

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**ANDRÉ DA COSTA GOMES**

**ARAME SÓLIDO E TUBULAR SUAS QUALIDADES E PARTICULARIDADES NO  
PROCESSO DE SOLDAGEM**

**Varginha**  
**2018**

**ANDRÉ DA COSTA GOMES**

**ARAME SÓLIDO E TUBULAR SUAS QUALIDADES E PARTICULARIDADES NO  
PROCESSO DE SOLDAGEM**

Trabalho de conclusão do curso de engenharia mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Esp. Erik Vitor da Silva.

**Varginha  
2018**

**ANDRÉ DA COSTA GOMES**

**ARAME SÓLIDO E TUBULAR SUAS QUALIDADES E PARTICULARIDADES NO  
PROCESSO DE SOLDAGEM**

Trabalho de conclusão do curso de engenharia mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob a aprovação da banca:

Aprovado em     /     /

---

Prof. (título ex.: Dr./Me./Esp.) Nome do orientador

---

Prof. (título ex.: Dr./Me./Esp.) Nome do professor

---

Prof. (título ex.: Dr./Me./Esp.) Nome do professor

OBS.:

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Soldagem.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Processo de Soldagem FCAW .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3 Processo de Soldagem GMAW .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4 Classificações dos arames.....</b>	<b>16</b>
<b>2.5 Processo de confecção do arame tubular .....</b>	<b>17</b>
<b>2.6 Parâmetros dos processos FCAW e GMAW .....</b>	<b>17</b>
<b>2.7 Tensão e corrente de soldagem .....</b>	<b>18</b>
<b>2.8 Modos de adicionar o metal .....</b>	<b>18</b>
<b>2.8.1 Transferência por spray .....</b>	<b>19</b>
<b>2.8.3 Transferência por corrente pulsada .....</b>	<b>20</b>
<b>2.8.4 Transferência por curto circuito .....</b>	<b>20</b>
<b>2.8.5 Transferência globular.....</b>	<b>21</b>
<b>2.9 Influência do gás de proteção.....</b>	<b>22</b>
<b>3 TESTE REALIZADO NO CORDÃO DE SOLDA .....</b>	<b>22</b>
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>22</b>
<b>4.1 Materiais utilizados .....</b>	<b>23</b>
<b>4.2 Consumíveis utilizado.....</b>	<b>23</b>
<b>4.2.1 Gás de proteção e os metais de adição.....</b>	<b>23</b>
<b>4.2.2 Preparações dos corpos de prova .....</b>	<b>23</b>
<b>5 EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA REALIZAR OS TESTE .....</b>	<b>25</b>
<b>5.1 Plasma.....</b>	<b>25</b>
<b>6 ENSAIOS REALIZADOS .....</b>	<b>27</b>
<b>6.1 Ensaio de tração.....</b>	<b>27</b>
<b>6.2 Ensaio de dobramento .....</b>	<b>30</b>
<b>6.3 Ensaio macrográfico.....</b>	<b>30</b>

<b>6.4 Respingos .....</b>	<b>32</b>
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
<b>8 CONCLUSÃO .....</b>	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>35</b>

Dedico este trabalho à toda a minha família em especial aos meus pais Reimundo do Carmo Gomes e Elizabett da Costa Gomes e a minha irmã por todo apoio dado nesse período de aprendizado. A minha namora que mesmo nos momento que fiquei ausente tanto me incentivou a continuar e nunca desistir

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por permitir estes acontecimentos todos nesta longa caminhada, e não somente nestes anos como universitário. Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento, não apenas racional, mas a manifestação de caráter e afetividade da educação no processo de minha formação profissional, não somente nos ensinamentos, mas também por me fazerem aprender. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados, aos quais sem nominar, terão os meus eternos agradecimentos.

“Aqueles que se sentem satisfeitos, sentam se e nada fazem, os insatisfeitos são os únicos benfeitores do mundo”.

Albert Einstein



## **RESUMO**

Este trabalho analisa uma pesquisa que fará um estudo comparativo dos arames sólidos com os arames tubulares (Metal Cored), suas vantagens e desvantagens eficiência em comparação um com o outro. E nos mostrará sua melhor aplicação no mesmo processo com o mesmo equipamento e sua eficiência nos testes realizados e tempo de soldagem. Será realizado um estudo comparativo dos dois materiais a ser testado, nos dará o resultado se o arame tubular Metal Cored e mais eficiente se comparado com o arame solido. O processo será realizado da seguinte maneira, será colido os dados dos dois materiais na linha de produção como por exemplo tempo de soldagem, respingo nas peças soldadas e também vai ser realizado três teste nas peças de traça, dobramento e uma macrografia, para verificar a qualidade da solda aplicada com os arames. E no final do estudo será apresentada a viabilidade dos arames testado.

**Palavra chave:** Solda analise comparação arame solido e arame tubular Metal Cored

## ***ABSTRACT***

This work has the objective of carrying out a research that will make a comparative study of solid wires with tubular wires (Metal Cored), its advantages and disadvantages efficiency in comparison with one another. And it will show us its best application in the same process with the same equipment and its efficiency in the tests carried out and welding time. A comparative study of the two materials to be tested will give us the result if Metal Cored tubular wire is more efficient compared to solid wire. The process will be carried out in the following way, the data of the two materials will be collided in the production line such as welding time, splash in the welded parts and also will be carried out three test in the pieces of moth, folding and a macrography, to verify the quality of the weld applied with the wires. And at the end of the study will be presented the feasibility of the tested wires.

