (Stamp): S-232			
OBSERVAÇÕES (Remarks) :							
CERTIFICADOS DOS CONSUMIVEIS : CERTIFICADOS MATERIAL DE BASE:(SENAI-6470/2013 E FAC. ITAUNA 222773) ER80SB2 (PV944300086-ESAB) E8018-B2(VT313E7092)							
Certificamos que o descrito neste registro está correto, e que todos os corpos de prova foram preparados, soldados e testados de acordo com os requisitos da norma ASME IX Edição 2010. <i>(We certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of ASME IX Edition 2010)</i>							
Inspeção de Soldagem Nível 2 <i>(Welding Inspector Level 2)</i>		Controle da Qualidade <i>(Quality Control)</i>		Cliente <i>(Client)</i>			
Elesio Ribeiro de Almeida Supervisor de CG Insp. de Solda ISO 373 - N2 033-9-6286-533							

Figura 10 - RQPS GTAW / SMAW
 Fonte: Milplan Engenharia


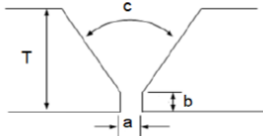

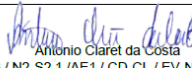

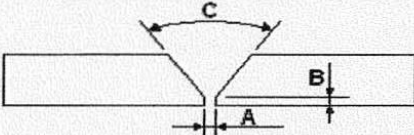
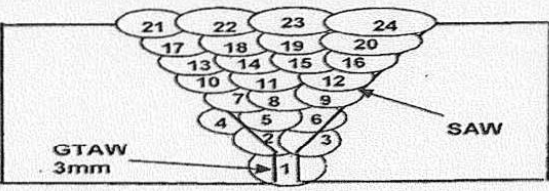
		ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM WELDING PROCEDURE SPECIFICATION CÓDIGO DO DOCUMENTO / DOCUMENT CODE: QUA,QUA,FP-017 - Rev. 00																						
Empresa / Fabricante: MILPLAN Engenharia Company Name:				Folha: 1 / 1 Sheet:																				
RQPS qualificada por: Elésio Ribeiro de Almeida PQR qualified by:		EPS / WPS Nº: 030/2013 RQPS / PQR Nº: ASME 030/13		Rev.: 1 Rev.: 0																				
Código / Norma: ASME IX Ed. 2021 / ASME B31.3 Ed.2020 Code:																								
Processo de soldagem: GTAW + SAW Welding process:		Tipo: Manual + Mecanizado Type: Manual + Mechanized		Data: 15/05/2023 Date:																				
Metal de base																								
Base Metals																								
Metal de base: ASTM A 387 Gr. 11 x ASTM A 387 Gr. 11 Base Metal:		PNº: Todos 4 PNº: All 4		Grupo Nº: Todos 1 Group Nº: All 1																				
Espessura: Juntas de Topo: 5,0 à 200,0mm Solda em ângulo (Fillet Weld): Dimensões da Garganta/ Perna: Ilimitado Thickness: Butt joint - 5.0 to 200.0mm / Fillet Weld - Unlimited		Ø nominal: Qualquer Ø nominal: Any																						
Posição de soldagem: Plana / Horizontal Groove position: Flat / Horizontal																								
Progressão de soldagem: N/A Welding progress:																								
Metais de adição																								
Filler metals																								
Classificação / Especificação: SFA5.28 / ER 80S B2; SFA5.23 / F8P2EB2R-B2 Specification / classification: SFA5.28 / ER 80S B2; SFA5.23 / F8P2EB2R-B2		Diâmetro: Qualquer Diâmetro: Any		FNº: 6 / 6 FNo: 6 / 6 ANº: 3 ANo: 3																				
Espessura metal soldado: Juntas de Topo: ≤ GTAW 6,0 mm; SAW ≤ 194,0 mm / Solda em ângulo (Fillet Weld): Ilimitado Filler metal thckness: Butt Weld : ≤ GTAW 6.0 mm; SAW ≤ 194.0 mm / Fillet Weld: unlimited																								
Gás de proteção: GTAW - 99,99%Ar Shielded gas:		Vazão do Gás: 10 a 15 l/min. Flow rate gas:		Eletrodo Tungstênio: Todos SFA 5.12 Tungsten Electrode: All SFA 5.12 Diâmetro: Qualquer Diâmetro: Any																				
Controle de temperaturas																								
Welding temperature control																								
Tratamento térmico: 704 à 746°C heating tratament: 704 to 746°C		Tempo de Patamar: 2 horas (mínimo) Heating Time: 2 horas (minimum)		Pré-aquecimento: ≥ 150° C Minimum pre-heat:																				
Taxa de aquecimento: ≤ 100°C / hora Heating rate: ≤ 100°C / hour		Taxa de resfriamento: ≤ 100°C / hora Cooling rate: ≤ 100°C / hour		Máxima temperatura interpasse: ≤ 250°C Interpasse maximum temperature:																				
Início de Controle: ≤ 300°C Start Control:		Fim de Controle: ≤ 300°C End Control:		Pós-aquecimento: NA Post heat: NA																				
Caso a peça esteja úmida ou temperatura inferior a 15°C, deverá ser pré-aquecido à 50°C mínimo In Case that the part is moist or lower temperatura 15°C, 50°C will have to be preheated minimum.																								
Técnicas de soldagem																								
Welding technique																								
Limpeza inicial: Escovamento ou esmerilhamento Inicial cleaning: Brushing or grinding		Limpeza entre passes: Escovamento ou esmerilhamento Interpass cleaning: Brushing or grinding																						
Corrente: GTAW - Contínua polaridade direta = CC- / SAW - Contínua polaridade inversa = CC+ Current: GTAW - Direct current electro negative - DCEN / SAW - Direct current electro positive - DCEP		Velocidade de Alimentação do Arame : NA Wire feed speed: NA																						
