

**Jorismar de Lima Xavier**

**ESTUDO DA SOLDABILIDADE E DA CORROSÃO DE CHAPAS  
ZINCADAS PELO PROCESSO MIG/MAG.**

Monografia apresentada ao Programa de  
Educação Continuada em Engenharia da Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo para  
conclusão de curso de Especialização.

São Paulo  
Setembro/2012

**Jorismar de Lima Xavier**  
(Técnico em Mecânica Industrial, SENAI)

**ESTUDO DA SOLDABILIDADE E DA CORROSÃO DE CHAPAS  
ZINCADAS PELO PROCESSO MIG/MAG.**

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para conclusão de curso de Especialização.

Área de Concentração: Engenharia da Soldagem

Orientador: Dr. Sérgio Duarte Brandi  
Co-orientador: Eng.<sup>º</sup> Jaime Casanova Soeiro Junior

São Paulo  
Setembro/2012

Todo homem é construtor do seu próprio templo. Somos escultores e pintores, e o material é nossa própria carne, sangue e ossos. (Henry David Thoreau)

## **DEDICATÓRIA**

*Dedico este trabalho à minha esposa Edluzia dos Santos Nascimento, que soube cuidar dos filhos e do lar enquanto estive distante da família, aos meus filhos Jordann Nascimento Xavier e Jhonicley Muniz Xavier e a meus pais José Antonio Xavier e Zélia*

*Ana de Lima Xavier.*

*Sem o apoio de vocês não teria chegado até aqui. Obrigado!*

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar a Deus acima de tudo;

Ao professor Brandi como orientador e ao amigo Jaime Casanova aluno de Mestrado pelo grande apoio e paciência na execução do trabalho;

A minha esposa pela paciência e por me incentivar em momentos difíceis;

Aos meus filhos e meus pais pelo carinho e dedicação;

Aos parceiros por me ajudarem nos experimentos do trabalho;

Aos meus amigos do curso de especialização em engenharia de soldagem do PECE da Escola Politécnica da USP;

Ao Prof. José de Deus Brito e ao Laboratório de ensaios mecânicos "Team Lab";

Ao Laboratório de ensaios Tork por conseguir os ensaios de corrosão em tempo hábil;

Ao meu colega e aluno de Mestrado Dany;

A empresa VALE e meu amigo Alan Rocha pelas ausências no trabalho para concluir esta especialização;

A todos, que direta ou indiretamente ajudaram na execução do presente trabalho.

## **CURRICULUM VITAE**

Formado em Ciências Contábeis pela Faculdade FAFIT-FACIC, Itararé, São Paulo, 2005, Formado em Técnico Mecânico Industrial pelo SENAI, Jaguariaíva, Paraná, 2008, Inspetor de Soldagem N1, pela FBTS, 2008. Experiência de 17 anos na área industrial, atuando em diversos seguimentos como: mineração, papeleiro, siderurgia, químico e metalurgia, inicio de atuação na área industrial em 1995 à 1999, atuando como mecânico de manutenção industrial, soldador TIG, Eletrodo Revestido e MIG/MAG. No ano de 2000 atuando como coordenador e supervisor de equipes de montagem e manutenção eletromecânica em todo território nacional.

## **RESUMO**

A soldagem de chapas zincadas é um tema importante para a fabricação de componentes sujeitos a diferentes tipos de meios corrosivos. Neste trabalho foi estudada a soldagem MAG, utilizando uma mistura binária (75% Ar + 25% CO<sub>2</sub>); arame sólido (ER 70S-6), utilizando parâmetros de soldagem para união de juntas de topo utilizando chapas finas zincadas de aço com 1,5 mm de espessura. As chapas foram soldadas e receberam diferentes acabamentos após a soldagem: galvanização instantânea a frio (CRZ) e tinta alumínio. As juntas soldadas foram ensaiadas para verificar sua aceitação segundo os critérios da norma ASME IX. Os corpos-de-prova obtidos foram caracterizados metalograficamente e submetidos ao ensaio de névoa salina. Os resultados mostraram que as chapas zincadas soldadas foram aprovadas pela norma ASME IX. A caracterização metalográfica do metal de solda mostrou que as alterações microestruturais não foram suficientes para alterar as propriedades mecânicas das juntas soldadas. Os resultados dos ensaios de névoa salina mostraram que as melhores proteções para as juntas soldadas foram a galvanização instantânea a frio (CRZ), utilizando-se duas demãos de tinta, e a galvanização instantânea a frio (CRZ), seguida de uma demão de tinta alumínio.

## **ABSTRACT**

The welding of galvanized steel sheet is an important issue for the fabrication of components subject to different types of corrosive environments. In this study, the MAG welding, using a binary mixture (75% Ar + 25% CO<sub>2</sub>); solid wire classification AWS ER 70S-6, using welding parameters for joining butt joints using thin sheets of galvanized steel with 1.5 mm thick. The plates were welded and given different finishes after welding, such as: instantaneous cold galvanizing (CRZ) and aluminum paint. The welded joints were tested to verify their acceptance according to the criteria of ASME IX. The samples were characterized metallographically and subjected to salt spray testing. The results showed that the galvanized sheet metals welded were approved by ASME IX. The metallographic characterization of the weld metal microstructure showed that the changes were not sufficient to modify the mechanical properties of welded joints. The results of the salt spray tests showed that the best protection to the welded joints were instantaneous cold galvanizing (CRZ), using two coats of paint, and instantaneous cold galvanizing (CRZ) followed by a coat of paint aluminum .

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1 – Vida útil da chapa zincada em função da condição de atmosfera [7] .....</b>	22
<b>Figura 3.2 – Diagrama de equilíbrio do sistema Fe-Zn [17].....</b>	23
<b>Figura 3.3 – Micrografia do aço galvanizado, aumento de 250 X [7].....</b>	24
<b>Figura 3.4 – Tipos de revestimentos em Zn puro e em forma de liga Zn-Fe[5]..</b>	27
<b>Figura 3.5 – Trinca por penetração de Zn em junta de angulo em "T" de chapas zincadas de 6 mm, soldadas pelo processo MIG/MAG, extraída da AWS – 1998 [27] .....</b>	32
<b>Figura 3.6 – Processo básico de soldagem MIG/MAG [33].....</b>	33
<b>Figura 3.7 – Contorno e penetração do cordão de solda para diversos gases e mistura de proteção [32].....</b>	35
<b>Figura 4.1 – Esquema de retirada dos corpos de prova utilizados na soldagem dos experimentos em "mm".....</b>	43
<b>Figura 4.2 – Equipamento de soldagem MigArc 6200 max® [43].....</b>	43
<b>Figura 4.3 – Detalhe da montagem dos corpos de prova com ajunta de topo com escala em "mm".....</b>	44
<b>Figura 4.4 – Técnica de soldagem "Empurrando" .....</b>	45
<b>Figura 4.5 – Equipamento de tração Marca Wolpert, Modelo n/c, tipo eletro-hidráulica nº 1263, capacidade de carga máxima de 60.000 kgf.....</b>	47
<b>Figura 4.6 – Detalhe do corpo de prova utilizado no ensaio de resistência a tração em "mm" .....</b>	47
<b>Figura 4.7 – Detalhe do corpo de prova utilizado no ensaio de dobramento em "mm" .....</b>	49
<b>Figura 4.8 – Posições para os ensaios de dobramento de face (a) e raiz (b)....</b>	49
<b>Figura 4.9 – Disposição das amostras no interior da câmara de névoa salina..</b>	52
<b>Figura 4.10 – Câmara de névoa salina .....</b>	52
<b>Figura 4.11 – Corpo de prova (B) cordão de solda e laterais, aplicado proteção com tinta rica em Zn (CRZ) para ensaio de corrosão em câmara de névoa salina.....</b>	54
<b>Figura 4.12 – Corpo de prova (D1) cordão de solda e laterais, aplicado proteção</b>	

com tinta rica em Zn (CRZ) para ensaio de corrosão em câmara de névoa salina..... 54

**Figura 4.13** – Corpo de prova (B1) cordão de solda e laterais, aplicado proteção com tinta rica em Zn (CRZ) e aplicação com tinta alumínio fosco para ensaio de corrosão em câmara de névoa salina ..... 55

**Figura 4.14** – Corpo de prova (D) cordão de solda e laterais, aplicado proteção com tinta rica em Zn (CRZ) e aplicação com tinta alumínio fosco para ensaio de corrosão em câmara de névoa salina ..... 55

**Figura 4.15** – Corpo de prova (C) cordão de solda e laterais, aplicado proteção com tinta alumínio fosco para ensaio de corrosão em câmara de névoa salina..... 56

**Figura 4.16** – Corpo de prova (C1) cordão de solda e laterais, aplicado proteção com tinta alumínio fosco para ensaio de corrosão em câmara de névoa salina..... 56

**Figura 4.17** – Corpo de prova (A) cordão de solda e laterais, sem nenhum tipo de proteção para ensaio de corrosão em câmara de névoa salina.....57

**Figura 4.18** – Corpo de prova (A1) cordão de solda e laterais, sem nenhum tipo de proteção para ensaio de corrosão em câmara de névoa salina.....57

**Figura 5.1** – Gráfico comparando as propriedades mecânicas MB (certificado) x Junta Soldada ..... 58

**Figura 5.2** – Macrografia da junta soldada..... 60

**Figura 5.3** – Aspecto superficial do cordão de solda..... 61

**Figura 5.4** – Microestrutura do metal de base onde se pode observar uma predominância da estrutura ferrítica. Aumento de 200X..... 62

**Figura 5.5** – Microestrutura do metal de base com aumento de 500X composto de basicamente de ferrítica e pequenas ilhas de perlita..... 62

**Figura 5.6** – Montagem da macrografia e as três regiões de diferentes microestruturas na ZAC. a) Transição da ZAC com o metal de base. b) Região da ZAC onde a microestrutura tende a ter similaridade. c) Região de transição da ZAC com o metal de solda..... 63

**Figura 5.7** – Microestrutura da região de transição entre o metal de base a esquerda com grãos maiores e a ZAC a direita com grãos um pouco menores. Aumenta de 200X..... 64

<b>Figura 5.8 – Microestrutura da região central da ZAC com aumento de 200X...65</b>
<b>Figura 5.9 – Microestrutura da região de transição entre a ZAC a esquerda com grãos grosseiros e o metal de solda a direita. Aumento de 200X. ....65</b>
<b>Figura 5.10 – Microestrutura do metal de solda com aumento de 200X.....66</b>
<b>Figura 5.11 – Microestrutura do metal de solda com aumento de 500X.....66</b>
<b>Figura 5.12 – Matriz (A) frente com 96 horas de exposição.....69</b>
<b>Figura 5.13 – Matriz (A1) frente com 96 horas de exposição.....69</b>
<b>Figura 5.14 – Matriz (A) frente com 120 horas de exposição.....70</b>
<b>Figura 5.15 – Matriz (A1) frente com 120 horas de exposição.....70</b>
<b>Figura 5.16 – Matriz (C) frente com 96 horas de exposição.....71</b>
<b>Figura 5.17 – Matriz (C1) frente com 96 horas de exposição.....71</b>
<b>Figura 5.18 – Matriz (C) frente com 120 horas de exposição.....72</b>
<b>Figura 5.19 – Matriz (C1) frente com 120 horas de exposição.....72</b>
<b>Figura 5.20 – Matriz (B) frente com 96 horas de exposição.....73</b>
<b>Figura 5.21 – Matriz (B1) frente com 96 horas de exposição ..73</b>
<b>Figura 5.22 – Matriz (B) frente com 120 horas de exposição.....74</b>
<b>Figura 5.23 – Matriz (B1) frente com 120 horas de exposição ..74</b>
<b>Figura 5.24 – Matriz (D) frente com 96 horas de exposição.....75</b>
<b>Figura 5.25 – Matriz (D1) frente com 96 horas de exposição.....75</b>
<b>Figura 5.26 – Matriz (D) frente com 120 horas de exposição.....76</b>
<b>Figura 5.27 – Matriz (D1) frente com 120 horas de exposição.....76</b>

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 3.1 – Potencial de eletrodo dos metais [07].....</b>	<b>20</b>
<b>Tabela 3.2 – Propriedades físico - químicas das camadas da liga Fe-Zn [05]....</b>	<b>25</b>
<b>Tabela 3.3 – Forma de preparação para diversas espessuras a soldar pelo processo MIG/MAG [32].....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 3.4 – Requisitos de composição química para arames de aços com baixa quantidade de carbono e com baixa quantidade de liga [33].....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 3.5 – Requisitos de propriedades mecânicas para arames de aços com baixa quantidade de carbono e com baixa quantidade de liga [33].....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 4.1 – Composição química (%) especificada para o substrato [38].....</b>	<b>40</b>
<b>Tabela 4.2 – Propriedades mecânicas especificadas para o substrato [38].....</b>	<b>40</b>
<b>Tabela 4.3 – Composição química do material de adição [39].....</b>	<b>41</b>
<b>Tabela 4.4 – Determinação das Matrizes.....</b>	<b>42</b>
<b>Tabela 4.5 – Parâmetros de soldagem obtidos com o auxílio do sistema de aquisição de dados .....</b>	<b>46</b>
<b>Tabela 5.1 – Propriedades mecânicas da amostra soldada.....</b>	<b>58</b>
<b>Tabela 5.2 – Resultados das amostras de dobramento.....</b>	<b>59</b>
<b>Tabela 5.3 – Valores especificados da análise de corrosão acelerado .....</b>	<b>68</b>

**LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS**

Zn	Zinco (Galvanizado)
ZnO	Óxido de zinco
ZnOH <sub>2</sub>	Hidróxido de zinco
ZnCO <sub>3</sub>	Carbonato de zinco
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
O <sub>2</sub>	Oxigênio
N <sub>2</sub>	Nitrogênio
H <sub>2</sub> O	Vapor de Água
Fe	Ferro
CRZ	Galvanização Instantânea à frio

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	2
AGRADECIMENTOS.....	3
CURRICULUM VITAE.....	4
RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABELAS.....	10
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS.....	11
SUMÁRIO.....	12
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	15
2. OBJETIVOS.....	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1 Chapa zincada.....	18
3.1.1 Meios de proteção promovida pela camada de zinco (Zn).....	19
3.1.1.1 Inibição por Barreira Mecânica.....	19
3.1.1.2 Proteção Galvânica.....	19
3.1.1.3 Vida útil da camada de zinco (Zn).....	20
3.1.1.4 Estrutura cristalina da camada de revestimento da chapa zincada.....	22
3.1.2 Aspectos superficiais, tipos de revestimentos e aplicações .....	26
3.2 História sobre o processo de soldagem MIG/MAG (GMAW).....	28
3.3 A soldagem de chapa de aço zinornado pelo processo MIG/MAG.....	29
3.3.1 Tipos de gás de proteção.....	34
3.3.1.1 Gases inertes.....	34
3.3.1.2 Misturas gasosas.....	35
3.3.1.3 Gases ativos.....	36
3.3.2 Consumíveis.....	37
3.3.2.1 Arames para materiais ferrosos.....	37
3.3.2.2 Arames de aço carbono.....	38
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
4.1 Material de base.....	40
4.1.1 Substrato.....	40

