

# **ANALISE COMPARATIVA ENTRE ARAMES DE SOLDA DA CLASSE ER70S-6 NO PROCESSO GMAW COM TRANSFERÊNCIA POR CURTO-CIRCUITO**

**Everaldo Dalmolin Zaccaron <sup>1</sup>, Adelor Felipe Da Costa <sup>2</sup>.**  
[everaldozaccaron@hotmail.com](mailto:everaldozaccaron@hotmail.com) <sup>1</sup>, [adelor.costa@satc.edu.br](mailto:adelor.costa@satc.edu.br) <sup>2</sup>

**<sup>1</sup>Faculdade SATC, Engenharia Mecânica - Rua Pascoal Meller, 73 - CEP 88.805-380 - CP 362 - Criciúma - SC - Brasil.**

## **Resumo**

Perante um mercado cada vez mais competitivo, buscando sempre a redução de custos e o aumento da qualidade do produto fabricado para a garantia e sobrevivência de uma indústria, procuram-se continuamente novas opções de tecnologias, marcas e fornecedores que possam atender a demanda gerada na fabricação de produtos. Na indústria metalúrgica, o processo de união de peças metálicas, com rapidez e alta produtividade é o processo MIG (Metal Inert Gas) /MAG (Metal Active Gás) – GMAW (Gas Metal Arc Welding), aonde um dos elementos deste processo é o metal de adição. Assim este presente estudo vem com o objetivo de analisar dois fabricantes deste consumível de solda, a fim de garantir que os mesmos forneçam propriedades básicas exigidas para o material, que neste caso foi utilizado como base de estudo o consumível presente na norma AWS (American Welding Society) A5.18, sendo este da classe ER70S-6. Foram realizados testes com dois fornecedores de arames utilizando o processo MAG com transferência por curto circuito, mantendo corrente, tensão, velocidade de alimentação de arame, vazão de gás e velocidade de solda constante, apenas variando o fabricante do consumível, visto que um deles é importado. Por fim os resultados de tensão, deformação e dureza mostraram qual dos consumíveis está apto para a utilização, e quais as diferenças que ambos mostraram através dos ensaios realizados.

**Palavras-chave:** Análise de fabricantes; Propriedades básicas; Consumível de solda; ER70S-6.

## 1. Introdução

Em um mercado cada vez mais competitivo a busca continua pela qualidade, confiabilidade e a redução dos custos de fabricação de um produto é cada vez mais necessária para a sobrevivência e garantia de crescimento de uma indústria. Pensando nesses fatores a procura por tal solução, passa entre outros fatores pela procura de novas tecnologias, marcas e fornecedores que possam atender toda a demanda gerada no consumo da fábrica e os requisitos anteriormente apresentados.

Na indústria metalúrgica de grande escala de produção um processo rápido que visa à união de dois materiais, neste caso aços, é o processo de soldagem MIG (Metal Inert Gas)/MAG (Metal Active Gas), onde um dos responsáveis por garantir essa união é o arame de solda. Esse tipo de consumível é encontrado em diversos diâmetros, composições químicas e fabricantes, por isso a busca por novas marcas que garantam a mesma qualidade e se possível à melhora nos preços é comumente buscada pela indústria (Dorfschmidt, 2015).

Para realização da troca de qualquer item que esteja presente diretamente na produção de uma peça, destaca-se a necessidade de um estudo para viabilização do componente tanto na parte de custos, quanto atender todos os requisitos necessários para garantir uma perfeita capacidade do mesmo executar o seu objetivo final. Na parte de solda MIG o arame de solda precisa possuir algumas características específicas para atender satisfatoriamente determinados fatores que infringem no resultado final, entre os que se destacam é a capacidade em fundir-se ao material garantindo uma resistência mínima exigida, quanto à penetração uniforme nos materiais utilizados (SENAI-SP, 2013).

O presente trabalho busca realizar um estudo comparativo entre arames da classe ER70S-6 de diferentes marcas, sendo que um é importado e o outro uma marca nacional, com o mesmo diâmetro de 1,2 mm. Para determinação e garantia destes consumíveis de solda, os testes como ensaios de tração do material, dobramento e dureza são indispensáveis para validação e confiabilidade na escolha do novo fornecedor ou a manutenção do já existente, podendo assim validar ou não a utilização de determinadas marcas e fabricantes.

Para isso, faz-se necessário analisar e garantir a qualidade de um produto que consiga suprir todas as exigências necessárias para aplicação do mesmo na linha produtiva, sem nenhum tipo de contrariedade na execução do serviço. Sendo que o mesmo tem que garantir uma qualidade mínima, além disso, precisa atender características necessárias, como ser isentos de descontinuidades no enrolar do arame, estar conforme norma AWS (American

Welding Society) onde são regidos alguns padrões de soldas seguidas em inúmeras empresas no Brasil e no mundo, possuir dimensões mínimas aceitáveis para trabalho.

## **2. Revisão Bibliográfica**

Entre os processos de fabricação de uma indústria, a soldagem é um dos mais importantes métodos de união utilizados, tanto na parte de fabricação de novas peças, quanto na recuperação de peças desgastadas, também podendo ser empregada no revestimento de materiais com características especiais ou no processo de corte de peças.

Embora sendo um processo aparentemente simples que pode ser empregado da microempresa até em grandes corporações, a soldagem envolve uma série de fatores e considerações exigidas para uma perfeita, ou no mínimo satisfatória, ligação entre duas partes. Sendo que em muitos casos alguns parâmetros são desconsiderados, negligenciados, fazendo com que apareçam problemas inesperados. Sendo assim, toda soldagem deve obedecer a vários procedimentos e parâmetros para sua execução, sendo necessário o conhecimento dos pontos falhos e as maneiras certas de execução.

### **2.1 Soldagens MIG/MAG (GMAW)**

As primeiras informações conhecidas sobre processo de soldagem GMAW (Gas Metal Arc Welding) data-se do início da década de 1920, mas tornando-se viável a partir do final da década de 1940, com os estudos de H.F. Kennedy desenvolvendo o processo MIG segundo Ziedas (1997). Para Veiga (2011), o processo de solda MIG\MAG é aquele que utiliza um arco elétrico estabelecido entre o material de alimentação e a peça base de trabalho, gerando um calor necessário para a fusão de todas as partes. Todo esse processo tem como proteção um gás que ajuda também na proteção dos aspectos físicos do arco elétrico segundo Wainer, *et al.*(2008).

Segundo Modenesi e Marques (2006), a diferença básica entre os dois tipos de utilização seja MIG ou MAG, é o tipo de gás, que pode ser ativo MAG (Metal Active Gas) para soldagens de matérias ferrosos ou inerte MIG (Metal Inert Gas) para matérias não ferrosos. Como não há necessidade de paradas para troca do material de alimentação esse processo é considerado como semiautomático. A figura 1 mostra o processo MIG/MAG e uma parte da tocha de soldagem.

