



CENTRO UNIVESITÁRIO UNIFACVEST

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

RUAN ALLEF DO AMARAL

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS PROCESSOS DE SOLDAGEM MAG E  
SOLDAGEM COM ELETRODO REVESTIDO EM CHAPAS NOVAS E USADAS, COM  
ÊNFASE NAS ALTERAÇÕES MICROESTRUTURAIS E QUALIDADE SUPERFICIAL  
DA JUNTA SOLDADA.**

LAGES

2019

RUAN ALLEF DO AMARAL

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS PROCESSOS DE SOLDAGEM MAG E  
SOLDAGEM COM ELETRODO REVESTIDO EM CHAPAS NOVAS E USADAS, COM  
ÊNFASE NAS ALTERAÇÕES MICROESTRUTURAIS E QUALIDADE SUPERFICIAL  
DA JUNTA SOLDADA.**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Centro Universitário  
Unifacvest como parte dos requisitos  
para a obtenção de grau de Bacharel  
em Engenharia Mecânica.

Prof. Me.: Reny Aldo Henne

LAGES

2019

RUAN ALLEF DO AMARAL

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS PROCESSOS DE SOLDAGEM MAG E  
SOLDAGEM COM ELETRODO REVESTIDO EM CHAPAS NOVAS E USADAS, COM  
ÊNFASE NAS ALTERAÇÕES MICROESTRUTURAIS E QUALIDADE SUPERFICIAL  
DA JUNTA SOLDADA.**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Centro Universitário  
Unifacvest como parte dos requisitos  
para a obtenção de grau de Bacharel  
em Engenharia Mecânica.

Prof. Me.: Reny Aldo Henne

Lages SC \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / 2019. Nota \_\_\_\_\_

Prof. Me.: Reny Aldo Henne

---

Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica Prof. Dr. Rodrigo Botan.

## AGRADECIMENTOS

Neste momento de gratidão imensa, meus agradecimentos são dedicados à Deus em primeiro lugar. Por ter me dado a graça de concluir este sonho, por ter me honrado a cada mês que se passava. Não encontro palavras que possam descrever a gratidão que sinto. Vieram de Ti a força e persistência que nem eu mesmo sabia que tinha que me fizeram acreditar em mim e no sonho. O Senhor acreditou em mim, quando nem eu mesmo acreditava que seria possível. Graças te dou, hoje e para sempre.

Aos meus pais, Onil e Luciana pelo apoio moral e financeiro quando se fez preciso. Por acreditarem em mim e por sonharem com este dia tanto quanto eu. Fico imensamente feliz por poder proporcionar-lhes isso. São a razão de tudo, a razão pelo qual enfrentei cada muralha que se fez presente ao longo destes cinco anos. Deus me confiou a vocês porque sabia que me dariam o exemplo de vida que me fizesse sonhar alto. Meu amor e admiração são especialmente de vocês.

A minha esposa Giovana, que desde a adolescência esteve comigo. Durante os cinco anos passamos juntos por cada dificuldade. Cada momento difícil esteve do meu lado me incentivando e apoiando. Em alguns momentos colocou meu sonho a frente dos próprios objetivos. Este cinco anos para mim, também foram pensando em nosso futuro, em nosso conforto. Você faz parte da minha motivação para querer ir sempre além. Eu te amo para sempre e mais dez dias.

À minhas irmãs Ruane e Rayane pela admiração, carinho e cuidado.

À Klabin S/A pela oportunidade de estagiar e aprender a cada dia.

Ao supervisor técnico do estágio pela atenção e paciência.

Ao orientador e também professor Alisson R. De Oliveira, por ter olhado para mim com os olhos da alma, por ter sido um professor humano que entendeu os momentos de dificuldades que passávamos em sala de aula. O momento da orientação teria sido muito mais difícil se eu não tivesse escolhido uma pessoa como você. Toda sua atenção foi muito importante nesta fase de conclusão.

Ao Centro Universitário Facvest – Unifacvest pelas oportunidades que dá aos seus alunos de fazer cursos superiores de qualidade.

À todos os professores que me deram aula ao longo destes cinco anos.

*“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.”*

*Ayrton Senna.*

## **RESUMO**

Neste trabalho irei concentrar a pesquisa nos processos de soldagem MAG e Eletrodo revestido, além da revisão bibliográfica que ressaltará as principais variáveis de cada processo, as análises serão feitas através do ensaio não destrutivo com líquido penetrante, a fim de revelar trincas, poros ou outras descontinuidades na parte superficial do cordão de solda, e ensaio destrutivo de macrografia, que através do ataque químico busca uma identificação interna de descontinuidades bem como a zona térmicamente afetada da junta soldada, e micrografia que revelará a microestrutura dos grãos do metal bem como suas transformações causadas pelo processo de soldagem. Através destes ensaios buscamos relacionar os processos em características como qualidade superficial, defeitos e alterações microestruturais no cordão de solda.

Palavras-chave: Soldagem. Macrografia. Micrografia.

## **ABSTRACT**

In this paper I will focus the research on the welding processes MAG and coated electrode, besides the literature review that will highlight the main variables of each process, the analysis will be done through non-destructive testing with penetrating liquid, in order to reveal cracks, pores or other discontinuities in the superficial part of the weld bead, and destructive macrography test, which through chemical attack seeks an internal identification of discontinuities as well as the thermally affected zone of the welded joint, and micrograph that will reveal the microstructure of the metal grains as well as their transformations. caused by the welding process. Through these tests we seek to relate the processes in characteristics such as surface quality, defects and microstructural changes in the weld bead.

Keywords: Welding. Macrography. Micrography.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação arames para soldagem de aços .....	22
Figura 2: Regiões do arco elétrico .....	24
Figura 3: Equipamentos básicos SMAW .....	25
Figura 4: Eficiência dos processos de soldagem .....	25
Figura 5: Estrutura de um eletrodo revestido .....	26
Figura 6: Especificação alfanumérica de eletrodos revestidos .....	27
Figura 7: Processo de corte .....	34
Figura 8: Chanframento e limpeza das peças a serem soldadas .....	35
Figura 9: Processo de soldagem MAG .....	35
Figura 10: Processo de soldagem SMAW .....	36
Figura 11: Limpeza das peças com escova manual .....	37
Figura 12: Aplicação do Líquido Penetrante .....	37
Figura 13: Aplicação do removedor .....	38
Figura 14: Aplicação do revelador .....	39
Figura 15: Análise líquido penetrante em solda MAG base nova .....	40
Figura 16: Análise líquido penetrante em solda MAG base usada .....	41
Figura 17: Análise líquido penetrante em solda SMAW base nova .....	42
Figura 18: Análise líquido penetrante em solda SMAW base usada .....	42
Figura 19: Policorte metalográfico com refrigeração .....	44
Figura 20: Sequência de lixas e processo de lixamento .....	45
Figura 21: Polimento da superfícies a serem analisadas com alumina .....	45
Figura 22: Ataque da superfície com solução acida para macrografia e secagem. ....	46
Figura 23: Macrografia processo de soldagem MAG base nova .....	48
Figura 24: Macrografia processo de soldagem MAG, com solução Nital 10% .....	49
Figura 25: Macrografia processo de soldagem MAG base usada .....	50
Figura 26: Macrografia processo de soldagem SMAW base nova .....	51
Figura 27: ZTA processo de soldagem SMAW .....	51
Figura 28: Macrografia processo de soldagem SMAW base usada .....	52
Figura 29: Ataque da superfície com solução ácida para micrografia .....	53
Figura 30: Micrografica material de base, junta soldada pelo processo MAG base nova .....	54
Figura 31: [ ] c) Região onde ocorreu leve esferoidização dos carbonetos de perlita. Ferrita e perlita levemente esferoidizada .....	55

Figura 32: Micrografia material de adição, junta soldada pelo processo MAG base nova .....	56
Figura 33: Estrutura Bainítica .....	56
Figura 34: Micrografia material de adição, junta soldada pelo processo SMAW base nova...	57
Figura 35: Material de adição X material de base, processo de soldagem MAG base nova....	58
Figura 36:Material de adição X material de base, processo de soldagem MAG base usada ...	58
Figura 37:Material de adição X material de base, processo de soldagem SMAW base nova.....	59
Figura 38: Material de adição X material de base, processo de soldagem SMAW base usada .....	60
Figura 39: Poros processo de soldagem MAG, material de adição.....	61
Figura 40: Segregações causadas no processo de soldagem MAG.....	61
Figura 41: Microporos gerados no processo de soldagem SMAW .....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Processos de soldagem por fusão .....	18
Tabela 2: Especificações AWS de materiais de adição para soldagem MIG/MAG .....	21
Tabela 3: Gases e misturas usados na soldagem MIG MAG .....	22
Tabela 4: Faixa de correntes utilizáveis com arames de diferentes diâmetros e diferentes materiais .....	23
Tabela 5: Composição química aço ASTM A-36 .....	28
Tabela 6 : Propriedades mecânicas aço ASTM A -36 .....	28
Tabela 7: Classificação dos produtos para realização de LP.....	29
Tabela 8: Reagente para ensaios metalográficos.....	32
Tabela 9- Composição arame ER70S-6.....	55

## LISTA DE ABREVEATURAS E SÍMBOLOS

SMAW-	Shielded Metal Arc Welding
GMAW-	Gas Metal Arc Welding
FCAW-	Flux Cored Arc Welding
MIG-	Metal Inert Gas
MAG-	Metal Active Gas
TIG-	Tungstênio Inert Gas
CO <sub>2</sub> -	Dióxido de carbono
Ar-	Argônio
He-	Hélio
H <sub>2</sub> -	Hidrogênio
O <sub>2</sub> -	Oxigênio
Å -	Angstrons
mmHG-	Milímetros de Mercúrio
A -	Amperagem,
°C/mm –	Graus Celsius por milímetro
V/mm-	Volts por milímetro
K -	Kelvin
AWS-	American Welding Society
E -	Modulo de elasticidade ou modulo de <i>Young</i> ,
$\sigma$ -	Tensão de deformação,
$e$ -	Deformação
$G =$	Módulo de cisalhamento

$\tau =$	Tensão
$\gamma =$	Deformação de cisalhamento
HR-	Dureza Rockwell
N-	Newton
HB-	Dureza Brinell
ZTA-	Zona Termicamente Afetada
$P -$	Potência da fonte de soldagem
$V-$	Velocidade de soldagem,
Apt.-	Aporte térmico
$V-$	Tensão de soldagem
$I -$	Intensidade de corrente
$v-$	Velocidade de soldagem
$\eta-$	Fator de correção da eficiência energética de cada processo.
$Apt' -$	Aporte térmico líquido
$T.max -$	Temperatura máxima
$v -$	Velocidade de resfriamento
$K -$	Condutividade térmica do metal
$T_c-$	Temperatura crítica
$\epsilon-$	Espessura da peça
$\rho c -$	Calor específico volumétrico.
Fe -	Ferro
$Fe_3C -$	Carbeto de Ferro ou cementita
Ferro $\gamma-$	Austenita

Ferro $\alpha$ –	Ferrita
CFC-	Cúbico de face centrada
CCC-	Cúbico de corpo centrado
LP-	Líquido penetrante

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.</b>	<b>OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>17</b>
<b>3.</b>	<b>REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1.</b>	<b>PROCESSOS DE SOLDAGEM .....</b>	<b>18</b>
3.1.1.	Soldagem MIG/ MAG .....	20
3.1.1.1.	MIG (Metal Inerte Gás) .....	20
3.1.1.2.	MAG (Metal Active Gás) .....	20
3.1.2.	Soldagem SMAW (eletrodo revestido).....	23
3.1.2.1.	Eletrodos revestidos .....	25
3.1.2.2.	Eletrodo revestido básicos – E-7018.....	26
<b>4.</b>	<b>METALOGRAFIA .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1.</b>	<b>AÇO ASTM A-36 .....</b>	<b>27</b>
<b>5.</b>	<b>ENSAIOS DE QUALIDADE.....</b>	<b>28</b>
<b>5.1.</b>	<b>LÍQUIDO PENETRANTE .....</b>	<b>28</b>
<b>5.2.</b>	<b>MACROGRAFIA E MICROGRAFIA .....</b>	<b>29</b>
<b>6.</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>33</b>
<b>7.</b>	<b>MATERIAIS E METODOS.....</b>	<b>33</b>
<b>8.</b>	<b>ANÁLISES E DISCUSSÕES.....</b>	<b>36</b>
<b>8.1.</b>	<b>ANÁLISE COM LÍQUIDO PENETRANTE .....</b>	<b>36</b>
<b>8.2.</b>	<b>SOLDAGEM MAG EM CHAPA NOVA.....</b>	<b>38</b>
<b>8.3.</b>	<b>SOLDAGEM MAG EM CHAPA USADA.....</b>	<b>39</b>
<b>8.4.</b>	<b>SOLDAGEM ELETRODO EM CHAPA NOVA .....</b>	<b>40</b>
<b>8.5.</b>	<b>SOLDAGEM ELETRODO EM CHAPA USADA .....</b>	<b>41</b>
<b>8.6.</b>	<b>COMPARATIVO ENTRE AS ANÁLISES APÓS ENSAIO COM LÍQUIDO PENETRANTE .....</b>	<b>42</b>
<b>8.7.</b>	<b>ANÁLISE MACROGRÁFICA .....</b>	<b>42</b>
8.7.1.	Preparação dos corpos de provas para análises de macrografia e micrografia.....	42
8.7.2.	Soldagem mag em chapa nova .....	46
8.7.3.	Soldagem mag em chapa usada .....	48
8.7.4.	Soldagem com eletrodo em chapa nova.....	49
8.7.5.	Soldagem com eletrodo em chapa usada .....	51

8.7.6. Comparativo entre as análises após ensaio de macrografia.....	51
<b>8.8. ANÁLISE DE MICROGRAFIA.....</b>	<b>52</b>
8.8.1. Microestrutura do material de base em chapa nova .....	53
8.8.2. Microestrutura do material de adição.....	54
8.8.3. Linha de fusão .....	56
8.8.4. Micro descontinuidades .....	59
8.8.5. Comparativo entre as análises após ensaio de micrografia.....	62
<b>9. CONCLUSÃO.....</b>	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO A – EPS MAG.....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXO B – EPS SMAW.....</b>	<b>70</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A Soldagem requer além da habilidade do soldador um conhecimento sobre os materiais e processos de soldagem que serão empregados, dentre inúmeros outros fatores que podem influenciar a qualidade final do produto. Uma junta soldada perfeita seria aquela impossível de se distinguir do restante do material, porém é praticamente impossível reproduzir essa condição. Nenhum dos métodos de soldagem é universal, cada um apresenta vantagens e desvantagens e sua escolha deve ser realizada com critério, para que a qualidade da junta soldada seja garantida. Devido ao grande número de variáveis envolvidas, o conhecimento do Engenheiro responsável pela atividade e a habilidade manual do soldador necessitam ser qualificados através de uma série de testes/ensaios para cada procedimento.