4.1.2 Revestimento.....	41
4.2 Material de adição.....	41
4.3 Acabamento do metal de solda.....	41
4.4 Gás de proteção.....	42
4.5 Soldagem dos corpos de prova.....	42
4.5.1 Retirada dos corpos de prova utilizados nos experimentos.....	42
4.5.2 Equipamento de soldagem.....	43
4.5.3 Tipo de junta e posição de soldagem.....	44
4.5.4 Técnica de soldagem.....	44
4.5.5 Variáveis utilizadas na soldagem dos experimentos.....	45
4.6 Ensaios mecânicos realizados.....	46
4.6.1 Ensaio de resistência a tração.....	46
4.6.1.1 Critério de aceitação para o ensaio de tração.....	48
4.6.2 Ensaio de dobramento guiado.....	48
4.6.2.1 Critério de aceitação para o ensaio de dobramento.....	49
4.6.3 Norma de referência.....	50
4.7 Caracterização metalográfica .....	50
4.8 Ensaio de corrosão acelerada em câmara de névoa salina.....	51
4.8.1 Corpo de prova para ensaio de corrosão acelerada em névoa salina.....	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
5.1 Ensaio de resistência a tração.....	58
5.2 Ensaio de dobramento.....	59
5.3 Caracterização Microestrutura da junta soldada.....	59
5.3.1 Macrografia da junta soldada.....	59
5.3.2 Caracterização microestrutural da junta soldada.....	61
5.3.2.1 Metal de base.....	61
5.3.2.2 Zona afetada pelo calor (ZAC).....	63
5.3.2.3 Metal de solda.....	66
5.4 Ensaio de corrosão acelerada em câmara de névoa salina.....	67
6. CONCLUSÕES.....	77
SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	78
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
ANEXO I – Relatório de Ensaio de Tração.....	84
ANEXO II – Relatório de Teste de Corrosão Acelerado.....	85

ANEXO III – Certificado de Qualidade da Chapa Zincada..... 87

## **1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.**

No atual estágio de desenvolvimento da sociedade é impossível imaginar o mundo sem o uso do aço. A produção de aço é um forte indicador do estágio de desenvolvimento econômico de um país [1]. A utilização de aço fornecido em bobinas, tarugos, chapas e ou chapas zincadas (galvanizadas) vem aumentando cada vez mais devido o desenvolvimento de novos produtos.

Fabricantes de produtos galvanizados buscam materiais que possam oferecer maior resistência mecânica, com menor peso, e maior garantia contra a corrosão. Chapas galvanizadas são utilizadas na fabricação de tubos de precisão, componentes para automóveis, produtos e equipamentos industriais, linhas de automação, bens de consumo diversos. Esses materiais já se tornaram corriqueiros no cotidiano, mas fabricá-los exige técnica que deve ser renovada de forma cíclica.

Os aços galvanizados têm como principal característica a maior resistência a corrosão atmosférica, ou seja, sofrem menos corrosão ao ficarem expostas á chuva, vento e sol. Este material chega a ter proteção à corrosão de até 25 vezes superior ao aço carbono comum. Isso se dá por conta do revestimento de zinco (Zn) sobre as chapas [2].

Com o avanço da tecnologia a maioria dos aços revestidos a base de Zn podem ser soldados satisfatoriamente, utilizando-se alguns processos comumente encontrados nas indústrias. No entanto, sempre haverá alguns problemas encontrados na soldabilidade destes materiais. A soldagem desses materiais produz uma geração excessiva de fumos metálicos, porosidade, respingos, trincas e danos causados a camada de revestimento. Devido a estes problemas os aços zincados necessitam de um controle mais rigoroso quando

forem submetidos aos processos de soldagem. Este controle mais rígido deve-se aos efeitos relacionados com as propriedades da camada de Zn tais como sua condutibilidade elétrica, temperatura de vaporização e possibilidade de oxidação a altas temperaturas, que direta ou indiretamente irão influenciar a qualidade da junta soldada [3].

Neste trabalho foi utilizado chapas de 1,55 mm de espessura de aço zinornado, produzidas conforme norma ASTM A 653 CS tipo B (Z100), com dimensão de 300,0mm de comprimento e 300,0 mm de largura. Os corpos de prova foram soldados na posição plana (1G) com junta de topo utilizando o processo MAG com gás de proteção composto por 75% argônio e 25%CO<sub>2</sub>, sendo utilizado o metal de adição ER70S-6.

A junta soldada foi qualificada segundo a norma ASME IX 2010, sendo realizados os ensaios de tração e de dobramento na junta soldada, onde apresentou propriedades similares ao metal de base. Foi realizada uma caracterização metalográfica com o uso de macrografias e micrografias e Foi realizado o ensaio de névoa salina em corpos de prova soldados a fim de qualificar a sua resistência à corrosão. No ensaio de névoa salina foram utilizados dois tipos de tinta que auxiliam a resistência à corrosão e geraram resultados comparados ao metal de base.

## **2. OBJETIVOS**

Este trabalho tem por objetivo estudar as propriedades mecânicas, metalográfica e de resistência à corrosão de chapas aço carbono revestidas com zinco e soldadas pelo processo MAG.

### **3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.**

#### **3.1 CHAPA DE AÇO REVESTIDAS COM ZINCO.**

As chapas de aço revestidas com zinco também são conhecidas como zincadas ou galvanizadas e são aquelas que apresentam revestimentos protetores metálicos, à base de zinco ou ligas de zinco, que conferem ao substrato maior resistência à corrosão. Estas chapas são produzidas com uma ampla faixa de espessuras de revestimento, sendo esta variação, dependente sobre tudo, do tipo de aplicação que se deseja utilizar o aço revestido [4, 5].

O zinco é um metal muito utilizado como revestimento anticorrosivo, pois apresenta um bom desempenho na maioria das condições atmosféricas, oferece proteção galvânica ao aço nas descontinuidades do revestimento, protege o material de base e é barato se comparado a outros tipos de revestimentos [4, 6]. Estes fatores favoreceram a utilização dos aços revestidos a base de zinco nos diversos segmentos industriais onde tem apresentado excelentes resultados há várias décadas. A principal razão para este desempenho é sua reconhecida resistência a corrosão atmosférica, e esta propriedade tem gerado um crescimento competitivo do aço revestido frente a outros materiais, aumentando significativamente a utilização do aço zinkado nos diferentes segmentos. Esta tendência se justifica pelo fato das chapas zincadas reunirem num só produto a resistência mecânica do substrato e a elevada resistência a corrosão, conferida pela camada de revestimento de zinco. Pois o revestimento de zinco atua como barreira e como anodo de sacrifício, protegendo o aço das intempéries [4, 7, 8].

### **3.1.1 MEIOS DE PROTEÇÃO PROMOVIDA PELA CAMADA DE ZINCO (Zn).**

O principal fator que, motiva a utilização do zinco como revestimento protetor do aço, é o mecanismo pelo qual o zinco protege o substrato, e estes são basicamente dois [4, 7, 8]: por barreira e por proteção galvânica. No mecanismo por barreira, o importante é a espessura do revestimento, enquanto para o mecanismo por proteção galvânica os potenciais eletroquímicos são as propriedades chaves.

#### **3.1.1.1 INIBIÇÃO POR BARREIRA MECÂNICA.**

Ao ser exposta à atmosfera o aço recém galvanizado forma uma camada de óxido de zinco ( $ZnO$ ), que na presença de umidade evolui para hidróxido de zinco ( $ZnOH_2$ ). Este por sua vez, em contato com o  $CO_2$  presente no ar atmosférico, reage formando o carbonato de zinco ( $ZnCO_3$ ). Este composto possui baixíssima solubilidade na água e forma uma patina acinzentada, que impede a continuidade das reações e inibe a corrosão. Estes filmes não proporcionam proteção efetiva do substrato e as considerações são feitas quando as chapas zincadas estão submetidas a condições atmosféricas normais [5, 7, 8].

#### **3.1.1.2 PROTEÇÃO GALVÂNICA.**

No caso de haver alguma falha ou imperfeição (arranhão) no revestimento de zinco, o mecanismo de proteção galvânica entra em operação devido à natureza eletroquímica do par Ferro (Fe) e Zinco (Zn), e neste caso o zinco funciona como anodo e é consumido enquanto a integridade do substrato é preservada. Esta proteção é denominada “Proteção de Sacrifício”, porque o

metal que atua como anodo, nesse caso o zinco, se sacrifica para proteger o metal catódico (aço). Observando a série eletroquímica dos metais, nota-se que o zinco tem um potencial menor quando comparado ao aço como mostra a tabela 3.1. Assim, quando aqueles metais estão em contato em um eletrólito, o zinco passa a ser o anodo e o aço o catodo, o que é conhecido como "Efeito Pilha". Desta forma o zinco protege catodicamente o aço contra a corrosão, inclusive nas falhas e imperfeições que possam ter o recobrimento [5, 7, 8].

**Tabela 3.1 – Potencial de eletrodo dos metais [7].**

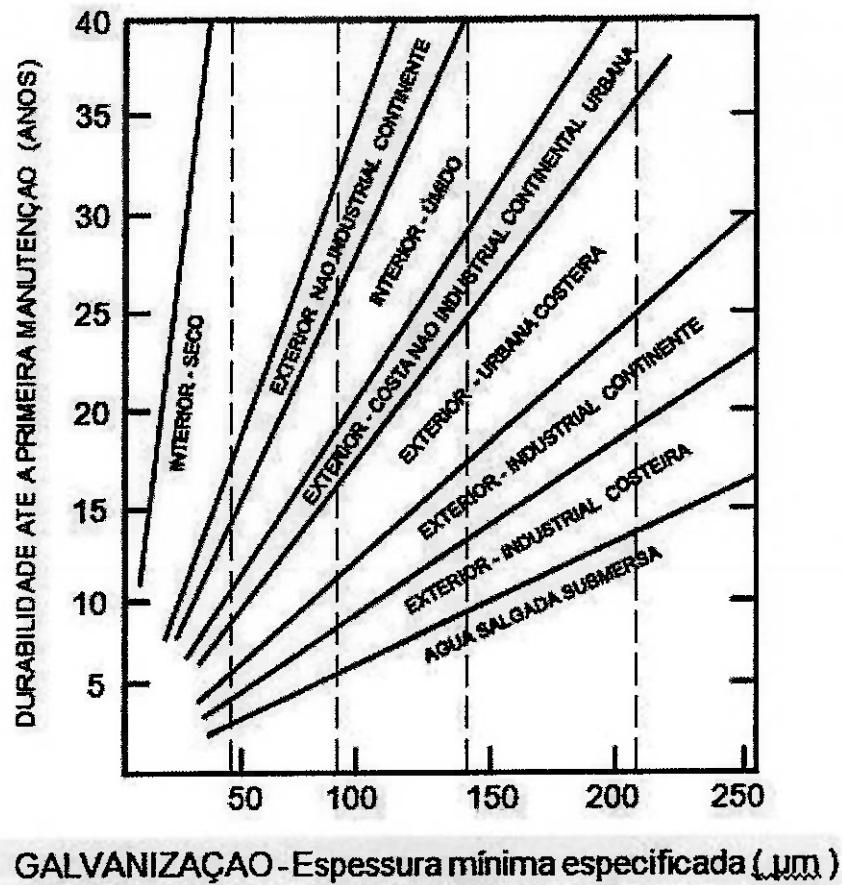
	Metal	Potencial de Eletrodo
<b>Menos Nobres (Anódicos)</b>	Magnésio	-2,340
	Alumínio	-1,670
	Zinco	-0,762
	Cromo	-0,710
	Ferro	-0,440
	Cádmio	-0,402
<b>Mais Nobres (Catódicos)</b>	Níquel	-0,250
	Estanho	-0,136
	Chumbo	-0,126
	Cobre	+0,345
	Prata	+0,800
	Ouro	+1,680

### **3.1.1.3 VIDA ÚTIL DA CAMADA DE ZINCO (Zn).**

A resistência à corrosão do zinco puro não é satisfatória em diversas circunstâncias corrosivas, particularmente em uma atmosfera muito úmida [8, 9] e a temperaturas superiores a 110°C [10]. Consequentemente, nos últimos 20 anos, muitas indústrias, especialmente a automobilística e de construção, começaram a procurar um processo alternativo. O resultado foi um desenvolvimento de sistemas de ligas de Zn com metais do oitavo grupo, tais

como: ZnNi, ZnCo, ZnFe e ultimamente se incluem combinações de ligas Zn-Co-Cr e Zn-Fe-Mn [11]. Estes sistemas de ligas apresentam propriedades superiores no que diz respeito à resistência à corrosão, resistência mecânica e propriedades elétricas, além de custo adequado [12].

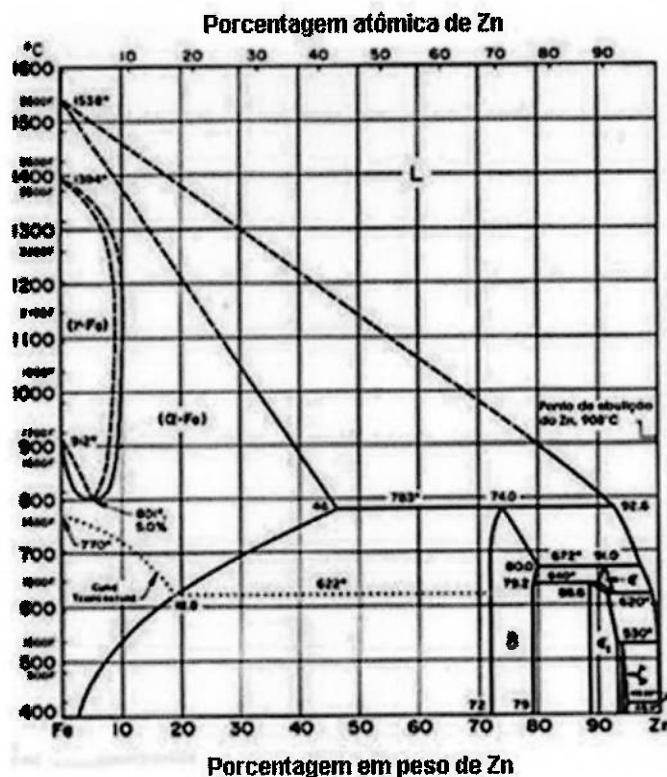
Diversas experiências também concluíram que a vida útil de uma camada de Zn é diretamente proporcional à sua espessura [4]. Portanto, é importante que esta camada seja uniforme em toda a sua extensão, caso contrário, a corrosão destruiria a parte mais fina em um tempo menor, e certamente inviabilizaria a parte mais grossa [13]. Dependendo da atmosfera em que o aço galvanizado esteja submetido, sua vida útil poderá variar de 15 anos para zonas industriais intensas e 50 anos para zonas rurais [13]. Logo, a vida útil dos aços zincados está diretamente relacionada com a espessura do revestimento da camada de Zn e inversamente proporcional ao meio em que o aço zinornado estiver exposto. De acordo com as literaturas [4, 7, 13], para determinação da durabilidade do revestimento de Zn consideram-se fatores como temperatura, umidade relativa do ar, tempo e intensidade de insolação, duração e velocidade dos ventos e contaminação do ar com óxidos de enxofre, cloretos e gases nitrosos, partículas lançadas pelas indústrias e outras condições atmosféricas. Esses fatores ambientais determinam a taxa de corrosão do material nos principais meios, como ilustra a figura 3.1.