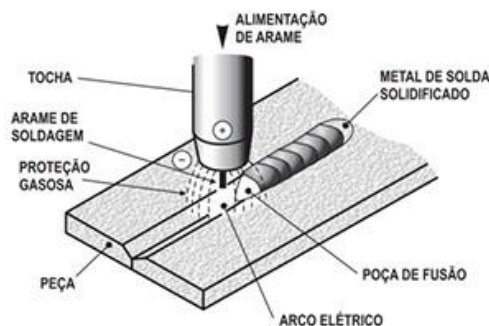


Figura 1-Processo básico de soldagem MIG/MAG (ESAB, 2005).

Algumas características elétricas de transferência são destacadas neste processo, segundo Wainer, *et al.*(2008) existem quatro tipos de transferência do metal, que são elas: Por transferência globular, que ocorre para baixas densidades de corrente e em qualquer atmosfera de gás de proteção; Transferência por curto-circuito é utilizado qualquer gás de proteção, diâmetro de arames menores que o convencional, a quantidade de calor é bem menor que a globular; Transferência por pulverização ocorre em elevadas correntes, o gás de proteção é o argônio ou mistura rica do mesmo; E a com arco pulsado aonde o equipamento gera dois níveis de corrente, a quantidade de calor é menor que em relação à pulverizada.

Entre algumas vantagens do processo de solda GMAW descaçam-se, a superação de eletrodos com comprimentos limitados, a posição de soldagem em relação a soldas como a com arco submerso, que se restringem a apenas na posição horizontal, a velocidade de soldagem em relação à solda com eletrodo revestido, e uma mínima limpeza entre passes requerida devido à ausência de escoria espessa, entre outras vantagens que poderiam ser destacadas Wainer, *et al.*(2008).

### 2.1.1 Equipamento básico para soldagem MIG/MAG

Para realização do trabalho, o conjunto básico utilizado na soldagem é composto por pelo menos três equipamentos, cada um com o objetivo diferente que ao somar-se realiza a união das peças, que são: Fonte de energia elétrica, responsável por fornecer energia para a fusão do material, sendo de diferentes tecnologias e características; Uma unidade de alimentação, responsável por levar até a poça de fusão o arame necessário, tendo como principal objetivo manter a velocidade constante; Tocha ou “pistola” tem o princípio de funcionando levar o arame, gás e os fluxos de corrente elétrica até a poça de fusão. Outros parâmetros que podem ser definidos segundo Pontel (2016) são a distância do bico de contato

da peça, tensão elétrica, velocidade de soldagem e ângulo da tocha em relação a peça.

## 2.2 Consumíveis de Solda

Segundo Cunha (2013), o conceito de consumível é definido pela Terminologia de Soldagem como todo e qualquer material empregado na proteção ou deposição na solda, alguns exemplos são: eletrodos revestidos, arames de solda, gases, entre outros. Ou seja, é todo material depositado na posa de fusão para proteção ou depósito de material no cordão de solda. Segundo o mesmo a seleção dos consumíveis se dá pelo processo a ser utilizado, pois cada um deles utiliza diferentes consumíveis que podem mudar dependendo do seu processo, alguns fatores que podem ser destacados são: Metal base, tipo de fonte de energia, custo e habilidade do soldador.

### 2.2.1 Arames de Solda ou Eletrodo

O arame de solda ou eletrodo é um dos consumíveis utilizados no processo de soldagem, responsável por se fundir a peça, fazendo a ligação de duas ou mais partes. Segundo SENAI-SP (2013), o consumível adequado é escolhido levando-se em consideração diferentes fatores, entre eles a composição química e mecânica do metal base, aonde o mesmo tem que possuir a maior semelhança possível entre ambos. O diâmetro do arame também é relacionado de acordo com a utilização levado em consideração, diâmetro da chapa a ser trabalhada e posição a ser soldado. Conforme figura 2, pode-se observar a forma mais comum com que o arame de solda chega na indústria.

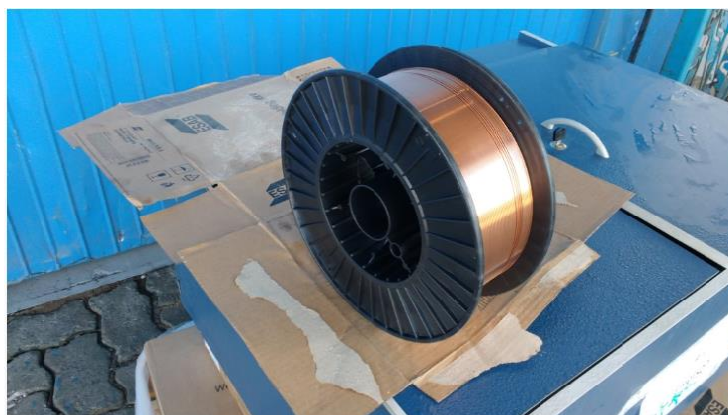


Figura 2- Arame de solda MIG/MAG (Autor).

Na figura 2 está o arame antes de ser inserido no equipamento de solda, como pode ser

visto, o mesmo chega enrolado em uma base, neste caso um polímero, apropriado para uma rápida troca. O rolo pesa aproximadamente 15 Kg de material a ser fundido, sem levar em consideração a base de apoio.

### 2.2.2 Arame classe ER70S-6

Segundo Marques, *et al.* (2005) existem no mercado um grande numero de tipos de arames, com operações distintas, que produzem soldas com diferentes características. Para racionalizar o mercado, existe sistemas propostos por diferentes sociedades, entre elas AWS (American Welding Society), DIN (Deutsches Institut für Normung), AFNOR (Association Française de Normalisation), ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), ISO (International Organization for Standardization), Etc., no Brasil se aplica quase que numa totalidade as normas técnicas de procedência Americana, a aplicada a consumíveis de soldagem é a AWS. Em muitos trabalhos pode aplicar especificações internas como é o caso de serviços ou projetos Petrobrás. Na soldagem de materiais de aço de médio e baixo carbono os arames são representados pela norma AWS A5.18, segundo a mesma, algumas propriedades químicas e mecânicas são obrigatórias, como mostrado nas tabelas 1 e 2 para a classe ER70S-6. A classe de arame tem sua classificação a seguinte forma:

#### ER XX Y – Z

ER – Designa eletrodo na forma de arame ou vareta

XX – Designa o limite de ruptura no ensaio de tração em Ksi (1Ksi = 1.000 psi)

Y – Este dígito pode ser S – designa eletrodo sólido ou C – designa eletrodo composto

Z – Designa a faixa de composição química

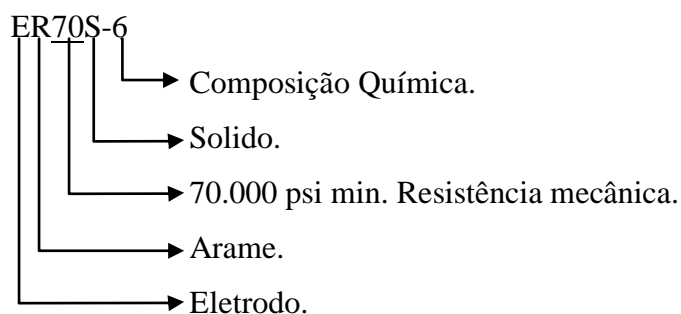


Tabela 1 - Composição química especificado do arame

Material	C(%)	Mn(%)	Si(%)	P(%) max	S(%) max	Ni(%) max	Mo(%)max
ER70S-6	0,06-0,15	1,40-1,8	0,80-1,15	0,025	0,035	0,15	0,15