Modo de transferência FCAW: N/A Transfer mode FCAW:		Velocidade de Soldagem: 10,0 à 50,0 cm/min. Speed travel: 10.0 to 50.0 cm/min.																						
Junta: Todos os Tipos de Juntas Joint design: All, Types of Joints		Largura Máxima: 20,0 mm Maximum width:																						
Croqui da junta e da solda																								
Joint details																								
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Tipo de chanfro</th> <th style="text-align: center;">Ângulo do chanfro</th> <th style="text-align: center;">Nariz (mm)</th> <th style="text-align: center;">Raiz (mm)</th> <th style="text-align: center;">Tipo de cobre-junta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">V / X</td> <td style="text-align: center;">C = 65° a 75°</td> <td style="text-align: center;">b = 0,8 a 1,5</td> <td style="text-align: center;">a = 2 a 4</td> <td style="text-align: center;">com ou sem cobre-junta</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1/2V / K</td> <td style="text-align: center;">C = 65° a 75°</td> <td style="text-align: center;">b = 0,8 a 1,5</td> <td style="text-align: center;">a = 2 a 4</td> <td style="text-align: center;">com ou sem cobre junta</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Ângulo (Fillet Weld)</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">a = 0 a 5</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de chanfro	Ângulo do chanfro	Nariz (mm)	Raiz (mm)	Tipo de cobre-junta	V / X	C = 65° a 75°	b = 0,8 a 1,5	a = 2 a 4	com ou sem cobre-junta	1/2V / K	C = 65° a 75°	b = 0,8 a 1,5	a = 2 a 4	com ou sem cobre junta	Ângulo (Fillet Weld)	-	-	a = 0 a 5	-
Tipo de chanfro	Ângulo do chanfro	Nariz (mm)	Raiz (mm)	Tipo de cobre-junta																				
V / X	C = 65° a 75°	b = 0,8 a 1,5	a = 2 a 4	com ou sem cobre-junta																				
1/2V / K	C = 65° a 75°	b = 0,8 a 1,5	a = 2 a 4	com ou sem cobre junta																				
Ângulo (Fillet Weld)	-	-	a = 0 a 5	-																				
Esta qualificado para juntas de penetração total indicada no croqui e na tabela acima, juntas de penetração parcial e soldas em ângulo para passe simples, e para passes múltiplos. It is qualified for complete joint penetration conform indicated in the sketch and above table, partial penetration joints and fillet welds for single pass, and for multi-passes.																								
Parâmetros da soldagem																								
Welding procedure																								
Processo	Eletrodo	Ø (mm)	Passe Pass	Polaridade Current	Temperatura (° C)	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade (cm/min)	Veloc. aliment. arame (m/min)	Aporte térmico (Heat Input) (J/cm)														
GTAW	ER 80S B2	QUALQUER (Any)	RAIZ (Root)	CC-	≥ 150°C	100 - 210	10 - 15	5,0 - 15,0	NA	SEM RESTRIÇÃO														
GTAW	ER 80S B2	QUALQUER (Any)	ENCHIMENTO (Fill)	CC-	≤ 250°C	100 - 210	10 - 15	5,0 - 15,0	NA	SEM RESTRIÇÃO														
SAW	F8P2EB2R-B2	QUALQUER (Any)	ENCHIMENTO (Fill)	CC+	≤ 250°C	150 - 300	20 - 30	15,0 - 50,0	NA	SEM RESTRIÇÃO														
SAW	F8P2EB2R-B2	QUALQUER (Any)	ACABAMENTO (Cap)	CC+	≤ 250°C	150 - 300	20 - 30	15,0 - 50,0	NA	SEM RESTRIÇÃO														
Observações																								
Remarks																								
2* Utilizar marca OK TIGROD 13.16 / OKAUTROD 13.10+OK FLUX 10.62 - ESAB ou outras marcas de consumíveis da mesma classificação desde que homologados pela FBTS 2* Use brands OK TIGROD 13.16 / OK AUTROD 13.10+OK FLUX 10.62 - ESAB or others consumable brands of the same classification provided they are approved by the FBTS																								
Qualidade Milplan / Milplan Quality:		Inspeção de Soldagem / Welding Inspector:			Fiscalização / Authorized by:																			
 Wallison C. Santiago Assistente Técnico da Qualidade Matrícula: 094749		 Antonio Claret da Costa US-N3 / N2-S2.1 / AE1 / CD-CL / EV-N3 / PM N3 Inspetor de Soldagem N2 AWS / ASME / API IS294N2 / SNQC: 651																						
Data / Date:		Data / Date:			Data / Date:																			

Figura 11 - EPS GTAW / SAW
 Fonte: Milplan Engenharia

	REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM <i>(Welding Procedure Qualification Records)</i>			RQPS: 030/13 <i>(WPQR)</i>					
	Folha (Sheet): 01 / 02		Data (Date): 13/03/2013						
EPS (WPS): 030/13		NORMA DE REFERÊNCIA: <i>(Reference Specification)</i>		ASME IX Ed. 2010					
PROCESSO DE SOLDAGEM (Welding Process): GTAW/SAW			TIPO (Type): MANUAL/AUTOMÁTICO						
DETALHE DA JUNTA (Detail of Joint):			SEQÜÊNCIA DE PASSES (Pass Sequence):						
									