**Figura 3.1** – Vida útil da chapa zincada em função da condição atmosférica [7].

### 3.1.1.4 ESTRUTURA CRISTALINA DA CAMADA DE REVESTIMENTO DA CHAPA ZINCADA.

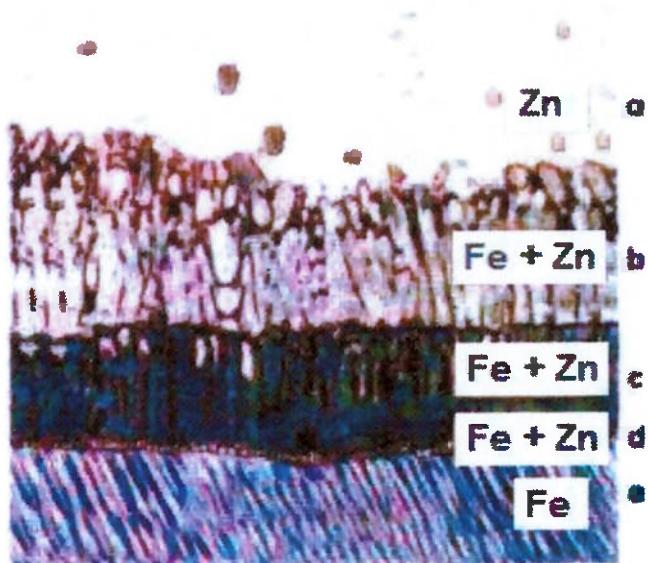
As reações metalúrgicas entre o Fe e o Zn determinam a estrutura e a composição dos revestimentos e constituem a base para todos os processos associados a deposição do Zn sobre o aço, pelo método de imersão a quente [14]. O Zn líquido a temperatura de 450°C reage como Fe do substrato, de modo que as reações entre os dois metais seguem o caminho do equilíbrio termodinâmico [15], como ilustra a figura 3.2.



**Figura 3.2** Diagrama de equilíbrio do sistema Fe-Zn [17]

De acordo com o Welding Handbook [16], as fases da liga Fe-Zn variam em função da faixa de composição e temperatura e apresentam a formação de quatro compostos intermetálicos, que são: fase gama -  $\Gamma$  (Fe<sub>3</sub>Zn<sub>10</sub>); fase delta -  $\delta$  (FeZn<sub>7</sub>); fase zeta -  $\zeta$  (FeZn<sub>13</sub>); e fase eta -  $\eta$  (Zn) . As fases gama, delta e zeta resultam da difusão do ferro na camada de zinco, e a camada eta se forma a partir do zinco fundido que se adere nas camadas intermetálicas quando o material é retirado do banho. De acordo com FREIRE e BRESCIANI FILHO [9], com relação as estruturas destas camadas pode-se dizer que: A fase gama possui uma estrutura cristalina cúbica de corpo centrado (CCC), contendo 23,2 a 31,3% Fe, na qual predomina o composto FeZn<sub>3</sub>, a tabela 3.2 apresenta as propriedades físico-químicas de cada camada de liga. Sobre a fase gama encontram-se as camadas delta-1 e delta que possuem estrutura cristalina

hexagonal, apresentando uma composição de 8,1 a 13,2% Fe para delta-1 e 8,1 a 11,5% Fe para delta, em ambas predominando o composto FeZn. Sobre as camadas delta encontra-se a camada zeta, que contém aproximadamente 7,2 a 7,4% Fe, predominando o composto FeZn13 de estrutura cristalina monoclinica. Na camada mais externa do revestimento encontra-se a fase eta, formada de Zn relativamente puro, que é arrastado do banho pela chapa. Esta camada apresenta um teor de Fe da ordem de 0,02% e tem estrutura cristalina hexagonal, figura 3.3.



a- Camada externa Eta, Zn relativamente puro.

b- Camada Zeta (Zn-Fe) com 7,2 a 7,4% Fe.

c- Camada Delta (Zn-Fe) com 8,1 a 13,2% Fe.

d- Camada Gama (Zn-Fe) fina e com 23,2 a 31,3% Fe

e- Aço (material de base)

**Figura 3.3** Micrografia do aço galvanizado, aumento de 250X [7].

**Tabela 3.2 – Propriedades físico - químicas das camadas da liga Fe-Zn [5].**

Fases	Fórmula Química	Conteúdo de Ferro (% peso)	Sistema Cristalino	Densidade (g/cm³)	Dureza (Hv)
η (Eta)	Zn	Máximo 0,03	Hexagonal	7,14	52
ζ (Zeta)	FeZn	6,7 ~ 7,2	Ortorrombico	7,15	200
δ (Delta-1)	FeZn	8,5 ~ 13,0	Hexagonal	7,24	284 ~ 300
Γ1 (Gama-1)	FeZn	18,5 ~ 23,5	CFC	---	505
Γ (Gama)	FeZn	24,0 ~ 31,0	CCC	7,36	326
Fe-α (Fe-alfa)	Fe	---	CCC	7,86	104

A espessura da primeira camada de liga, camada gama, é bastante constante, sendo que as demais podem variar fortemente em função das condições do processo de zincagem. Em casos extremos o revestimento poderá ser constituído quase que inteiramente de camadas de liga ou quase inteiramente de Zn puro. Deste modo, a espessura do revestimento total, assim como da camada de liga dependem de diversos parâmetros: temperatura do banho, composição do aço, teor de alumínio no banho, aplicação do produto, etc..

O controle da redução na formação de camadas intermediárias permite a obtenção de um revestimento dúctil, resultando em um material zincado que pode ser conformado sem causar trincas e sem soltar o revestimento de Zn [5], que são situações desejadas nos processos de zincagem a quente. Para se obter estas características o Alumínio (Al) é adicionado ao banho de Zn fundido para exercer influência sobre as reações que ocorrem entre o Fe e o Zn, e controlar as características físicas, entre elas a espessura e a aparência superficial dos produtos zincados, permitindo também, a obtenção de

revestimentos zincados com elevada aderência [4, 16]. Já as camadas intermediárias, delta e zeta são pouco espessas ou praticamente inexistentes.

Dentre os produtos zincados a quente, os convencionais, sem tratamento posterior, são principalmente utilizados pelo setor de construção civil onde os principais requisitos são de resistência a corrosão, conformabilidade e aparência estética. Os que recebem tratamento de recozimento da camada são consumidos preferencialmente pelos setores automobilísticos e de eletrodomésticos, onde, além dos requisitos anteriores, ainda é necessário possuir característica de boa soldabilidade e adequação como substrato para pintura [5].

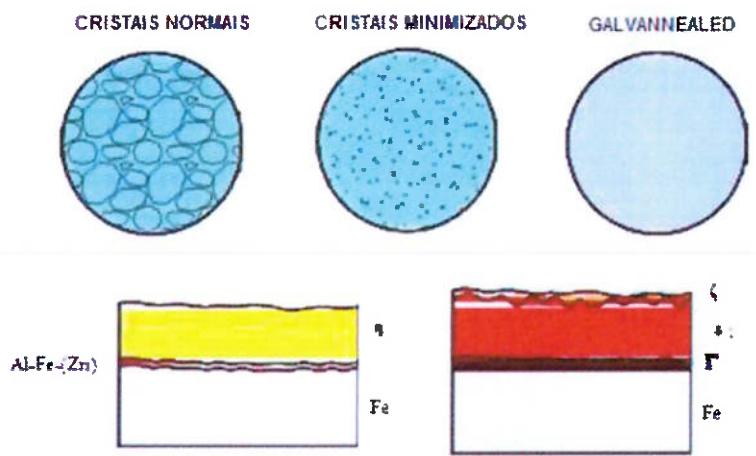
### **3.1.2 ASPECTOS SUPERFICIAIS, TIPOS DE REVESTIMENTOS E APLICAÇÕES.**

Conforme NATAL e BARCELOS [18], as chapas zincadas podem ser fabricadas com revestimentos iguais em ambas às faces ou revestimentos diferenciados entre elas, podendo também ser de diferentes espessuras. O acabamento superficial, estes podem ser distintos e classificados como cristais normais, cristais minimizados e superfície extra lisa. A figura 3.4 apresenta os aspectos de superfícies e microestruturas dos diferentes revestimentos obtidos pelo processo de galvanização por imersão à quente [5]:

- **Cristais Normais:** este revestimento de Zn puro obtido por uma solidificação normal da camada depositada, resultando uma superfície com aparência de flores. Este tipo de revestimento é mais indicado para uso geral, principalmente em aplicações do segmento da construção civil tais como: coberturas, tapamentos laterais, perfis estruturais leves, etc. [5].

- **Cristais Minimizados:** possui o revestimento de Zn puro, obtido por solidificação acelerada, proporcionada em geral, pela aplicação na superfície recém zincada de um fluido refrigerante. Este tipo de revestimento é recomendado para aplicações onde os requisitos de superfícies não são plenamente atendidos pelo revestimento com cristais normais, sendo, em geral, destinados principalmente à indústria automobilística e de utilidades domésticas (linha branca), que recebem tratamento de pintura [5].

- **Revestimento de Liga Zn-Fe (Galvannealed):** o revestimento obtido pelo reaquecimento da chapa, imediatamente após a deposição do Zn, o que transforma completamente a camada de Zn recém depositada em ligas do sistema Zn-Fe. Esta camada possui em média 11% de Fe. A presença do Fe no revestimento melhora significativamente as características de soldabilidade e de aderência de pintura, sendo por tanto, especialmente indicada para utilização na indústria automobilística [5].



**Figura 3.4 —** Tipos de revestimentos em Zn puro e em forma de liga Zn-Fe [5]

### **3.2 HISTÓRIA SOBRE O PROCESSO DE SOLDAGEM MIG/MAG.**

Os primeiros trabalhos com estes processos foram feitos com gás ativo, em peças de aço, no inicio dos anos 30, o processo foi inviabilizado.

**Em 1940 –** Foi no Battelle Memorial Institute (Instituto Memorial Battelle) que seus inventores H. M. Hobart e P. K. Devers, patrocinado pela companhia Redução Air, pesquisou e desenvolveu o primeiro uso de um eletrodo nú de alumínio continuamente alimentada chamado atualmente de MIG, este eletrodo era blindado com 100% de gás argônio. Através de transferência axial pulverizada, era o modo mais precoce de transferência de metal isto levou ao uso de argonplus pequenas adições de oxigênio. O oxigénio melhorada arco estabilidade finalmente permitida a utilização de transferência de pulverização axial em materiais ferrosos. O processo foi limitada devido ao nível de energia elevado de transferência de pulverização axial para espessura da chapa material. Após a II guerra mundial, foi possível viabilizá-lo primeiro para a soldagem de magnésio e suas ligas, em seguida para os outros metais, sempre utilizando gás inerte (Argônio ou Hélio). Algum tempo depois em meados dos anos 50, foi introduzido no lugar do argônio o CO<sub>2</sub>, sendo possível o seu uso com mistura com Ar ou com 100% de concentração [19].

**No ano de 1950 –** Os inventores Lyubavshkii e Novoshilov, iniciam a fabricação de eletrodo com arame sólido (MAG) e contínuo com grandes diâmetros de aço carbono utilizado para se soldar com CO<sub>2</sub>. Apresentaram alto índice de respingos, soldagem somente na posição plana [19].

No final dos anos 50 houve um aprimoramento das fontes de soldagem introdução com a introdução dos arames de pequenos diâmetros (0.9 a 1.6mm), a transferência por curto circuito e soldagem em todas as posições.

No ano de 1960 – houve o desenvolvimento das fontes de soldagem e a introdução do arco pulsado, pesquisas para diminuir o nível de respingos e reduzir falta de fusão [19].

Em 1970 o – TWI® (na cidade de Londres) introduziu o conceito MIG sinérgico juntamente com as fontes de energia com controle eletrônico [19].

No ano de 1990 surgiram outras variantes dos processos MIG/MAG, este foram: MIG Brazing, TIME, STT, MIG-LASER, oferecendo um controle total do arco elétrico e diversos modos de transferência metálica, além do desenvolvimento das fontes de energia inversoras [19].

### **3.3 A SOLDAGEM DE CHAPA DE AÇO ZINCADO PELO PROCESSO MIG/MAG.**

Os problemas encontrados na soldagem a arco de aços zinados, são devidos as propriedades físicas do zinco. O elemento zinco possui baixa temperatura de vaporização, aproximadamente 906°C em relação as temperaturas envolvidas na fusão do metal de base e do consumível superior a 1530°C [20]. Esta propriedade apresenta um efeito desfavorável nos processos de soldagem a arco, visto que o Zn começa a evaporar tão logo o arco elétrico é aberto. Os vapores e os óxidos de zinco também contribuem na formação de poros, fusões inadequadas, trincas e um arco elétrico instável, sem falar nas altas temperaturas promovidas pelo processo de soldagem, que são responsáveis pela remoção da camada de revestimento que confere propriedades anti-corrosivas ao aço [20]. Existe outro problema que também deve ser controlado é a concentração de fumos metálicos, pois durante a soldagem, o Zn do revestimento se volatiliza e forma óxido de Zn (composto

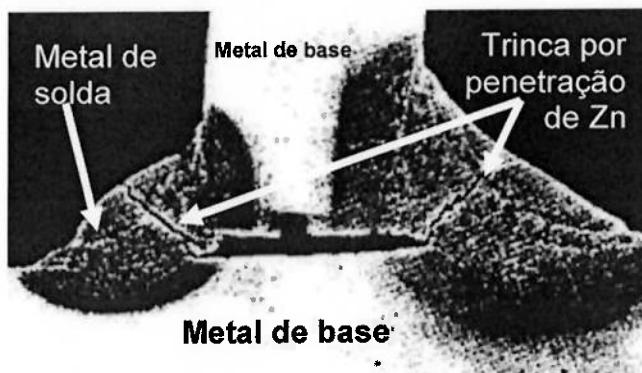
branco) que se inalado em grande quantidade provoca desconforto ao soldador [21]: irritação das vias respiratórias, febre e vômito. No entanto o grande aumento, nos últimos anos, da utilização de produtos galvanizados tem conduzido as indústrias a intensificar pesquisas voltadas para a união desse material.