Na execução da soldagem, ocorre uma alteração na estrutura dos materiais da junta soldada, pois este processo tem uma alta emissão de energia térmica (calor). As propriedades dos materiais soldados sofrem alterações principalmente durante o período de solidificação ou resfriamento, e algumas destas alterações nem sempre são desejáveis.

Para características externas, bem como suas alterações os métodos de análises escolhidos foram ensaio por líquido penetrante e macrografia, estes ensaios podem ser classificados como ensaios não-destrutivo (líquido penetrante) e ensaio destrutivo (macrografia). As características avaliadas serão a qualidade superficial do cordão de solda, descontinuidades, e trincas no processo de resfriamento.

Para as características internas, o método de análise escolhido foi o ensaio de micrografia, tal ensaio é classificado como um ensaio destrutivo, e traz informações sobre a estrutura do material, arranjo dos grãos da estrutura cristalina, zona termicamente afetada, mudança de fase no resfriamento e solidificação, mudança nas propriedades mecânicas, devido ao aquecimento e resfriamento da junta soldada.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Realizar análise comparativa das juntas soldadas e seus materiais de base através de ensaios de Líquido Penetrante, macrografia e micrografia.

### **2.2. Objetivos específicos**

O objetivo deste trabalho está diretamente ligado em obter informações referente qualidade dos cordões de solda, tais informações estão ligadas aos materiais e métodos utilizados nos processos de soldagem. Pra isso, iremos analisar as seguintes características:

- Análise da estrutura externa, com ensaio não destrutível, com líquido penetrante;
- Analisar externamente fissuras, trincas e falhas no cordão de solda;
- Análise da estrutura, com ensaio destrutivo, através da técnica de macrografia;
- Analisar internamente os aspectos de fissuras, trincas ou falhas no cordão de solda;
- Análise da estrutura interna, com ensaio destrutível, através de micrografia.

Após esta etapa, iremos comparar os corpos de prova em seus respectivos processos e distinguir suas características mais relevantes.

### 3. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

#### 3.1. Processos de soldagem

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2011), a soldagem por fusão, tem um grande número de processos. A maioria destes processos utilizam algum meio de proteção a fim de minimizar a reação do material fundido com os gases da atmosfera.

Tabela 1: Processos de soldagem por fusão

<b>Processo</b>	<b>Fonte de calor</b>	<b>Tipo de corrente e polaridade</b>	<b>Agente protetor ou de corte</b>	<b>Outras características</b>	<b>Aplicações</b>
<b>Solda por eletro-escória</b>	Aquecimento por resistência da escória	Contínua ou alternada	Escória	Automática/mecanizada. Junta na vertical. Arame alimentado mecanicamente pela poça de fusão. Não existe arco	Soldagem de aços carbono baixas e altas ligas, espessura $\geq 50$ mm. Soldagem de peças de grande espessura, eixos etc.
<b>Soldagem ao arco-submerso</b>	Arco elétrico	Contínua ou alternada Eletrodo +	Escória e gases gerados	Automática/mecanizada ou semiautomática. 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.
<b>Soldagem com eletrodos revestidos</b>	Arco elétrico	Contínua ou alternada Eletrodo +	Escória e gases gerados	Manual. Vareta metálica recoberta por camada de fluxo	Soldagem de quase todos os metais, exceto cobre, ouro, metais preciosos, reativos e de baixo ponto de fusão. Usado na soldagem em geral.
<b>Soldagem com Arame tubular</b>	Arco elétrico	Contínua Eletrodo +	Escória e gases gerados ou fornecidos por fonte externa. Em geral $CO_2$	O fluxo está contido dentro do arame tubular de pequeno diâmetro. Automático ou semiautomático	Soldagem de aços carbono com espessura $\geq 1$ mm. Soldagem de chapas

<b>Soldagem MIG /MAG</b>	Arco elétrico	Contínua Eletrodo +	Argônio ou Hélio, Argônio+ O <sub>2</sub> , Argônio +CO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>	Automática/ mecanizada ou semiautomática. O arame é sólido.	Soldagem de aços carbono de baixa e alta liga não ferrosos com espessura ≥1 mm. Soldagem de tubos, chapas etc. Qualquer posição de soldagem
<b>Soldagem a Plasma</b>	Arco elétrico	Contínua Eletrodo -	Argônio, Hélio ou Argônio + hidrogênio	Manual ou automática. O arame é adicionado separadamente. Eletrodo não consumível de tungstênio. O arco é constituído por um bocal.	Todos os metais importantes em engenharia, exceto Zn, Be e suas ligas, com espessura de até 1,5mm. Passes de raiz
<b>Soldagem TIG</b>	Arco elétrico	Contínua Ou alternada Eletrodo -	Argônio, Hélio ou Mistura Destes	Manual ou automática. Eletrodo não consumível de tungstênio. O arame é adicionado separadamente	Soldagem de todos os metais exceto Zn, Be e suas ligas, espessura entre 1 e 6 mm, soldagem de não ferrosos e aços inox, passe de raiz de soldadas em tubulações.
<b>Soldagem por feixe Eletrônico</b>	Feixe eletrônico	Contínua alta tensão. Peça +	Vácuo(>> 10 <sup>4</sup> mmHG)	Soldagem automática. Não há transferência de metal. Feixe de elétrons focalizado em um pequeno ponto	Soldagem de todos os metais exceto os casos de evolução dos gases ou vaporização excessiva, a partir de 25 mm de espessura. Indústria nuclear e Aeroespacial
<b>Soldagem a Laser</b>	Feixe de luz		Argônio ou Hélio	Como acima	Como acima. Corte de materiais não metálicos.
<b>Soldagem a gás</b>	Chama oxiacetilena		Gás (CO, H <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O)	Manual. Arame é adicionado separadamente	Soldagem manual de aço carbono, Cu, Al, Zn, Pb e bronze. Soldagem de chapas finas e tubos de pequeno Diâmetro

Fonte: Marques e Modenesi, 2000.

### **3.1.1. Soldagem MIG/ MAG**

No processo de soldagem GMAW (Gas Metal Arc Welding), popularmente conhecido como MIG/MAG (MIG – Metal Inert Gas e MAG – Metal Active Gas), o arco elétrico é estabelecido entre um eletrodo consumível em formato de arame e o metal de base. Como os parâmetros que definem o arco elétrico são controlados pela fonte de soldagem, cabe ao operador garantir que uma solda de qualidade seja realizada por meio do controle da velocidade de soldagem, posicionamento da tocha e ângulo de trabalho, no caso de soldas realizadas manualmente.

“GMAW (soldagem MIG/MAG) um processo de soldagem a arco que usa um arco entre um eletrodo de metal de adição contínuo e poça de fusão. O processo é usado com proteção de um gás de proteção fornecido externamente e sem a aplicação de pressão” (AWS D1.1 STRUCTURAL WELDING CODE-STEEL, 2004, p. 316).

“A Soldagem é realizada por um arco elétrico, estabelecido entre um arame nu continuamente alimentado e a peça. A proteção do mesmo e da poça de fusão é realizada por gás que flui pela boca, concentricamente com o arame” (MACHADO, 2007, p.15).

Segundo Marques e Modenesi (2000) a proteção do arco elétrico e da poça de fusão é feita através de um gás de proteção, sendo que o processo é considerado:

#### **3.1.1.1. MIG (Metal Inerte Gás)**

Quando o gás utilizado é inerte (Argônio/Hélio), o gás inerte puro é usado na soldagem de juntas não ferrosas. Para a soldagem de aços uma quantidade de gás oxidante ( $O_2$  ou  $CO_2$ ) é necessária para manter a estabilidade do arco. O argônio é mais barato que o gás Hélio, sendo o mais usado no Brasil, segundo Machado (2007).

#### **3.1.1.2. MAG (Metal Active Gás)**

Quando o gás utilizado é ativo ( $CO_2$ , ou mistura  $Ar/O_2/CO_2$ ), gás inerte com mistura em pouca proporção de gás ativo geralmente usado na soldagem de aços ligados. E quando a proporção de gás ativo for alta, ou puro  $CO_2$ , a soldagem é usada em aço carbono.

É considerando um processo semiautomático, pois a alimentação do eletrodo pode ser feita mecanicamente por um alimentador motorizado, enquanto fica a cargo do soldador a iniciação e interrupção do processo bem como a movimentação da tocha ao longo do processo, como citado por Marques, Modenesi e Bracarense (2011).

O equipamento de soldagem é composto basicamente por uma fonte de energia, um alimentador de arame, uma tocha, e uma fonte de gás protetor. Para se conseguir que a

velocidade de alimentação satisfaça a velocidade de consumo, mantendo o comprimento do arco existem basicamente duas maneiras:

- 1°. “Trabalha-se com uma fonte tipo corrente constante, que resulta em uma velocidade de fusão aproximadamente constante, e um alimentador de arame com velocidade variável, controlada pelo equipamento” (MARQUES, MODENESI E BRACARENSE, 2011, p. 245).
- 2°. Utiliza-se uma fonte tipo tensão constante, e um alimentador de arame com alimentação constante, e permite-se variação nos parâmetros de soldagem a fim de manter um consumo constante e aproximadamente igual a velocidade de alimentação citado por Marques, Modenesi e Bracarense (2011).

Segundo Machado (2007) a fonte de energia para a soldagem MIG /MAG são do tipo transformador-retificador, e a corrente utilizada em sua grande maioria é corrente contínua. Segundo Wainer, Brandi e Mello (2004) o equipamento conta ainda com o alimentador de arame que está ligado a fonte de energia, a tocha e o cilindro de gás de proteção.

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2011), os arames de soldagem com proteção com CO<sub>2</sub>, contém um teor maior de silício e manganês devido ao seu auxílio na desoxidação.

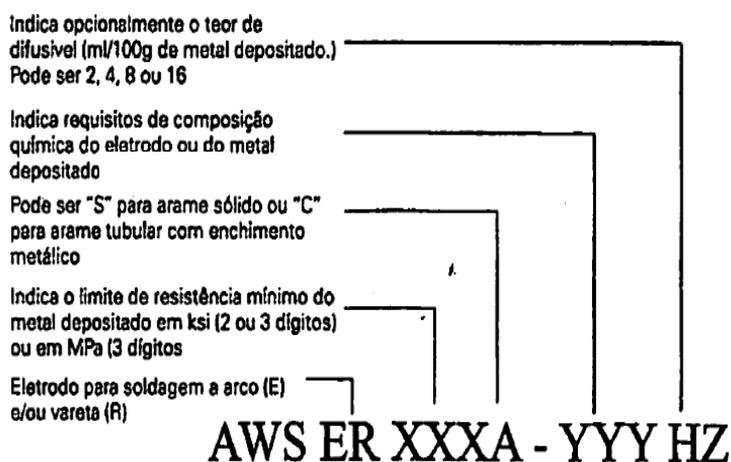
Tabela 2: Especificações AWS de materiais de adição para soldagem MIG/MAG.

<b>ESPECIFICAÇÃO</b>	<b>CONSUMÍVEL</b>
<b>AWS A 5.7</b>	Arames de cobre e suas ligas
<b>AWS A 5.9</b>	Arames de aço inoxidável
<b>AWS A 5.10</b>	Arames de alumínio e suas ligas
<b>AWS A 5.14</b>	Arames de níquel e suas ligas
<b>AWS A 5.15</b>	Arames para soldagem de ferro fundido
<b>AWS A 5.16</b>	Arames de titânio e suas ligas
<b>AWS A 5.18</b>	Arames e arames tubulares de aço carbono com pó metálico interno
<b>AWS A 5.19</b>	Arames de magnésio e suas ligas
<b>AWS A 5.20</b>	Arames tubulares de aço carbono com fluxo interno
<b>AWS A 5.21</b>	Arames para revestimento
<b>AWS A 5.22</b>	Arames tubulares para soldagem de aço inoxidável
<b>AWS A 5.24</b>	Arames para a soldagem de zircônio
<b>AWS A 5.28</b>	Arames de aços de baixa liga

Fonte: Marques, Modenesi e Bracarense, 2011.

A classificação dos arames de soldagem de aços AWS A 5.18 e A 5.28, tem o seguinte formato:

Figura 1: Classificação arames para soldagem de aços.



Fonte: Marques, Modenesi e Bracarense, 2011.

Os gases utilizados na soldagem MIG/MAG, podem ser inertes, ativos ou uma mistura destes. O tipo de gás influencia nas características do arco na transferência de metal, na penetração, largura e formato do cordão, na velocidade máxima de operação, tendência no aparecimento de mordeduras e custo de soldagem.

Tabela 3: Gases e misturas usados na soldagem MIG/MAG.