Dimensões: <i>(Dimensions)</i>		A 6,0 mm	B 1,5 mm	C 70°					
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS (Electrical Characteristics):									
Camada (Layer)	Passe (Pass)	Classe AWS (AWS Class)	Diâmetro (Diameter)	Corrente / Polaridade (Curr. / Polar.)	Amp. (Current) (A)	Tensão (Voltage) (V)	Velocidade (Speed) (cm/min)	Calor Fornecido (Heat Input)	Progressão (Progression)
1°	1	ER 80S-B2	3,2 mm	CC -	210	14	N/A	N/A	N/A
DEMAIS	DEMAIS	EB2R	2,5 mm	CC +	280	31.7	N/A	N/A	N/A
MATERIAL DE BASE (Base Metal):						METAIS DE ADIÇÃO (Filler Metals):			
Especificação (Specification): ASTM A387Gr 11 x ASTM A387Gr 11 P N° / Grupo (Group) N°: 4 x 4 Grupo (Group) -: 1 Espessura (Thickness): 45,0 mm (3,0mm GTAW + 42,0mm SAW) Diâmetro (Diameter): N/A						Especificação SFA (SFA Specification): 5.28/5.23 Classificação AWS (AWS Class): ER80S-B2/EB2R F N°: 6 A N°: 3 Fabricante (Manufacturer): ESAB Marca Comercial (Trade Name): OK TIGROD 13.16/OK AUTROD 13.10 Fluxo (Flux): OK FLUX 10.62			
GÁS DE PROTEÇÃO (Shielding Gas):									
	Gas	Mistura (Mixture)	Vazão (Flow Rate)						
Prot. do Arco TIG (Shielding)	ARGÔNIO	99,99	15l/min						
Prot. do Arco MAG (Shielding)	---	---	---						
PRÉ-AQUECIMENTO (Preheat):						TRATAMENTO TÉRMICO PÓS SOLDAGEM: <i>(Postweld Heat Treatment)</i>			
Temperatura de Pré-Aquecimento (Preheat Temp.): > 200 °C Temperatura de Interpassos (Interpass Temp.): < 250 °C Temperatura de Pós-Aquecimento (Postheat Temp.): --- Técnica Utilizada (Technical Used): ---						Conforme Relatório N° (According Report N°): 170/2013			
						POSIÇÃO (Position):			
						Posição de Soldagem (Welding Position): 1G			
TÉCNICA (Technique):									
Limpeza Inicial / Interpassos: Escovamento / Esmerilhamento <i>(Cleaning Initial / Interpass):</i> Brushing / Grinding			Método de Goivagem (Gouging Method): N/A			Téc. de Acoplamento (Acoppling Technique): Pont. no Chanfro <i>(Groove Tack Welding)</i>			
Distância Bocal / Peça (Stickout): 14mm			Proteção de Bisel (Bevel Protection): N/A			Martelamento (Peening): --- Cobrejunta (Backing): NÃO Cordão Retilíneo ou Oscilante (String or Weave Bead): --- Oscilação (Oscillation): N/A			
OBSERVAÇÕES (Remarks):									
Inspetor de Soldagem Nível 2 <i>(Welding Inspector Level 2)</i> Elesio Ribeiro de Almeida Supervisor de CQ Insp. de Soida ISQ 373 - N2 L2 - N2 - G - SNQC - 532		Controle da Qualidade <i>(Quality Control)</i>		Cliente <i>(Client)</i>					


	REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM <i>(Welding Procedure Qualification Records)</i>					RQPS: 030/13 <i>(WPQR)</i>	
						Folha <i>(Sheet) :</i> 02 / 02	Data (Date) : 13/03/2013
ENSAIO DE TRAÇÃO (Tensile Test) :Aprovado (Approved)							
Corpo de Prova <i>(Specimen)</i>	Largura <i>(Width)</i>	Espessura <i>(Thickness)</i>	Área <i>(Area)</i>	Carga de Resist. <i>(Ultimate Tensile)</i>	Límite de Resistência <i>(Ultimate unit Stress)</i>	Localização da Fratura <i>(Location of Failure)</i>	Certificado <i>(Certified)</i>
TR01	19,93(mm)	38,61(mm)	769,50(mm ²)	40736kgf	519,3 MPa	Metal de Base <i>(Base Metal)</i>	220348
TR02	19,89(mm)	38,50(mm)	765,77(mm ²)	41000Kgf	525,2 MPa		220348
ENSAIO DE DOBRAMENTO (Guided-Bend Test) :							
Corpo de Prova <i>(Specimen)</i>	Tipo <i>(Type)</i>		Resultado <i>(Result)</i>			Certificado <i>(Certified)</i>	
1	DL - SIDE		Aprovado <i>(Approved)</i>			220348(UNIVERSIDADE ITAUNA)	
2	DL - SIDE		Aprovado <i>(Approved)</i>			220348(UNIVERSIDADE ITAUNA)	
3	DL - SIDE		Aprovado <i>(Approved)</i>			220348(UNIVERSIDADE ITAUNA)	
4	DL - SIDE		Aprovado <i>(Approved)</i>			220348(UNIVERSIDADE ITAUNA)	
ENSAIO DE IMPACTO (CHARPY TEST) :Aprovado (Approved)							
CP Nº	LOCALIZAÇÃO PLACE		TEMPERATURAT <i>EMPERATURE</i>	ENERGIA <i>ENERGY</i>	ESPANSÃO LATERAL <i>LATERAL EXPANSION</i>		
ENSAIO DE DUREZA (HARDNESS TEST) :Aprovado (Approved) CERTIFICADO: 220350(UNIVERSIDADE DE ITAUNA)							
Local do CP	ZTA	SOLDA	METAL BASE				HARDNESS
FACE	187	187	187				HB
RAIZ	187	187	187				HB
SOLDADOR (Welder) :							
NOME: SALVADOR XISTO DE OLIVEIRA						Sinete (Stamp) : S-12	
OBSERVAÇÕES (Remarks) :							
CERTIFICADOS DOS CONSUMÍVEIS :				CERTIFICADOS MATERIAL DE BASE: 091746(BODYCOTE)			
ER80S-B2 (PV944300086-ESAB)							
F8P2-EB2R-B2(PN249503-ESAB) EB2R(PV114758413-ESAB)							
Certificamos que o descrito neste registro está correto, e que todos os corpos de prova foram preparados, soldados e testados de acordo com os requisitos da norma ASME IX Edição 2010. <i>(We certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of ASME IX Edition 2010)</i>							
Inspetor de Soldagem Nível 2 <i>(Welding Inspector Level 2)</i>			Controle da Qualidade <i>(Quality Control)</i>			Cliente <i>(Client)</i>	
Eliesio Ribeiro de Almeida Supervisor de CQ Insp. de Solda ISQ 373 - N2 I.2 - N1 - G - SNQC - 532							

