

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
**HERBERH VINÍCIUS MENDROT PANNACE**

**SOLDAGEM POR ARCO SUBMERSO (SAW) EM  
COMPARAÇÃO A SOLDAGEM POR ARAME  
TUBULAR (FCAW)**

**Taubaté – SP**

**2018**

**HERBERH VINÍCIUS MENDROT PANNACE**

**SOLDAGEM POR ARCO SUBMERSO (SAW) EM  
COMPARAÇÃO A SOLDAGEM POR ARAME  
TUBULAR (FCAW)**

Trabalho de Graduação apresentado para  
obtenção do Certificado de Graduação do  
curso de Engenharia Mecânica do  
Departamento de Engenharia Mecânica  
da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Me. Ivair Alves dos  
Santos

**Taubaté – SP**

**2018**

**SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

P194s Pannace, Herberth Vinicius Mendrot  
Soldagem por arco submerso (SAW) em comparação a soldagem por  
arame tubular (FCAW) / Herberth Vinicius Mendrot Pannace. -- 2018.  
55 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de  
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.

Orientação: Prof. Me. Ivair Alves dos Santos, Departamento de  
Engenharia Mecânica.

1. Arame tubular. 2. Arco submerso. 3. Processo de soldagem. I. Título.  
II. Graduação em Engenharia Mecânica.

CDD – 671.56

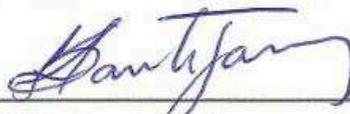
Ficha catalográfica elaborada por Shirlei Righeti – CRB-8/6995

**HERBERTH VINÍCIUS MENDROT PANNACE**

**SOLDAGEM POR ARCO SUBMERSO (SAW) EM  
COMPARAÇÃO A SOLDAGEM POR ARAME TUBULAR (FCAW)**

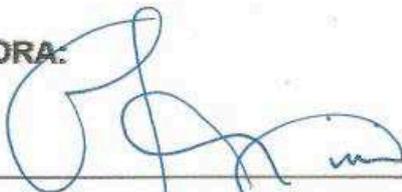
**ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO  
EM ENGENHARIA MECANICA"**

**APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**



Prof. Msc. Fábio Henrique Fonseca Santejani  
Coordenador de Trabalho de Graduação

**BANCA EXAMINADORA:**



Prof. Msc. Antônio Carlos Tonini  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



Prof. Me. Ivair Alves dos Santos  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

## DEDICATÓRIA

À MINHA NOIVA, **Camille Oliveira de Mar.**

À MINHA MÃE, **Maria José Silva Mendrot.**

AO MEU PAI, **Gilson Donizete Pannace.**

Aos professores que lecionaram o curso de Engenharia Mecânica, em especial ao meu orientador Prof. Me. Ivair Alves dos Santos e a Prof.(a) Mara Luzia Emmerick pela dedicação e empenho em auxiliar-me em meu trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a DEUS por conceder a oportunidade de concretizar mais este sonho, o curso de Engenharia mecânica, pois tudo está em suas mãos, tudo vem Dele, tudo é para Ele, tudo por Ele, tudo foi feito por Ele, e sem Ele nada que foi feito se fez.

Agradeço também a todos que sempre me incentivaram a nunca desistir dos meus sonhos e ao meu orientador Ivair Alves dos Santos pela dedicação e empenho em auxiliar-me em minha monografia.

## EPÍGRAFE

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”.

(CHARLES CHAPLIN)

## RESUMO

Soldagem é um processo de união de duas ou mais partes metálicas usando uma fonte de calor, com ou sem adição de materiais, tendo como resultado desses processos o cordão de solda. Diante de vários processos de soldagem utilizados hoje na indústria metalúrgica, o processo de soldagem por arco submerso (*SAW Submerged Arc Weld*) e o processo de soldagem por arame tubular (*FCAW Flux Core Arc Weld*) vem se destacando em custo benefício, produtividade e praticidade na execução da solda, Com base em livros e artigos técnicos na área de soldagem industrial, ambos serão descritos, conforme o princípio de funcionamento, equipamentos utilizados, consumíveis, e características particulares no meio industrial. O presente trabalho tem como finalidade apresentar as vantagens e variáveis do processo por arco submerso comparando com de o de soldagem por arame tubular, utilizados na indústria. Após o estudo feito, observaremos sua funcionalidade e os motivos que levam o ramo metalúrgico a utilizar esse processo pra fins de soldagem com produtividade e consequentemente lucratividade.

**Palavras-chave:** Processo de soldagem. Arco submerso. Arame tubular. Vantagens e variáveis.

## **ABSTRACT**

Welding is a process of joining two or more metal parts using a heat source, with or without addition of materials, resulting in such processes the weld bead. The SAW Submerged Arc Weld process and the FCAW Flux Core Arc Weld process have stood out in terms of cost effectiveness, productivity and practicality, given the various welding processes used today in the metallurgical industry. In the execution of welding, based on books and technical articles in the area of industrial welding, both will be described, according to the principle of operation, used equipment, consumables, and particular characteristics in the industrial environment. The present work has the purpose of presenting the advantages and variables of the process by submerged arc comparing with that of welding by tubular wire, used in industry. After the study, we will observe its functionality and the reasons that lead the metallurgical branch to use this process for welding purposes with productivity and consequently profitability.

**Keywords:** Welding process. Submerged arch. Tubular wire. Advantages and variables.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: (a) Soldagem por fusão; (b) Macrografia de uma junta.....	17
Figura 2: Processo de soldagem por Arco submerso.....	24
Figura 3: Exemplo do desalinhamento e a junta .....	26
Figura 4: Equipamentos pra soldagem FCAW .....	31
Figura 5: Fonte inversora para FCAW.....	35
Figura 6: Fonte inversora para SAW .....	36
Figura 7: Alimentador de arame LF-72 e tocha da Lincoln Electric.....	37
Figura 8: Alimentador de arame SUBARC 3C.....	37
Figura 9: Arame ESAB E71T-1 .....	38
Figura 10: Arame Belgo Bekaert EM13K .....	39
Figura 11: Cilindro de gás C25.....	40
Figura 12: Fluxo granular Carbox EM13K-105G .....	40
Figura 13: Corpo de prova FCAW e SAW .....	41
Figura 14: Distribuição de passes de solda.....	42
Figura 15: Escória do processo FCAW .....	48
Figura 16: Escória do processo SAW .....	48
Figura 17: Corpo de prova FCAW .....	51
Figura 18: Corpo de prova SAW .....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Processos de soldagem por fusão .....	22
Tabela 2: Vantagens, limitações e aplicações principais do processo SAW .....	28
Tabela 3: Vantagens, limitações e aplicações do processo FCAW.....	32
Tabela 4: Especificações dos processos de solda .....	42
Tabela 5: Especificações dos parâmetros de soldagem FCAW.....	43
Tabela 6: Especificações dos parâmetros de soldagem SAW .....	43
Tabela 7: Sequencia e duração de cada passe e processo .....	44
Tabela 8: Peso do corpo de prova e taxa de deposição .....	44
Tabela 9: Vantagens, limitações do processo FCAW .....	52
Tabela 10: Vantagens, limitações do processo SAW.....	52

## LISTA DE GRÁFICOS

<u>Grafico 1: Relação entre taxa de deposição, corrente e diâmetro do arame</u> .....	28
<u>Grafico 2: Taxas de deposições médias</u> .....	50

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SAW	Submerged Arc Welding.
FCAW	Flux Cored Arc Welding.
AWS	American Weld Society.
CC	Corrente Continua.
CA	Corrente Alternada.
A	Ampere.
C25	Misturas de gases para solda.
CO2	Gás, dióxido de carbono

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
2.1 DEFINIÇÃO DE SOLDAGEM.....	17
2.1.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO.....	18
2.1.3 ARCO ELÉTRICO NA SOLDAGEM.....	19
2.1.4 PRINCÍPIO DOS CONSUMÍVEIS DE SOLDAGEM .....	19
2.2 SOLDAGEM POR ARCO SUBMERSO .....	23
2.2.1 PRINCÍPIOS DO PROCESSO .....	23
2.2.2 DESCRIÇÃO DE EQUIPAMENTOS E CONSUMÍVEIS .....	25
2.2.2.1 CABEÇOTE DE SOLDA.....	25
2.2.2.2 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE FLUXO .....	25
2.2.2.3 UNIDADE DE CONTROLE .....	25
2.2.2.4 POSICIONAMENTO DA PONTA DO ELETRODO COM A PEÇA.....	26
2.2.2.5 FONTES DE ENERGIA.....	27
2.2.3 APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA.....	27
2.3 SOLDAGEM POR ARAME TUBULAR.....	29
2.3.1 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO .....	29
2.3.2 EQUIPAMENTOS E CONSUMÍVEIS .....	29
2.3.2.1 SISTEMA FONTE .....	29
2.3.2.2 ALIMENTADOR DE ARAME.....	30
2.3.2.3 PROTEÇÃO E CONSUMÍVEIS.....	30
2.3.2.4 TOCHAS DE SOLDAGEM .....	30
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>33</b>
3.1. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA .....	33
3.2 ABORDAGEM DE PESQUISA.....	33
3.3 MÉTODOS DE PESQUISA ESPECÍFICO .....	33
3.3.1 MÉTODO DE PESQUISA COMPARATIVO.....	34
3.4 FINALIDADE DE PESQUISA.....	34
<b>4 DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>35</b>
4.1 CORPO DE PROVA.....	35
4.2 EQUIPAMENTOS .....	35