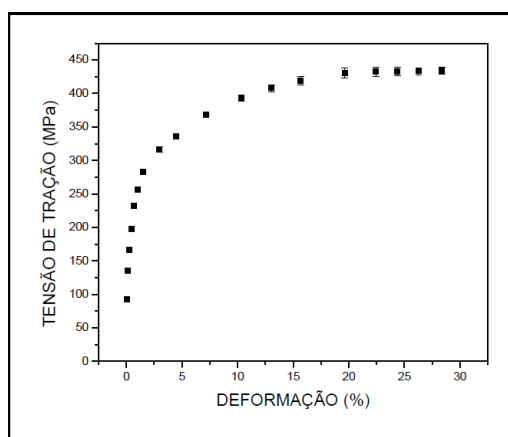
Tabela - 2 Propriedades mecânicas especificado do arame

Material	Resistência à tração (Valor mínimo)		Resistência ao escoamento (Valor mínimo)		Alongamento (Valor mínimo)
	70.000 Psi	480 MPa	58.000 Psi	400 MPa	
ER70S-6	70.000 Psi	480 MPa	58.000 Psi	400 MPa	22%

O carbono é o elemento que apresenta maior influencia nas propriedades mecânicas e microestruturas, geralmente mantido em teores de 0,05 % até 0,12 %. Nesta faixa proporciona à resistência necessária a solda sem afetar consideravelmente a ductilidade. Acima de 0,12 % o metal perderá carbono na forma de CO, podendo causar porosidade, porém com ajuda de alguns desoxidantes pode superar esse problema, Fontes (2005).

Para Cunha (2007) a elevada quantidade de Mn (Manganês) e Si (Silício) na classe ER70S-6 proporciona uma boa desoxidação e um tenacidade na região da solda, característica importante aonde à falha da solda pode gerar graves consequências. Devido grande presença dos dois elementos a uma grande tendência de segregação dos mesmos na região central da solda, essa tendência é agravada pela presença de P (Fósforo). Nos mesmos elementos para Yu e Cho (2017) a redução da porosidade e poços de solda tem ligação direta com os teores de Mn (Manganês) e Si (Silício), no mesmo modo a redução na quantidade dos dois diminui a viscosidade da solda e aumenta a emissão de Zn (zinco), que pode ficar preso na solda e causar descontinuidades na forma de porosidade.

Segundo Pedrosa (2008) os resultados para juntas soldadas com arame ER70-6, juntamente com uma mistura de gás de proteção com a composição de 75% Ar e 25% CO<sub>2</sub>, apresenta algumas características como mostra a figura 3 abaixo, o gráfico da curva Tensão ( $\sigma$ ) x Deformação (%).

Figura 3-Curva Tensão ( $\sigma$ ) x Deformação (%) (Pedrosa, 2008).

No gráfico acima, se pode observar um limite de ruptura superior a 430 Mpa, assim os resultados de tensão de ruptura abaixo do que a norma AWS tem com mínimos, é justificado pelo material base do teste, que no caso foi o ASTM A36. E uma deformação total a aproximadamente 28 %. Esse resultado de ruptura no material base e não na solda pode ser justificado pela completa fusão da raiz.

### 3. Procedimentos Metodológicos

Para realização dos procedimentos experimentais deste estudo, o material base utilizado foi a chapa de aço de 6,35mm de espessura, classificado conforme norma ASTM A36. Onde para Allgayer (2017) trata-se de matérias com sua aplicação em componentes estruturais, ou seja, pode ser utilizado em estruturas de equipamentos rodoviários, edifícios, plataformas de petróleo, entre outros. Este material se enquadra entre os materiais da chamada qualidade estrutural, aços de média ou alta resistência adequados a esta finalidade. Abaixo a tabela 3, com a classificação do aço, conforme tabela retirada da norma ASTM (American Society for Testing and Materials) A36 e suas principais características mecânicas:

Tabela 3 - Propriedades mecânicas aço ASTM A36

Material	Limite de escoamento Mín. (MPa)	Resistência ao escoamento (MPa)	Alongamento 200mm (%)	Alongamento 50 mm (%)
ASTM A36	250	400-550	20%	21

Conforme tabela 3 acima, algumas características são necessárias para classificação do mesmo, como uma resistência a tração que pode variar entre 400 MPa até 550 MPa, com um limite de escoamento mínimo de 250 MPa.

Após a escolha e análise do material que irá servir como base para os testes foi elaborado o fluxograma de atividades a serem realizadas para o desenvolvimento deste trabalho, como pode ser visto na figura 4 abaixo:



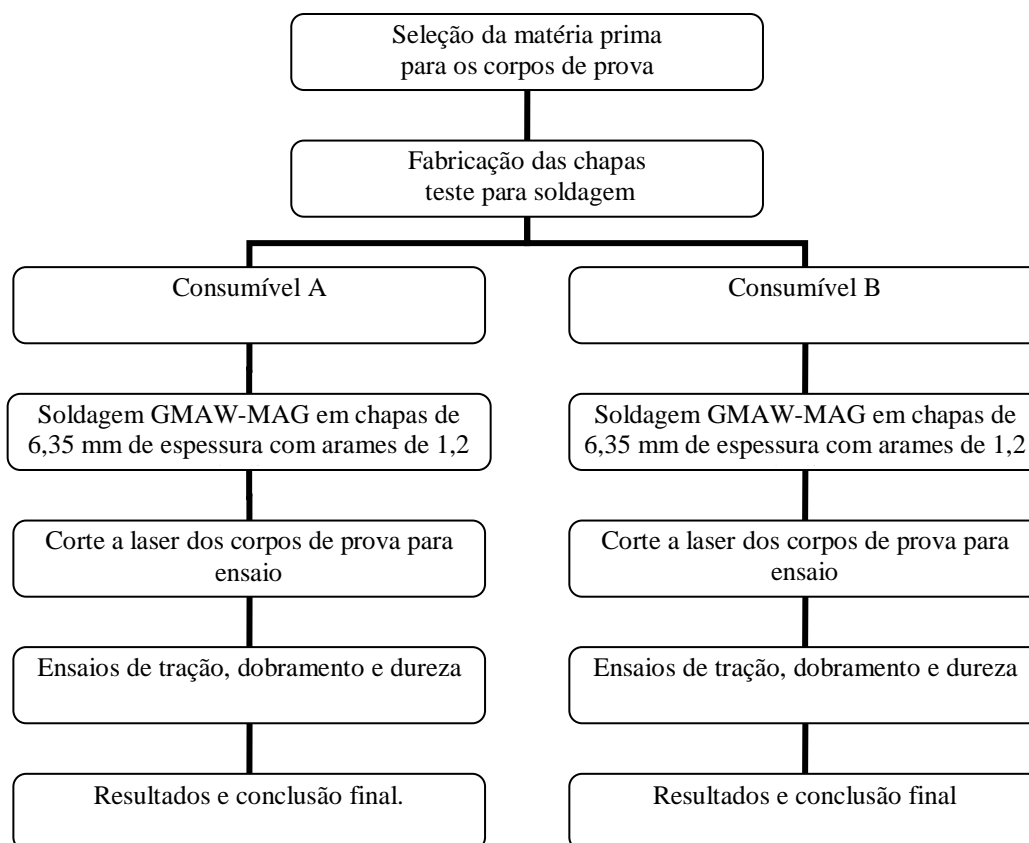


Figura 4- Fluxograma de atividades.