Figura 12 - RQPS GTAW / SAW
 Fonte: Milplan Engenharia

A EPS acima foi qualificada em chapas do material ASTM A387 Gr. 11 P number 4, que, como apresentado anteriormente, assim como ASTM A335 Gr. P11 P number 4,

são materiais de aço cromo-molibdênio, com a mesma classificação *P number* de qualificação de procedimentos de soldagem.

4.4.2 Passe de Raiz no Processo GTAW

A seleção do processo de soldagem depende das especificações do projeto e do material a ser soldado, mas é importante ressaltar que o processo GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), também conhecida como Soldagem TIG (Tungsten Inert Gas), produz soldas de alta qualidade com excelente penetração, fusão completa e baixos níveis de defeitos, o que é essencial para o passe de raiz, que é uma parte crítica da soldagem por formar a parte interna da junta.

O processo GTAW oferece um alto grau de controle sobre a corrente, tensão, velocidade de alimentação do metal de solda e fluxo de gás de proteção. O ajuste cuidadoso desses parâmetros permite obter uma solda uniforme e consistente. A baixa taxa de deposição de metal de solda é benéfica para o passe de raiz, pois evita a formação excessiva de respingos e a sobrecarga do metal, o que poderia prejudicar a qualidade da solda. A precisão no controle do arco elétrico é vital para evitar a contaminação do metal de solda por oxigênio ou nitrogênio do ambiente. A proteção eficaz do gás de soldagem inerte, argônio, é mantida em torno do arco, protegendo a poça de fusão e o passe de raiz contra a oxidação.

O consumível de soldagem utilizado foi ER80S-B2, OK TIGROD 13.16, de 3,2mm de diâmetro, fornecido pela ESAB, aço de liga leve, 1,3%Cr, 0,5%Mo.



Figura 13 - Consumível de soldagem GTAW
Fonte: ESAB

O equipamento utilizado na soldagem GTAW foi o inversor de solda Invertec V275S, da Lincoln Electric.



Figura 14 - Equipamento de soldagem GTAW
Fonte: Lincoln Electric



*Figura 15 - Soldagem pelo processo GTAW, passe de raiz
Fonte: Milplan Engenharia*

4.4.3 Enchimento e Acabamento pelo Processo SMAW

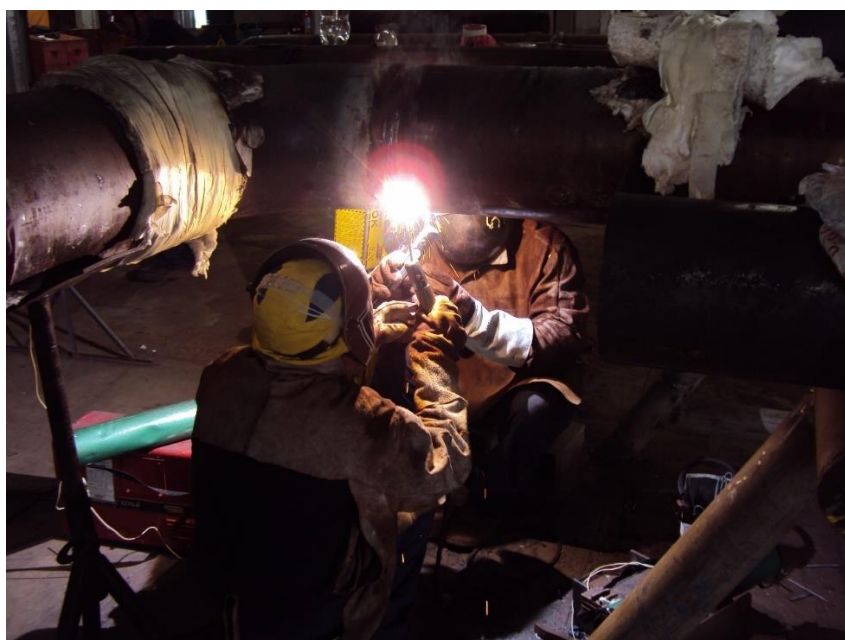
O processo SMAW é muito adequado para a fase de enchimento devido à sua capacidade de depositar metal de solda de maneira controlada e gradual. Após a fase de enchimento, o soldador usa o processo de SMAW para realizar o acabamento da junta de solda. Isso envolve a criação de um cordão de solda final que atende aos requisitos de qualidade e estética. A soldagem com eletrodo revestido requer habilidades significativas por parte do soldador para controlar adequadamente o processo, garantir a qualidade e atender aos requisitos específicos do projeto.