4.2.1 FONTE DE ENERGIA .....	35
4.2.2 ALIMENTADORES DE ARAME PARA SOLDAGEM FCAW.....	36
4.2.3 ALIMENTADORES DE ARAME E CARRO PARA SOLDAGEM SAW.....	37
4.3 CONSUMIVEIS DE SOLDA .....	38
4.3.1 MATERIAIS DE ADIÇÃO .....	38
4.3.1.1 ARAME PARA O PROCESSO FCAW .....	38
4.3.1.2 ARAME PARA O PROCESSO SAW.....	39
4.3.2 PROTEÇÃO DA POÇA DE FUSÃO.....	39
4.3.2.1 GÁS PARA O PROCESSO FCAW.....	39
4.3.2.2 FLUXO GRANULAR PARA O PROCESSO SAW.....	40
4.4 EXECUÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM.....	41
4.4.1 ESPECIFICAÇÕES DE CADA PROCESSO.....	41
4.4.2 DISTRIBUIÇÃO DOS CORDÕES DE SOLDA .....	42
4.4.3 PARÂMETROS DE SOLDAGEM.....	43
4.4.4 SEQUENCIA DE PASSES.....	43
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>45</b>
5.1 PRINCIPIOS DE CADA PROCESSO.....	45
5.1.1 PROCESSO DE UNIÃO DAS PARTES METÁLICAS.....	45
5.1.2 ARCO ELÉTRICO .....	46
5.1.3 PROTEÇÃO DA POÇA DE FUSÃO .....	46
5.1.4 LOCAL DE EXECUÇÃO.....	46
5.2 PARTICULARIDADES DOS PROCESSOS.....	47
5.2.1 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMENTO .....	47
5.2.2 FORMAÇÃO DE ESCÓRIA.....	47
5.2.3 EQUIPAMENTOS .....	49
5.2.4 TAXA DE DEPOSIÇÃO.....	50
5.2.5 CORPO DE PROVA FINALIZADO.....	50
5.2.6 VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	52
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>7 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com as indústrias do mercado atual crescendo a cada dia, o objetivo incessante pela lucratividade faz com que as mesmas tomem ações em suas operações, sem deixar de fornecer produtos de qualidade, sempre satisfazendo as necessidades dos clientes e progredindo tecnologicamente. Um planejamento adequado nas operações estabelece um enfoque principal nos recursos produtivos, os mesmos são fundamentais para garantir o objetivo. São eles os processos de fabricação e seus insumos, que são os métodos, máquinas e equipamentos estipulados através de conhecimento técnico, compatíveis com a produção do equipamento (MOREIRA, 2012).

Todos processos de soldagem são considerados como um método de união de duas ou mais partes metálicas com ou sem adição de material usando uma fonte de calor. Uma grande gama de processos são utilizados para a execução de soldagem e o sucesso da escolha desses processos está associado a vários fatores que determinam sua aplicação conforme propriedades físicas, químicas e mecânicas dentro ou próximo da região da solda (MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2012).

Segundo Fortes (2004), o processo de soldagem por arco submerso é um método que utiliza o arco voltaico como fonte de calor necessária para fundir um metal, essa corrente elétrica parte da ponta do arame de adição que fica submersa por uma camada de material granulado mineral denominado fluxo. Onde não há arco visual nem faíscas, respingos, ou fumos. O mesmo tem várias vantagens levando em consideração suas limitações.

Já a soldagem por arame tubular, que seus equipamentos se assemelham com o processo MIG/MAG utiliza um arame com fluxo em sua parte interna, com finalidade de adicionar elementos de ligas e formar gases e escória de proteção. Sendo o mesmo considerado um processo muito usual no ramo da indústria (VEIGA, 2011).

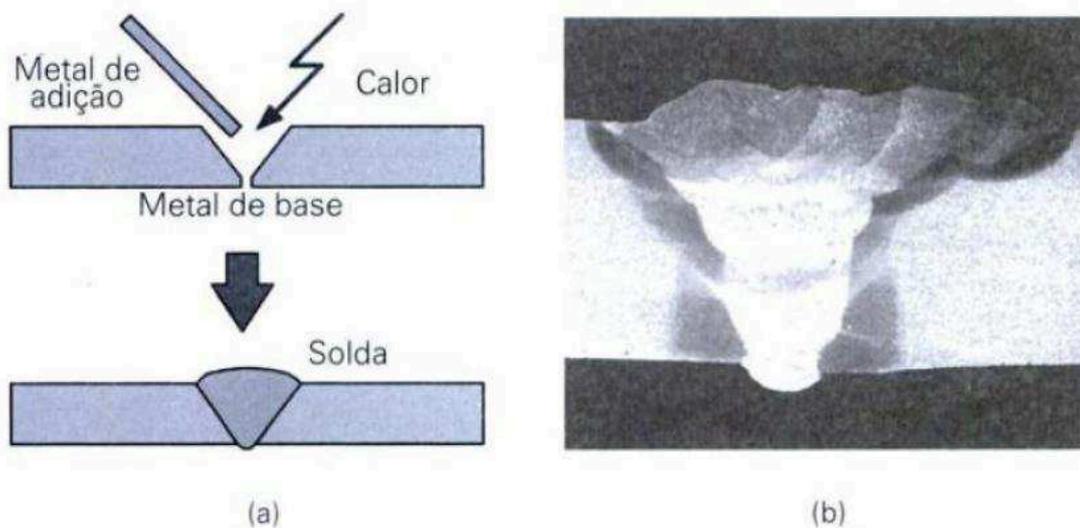
Por sua vez, a comparação desses dois processos utilizados no mercado, tem por objetivo verificar as vantagens e desvantagens, apontando suas particularidades em meio às suas aplicações.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 DEFINIÇÕES DE SOLDAGEM

A união de duas ou mais partes metálicas que formam uma peça (metal de base), através de uma fonte de calor que funde ambas com adição ou não de um material metálico, podendo também obter a fusão conforme um contato físico entre as partes. No geral após a união dessas partes metálicas ocorre alteração nas propriedades físicas, químicas e estruturais mecânicas. Devido a grande versatilidade no ramo metalúrgico, os metais e suas ligas oferecem excelentes propriedades mecânicas obtidas nas estruturas resultantes as essa união (MACHADO,1996)

**Figura 1: (a) Soldagem por fusão; (b) Macrografia de uma junta**



Fonte: Marques; Modenesi; Bracarense (2009, pág. 21).

A figura 1(a) mostra uma representação gráfica de uma junta antes e depois da soldagem e a (b) uma macrografia real onde cada cordão foi depositado.

### 2.1.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Um dos principais processos de união de peças metálica permanente que hoje toma a primeira colocação no mercado industrial é o processo de soldagem, seus benefícios em economia, segurança e usabilidade fazem o mesmo ser o principal no ramo. Por exemplo, durante a definição de projeto para união de chapas metálicas com parafusos ou rebites, o mesmo necessita de furos que comprometem a sua parte estrutural, assim obrigando o projeto a obter reforços em sua espessura, além de precisar de porcas e arruelas, que em conjunto aumentam ainda mais o peso da estrutural final. Na união de tubos através de chanfros (juntas soldadas), desde que o processo de fabricação seja adequado, é por si própria a área de maior resistência mecânica, com a prevenção de vazamentos, mesmo quando expostos a altas pressões (MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2012).

Comparando-se a soldagem à fundição, em um processo de fabricação de um molde, no caso da fundição, espessuras mínimas terão que ser adequadas para se obter um total preenchimento do molde com o metal líquido, já no processo de soldagem, a possibilidade de variações de espessuras na peça final e o uso de uma diversidade de metais e ligas com propriedades mecânicas diferentes torna muito flexível seu uso, e ainda podendo ter maior facilidade na alteração da peça a ser fabricada com um custo inicial muito baixo (MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2012).

A versatilidade do uso de várias ligas metálicas e sua diferentes espessuras em um mesmo projeto torna a soldagem muito usual em projetos. Dependendo do projeto, pode-se usar uma vasta gama de processos conforme a liga utilizada na união das partes. Através do mesmo, espessuras inferior a 1 milímetro provenientes de componentes eletrônicos ou joias são fundidas facilmente, e também grandes estruturas com dimensões gigantescas (pontes, navios, equipamentos de hidro geração) (MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2012).

O local onde se pode executar o processo de soldagem varia de um chão de fábrica que tem condições de execução controláveis até diferentes ambientes em campo no alto de uma estrutura expostos ao sol ou até mesmo ambientes subaquáticos. Contudo, seu custo competitivo e possibilidade de atender severos quesitos de qualidade, torna sua utilização total mente viável tantos em projetos simples que não exigem grandes necessidades mecânicas (como por exemplo,

portões e objetos de decoração), como projetos que solicitam altíssima exigência mecânica estrutural com riscos de grandes danos devido a sua falha na área soldada, como por exemplo, vasos de pressão, estruturas petrolíferas, estruturas prediais (MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2012).

### 2.1.2 Arco elétrico na soldagem

A descarga elétrica entre dois eletrodos, no caso da soldagem é entre o arame e a peça soldada é sempre protegida e estabilizada por uma zona formada por gases ou vapor metálico, essa característica é dada ao arco elétrico. No interior dessa descarga gera temperaturas que oscilam aproximadamente entre 5000 K e 3000 K. Conforme os processos utilizados e a influência de alguns fatores as temperaturas podem chegar até 50000 K. E assim chegando ao estado de plasma. (MACHADO, 1996).

Em todos os processos de soldagem existentes muitas particularidades referente as tensões aplicadas para se obter o arco elétrico estável. Por alguns fatores de segurança, estipula-se uma tensão máxima admissível de trabalho até 100 V. O eletrodo que emite essa descarga elétrica é composto de uma alma metálica sendo ou não recoberto por um fluxo, com função de formar gases protetores atmosféricos, também esse fluxo pode ser substituído por um gás injetável durante o trabalho. O arco elétrico produz uma fonte de calor que forma a poça de fusão, assim fundido eletrodo e a peça. A alta temperatura gerada e as força eletromagnética fazem com que haja uma reação química promovendo homogeneização na poça de fusão. Todas forças geradas na descarga elétrica são as principais responsáveis pelo processo de soldagem ter fundamento e ser funcional. E assim determinando através de uma estabilidade de arco a transferência de metal, do eletrodo para peça (MACHADO, 1996).