A fabricação dos corpos de prova seguiram os critérios da norma AWS D1.1/D1.1M:2010, com base na norma foram fabricados chapas para teste com dimensionamento de 180 x 380mm, fazendo com que ao final da seção da soldagem as dimensões resultantes sejam de 360x380 mm. Antes do início da soldagem as superfícies foram devidamente preparadas por escovamento em torno de 30 mm para cada lado da junta a ser soldada e confeccionados os chanfros conforme figura 5 abaixo, da mesma forma de produção que é realizado na pratica.

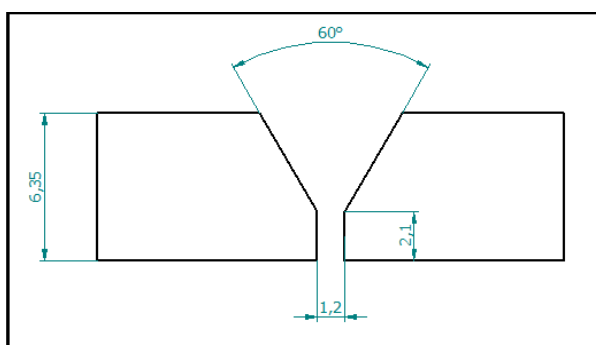


Figura 5- Chanfro dos corpos de prova.

Foram utilizados dois consumíveis de solda de diferentes fabricantes, um nacional e outro importado, com intuito de verificação e análise de qual marca atenderia as propriedades básicas para sua utilização. Para este estudo as mesmas foram denominadas de Consumível CA para o fabricante nacional e Consumível CB para o fabricante do consumível importado. Os dois consumíveis estão dentro da classe ER70S-6, sendo que algumas características são obrigatórias para ambos, porém a norma especifica uma faixa de variação, esta variação e suas consequências é o que se espera encontrar neste estudo.

Os experimentos foram realizados no laboratório da engenharia mecânica (LAENS) da Faculdade SATC. Para execução da soldagem, foi utilizada a fonte de potência ESAB LAI 400 P, o metal de adição utilizado nos testes foi o arame sólido classificado pela norma AWS A 5.18 como ER70S-6, com diâmetro de arame de 1,2 mm e o gás de proteção AWS A 5.32 SGAC-25 (75% Ar + 25% CO<sub>2</sub>). Para controle de velocidade no deslocamento da tocha de soldagem, foi utilizado o equipamento MC-46, que é um carro automático, adaptada para a fixação da pistola de soldagem.

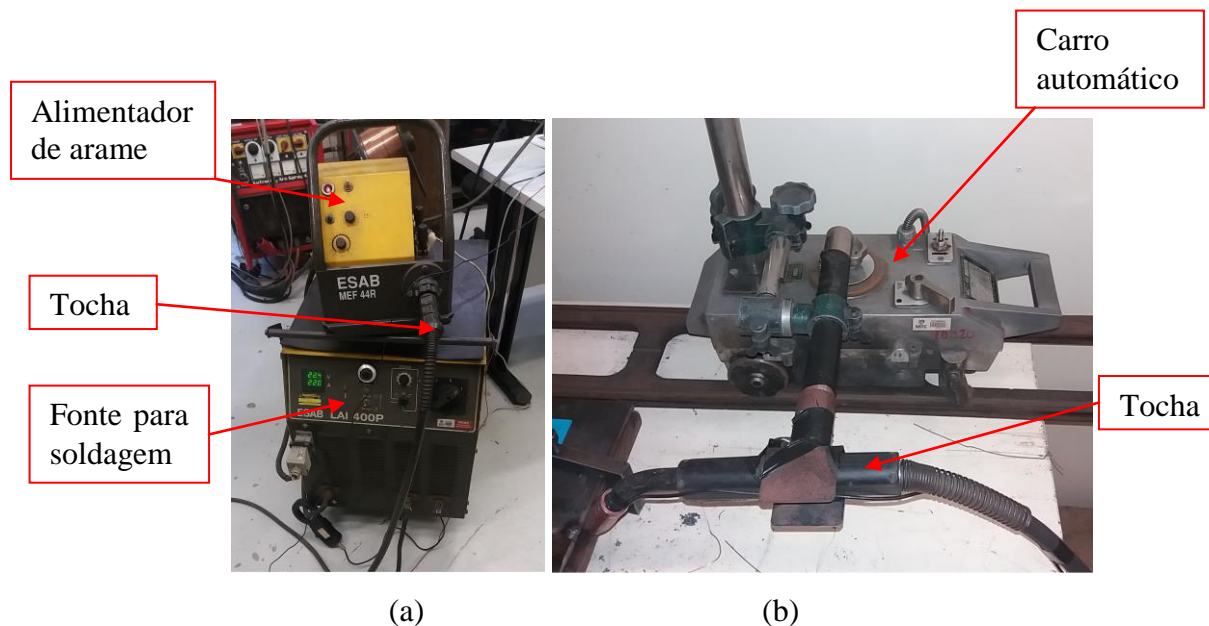


Figura 6 - a) ESAB LAI 400 P ; b) Carro automático.

Os corpos de prova foram soldados na posição 1G (plana), de forma semiautomática, no sentido de soldagem “empurrada”, utilizando um carro automático onde o avanço da tocha pode ser controlado com velocidade constante, mantendo a distância padrão previamente adotado em toda a extensão da solda de aproximadamente 10 mm do bico de contato até a peça. Todo o sistema previamente montado antes da solda pode ser visto na figura 7 abaixo:

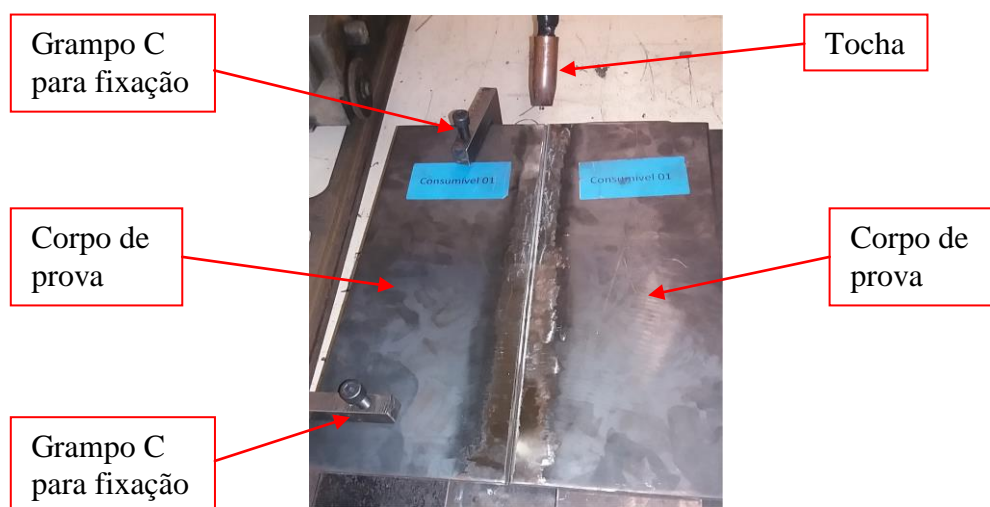


Figura 7- Componentes previamente fixados para soldagem.