O consumível utilizado foi E8018-B2, OK 76.18, diâmetro 3,2mm, ESAB, baixa liga, 1,25%Cr, 0,5%Mo.



*Figura 16 - Consumível de soldagem SMAW
Fonte: ESAB*

Para o processo SMAW, foi utilizado o mesmo equipamento que na soldagem GTAW o inversor de solda Invertec V275S, da Lincoln Electric, com algumas alterações e ajustes no equipamento para atender às necessidades específicas de cada processo.



*Figura 17 - Soldagem pelo processo SMAW
Fonte: Milplan Engenharia*

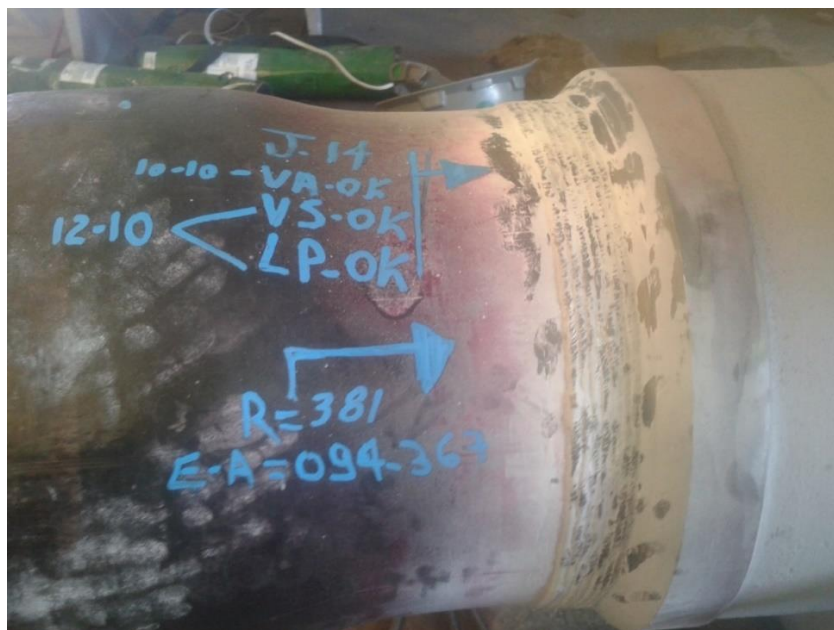


Figura 18 - Solda pelo processo SMAW finalizada
Fonte: Milplan Engenharia

4.4.4 Enchimento e Acabamento pelo Processo SAW

O processo SAW é frequentemente usado para o enchimento inicial em juntas de grande espessura ou largura e em aplicações de alta produção devido à sua alta taxa de deposição de metal de solda. Após o enchimento, o processo SAW é utilizado para realizar o acabamento do cordão de solda, com os ajustes dos parâmetros do processo, como velocidade de alimentação do arame e corrente de soldagem, cria-se um cordão final uniforme e esteticamente agradável, que atenda aos requisitos do projeto.

O consumível utilizado é o EB2R-B2, OK AUTROD 13.10, 2,5mm de diâmetro, da ESAB. Arame sólido cobreado, de baixa liga, designado para soldagem ao arco submerso de aços resistentes à fluência do tipo 1,25%Cr 0,5%Mo. O fluxo utilizado é o OK FLUX 10.62, da ESAB. Fluxo aglomerado neutro de elevada basicidade, apropriado para a soldagem de junta estreita com bom destacamento de escória e fusão uniforme nas laterais do cordão, aplicável na soldagem com múltiplos arames em CC+/CA. Indicado para soldagem de vasos de pressão, em aplicações nucleares e construções *offshore*, oferece baixíssimos níveis de oxigênio, e hidrogênio difusível no metal de solda.



Figura 19 - Consumíveis de soldagem SAW
Fonte: ESAB

Para a soldagem com o processo SAW, foi utilizado manipulador 2x2 móvel para auxiliar na automação da soldagem, permitindo que a tocha de soldagem fosse posicionada de maneira precisa sobre a peça de trabalho, virador corpo cilindro da Netsu, utilizado para girar as tubulações durante o processo de soldagem, facilitando o acesso à soldagem de diferentes áreas da peça de trabalho e garantindo uma soldagem uniforme em toda a circunferência da junta, o reservatório de fluxo HDX 1500, da Miller, e a fonte Sub Arc DC 1250 Miller.