Gás ou mistura	Comportamento químico	Aplicações
<b>Argônio</b>	Inerte	Quase todos os metais
<b>Hélio</b>	Inerte	Al, Mg, Cu e suas ligas, Alta penetração
<b>Ar + He (20-50%)</b>	Inerte	Idem He, mas melhor que 100% He
<b>Nitrogênio</b>	-	Cobre, maior energia de soldagem
<b>Ar + 20-30% N<sub>2</sub></b>	-	Idem N <sub>2</sub> , mas melhor que 100% N <sub>2</sub>
<b>Ar + 1-2% O<sub>2</sub></b>	Ligeiramente oxidante	Aços inoxidáveis e algumas ligas de Cu
<b>Ar + 3-5% O<sub>2</sub></b>	Oxidante	Aços carbono e alguns aços de baixa liga
<b>CO<sub>2</sub></b>	Oxidante	Aços carbono e alguns aços de baixa liga
<b>Ar + 20-50% CO<sub>2</sub></b>	Oxidante	Aços
<b>Ar + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub></b>	Oxidante	Aços

Fonte: Marques, Modenesi e Bracarense (2011)

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2011), o diâmetro do eletrodo é escolhido principalmente pela espessura do material de base. Para cada espessura de arame, existe uma corrente adequada para soldagem.

Tabela 4: Faixa de correntes utilizáveis com arames de diferentes diâmetros e diferentes

materiais.

<b>Material</b>	<b>Diâmetro do eletrodo (mm)</b>	<b>Faixa de Corrente (A)</b>
<b>Aço carbono e de baixa liga</b>	0,8	70-180
	1,0	90-220
	1,2	100-270
	1,6	190-360
	2,4	280-490
	3,2	270-580
<b>Aço inoxidável austenítico</b>	0,8	60-180
	1,0	80-200
	1,2	90-260
	1,6	170-320
	2,4	250-450
<b>Alumínio</b>	0,8	70-150
	1,2	80-200
	1,6	120-300
	2,4	180-350
<b>Cobre</b>	0,8	70-170
	1,2	90-250
	1,6	10-400

Fonte: Marques, Modenesi e Bracarense, 2011

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2011) no processo MIG/MAG a corrente influencia diretamente na penetração, largura e reforço na poça de fusão, influencia também na taxa de deposição, energia de soldagem e no modo de transferência de metal. A tensão de soldagem influi no comprimento do cordão, modo de transferência de metal e formato do cordão. Tensões elevadas tendem a formar respingos, enquanto tensões baixas tendem a formar porosidade.

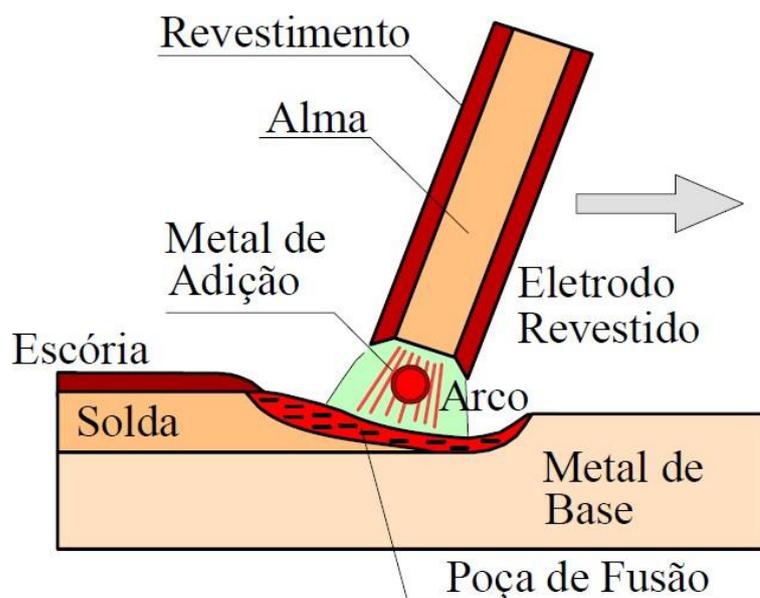
### **3.1.2. Soldagem SMAW (Eletrodo Revestido)**

Dos processos de soldagem a arco, o eletrodo revestido (SMAW – Shielded Metal Arc Welding) é o que apresenta maior facilidade operacional. O investimento em equipamentos é relativamente baixo e os eletrodos são facilmente encontrados no mercado. Uma grande vantagem desse processo é o controle da composição química do revestimento, através do qual se consegue uma vasta gama de consumíveis e um maior controle da microestrutura e das propriedades do metal de solda (Marques et al., 2008).

“O processo de soldagem por eletrodos revestidos é definido como um processo de soldagem com arco, onde a união é produzida pelo calor do arco criado entre um eletrodo revestido e a junta a soldar” (WAINER, 2004). O cordão de solda depositado no processo de

soldagem por eletrodo revestido é protegido da atmosfera (O<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>) pela escória e pelos gases gerados durante o processo, ou seja, o metal fundido do eletrodo é transferido para a peça, formando uma poça fundida que é protegida pelos gases e pelo banho de escória, ambos gerados pela queima e combustão dos componentes do revestimento. O processo de soldagem por eletrodo revestido é ilustrado na Figura 2.

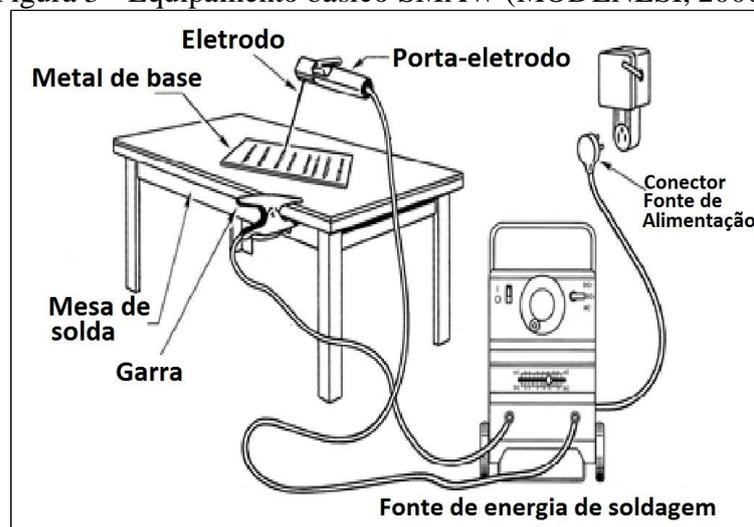
Figura 2 - Região do arco na soldagem por eletrodo revestido (MODENESI, 2006)



Fonte: Soldagem Fundamentos e Tecnologia, 3ª edição. pp 180.

Em comparação aos outros processos de elétricos de soldagem, o equipamento básico para a soldagem com eletrodo revestido possui uma das mais simples configurações possíveis, que consiste nos elementos ilustrados na Figura 3.

Figura 3 - Equipamento básico SMAW (MODENESI, 2006).



Fonte: MODENESI, 2006.

O processo de soldagem com eletrodo revestido é um dos mais utilizados no mundo, sendo que, apesar de não ser apresentado como o mais eficiente, como indicado na Figura 4, é um dos mais baratos e simples, sendo este empregado em grande variedade de aplicações devido a sua versatilidade (WAINER, 2004).

Figura 4 - Eficiência dos processos de soldagem (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

Processo	Eficiência de Deposição (%)
Eletrodo Revestido	60 - 70
MIG/MAG	90
Arame Tubular c/ proteção	83
Arame Tubular s/ proteção	79
TIG	95
Arco Submerso	98

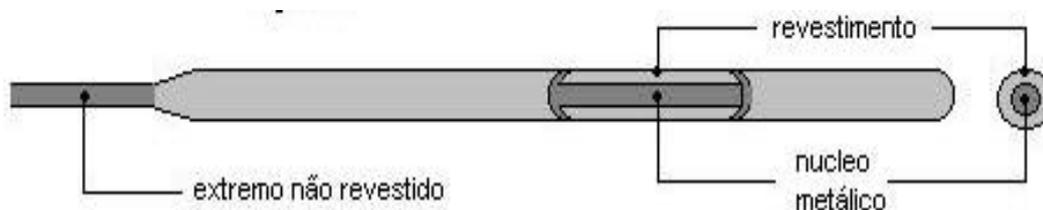
Fonte: Marques, Modenesi e Bracarense, 2009.

O processo se caracteriza por ser manual. A fonte mais usada é a do tipo corrente constante com tensões em vazio variando de 50 a 100 V, e a tensão de trabalho entre 17 e 36 V. Relacionado ao material a ser fundido, tem-se uma taxa de deposição variando entre 1,0 e 2,5 kg/h, sendo que as juntas a serem soldadas apresentam, geralmente, espessuras entre 3 e 40 mm (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

### 3.1.2.1 Eletrodos revestidos

O eletrodo revestido tem como função principal servir como material de deposição nos processos de soldagem a arco tendo forma de uma vareta metálica. Este é caracterizado por sua estrutura com um núcleo metálico, um revestimento e uma extremidade não revestida, como mostra a Figura 5 (SECCO, 2002).

Figura 5 - Estrutura de um eletrodo revestido.

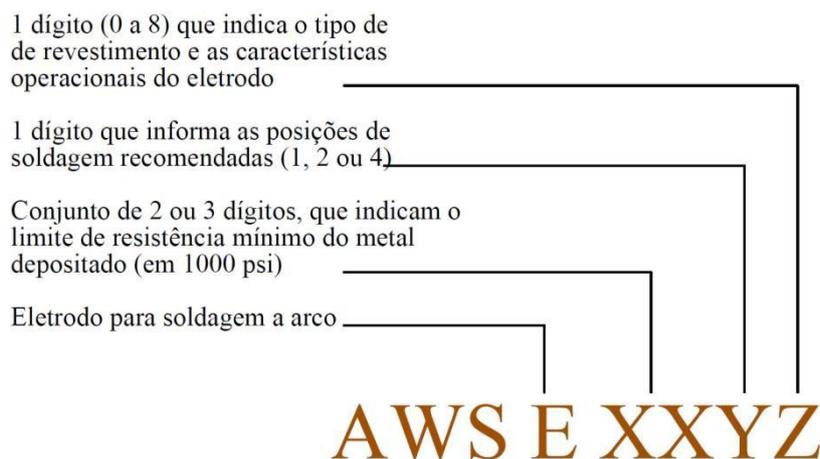


Fonte: SECCO, 2002.

O revestimento é composto por substâncias químicas distintas, que irão determinar a direção do arco elétrico, geração de gases que irão atuar como proteção do cordão de solda do excesso de hidrogênio e oxigênio, produção de escória para evitar o resfriamento brusco e o contato da solda com o oxigênio e hidrogênio presente na atmosfera, além de contenção de determinados elementos de liga (SECCO, 2002).

A especificação de eletrodos revestidos pode ser definida em conformidade com requisitos especificados pela American Welding Society – AWS. Os eletrodos são especificados de acordo com suas propriedades mecânicas, composição química do metal de solda, tipo de revestimento e posição de soldagem. As designações alfanuméricas empregadas para as especificações de eletrodos revestidos para aços carbono são indicadas na Figura 6 (MODENESI, 2006).

Figura 6 - Especificação alfanumérica de eletrodos revestidos.



Fonte: MODENESI, 2006.

A corrente de soldagem exerce influência sobre praticamente todas as características operatórias do processo; o aspecto do cordão, propriedades da junta da soldada, penetração e geometria do cordão. A velocidade de avanço é a segunda variável mais importante no processo, apesar de seu controle ser impreciso no caso de operações manuais, a altura e a largura do cordão variam inversamente com a velocidade de avanço. (WAINER; BRANDI; MELLO, 2008).

### 3.1.2.2 Eletrodo Revestido Básicos – E-7018.

“A descoberta de defeitos de solda relacionados ao teor de hidrogênio difusível deu início ao desenvolvimento de eletrodos básicos que apresentam baixo teor de hidrogênio” (FORTES, 2005). A eliminação de compostos orgânicos e químicos com alto teor de umidade

junto a um ciclo de secagem a alta temperatura previsto na fabricação, permite a eliminação do hidrogênio na fórmula do revestimento do eletrodo.

Os eletrodos revestidos básicos que não forem consumidos dentro de um determinado intervalo de tempo após a abertura da embalagem, devem ser armazenados em uma estufa e mantidos a temperatura constante, para evitar a absorção da umidade do ar. Se estes eletrodos ficarem expostos à atmosfera durante muito tempo, provavelmente deverão ser descartados ou ressecados numa estufa (FORTES, 2005).

Eletrodo E-7018 é uma versão do eletrodo básico de baixo teor hidrogênio. A adição de quantidades consideráveis de pó de ferro ao revestimento resulta num arco mais suave e com menos respingos. Esse moderno balanço de ingredientes do revestimento resulta numa grande melhoria na estabilidade do arco, na direção do arco e na facilidade de manuseio em todas as posições (FORTES, 2005).

#### **4. METALOGRAFIA**

As análises de metalografia são estudos referentes a estrutura dos materiais, em aspectos externos ou internos.

O processo de soldagem em sua grande maioria, envolve uma grande quantidade de energia térmica, calor, com isso alterações na estrutura, metalúrgicas e nas propriedades mecânicas podem ocorrer, alterações estas que nem sempre são desejadas, e que se não levadas em consideração podem comprometer o procedimento. As mudanças mais relevantes ocorrem normalmente durante o processo de solidificação e resfriamento segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2011).

“A ação do calor, mais ou menos intensa, dependendo de particularidades do processo, é a principal responsável pela ocorrência de fenômenos físico-químicos como fusão, vaporização e solidificação, e das transformações metalúrgicas no estado líquido e sólido” (FILHO, 2008, p. 2).

##### **4.1. Aço ASTM A-36**

Segundo Allgayer o aço ASTM A-36, é um aço baixo carbono de média resistência mecânica e com boa soldabilidade. Os aços com percentuais de até 0,15% de carbono possuem excelente soldabilidade por serem pouco temperáveis. Aços com percentuais entre 0,15% e 0,30% de carbono possuem boa soldabilidade, entretanto, existe a possibilidade de endurecimento.

Tabela 5: Composição química aço ASTM A-36.