PERDIGAO [22] destaca que a técnica de soldagem empregada tem grande influência na formação dos poros que se formam pela nucleação e crescimento de bolhas de gás ou vapor, enquanto o metal de solda está em processo de solidificação. Assim sendo, uma das variáveis significativas na ocorrência da porosidade é a quantidade de gás ou vapor presente no sistema. Outra variável crítica é a taxa de solidificação do metal como soldado. Para baixas taxas de solidificação, as bolhas têm maior possibilidade de escapar da poça fundida, enquanto que para altas taxas de solidificação as bolhas ficam aprisionadas. Portanto, variações nas condições de soldagem como a corrente, tensão do arco ou velocidade de soldagem, podem afetar a taxa de solidificação do metal de solda, que por sua vez influencia a quantidade de poros no metal de solda [23]. Dentre as ações possíveis para minimizar o problema da porosidade, que é consenso de literatura, é a reduzir a velocidade de soldagem e o sentido de deslocamento da tocha, ambos permitem a volatilização e o escape do vapor de Zn a frente da poça fundida, antes de solidificar- se. Já a formação de respingos aumenta com a espessura da camada de revestimento de Zn, e também está associada à instabilidade do arco elétrico, provocada também pelos vapores de Zn. Para minimizar o respingo, é necessário soldar com um arco elétrico curto [24].

Outro problema na soldagem de chapas zincadas é o surgimento de trincas causadas pela penetração intergranular do Zn no metal de solda. O mecanismo de formação dessas trincas em chapas zincadas é similar à corrosão sob tensão que está associado ao zinco líquido sob esforços da magnitude do limite de escoamento do metal de solda [25]. A figura 3.5 mostra este tipo de trinca que é comum se formar ao longo da garganta de uma solda de filete em chapas de espessura superior a 6,4 mm, executada através do processo MIG/MAG, tendo como gás de proteção o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) [26].

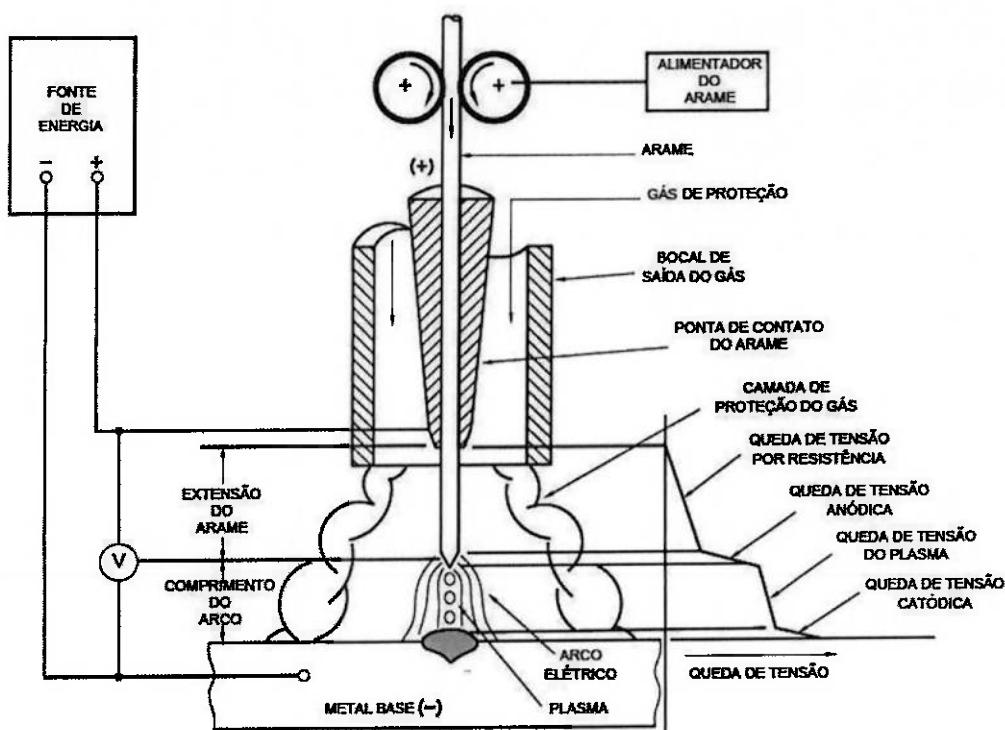
Segundo a AWS [27], se uma quantidade excessiva de Silício (Si) ou Magnésio (Mg) estiver presente num consumível, esses elementos podem se concentrar entre as “dendritas” durante o processo de solidificação e produzir regiões críticas onde o Zn fundido pode penetrar facilmente, enfraquecendo aquela região e propiciando a formação de trinca. Nesse aspecto surgem divergências, pois SUGA [28] informa que aumentando o teor de Si e Mn no arame, promove um aumento na viscosidade da poça fundida, evitando assim o aparecimento das bolhas de gás e dos respingos provocados pelo vapor de Zn. BANG, K. S. [29], também concluiu que arames com desoxidantes tais como Titânio (Ti), Si e Mg favorecem a formação de um arco com menor gradiente de energia potencial do que os arames sem desoxidantes, resultando em um arco mais estável, reduzindo assim a geração de respingos. Outros inconvenientes na soldagem a arco do aço zinkado são as perdas de revestimento nas áreas adjacentes ao cordão de solda e a formação de fumos que são prejudiciais a saúde do soldador [22]. Este problema pode ser resolvido de forma eficiente com o uso de extratores de fumos que são adaptados de forma a se movimentar

ao longo da junta a medida que mesma vai sendo soldada, tendo-se o cuidado, é claro, de não prejudicar a proteção gasosa [30].



**Figura 3.5** — Trinca por penetração de Zn em junta de ângulo em "T" de chapas zincadas de 6 mm, soldadas pelo processo MIG/MAG, extraída da AWS – 1998 [27].

Os processos MIG e MAG utilizam como fonte de calor um arco elétrico mantido entre um eletrodo nu consumível e a peça. A proteção da região de soldagem é feita por um fluxo de gás inerte (MIG) ou gás ativo (MAG). A soldagem pode ser semi-automática ou automática [31]. A alimentação do eletrodo é feita mecanicamente, através de um alimentador motorizado, e o soldador é responsável pela iniciação e interrupção da soldagem, além de mover a tocha ao longo da junta, como ilustra a figura 3.6. A manutenção do arco elétrico é garantida pela alimentação continuamente do eletrodo, mantendo a distância mínima entre a peça para a continuidade do arco elétrico podendo ser auxiliada por sistemas eletrônicos existentes nas fontes de soldagem mais modernas [32].



**Figura 3.6 – Processo básico de soldagem MIG/MAG [33].**

O processo consiste em usar o calor gerado pelo arco elétrico para fundir as peças a serem unidas e o arame eletrodo que é transferido para a junta constitui o metal de adição, o eletrodo é continuamente alimentado durante a realização do processo, com velocidade controlada, enquanto um fluxo contínuo de um gás inerte ou ativo envolve a poça de fusão afim de, protegê-la da contaminação pelo ar atmosférico [31, 32].

A soldagem MIG/MAG pode ser usada em materiais numa ampla faixa de espessura, como mostra a tabela 3.3, tanto em metais ferrosos como não ferrosos. O diâmetro dos eletrodos usados varia normalmente entre 0,8 e 2,4 mm. O processo MIG é adequado à soldagem de aços carbonos, aços de baixa, média, e alta liga, aços inoxidáveis, alumínio e ligas, magnésio e ligas e cobre e ligas. O processo MAG é utilizado na soldagem de aços – de baixo carbono e aços de baixa liga [31, 32].

**Tabela 3.3 – Forma de preparação para diversas espessuras a soldar pelo processo MIG/MAG [32].**

Procedimento	0,4	1,6	3,2	4,8	6,4	10,0	12,7...
Passe único sem preparação	→	→	→	→	→	→	→
Passe único com preparação	→	→	→	→	→	→	→
Passes múltiplos	→	→	→	→	→	→	...

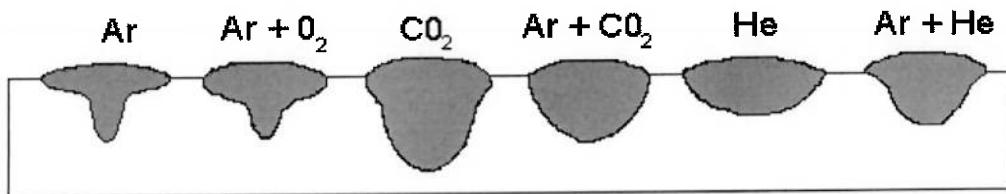
### **3.3.1 TIPOS DE GÁS DE PROTEÇÃO.**

O ar atmosférico é expulso da região de soldagem por um gás de proteção com o objetivo de evitar a contaminação da poça de fusão. A contaminação é causada principalmente pelo nitrogênio ( $N_2$ ), oxigênio ( $O_2$ ) e vapor d'água ( $H_2O$ ) presentes na atmosfera. Entre outros fatores, o tipo de gás de proteção influí no modo de transferência e nos formatos do arco e do cordão de solda. Para se evitar esses problemas associados a contaminação da poça de fusão três gases principais são utilizados como proteção gasosa: Argônio (Ar), hélio (He), e dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Além desses, pequenas quantidades de oxigênio ( $O_2$ ), nitrogênio ( $N_2$ ) e hidrogênio ( $H_2$ ) provaram ser benéficas em algumas aplicações. [33].

#### **3.3.1.1 GASES INERTES.**

Apenas os gases argônio e hélio puro são gases inertes, a compensação para a tendência de oxidação dos outros gases é realizada pelas formulações especiais do consumível [33]. As misturas gasosas entre o argônio e oxigênio, argônio e dióxido de carbono, possibilitam diversas comparações e

características entre eles. Observa-se que o argônio é 10 vezes mais pesados que o hélio, desta forma o argônio tem uma maior proteção quando comparado com a mesma vazão de hélio. A figura 3.7 mostra estas comparações. Podemos observar que as misturas gasosas possuem características diferentes em sua penetração, além de termos uma idéia do contorno do cordão de solda em função do tipo de gás de proteção utilizado [31].



**Figura 3.7** – Contorno e penetração do cordão de solda para diversos gases e mistura de proteção [32].

### 3.3.1.2 MISTURAS GASOSAS.

O argônio, hélio e o dióxido de carbono podem ser empregados puros, em combinações ou misturados com outros gases para proporcionar soldas livres de defeitos numa variedade aplicações e processos de soldagem [33]. As misturas de gases inertes visam obter características intermediárias, já que a adição de hélio e argônio melhora o contorno do cordão de solda mostrado na figura 3.7. Devemos mencionar que se o teor de hélio for maior que 50%, não se obtém transferência por pulverização axial no processo MIG/MAG [31].

A utilização de gases de proteção ativos como (CO<sub>2</sub> e/ou oxigênio) aos gases inertes tem como objetivo melhorar a estabilidade do arco, porém neste caso o processo de soldagem será MAG [31].

Esta mistura estabiliza o arco, a mistura de pequenos teores de gases ativos, têm as seguintes funções: mudança de contorno do cordão de solda (na seção transversal); reduz a ocorrência de respingos e de mordeduras; e aumenta a penetração [31].

### **3.3.1.3 GASES ATIVOS.**

O dióxido de carbono puro não é um gás inerte porque o calor do arco o dissocia em monóxido de carbono e oxigênio livre. A utilização deste gás pode ser utilizado na forma pura ou com adições de oxigênio e/ou argônio. É usado exclusivamente para a soldagem de aços-carbono e aços baixa liga. As vantagens de se utilizar o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é seu baixo custo, comparado com o argônio ou hélio, a velocidade de soldagem, a penetração elevada e soldas sem a presença de porosidade e outras descontinuidades. De outro lado, são desvantagens: indesejáveis transferência globular, o excesso de respingos e atmosfera do arco oxidante que pode causar porosidade, caso o eletrodo nu não tenha desoxidante, podendo influir nas propriedades mecânicas de depósito [31].

A adição de argônio ao  $\text{CO}_2$ , apesar de encarecer a mistura, tem suas vantagens: melhora a aparência do cordão de solda; diminui a quantidade de respingos; e a temperatura do arco é menor (para chapas mais finas), a mistura binária é muito utilizada em aço carbono e de baixa liga e, com aplicação limitada em aços inoxidáveis [31].

### **3.3.2 CONSUMÍVEIS.**

Um dos mais importantes fatores a considerar na soldagem MIG/MAG é a seleção correta do arame de solda. Esse arame, em combinação com o gás de proteção, produzirá o depósito químico que determina as propriedades físicas e mecânicas da solda. Basicamente existem cinco fatores principais que influenciam a escolha do arame para a soldagem MIG/MAG [33]:

- a) a composição química do metal de base;
- b) as propriedades mecânicas do metal de base;
- c) o gás de proteção empregado;
- d) o tipo de serviço ou os requisitos da especificação aplicável;
- e) o tipo de projeto de junta.

Entretanto, a grande experiência na soldagem industrial levou a AWS a simplificar a seleção. Foram desenvolvidos e fabricados arames que produzem os melhores resultados com materiais de base específicos. Embora não exista uma especificação aplicável à indústria em geral, a maioria dos arames está em conformidade com os padrões da AWS [33].

#### **3.3.2.1 ARAMES PARA MATERIAIS FERROSOS.**

Na soldagem de metais ferrosos, a adição de pequenas quantidades de gases ativos melhora sensivelmente a estabilidade do arco e a transferência de metal de adição. Antes de abordar os arames específicos para a soldagem MIG/MAG de materiais ferrosos, existem similaridades básicas que todo o arame ferroso compartilha nos elementos de liga adicionados ao ferro. Na soldagem MIG/MAG de aços carbono a função primária das adições de elementos de liga é controlar a desoxidação da poça de fusão e ajudar a

determinar as propriedades mecânicas da solda. Certos elementos dissolvidos na poça de fusão podem reagir entre si e o resultado da reação pode ser um gás na forma de bolhas que podem resultar em porosidade se não escaparem do metal líquido antes de sua solidificação. Um exemplo importante é a formação de é a formação de porosidade em aço ou em ligas de níquel pelo CO resultante da reação entre o oxigênio e o carbono dissolvidos na poça de fusão ( $2C + O_2 \rightarrow 2CO$ ). Esta reação pode ocorrer quando o teor de elementos desoxidantes (neste caso, elementos que apresentam uma maior afinidade pelo oxigênio do que o carbono) na poça de fusão for insuficiente para preveni-la [37].