Figura 20 - Equipamento de soldagem SAW
Fonte: Miller



Figura 21 - Torre para máquina de solda, processo SAW utilizado para soldagem da tubulação
Fonte: Milplan Engenharia



Figura 22 - Processo de soldagem SAW
Fonte: Milplan Engenharia



*Figura 23 - Processo de soldagem SAW
Fonte: Milplan Engenharia*



*Figura 24 - Processo de soldagem SAW
Fonte: Milplan Engenharia*



*Figura 25 - Solda de enchimento pelo processo SAW
Fonte: Milplan Engenharia*



*Figura 26 - Solda pelo processo SAW finalizada, com ensaio de ultrassom aprovado
Fonte: Milplan Engenharia*

4.5 Levantamento de Dados

A partir da soldagem realizada no *pipe shop*, foi possível levantar dados importantes para realizarmos um comparativo entre os dois processos de soldagem utilizados, SMAW e SAW.

Tabela 3 - Dados da tubulação

Material	Ø tubo	Ø ext. tubo (mm)	SCH tubo	Espessura da parede do tubo (mm)	Perímetro circunferencial tubo (cm)	Densidade ASTM A335 P11 (g/cm ³)
ASTM A335 P11	6"	168,28	160,00	18,26	52,87	7,80
ASTM A335 P11	8"	219,08	160,00	23,01	68,83	7,80
ASTM A335 P11	10"	273,05	160,00	28,58	85,78	7,80
ASTM A335 P11	12"	323,85	160,00	33,32	101,74	7,80
ASTM A335 P11	16"	406,40	160,00	40,49	127,67	7,80
ASTM A335 P11	20"	508,00	160,00	50,01	159,59	7,80
ASTM A335 P11	26"	660,40	60,325mm	60,33	207,47	7,80
ASTM A335 P11	30"	762,00	82,5mm	82,50	239,39	7,80

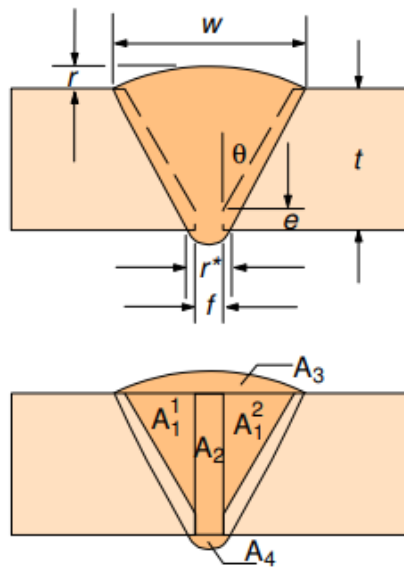
O levantamento dos dados foi feito a partir das informações da tubulação, como o diâmetro do tubo, schedule, o perímetro circunferencial e a densidade do metal de base.

Tabela 4 - Cálculo da área do cordão de solda e da massa de metal depositado

Ø tubo	Área transversal do cordão de solda (cm ²)	Massa de metal depositado (kg)
6"	3,17	1,31
8"	4,71	2,53
10"	6,92	4,63
12"	9,15	7,26
16"	13,11	13,06
20"	19,49	24,26
26"	27,83	45,03
30"	50,80	94,86

Os cálculos foram feitos seguindo as explicações de Mondenesi (2021):

A área transversal do cordão de solda (A_s) foi calculada a partir de:



$$A_s = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \text{ e } A_1 = A_1^1 + A_1^2$$

$$A_1^1 = A_1^2 = \frac{(t-e)^2}{2} \tan \theta$$

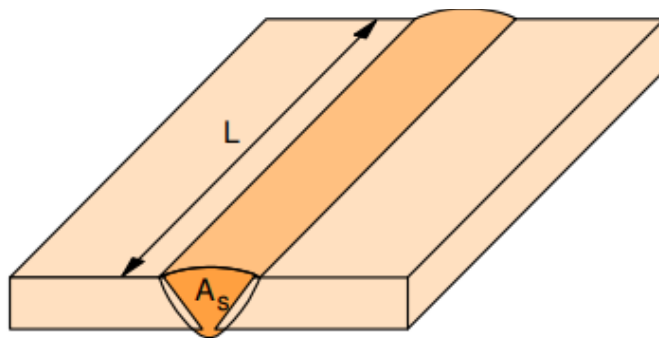
$$A_2 = t f$$

$$A_3 = \pi w r / 4 \text{ ou, alternativamente:}$$

$$A_3 = \left(\frac{\pi}{2} + 1 \right) \left[2(t-e) \tan \theta + f \right] \frac{r}{4}$$

$$A_4 = \frac{\pi}{2} f^2 \text{ ou, alternativamente, } A_4 = \frac{\pi}{2} r^{*2}$$

A massa de metal depositado (m_s):



$$m_s = A_s L \rho$$

ρ é a densidade da solda .

A_s é a área transversal do cordão associada com o metal depositado.

L é o comprimento do cordão.

Tabela 5 - Cálculo do tempo de soldagem para cada processo

Ø tubo	SMAW			SAW		
	Velocidade de soldagem por passe (cm/min) - SMAW	Tempo de arco aberto (min) - SMAW (considerando 24 passes)	Tempo total de operação de soldagem (min) - MANUAL	Velocidade de soldagem por passe (cm/min) - SAW	Tempo de arco aberto (min) - SAW (considerando 24 passes)	Tempo total de operação de soldagem (min) - MECANIZADO
6"	20,00	63,44	362,51	32,50	39,04	60,06
8"	20,00	82,59	471,95	32,50	50,83	78,19
10"	20,00	102,94	588,21	32,50	63,35	97,46
12"	20,00	122,09	697,65	32,50	75,13	115,59
16"	20,00	153,21	875,48	32,50	94,28	145,05
20"	20,00	191,51	1.094,35	32,50	117,85	181,31
26"	20,00	248,96	1.422,66	32,50	153,21	235,71
30"	20,00	287,27	1.641,53	32,50	176,78	271,97