<b>COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)</b>					
C máximo	Mn	P máximo	S máximo	Si máximo	Cu máximo
0,28	0,60 – 0,90	0,04	0,05	0,4	0,2

Fonte: Allgayer, 2017.

Tabela 6 : Propriedades mecânicas aço ASTM A -36

<b>PROPRIEDADES MECÂNICAS</b>	
<b>Limite de escoamento (LE)</b>	250 Mpa
<b>Limite de Ruptura</b>	400-550 Mpa
<b>Alongamento</b>	23%

Fonte: Allgayer, 2017.

## 5. Ensaios de qualidade

Segundo Rohde (2010) a controle de qualidade estrutural do material preocupa-se com o material que forma uma peça, sua composição, propriedades, estrutura a aplicação, o estudo metalográfico relaciona a estrutura íntima do material com as suas propriedades físicas, com o processo de fabricação, com o desempenho de suas funções.

### 5.1. Líquido penetrante

Segundo Durer et al (2010), o ensaio por líquido penetrante (LP) é utilizado para detectar descontinuidade superficiais, tais como: trincas, poros, dobras, etc., podendo ser aplicado em todos os materiais sólidos e que não tenham poros ou superfícies muito grosseira.

Existem cinco etapas para este método de ensaio: preparação da superfície, aplicação do líquido penetrante, remoção do excesso do líquido penetrante, aplicação do revelador, e inspeção.

A preparação da superfície consiste em retirar todo corpo estranho que possa interferir no ensaio, tais como água, óleo, graxas solventes entre outros. Segundo a Norma Petrobras N- 1596 (2003), para os ensaios de superfícies soldadas recomenda-se o ensaio na superfície bruta, usando-se apenas escova manual para a limpeza prévia, evitando o uso de escovas rotativas.

Ainda segundo a Norma Petrobras N-1596 (2003), após a limpeza do corpo de prova, o líquido penetrante deve ser aplicado, esta aplicação deve cobrir toda a área a ser inspecionada, e ser mantida úmida durante todo o tempo de penetração, este tempo deve ser obedecido segundo a

indicação do fabricante, porém deve estar na faixa de 10 minutos a 60 minutos, nas temperaturas entre 10°C e 52°C.

Para a retirada do excesso de líquido penetrante a Norma Petrobras N-2370 estabelece que o mesmo pode ser água ou produto químico (solvente), segundo a especificação do fabricante, que deve seguir a tabela a designação da tabela abaixo.

Tabela 7: Classificação dos produtos para realização de ensaio por meio de líquido penetrante.

Penetrante		Remoção do Excesso de Penetrante		Revelador	
Tipo	Designação	Método	Designação	Forma	Designação
I	Penetrante fluorescente	A	Água	a	Seco
II	Penetrante de contraste colorido	B	Emulsificante lipofílico	b	Solúvel em água
		C	Solvente	c	Em suspensão na água
		D	Emulsificante hidrofílico	d	Diluído em solvente

Fonte: Norma Petrobras N1596, 2003

Para a aplicação de revelador algumas especificações da Norma Petrobras N-1596 (2003) devem ser seguidas como: a não utilização de pincéis escovas ou similares para a aplicação, deve-se obter uma camada fina e uniforme de revelador sobre toda a área a ser ensaiada. Esta norma permite também que o tempo de secagem seja reduzido com o uso de sopro de ar quente desde que este não ultrapasse a temperatura máxima indicada no processo.

A inspeção deve ser realizada obedecendo os parâmetros de acuidade visual estabelecidos na Norma Petrobras N-1590 sendo o inspetor aprovado na tabela Jaeger J1 e aprovado no teste de Ishihara para visão cromática normal. Os resultados devem ser descritos e um relatório contendo dados básicos do ensaio.

## 5.2. Macrografia e Micrografia

Segundo Colpaert (2008) macrografia examina o aspecto de uma amostra com superfície plana após esta estar devidamente polida e atacada por um reagente adequado. Para Rohde (2008), examina-se com pouca ampliação, através dela tem-se uma ideia do conjunto, referente à homogeneidade do material, a distribuição e natureza das falhas, qualidade de solda, profundidade de tratamentos térmicos, entre outras características.

Rohde (2008) a micrografia consiste no estudo dos produtos metalúrgicos, com o auxílio do microscópio, onde se pode observar as fases presentes e identificar a granulação do material (tamanho de grão), o teor aproximado de carbono no aço, a natureza, a forma, a quantidade, e a distribuição dos diversos constituintes ou de certas inclusões.

A preparação das superfícies para ensaios de macrografia e micrografia seguem os mesmos cuidados.

A seguir apresentamos os passos para a preparação adequada dos corpos de prova. Para a Norma Técnica Interna SABESP NTS 034, a qualificação de soldagem estrutural, será feito através do exame de macrografia obedecendo os seguintes critérios:

- Soldar duas chapas metálicas na forma de junta “T”;
- Retirar seções da junta soldada, através do corte com serra;
- Limpar as superfícies cortadas, com solvente removedor de gordura, não usar gasolina, querosene ou outro solvente que possa deixar resíduos oleosos na peça;
- Lixar as superfícies de cada seção de forma obter uma superfície lisa;
- Mergulhar as superfícies preparadas em um recipiente contendo 50% de ácido clorídrico e 50% de água;
- Realizar a inspeção.

Segundo Rohde (2010), o corte mais apropriado para a reparação de amostras metalográficas é o corte abrasivo, pois operações de torneamento, aplainamento ou outros pode gerar mudanças estruturais no corpo de prova devido ao trabalho a frio. O corte abrasivo é realizado no equipamento de policorte com os discos abrasivos altamente refrigerados.

O processo de lixamento, deve ser executado visando a retirada de riscos ou marcas na superfície a ser ensaiada. Segundo a Norma ASTM E3-95 as lixas a serem utilizadas são respectivamente as lixas com granulometria 180, 240, 320, 400, 600, porém estas sofrem algumas alterações podem ser usadas até lixas com granulometria de 1200. Para Rohde (2010) a técnica de lixamento adequada consiste em se lixar a amostra sucessivamente com lixas de granulometria cada vez menor, mudando-se de direção (90°) em cada lixa subsequente até desaparecerem os traços da lixa anterior.

Após o emprego das lixas, o polimento é continuado sobre um disco giratório de feltro, em uma politriz manual ou automática, onde se aplica uma fina camada de abrasivo (alumina diamante, ou em alguns casos usa-se sílica coloidal) segundo Colpaert (2008).

Rohde (2010) recomenda que os seguintes cuidados sejam adotados no processo de polimento mecânico:

- A superfície deve estar rigorosamente limpa;
- Evitar polimentos demorados;
- Nunca polir amostras diferentes sobre o mesmo pano de polimento;
- Evitar fricção excessiva;
- Evitar pressão excessiva sobre a amostra.

Após o polimento a superfície deve ser limpa para a retirada de agentes abrasivo, poeiras ou

solventes, a limpeza pode ser feita com água ou líquidos com baixo ponto de fulgor como álcool etílico, para uma rápida secagem.

Para melhor visualização macroscópica e microscópica, o ataque químico é de fundamental importância.

“A superfície atacada sofre uma série de transformações eletroquímicas baseadas no processo de óxido-redução, cujo aumento do contraste se deve às diferenças de potencial eletroquímico. O contraste varia em função da composição química, temperatura e tempo” (ROHDE, 2010, p. 22).

Tabela 8: Reagente para ensaios metalográficos.

<b>Designação metalográfica</b>	<b>Composição</b>	<b>Aplicação</b>
Cloreto de cobre-amônio em meio amoniacal	10g cloreto de cobre-amônio 120 ml água destilada Amoníaco até dissolver o precipitado	Reativo p/ micrografia de múltipla aplicação para ligas de cobre
Cloreto de ferro III	5g cloreto de ferro III 30 ml ácido clorídrico concentrado 100 ml de água destilada	Reativo para micrografia de superfícies de grãos em liga de cobre, contrastes especialmente acentuados em cristais $\alpha$ .
Água oxigenada + Amoníaco	1 parte de água oxigenada a 3% 1 parte de amoníaco	Reativos para micrografia de contornos dos grãos de cobre.
Lixívia de solda	10g hidróxido de sódio 90 ml água destilada	Reativo universal para micrografia de ligas de alumínio
Ácido fluorídrico	0.5 ml ácido fluorídrico 99.5 ml água destilada	
Adler	3g cloreto de cobre II amoniacal 25 ml água destilada 15g cloreto de ferro III 50 ml ácido clorídrico concentrado	Reativo para Macrografia de aço cobre e ligas de cobre, cordões de solda, estruturas macroscópicas, camadas cementadas, zonas temperadas, segregações, estruturas primárias.
Reativo de ação profunda p/ aço	1 parte de ácido clorídrico concentrado 1 parte de água	Reativo para Macrografia de aço, segregações, inclusões, fissuras, escórias, poros.
Fry	100 ml água destilada 120 ml ácido clorídrico concentrado 90g cloreto de cobre II	Reativo para Macrografia a fim de tornar visíveis linhas de ação de forças em aços sensíveis ao envelhecimento.
Baumann	5 ml ácido sulfúrico concentrado 95 ml água destilada	Revelação da distribuição de enxofre no aço, com auxílio de papel fotográfico para ampliações.

Reativo macrográfico Para alumínio e suas ligas	10 ml ácido clorídrico concentrado 10 ml ácido nítrico concentrado 10 ml ácido fluorídrico 2,5 ml água	Cordões de solda e macroestruturas. Determinação microscópica do tamanho do grão no processo rápido.
Nital a 3%	97 ml álcool etílico 3 ml ácido nítrico concentrado	Reativo p/ micrografia de aço e ferro não ligado e de baixa liga, metal branco, ligas de magnésio. Também para aços de alta liga com estrutura martensítica.
Nital a 10%	90 ml de álcool etílico 10 ml de ácido nítrico concentrado	Em ataques microscópicos de ação profunda para tornar visível constituintes especiais da estrutura em aços e ferros (carbonetos, eutético fosforoso) não ligados e de baixa liga. Em casos isolados também como reativo p/ microscopia de alta liga. Em macroscopia p/camadas cementadas respectivamente profundidade de endurecimento.
Reativo V2A de Goerens	100 ml ácido clorídrico concentrado 100 ml água destilada 10 ml ácido nítrico concentrado 0.3 ml de inibidor	Reativo para micrografia de aços inoxidáveis.
Água Régia	8 ml ácido nítrico concentrado 12 ml ácido clorídrico concentrado 1000 ml álcool etílico	Reativo p/ micrografia de aços inoxidáveis e outros aços de alta liga.
Reativo de Vilella	3 partes glicerina 1 parte de ácido nítrico concentrado 2 partes de ácido clorídrico concentrado	Reativo para micrografia de aços ao manganês e aços-liga com alto teor de cromo.
Picrato de sódio em meio alcalino (Picral)	25g hidróxido de sódio 75 ml água destilada 2g ácido pícrico	Revelação de cementita.

Fonte: Rohde, 2010.

## 6. JUSTIFICATIVA

Com o crescimento acelerado da industrialização global nas últimas décadas, tornou-se de suma importância o conhecimento dos processos de soldagem por parte dos profissionais da indústria. Quando citamos os termos “ chapas novas” e “chapas usadas” podemos associar aos dois tipos de soldagem que encontramos no dia a dia do campo, que são:

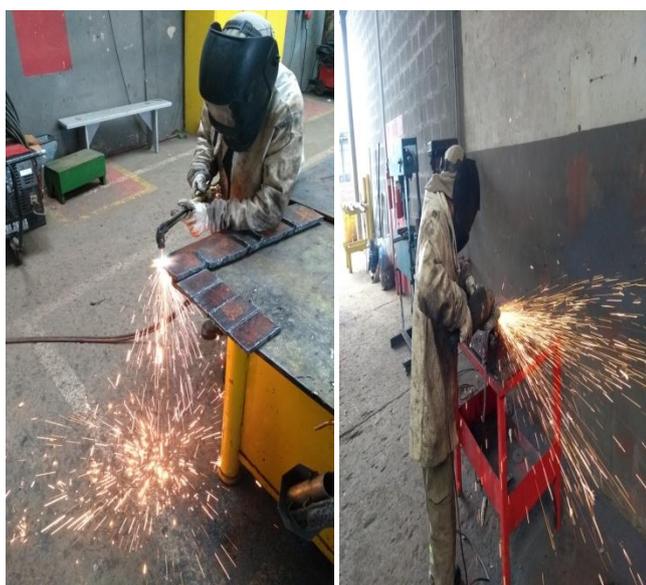
- Solda de Fabricação;
- Solda de Manutenção.

Onde, na solda de fabricação encontra-se a peça ou equipamento com material de base “novo”. Já na solda de manutenção encontramos peças ou equipamentos que estão em plena atividade, com um certo desgaste devido a uma série de fatores que podem influenciar na qualidade final do cordão de solda.

## 7. MATERIAIS E METODOS

O material para análise foi adquirido em chapas metálicas com a largura 75mm e espessura 1/2”, sendo estas as dimensões desejadas, porém em comprimento maior, sendo necessário corta-las, elas foram dimensionadas com comprimento de 125mm através do corte com kit oxicorte, foi optado por este tipo de corte devido a possibilidade de se chegar próximo a realidade do campo.

Figura 7: Processo de corte.



Fonte: O autor, 2019.

Após o corte foi realizado o processo de chanframento nos corpos de prova, de aproximadamente 45°, e posterior limpeza das mesmas com fluido de baixo ponto de fulgor (álcool etílico) para a remoção de impurezas, poeiras e gorduras que pudessem estar presentes nas peças.

Figura 8: Chanframento e limpeza das peças a serem soldadas.



Fonte: O autor, 2019.