**Keywords:** Welding analysis comparing solid wire and tubular wire Metal Cored

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Desenho de um equipamento de soldagem. -----	12
Figura 02	Arame tubular. -----	13
Figura 03	Arame sólido.-----	13
Figura 04	A figura abaixo representa um processo de soldagem FCAW.-----	14
Figura 05	Processo de soldagem GMAW -----	15
Figura 06	Processo de fabricação do arame tubular -----	17
Figura 07	Altura do bico de contato influencia diretamente o arco elétrico-----	19
Figura 08	Transferência do metal de adição por spray -----	20
Figura 09	Transferência por corrente pulsada -----	21
Figura 10	Transferência por curto circuito -----	21
Figura 11	Transferência globular -----	22
Figura 12	Influência do gás de proteção no cordão de solda -----	24
Figura 13	Corpo de prova para realizar o ensaio de dobramento - -----	25
Figura 14	Corpo de prova para realizar o ensaio de tração-----	26
Figura 15	Plasma utilizado para cortar as peças -----	26
Figura 16	Serra de fita -----	27
Figura 17	Moto esmeril.-----	27
Figura 18	Maquina de tração e dobramento -----	28
Figura 19	O ensaio realizado com o arame tubular Metal Cored-----	29
Figura 20	O ensaio foi realizado com o arame sólido-----	30
Figura 21	Ensaio realizado com o arame tubular Metal Cored -----	30
Figura 22	Acido fosfórico-----	31
Figura 23	Macrografia realizada com o Metal Cored-----	32
Figura 24	Macrografia realizada com o arame sólido-----	33
Figura 25	Solda com arame <i>Metal Cored</i> -----	33

## 1 INTRODUÇÃO

A soldagem é utilizada para unir materiais, similares ou não, de forma definitiva sendo que sua utilização muda de acordo com os diversos métodos existentes e características de juntas apresentadas o tipo de material que ira ser soldado sua forma geométrica e também a sua espessura.

Quando se aplica soldas com o processo Mig/Mag, uma variedade de parâmetros deve ser levada em considerações, bem como: número de passes, aporte térmico, limpeza das peças soldadas, a velocidade de soldagem, que tipo de arame a ser empregado o diâmetro do arame a ser aplicado e o gás de proteção utilizado.

O processo de soldagem MIG/MAG possui um carácter não oxidante, pois utiliza gás de proteção inerte. Neste caso, o gás não é capaz de interagir com o metal fundido, de forma que ela não resulte em efeitos indesejáveis. Um dos efeitos que podem ser prejudiciais no processo e a falta de gás que gerará problemas, tais como: Respingo, porosidade, inclusão de escória, falta de fusão e a falta de penetração.

Este trabalho tem como objetivo proporcionar informações técnicas e resultados referentes a comportamento mecânico, velocidade no processo e a qualidade das peças soldadas sobre a quantidade de respingo presente. Para realizar o presente trabalho foram utilizadas juntas na posição 1G (Plana), utilizando material de adição E70C-6M (arame tubular) e ER70S-6 (arame sólido). O principalmente a respeito ao *Metal Cored*, visando à redução de custos e um ganho na qualidade de acabamento nas peças sobre o que diz a respingo e um ganho na velocidade no processo.

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica, através de sites, livros e artigos, e um estudo de caso em relação a viabilidade na aplicação do arame tubular *Metal Cored*.

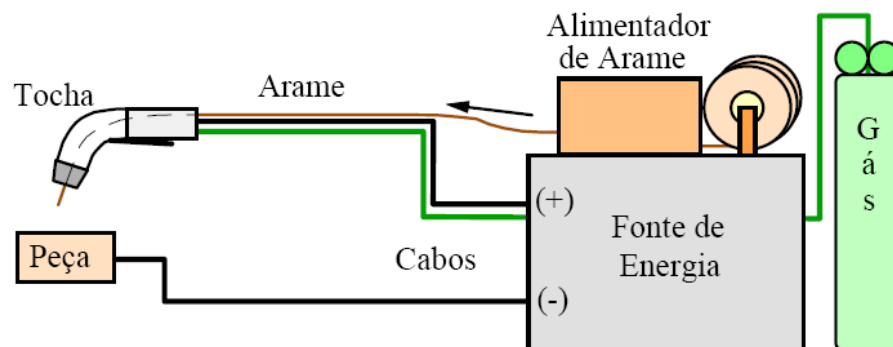
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Soldagem

Um significativo número de diferentes processos empregados na produção e recuperação de peças, equipamentos e estruturas é abrangido através do termo “SOLDAGEM”. É considerada como um processo de junção, porém, na atualidade, diversos processos de soldagem ou variações destes são empregados, para a deposição de material sobre uma superfície, visando à recuperação de peças desgastadas ou para a formação de um revestimento com características particulares diferentes processos associados com a soldagem são utilizados para corte de peças metálicas, como por exemplo, o processo a plasma, em muitos aspectos estas operações se parecem bastante a procedimentos de soldagem.

A soldagem é um dos mais importantes processos industrial de confecção de peças metálicas e não metálicas. O sucesso da soldagem está associado a diversos elementos e, em especial com a sua relativa simplicidade operacional, conforme Figura 1.

Figura 1: Desenho de um equipamento de soldagem.



Fonte: MODENESI; MARQUES, 2006.

Como pode ser visto trata-se de um equipamento que podemos dizer até que simples, mas hoje no mercado já é encontrado equipamento com muita tecnologia envolvido totalmente automatizado (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011).

O processo de soldagem arame tubular (ou FCAW) é uma soldagem a arco que gera a coalescência de metais pelo aquecimento destes com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico tubular, constante, consumível e o metal de base. A proteção do arco e do

cordão é feita por um fluxo de soldagem contido no interior do arame, que pode ser complementado por uma proteção gasosa adicional fornecida por uma fonte externa (SOUZA, 2011). As Figuras 2 e 3 apresentam as diferenças entre os arames sólido e tubular.

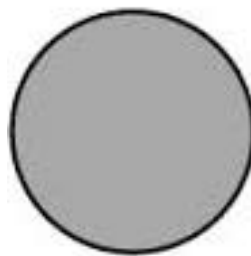
Figura 2: Arame tubular.



Fonte: ESAB, 2014.

Já os arames sólidos tem uma diferença na sua construção, ele é maciço e o seu núcleo é rígido.

Figura 3: Arame sólido.



Fonte: ESAB, 2014.