### 2.1.3 Princípio dos consumíveis de soldagem

Todos os produtos consumidos durante o processo de soldagem são denominados consumíveis, dependendo dos processos utilizados, eles podem variar. Como por exemplo, na soldagem manual do eletrodo revestido, é apenas o eletrodo empregado com consumível, no processo de solda por arco submerso são

utilizados arame e fluxo, e já na soldagem por arame tubular pode-se incluir o arame e o gás de proteção, no caso o argônio, hélio, dióxido de carbono ou misturas de gases, dependendo da sua aplicação e o metal da peça a ser soldada, nesse mesmo processo utiliza acessórios como bocais e bicos de contato que frequentemente são substituídos devido ao uso constante. Esses consumíveis podem ter certa influencia nas propriedades mecânicas e na qualidade do passe de solda (cordão). Uma das funções dos consumíveis é proteger o metal fundido, na formação de poça de fusão acontece devido a geração de uma fonte de calor transmitida pelo arco elétrico, essa mesma poça que provem do metal líquido, reage com o nitrogênio e oxigênio da atmosfera, esses gases são óxidos que prejudicam o metal soldado. O nitrogênio pode provocar uma fragilidade no material devida à formação de nitretos, que são defeitos como a porosidade no cordão de solda, sendo observado facilmente por qualquer pessoa (FORTES,2005).

Na soldagem por proteção de gases, no caso o gás Hélio que é inerte, o mesmo expulsa o nitrogênio e o oxigênio de forma passiva sem presença de reações químicas. Alguns gases utilizados podem reagir com material da peça, são eles os gases ativos que reagem com poça de fusão excluindo agentes desoxidantes como o silício, alumino, titânio, fósforo que provem de ligas de aço e ligas de cobre. Uma proteção utilizada através de misturas de gases, como por exemplo, dióxido de carbono que é um desoxidante, usado com mais frequência em soldagem de aços, ele exclui o nitrogênio à custa de formação de óxidos. A proteção atmosférica da poça de fusão com o emprego de fluxo gerador de escória tem um emprego muito eficiente, pois em seu estado líquido, formam uma “blindagem” do metal fundido e através do calor gerado pelo arco elétrico, esse fluxo forma gases de proteção adicional. Isso é mais comum nos processos de arco submerso e arame tubular, ambos utilizam fluxo, porem um utiliza com alimentação externa durante o processo, já o outro tem incluído no interior de seu arame (eletrodo) (FORTES, 2005).

Para processos em que o elemento de liga atua como desoxidante, como por exemplo, na soldagem de aços com teores de silício, manganês, carbono, titânio, alumínio e cromo, durante a adição do metal na soldagem, são excluídos uma parcela de teores dessas ligas, observando isso, é necessário que o material adicionado e o fluxo forneçam uma compensação (FORTES,2005).

Os consumíveis são um dos principais agentes que influenciam de forma primordial no modo em que o metal é transferido do eletrodo para a poça de fusão. No processo por eletrodo revestido, o emprego de óxido de titânio ( rutilo) resulta numa deposição suave através de pequenas gotas de metal liquido durante sua deposição. Porem com adição de alto teor de carbonato de sódio, a deposição transforma em globular com curto circuito, dificultando a soldabilidade. Durante o emprego de gases de proteção com o hélio, é adicionada uma pequena quantia de oxigênio ou dióxido de carbono, com finalidade de assegurar que durante o processo de soldagem o modo com que o metal é depositado, seja suave e com diminuição da presença de respingos. Já em processos que empregam o uso de fluxo de proteção, durante a soldagem os mesmos recobrem o cordão de solda formando resíduos sólidos que são chamados de escórias, com obrigatoriedade de serem removidas depois do processo, devido a ser uma impureza que pode causa inclusões no interior do material, assim comprometendo sua estrutura mecânica. Durante a soldagem de chanfros essa escória é eliminada facilmente pelo operador para que os cordões posteriores sejam depositados até seu preenchimento total (FORTES,2005).

Contudo, as principais importâncias no momento de escolha de um consumível, deve-se levar em consideração a facilidade com que o metal é depositado, o controle de composição do metal adicionado, propriedades do cordão e os custos (FORTES,2005).

Os processos de soldagem a arco elétrico com utilização de fonte de calor durante a fusão do material são os de maior importância na industrial atual. Devido as reações químicas de o metal fundido ser minimizadas por um emprego de proteção de agentes atmosféricos causadores de defeito comprometedores estruturas e principalmente custo benefício com diversidade de aplicação (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

**Tabela 1: Processos de soldagem por fusão**

PROCESSO	FONTES DE CALOR	TIPO DE CORRENTE E POLARIDADE	AGENTE PROTETOR	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, espessuras $\geq 50$ mm. Soldagem de peças de grande espessura
Soldagem a 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 $\geq 10$ mm. 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 recoberta por uma 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 o $CO_2$	O fluxo está contido dentro de um arame tubular de pequeno diâmetro. Automático ou semi-automático	Soldagem de aços carbono com espessuras $\geq 1$ mm. 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 aços carbono, baixa e alta liga, não ferrosos, com espessuras $\geq 1$ mm. Soldagem de tubos, chapas, etc. Qualquer posição
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, espessuras de 1 a 6 mm. Soldagem de não ferrosos e aços inox. Passes de raiz de soldas em tubulações
Soldagem a gás	Chama oxiacetilênica		Gás ( $CO$ , $H_2$ , $CO_2$ )	Manual. Arame adicionado separadamente	Soldagem manual de aço carbono, Cu, Al, Zn, Pb e bronze. Soldagem de chapas finas e tubos de pequeno diâmetro

Fonte: Marques; Modenesi; Bracarense (2009, pág. 22)

A Tabela 1 mostra os principais processos de soldagem e suas aplicações e características:

## 2.2 SOLDAGENS POR ARCO SUBMERSO

### 2.2.1 Princípios Do Processo

A soldagem por arco submerso hoje ocupa uma posição de destaque no ramo industrial. Esse processo começou a ser desenvolvido em torno do ano de 1935, e foi uma revolução em produtividade comparada aos processos existentes até então, hoje ainda eles são empregados conforme suas particularidades. O SAW (*Submerged Arc Welding*) assim como ele é conhecido, ele é um método no qual um arame (eletrodo) nu banhado com materiais de alta condutividade elétrica como o cobre ou outros, é continuamente alimentado através de cabeçotes que o impulsiona para a poça de fusão, fundindo com o metal base através do arco elétrico, durante essa fusão, eles são recobertos por uma camada de um material mineral granulado, conhecido como fluxo, que além de proteger a poça de fusão das contaminações atmosféricas, ele possui funções metalúrgicas, agregando algumas ligas e estabilizando a estrutura do metal. Durante esse processo não há presença do arco elétrico visível e nem faísca ou respingos, assim garantindo ao operador do equipamento maior segurança durante o trabalho (MACHADO, 1996)

Conforme o processo de soldagem está em andamento através de um sistema de carro pra deslocamento longitudinal, a poça de fusão forma uma cavidade oca preenchida por gases provenientes do fluxo fundido, e é encoberta por ele no estado líquido, na qual ao ocorrer uma queda de temperatura, forma-se uma casca sólida facilmente removida, denominada escória, ela encobre o cordão, o protegendo (MACHADO, 1996)

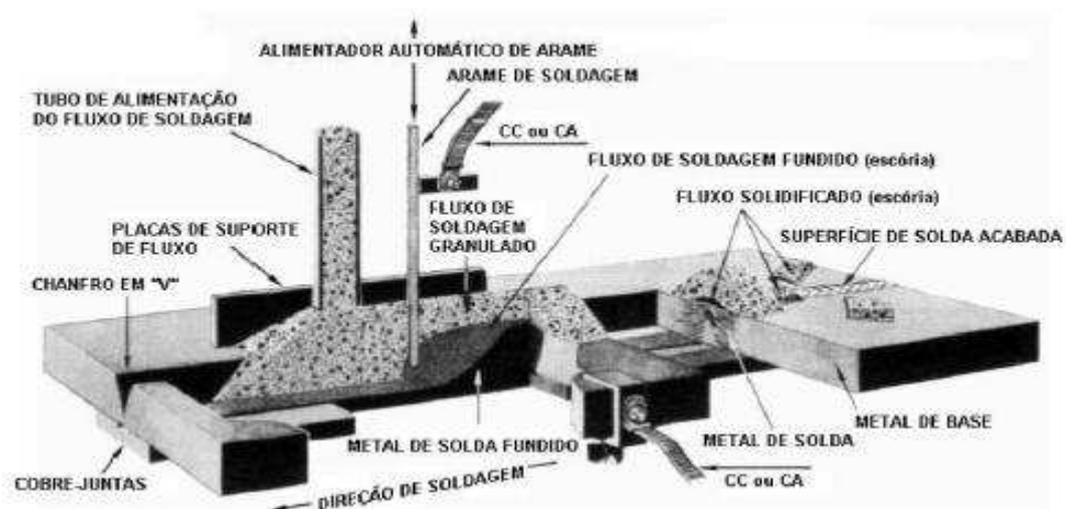
Num escopo geral a corrente que alimenta esse processo de soldagem pode chegar até 2000 A sendo (C.A) ou (C.C), isso com apenas um arame maciço de alimentação com espessuras que variam de 1,6 a 6,4 mm Seu rendimento térmico chega a ser próximo a 100%, conforme o arco esteja isolado do ambiente atmosférico e o uso de uma alta densidade da corrente. Perante resultados que esse processo apresenta referente a quantia de material depositado, uma soldagem com apenas um arame de alimentação pode chegar em torno de até 20 kg/h, porém múltiplos arames podem ser utilizado ao mesmo tempo na mesma poça de fusão, isso é resultado de uma grande penetração que o mesmo trabalha, acabando

limitando em questão de espessuras mínimas recomendadas que devem ser maiores que 10mm (MACHADO, 1996)

Dependendo da intensidade da força do arco, se obriga a acelerar sua velocidade de transferência de metal, como consequência a velocidade de soldagem pode variar, chegando até 400 cm/min com apenas um arame de alimentação. Algumas limitações no processo durante a operação torna seu uso impraticável, como, por exemplo, fora das posições de estipula esse processo, que são restritos apenas a posição plana ou horizontal em ângulo de até 15°, fora disso a sustentação do fluxo fica impossível de se manter. Todo fluxo utilizado, devesse passar por cautelas de precaução durante seu manuseio ou estocagem, não tomando esses cuidados, o mesmo se contaminará causando defeitos nos cordões de solda (MACHADO, 1996)

Apesar de esse processo conter suas limitações operacionais, os resultados obtidos em questão de características mecânicas e metalúrgicas superam garantindo um excelente acabamento, qualidade, maior usabilidade e custo benefício, assim o qualificando a frente dos processos (MACHADO, 1996)

**Figura 2: Processo de soldagem por Arco submerso**



Fonte: FORTES (2004, pág. 6)

A Figura 2 é uma representação gráfica com corte de seção para um maior entendimento do processo.