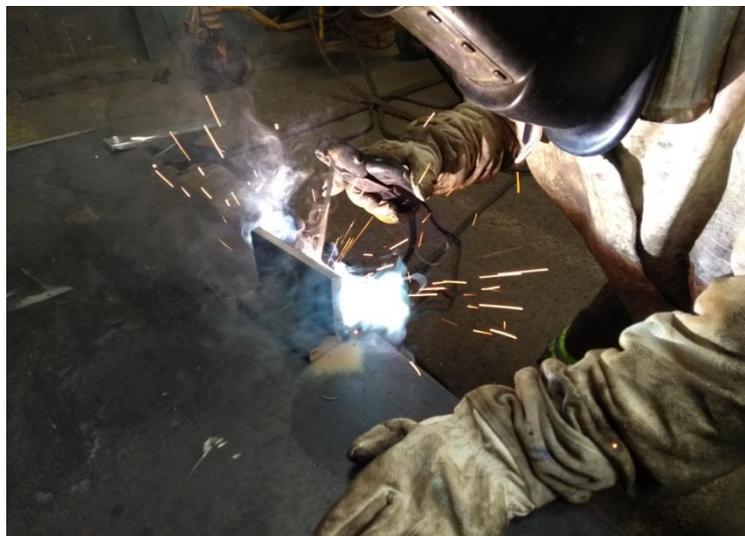
As soldas foram realizadas segundo as EPS's dos anexos A e B . Os corpos de provas foram soldados pelo soldador N2 da area de manutenção florestal. Foi utilizado Atal com 75% de CO<sub>2</sub> e 25% de argônio como gás de proteção para os processos MAG e eletrodo revestido OK48.04 E7018 para os processos SMAW. Seguindo os parâmetros de suas EPS em anexo.

Figura 9: Processo de soldag em MAG.



Fonte: O autor, 2019.

Figura 10: Processo de soldagem SMAW.



Fonte: O autor, 2019.

## 8. ANÁLISES E DISCUSSÕES

### 8.1. Análise com Líquido Penetrante

Após a soldagem dos corpos de provas, e o resfriamento que deu-se de maneira contínua e a temperatura ambiente, a primeira etapa de preparação para a análise com líquido penetrante, a limpeza da superfície, foi realizada segundo a Norma Petrobras N-1596 (2003), que orienta ser realizada sem o uso de escovas rotativa, dando preferência a análise com a superfície bruta, neste caso foi utilizado apenas escova manual, para a remoção de escória, cavacos e outros corpos estranhos da superfície, e após o escovamento, novamente a superfície foi limpa com álcool etílico a fim de remover gorduras do corpo de prova, sem proporcionar oxidação no material.

Figura 11: Limpeza das peças com escova manual.



Fonte: O autor, 2019.

Após a limpeza dos corpos de prova, iniciamos a aplicação do líquido penetrante da METAL-CHEK, a aplicação foi realizada em temperatura ambiente em torno dos 18°C, e o tempo de penetração esteve entre 10 e 15 minutos. O método de aplicação foi por pulverização, com cobertura total da superfície a ser analisada, o líquido penetrante utilizado é do tipo VP30 de contraste colorido.

Figura 12: Aplicação do Líquido Penetrante.



Fonte: O autor, 2019.

A remoção do excesso de líquido penetrante foi realizado com o removedor da METAL-CHEK R501, o mesmo foi aplicado em uma estopa afins de umidece-la, e passado na superfície do corpo de prova ate que não fosse mais evidenciado a pesença de líquido penetrante na peça.

Figura 13: Aplicação do removedor.



Fonte: O autor, 2019.

Após a secagem do removedor (em torno de 5 minutos), a terceira etapa do ensaio foi iniciada, com a aplicação do revelador METAL-CHEK D70, feita por pulverização, ressaltamos que neste teste nenhum soprador ou secador foi utilizado para acelerar os processos de secagem entre as aplicações. A seguir faremos a descrição dos resultados obtidos com

líquido penetrante.

Figura 14: Aplicação do revelador.



Fonte: O autor, 2019.

## 8.2. Soldagem MAG em chapa nova

A figura 15, é a representação do ensaio de líquido penetrante, no corpo de prova soldado pelo processo Mag em chapa nova. Para a fixação do corpo de prova, para a soldagem foi realizado uma solda ponto em suas extremidades, o que deixou uma irregularidade grosseira nas pontas do corpo de prova, a preparação para o ensaio não envolveu nenhum tipo de lixamento, e devido a isto em suas extremidades as irregularidades permaneceram, com a aplicação do revelador, uma mancha com contraste colorido foi evidenciada nas extremidades. Percebemos porém, que ao longo do cordão de solda houve uniformidade, havendo apenas um contraste mais marcante na peça, que pode facilmente ser confundido com uma trinca, porém é escória de solda, imperceptível a olho nu, que foi capaz de armazenar líquido penetrante sendo revelado pelo revelador, percebemos também que alguns contrastes em rosa estão no decorrer do cordão, porém associando o fato do cordão está com sua superfície bruta e que a geometria do cordão é convexa, este contraste é esperado, devido a um pequeno ângulo que se forma entre o material de adição e material de base, nesta geometria.

Figura 15: Análise líquido penetrante em solda MAG nova.



Fonte: O autor, 2019.

### **8.3. Soldagem MAG em chapa usada**

Da mesma forma que no ensaio com a soldagem MAG em chapa nova, percebemos na soldagem MAG em chapa usada que suas extremidades há um contraste levemente marcante devido a suas irregularidades, causada pelo processo de fixação. Porém ao longo do cordão de solda percebemos que há uniformidade do revelador, com apenas alguns contrastes mais evidenciados, estes contrastes não são considerados defeitos no processo de soldagem, pois segundo a norma supracitada, não é aconselhável nenhum processo de lixamento ou esmerilhamento na região de teste, e com isto a geometria do cordão foi mantida em sua configuração inicial, escórias podem ser notadas no lado superior esquerdo do cordão de solda. Temos boa uniformidade no cordão de solda, sendo que originalmente um cordão de solda tem irregularidades superficiais, devido ao movimento do soldador. A geometria do cordão de solda MAG em chapa usada é convexa.

Figura 16: Análise líquido penetrante em solda MAG em chapa usada.



Fonte: O autor, 2019.

#### 8.4. Soldagem Eletrodo em chapa nova

A soldagem com eletrodo revestido, é uma soldagem com geração de escória devido a configuração de seu material de adição. Os parâmetros de soldagem foram mantidos os mesmo que na soldagem MAG, e podemos perceber que houve a geração de respingos superior à dos outros corpos de provas, isto se dá pelo fato do eletrodo revestido, que funde mais rápido, mantendo os mesmos parâmetros de soldagem, principalmente a amperagem, teremos um aumento velocidade de deposição, associando isto a configuração do eletrodo, que por conter desoxidantes forma escória aumentando número de impurezas no cordão de solda, teremos uma formação de respingos considerável.

Também podemos perceber que não á poros evidentes ao longo do cordão de solda, percebemos que há uniformidade no revelador na solda, com apenas alguns contrastes mais evidenciados no material base, estes contrastes não são considerados defeitos no processo de soldagem.

Sua geometria é côncava.

Figura 17: Análise líquido penetrante em solda com eletrodo chapa nova.



Fonte: O autor, 2019.

### 8.5. Soldagem eletrodo em chapa usada

Os parâmetros de soldagem foram mantidos os mesmo que nas demais soldagem , e podemos perceber que houve menor geração de respingos à do outro corpo de prova.

Também podemos perceber que a geometria do cordão de solda teve maior disparidade que os demais corpos de provas.

Figura 18: Análise líquido penetrante em solda com eletrodo chapa usada.



Fonte: O autor, 2019.

## **8.6. Comparativo entre as análises após ensaio com líquido penetrante**

A análise com líquido penetrante busca detectar discontinuidades no cordão de solda e qualidade superficial da solda, neste contexto avaliamos se houve trincas, poros, respingos, mordeduras entre outras discontinuidades na superfície soldada.

A soldagem com processo MAG em chapa nova apresentou qualidade superficial superior aos demais corpos de prova, apresentando apenas escórias que não foram removidas no processo de limpeza com escova manual. A principal causa de sua superioridade está ligada a configuração do arame consumível e o material base ser novo.

A soldagem MAG em chapa usada, apresentou a geração de respingos, dentro do padrão aceitável, esta geração de respingos está associado ao material base e ao gás de proteção utilizado, pois a soldagem foi realizada com Atal 75% CO<sub>2</sub> e 25% Argônio, sendo aconselhável uma concentração de 3-5% O<sub>2</sub>, mesmo na soldagem MAG, o que ajuda a estabilizar o arco elétrico, melhorando a molhabilidade da poça de fusão pela diminuição da tensão superficial.

A soldagem com eletodo em chapa nova, apresentou um cordão de solda com boa qualidade superficial em toda sua extensão, podemos perceber que houve a geração de respingos superior à dos outros corpos de provas, isto se dá pelo fato do eletrodo revestido, que funde mais rápido, mantendo os mesmos parâmetros de soldagem, principalmente a amperagem, teremos um aumento velocidade de deposição. Não houve indícios de trincas ou poros no cordão de solda através do LP.

A soldagem com eletodo em chapa usada apresentou características semelhantes ao corpo de prova com material base novo, porém mostrou menor uniformidade no depósito de material de adição, isso ocorre devido a presença de impureza no material base, desestabilizando o arco elétrico, e a sensibilidade humana que interfere no movimento de soldagem.

## **8.7. Análise Macrográfica**

### **8.7.1. Preparação dos corpos de provas para análises de Macrografia e Micrografia**

O processo de preparação dos corpos de provas para as análises de micrografia e macrografia inicia-se com o corte abrasivo dos corpos de provas já soldados, o corte foi realizado em um policorte metalográfico altamente refrigerado, para evitar alterações térmicas ou por pressão no material. Ressaltamos que devido a soldagem, a dureza do material foi alterada, e a regulagem de pressão para o corte e controlada manualmente, devido a sensibilidade humana, em alguns corpos de provas poderemos perceber que houve uma pequena interferência do disco

abrasivo, devido a aplicação de pressão acima do ideal.

Figura 19: Policorte metalográfico com refrigeração.



Fonte: O autor, 2019.

Após o corte, foi necessário um processo de lixamento das superfícies a serem analisadas. Este lixamento foi sequencial utilizando as lixas com granulometria 80, 120, 220, 240, 320, 400, 600, 1200, respectivamente, em politrizes metalográficas refrigeradas com água a fim de evitar que o cavaco proveniente do processo de lixamento gerasse novos riscos na superfície. O lixamento constitui em segurar o corpo de prova sobre a politriz equipada com a lixa adequada, mudando sua orientação em 90 ° a cada lixa subsequente.

Figura 20: Sequência de lixas e processo de lixamento.



Fonte: O autor, 2019.

Finalizado o processo de lixamento, foi realizado o polimento da superfície, em uma politriz equipada com feltro e o abrasivo de alumina 1 $\mu$ m, mantendo a refrigeração com água.

Figura 21: Polimento das superfícies a serem analisadas com alumina.



Fonte: O autor, 2019.

Após as superfícies devidamente polidas, as mesmas foram atacadas com o ácido apropriado para análise em questão, para a análise de macrografia o reagente ácido utilizado foi ácido clorídrico, o mesmo foi preparado em proporção de 50% de volume de ácido clorídrico e 50% de água destilada, aquecidos em temperatura próxima a ebulição, chegando e mantendo aproximadamente 75°C.

Figura 22: Ataque da superfície com solução acida para macrografia.





Fonte: O autor, 2019.

Mantendo esta temperatura os corpos de provas foram imergidos na solução, com o auxílio de uma garra para que os mesmos não tocassem o fundo do recipiente, e mantidos por volta de 2 minutos na solução até que as segregações começassem a ser evidenciadas.

Após o ataque as peças foram lavadas com água a fim de parar a reação química, e posterior lavadas com álcool etílico a fim de facilitar a evaporação da água para que a oxidação fosse retardada. Para acelerar o processo de secagem foi utilizado um soprador térmico com a distância aproximada de 30 cm com ângulo de 70° da peça. Após a secagem a superfície estava pronta para a análise.

### **8.7.2. Soldagem MAG em chapa nova**

Após o ataque químico a macrografia foi observada a olho nu, sem a ampliação por lupa. Para os corpos de provas do processo de soldagem MAG, tivemos um cordão de solda com perna de 7mm, com convexidade de 4mm e garganta de 4 mm, percebemos no cordão direito uma falha entre o material de base e material de adição, esta descontinuidade não é caracterizada uma trinca e sim falta de penetração do cordão de solda no chanfro.

Esta descontinuidade foi capaz de armazenar uma quantidade extra de solução ácida, e a oxidação, mesmo após o processo de secagem, foi acelerada devido a solução que continha na descontinuidade.

Figura 23: Macrografia ataque com solução de ácido clorídrico, MAG em chapa nova nova.



Fonte: O autor, 2019.

Ao lado esquerdo notamos um cordão convexo, no entanto conseguimos visualmente concluir que há uma convexidade menor neste lado da peça, percebemos que deste lado há uma melhor penetração do material de adição, e a zona fundida foi de 1mm. A visualização da zona termicamente afetada foi prejudicada devido ao acúmulo de ácido na descontinuidade no chanfro, com isto a oxidação foi excessiva para a visualização da ZTA.

Na figura 33, foi registrado as segregações reveladas a olho nu após o ataque com Nital a 10%, ressaltamos que o ataque com Nital é próprio para análise de micrografia, porém, também revela macrograficamente as reações eletroquímicas do material com a solução ácida, nesta imagem podemos perceber linhas de interferências térmicas do processo de corte abrasivo.

Figura 24: Macrografia processo de soldagem MAG, com solução Nital 10%.



Fonte: O autor, 2019.

### 8.7.3. Soldagem MAG em chapa usada

O processo de soldagem MAG, foi realizado pelo soldador N2 nos dois lados da peça, porém embora a técnica e parâmetros de soldagem sejam os mesmos podemos perceber uma diferença na geometria do cordão, isto devido a sensibilidade humana, e o pré-aquecimento da peça após o primeiro cordão de solda, ressaltamos este processo no entanto pode ser 100% automatizado, o que reduziria tais diferenças devido a precisão robótica.