## 2.2 Processo de Soldagem FCAW

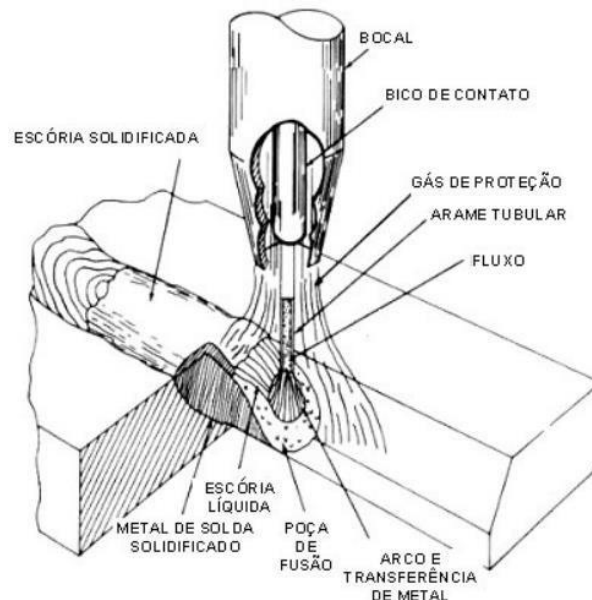
O processo de soldagem por arame tubular é caracterizado como sendo um processo de soldagem por fusão, onde o calor necessário à ligação das partes é disponibilizado por um arco elétrico determinado entre a peça e um arame alimentado constantemente. É um processo

similar ao processo MIG/MAG, diferindo deste pelo fato de apresentar um arame no formato tubular, que possui na sua parte interno um fluxo composto por materiais inorgânicos e metálicos que possuem diversas funções, dentre as quais, a o aperfeiçoamento das características do arco elétrico, a transferência do metal de solda a proteção do banho de fusão e em alguns casos a inclusão de elementos de liga, além de operar como formador de escória (JOAQUIM, 2006).

O processo (FCAW – *Flux Cored Arc Welding*) é semelhante com processo de GMAW e utilizado o mesmo equipamento, porém o mesmo tem de ser com uma maior capacidade e com uma fonte mais robusta (Araújo, 2004).

Quando utiliza o arame tubular para realizar a soldagem e verificado um ganho de vantagens em relação a outros processos de soldagem com proteção gasosa, pois ele tem uma alta taxa de deposição, maior rendimento que resulta em boa rentabilidade uma alta penetração em muitos casos a solda não apresenta respingo com uma ótima qualidade no seu aspecto visual. (BARBEDO, 2011). Como na figura 4 pode ser visto um exemplo de um equipamento com uma maior capacidade.

Figura 4: A figura abaixo representa um processo de soldagem FCAW.

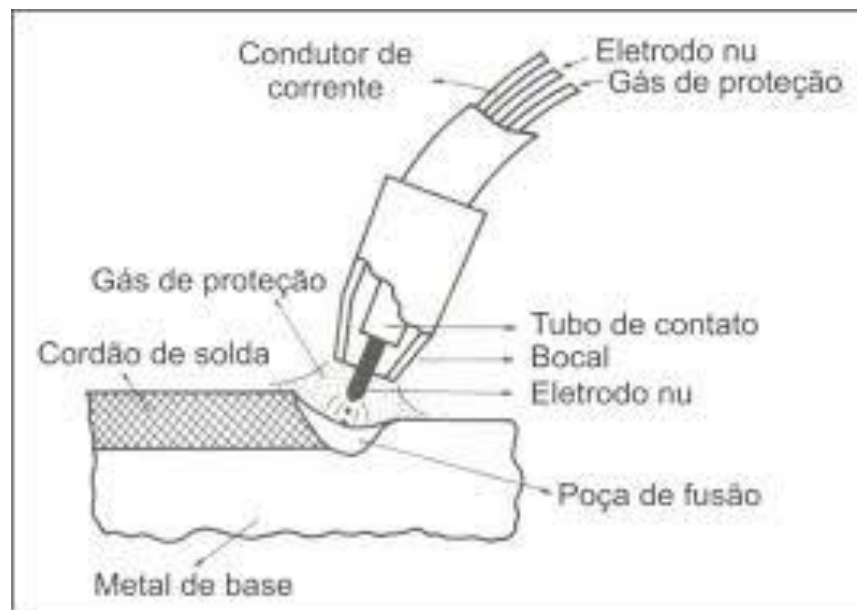


Fonte: BARNES, 2009.

### 2.3 Processo de Soldagem GMAW

A princípio foi utilizado o gás de proteção inerte na soldagem do alumínio. Conseqüentemente, o termo soldagem MIG no começo foi aplicado e ainda é uma referência ao processo. Logo em seguida foi acrescentadas atividades com baixas densidades de corrente e também correntes contínuas pulsadas, que e empregado em uma ampla quantidade de materiais, e o uso de gases de proteção reativos ou ativos (particularmente o dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>) e misturas de gases. Esse desenvolvimento seguinte levou à reconhecimento formal do termo GMAW – Gas Metal Arc Welding para o processo, visto que tanto gases inertes quanto reativos são utilizados. No entanto, quando se empregam gases reativos, é muito comum usar o termo soldagem MAG (MAG – Metal Active Gas), (FORTES, 2005).

Figura 5: Processo de soldagem GMAW



Fonte: Mello, 1992.

De um modo geral, pode-se dizer que as mais importantes vantagens da soldagem MIG/MAG (GMAW) quando confrontada à soldagem com eletrodos revestidos podem ser: Que o processo pode ser utilizado de forma mecanizada, semiautomática e automática com uma alta taxa de deposição de material, expressiva versatilidade quanto ao tipo de material que pode ser eles. Todos os metais importantes, tais como cobre, titânio, aço carbono, aço de alta resistência e baixa liga, aço inoxidável, alumínio, e ligas de níquel podem ser soldados em todas as posições de soldagem através da escolha apropriada menor técnica do soldador na hora da aplicação da solda (ARTHUZO, 2006).



## 2.4 Classificações dos arames

Os arames para solda são classificados conforme a sua aplicação e pode ser constituído de ligas metálicas e metais, com composição química que varia de acordo com o material e são classificadas por normas de acordo com a composição que compõem estas ligas, como pode ser visto na Tabela 1. Arames de má qualidade em termos destas propriedades citadas podem produzir falhas de alimentação, instabilidade do arco e descontinuidades no cordão de solda.

Os arames de aço usados com proteção de CO<sub>2</sub> contêm maiores teores de silício e manganês em sua composição, devido a sua ação desoxidante. A seleção do arame a ser utilizado em uma dada operação, é feita em termos da composição química do metal de base, do gás de proteção a ser usado e da composição química e propriedades mecânicas desejadas para a solda. (SOLCI, 2015).