## 2.2.2 Descrição De Equipamentos E Consumíveis

### *2.2.2.1 Cabeçotes de solda*

O cabeçote de solda tem a função principal no processo ele deposita o metal fundido ao longo de uma linha longitudinal do chanfro, através de um rolo de arame (eletrodo), sendo conduzido para poça de fusão, e ainda transmite a corrente necessária para efetuar o processo onde se tem formação de um arco voltaico (WAINER,1985).

Esse equipamento é composto por um motor, redutor, e um sistema de rolos que tracionam o arame para deslizar por condutos, e entrar em contato com a peça, nesses condutos se acopla um bocal e um bico de contato com variações de diâmetro relacionados aos do arame,o bico de contato tem esse nome devido sua conexão direta com o fonte de energia (WAINER,1985).

### *2.2.2.2 Sistema de alimentação de fluxo*

O fluxo é uma material mineral granular com função de proteger o poça de fusão, geralmente introduzido na mesma através da força de gravidade. Possui um reservatório instalado na estrutura do cabeçote, sua vazão é por meio de condutos ligados diretamente no bocal. Durante a alimentação de fluxo, a energia térmica proveniente do arco, não o consome por completo, então existe um sistema de recuperação do fluxo ainda não usado (sobra). Geralmente um aspirador é empregado com manuseio do operador, com função de devolvê-los ao recipiente de armazenamento (WAINER,1985).

### *2.2.2.3 Unidade de controle*

Para se obter e manter uma correta voltagem do arco em razão da quantia de arame que são definidos por uma especificação de procedimentos de soldagem, deve-se ter uma unidade de controle com chaves e contactores, que tem função de

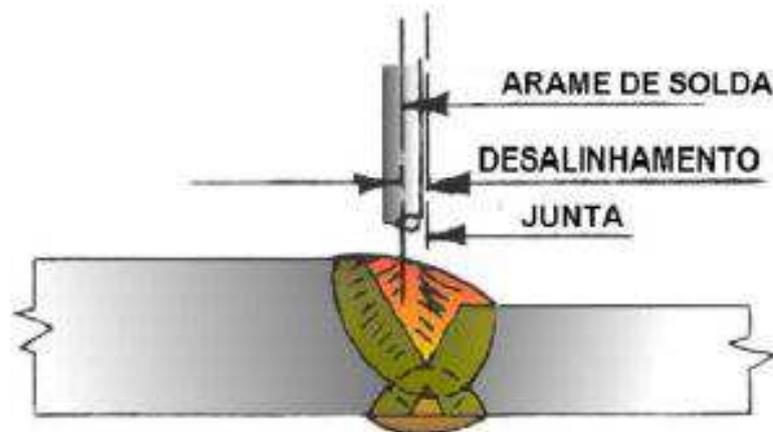
controlar, ligar o dispositivo, manter movimentos relativos, com um painel do voltímetro e amperímetro.

Existem dois tipos de unidades de controle, uma delas o painel de controle ajusta a amperagem e voltagem da fonte de energia, isso feito por um operador, e a outra unidade de controle possui controle constantes ajustador direto na fonte de energia (WAINER,1985).

#### 2.2.2.4 Posicionamento da ponta do eletrodo com a peça

Como a ponta do eletrodo durante o processo de soldagem fica submerso no fluxo granular, existi certa dificuldade em manter o posicionamento correto e alinhado com a peça, então se usa nos dias de hoje, dispositivos com laser acoplado no cabeçote. Esse laser é posicionado uma distancia a frente da zona de fusão, para que o operador possa corrigir o trajeto, movendo o cabeçote com deslocamento vertical ou horizontal (WAINER,1985).

**Figura 3 : Exemplo de desalinhamento entre eletrodo e a junta**



Fonte: FORTES (2004, pág. 48)

É possível observar o desalinhamento entre a ponta do arame e a junta a ser soldada, como mostra a Figura 3.

#### 2.2.2.5 Fontes de energia

Como o processo por arco submerso usa altas correntes elétricas, suas fontes de energia devem suportar altíssimas capacidades elétricas.

Seu controle preciso é muito importante, pois os ajustes de trabalho varia de 20 a 55 V em C.C. ou C.A. A voltagem, amperagem e velocidade de solda tem total influencia na penetração, nos formatos do cordões ou reforço. Caso se necessite de amperagens mais específicas, o emprego de uma fonte em paralelo são muito usuais (WAINER,1985).

#### 2.2.3 Aplicação na indústria

A aplicação principal da soldagem por arco submerso é feita em peças de aço-carbono, carbono - manganês, e baixas ligas. Podem ser utilizado para restauração de superfícies desgastadas, revestindo peças com materiais anti corrosivos, união de chapas metálicas de uma determinada estrutura e estruturas de pequeno, médio e grande porte (MARQUES,1991).

Em cada aplicação algumas características são de extrema importância, devendo ser observadas com certas considerações, como sua particularidade de operação mecanizada e seu controle de corrente elétrica que possibilitam executar o trabalho com taxas de fusão e penetração elevadas. Isso sem contar com sua limitação quanto a posição de soldagem na operação dessa solda. Para uma aplicação na qual a peça a ser soldada possua uma geometria muito complexa, cuja quantidade de cordões fora de posição seja elevada, fica quase impossível sua aplicação devida sua limitação de posições. Porém seja necessário o uso desse processo, os valores gastos com dispositivos de posicionamento da peça é razoavelmente alto (MARQUES,1991).

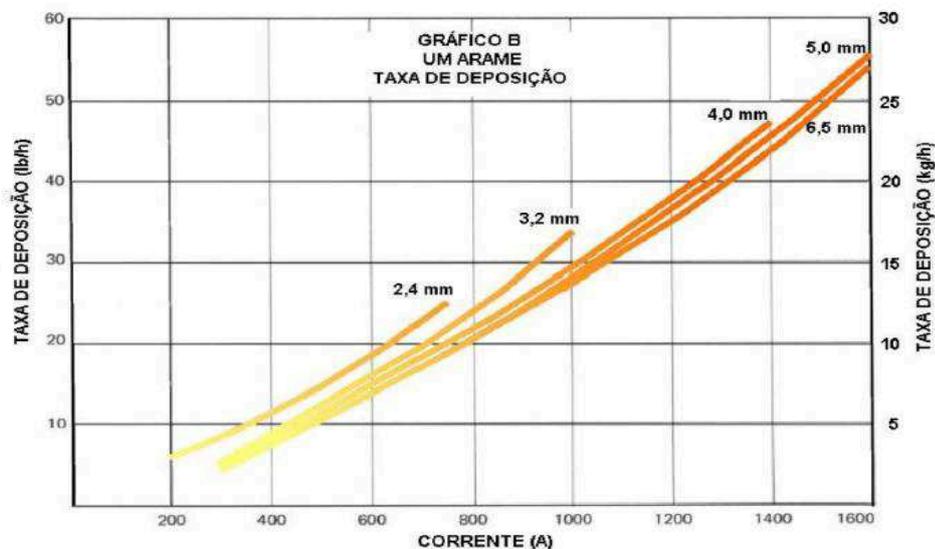
Tabela 2: Vantagens, limitações e aplicações principais do processos de soldagem SAW

Vantagens e limitações	Aplicações
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altas velocidades de soldagem e taxas de deposição.</li> <li>• Produz soldas uniformes e de bom acabamento superficial.</li> <li>• Ausência de respingos e fumos.</li> <li>• Dispensa proteção contra radiação devido ao arco não visível.</li> <li>• Facilmente mecanizado.</li> <li>• Elevada produtividade.</li> <li>• Soldagem limitada às posições plana e filete horizontal.</li> <li>• Aporte térmico elevado pode prejudicar propriedades da junta em alguns casos.</li> <li>• Necessário retirar a escória entre passes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soldagem de aços carbono e ligados.</li> <li>• Soldagem de níquel e suas ligas.</li> <li>• Soldagem de membros estruturais e tubos de grande diâmetro.</li> <li>• Soldagem em fabricação de peças pesadas de aço.</li> <li>• Recobrimento, manutenção e reparo.</li> </ul>

Fonte: Marques; Modenesi (2000, Pág. 23).

Contudo, a possibilidade de executar soldas com altas velocidade de deposição, altas penetração, e altíssima deposição de material de adição, implica maiores vantagens em termos de produtividade comparado a processos convencionais, no caso em comparação ao processo por arame tubular, que são os mais usuais nas indústrias metalúrgicas hoje (MARQUES,1991).

Gráfico1: Relação entre taxa de deposição, corrente e diâmetro do arame



Fonte: FORTES (2004, pág. 66)

Com o Gráfico 1 é possível analisar as diferentes taxas de deposição levando em relação ao diâmetro do arame empregado como adição de material.