### **3.3.2.2 ARAMES DE AÇO-CARBONO.**

Estes arames são listados na tabela 3.4 os requisitos químicos e as designações para todos os arames de aço doce cobertos pela especificação AWS A5.18 [27]. A tabela 3.5 mostra os valores mínimos das propriedades mecânicas dos depósitos de solda na condição como soldados. Embora as propriedades mecânicas e os requisitos de serviço influenciem fortemente a seleção do arame em alguns casos, considerações mais genéricas poderão ser mais úteis na maioria das aplicações e dos projetos de junta. Quando a corrente de soldagem, o tamanho da poça de fusão, a quantidade de oxidação, a carepa de usina, e o óleo encontrado na superfície do metal de base aumentam, ou mesmo, quando os teores de dióxido de carbono ou de oxigênio aumentam, os teores de manganês e de silício do arame devem também aumentar para proporcionar a melhor qualidade ao cordão de solda [33].

**Tabela 3.4 – Requisitos de composição química para arames de aços com baixa quantidade de carbono e com baixa quantidade de liga [33].**

<b>NORMA</b>	<b>COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ARAME (%)</b>							
	<b>AWS A5.18</b>	<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Mo</b>	<b>Outros</b>
<b>ER70S-2</b>	0,06	0,90-1,40	0,40-0,70	$\leq 0,035$	$\geq 0,025$	-		0,05-0,15 Ti 0,02- 0,12 Zr 0,05-0,15 Al
<b>ER70S-3</b>	0,06-0,15	0,90-1,40	0,45-0,75	$\leq 0,035$	$\geq 0,025$	-		-
<b>ER70S-4</b>	0,06-0,15	1,00-1,50	0,65-0,85	$\leq 0,035$	$\geq 0,025$	-		-
<b>ER70S-5</b>	0,06-0,19	0,90-1,40	0,30-0,60	$\leq 0,035$	$\geq 0,025$	-		0,50-0,90 Al
<b>ER70S-6</b>	0,06-0,15	1,40-1,80	0,80-1,15	$\leq 0,035$	$\geq 0,025$	-		-
<b>ER70S-7</b>	0,06-0,15	1,50-2,00	0,50-0,80	$\leq 0,035$	$\geq 0,025$	-		-
<b>ER80S-D2</b>	0,06-0,12	1,60-2,10	0,50-0,80	$\leq 0,035$	$\geq 0,025$	0,40-0,60		-
<b>ER70S-G</b>	Não especificado - requisitos a serem acordados entre o cliente e o fornecedor							

**Tabela 3.5 – Requisitos de propriedades mecânicas para arames de aços com baixa quantidade de carbono e com baixa quantidade de liga [33].**

<b>AWS A5.18</b>	<b>Gás de proteção</b>	<b>Corrente e polaridade</b>	<b>L.R (mín.) (Mpa)</b>	<b>L.E (mín.) (Mpa)</b>	<b>AL. (mín.) (%)</b>	<b>Impacto ChV (J)</b>
<b>ER70S-2</b>	Ar 1,5% O <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> <sup>1</sup>					27 J @ - 29°C
<b>ER70S-3</b>						27 J @ - 0°C
<b>ER70S-4</b>					22	não requerido
<b>ER70S-5</b>						
<b>ER70S-6</b>						
<b>ER70S-7</b>						
<b>ER80S-D2</b>	CO <sub>2</sub> <sup>1</sup>	CC+	480	400	17	27 J @ - 29°C
<b>ER70S-G</b>	não espec.	não espec.			22	não requerido

<sup>1</sup>Ar-CO<sub>2</sub> pode ser usado para todos os arames.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS.**

### **4.1 MATERIAL DE BASE.**

O material de base utilizado possui especificação CS Tipo “B” nível de carbono baixo, espessura 1,55 mm, e está contemplado na Norma [36, 38] que corresponde às chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou com liga Fe-Zn, pelo processo contínua de imersão a quente, com limite de escoamento variando entre 205 e 380 MPa.

#### **4.1.1 SUBSTRATO.**

A chapa CS tipo “B” com acabamento superficial do revestimento na forma de Zn puro possui como material de base, denominado de substrato, o aço do grau 2, atendendo as especificações mostradas nas tabelas 4.1 e 4.2.

**Tabela 4.1** – Composição química especificada para o substrato [38].

Composição Química do Substrato (%)											
C	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Cb	Ti	
0,02 à 0,15	0,60 max.	0,030 max.	0,035 max.	0,25 max.	0,20 max.	0,15 max.	0,06 max.	0,008 max.	0,008 max.	0,025 max.	

**Tabela 4.2** – Propriedades mecânicas especificadas para o substrato [38].

Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência Máximo (MPa)	Alongamento Mínimo (%)
260	356	38

#### **4.1.2 REVESTIMENTO.**

Foram utilizadas chapas zincadas com acabamento galvanizado, revestimento em forma Zn puro e com massa especificada de 100g de Zn/m<sup>2</sup>, correspondendo à designação de revestimento Z100 da Norma NBR 7008/2003 [38].

#### **4.2 METAL DE ADIÇÃO.**

Foi utilizado somente um tipo de material de adição para a soldagem dos corpos de prova, sendo este o eletrodo sólido ER70S-6 com diâmetro nominal de 1,2 mm e classificado segundo a norma AWS A5.18 [27]. A tabela 4.3 mostra a composição química do consumível utilizado.

**Tabela 4.3 — Composição química do material de adição [39].**

Classe	Tipo	Elementos	C	Si	Mn	S	P	Cu	Ni	Cr	Mo	V
AWS A5.18	ER70S-6	% Min	0,06	0,8	1,4	-	-	-	-	-	-	-
		% Max	0,15	1,15	1,85	0,035	0,025	0,5*	0,15	0,15	0,15	0,03

\*O limite máximo de cobre inclui o residual existente no aço e mais o revestimento.

#### **4.3 ACABAMENTO DO METAL DE SOLDA.**

A fim de melhorar a resistência a corrosão das juntas soldadas foi utilizada duas tintas. A primeira de composto CRZ (galvanização instantânea a frio) [40] e a segunda tinta de spray alumínio fosca [41]. O acabamento da junta soldada foi determinado por uma matriz de experimento mostrada na tabela 4.4.

#### **4.4 GÁS DE PROTEÇÃO.**

Em combinação com o metal de adição (ER70S-6), utilizou-se como proteção gasosa uma mistura binária de 75% Ar e 25% CO<sub>2</sub>, sendo a vazão de 15 L/min. [42]. A tabela 4.4 mostra as matrizes diferenciadas pelo tipo de acabamento da junta soldada.

**Tabela 4.4 — Determinação das Matrizes.**

ITEM	MATRIZ	METAL DE ADIÇÃO	GÁS DE PROTEÇÃO	ACABAMENTO
1 e 2	A e A1	ER70S-6	75% Ar + 25% CO <sub>2</sub>	Sem Acabamento (natural)
3	B			Tinta CRZ
4	B1			CRZ e Tinta Alumínio
5 e 6	C e C1			Tinta Alumínio
7	D			CRZ e Tinta Alumínio
8	D1			Tinta CRZ

#### **4.5 SOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA.**

##### **4.5.1 RETIRADA DOS CORPOS DE PROVA UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS.**

Os corpos de prova foram extraídos das chapas zincadas em regiões específicas, objetivando obter amostras de corpos de prova com a mesma variação possível de revestimento. O procedimento adotado para a retirada dos corpos de prova está ilustrado na figura 4.1.

Para os ensaios mecânicos e de caracterização metalográfica, cada chapa tinha 300,0 mm de comprimento e 150,0 mm de largura. Para o ensaio de névoa salina, cada chapa tinha 150,0mm de comprimento e largura.



**Figura 4.1** – Esquema de retirada dos corpos de prova utilizados na soldagem dos experimentos em “mm”.

#### 4.5.2 EQUIPAMENTO DE SOLDAGEM.

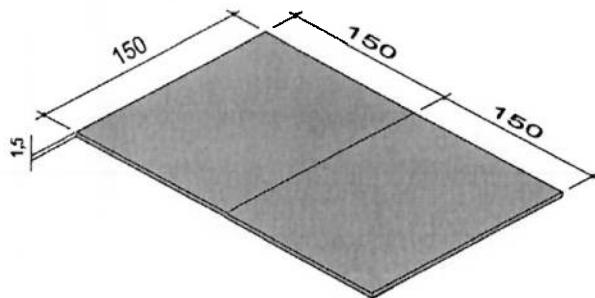
Para execução da soldagem dos corpos de prova foi utilizado uma fonte MigArc 6200 max® da CastollinAutectic®, este equipamento foi desenvolvido para diversas situações uma delas foi atender a dinâmica exigida pelo sistema, na união de chapas galvanizadas. A figura 4.2 mostra o equipamento de soldagem que foi utilizado [43].



**Figura 4.2** – Equipamento de soldagem MigArc 6200 max® [43].

#### **4.5.3 TIPO DE JUNTA E POSIÇÃO DE SOLDAGEM.**

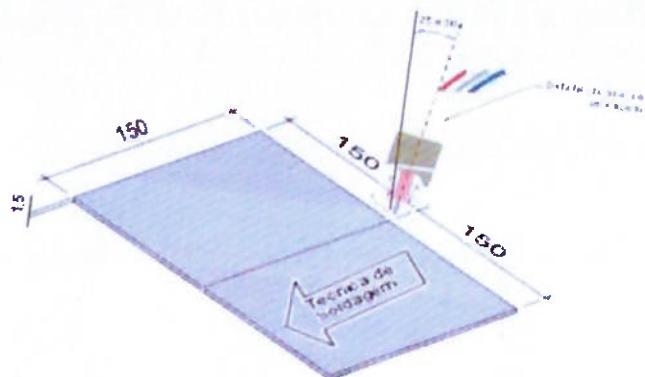
Foi escolhido o tipo de junta topo-à-topo, sem abertura de raiz e posição de soldagem plana (1G). Todos os experimentos foram executados com o mesmo padrão de junta e posição de soldagem. A figura 4.3 mostra um esquema dos corpos de prova com algumas dimensões.



**Figura 4.3** – Detalhe da montagem dos corpos de prova com a junta topo-à-topo, sem abertura de raiz com escala em “mm”.

#### **4.5.4 TÉCNICA DE SOLDAGEM.**

Quando se trata de uma chapa galvanizada de pequena espessura, utilizou-se a técnica de soldagem “Empurando”, onde o Zn se volatiliza a frente da poça de fusão, minimizando possíveis problemas de porosidade em relação à técnica de soldar “Puxando”; que tende aprisionar os vapores de Zn, pelo posicionamento do arco elétrico [22]. Devido à operação de soldagem MAG ter sido manual, não foi possível determinar com precisão o ângulo de inclinação do arame eletrodo. No entanto, acredita-se que este ângulo tenha variado entre 25° a 30° para todas as condições de soldagem MAG e a figura 4.4 mostra detalhes.



**Figura 4.4** – Técnica de soldagem “Empurrando”.

#### 4.5.5 VARIÁVEIS UTILIZADAS NA SOLDAGEM DOS EXPERIMENTOS.

Os parâmetros de soldagem foram verificados com o auxílio de um cabeçote conectado a um cabo de sinal de dados a interface do equipamento de soldagem que possibilitou analisar o comportamento das curvas de tensão e corrente de soldagem. Quanto à velocidade de soldagem, ao final de cada soldagem, o soldador apertava o gatilho da pistola continuamente durante o intervalo de 30 segundos, em seguida media-se o comprimento de arame eletrodo gasto neste intervalo. Em seguida realizou-se a operação de soldagem em varias amostras de pré-testes, de onde foi possível estabelecer os parâmetros considerados ideais para soldagem por arco elétrico de juntas topo-a-topo na posição plana. A tabela 4.5 mostra alguns destes parâmetros.

**Tabela 4.5 – Parâmetros de soldagem obtidos com o auxílio do sistema de aquisição de dados.**

Matriz	Metal de Adição	Gás de Proteção (%)	Velocidade de Soldagem (cm/min.)	Corrente de Soldagem (A)	Tensão de Soldagem (V)	Energia de soldagem (kJ/cm)
A	ER70S-6 (75 Ar + 25 CO <sub>2</sub> )		51	108	17,2	0,61
A1			63	113	17,2	0,51
B			86	118	17,0	0,39
B1			63	116	17,2	0,53
C			75	121	17,3	0,47
C1			69	121	17,0	0,50
D			85	117	17,2	0,39
D1			71	114	16,8	0,45

## 4.6 ENSAIOS MECÂNICOS REALIZADOS.

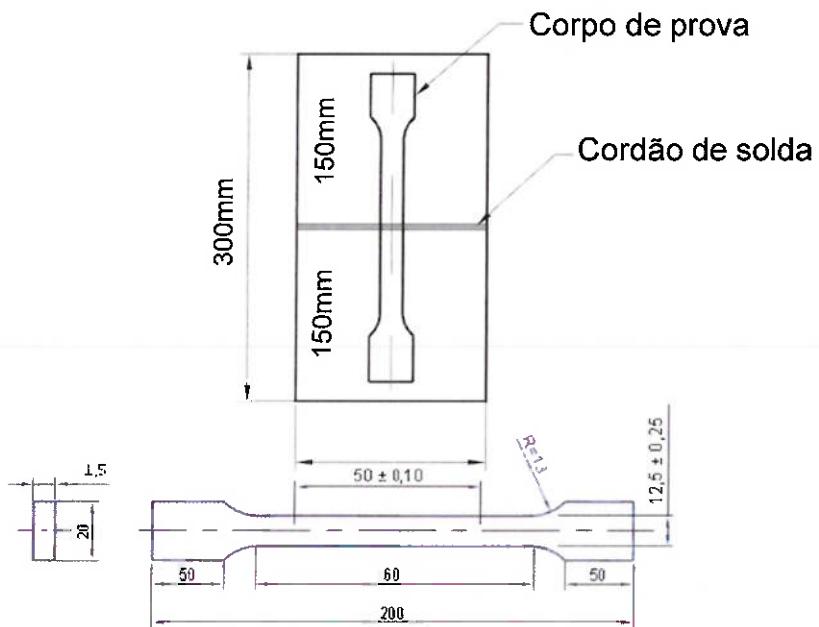
### 4.6.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO.

Foi realizado o ensaio de resistência à tração como objetivo de se comparar a resistência mecânica à tração do material de base com a da junta soldada. Para tanto utilizou - se uma máquina universal de ensaio Marca Wolpert®, Modelo n/c, tipo eletro-hidráulica nº 1263, capacidade de carga máxima de 60.000 Kgf e com módulo condicionador de sinal Marca Dinatest® , Modelo Dynaview® de nº 100.408 como mostra a figura 4.5.