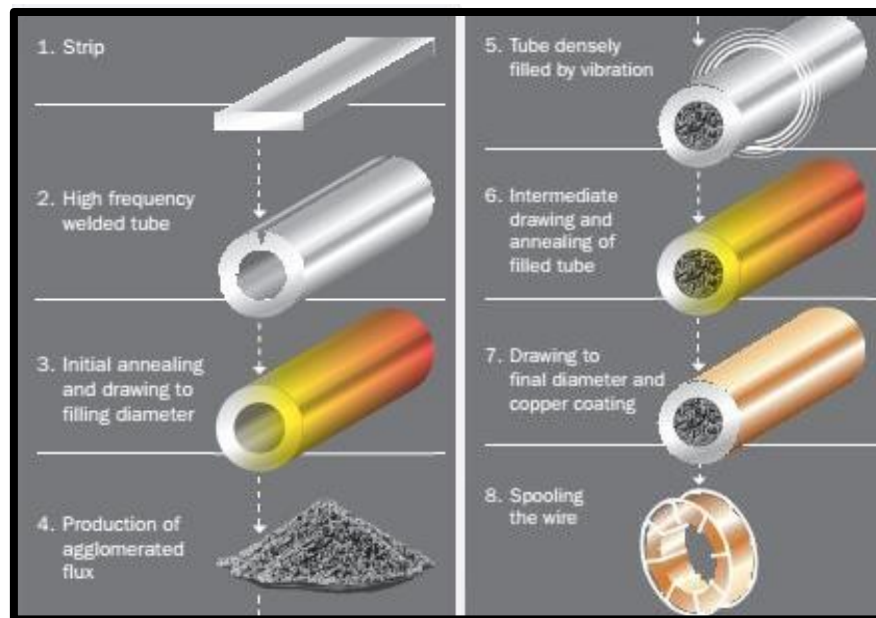
<b>Tabela 1 - Especificação AWS de Materiais de adição</b>	
<b>ESPECIFICAÇÃO</b>	<b>MATERIAIS</b>
AWS - A5.7	Cobre e suas ligas
AWS - A5.9	Aço inox e aços com alto Cr
AWS - A5.10	Alumínio e suas ligas
AWS - A5.14	Níquel e suas ligas
AWS - A5.15	Ferros Fundidos
AWS - A5.16	Titânio e suas ligas
AWS - A5.18	Aço Carbono e baixa liga
AWS - A5.19	Magnésio e suas ligas
AWS - A5.28	Aço Baixa liga

Fonte: Adaptado de SOLCI, 2015.

## 2.5 Processo de confecção do arame tubular

Os arames tubulares dispõem de varias configurações na sua secção transversal, que pode ser uma configuração mais elaborada ou até mesmo um simples tubo. O mesmo apresenta a vantagens em sua condutividade diminuindo sua umidade com o fluxo e por este motivo deposita metal de solda com baixo hidrogênio. Como pode ser observado na figura abaixo, o arame tubular pode ser fabricado com uma fita de aço que envolve um fluxo e em alguns casos materiais metálicos que irá ser fundido no processo de soldagem (HOBART, 2014).

Figura 6: Processo de fabricação do arame tubular.



Fonte: HOBART, 2014

## 2.6 Parâmetros dos processos FCAW e GMAW

Para realizar a soldagem com os arames tubular (FCAW) e com o arame maciço (GMAW), é exigido varias variáveis que podem influenciar diretamente no processo de soldagem, em menor ou maior grau o processo de soldagem, dentre os parâmetros que deve ser levado em consideração são eles: corrente, tensão, distância do bico da tocha com a peça, os modos de adicionar o metal, gás de proteção, composição química do arame, diâmetro do arame e a posição de soldagem entre outros. A influência destas variáveis é capaz de alterar nas características operacionais do processo bem como na produção, geometria e no

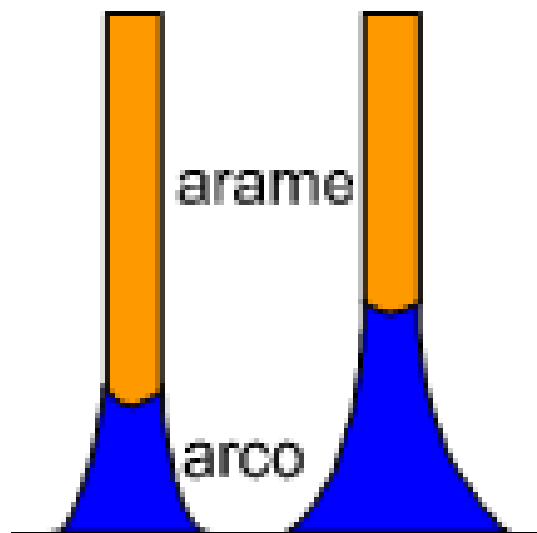
aspecto final do cordão e diretamente na qualidade do cordão de solda (SOUZA, 2011).

## 2.7 Tensão e corrente de soldagem

A tensão do arco é uma variável significativa quanto à geometria da solda, pois afeta o modo de transferência metálica e está associada diretamente ao comprimento do arco. Quando a tensão diminui a penetração aumenta e quando a tensão aumenta, o comprimento do arco também aumenta, aumentando assim, a probabilidade de ocorrência de mordeduras, porosidade e até de furar as peças quando trabalhadas com chapas com uma espessura menor. (RODRIGUES, 2010).

Conforme figura 7 pode ser verificada a altura do bico de contato vai influenciar diretamente a corrente até estabilizar o arco e o gás de proteção e a bitola do arame dará a condição final do cordão de solda (SOUZA, 2011).

Figura 7: Altura do bico de contato influencia diretamente o arco elétrico.



Fonte: SOLCI, 2015.