## 2.3 SOLDAGEM POR ARAME TUBULAR

### 2.3.1 Princípios de funcionamento

A soldagem através de um arco voltaico com arame tubular é mais conhecida como FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) estabelece a introdução de metal de deposição proveniente de um eletrodo metálico tubular, contínuo. Em seu interior possui um fluxo que tem a função de proteger a poça de fusão, com ou sem complemento de gás fornecido por uma fonte externa. Além disso, esse fluxo possui outras funções benéficas ao processo, como, por exemplo, desoxidar e refinar o metal do cordão, adicionar elementos de liga e ainda estabilizar o arco elétrico (MARQUES,1991).

O FCAW é um processo semiautomático que exige muita habilidade de seu operador, diferente do processo por arco submerso, onde qualquer operador pode efetuar sua execução. Seu sistema de alimentação de arame é de forma contínua através de bobinas (rolos). Essa particularidade tem como resultado, uma alta taxa de deposição, alta versatilidade, qualidade no cordão, e ainda possui uma característica de ajuste em sua composição química do cordão com finalidade de promover uma facilidade operacional em qualquer posição até em campo (MARQUES,1991).

### 2.3.2 Equipamentos e consumíveis

#### 2.3.2.1 Sistema Fonte

A Fonte de energia é o ponto de alimentação de energia elétrica estipulada pela aplicação do processo. Ela produz saídas de corrente e tensão com painéis de controle ajustáveis conforme a variação das suas intensidades (SCOTTI,2008).

### *2.3.2.2 Alimentador de arame*

O alimentador de arame traciona a bobina (rolo de arame) o impulsionado na direção da tocha, ou seja, alimenta a oca de fusão com o metal consumível (SCOTTI, 2008).

### *2.3.2.3 Proteção e consumíveis*

Dois modos de soldagem com arame tubular são existentes, são eles, modo auto protegidos, que somente a escória e os gases provenientes da decomposição de alguns compostos protegem o metal de solda contra agentes atmosféricos como oxigênio e nitrogênio, e o modo que utiliza além de gases da decomposição, usa também um gás adicional, geralmente dióxido de carbono ou algumas misturas com argônio. O tipo de energia empregado nesse processo é uma corrente constante, com necessidade de um controle externo de muita sensibilidade, para determinar a estabilidade do arco com uma transferência suave (MACHADO,1996).

A AWS (*American Weld Society*) classifica o arame (eletrodo) conforme a utilização da corrente elétrica. Sendo Contínua de eletrodo positivo (CC+), e corrente contínua de eletrodo negativo (CC-), e quase pouco usada a corrente alternada (CA).

Dependendo do modo operacional de utilização ou não do gás, os acessórios dos equipamentos podem sofrer algumas variações. No caso do eletrodo tubular auto protegidos, ele utiliza uma tocha simples, e já o modo de utilização do gás como complemento, utiliza uma tocha com conduto de gás, necessitando do emprego do difusor (distribuidor de gás), e de um bocas para direcionar seu fluxo. Uma tocha bem robusta é empregada se a corrente necessária ultrapassar 500 [A], podendo ser refrigerada por ar ou água (MACHADO,1996).

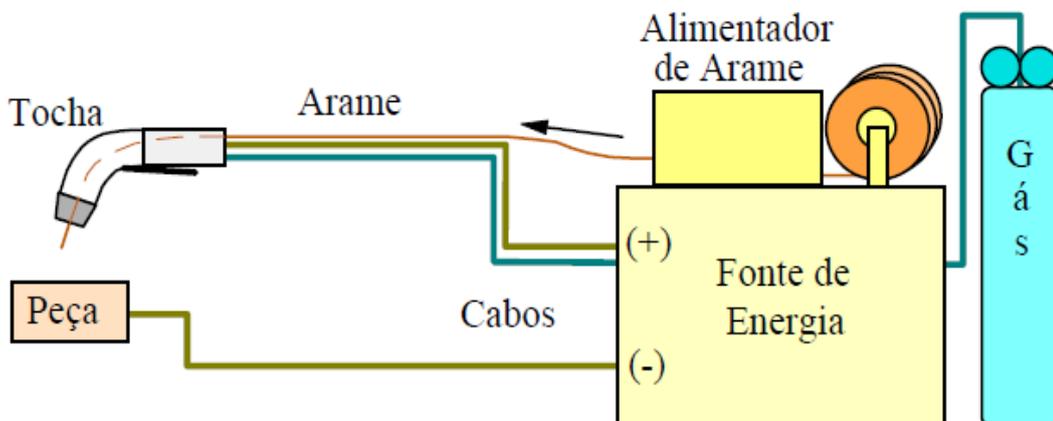
### *2.3.2.4 Tochas de soldagem*

A tocha tem a função de enviar a corrente e gás para a poça de fusão, com auxílio manual de um operador mais conhecido como soldador. Todos Componentes de uma tocha são projetados e dimensionados para promover uma boa alimentação de arame de forma contínua e ainda oferecer um certo “conforto” ao soldador durante

o trabalho. E sempre obedecendo o ciclo de trabalho suportado por ela, na qual cada fabricante especifica. O material utilizado no cabo da tocha, possui um revestimento maleável e anti inflamável, com tubos de gás de proteção e água de refrigeração (quando necessário), um gatilho para acionamento da energia do arco elétrico e alimentação de arame. Um conduíte (tubo metálico) facilita a condução do arame, ele fica no interior do cabo da tocha. O conduto de gás é quase sempre recoberto de plástico para uma boa vedação, na qual é acoplado no difusor de gás, onde faz conjunto com o bico que faz contato do arame com a peça, e um bocal que direciona a fluidez do gás para garantir proteção da poça de fusão (VEIGA,2011)

Todos esses acessórios da tocha variam de tamanho sem nenhuma padronização, apenas dependendo da aplicação (VEIGA,2011)

**Figura 4: Equipamentos para soldagem FCAW**



Fonte: Modenesi; Marques; Santos (2012, pág. 20).

A Figura 4 representa graficamente todos os equipamentos envolvidos na soldagem FCAW

**Tabela 3: Vantagens, limitações e aplicações do processo de soldagem FCAW**

<b>Vantagens e limitações</b>	<b>Aplicações</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevada produtividade e eficiência.</li> <li>• Soldagem em todas as posições.</li> <li>• Custo relativamente baixo.</li> <li>• Produz soldas de boa qualidade e aparência.</li> <li>• Equipamento relativamente caro.</li> <li>• Pode gerar elevada quantidade de fumos.</li> <li>• Necessita limpeza após soldagem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soldagem de aços carbono e ligados.</li> <li>• Soldagem em fabricação, manutenção e em montagem no campo.</li> <li>• Soldagem de partes de veículos.</li> </ul>

Fonte: (MARQUES; MODENESI, 2000, pág.22).

Na Tabela 3 é possível observar vantagens que o processo proporciona e também suas aplicações no ramo industrial.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 DESENVOLVIMENTO DE PESQUISA**

O desenvolvimento de uma pesquisa pode ser estabelecida através de um posicionamento procedente e metódico com a função de expor argumentos referentes a investigação do tema estabelecido. O início de um trabalho científico é dado pelo questionamento de um tema a ser desenvolvido, onde será primordial pesquisar e expor conhecimentos suficientes para resolvê-los, porem necessita de organização para serem aplicados (GIL,1991).

O evoluir de uma apuração de dados para uma pesquisa necessita de variadas fases em seu processo, isso vai desde o início na concepção de um tema a ser desenvolvido até o relato dos resultados e conclusões de um trabalho finalizado (SILVA,2005).

#### **3.2 ABORDAGEM DE PESQUISA**

Já definido o problema a ser trabalhada, a etapa seguinte precisa ser o padrão de pesquisa que conduzirá a execução do trabalho. Conforme cada questionamento do tema, a norma de pesquisa pode variar, sendo ela exploratória, explicativa, e descritiva (GIL, 1991).

A utilização da pesquisa exploratória proporciona maior proximidade com o tema e problema em questão, e tem como finalidade estabelecer com mais clareza, para levantar uma hipótese. Quase sempre as pesquisas envolvem levantamento bibliográfico, experiências práticas e análise de exemplos (GIL, 2002).

#### **3.3 MÉTODO DE PESQUISA ESPECÍFICO**

O método de pesquisa específico tem por finalidade possibilitar ao pesquisador meio técnico para obtenção dos resultados e também a certeza nos fatos analisados. Precisamente, fornecem um sentido mais específico, sendo necessário para construção da pesquisa, isso tudo, se refere a alcançar e validar os

dados apropriados para o problema em análise, sendo um desses, o método comparativo. (GIL,1987).

### 3.3.1 Método de pesquisa comparativo

Pela análise de dois ou mais indivíduos, comparando os mesmos, se determina o método de pesquisa comparativo, são eles: gênero, classe, ramo ou fatos para aplicação, cujo o principal objetivo é expor as distinções e semelhança entre eles. A utilização desse método pode ser pouco leviana em relação aos outros, no entanto, o método desenvolve severo controle em seus resultados, propiciando em um alto grau de generalização (GIL, 1987)

### 3.4 FINALIDADE DE PESQUISA

A pesquisa pode transcorrer por compreensão de critério intelectual, fundamentada na vontade de aprender pela simples satisfação, ou na instituição de compreender para agir. Sendo assim, uma pesquisa pura, para aperfeiçoamento da ciência, buscando expandir os conhecimentos científicos com seu propósito e seus afeitos práticos (GIL,1987).

## 4 DESENVOLVIMENTO

### 4.1 CORPOS DE PROVA

Na evolução deste trabalho, foram soldados dois conjuntos de chapas, uma para o processo SAW e outra para FCAW, para que pudesse fazer as análises prática do comportamento do arco elétrico, da deposição de material de adição, consumíveis e equipamentos utilizados em questão, aplicando no enchimento do chanfro as diferentes posições de soldagem, onde que, de cada uma delas foram possível analisar vários quesitos de soldagem.