**Figura 4.5** – Equipamento de tração Marca Wolpert®, Modelo n/c, tipo eletro-hidráulica nº 1263, capacidade de carga máxima de 60.000 Kgf.

As amostras retiradas e utilizadas na confecção dos corpos de prova para os ensaios de tração foram retangulares e de seção plana com as dimensões de 200 mm X 38 mm. O cordão de solda foi depositado transversalmente na direção de laminação da chapa em sentido longitudinal. E os corpos de prova (CP's) com as dimensões finais podem ser visto na figura 4.6.



**Figura 4.6** — Detalhe do corpo de prova utilizado no ensaio de resistência atração em "mm".

#### **4.6.1.1 CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO PARA O ENSAIO DE TRAÇÃO.**

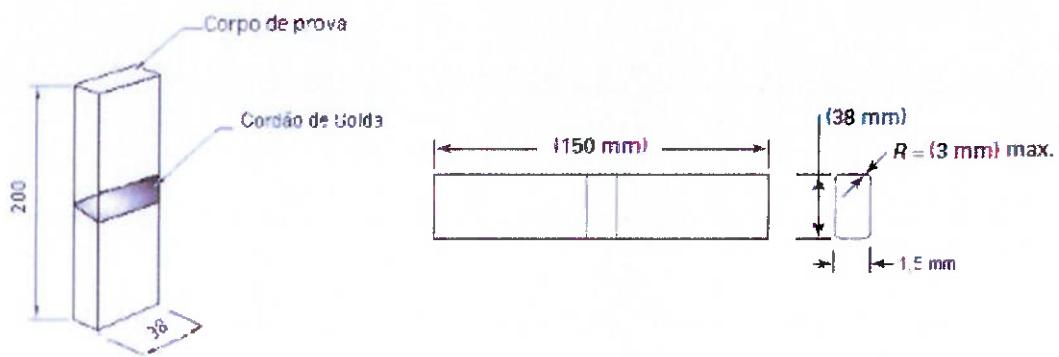
Para fins de aprovação as amostras para ensaio de tensão, deve ter uma resistência à tração que não seja inferior a:

- (a) a resistência à tração mínima especificada do metal de base, ou;
- (b) a força de tensão mínima especificada, se os metais de base tiverem a tensão de ruptura mínima diferente, ou;
- (c) a resistência à tração mínima especificada do metal de solda, quando a seção aplicável prevê a utilização de metal de solda com menor intensidade do que a temperatura ambiente o metal de base;
- (d) se as amostras romperem no metal de base fora da interface do metal de solda ou na solda, o ensaio deve ser aceito como aprovado dentro dos requisitos, desde que a resistência não seja de 5% mais abaixo da resistência à tração mínima especificada de o metal de base [46].

#### **4.6.2 ENSAIO DE DOBRAMENTO GUIADO.**

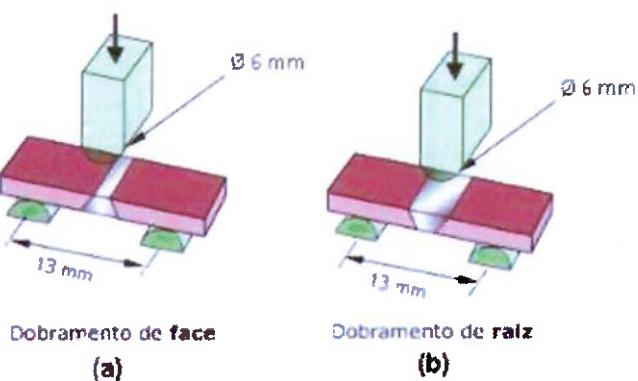
Foi realizado também ensaio de dobramento guiado com o objetivo de se verificar a qualidade da solda do metal de adição. Para tanto utilizou – se a mesma máquina universal de ensaio descrita no item 4.6.1 figura 4.5.

As amostras retiradas e utilizadas na confecção dos corpos de prova para os ensaios de dobramento guiado foram retangulares e de seção plana de mesma dimensão conforme item 4.6.1. O cordão de solda foi depositado transversalmente a direção de laminação da chapa em sentido longitudinal. E os corpos de prova (CP's) com as dimensões finais podem ser visto na figura 4.7.



**Figura 4.7** – Detalhe do corpo de prova utilizado no ensaio de dobramento em “mm”.

O ensaio de dobramento guiado seguiu a norma de referência mencionado no item 4.6.3. O ensaio de dobramento utilizou-se de um cutelo com diâmetro de 6 mm, distância entre roletes de 13 mm e ângulo de dobramento de 180º. Foi realizado dois ensaios de dobramento de face e dois ensaios de dobramento de raiz, conforme mostrado nas figura 4.8.



**Figura 4.8** – Posições para os ensaios de dobramento de face (a) e raiz (b).

#### 4.6.2.1 CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO PARA O ENSAIO DE DOBRAMENTO.

A zona afetada pelo calor de um cordão de solda transversal deve estar completamente no interior da porção dobrada da amostra após o ensaio. As amostras de dobramento guiada não poderá nenhuma descontinuidade no

cordão de solda ou na zona afetada pelo calor superior a (3 mm), medido em qualquer direção sobre a superfície convexa da amostra depois do ensaio de dobramento [45].

Descontinuidades ocorrendo nos cantos do cordão de solda durante o teste não deve ser considerada a menos que haja evidência definitiva que resultar da falta de fusão, inclusões de escória, ou outras descontinuidades internas. Para solda resistente à corrosão sobreposição de revestimento, nenhuma descontinuidade poderá ser superior a (1,5 mm), medido em qualquer direção, e nenhuma descontinuidade superior a (3mm) ao longo da interface do cordão de solda deve ser permitido [45].

#### **4.6.3 NORMA DE REFERÊNCIA.**

Foram realizados os ensaios de tração e dobramento guiado utilizando a norma de referência ASME IX 2010, adenda 2011 a. Conforme mencionado no relatório dos ensaios anexo I.

#### **4.7 CARACTERIZAÇÃO METALOGRÁFICA.**

A amostra para realização da caracterização metalográfica foi retirada da extremidade do corpo de prova enviado para o ensaio de tração e dobramento com o auxílio de uma serra fita. Após o corte da região de interesse as amostras foram embutidas em baquelite, subsequentemente realizou-se a preparação metalográfica considerando as seguintes etapas:

- i. Lixamento sob fluxo de água da amostra embutida, utilizando-se lixas de carbeto de silício de 100, 240, 300, 400, 600 e 1000mesh, nesta sequência;

ii. Polimento da amostra em pano, com pasta abrasiva de diamante, de 9, 3 e 1µm, nesta sequência;

Uma vez obtida a superfície totalmente polida o material foi submetido a ataque químico com o reagente Nital 2% (2% de ácido nítrico e 98% de álcool etílico), durante um tempo aproximado de 30s.

A preparação das amostras consistiu na caracterização do metal de base (MB) e do metal de solda (MS). Também foi realizada um macrografia da junta soldada.

#### **4.8 ENSAIO DE CORROSÃO ACELERADA EM CÂMARA DE NÉVOA SALINA.**

O ensaio de susceptibilidade a corrosão foi executado conforme a Norma ASTM B-117/2009 [44], com concentração de cloreto de sódio (NaCl) de 5%. Os corpos de prova foram colocados apoiados no interior da câmara de névoa salina e o desempenho dos mesmos foi acompanhado por inspeção visual periodicamente de 0, 24, 48, 72, 96 e 120 horas e fotografados após 96 e 120 horas. A corrosão branca inicia-se quando a proteção da camada de zinco foi comprometida. A corrosão vermelha está relacionada com a corrosão ocorrida na camada de zinco mais a corrosão do substrato. Desta forma, a corrosão vermelha é retardada quando a camada de zinco oferece maior resistência à corrosão branca. A figura 4.9 mostra a disposição das amostras.



**Figura 4.9 – Disposição das amostras no interior da câmara de névoa salina**

O ensaio de susceptibilidade a corrosão acelerada em câmara salina objetivou verificar a resistência à corrosão das Matrizes determinadas na tabela 4.4, especificamente o cordão de solda e a margem que são regiões críticas, devido ao ciclo térmico intenso que esteve submetida. O equipamento utilizado foi a câmara de névoa salina modelo USC MP02/2004 como mostra a figura 4.10.



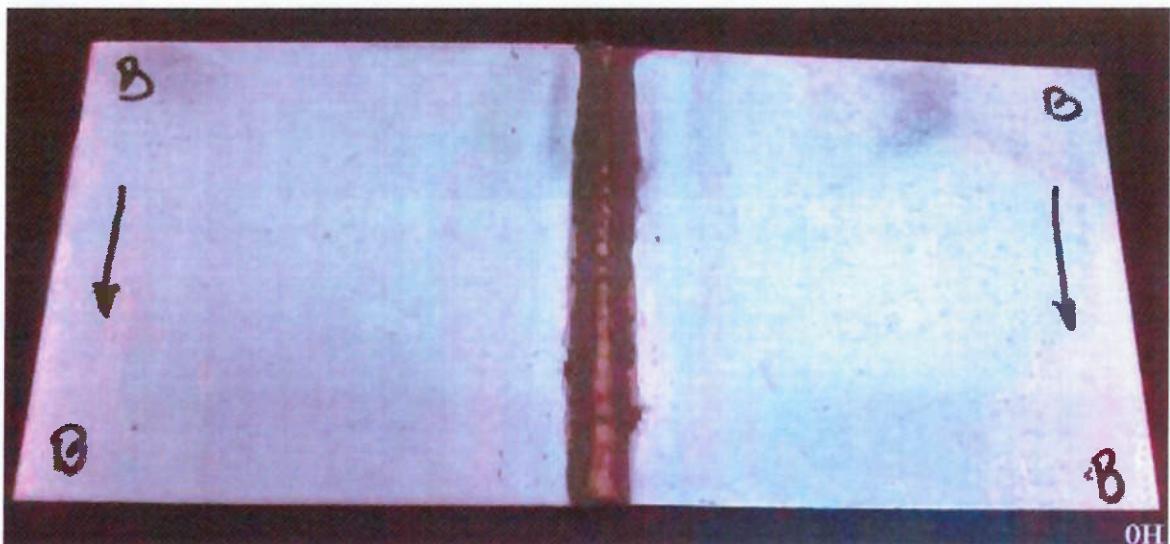
**Figura 4.10 – Câmara de névoa salina.**

#### **4.8.1 CORPO DE PROVA PARA ENSAIO DE CORROSÃO ACELERADA EM NÉVOA SALINA.**

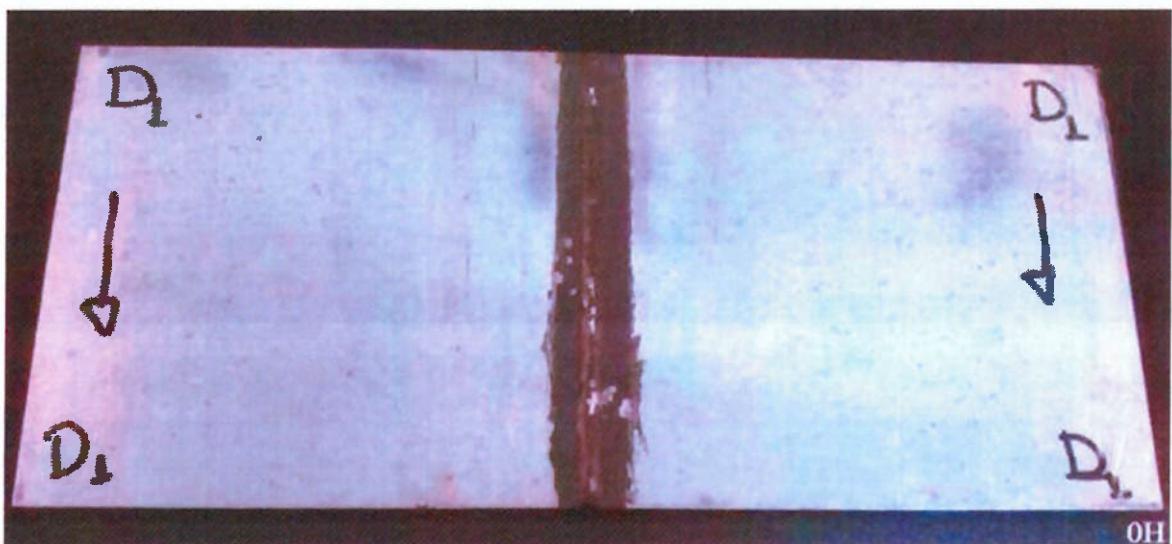
Os corpos de prova mencionados na tabela 4.4 tiveram, quando aplicado, toda a sua superfície protegida com tinta resistente a corrosão. Para os corpos de prova “B” e “D1” foi utilizado uma tinta rica em zinco (CRZ) com uma aplicação de duas camadas de tinta num intervalo de 12 horas, instrução do fabricante da tinta.

Os corpos de prova “B1” e “D” receberam uma aplicação com duas camadas num intervalo de 12 horas com tinta rica em zinco (CRZ) e uma aplicação de mais uma camada com tinta alumínio fosca.

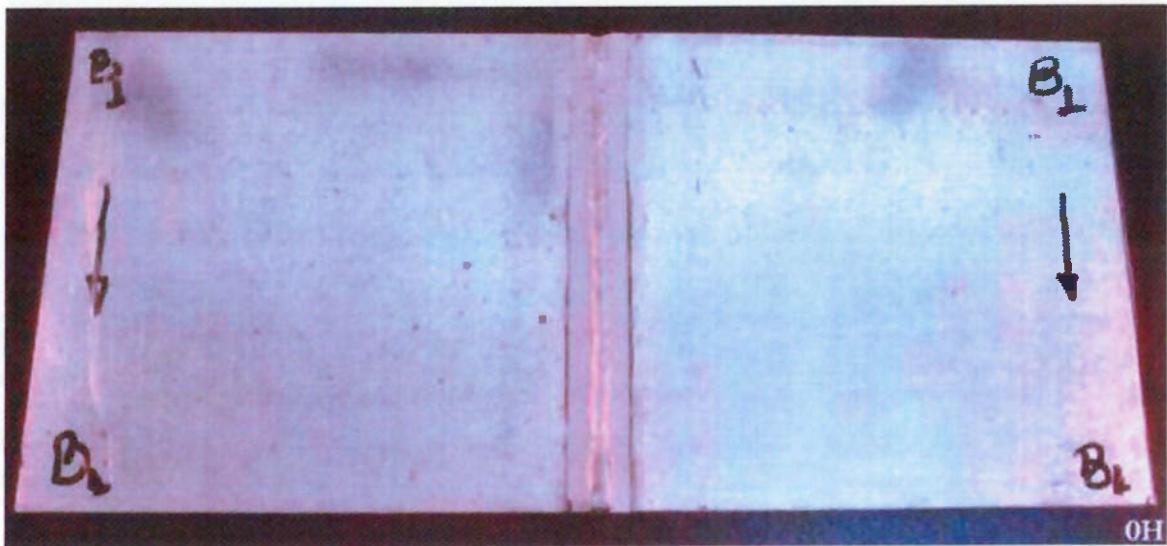
Os corpos de prova “C” e “C1” receberam somente uma aplicação com tinta alumínio fosca. Os corpos de prova “A” e “A1” permaneceram sem nenhum tipo de proteção contra corrosão. A preparação final de cada corpo de prova antes do ensaio de resistência à corrosão pode ser observada nas figuras 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 e 4.18. Em seguida, todos os corpos de prova foram encaminhados para o ensaio de corrosão acelerada em câmara de névoa salina.