## 2.8 Modos de adicionar o metal

A fusão do arame e da em forma de gotas. Sobre o efeito do aquecimento do arco, funde-se a ponta do arame, cuja fase líquida de forma continuamente aumenta. Quando a camada de metal líquido, na ponta do arame atinge certo limite, parte do metal se separa do

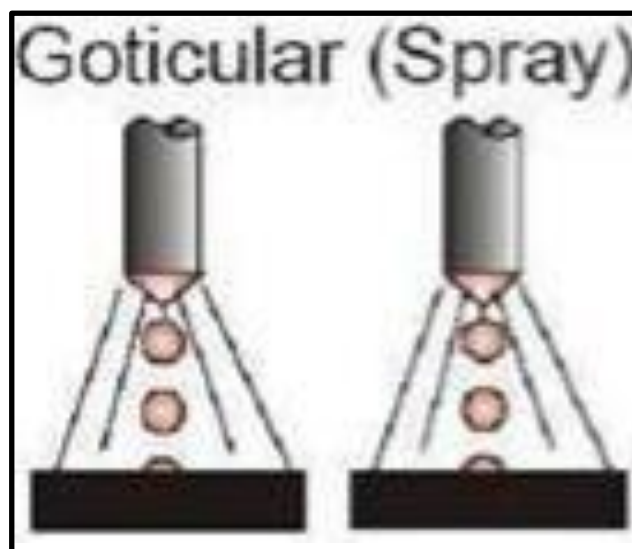
arame e em forma de uma gota se desprende logo em seguida forma uma camada de líquido de forma seguida outras gotas vão se formando e desprendendo e sendo transferida para a poça de fusão assim gerando o cordão de solda (GOMES, 2006).

A transferência do metal depende diretamente da corrente de solda e da vazão e composição do gás de proteção que irá afetar diretamente quimicamente o cordão de solda. As transferências do metal de adição e da em: spray, corrente pulsada, curto circuito e globular (BARBEDO, 2011).

### 2.8.1 Transferência por spray

A transferência por spray é obtida da seguinte maneira. A partícula se desprende do arame em forma de glóbulos que são pequenas gotas como pode ser observado na figura abaixo, ao variar a corrente de soldagem varia também o diâmetro das gotas que irá ser transferida para a poça de fusão quando a variação da corrente elétrica e para baixo o modo de transferência do metal de adição irá mudar de globular para spray. Esta corrente na qual ocorre esta mudança no modo de transferência é chamada corrente de transição. As gotas desta vez são pequenas e são destacadas da ponta do arame devido às certas forças magnéticas que atuam nas em variáveis direções. O cordão tem um bom acabamento e praticamente não há respingos (BARBEDO, 2011).

Figura 8: Transferência do metal de adição por spray

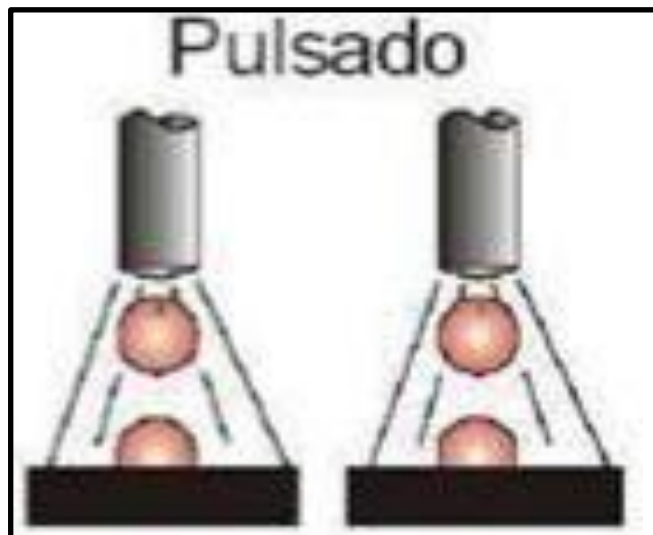


Fonte: BARBEDO, 2011

### 2.8.3 Transferência por corrente pulsada

A transferência por corrente pulsada é obtida da seguinte maneira. A transferência é limitada e controlada pela forma de onda da corrente de soldagem, utilizando a corrente pulsada. O pulsado une as vantagens da transferência por spray, mas em níveis menores de corrente média, permitindo a sua utilização em chapas finas e a soldagem em todas as posições. No pulsado existem dois níveis de corrente, uma acima da corrente de pico que age em um intervalo de tempo e a outra age abaixo da corrente de transição que se transmite em um intervalo de tempo (tempo de base). O destacamento da gota formada na ponta do arame ocorre quando se sobrepõe a corrente de pico. O diâmetro da gota é aproximadamente o mesmo do eletrodo (BARBEDO, 2011).

Figura 9: Transferência por corrente pulsada

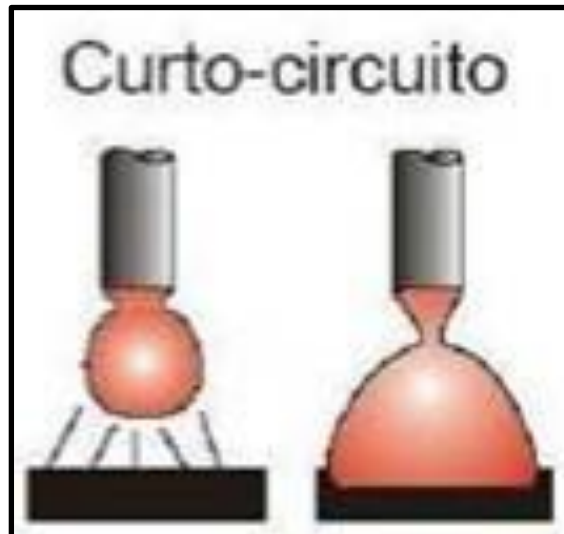


Fonte: BARBEDO, 2011

### 2.8.4 Transferência por curto circuito

A transferência por curto circuito é realizada quando o material é transferido para a poça de fusão somente quando ocorre o contato do arame com a poça, não ocorre transferência de material pelo arco elétrico. O curto-circuito ocorre em várias faixas de baixa corrente e possibilitando assim a soldagem de pequenas espessuras. (BARBEDO, 2011).