O tempo de soldagem (t_{ARC} – “tempo de arco aberto”) foi calculado a partir de uma velocidade de soldagem (v) média, seguindo as orientações da EPS:

$$t_{ARC} = \frac{L}{v}$$

Para uma soldagem com vários passes, a velocidade v usada na equação anterior está definida como:

$$\frac{1}{v} = \sum_i 1/v_i, \text{ onde } v_i \text{ é a velocidade de soldagem por passe.}$$

O tempo total da operação de soldagem (t_r), incluindo o tempo de arco aberto e o tempo necessário para outras operações (remoção de escória e respingos, troca de eletrodos, posicionamento de cabeçote, etc.) é dado por:

$$t_r = \frac{L_{ARC}}{\phi}, \text{ onde } \phi \text{ é o fator de operação ou de marcha.}$$

Tabela 6 - Valor do fator de operação para diferentes modos de operação. (Mondenese, 2021)

Modo de operação	ϕ (%)
Manual	05-30
Semi-automático	10-60
Mecanizado	40-90
Automático	50-100

Analisando essas informações, é possível perceber uma grande diferença no tempo total de operação de soldagem em relação ao processo manual, SMAW e ao processo mecanizado, SAW. O processo SAW gasta apenas cerca de 17% do tempo total de operação de soldagem do processo SMAW.

O processo SMAW, por ser um processo manual, é possível ser realizado com dois soldadores, para otimizar o tempo de soldagem. Porém, mesmo diminuindo o tempo total de operação de soldagem do processo SMAW pela metade, o processo SAW ainda é mais rápido, gastando cerca de 33% do tempo do processo SMAW.

4.6 Levantamento de Custos

Mondenese também explica como calcular os custos na soldagem, e vamos calcular o custo da soldagem pelo processo SMAW e pelo processo SAW:

1) Eletrodos (C_e):

$$C_e = \frac{m_s}{\phi} C_{eU}, \text{ onde } \phi \text{ é a eficiência prática de deposição do processo e } C_{eU} \text{ é o}$$

preço por peso do eletrodo.

Tabela 7 - Valores típicos de φ para diferentes processos. (Mondenese, 2021)

Processo	φ (%)
Eletrodos Revestidos:	
Comprimento: 350mm	55-65
450mm	60-70
Arames:	
SAW	95-100
ESW	95-100
GMAW	90-95
Arames tubulares: FCAW	80-85

2) Fluxo (C_f):

$$C_f = \frac{m_s}{\varphi} K_f C_{fU}$$

Onde K_f é a razão entre o consumo de fluxo e o de eletrodo e C_{fU} é o preço por peso do fluxo. Se o fluxo não fundido durante a soldagem for corretamente reaproveitado, K_f tem um valor próximo de 1,0. Contudo, este parâmetro varia bastante com as condições específicas de operação. Este tende, por exemplo, a aumentar com a tensão e a diminuir com a corrente de soldagem.

3) Mão de obra e custos fixos (C_l):

$$C_l = \frac{t_{ARC}}{\varphi} (L + O)$$

Onde, L e O são, respectivamente, os custos por unidade de tempo com mão de obra e gastos fixos, como EPI e custos de admissão do soldador.

4) Energia elétrica (C_{el}):

$$C_{el} = \frac{P t_{ARC}}{\varphi_{el}} (C_{elU})$$

Onde, C_{elU} (R\$/kWh) é o preço da energia elétrica, P (kW) é a potência elétrica média despendida durante a soldagem e φ_{el} é a eficiência elétrica do equipamento de soldagem.

Considerando as informações da tabela a seguir, foi estimado o custo de cada processo nesse estudo de caso:

Tabela 8 - Dados para levantamento de custos

Processo de soldagem	Consumível de soldagem	Preço por peso do eletrodo	Preço por peso do fluxo (R\$/kg)	Custo mão de obra por unidade de	Custo gastos fixos (R\$/h)	Equipamento de soldagem	Potência (kwh)	Eficiência elétrica	Custo energia (R\$/KWh)
SMAW	E8018-B2, OK 76.18, diâmetro 3,2mm, ESAB	95,37	-	12,61	20,00	Inversor de solda Invertec V275S - Lincoln Electric	8,80	0,35	0,85
SAW	EB2R-B2, OK AUTROD 13.10, 2,5mm de diâmetro, da ESAB	65,64	-	20,41	20,00	Subarc DC 1250, Miller	44,00	0,90	0,85
SAW	OK FLUX 10.62, da ESAB	-	49,11	-	-	-	-	-	-

Tabela 9 - Custos de soldagem

Ø tubo	SMAW				SAW				
	Custo eletrodos (R\$)	Mão de obra e custos fixos (R\$)	Energia elétrica (R\$)	Custo total (R\$)	Custo eletrodos (R\$)	Custo fluxo (R\$)	Mão de obra e custos fixos (R\$)	Energia elétrica (R\$)	Custo total (R\$)
6"	2,08	274,48	1.351,04	1.627,60	0,90	0,40	51,74	1.616,62	1.669,67
8"	4,02	357,34	1.758,88	2.120,25	1,75	0,78	67,36	2.104,65	2.174,54
10"	7,36	445,38	2.192,18	2.644,92	3,20	1,44	83,96	2.623,12	2.711,72
12"	11,54	528,24	2.600,03	3.139,80	5,02	2,25	99,58	3.111,15	3.217,99
16"	20,75	662,89	3.262,78	3.946,42	9,02	4,05	124,96	3.904,18	4.042,22
20"	38,56	828,61	4.078,48	4.945,64	16,76	7,52	156,20	4.880,23	5.060,71
26"	71,58	1.077,19	5.302,02	6.450,79	31,11	13,97	203,06	6.344,30	6.592,44
30"	150,78	1.242,91	6.117,72	7.511,40	65,54	29,42	234,30	7.320,34	7.649,61