Percebemos no cordão esquerdo e no direito uma falha entre o material de base e material de adição, esta descontinuidade não é caracterizada uma trinca e sim falta de penetração do cordão de solda no chanfro.

Em relação aos cordões de soldas ao lado esquerdo da peça podemos observar que quase não há convexidade e ao lado direito do corpo de prova temos uma convexidade de 1mm, percebemos também que no lado esquerdo há falta de penetração, tanto no chanfro, quanto nas paredes vertical e horizontal do material de base.

Ao lado direito da peça podemos observar que quase não há convexidade, a penetração do material de adição foi melhorada, podemos perceber isto tanto na parte chanfrada quanto nas paredes do material, identificando uma penetração de 1mm no material de base, como já mencionado este fato está relacionado com a sensibilidade humana e com a temperatura inicial da peça, o lado direito foi o segundo cordão de solda nesta junta, com isto o calor transferido

pelo primeiro cordão de solda do lado esquerdo, pré aqueceu a peça favorecendo a penetração do material de adição.

Figura 25: Macrografia processo de soldagem MAG usada.

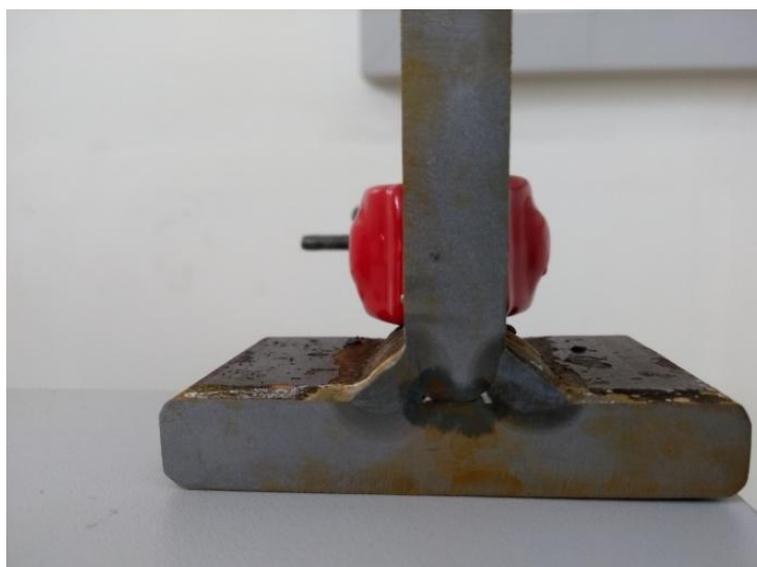


Fonte: O autor, 2019.

#### **8.7.4. Soldagem com eletrodo em chapa nova**

A figura 26, é a representação fotográfica da macrografia do corpo de prova do processo de soldagem com eletrodo revestido em chapa nova. O cordão de solda deste processo tem uma geometria semi-côncava, houve penetração no material de base, porém no chanfro não houve penetração adequada, como nos demais corpos de provas nesta descontinuidade houve acúmulo de solução ácida, acelerando o processo de oxidação das peças, neste corpo de prova, no entanto ficou mais evidentes manchas na peça.

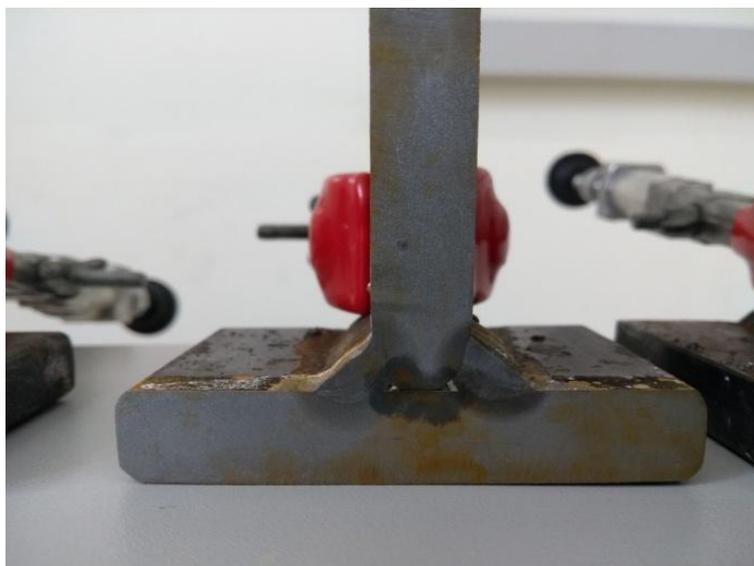
Figura 26: Macrografia processo de soldagem com eletrodo chapa nova.



Fonte: O autor, 2019.

A figura 27, nos deixa mais evidente a zona termicamente afetada pelo processo de soldagem, assim como os demais corpos de provas, a visualização foi dificultada devido ao acúmulo de solução ácida no chanfro, porém podemos perceber uma ZTA de aproximadamente 2mm.

Figura 27: ZTA processo de soldagem SMAW.

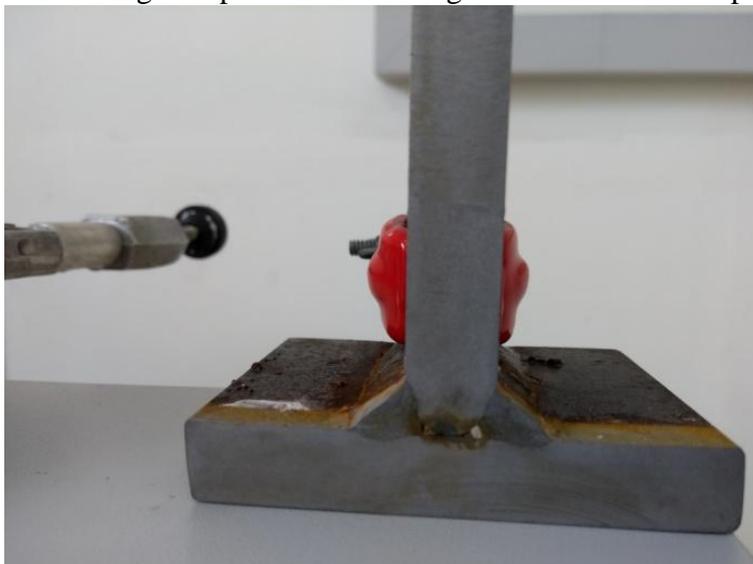


Fonte: O autor, 2019.

### 8.7.5. Soldagem com eletrodo em chapa usada

A figura 28, é a representação fotográfica da macrografia do corpo de prova do processo de soldagem com eletrodo revestido em chapa usada. O cordão de solda deste processo tem uma geometria semi-côncava, assim como em outros corpos de prova percebemos nos cordões de solda uma falha entre o material de base e material de adição, esta descontinuidade não é caracterizada uma trinca e sim falta de penetração do cordão de solda no chanfro. Também podemos observar uma melhor penetração do material de adição no cordão esquerdo.

Figura 28: Macrografia processo de soldagem com eletrodo chapa usada.



Fonte: O autor, 2019.

### 8.7.6. Comparativo entre as análises após ensaio de Macrografia

As análises de macrografia buscam avaliar as descontinuidades internas no cordão de solda, bem como zona termicamente afetada, pelo processo de soldagem. Comparando os corpos de provas macrograficamente, tivemos resultados bem semelhantes em ambos, devido a isto cabe-nos os comentários pertinentes a cada amostra.

O chanfro foi realizado para melhorar a penetração, porém este processo não foi efetivo em nossos testes, devido as dimensões das chapas soldadas, as mesmas eram de dimensões de 1/2", ocasionando um ângulo com área de contato pequena entre as peças. Devido a isto temos em todos nossos testes uma falta de penetração interna, na área chanfrada.

Entre os outros aspectos que a macrografia busca avaliar, não tivemos trincas, poros ou outras descontinuidades geradas pelo processo de solidificação do cordão de solda em nenhum de nossos corpos de provas.

É possível perceber que a falta de penetração não foi de tamanho linear em todas as amostras, bem como a geometria do cordão também não foi obtida de maneira linear. Interligando tais fatos concluímos que a geometria com menos convexidade resulta em maior penetração do material de adição na parte chanfrada da peça e no material de base.

Embora não tenhamos marcado qual dos lados foi soldado primeiro, concluímos, segundo a geometria obtida e penetração resultante, que o lado o qual apresenta melhor penetração e menor convexidade foi o segundo lado a ser soldado, pois o calor dissipado no primeiro cordão de solda, fez o pré-aquecimento da junta, procedimento que melhora a penetração do material de adição, devido ao material de base fundir-se mais facilmente.

No corpo de prova soldado pelo processo MAG, não houve efetiva penetração no chanfro em nenhum dos lados, isto devido a velocidade de soldagem, como o arame fundi mais rápido, obriga o soldador “puxar” o eletrodo de maneira mais rápida, esta velocidade influenciou diretamente na deposição de material, embora não haja convexidade na junta, a massa de material depositado foi menor, não penetrando no chanfro. Desta maneira é seguro afirmar, que é necessário manter um ajuste entre a geometria côncava e convexa, a geometria convexa pode ser o indicador que o material de adição não está tendo penetração adequada na junta, e a geometria côncava o indicador de pouco material de adição sendo depositado.

Em relação a zona termicamente afetada, podemos concluir que a falta de penetração no chanfro afetou tal análise, pois a solução ácida contida nesta descontinuidade espalhou-se na superfície após a secagem, sendo de forma gradativa absorvida pelo material, o que causou manchas devido a reação eletroquímica, mascarando a ZTA.

### **8.8. Análise de Micrografia**

A preparação do corpo de prova para micrografia de forma geral é muito semelhante a preparação para macrografia, sendo distinta apenas pelo reagente de ataque, a solução utilizada foi uma solução de Nital a 10%, foi utilizado 90 ml de álcool etílico e 10ml de ácido nítrico. Esta solução foi utilizada em temperatura ambiente, sem a necessidade de aquecimento. O processo de frenagem da reação e secagem foi o mesmo já mencionado para macrografia. A análise micrográfica foi realizado com o microscópio metalográfico XJP-H200.

Figura 29: Ataque das superfícies com solução ácida para micrografia.

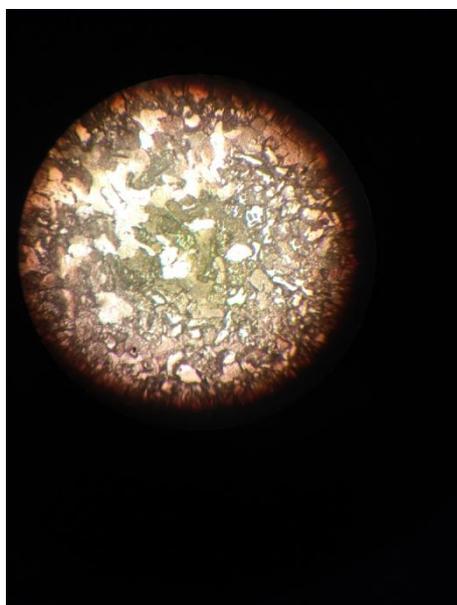


Fonte: O autor, 2019.

### 8.8.1. Microestrutura do material de base em chapa nova

A figura 30, representa a microestrutura do material de base, da junta soldada pelo processo MAG em chapa nova, como o material usado nos corpos de provas é o mesmo, podemos perceber a mesma microestrutura, com a formação de perlita e ferrita levemente esferoidizada. A diferença em contraste é justificada pela variação de luminosidade no microscópio. Vemos nesta amostra, no entanto, que houve um aumento na porcentagem de perlita (grãos escuros) na microestrutura, e mudança no tamanho dos grãos austeníticos, que é maior visivelmente na amostra MAG, esta estrutura representa que a secção estuda está mais próxima da ZTA.

Figura 30: Micrografia material de base, junta soldada pelo processo MAG em chapa nova.



Fonte: O autor, 2019.

A seguir apresentamos a microestrutura relatada, com embasamento na descrição da bibliografia.

Figura 31: Região onde ocorreu leve esferoidização dos carbonetos de perlita. Ferrita e perlita levemente esferoidizada.



Fonte: Colpaert, 2008.

### 8.8.2. Microestrutura do material de adição

Segundo a classificação do arame AWS 5.18 ER70 S-6 arame utilizado para soldagem MAG a composição química do arame é apresentada na tabela 10.

Tabela 9- Composição arame ER70S-6.

CARBONO	SILICIO	MANGANES	FOSFORO	ENXOFRE	COBRE
0,06 a 0,15	0,8 a 1,15	1,4 a 1,85	0,025 máx.	0,035 máx.	0,5 máx.

Fonte: Belgo Bekaert Arames, 2013.

A figura 32, tem ampliação de 400x, e representa a microestrutura do material de adição do processo de soldagem MAG, conseguimos identificar a formação de perlita e ferrita.

Figura 32: Micrografia material de adição MAG em chapa nova.



Fonte: O autor, 2019.

A configuração dos grãos formam uma estrutura característica de bainita, uma estrutura intermediária entre a formação de perlita e cementita no resfriamento, a formação da perlita e da bainita se confundem na curva de resfriamento, sendo de difícil distinção entre elas, para fundamentar a conclusão da formação desta estrutura trazemos a imagem da bibliografia de Colpaert (2008) com a devida identificação para comparações.