### 4.2 EQUIPAMENTOS

#### 4.2.1 Fonte energia

Os processos de soldagem foram realizados, onde cada corpo de prova utilizou equipamentos deferentes.

O FCAW utilizou A Fonte de soldagem de tensão constante e corrente continua de com faixas de saída de 7V à 37V e 50 [A] à 400 [A]. A Figura 5 mostra a fonte soldagem CV400 Lincoln Electric:

**Figura 5: Fonte inversora para FCAW**



**Fonte:** (Lincoln Electric, 2018).

No processo SAW utilizou A Fonte de soldagem de tensão constante e corrente contínua e alternada com faixas de saída de 16[V] à 46 [V] e 150[A] à 1300[A],

**Figura 6: Fonte inversora para SAW**



Fonte: (Lincoln Electric, 2018).

A Figura 6 mostra a fonte soldagem D1000 Lincoln Electric utilizados como fonte de energia para soldagem do corpo de prova.

#### 4.2.2 Alimentadores de arame para soldagem FCAW

Para soldagem com Arame Tubular, o alimentador de arame LF-72. Com a tecnologia MAXTRAC (Sistema de alimentação de arame) 2- roldanas e tocha de soldagem com bocal, bico de contato.

**FIGURA 7: Alimentador de arame LF-72 e Tocha da Lincoln Electric**



Fonte: (Lincoln Electric, 2018).

A Figura 7 mostra o alimentador de arame LF-72 e tocha da Lincoln Electric empregada como tracionador e conduíte de arame.

#### 4.2.3 Alimentadores de arame e carro de soldagem para soldagem SAW

**Figura 8: Alimentador de arame SUBARC 3C**



Fonte: (multiweldindo, 2018)

A Figura 8 mostra o alimentador de arame, carro e caixa de controle para deslocamento longitudinal durante a soldagem.

Para soldagem SAW utilizou um carro de deslocamento longitudinal MEGATRAC 6 acoplado com alimentador de arame SUBARC 3C como mostra a figura 8, e uma caixa de controle Gama STARMATIC para controle e ajuste velocidade do carro e parâmetros de soldagem.

### 4.3 CONSUMÍVEIS DE SOLDA

Todos processo de soldagem em sua execução utilizam materiais que são consumidos para obtenção do cordão de solda, são eles os consumíveis, podendo ser materiais de adição, materiais de proteção, equipamentos e etc.

#### 4.3.1 Materiais de adição

Esses materiais de adição compõem o cordão de solda realizado, com funções metalúrgicas, os mesmo podem ser ou não o mesmo material de base.

##### 4.3.1.1 Arame para o processo FCAW

**Figura 9: Arame ESAB e71T-1**



Fonte: (ESAB, 2018).

Durante o procedimento de soldagem FCAW utilizou o arame tubular E71T-1 ( Classificação AWS) da ESAB com diâmetro de 1,2 mm, como mostra na Figura 9.

#### 4.3.1.2 Arame para o processo SAW

**Figura 10: Arame Belgo Bekaert EM13K**



Fonte: (Belgo Bekaert, 2018)

Durante o procedimento de soldagem SAW utilizou o arame sólido EM13K (Classificação AWS) da Belgo Bekaert com diâmetro de 4 mm, como mostra na Figura 10.

#### 4.3.2 Proteção da poça de fusão

Todo processo de soldagem precisa ter proteção de sua poça de fusão contra os gases atmosféricos, tanto o processo de soldagem FCAW quanto o SAW utilizou essa proteção, porém cada um empregou uma proteção diferente.

#### 4.3.2.1 Gás para o processo FCAW

A Figura 11 mostra o cilindro de gás C25 :

**Figura 11: Cilindro de gás C25**



Fonte: (Praxair, 2018)

Foi utilizado o gás C25 durante a soldagem do FCAW para proteção da poça de fusão, onde sua mistura compõe de 75% de  $\text{CO}_2$  e 25% e argônio.

#### 4.3.2.2 Fluxo granular para o processo SAW

**Figura 12: Fluxo granular Carbox EM13K-105G**



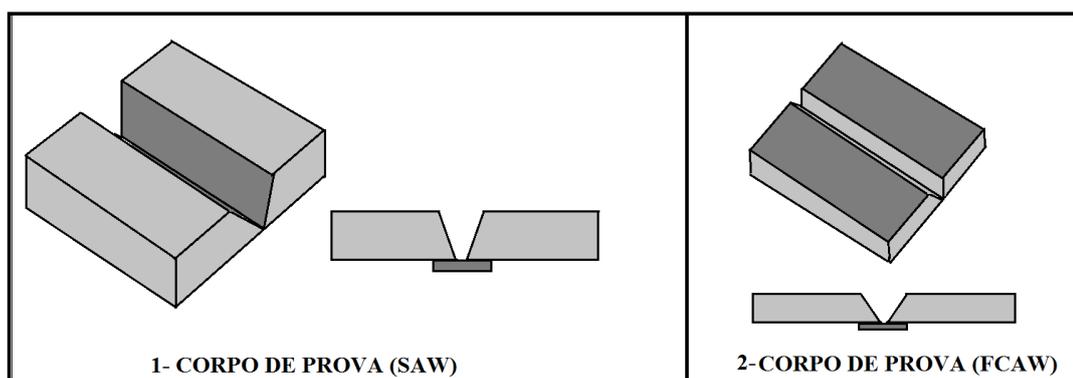
Fonte: (Lincoln Electric, 2018).

Foi utilizado durante o procedimento de soldagem SAW o fluxo Carbox EM13K-105G ( Classificação AWS) da Lincoln Electric, para proteção da poça de fusão, como mostra na Figura12.

#### 4.4 EXECUÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM

No procedimento de soldagem FCAW foi utilizado duas chapas de aço baixo carbono ASTM A 131 com dimensões de 150 x 300 x 19 [mm] com um chanfro em “V” de 60°, e na soldagem SAW foi utilizado duas chapas de aço baixo carbono ASTM A 131 com dimensões de 150 x 350 x 37,5 [mm] com um chanfro em “V” de 60°.

**Figura 13: Corpo de prova FCAW e SAW**



Fonte: Próprio autor.

Na figura 13, cada corpo de prova foi representado antes da soldagem.

##### 4.4.1 Especificações de cada processo

Os procedimentos soldagens foram realizados por deposição em chanfro “V”, no sentido longitudinal na posição plana. Onde efetuou a deposição dos passes em 3 etapas: Raiz; enchimento; acabamento.

Tabela 4: Especificações dos processos de solda

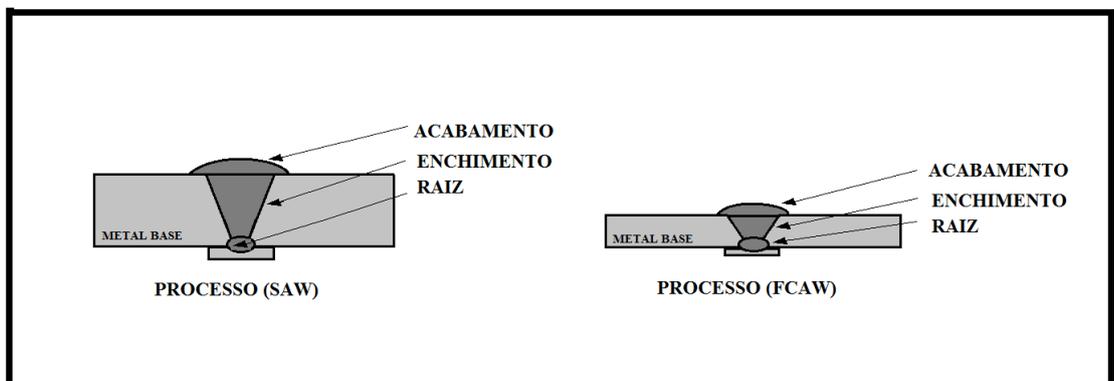
Processo	Metal Base	Chanfro "V"	Metal Adição		Proteção		Polaridade
	Material		Class. AWS	Diâmetro	Gás	Fluxo	
SAW	STM 131	60°	EM13K	4,0	NA	EM13K-105G	CC+
FCAW	STM 131	60°	E71T-1	1,2	C25	NA	CC+

Fonte: Próprio autor.

A Tabela 4 mostra as especificações empregadas a cada processo executado.

#### 4.4.2 Distribuição dos cordões de solda

Figura 14: Distribuição de passes de solda (cordão)



Fonte: Próprio autor.

A Figura 14 mostra onde foram feitos cada passe no chanfro do corpo de prova.

#### 4.4.3 Parâmetros de soldagem

**Tabela 5: Especificações dos parâmetros utilizados durante a solda FCAW**

Parâmetros de soldagem FCAW						
	Tensão [V]	Corrente [A]	Velocidade [cm/min]	Polaridade	Posição	Vazão gás L/min
<b>Raiz</b>	25	200	35	CC+	Plana	18
<b>Enchimento</b>	27	300	24			
<b>Acabamento</b>	26	280	30			

Fonte: Próprio autor.

**Tabela 6: Especificações dos parâmetros utilizados durante a solda SAW**

Parâmetros de soldagem SAW					
	Tensão [V]	Corrente [A]	Velocidade [cm/min]	Polaridade	Posição
<b>Raiz</b>	26	480	55	CC+	Plana
<b>Enchimento</b>	31	600	43		
<b>Acabamento</b>	28	530	48		

Fonte: Próprio autor.

Parâmetros diferentes foram utilizados durante o enchimento do chanfro nas quais garantiram efetividade em cada cordão depositado, assim como mostra na tabela 5 e 6.

#### 4.4.4 Sequencia de passes

Conforme cada corpo de prova foi soldado, uma sequencia de passes foi empregada para total preenchimento do chanfro.