Figura 10: Transferência por curto circuito

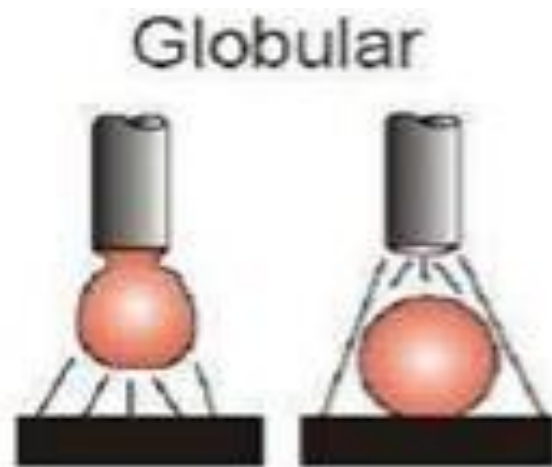


Fonte: BARBEDO, 2011

#### 2.8.5 Transferência globular

A transferência globular ocorre quando os níveis de tensão estão mais elevados que no curto-circuito. As gotas de metal de adição são transferidas para a poça de fusão principalmente pela ação da força gravitacional, o que limita a soldagem na posição plana. O diâmetro das gotas é maior que o diâmetro do arame. É comum neste modo de transferência a ocorrência de falta de fusão, falta de penetração e um grande aumento de respingo na peça soldada (BARBEDO, 2011).

Figura 11: Transferência globular

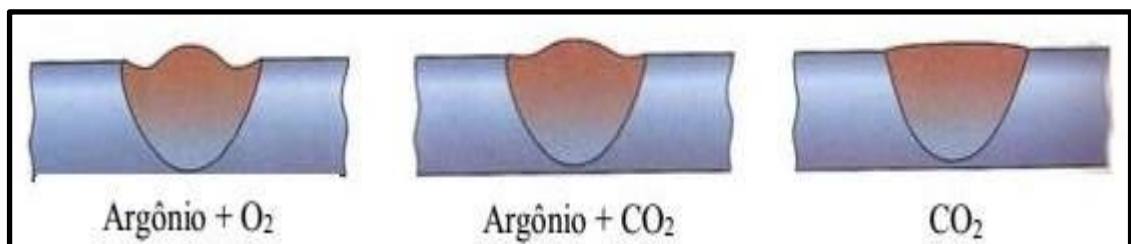


Fonte: BARBEDO, 2011.

## 2.9 Influência do gás de proteção

A influência do gás de proteção está ligada diretamente com a penetração e qualidade da solda, mas a sua principal função é de proteger a poça de fusão da ação do ar atmosférico que de forma danosa do nitrogênio, oxigênio e do hidrogênio, mantendo-os fora da atmosfera dessa zona, para evitar a formação de óxidos e de nitretos, que resultam em juntas soldadas defeituosas, como retenção de escória, porosidades e fragilizações do cordão. O gás de proteção exerce forte influência sobre a condição do cordão sua penetração, largura, forma e o aspecto visual, nas características do arco, no modo de transferência metálica, nas propriedades mecânicas do cordão, e na possibilidade do aparecimento de mordeduras e respingos que repercute diretamente na qualidade da peça final (MACHADO, 2015).

Figura 12. Influência do gás de proteção no cordão de solda.



Fonte: BARBEDO, 2011

## 3 TESTE REALIZADO NO CORDÃO DE SOLDA

Para realizar os testes foi utilizado a NBR 8460 que se trata de recipientes de aço para transporte GLP, aonde foi retirados os corpos de prova e realizado um ensaio de dobramento a fim de verificar a raiz da solda um ensaio de tração contatar se a solda iria romper e também uma macrografia para verificar a penetração do cordão de solda comparando o uso dos arames testado (NORMA 8460, 2011).

## 4 METODOLOGIA

Abaixo será exibido os passos para a realização dos teste com os arame solido e tubular (*Metal Cored*). O trabalho foi realizado com base em pesquisas em artigos científicos, livros, trabalhos de conclusão de curso, sites de fabricantes entre outros. Foram realizados

testes comparativos com arame sólido e arame tubular de mesmo diâmetro, para verificar a sua resistência confrontado com o teste a qualidade final do cordão e se tratando de respingos. A aplicação da solda foi realizada de forma mecanizada por uma fonte FLEXTEC 450 (LINCOLN ELECTRIC).

#### **4.1 Materiais utilizados**

A solda foi realizada em dois meio corpo que forma um cilindro e de um flange que se localiza na parte superior do cilindro, o cilindro é constituído de uma chapa de 2,65 mm de espessura um aço carbono com composição de 1012.

#### **4.2 Consumíveis utilizado**

##### 4.2.1 Gás de proteção e os metais de adição

Para realizar a aplicação da solda foi utilizado uma composição de gás aonde encontra 85% de argônio e 15% de CO<sub>2</sub>. E para realizar a junção das peças foi utilizado como metal de adição foi o arame sólido cobreado conforme norma ER70S-6 de Ø 1,2mm. Já a outra solda foi realizada com o arame foi E70C-6M Ø 1,2mm, denominado como arame *Metal Cored*. As soldas foram aplicados da mesma maneira na posição 1G (plana), com o mesmo equipamento.

##### 4.2.2 Preparações dos corpos de prova

Por se tratar de um cilindro o material foi cortado em forma de um disco, logo após foi repuxado aonde foi obtido dois meios corpos foi aplicado as soldas com os arames testado formando um cilindro de GLP, a norma 8460, nos diz que após aplicação de uma repuxo o material deverá passar por um tratamento térmico, a fim de diminuir a tensão formada nas moléculas por motivo do repuxo.

Após o tratamento térmico as peças cortadas conforme NBR 8460 e foi retirado os copos de prova conforme imagem abaixo.



Figura 12: Imagem do corpo de prova para ensaio de tração.



Fonte:Próprio Autor

E para realizar o ensaio de dobramento foi retirado o corpo de prova conforme NBR 8460 a figura 13 que se encontra abaixo.

Figura 13: Corpo de prova para realizar o ensaio de dobramento



Fonte:Próprio Autor

Foi cortada um peças da solda circunferencial para realizar a analize macrografica como pode ser obsevado na imagem abaixo.

Figura 14: Peça para realizar macrografia.



Fonte: Próprio Autor

## 5 EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA REALIZAR OS TESTE

### 5.1 Plasma

Para realizar os corte afim de retirar as peças que erão ser ensaiadas foi utilidado um plasma modelo *CUTMASTER* 40, fabricado pela empresa ESAB, como mostra imagem abaixo.

Figura 15: Plasma utilizado para cortar as peças



Fonte: ESAB 2018.

Após as peças cortada pelo plasma foi utilizada uma serra de fita para fazer os entalhes e cortar as peças conforme NBR 8460, deixando os corpo de prova na dimensões predeterminadas pela norma.