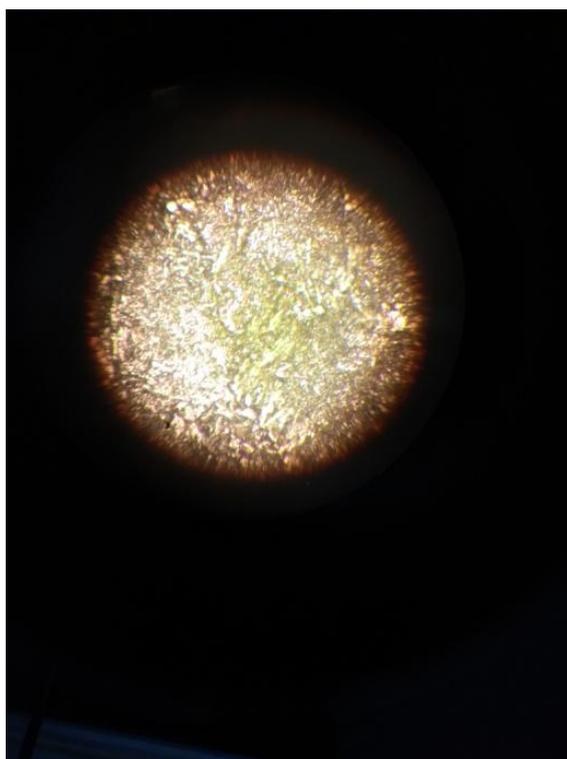
Figura 33: Estrutura Bainítica.



Fonte: Colpaert, 2008.

A figura 34, representa a micrografia com ampliação de 400x, do material de adição do processo de soldagem com eletrodo em chapa nova, devido a concentração de carbono ser mais baixa identificamos uma redução no percentual de perlita, porém a composição característica é ferrita e perlita, não identificamos a formação de bainita neste material de adição.

Figura 34: Micrografia material de adição pelo processo eletrodo novo.



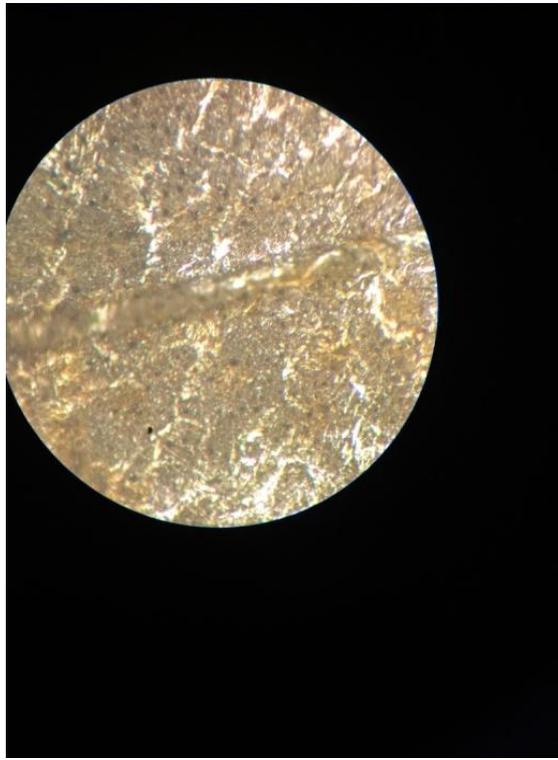
Fonte: O autor, 2019.

### 8.8.3. Linha de fusão

A figura 35, representa o material de base e material de adição do processo de soldagem MAG em chapa nova, a linha de fusão neste corpo de prova não é tão marcante quanto nos demais testes, é possível confundir material de base com material de adição, associamos isto a uma excelente fusão entre material de base e material de adição. É possível concluir também que o resfriamento foi linear, apresenta um crescimento de grãos mais controlado e a diferença de concentração de perlita não é tão expressivo quanto nos demais corpos de prova.

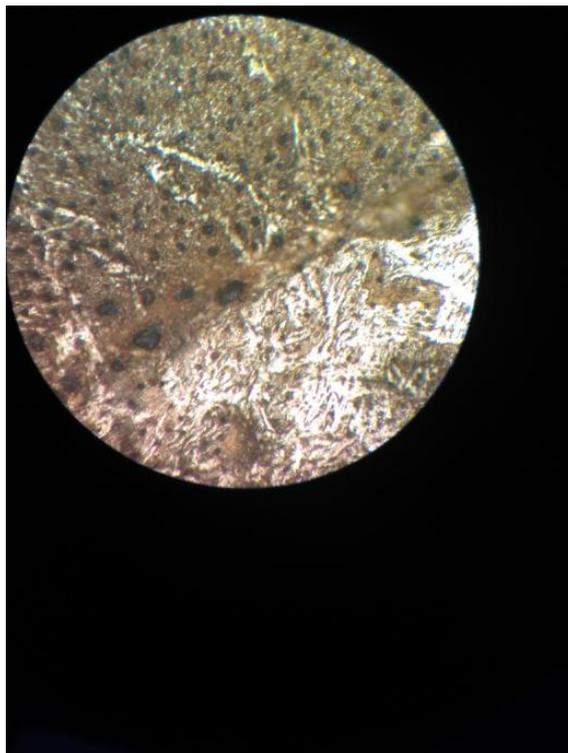
A figura 36, mostra claramente a divisão entre material de base e material de adição, no processo MAG em chapa usada com ampliação de 400x. podemos ver o crescimento competitivo dos grãos, onde os grão com melhor orientação cristalográfica crescem impedindo o crescimento de alguns grãos. Percebemos claramente na linha de fusão, uma pequena parcela de crescimento epitaxial, e também o refino de grãos no material de base.

Figura 35: Material de adição X material de base, processo de soldagem MAG em chapa nova.



Fonte: O autor, 2019.

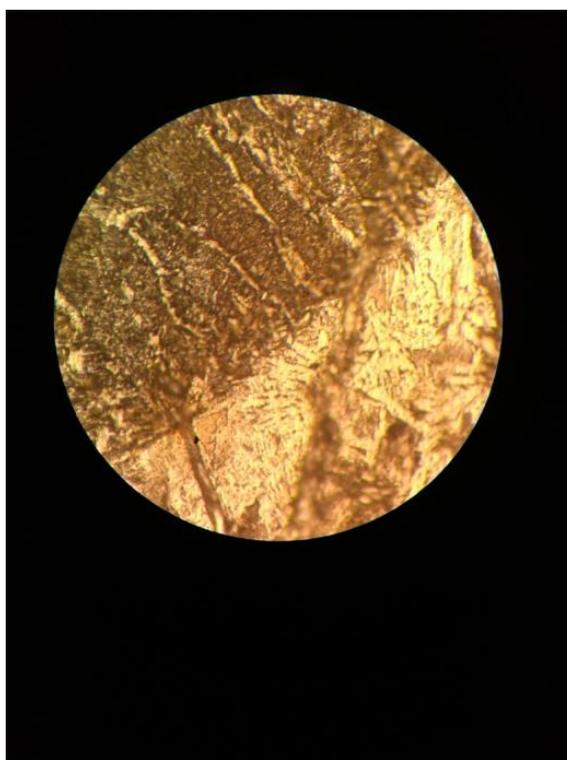
Figura 36: Material de adição X material de base MAG em chapa usada.



Fonte: O autor, 2019.

A figura 37, é a representação da linha de fusão entre o material de adição e material de base do processo de soldagem com eletrodo revestido em chapa usada, percebemos o crescimento de grão na linha e fusão, e nesta microfotografia percebemos mais marcante do que nas demais o crescimento epitaxial, onde os grãos do material de adição crescem em direção a fonte de calor de soldagem, após este crescimento novos grãos do material de adição começam a nuclear-se, formando perlita e ferrita, percebemos o contorno de grãos austenítico e a transformação marcante entre a composição de perlita entre um material e outro.

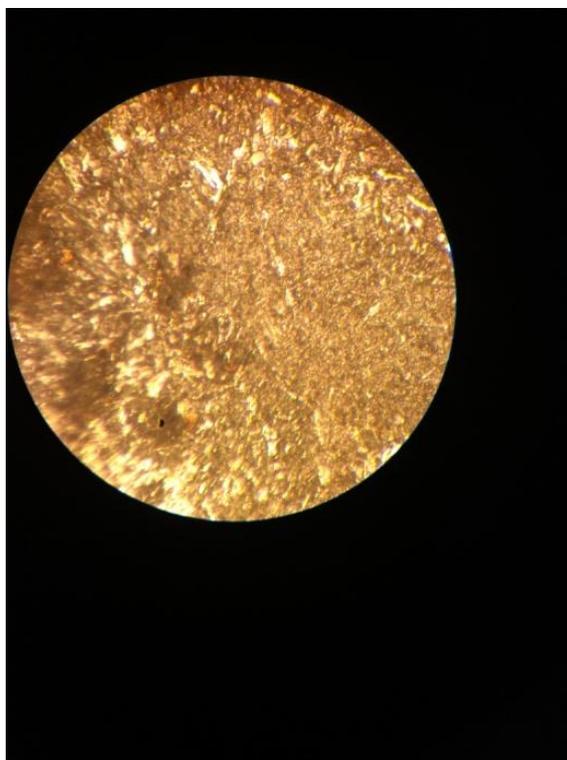
Figura 37: Material de adição X material de base, processo de soldagem eletrodo em chapa usada.



Fonte: O autor, 2019.

A figura 38, representa o material de base e material de adição do processo de soldagem SMAW em chapa nova, a linha de fusão neste corpo de prova não é tão marcante quanto nos demais testes, é possível confundir material de base com material de adição, associamos isto a uma excelente fusão entre material de base e material de adição. É possível concluir também que o resfriamento foi linear, apresenta um crescimento de grãos mais controlado e a diferença de concentração de perlita e ferrita não é tão expressivo quanto nos demais corpos de prova.

Figura 38: Material de adição X material de base, processo de soldagem eletrodo em chapa nova.

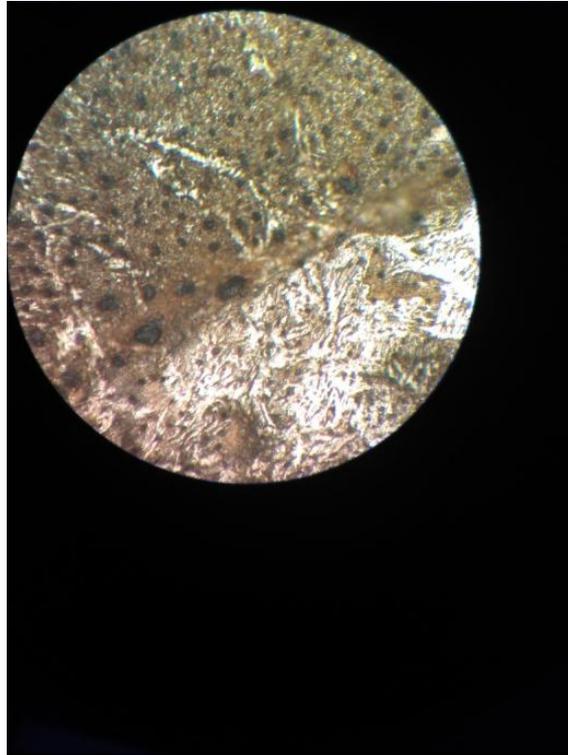


Fonte: O autor, 2019.

#### **8.8.4. Micro descontinuidades**

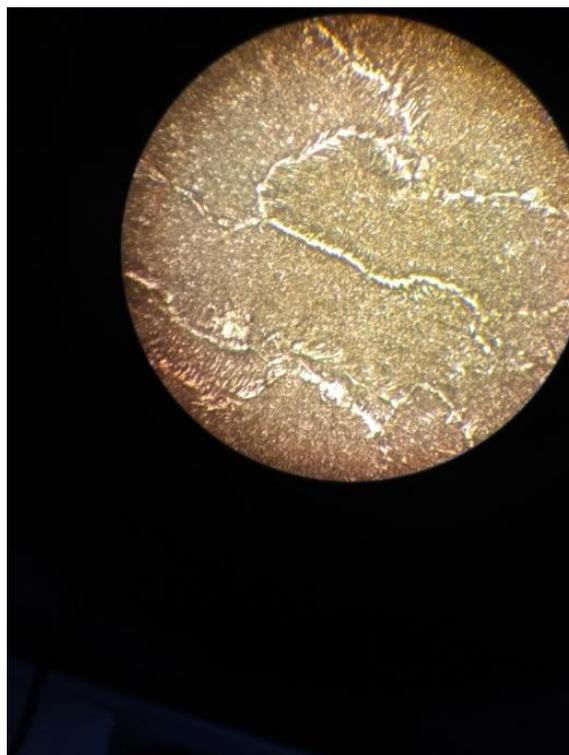
No processo de soldagem quando se analisa trincas, poros ou descontinuidades o momento de maior interesse é a solidificação, pois neste momento o material está com alta solubilidade de gases e está sofrendo uma serie de transformações físicas e químicas. As figuras 39, 40 e 41, apresentam uma serie de segregações nos corpos de provas analisados. Podemos identificar altos índices de poros no material de adição do processo MAG em chapa usada.

Figura 39: Poros no processo de soldagem MAG, material de adição x base em chapa usada.



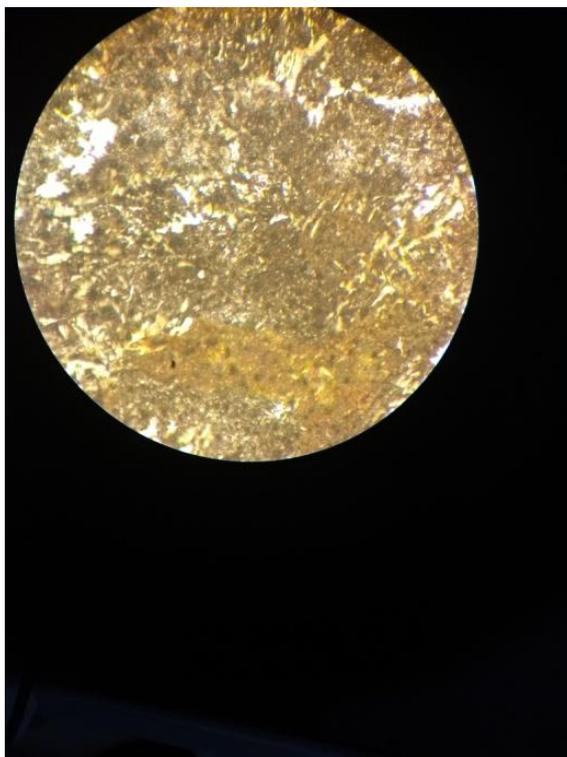
Fonte: O autor, 2019.