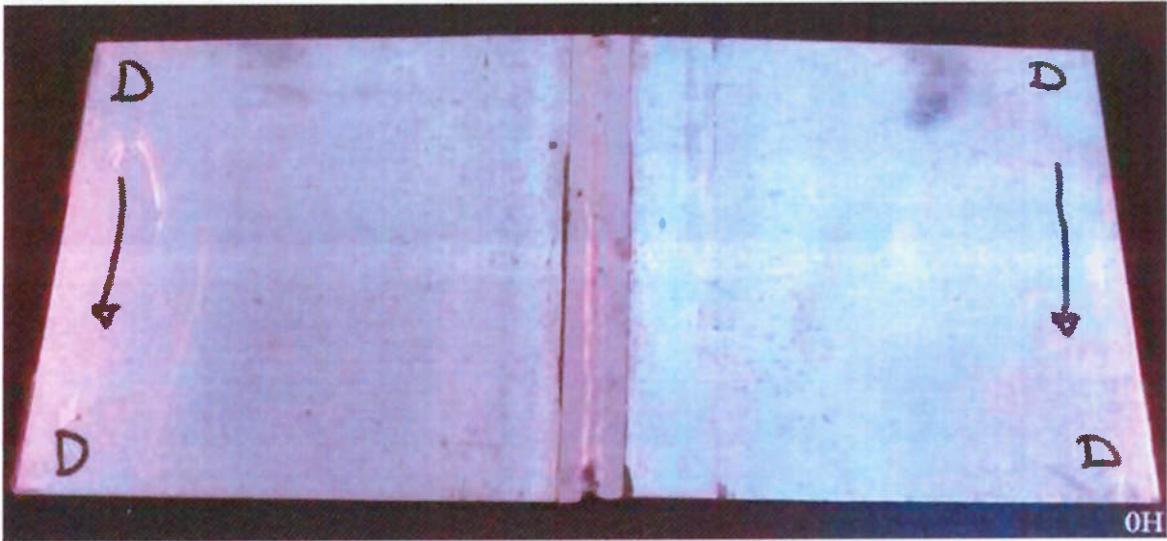
**Figura 4.11** – Corpo de prova “B” com aplicação de proteção com tinta rica em Zn (CRZ) para ensaio de corrosão em câmara de névoa salina.



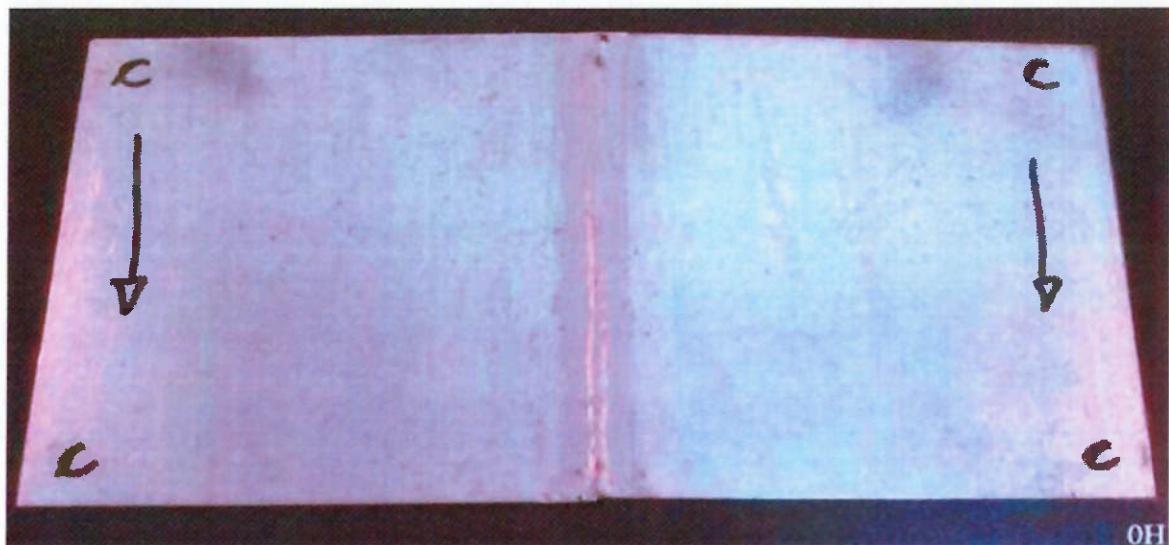
**Figura 4.12** – Corpo de prova “D1” com aplicação de proteção com tinta rica em Zn (CRZ) para ensaio de corrosão em câmara de névoa salina.



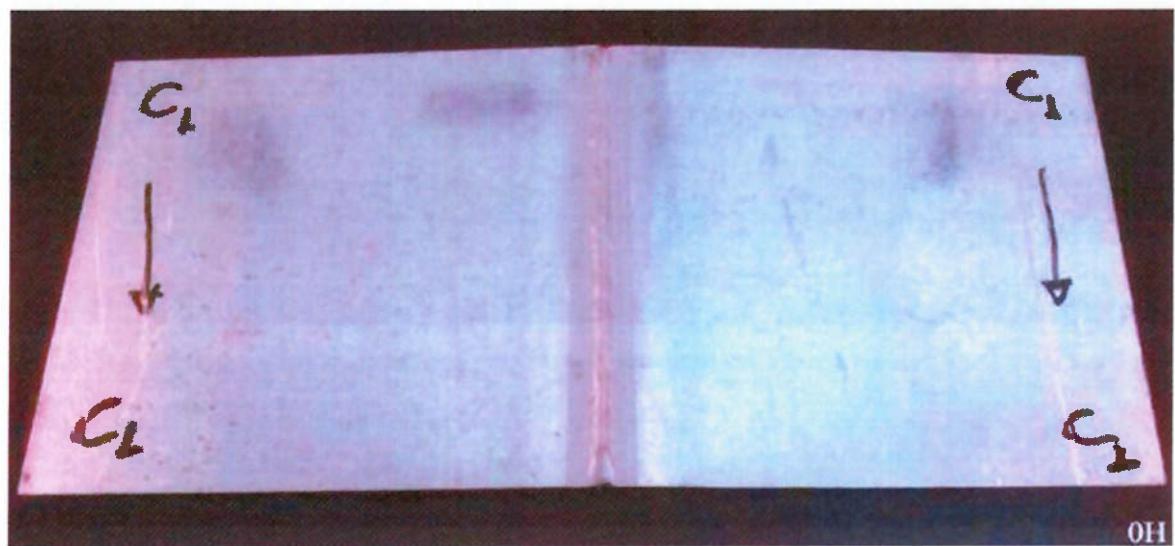
**Figura 4.13** – Corpo de prova “B1” com aplicação de proteção com tinta rica em Zn (CRZ) mais a aplicação de tinta alumínio fosca para ensaio de corrosão em câmara de névoa salina.



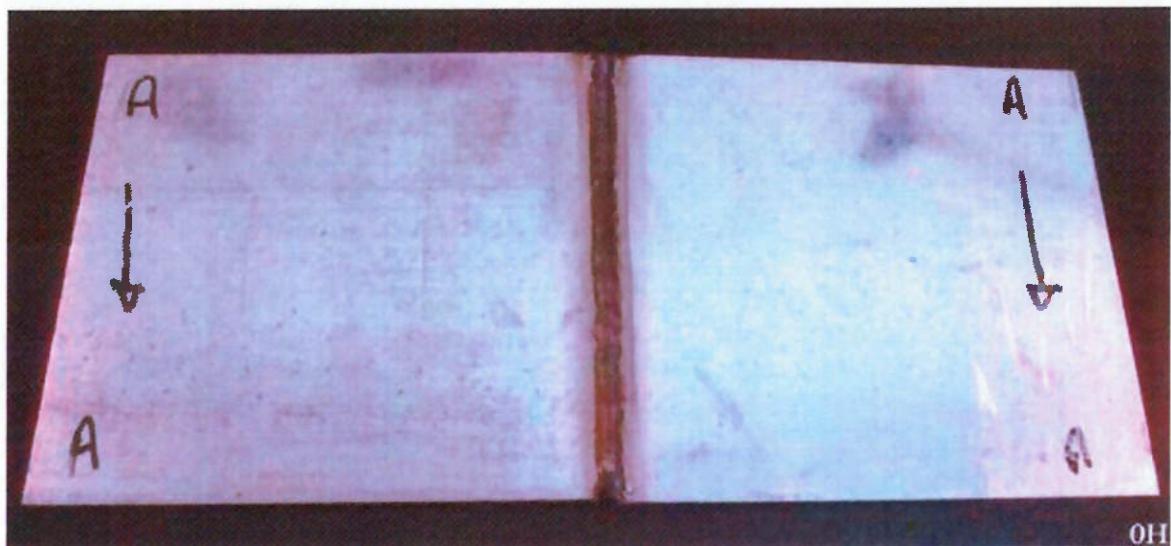
**Figura 4.14** – Corpo de prova “D” com aplicação de proteção com tinta rica em Zn (CRZ) mais a aplicação de tinta alumínio fosca para ensaio de corrosão em câmara de névoa salina.



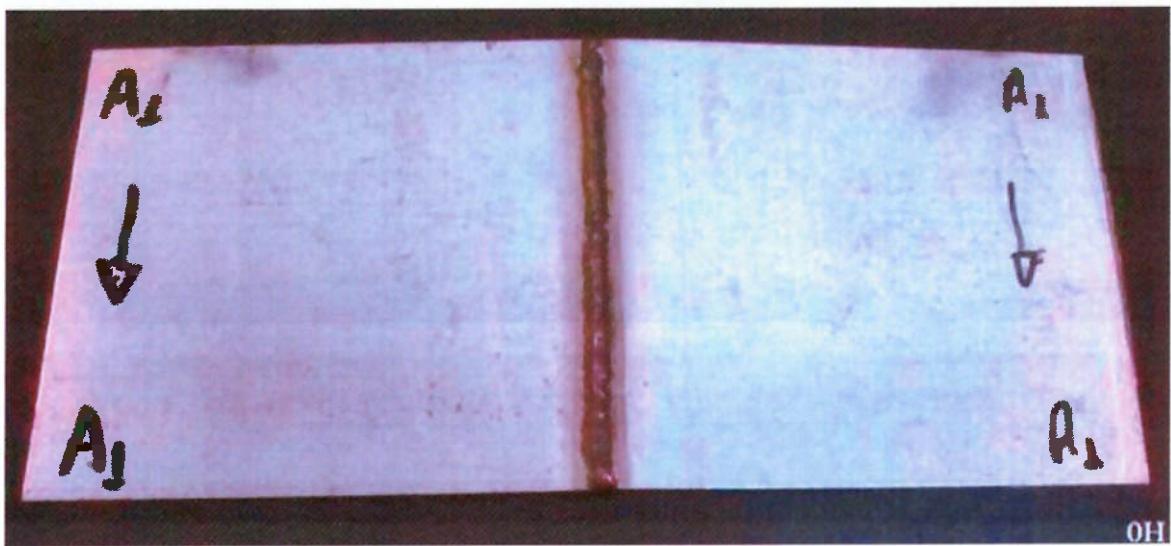
**Figura 4.15** – Corpo de prova “C” com aplicação de proteção com tinta alumínio fosca para ensaio de corrosão em câmara de névoa salina.



**Figura 4.16** – Corpo de prova “C1” com aplicação de proteção com tinta alumínio fosca para ensaio de corrosão em câmara de névoa salina.



**Figura 4.17** — Corpo de prova “A” sem nenhum tipo de proteção para ensaio de corrosão em câmara de névoa salina.



**Figura 4.18** — Corpo de prova “A1” sem nenhum tipo de proteção para ensaio de corrosão em câmara de névoa salina.

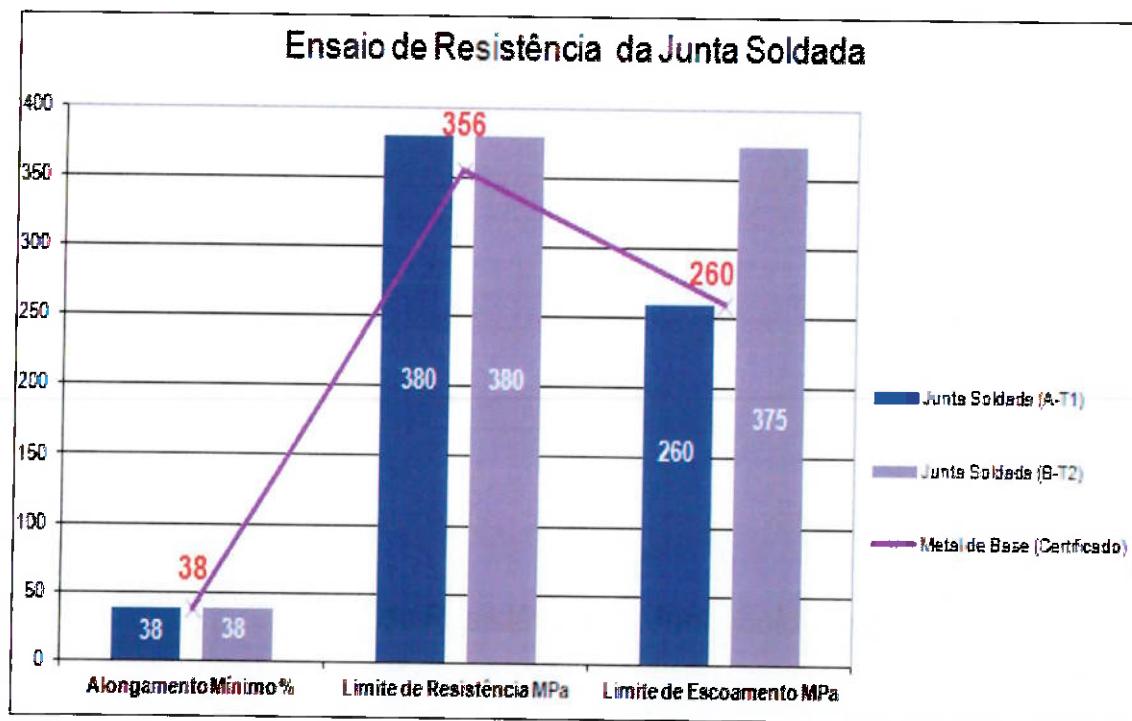
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

### **5.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO.**

A tabela 5.1 apresenta os valores de propriedades mecânicas obtidos nos ensaios de tração. Todas as matrizes proporcionaram juntas de topo soldadas sem comprometer a integridade das mesmas. O relatório de ensaio de resistência à tração, anexo I, dos corpos de prova “T1” e “T2” mostra a ruptura no material de base afastada do cordão de solda.