Conforme figura 7, as chapas foram previamente fixadas, para que durante a solda as mesmas não sofressem nenhum tipo de deslocamento.

Alguns parâmetros de soldagem foram pré-estabelecidos antes do processo, conforme tabela 4 abaixo, nela pode-se verificar os parâmetros inicialmente propostos para o teste, posteriormente foi feita uma análise dos mesmos. Todos os corpos de provas seguiram os mesmo parâmetros, para assegurar que a diferença entre eles seja a menor possível.

Tabela - 4 Parâmetros na soldagem (Valores de referência)

Tensão	19 V
Corrente	235 A
Vazão de Gás	12,0 L/min
Velocidade	7,0 m/min
Velocidade deslocamento carrinho	0,40 m/min

Para a coleta dos parâmetros na soldagem como tensão elétrica, corrente elétrica, velocidade de alimentação e vazão do gás, foi utilizado um sistema computacional disponível pela instituição, chamado de “Sistema de Aquisição de Dados para Soldagem SAP – V 4.01”, nele os parâmetros foram acompanhados, sempre, o parâmetro medido em relação ao tempo de aquisição. Assim, com os dados foi possível o cálculo de energia de soldagem dos corpos de prova com a seguinte fórmula Marques (2005):

$$H = n \frac{VI}{v} \quad (1)$$

**Onde:**

H = Energia de soldagem absorvida (joule/mm)

n = eficiência de transmissão do processo(%)

V = tensão (V)

I = corrente (A)

v = velocidade de avanço (mm/segundo)

### 3.2.2 Corpos de Prova

Os corpos de prova e a maneira de fabricação dos mesmos foram conforme norma AWS D1.1/D1.1M:2010, seguindo os parâmetros aceitáveis de execução, para garantir o máximo de resultados esperados. Como mostra a figura 8 a seguir :

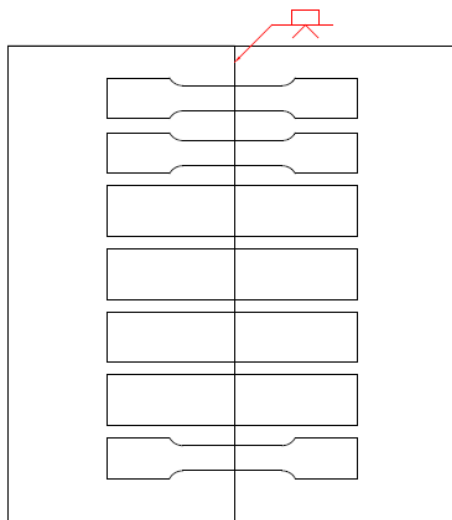


Figura 8- Corpos de prova para os ensaios.

### 3.2 Ensaio de Tração

Para atender requisitos básicos de conformidade, assim como os critérios mínimos de aceitação, foram realizados ensaios de tração em seis amostras afim de poder avaliar a resistência mecânica do material depositado na fusão do material, comparando os dois

diferentes fabricantes do consumível de solda. Assim os resultados encontrados tem o objetivo de verificar a qualidade da solda e as propriedades mecânicas da mesma. Os corpos de prova foram dimensionados conforme critérios da norma ASW D1. 1 2010 como pode ser observado na figura 9 a seguir e ensaiados em um máquina universal de ensaio DL-30000 da empresa EMIC:

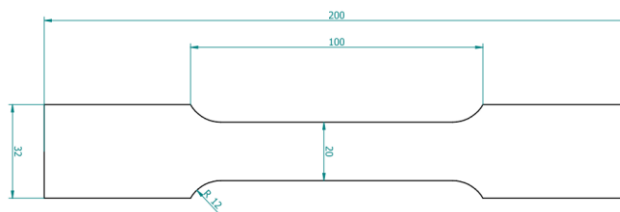


Figura 9 - Desenho do corpo de prova conforme AWS D1.1 para ensaio de tração.

Para efeito comparativo foram realizados testes de corpos de prova do material base sem o processo de soldagem, somente cortados por corte a laser no mesmo formato do corpo de prova soldado para o ensaio, com isso determinar os limites de escoamento e ruptura do material base.

### 3.3 Ensaios de Dobramento

Para realização do ensaio de dobramento, foram confeccionados quatro corpos de prova de cada consumível com as dimensões de 200mm de comprimento por 40mm de largura (figura 10). O dobramento dos corpos de prova foi através de uma prensa hidráulica manual, com capacidade para 10 toneladas da marca Bovenau. Todos foram submetidos a uma deformação plástica por flexão conforme critérios da norma AWS D1.1 2010, sendo os mesmos assentados em dois pontos a uma distância pré-definida de 73,0mm, que o recomendado para matérias acima de 345 MPa até 620 MPa, e dobrado por intermédio de um cutelo, até atingir um ângulo de 180° dobramento especificado. Foram realizados dois modelos de dobramento, o dobramento de raiz e o de face. Sendo que o dobramento raiz é aquele que a raiz da solda sobre o processo de tração, enquanto a face sofre compressão e o processo de dobramento da fase é o inverso. Os corpos de prova foram previamente preparados antes da realização do ensaio seguindo padrões exigidos por norma, sendo assim a superfície ficou plana, sem descontinuidades.



Figura 10 - Desenho técnico do corpo de prova conforme AWS D1.1

### 3.4 Ensaio de Micro dureza na superfície

A micro dureza dos metais de solda, das zonas termicamente afetadas e do metal base foram avaliadas através de obtenção de dureza Vickers, que consiste em endentar o material sob teste com um endentador de diamante. A dureza Vickers é função entre a carga aplicada o quadrado da média aritmética entre as duas diagonais e uma constante pré determinada por fórmula que resulta assim no valor final de dureza obtido através da equação de dureza Vickers. Para obtenção dos valores de dureza do material, foi realizado o teste em toda a extensão do corpo de prova, iniciando no material base deslocando-se até a outra extremidade passando na região soldada. O equipamento utilizado foi o Shimadzu HVM 2 TAD W, já a carga utilizada para o teste foi de 1,961 kg para as duas amostras. Trabalhando assim com as variáveis específicas do ensaio, pode-se obter através da equação 2, que da a seguinte relação de dureza superficial do material analisado:

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2} \quad (2)$$

**Onde:**

HV = Dureza Vickers (HV)

P = Carga aplicada (kgf)

D = Diagonal média (mm)

O intuito desta análise foi mostrar o aumento de dureza na região da solda, sendo assim retirando uma média total da região que sofreu com o aquecimento proveniente da mesma, mais o material base despejado pelo arame.