Figura 16: Serra de fita



Fonte: SKIL, 2018).

Quando as peças já estão no formato determinado pela norma foi feita a limpeza das peças utilizando esmeril contendo uma lixa circular, as peças foram lixada até chegar na dimensão para ser aplicado os teste e ensaios. Conforme figura 17 e 18 contém os equipamento que foram utilizado. Para aplicação do lixamento foi utilizada uma lixa no grão 36.

Figura 17: Moto esmeril.



Fonte:Próprio Autor

## 6 ENSAIOS REALIZADOS

### 6.1 Ensaio de tração

Após confecção das peças, foram extraídos dois corpos de prova para realizar o ensaio de tração, e confeccionados conforme norma NBR 8460, na direção transversal a solda para a determinação do limite de resistência a ruptura e o limite de escoamento. As dimensões do corpo de prova foram extraídas conforme norma. Os ensaios foram realizados na máquina de ensaio de tração da Frank, com capacidade de 25 toneladas, conforme Figura 18. Os ensaios foram realizados em temperatura ambiente.

Figura 18: Máquina de tração e dobramento.



Fonte:Próprio Autor

O ensaio de tração tem o objetivo de verificar se a junta soldada resiste aos esforços aplicados aos corpos de prova, sem que ocorra o rompimento na solda ou na ZTA. Para cada combinação ou nível de soldagem, foram realizados dois corpos de prova para ensaio de tração a solda foi aplicada com o arame sólido e arame tubular (*Metal Cored*).

Foi verificado que todos os corpos de provas romperam fora da região de solda, e os seus valores médios de limites de resistência e limite de escoamento, foram muito próximo 1,7 Mpa, e foi no material como determinado pela norma.

Verificou-se que o limite de resistência e limite de ruptura, com o processo Metal Cored  $\varnothing$  1,2mm e com o arame sólido de também com o  $\varnothing$  1,2mm apresenta valores insignificante quando relacionado um com o outro. O rompimento de todos os corpos de prova ocorreu no metal de base, como já mencionado e exigido por norma. As figuras abaixo ira demonstra como o rompimento ocorreu em ambas os matérias testado.

Figura 19: O ensaio realizado com o arame tubular *Metal Cored*



Fonte:Próprio Autor

A figura 20, mostra o teste realizado com o arame sólido que também houve sua ruptura no material de base.

Figura 20: O ensaio foi realizado com o arame sólido

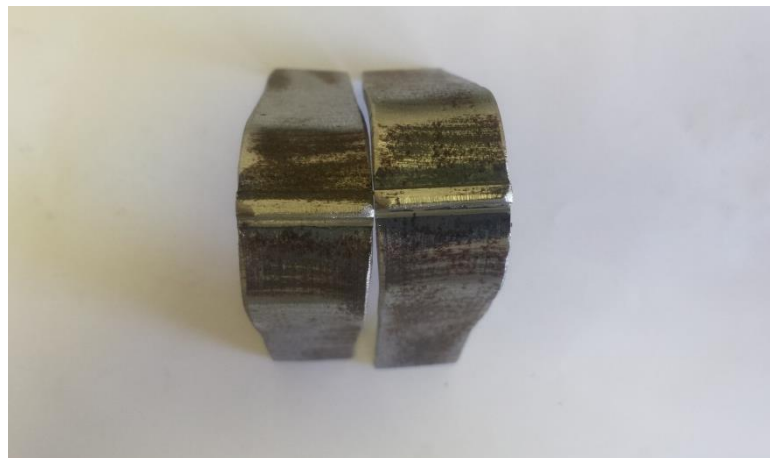


Fonte:Próprio Autor

## 6.2 Ensaio de dobramento

O teste de dobramento tem a finalidade de verificar a ductilidade da região soldada. A fim de verificar se não a presença de trinca na raiz da solda. Foram realizados dois dobramentos uma em cada corpo de prova a figura abaixo foi realizada o ensaio que a solda aplicada foi com o arame tubular *Metal Cored*. As peças testadas não apresentaram irregularidades mencionadas pela NBR 8460.

Figura 21: Ensaio realizado com o arame tubular *Metal Cored*

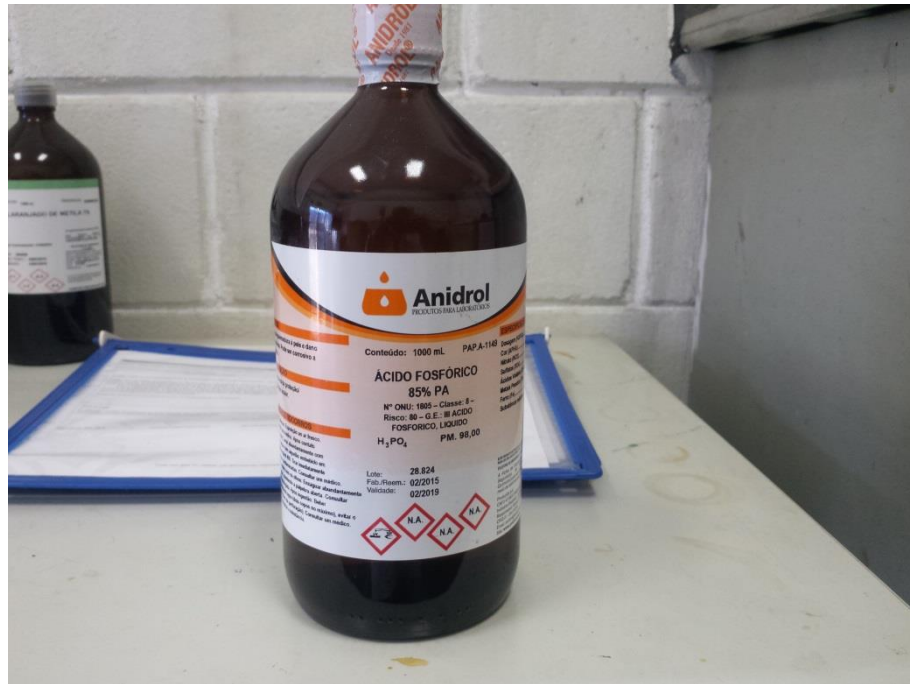


Fonte:Próprio Autor

## 6.3 Ensaio macrográfico

O ensaio macrográfico foi realizado da seguinte maneira após corta as peças com a utilização do plasma, a mesma foi recortada na serra de fita e lixada no moto esmeril com a lixa grão 36. O ensaio foi realizado no terminal de solda, logo após o lixamento com a peça ainda quente foi atacada por acido fosfórico 85%, conforme figura 22.