Tabela 7: Sequencia e duração dos passes de solda para cada processo

FCAW			SAW		
Raiz	Passes	Tempo [hora]	Raiz	Passes	Tempo [hora]
	1º	00:00:52		1º	00:00:37
Enchimento	2º	00:01:32	Enchimento	2º	00:00:55
	3º	00:01:25		3º	00:00:50
	4º	00:01:30		4º	00:00:52
	5º	00:01:27		5º	00:00:51
	6º	00:01:22		6º	00:00:52
	7º	00:01:20		7º	00:00:52
	8º	00:01:24		8º	00:00:51
	9º	00:01:25		9º	00:00:53
	10º	00:01:31		10º	00:00:48
Acabamento	11º	00:01:02	Acabamento	11º	00:00:47
	12º	00:01:12		12º	00:00:47
	13º	00:01:06		13º	00:00:48
	14º	00:01:02			
	15º	00:01:18			
Total tempo soldagem		00:19:28	Total tempo soldagem		00:10:43

Fonte: Próprio autor.

Tabela 8: Peso do corpo de prova e taxa de deposição

	Corpo de prova FCAW	Corpo de prova SAW
<b>Peso inicial [Kg]</b>	12,450	26,410
<b>Peso final [Kg]</b>	13,600	28,350
<b>Material depositado [Kg]</b>	1,150	1,940
<b>Taxa de deposição média [kg/h]</b>	3,540	10,870

Fonte: Próprio autor.

Foi utilizada uma balança de precisão para a pesagem antes e depois da soldagem, e também um cronometro para medição do tempo efetivo em que o arco elétrico estava aberto efetuando a deposição media do material de adição, assim expressos na tabela 7 e 8.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.

Para melhor entendimento do tema, procurou-se fazer uma pesquisa utilizando à teoria proveniente da bibliografia disponível, trabalhos publicados de outros pesquisadores, revistas técnicas entre outros. Além disso, foi executado dois procedimentos de soldagem (corpos de prova), um para cada processo de soldagem abordado no trabalho.

Desta forma procurou-se englobar dois principais processos soldagem utilizados nas indústrias, buscando expor suas principais aplicações e restrições, tanto na teoria quanto na prática.

Dentre as particularidades técnicas de cada processo, investigou-se as principais, no intuito de se conhecer e verificar parâmetros do processo que determinam sua melhor aplicação depois de uma minuciosa análise.

### 5.1 PRINCÍPIOS DE CADA PROCESSO

No processo FCAW e SAW, os seus princípios de funcionamento e suas características foram observadas muitas particularidades durante a execução de solda.

#### 5.1.1 Processo de união das partes metálicas

A soldagem desenvolvida é um processo de união de duas ou mais partes metálicas com possibilidade de variações de espessuras na peça final e o uso de uma diversidade de metais e ligas com propriedades mecânicas diferentes como cita (MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2012).

Segundo MACHADO (1996) existe uma limitação de espessuras mínima de 10 mm no processo mono passe por arco submerso para aços carbono e para FCAW espessura mínima de 1 mm.

Essa limitação é resultado da alta penetração na qual a fonte de calor (Arco elétrico) deixa o metal no seu ponto de fusão e introduz o metal de adição, já no processo FCAW a penetração é bem menor comparando com o arco submerso, assim garantindo uma soldagem em chapas finas (MARQUES, 1991).

Tudo isso foi analisado durante a soldagem dos corpos de provas, que ao efetuar o cordão de raiz foi possível verificar a sua penetração na extremidade inferior, ou seja, o quanto o cordão ultrapassou (“vazou”) para fora da chapa

#### 5.1.2 Arco elétrico

Ambos os processos utilizam o arco elétrico com fonte de calor, chegando na temperatura de fusão do aço para adição de material. Esse arco elétrico (descarga elétrica) ocorre entre o arame e a peça soldada como cita Machado (1996).

Foi verificado durante a soldagem que a abertura do arco elétrico nos dois processos e fez com que gerasse uma poça de fusão garantindo a união das chapas do corpo de prova, sendo feita a transferência de material de adição na poça de fusão que homogeneizou o metal e formou os cordões de solda com bom visual de acabamento.

#### 5.1.3 Proteção da poça de fusão

Segundo Fortes (2005), é necessário uma proteção gasosa para o metal líquido proveniente da poça de fusão, porque o mesmo pode reagir com nitrogênio e oxigênio presente na atmosfera, ocasionando alterações e fragilidade no material que são defeitos de porosidade no cordão de solda.

Durante a soldagem foi feita uma interrupção proposital desses gases de proteção no processo FCAW, assim ocasionado a presença de póros no cordão de solda.

#### 5.1.4 Local de execução

Segundo (MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2012), o local de execução dos processos de soldagem podem variar de um chão de fábrica que possui condições controláveis até ambientes em campo aberto.

Na execução de soldagem feita para desenvolvimento desse trabalho, observou-se a facilidade na execução da solda no laboratório em espaço fechado e

controlável, onde não foi executado o mesmo em ambiente externo, mas é possível sim executá-los, devido a facilidade de manuseio dos equipamentos utilizados.

## 5.2 PARTICULARIDADES DOS PROCESSOS

### 5.2.1 Princípios de funcionamento

O processo FCAW ou como conhecido por arame tubular, é alimentado continuamente por um arame oco (aramé tubular), que em seu interior possui um fluxo (MARQUES,1991).

O processo SAW conhecido como arco submerso é alimentado por um arame sólido, a soldagem ocorre sob a camada de fluxo, ele não é visível, daí o nome do processo (MACHADO, 1996).

Na soldagem do corpo de prova verificou-se que os dois processos utilizam arco elétrico como fonte de calor, e as espessuras diferentes de arame influem na taxa de deposição de cada processo.

Que bem como refere Machado (1996) no caso da proteção da poça de fusão, o SAW utiliza gases provenientes da queima do fluxo granular,

Já o FCAW utiliza a queima do fluxo contido no interior do seu arame tubular e também uma fonte externa originário de um cilindro de gás com Argônio e suas misturas como menciona Marques (1991).

Durante a soldagem utilizou C25 para o FCAW e para o SAW fluxo granular, que necessitou de uma secagem em um estufa a uma temperatura determinada pelo fabricante, para exclusão de umidade que é muito prejudicial ao processo.

### 5.2.2 Formação de escória

A escória formada sobre o metal de solda possui as funções de proteção do cordão de solda, e resfriamento gradativo.

**Figura 15: Escória do processo FCAW**



Fonte: Próprio autor.

A Figura 15 mostra a escória proveniente do processo FCAW.

**Figura 16: Escória do processo SAW**



Fonte: Próprio autor.

A Figura 16 mostra a escória proveniente do processo SAW.

### 5.2.3 Equipamentos

Tanto o processo SAW e FCAW usaram alimentadores de arame controláveis, que asseguraram sua alimentação a uma velocidade constante e determinaram a taxa de deposição em cada cordão assim também mencionado por Scotti (2008).

Porem, segundo Wainer (1985) o soldagem por SAW necessita de um carro para progressão do arame em relação à peça no sentido longitudinal, assim limitando o processo

Já na soldagem FCAW quem faz esse movimento é o soldador conduzindo uma tocha flexível, (MARQUES,1991).

Durante a soldagem foi utilizado um carro com velocidade controlável para execução da solda SAW, e a habilidade do próprio autor (soldador) no deslocamento da solda FCAW com auxilio da tocha.

As fonte de energia com CC e CA produzem saídas de correntes e tensões ajustáveis utilizada na aplicação de soldagem dos dois processo, (SCOTTI,2008). Mas segundo Wainer (1985), a fonte energia do processo SAW precisa ser mais robusta devido a necessidade de tensão e corrente maiores.

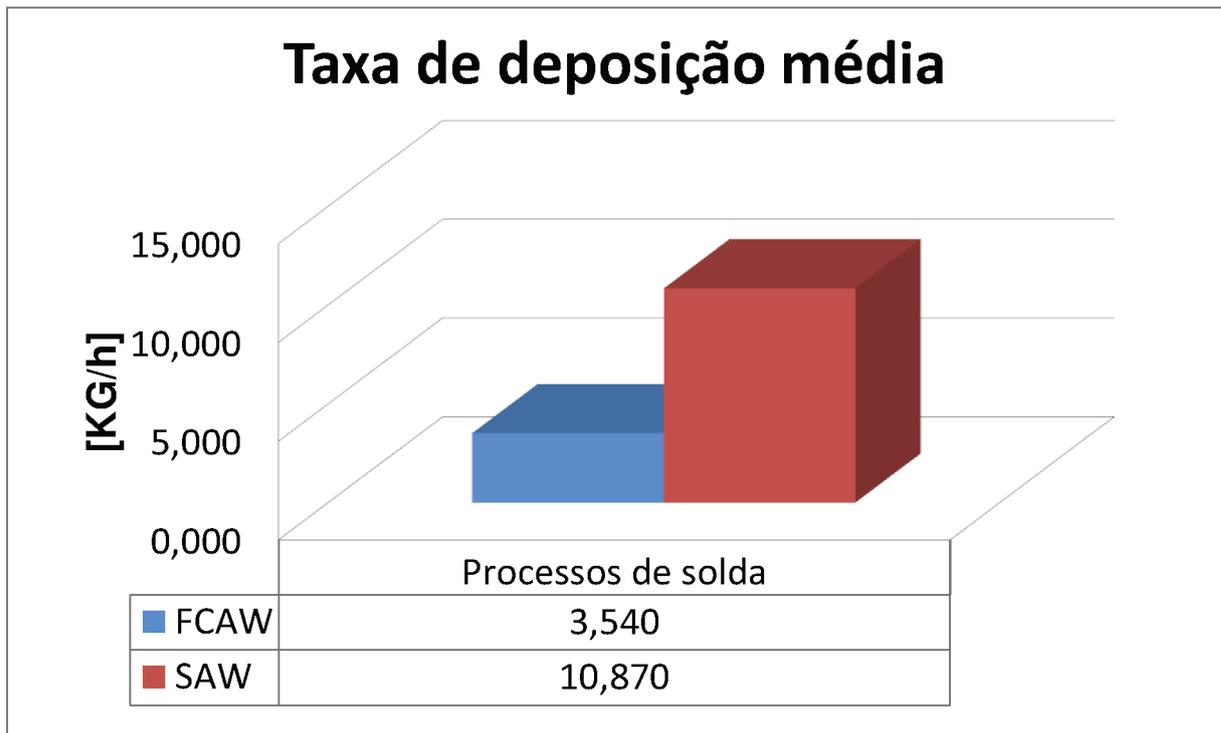
No emprego de fonte para o processo SAW, utilizou uma fonte com saídas de 16V à 46V e 150A à 1300A, que promoveu um excelente soldagem para aço carbono, garantiu uma boa aparência no cordão de solda, uma ótima estabilidade de arco voltaico, apresentou constância para cordões de solda repetitivos, permitiu uma fácil e precisa ajustagem dos parâmetros de solda.