### 3.5 Carbono Equivalente

Para melhor análise do perfil da solda encontrados nas amostras, foi calculado o carbono equivalente do material base, seguindo a média de cada elemento estipulada pela norma ASTM para o material A36, e a média estipulada para o material de adição, este seguindo a norma AWS. Aonde o carbono equivalente nada mais é do que determinar o teor aproximado de outros elementos de liga que produzem a mesma dureza que 1% de carbono.

Segundo Fontes(2005) o alto teor de carbono durante o processo de soldagem, existe o perigo de que o material depositado na solda e a zona termicamente afetada contenham altos percentuais de martensita, um constituinte duro do aço. Tal fato deixa a solda com auto teor de dureza e baixa ductilidade e podem vir a trincar durante o resfriamento ou posterior a ele. Assim uma maneira rápida e eficaz é o calculo do carbono equivalente, já que a temperabilidade de um aço está relacionada ao seu teor de carbono acrescido dos teores de certos elementos de liga Fontes(2005).

Para os calculas será utilizado a aquação da IIW (International Institute of Welding), que consiste em:

$$CE_{IIW} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (3)$$

**Onde:**

$CE_{IIW}$  = Carbono equivalente dada pela International Institute of Welding (%)

C = Carbono

Mn = Manganês

Cr = cromo

Mo = molibdênio

V = Vanádio

Ni = níquel

Cu = cobre

## 4. Resultado e análises

Toda a deposição de material sobre o corpo de prova apresentou quantidade suficiente para preenchimento de toda a extensão da peça, assim o metal de adição teve penetração

relevantes para análises e teste posteriores. Os corpos de prova foram soldados conforme parâmetros apresentados conforme tabela 05.

Tabela 5 - Parâmetros utilizados na soldagem:

Parâmetros	Valores Nominais	
	Consumível A (CA)	Consumível B (CB)
Consumível de solda		
Tensão (V)	19	19
Corrente (A)	234	235
Vazão do gás (l/min)	12,1	12,1
Velocidade do arame (m/min)	7,1	7,1
Velocidade de soldagem (cm/min)	23,88	24
Quantidades de CP	2	2
Quantidades de passes	1	1
Energia de soldagem (J/mm)	781,96	785,30

#### 4.1 Ensaio de tração

Foram realizadas ensaios de tração nos corpos de prova dos diferentes fabricantes, para comparação da resistência mecânica e os limites de ruptura do material soldado. Os dados coletados do material base podem ser observados nas tabelas 6:

Tabela 6 - Dados dos ensaios de tração do material base:

Corpo de Prova	Amostras dos corpos de prova material base		
	Tensão de escoamento (MPa)	Tensão de ruptura (MPa)	Alongamento (%)
<b>Base-1</b>	369.6	526.7	27.9
<b>Base-2</b>	326.5	489.3	33.0
<b>Base-3</b>	335.2	490.7	32.5
<b>Base-4</b>	342.1	502.1	35.3
<b>Média</b>	<b>343.35 ± 16.13</b>	<b>502.2 ± 15</b>	<b>32.17 ± 2,68</b>

Os dados coletados do ensaio de tração dos corpos de prova soldados com os dois fabricantes do consumíveis CA e CB podem ser vistos abaixo na tabelas 7, juntamente com a média de cada parâmetro para efeitos comparativos e de discussões futuras . A figura 11 mostra os corpos de prova após os ensaios de tração, na ordem da esquerda para a direita, do primeiro corpo de prova até o sexto:



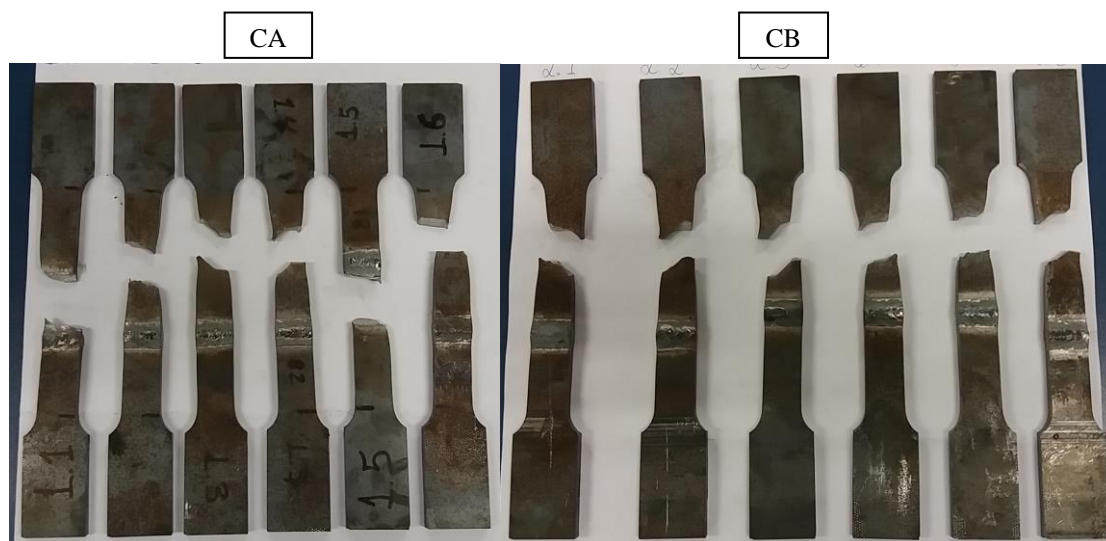


Figura 11 - corpos de prova após os ensaios de tração consumível CA e CB.

Os corpos de prova acima estão na ordem da esquerda para a direita, do número 1 ao 6, em ambos os consumíveis de solda.

Tabela 7 - Dados dos ensaios de tração do material dos consumíveis A e B:

Corpos de prova material soldado				
Corpos de prova	Tensão de ruptura CA (MPa)	Tensão de ruptura CB (MPa)	Alongamento CA (%)	Alongamento CB (%)
1	501.3	515.2	17.8	22.6
2	507.6	518.3	25.8	24.1
3	499.6	520.0	25.7	23.5
4	516.9	513.3	24.6	25.0
5	501.8	521.1	18.4	24.5
6	505.8	506.1	24.9	23.9
<b>Média</b>	<b>505.5 ± 5.78</b>	<b>515.7 ± 5.04</b>	<b>22.86 ± 3.4</b>	<b>23.93 ± 0.75</b>

A tabela 7 acima, esta os dados dos ensaios de tração, sendo que a primeira coluna é o número de amostras, a segunda e terceira são os ensaios de tração dos consumíveis A e B respectivamente, e a quarta e quinta colunas são do alongamento de A e B respectivamente.