Figura 22: Acido fosfórico



Fonte:Próprio Autor

Quando as peças foram soldados pelo arame tubular, pode ser observado que um dos pontos que pode ser que o processo soldagem realizado com o processo *metal cored*  $\varnothing$  1,2 mm possui uma raiz mais ampla se confrontado com arame sólido de  $\varnothing$  1,2 mm sólido a solda aplicada com o arame sólido como pode ser observado na figura abaixo apresentou uma raiz em forma de taça sem os reforços laterais.

E por este motivo explica um ganho no aumento da velocidade de soldagem que chegou em 14 %, antes o tempo de soldagem era de 54 segundos para a aplicação da solda com o arame sólido, agora quando a solda foi aplicada com o arame tubular houve uma redução no tempo que caiu para 47 segundos.

Um ganho significativo na produção é possível perceber que em todas as condições testadas que houve a penetração total da chapa que no caso e 2,65 mm de espessura.



Figura 23: Macrográfia realizada com o *Metal Cored*



Fonte:Próprio Autor

Ao realizar a macrografia com o arame sólido pode ser observado o formato de taça da raiz até o topo da solda.

Figura 24: Macrográfia realizada com o arame sólido



Fonte:Próprio Autor

## 6.4 Respingos

Quando a solda foi aplicada no flange com o arame Tubular Metal Cored, ate mesmo sem aplicação de ante respigo pode se observado que não houve a presença de respingos nas peças, quando falando de qualidade de acabamento e um ganho significativo, pois as peças vão ser pintadas e espoem os respingos. A figura 25 mostra que não a presença de respingos na aplicação da solda.

Figura 25: Solda com arame *Metal Cored*



Fonte:Próprio Autor

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O seguinte trabalho apresentado teve um resultado satisfatório, pois em se tratar de uma nova tecnologia que esta sendo aplicada na área de solda, aonde pode confrontar dois arames que podem ser aplicado no mesmo processo. E com isso assimilar o que há de melhor em ambos os produtos testado.

Os resultados obtidos mostram claramente que a melhor combinação para aplicação do arame *Metal Cored* foi a um ganho de velocidade no processo, a qualidade final das peças soldadas, mas tem que ser levado em consideração o custo de cada material, pois a essência do trabalho não era em reduzir custo e sim verificar a aplicação dos materiais e sua característica se atenderia a norma 8460.

## 8 CONCLUSÃO

Sabe-se que as empresas vêm buscando novas tecnologias para melhorar o seu processo produtivo por este motivo escolhi fazer um estudo sobre o arame *Metal Cored*, ver suas características apresentada pela literatura e comprovar na pratica, com a metodologia aplicada para a comparação dos processos de soldagem com os metais de adição ER70S-6 Ø1,2mm e E70C-6M Ø1,2mm, e na realização de soldas através de um sistema mecanizado pode- se chegar em uma serie de conclusão encontrada no estudo.

Em relação ao ensaio de tração, pode ser verificado que o rompimento de todos os corpos de prova ocorreu no metal de base, com a norma exige que seja. No ensaio de dobramento também pode ser observado que os dois arame atenderão a norma, pois teve uma boa ductilidade na aplicação do teste sem apresentar trincas nas raízes.

Sobre ao rendimento depositado, pode ser observado que o melhor rendimento pode ser visto na soldagem com arame *metal cored*, aonde pode ser visto que houve um ganho de 14% na velocidade na aplicação da solda, quando foi realizado o ensaio de macrografia pode notar que a solda apresentada pelo arame tubular teve um ganho significativo em relação ao sólido ao ver sua raiz apresentou uma boa penetração sem ser em forma de taça.

Os resultados obtidos mostram claramente que a melhor aplicação sem levar em conta o custo dos materiais testado foi o do *Metal Cored*, pois ele superou em todos os testes o arame sólido sendo que os dois atentaram a NBR 8460, e teve um excelente aspecto de qualidade final da solda, e um grande aumento da produtividade pois o arame tubular na aplicação da solda não apresentou respingo se tratando de qualidade e um ponto muito importante.

## REFERÊNCIAS

- ARTHUZO, A. **Estudo da influência dos parâmetros de soldagem no processo “GMAW” robotizado**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Taubaté, São Paulo, 2006.
- AWS D1.1/D1.1M. **Structural Welding Code – Steel**. American Welding Society, 2010.
- BARBEDO, N.D.D. **Avaliação comparativa dos processos de soldagem GMAW e FCAW utilizando aço ASTM A-36 para verificar a soldabilidade, propriedades metalúrgicas e geométricas, e resistência mecânica**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá, Outubro, 2011
- ESAB. **Advantages and Disadvantages of Metal Cored Wires**: KNOWLEDGE CENTER, 2014. Disponível em: < <http://www.esabna.com/us/en/education/blog/advantages-and-disadvantages-of-metal-cored>>. Acesso em: 12 out. 2018.
- FORTES, C. Apostila de soldagem MIG/MAG. ESAB, Janeiro, 2005.
- GOMES, E. B. **Análise do comportamento da soldagem por curto-circuito aplicado ao processo eletrodo tubular através da metodologia Taguchi**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá, Maio, 2006.
- HOBART, Filler Metals. **MEGAFIL Seamless Flux-and Metal Cored Welding Wires**. Hobart Brothers Company, 2014.
- JOAQUIM, R. **Processo de soldagem por arame tubular**. Info Solda, 2005. Disponível em:
- MACHADO, E. **Influência dos ventos sobre a qualidade das soldas realizadas em estaleiros pelo processo arame tubular**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina Centro de Engenharias da Mobilidade Engenharia Naval, 2015.
- MARQUES, P. V. MODENESI, P. J. SANTOS, D. B. **Introdução à metalurgia da soldagem**. Universidade Federal de Minas Gerais, Janeiro, 2012.
- SOUZA, C. I. **Análise comparativa dos processos de soldagem GMAW e FCAW com transferência metálica por curto-circuito na posição horizontal**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