Figura 40: Segregações causadas no processo de soldagem MAG, material de adição em chapa nova.



Fonte: O autor, 2019.

Figura 41: Microporos gerados pelo processo de soldagem SMAW no material de adição em chapa nova.



Fonte: O autor, 2019

#### **8.8.5. Comparativo entre as análises após ensaio de Micrografia**

A análise metalográfica é uma técnica que traz uma gama altíssima de informações sobre o objeto de estudo, também é uma técnica que requer grande habilidade e afinidade com seus conceitos, devido a isto apresentamos apenas os aspectos mais relevantes neste estudo. Comparativamente os quatro corpos de prova apresentaram características semelhantes, inclusive na formação de segregações, as estruturas apresentaram-se de maneiras já esperadas no estudo bibliográfico.

O material de base apresenta uma configuração típica de uma liga a qual sofre um tratamento térmico, esta configuração é obtida através do processo de conformação para obtenção de chapas finas, a laminação a quente, sem resfriamento acelerado. A estrutura característica formada foi a composição de perlita e ferrita, a ferrita grãos claros apresenta alta ductibilidade, enquanto a perlita, que é formada por lamelas de ferrita e cementita forma uma matriz com alta dureza (cementita), ela também apresenta razoável tenacidade, boa resistência mecânica, resistência ao desgaste e resistência a fadiga. Apartir de tais considerações, é seguro afirmar que a estrutura a qual possui maior fração de perlita, é portanto a secção mais frágil.

No material de base do corpo de prova para soldagem MAG em chapa nova, percebemos que o tamanho dos grãos de ferrita são mais lineares. Nos materiais de base nos corpos de provas para soldagem SMAW, percebemos que há um aumento nas colônias de perlita, nestas colônias percebemos melhor as lamelas de ferrita e cementita, devido a configuração atingida, sendo perlita esferoidizada, nestes corpos de prova, há um aumento na concentração de perlita, porém sendo ela esferoidizada, confere ao material uma boa ductibilidade, e ainda temos uma configuração de grãos a qual na tenacidade não foi comprometida, devido a proporção de ferrita.

Nos material de adição para os corpos de provas MAG, tivemos uma configuração estrutural bem semelhante, associamos esta configuração a composição do arame de soldagem, o qual possui a mesma composição para ambos os casos. Identificamos nestas seções a formação de perlita e ferrita, e uma estrutura intermediária a formação de perlita- a bainita, sua formação visível é caracterizada como ripas de ferrita separadas por cementita, ou ferritas alongadas na forma de agulhas, sendo esta chamada acicular, ou bainita inferior, na microestrutura do processo MAG caracterizamos a estrutura encontrada como bainita inferior, percebemos que ferrita-grãos claros, tem proporção menor, sendo que as lamelas de cementita-grãos escuros, é predominante, esta configuração forma uma matriz altamente dura, porém com baixa tenacidade. No material de adição do processo com eletrodo revestido, não detectamos a presença de bainita, porém a proporção de perlita nesta estrutura é predominante, configurando uma estrutura com baixa tenacidade e alta dureza. Embora estas estruturas se apresentem de tal forma que seria fácil acreditar que estariam mais sujeitas a fratura, estas estruturas apresentam granulação fina, o que confere a elas boas propriedades mecânicas, sendo que regiões próximas a elas na ZTA, estão mais sujeitas a trincas e fraturas devido a granulação grosseira.

A linha de fusão entre material de base e material de adição ficou extremamente evidente nos corpos de provas dos processos MAG em chapa usada, e uma linha de fusão mais discreta no processo MAG em chapa nova. Formando uma estrutura característica deste ponto, identificamos o crescimento epitaxial, onde grãos do material de base crescem em direção a fonte de calor, sem a nucleação de novos grãos, e também a crescimento competitivo de grãos no material de adição, onde percebe-se alguns grãos com tamanho menor devido a outros grãos com melhor orientação cristalográfica crescerem em sua frente, impedindo seu crescimento e delimitando seu contorno de grão. A região onde os grãos são maiores possuem índice de ductibilidade menor, porém tem alta resistência a tração, associando baixa tenacidade a estes grãos e sujeição a fratura.

Percebemos em todos os corpos de provas, que há descontinuidade significativas, principalmente em regiões próximas a alguma extremidade do material. Durante a solidificação ocorre uma contração de aproximadamente 4% do volume devido a diferença de densidade entre o aço sólido e líquido, para garantir a ausência de vazios é necessário concentrar esta contração em uma parte do fundido, segundo Colpaert (2008). Quando em uma determinada

região coexistem sólido e líquido, surgem dificuldade de escoamento do líquido, necessário para a compensação da contração, quando o fluxo do líquido não for suficiente, em função da existência de uma zona pastosa o movimento do líquido para compensar a contração resulta em microporos.

Não identificamos nenhuma trinca nos corpos de prova dos processos MAG e SMAW, Colpaert (2008) explica trincas como resultado de um resfriamento insuficientemente uniforme, maior heterogeneidade de temperatura cria gradientes de temperatura no interior da peça, e conseqüentemente gradientes de tensões, associado a diferentes contrações térmicas, ocasionando trincas.

## 9. CONCLUSÃO

Os cordões de solda realizados em material base novo apresentaram maior uniformidade em relação ao material de base usada. Quanto ao material de adição, o eletrodo revestido se mostrou com melhor soldabilidade em ambos os materiais de base.

A elaboração das amostras, e preparação das mesmas para os ensaios, foram de fundamental importância para compreender alguns resultados, como marcas do disco abrasivo, ou manchas de solução ácida nas peças.

A análise com líquido penetrante, revelou aspectos já imaginados e aspectos não desejados segundo a bibliografia. As amostras do processo MAG corresponderam em grande parte o que nossa revisão afirmava, uma boa qualidade superficial e baixo nível de respingo. Porém a soldagem com Eletrodo revestido apresentou qualidade superficial dentro do padrão esperado segundo as bibliografias abordadas, com a formação de um nível considerável de respingos.

Para a análise de macrografia, também obtivemos alguns resultados inesperados, como a má penetração no chanfro, este resultado foi obtido devido a realização de chanfro em peças finas, ao se realizar estes chanfros deixamos um ângulo obtuso com uma área muito pequena para a penetração da soldagem, sendo inefetivo nestes casos. A penetração no material de base, foi melhorada no segundo cordão de solda, atribuindo ao pré-aquecimento tal melhora. Nos demais aspectos que a macrografia busca avaliar tivemos bons resultados, sem a presença de trincas ou outras descontinuidades que comprometeriam a qualidade da solda. O acúmulo de solução ácida na secção do chanfro sem preenchimento de solda, afetou de forma significativa a visualização da zona termicamente afetada.

A análise de micrografia demonstrou-se desafiadora, devido a sua complexidade, abrangência de seus conteúdos e aplicações, devido a isto foi sintetizado tanto a revisão bibliográfica quanto o foco de estudo. Concluímos que quanto maior a concentração de perlita, maior dureza é conferida ao material, bem como o aumento de ferrita aumenta a tenacidade. Em relação ao material de adição tivemos composições de perlita e ferrita, bem semelhantes em ambos os corpos de prova, porém a identificação de bainita no processo MAG conferem a este corpo de prova menor tenacidade que no processo com eletrodo revestido. Na linha de fusão é possível identificar a região de granulação grosseira onde devido ao crescimento de grãos e devido a presença de perlita (grãos escuros) sua tenacidade é comprometida, estando esta secção mais sujeita a trincas.

Sendo assim, os resultados obtidos foram na maior parte, de encontro com o que nos mostrou a bibliografia. Os corpos de prova de material novo mostraram uma melhor soldabilidade, devido a ausência de tratamentos térmicos desconhecidos sofridos pelo material.

## REFERÊNCIAS

ALLGAYER, Alexandre André. Caracterização Das Propriedades Mecânicas E Metalúrgicas De Uma Junta De Aço ASTM A36 Soldado Pelo Processo De Arco Submerso (SAW) Com Diferentes Aportes Térmicos.2017. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 3-95**: American Society for Testing and Materials. 3 ed. United States: ASTM, 1982.

AMERICAN WELDING SOCIETY. **D1.1/D1.1M**: Structural Welding Code— Steel. 19th ed. Miami: AWS, 2004.

COLPAERT, H. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2008.

COMISSÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **N-1590**: Ensaio não-destrutivo-Qualificação de pessoal. Brasil: Petrobras, 2003.

COMISSÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **N-1596**: Ensaio não-destrutivo-Líquido penetrante. Brasil: Petrobras, 2003.

COMISSÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **N-2370** -Líquido penetrante. Brasil: Petrobras, 2003.

DURER, C.H. et al. **Ensaio de Líquido Penetrante**. Piracicaba, Escola de Engenharia de Piracicaba, 2010

FILHO, C. A. **Metalurgia da Soldagem**. Belém: CEFET-PA, 2008.

FORTES, C. **Metalurgia da Soldagem**. ESAB BR, 2004.

MACHADO, I. G. **Soldagem e Técnicas Conexas: Processos**. Porto Alegre: Editado Pelo Autor, 1996.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J. **Soldagem I: Introdução aos Processos de Soldagem**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.

MODENESI, P. J. **Soldagem I: Normas e Qualificação em Soldagem**. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.

ROHDE, R. A. **Metalografia: Preparação de Amostras**. 3. ed. Santo Ângelo: LEMM Laboratório de Ensaios Mecânicos e Materiais, 2010.

SABESP. **Norma Técnica Interna SABESP: NTS 034 Soldagem**. São Paulo, 1999.

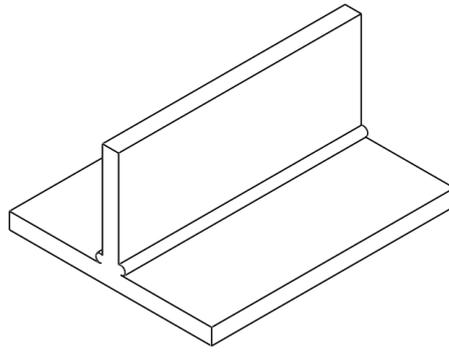
SECCO, M. A. **Soldagem: Processo por Eletrodo Revestido**. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI. Curitiba, 2002.

WAINER, E.; BRANDI, S.D.; MELLO, F. D. H. **Soldagem: Processos e Metalurgia**. São Paulo: Blucher Ltda, 2004.

## ANEXO A – EPS MAG

ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (EPS)	
Nome da Companhia: KLABIN S/A	
EPS No: 01	
Data: 08/14/2019	
Processo(s) de soldagem: MAG	
Tipo: Semiautomático	
<b>JUNTAS:</b> Projeto da Junta: Junta T Cobre Junta: Não Outro: CJP- penetração parcial Tamanho da perna da solda:	<b>CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS:</b> Corrente: CC Polaridade: + Faixa de corrente: 140 A Tensão: 24 volts
<b>METAIS DE BASE:</b> Tipo: ASTM A-36 Faixa de espessura: 1/2” Outro: chanfro k	<b>TÉCNICA:</b> Dimensão do bocal: 25mm Dist. Bico de contato-peça: 15 mm Cordão: reto
<b>METAIS DE ADIÇÃO E FLUXOS:</b> Classif. AWS 5.18 ER70S-6 Marca comercial: ESAB Dimensões: $\phi$ 1,0 mm	Número de passes (por lado): 1 passe Eletrodo: Simples Velocidade de soldagem (faixa): 2,74 m/s Posição: Plana
<b>GÁS:</b> Gás(es) de proteção: 75% de CO <sub>2</sub> e 25% de argônio Vazão: 10L/min Outro: Pressão 10kgf/cm <sup>2</sup>	

DETALHES DA JUNTA:

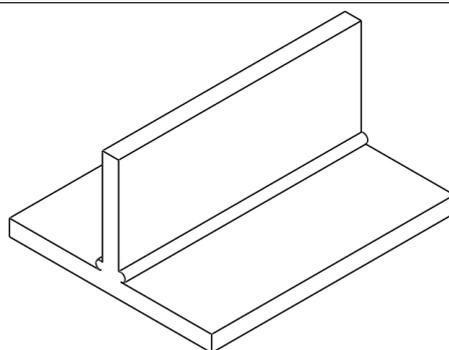


N° do Passe	Processo	Metal de adição		Corrente		Faixa de Tensão	Velocidade de Soldagem (mm/s)
		Classe	Diâmetro	Pol.	Faixa (A)		
1	MAG	AWS 5.18 ER70S-6	1,0mm	CC+	140	24V	2,74 m/s

**ANEXO B – EPS SMAW**

ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (EPS)	
Nome da Companhia: KLABINS/A	
EPS No: 02	
Data: 08/04/2019	
Processo(s) de soldagem: SMAW	
Tipo: Manual	
<b>JUNTAS:</b> Projeto da Junta: Junta T Cobre Junta: Não Outro: CJP- penetração parcial Tamanho da perna da solda:	<b>CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS:</b> Corrente: CC Polaridade: + Faixa de corrente: 150 A Tensão: 24 volts
<b>METAIS DE BASE:</b> Tipo: ASTM A-36 Faixa de espessura: 1/2” Outro: chanfro k	<b>TÉCNICA:</b> Dimensão do bocal: Dist. Bico de contato-peça: 8mm Cordão: reto
<b>METAIS DE ADIÇÃO E FLUXOS:</b> Classif.: OK48.04 E7018 Marca comercial: ESAB Dimensões: $\phi 3,25\text{mm}$ Outro:	Número de passes (por lado): 1 passe Eletrodo: Simples Velocidade de soldagem (faixa): -- Posição: Plana
<b>GÁS:</b> Gás(es) de proteção: Vazão: Outro:	

## DETALHES DA JUNTA:



N° do Passe	Processo	Metal de adição		Corrente		Faixa de Tensão	Velocidade de Soldagem (mm/s)
		Classe	Diâmetro	Pol.	Faixa (A)		
1	SMAW	OK48.04 E7018	3,25mm	CC+	150 A	24V	-