#### 4.2 Ensaio de Dobramento

Para realizar os ensaios de dobramento da região soldada da peça, foram retirados quatro corpos de prova das chapas de teste soldadas anteriormente, nas quais duas foram

feitos dobramento de raiz e duas foram feitos dobramento de face. A figura 12 abaixo mostra os corpos de prova do consumível CA após o ensaio de dobramento de face (A1) e de Raiz (A2):

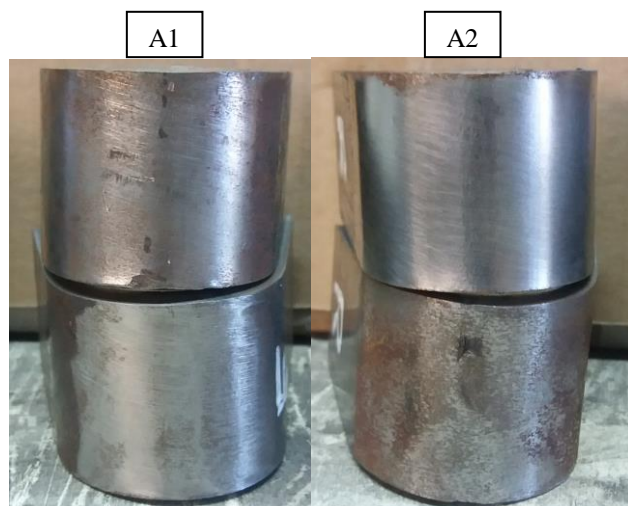


Figura 12 – Corpos de prova CA com dobramento de face e de raiz.

Já a figura 13 mostra os corpos de prova do consumível CB, após o ensaio de dobramento de face (B1) e de Raiz (B2):

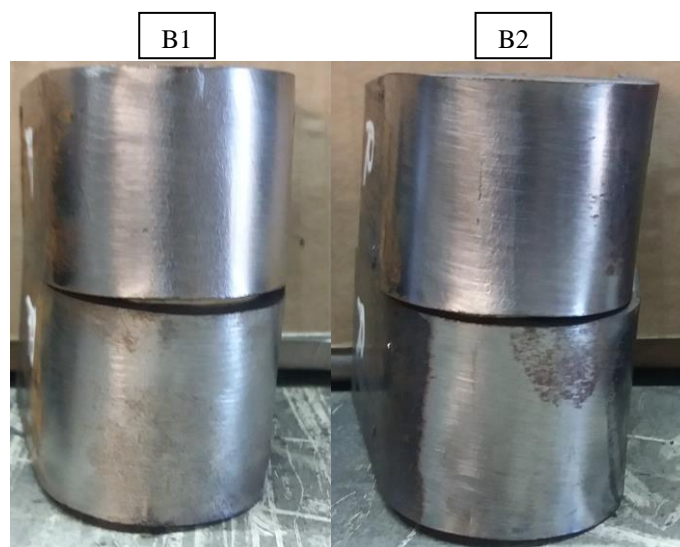


Figura 13 – Corpos de prova CB com dobramento de face e de raiz.

### 4.3 Avaliação do ensaio de micro dureza na superfície

Analisando a micro dureza encontrada nos corpos de prova CA e CB, foi constatado um aumento de dureza na região da solda, os gráficos 14 e 15 a seguir mostram claramente o aumento nesta região. Que neste presente artigo foram analisados a região da ZAC (Zona

afetada pelo calor), o material de deposição nos corpos de prova CA e CB, e o material base do teste, não sendo distinguidos a posição exata de cada uma delas, mais sim uma média de cada um dos pontos.

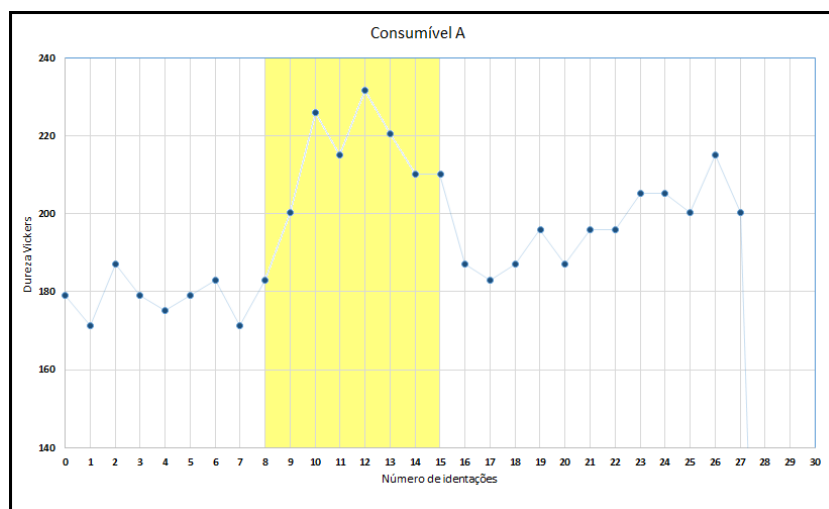


Figura 14 – gráfico do Teste de dureza Vickers no consumível A

Na figura 14 acima os pontos destacados que vão do ponto 8 até o ponto 15, são os pontos que estão contemplados pela região afetada pela solda (ZAC + consumível), sendo esta região a que em média tem a maior dureza da peça.

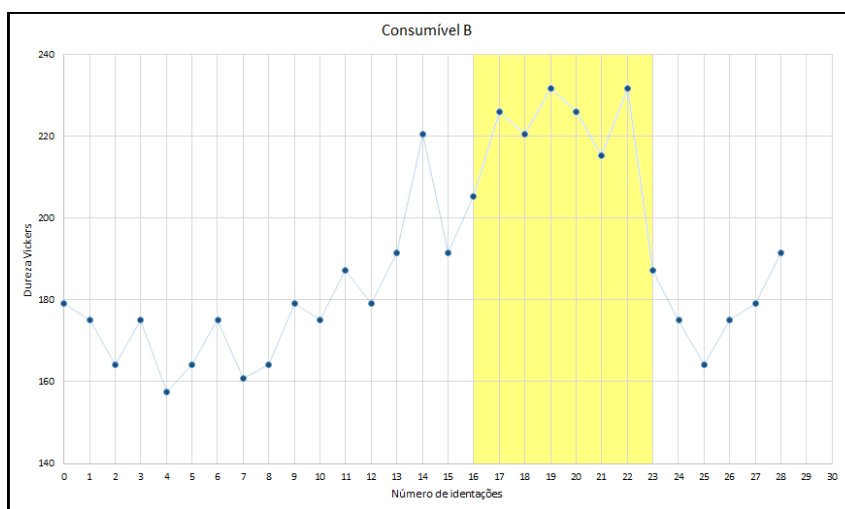


Figura 15 – gráfico do Teste de dureza Vickers no consumível B

A figura 15 representa a média de dureza do material base e o consumível B, onde na região da solda que está entre os pontos 16 a 23.