Na soldagem por FCAW necessitou de uma fonte com saídas de 7V à 37V e 50A à 400A , que promoveu um excelente soldagem para aço carbono, garantiu uma boa aparência no cordão de solda, diminuição de respingos e uma ótima estabilidade de arco voltaico, apresentou constância para cordões de solda repetitivas, controle operacional simples com o voltímetro e amperímetro digital no ajustes de parâmetros utilizados.

#### 5.2.4 Taxa de deposição

Diferentes taxas de deposição foram analisadas para cada processo conforme o preenchimento total do chanfro.

Gráfico 2: Taxas de deposição médias



Fonte: Próprio autor.

#### 5.2.5 Corpo de prova finalizado

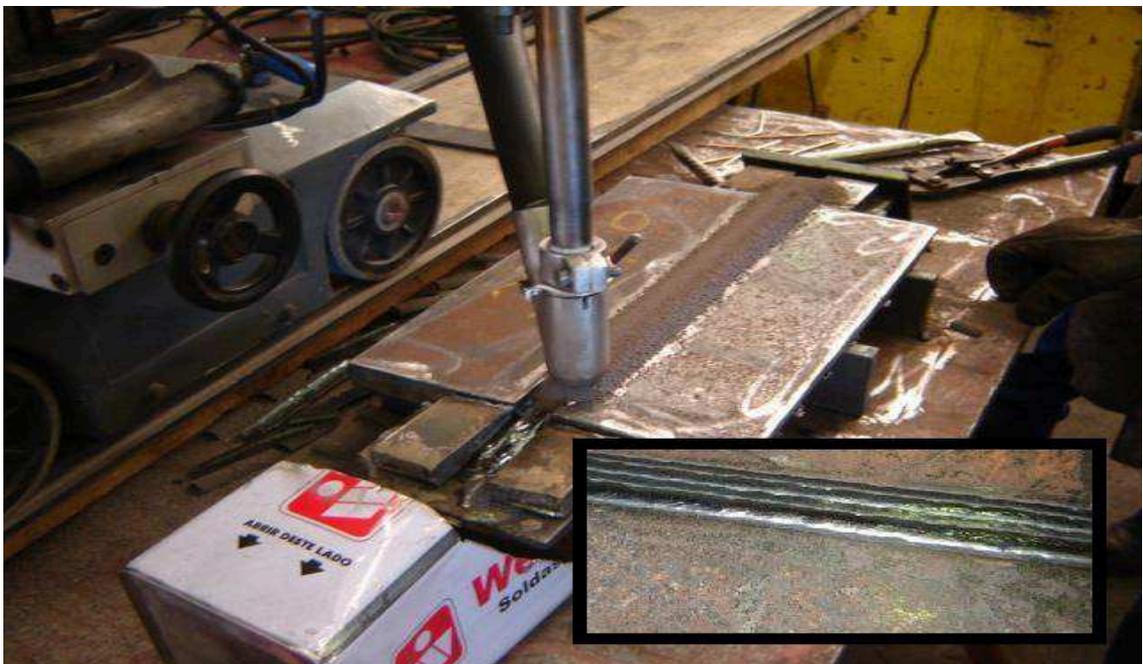
Após o término da soldagem de total preenchimento do chanfro e acabamento de ambos os processos, analisou-se excelentes acabamentos, todos livres de defeitos superficiais.

**Figura 17: Corpo de prova FCAW**



Fonte: Próprio autor.

**Figura 18: Corpo de prova SAW**



Fonte: Próprio autor.

Tanto a Figura 17 quanto a Figura 18 mostram os aspectos visuais de cada processo finalizado.

### 5.2.6 Vantagens e desvantagens

**Tabela 9: Vantagens, limitações e aplicações principais do processos de soldagem FCAW**

FCAW	
<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Boa penetração ;</li> <li>· Media taxa de deposição;</li> <li>· Excelente acabamento e qualidade do cordão de solda;</li> <li>· Aplicação em todas posições de soldagem.</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Liberação de muitos fumos de solda;</li> <li>· Equipamento de custo relativamente alto;</li> <li>· Necessidade de mascaras de solda e respiradores;</li> <li>· Necessidade de soldador habilidoso.</li> </ul>

Fonte: Próprio autor.

**Tabela 10: Vantagens, limitações e aplicações principais do processos de soldagem SAW**

SAW	
<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Alta penetração;</li> <li>· Taxa de deposição alta;</li> <li>· Excelente acabamento e qualidade do cordão de solda;</li> <li>· Velocidade de deslocamento extremamente altas;</li> <li>· Nenhum arco de soldagem visível, minimizando requisitos de proteção;</li> <li>· Pouca fumaça gerada;</li> <li>· Facilmente automatizável, reduzindo a necessidade de operadores habilidosos.</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Limite mínimo de 10 mm espessuras de chapas para soldagem;</li> <li>· Equipamento de custo relativamente alto;</li> <li>· Soldagem somente na posição plana e vertical;</li> <li>· Necessidade de cuidado com utilização do fluxo granular.</li> </ul>

Fonte: Próprio autor.

As tabelas 9 e 10 expressam vantagens e desvantagens de cada processo conforme análise de procedimento executados.

## 6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste Trabalho de Graduação possibilitou a análise e comparação de dois processos de soldagem, e observou-se que o processo por Arco submerso leva vantagem na taxa de deposição na posição plana comparada com o Arame tubular, porém levando em consideração as posições de aplicação, a soldagem por arame tubular fica a frente devido ser aplicada em todas as posições de soldagem.

De um modo geral, ambos os processos possuem suas particularidades que é diretamente relacionado com os princípios de funcionamento, equipamentos necessários pra suas aplicações, emprego em equipamentos industriais, soldabilidade em vários metais e local onde pode ser executados.

Não foram levados em consideração variáveis de itens e equipamentos necessários para proteção e segurança coletivas e individuais.

Levando-se em conta limitações de cada processo, a aplicação de ambos de maneira correta, possibilita uma solda com excelente qualidade, tanto de aspecto visual quanto metalúrgico.

Conclui-se que a vantagem na taxa de deposição do arco Submerso (SAW) é nítida, porém sua aplicação na posição plana e vertical de soldagem o torna limitado, já que o processo por arame tubular (FCAW) apesar de ter menor taxa de deposição, possui uma versatilidade de posição de soldagem e espessuras. Contudo, não existe o melhor processo de solda, mas sim o melhor engenheiro que irá analisar minuciosamente e delimitar sua aplicação.

## 7 REFERÊNCIAS

Belgo BeKaert **Consumíveis SAW**. Disponível em: [www.belgogobekaert.com.br](http://www.belgogobekaert.com.br)  
Acesso em 27 de agosto de 2018.

FORTES, C. **Arco Submerso**. Contagem: **Apostila de Arco submerso ESAB BR**, ESAB, 2004. 84p.

FORTES, C. **Metalurgia de soldagem**. Contagem: **Apostila Metalurgia de soldagem ESAB BR**, ESAB, 2005. 48p

GIL, A. C. **Como elaborar projeto de pesquisa**. 4ed.- São Paulo: Atlas, 2002. 175p.

GIL, A. C. **Como elaborar projeto de pesquisa**. 3ed.- São Paulo: Atlas, 1991.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1987. 206p.

LINCOLN, ELECTRIC. **Consumíveis para solda por arco submerso**. Disponível em: [www.lincolnelectric.com.br](http://www.lincolnelectric.com.br) Acesso em 28 de agosto de 2018.

MACHADO, I. G. **Soldagem & técnicas conexas: Processos**. Porto Alegre: editado pelo autor, 1996. 477p

MARQUES, P.V; MODENESI, P.J. **Soldagem I: Instrução aos processos de soldagem**. 2000. 51f. Dissertação - Departamento de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do estado de Minas Gerais, Minas Gerais, 2000.

MARQUES, P.V; MODENESI, P.J; BRACARENSE,A,Q. **Soldagem: Fundamentos e tecnologia**.-3ed.- Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009. 363p.

MODENESI, P.J; MAEQUES,P.V; SANTOS,D,B. **Introdução à metalurgia da soldagem**. 2012. 209f. Dissertação (Especialização)- Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do estado de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações.-2.ed.** e ampl.-São Paulo: Cengage learning, 2012. 19p

MULTIWELDINDO. **Equipamentos para solda por arco submerso**. Disponível em: [www.mutiweldinho.com.br](http://www.mutiweldinho.com.br) Acesso em 27 de agosto de 2018.

PRAXAIR. **All Gases**. Disponível em: [www.praxair.com](http://www.praxair.com). Acesso em 28 de agosto de 2018.

SCOTTI, A. **Soldagem mig/mag: melhor entendimento, melhor desempenho**. – São Paulo: Artliber Editora, 2008. 288p.

SILVA, E.L; MENEZES, E.M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. – 4ed.rev.atual.- Florianópolis: UFSC, 2005. 138p.

VEIGA, E. **Processo de soldagem mig/mag.** – São Paulo: Globus, 2011. 156p.

WAINER, P. V. **Tecnologia da soldagem.** – Belo Horizonte, ESAB, 1991. 352p.