5 CONCLUSÃO

5.1 Conclusão

O presente trabalho apresentou como objetivo principal analisar a viabilidade da substituição do processo de soldagem manual SMAW pelo processo mecanizado SAW. Após analisarmos os dados sobre produtividade, observamos um ganho significativo de tempo na produção. Em relação aos custos, o processo mecanizado é um pouco mais oneroso.

O processo de soldagem SMAW, por ser um processo manual, exige a mão de obra qualificada de soldadores com habilidades e experiência para realizar uma soldagem de qualidade, além de um tempo consideravelmente maior e/ou da necessidade de mais de um soldador para realizar a soldagem de uma única junta. Já o processo SAW, por se tratar de um processo mecanizado, reduz significativamente o tempo de solda, necessitando de um único operador de soldagem para realização do processo.

Com isso, podemos dizer que a viabilidade da mecanização do processo de soldagem é sim viável, principalmente no que diz respeito ao tempo de soldagem, que era o maior objetivo da Milplan Engenharia nesse caso, um ganho na produtividade.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASME. (2020). American Society of Mechanical Engineers. "Boiler and Pressure Vessel Code, Seção IX - Welding and Brazing Qualifications." 2020. ASME Press.
- ASME. (2020). American Society of Mechanical Engineers. "Process Piping." 2020. ASME Press.
- ASME. (2020). American Society of Mechanical Engineers. (2020). Power piping (ASME B31.1-2020). ASME Press.
- ASTM. (2017). Standard specification for pressure vessel plates, alloy steel, chromium-molybdenum (ASTM A387/A387M-17a). ASTM International.
- ASTM. (2019). Standard specification for seamless ferritic alloy-steel pipe for high-temperature service: ASTM A335/A335M-19. ASTM International.
- AWS. (2010). *American Welding Society. "AWS A3.0: Standard Welding Terms and Definitions Including Terms for Adhesive Bonding, Brazing, Soldering, Thermal Cutting, and Thermal Spraying."*
- Brandão, J. E. (2019). *Tecnologia da Soldagem*. Belo Horizonte: PUC Minas.
- Clóvis Ribeiro Rodrigues, Arno Giuseppe Cersosimo. (2022). *Soldagem na Indústria do Petróleo*. Rio de Janeiro: Eadtech.
- Cunha, L. J. (1989). *Solda: como, quando e por quê. 2.ed.* Porto Alegre: Ed. Sagra.
- Diniz, I. S. (2013). *Estudo da soldagem a arco submerso sob diferentes condições de corrente aplicada a um aço com médio teor de carbono*. Belo Horizonte: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.
- Emílio Wainer, Sérgio Brandi Duarte, Fábio Homem de Mello Décourt . (1992). *Soldagem - processos e metalurgia*. São Paulo: Ed. Edgard Bluncher LTDA.
- ESAB. (2008). *Technical Handbook*. www.esab.com.
- ESAB. (2023). Fonte: www.esab.com.br
- Fonseca, J. J. (2002). *Metodologia da Pesquisa Científica*. Ceará: UECE - Universidade Estadual do Ceará.

- França, M. F. (2017). *Análise paramétrica, através de estudos teóricos do sistema de arrefecimento de um motor diesel enclausurado*. Ouro Preto (MG): UFOP - Universidade Federal de Ouro Preto.
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social - 6ª ed.* São Paulo: Editora Atlas S.A.
- Guerra, I. M. (1996). *Soldagem e Técnicas Conexas: Processos*. Porto Alegre.
- Howard Cary, Scott Helzer. (2005). *Modern Welding Technology*. New Jersey: Pearson Education.
- LincolnElectric. (s.d.). *Operator's Manual*.
- Linkun. (outubro de 2023). Fonte: <http://lksteelpipe.com>
- Maria Cecília de Souza Minayo, Suely Ferreira Deslandes, Romeu Gomes. (2009). *Pesquisa Social*. Petrópolis (RJ): Editora Vozes.
- MasterSolda. (2023). Peças e equipamento de solda e corte. Fornecedora.
- Miller. (2023). *Miller Welds Brasil*. Fonte: www.millerweldsbrasil.com
- Mondenesi, P. J. (2021). *Estimativa de Custos em Soldagem*. Belo Horizonte: UFMG .
- Paulo J. Mondenesi; Paulo V. Marques; Dagoberto B. Santos. (2020). *Introdução à Metalurgia da Soldagem*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.
- Paulo Villani Marques; Paulo José Mondenesi; Alexandre Queiroz Bracarense. (2016). *Soldagem Fundamentos e Tecnologia, 4ª edição*. LTC.
- Triviños, A. N. (1987). *Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais*. São Paulo: Editora Atlas S.A.
- Yin, R. K. (2001). *Estudo de Caso Planejamento e Métodos*. São Paulo: Editora Bookman.