#### 4.4 Carbono equivalente

O resultado dos cálculos do carbono equivalente de cada material pode ser visto na tabela 8 abaixo:

Tabela 8 - carbono equivalente pela norma IIW:

<b>Material</b>	<b>Carbono equivalente (%)</b>
Metal base	0,25 (max)
Consumível A	0,29 (min) – 0,49 (max)
Consumível B	0,29 (min) – 0,49 (max)

## 5. Conclusão

Após todas as análises comparativas entre os dois consumíveis de solda, pôde-se chegar as seguintes conclusões sobre o referido tema:

- Os corpos de prova do material base foram todos aprovados, segundo comparativo entre o resultado obtido e o que a resolução da norma ASTM A36 exige com valores mínimos de tensão de escoamento, tensão de ruptura e alongamento, sendo assim o material esta apto ao estudo.
- O consumível que obteve os melhores resultados foi o consumível B, já que o mesmo obteve todos os corpos de prova dentro do exigido pela norma, já o consumível A teve algumas amostras reprovadas no teste, especificados nos próximos tópicos.
- No teste de tração, o consumível A teve reprovação em dois (2) dos seis (6) corpos de prova comparando ao mínimo exigido pela norma AWS A5.18, não obtendo o alongamento mínimo. Sendo que nos dois casos, os corpos de prova se romperam na região da solda, são eles CA-1 e CA -5, ficando com 17,8% e 18,4% respectivamente. Tal fato pode ter sido causado pelo excesso de impurezas na solda, possivelmente presente no material de adição, reduzindo a resistência mecânica do corpo de prova, propensos a esse tipo de quebra. Mas para que essa interpretação seja validada a análise da composição química do material tera que ser analisada posteriormente.
- O consumível B teve aprovação em todos os seis (6) corpos de prova no teste de tração, conforme norma AWS A5.18, sendo que em nenhum caso foi constatado o rompimento antes do alongamento mínimo ou na região soldada do teste.
- Os resultados dos ensaios de dobramento se apresentaram satisfatórios por não apresentarem nenhuma descontinuidade ou trinca tanto no dobramento de raiz quanto no de face que pudesse levar a quebras ou falhas que comprometessem o material. Apenas em dois corpos de prova testados ficaram constatado duas pequenas fissuras, ou seja, indício de uma pequena trinca, mais que foram considerados normais pelo processo de dobramento especificado pela norma com aceitável, que estabelece como

critério para aprovação para teste de dobramento uma superfície livre de descontinuidade ou que não exceda as criterios nela pré definidos .

- Em relação à dureza encontrada nos ensaios, não se à um numero que a norma indica como ideal. Assim os ensaios tem como finalidade a mensuração deste aumento para fins comparativos, visto que matérias que apresentam grande dureza na região da solda apresentam grande risco de trincas e rompimento nesta região, fenômeno esse causado por essa região ser predominantemente composta por martensita, com isso este processo de “tempera” causada pela solda, que nada mais é do que o aumento critico da temperatura e o resfriamento brusco da região pode causar problemas futuros. Em média o corpo de prova do consumível A teve dureza de 207,3 HV na região da solda que contempla a ZAC e o material depositado, já o consumível B teve em média 217,9 HV de dureza, assim ambos os matérias não tiveram um aumento considerativo em sua dureza, assim esse aspecto não seria um problema na escolha do consumível.
- Em ambos os casos o perfil de dureza teve aumento na região da solda, fenômeno que pode ser explicado através da relação do carbono equivalente entre o material base e o consumível, já que o arame de solda possuía um teor significativamente maior que o material base. Como a dureza tem relação direta com o percentual do carbono, o fenômeno ocorrido nos corpos de prova pode ser relacionado.
- Ao fim desta análise o consumível indicado para os trabalhos, que garante mais confiabilidade em sua aplicação é o consumível B, aonde o mesmo apresentou melhores resultados, principalmente em relação à ruptura na região da solda e alongamento do material, já que 33% das amostrar A foram reprovadas.

### **Sugestões para trabalhos futuros**

- Análise micro estrutural a fim de encontrar as possíveis causas da falha ocorrido nas amostras do consumível A e distinguir cada mudança de fase na região afetada pela solda.
- Realizar novos estudos com a inclusão de novos materiais base, a fim de encontrar alguma variação que cada consumível possa apresentar.
- Verificação da composição química de cada material, como por exemplo a quantidade presente de cada componente, para validação do material perante o que a norma exige.

## 6. Bibliografia

- Allgayer, A. A., 2017, “Caracterização das propriedades mecânicas e metalúrgicas de uma junta de aço ASTM A36 soldado pelo processo de arco submerso (SAW) com diferentes aportes térmicos.”, Bacharel em Engenharia Mecânica, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado - RS, Brasil, 72p.
- ASTM A36 / 36M. Standard Specification for Carbon Structural Steel: Annual Book of ASTM Standards. USA: [s.n.]. 2008. 4p.
- AWS D1.1/D1.1M. Structural welding Code – Steel. 2010
- Cunha, D. S., 2007, ““Desenvolvimento de fio máquina para a fabricação de arames para soldagem MIG com características adequadas ao processo de descarepação mecânica””, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte/MG, Brasil, 57p.
- Cunha, Lélis da. “Solda: como, quando e por quê”. Es Imprensa Livre. 2013
- Dorfschmidt, M. V., 2015, “Estudo comparativo entre diferentes diâmetros de arames maciço no processo MAG robotizado com simples deposição sobre chapa”, Bacharel em Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina– FAHOR, Horizontina - RS, Brasil, 57p.
- Fontes, Cleber., 2005, “Apostila Soldagem MIGMAG”, ESAB MIG Welding Handbook – ESAB Welding & Cutting Products, Assistência Técnica Consumíveis – ESAB BR, 68 p.
- Fontes, Cleber., 2005, “Metalurgia da Soldagem”, ESAB MIG Welding Handbook – ESAB Welding & Cutting Products, Assistência Técnica Consumíveis – ESAB BR, 48 p.
- MARQUES, P. V. Soldagem – Fundamentos e Tecnologia. Editora UFMG, Belo Horizonte, 2005, 362p.
- Modenese, P.J., Marques, P.V., 2006, “Soldagem I, Introdução aos Processos de Soldagem”, UFMG-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, 54 p.
- Pedrosa, I. R. V., 2008, “Influência do gás de proteção no modo de transferência do metal de adição e nas propriedades mecânicas das juntas soldadas pelos processos GMAW”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife/PE, Brasil, 51p.

- Pontel, H. F., 2016, “Estudo do desgaste abrasivo e propriedades mecânicas de um aço Hardox 500 soldado por MAG convencional”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul– UFRGS, Porto Alegre/RS, Brasil, 69p.
- Senai. “Soldagem – Área metalúrgica”. Ed. Senai, SP, 2013.
- Veiga, Emilio. “Soldagem de manutenção”. Ed. São Paulo, Globus, 2011.
- Wainer, Emílio. “Soldagem; processos e metalurgia”. Ed. Edgard Blücher LTDA, 2008
- Yu, J., Cho S. M., 2017, “Metal-cored welding wire for minimizing weld porosity of zinc-coated steel”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 249, pp. 350-357.
- Ziedas, S. Tatini, I., 1997, “Soldagem” – Coleção Tecnologia SENAI, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, São Paulo-SPp.