**Tabela 5.1** – Propriedades mecânicas da junta soldada.

TIPO DE JUNTA		Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência Máximo (MPa)	Alongamento Mínimo (%)
TOPO	Matriz A (T1)	260	380	38
	Matriz B (T2)	260	375	38



**Figura 5.1** – Gráfico comparando as propriedades mecânicas do metal de base (certificado) com a junta soldada.

## **5.2 ENSAIO DE DOBRAMENTO.**

A tabela 5.2 apresenta os valores obtidos através do ensaio de dobramento para analisar a qualidade do cordão de solda. Todas as matrizes proporcionaram juntas de topo soldadas sem descontinuidades no cordão e na ZAC, não comprometendo a integridade das mesmas.

**Tabela 5.2 – Resultados das amostras de dobramento (anexo I).**

IDENTIFICAÇÃO	DIMENSÕES (mm)	ÂNGULO	Identificação e dimensões das descontinuidades detectadas	LAUDO DO ENSAIO
DF1	1,6x38x200	180º	Isento de descontinuidades	APROVADO
DF2	1,6x38x200	180º	Isento de descontinuidades	APROVADO
DR1	1,6x38x200	180º	Isento de descontinuidades	APROVADO
DR2	1,6x38x200	180º	Isento de descontinuidades	APROVADO

Os resultados dos ensaios de resistência à tração e de dobramento, tanto de face como de raiz, mostram que a soldagem de chapas zincadas pode oferecer boas qualidades mesmo tendo o zinco como elemento que pode gerar uma redução em tais propriedades. Os resultados demonstram que para tais variáveis o procedimento de soldagem é totalmente qualificável pela Norma ASME IX.

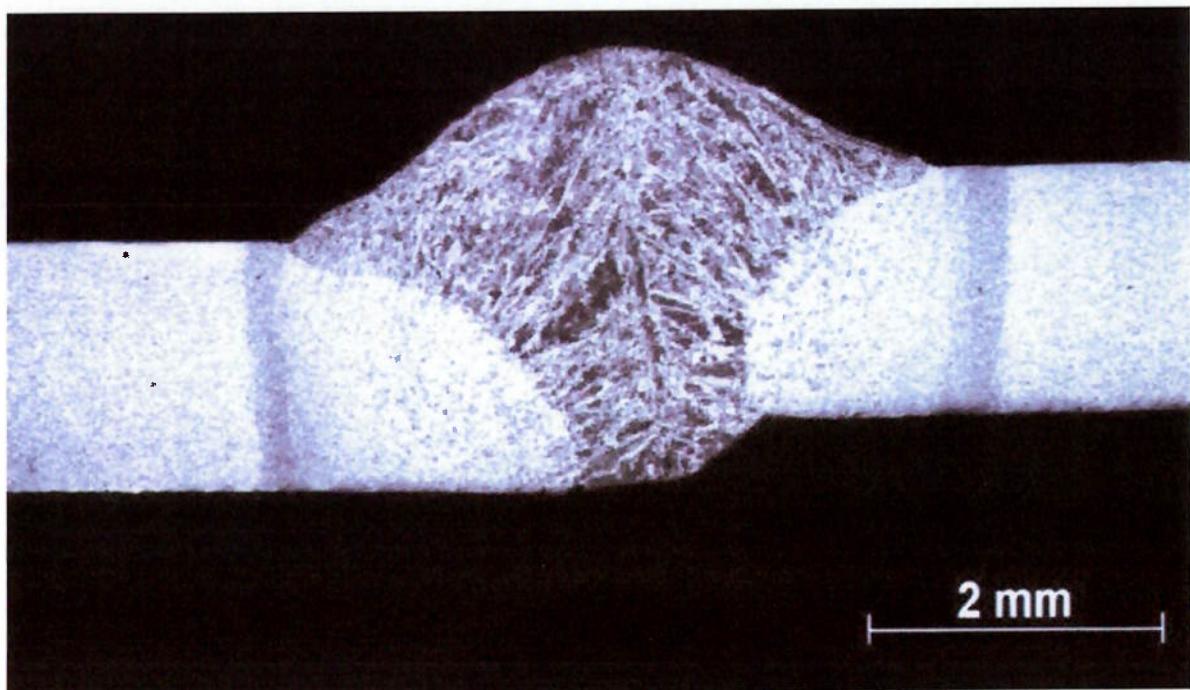
## **5.3 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA JUNTA SOLDADA.**

### **5.3.1 MACROGRAFIA DA JUNTA SOLDADA.**

A figura 5.2 mostra a macrografia da junta soldada onde mesmo utilizando uma junta topo-a-topo, sem abertura de raiz, foi possível observar

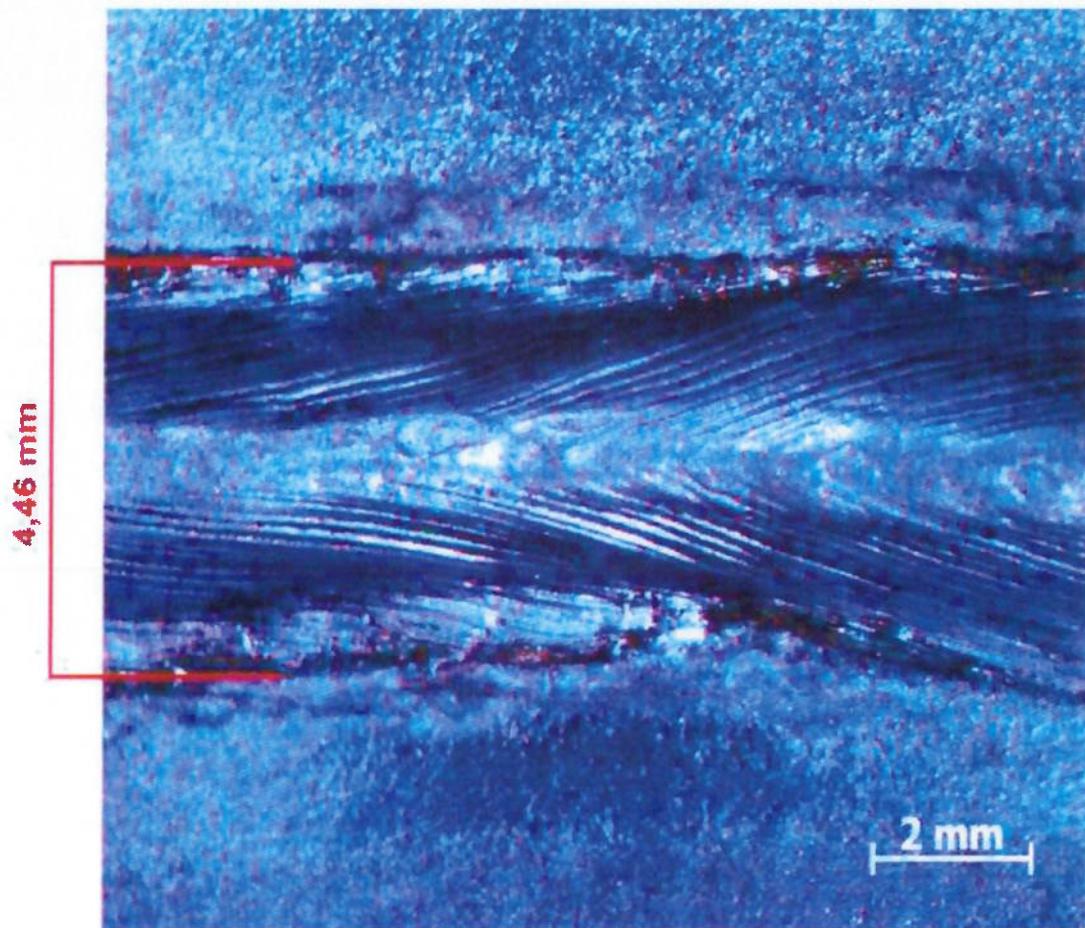
uma boa penetração do metal de adição entre as peças que compõem a junta.

Também fica evidente um desalinhamento entre as peças que pode ter sido causado na hora da montagem dos corpos de prova e agravado durante a soldagem. Foi evidenciado um grande nível de distorção nesse tipo de chapa.



**Figura 5.2 – Macrografia da junta soldada.**

A figura 5.3 mostra a imagem da superfície do cordão de solda do lado face. Podemos observar que a face do cordão de solda tem quase três vezes o valor da espessura da chapa e uma região lateral dos cordões que é devido a queima de zinco.

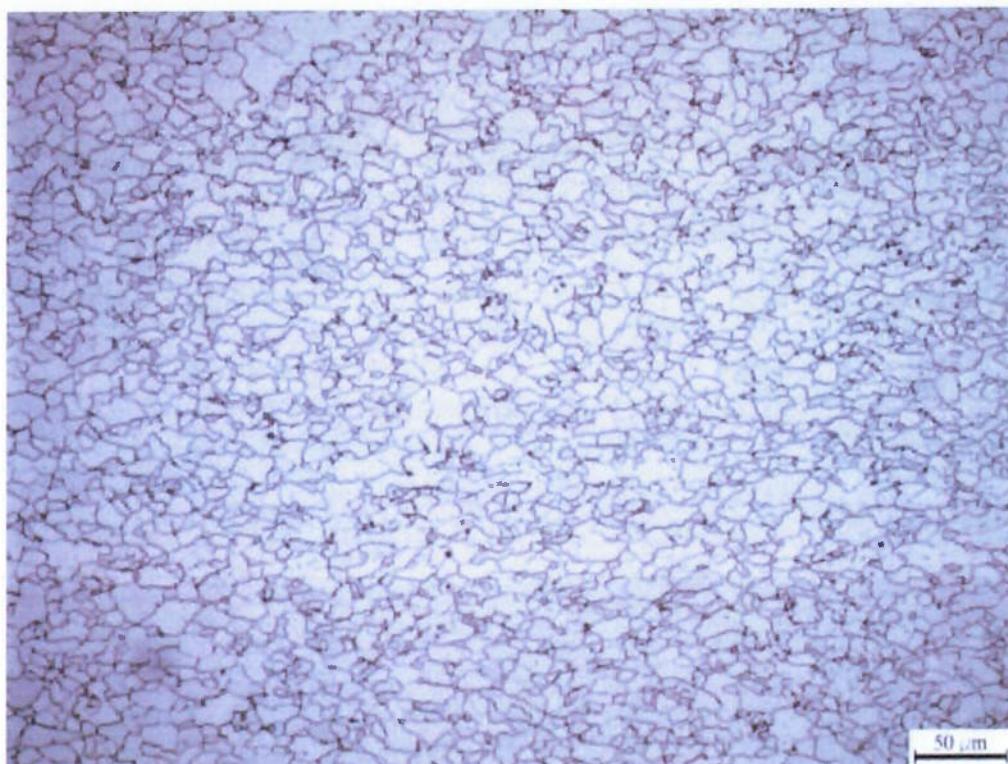


**Figura 5.3** – Aspecto superficial do cordão de solda.

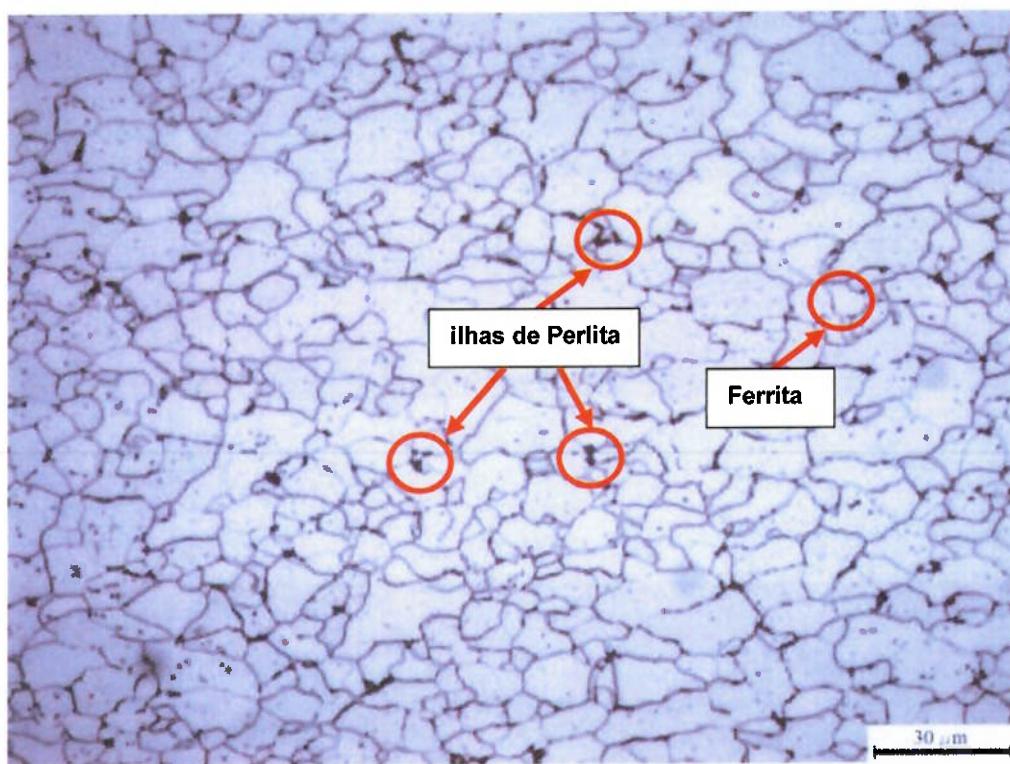
### **5.3.2 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA JUNTA SOLDADA.**

#### **5.3.2.1 METAL DE BASE.**

A microestrutura do metal de base pode ser observada nas figuras 5.4 e 5.5 com diferentes aumentos. Este aço é caracterizado por ser predominantemente ferrítico tendo alguns pontos onde podem ser observadas pequenas regiões de perlita.



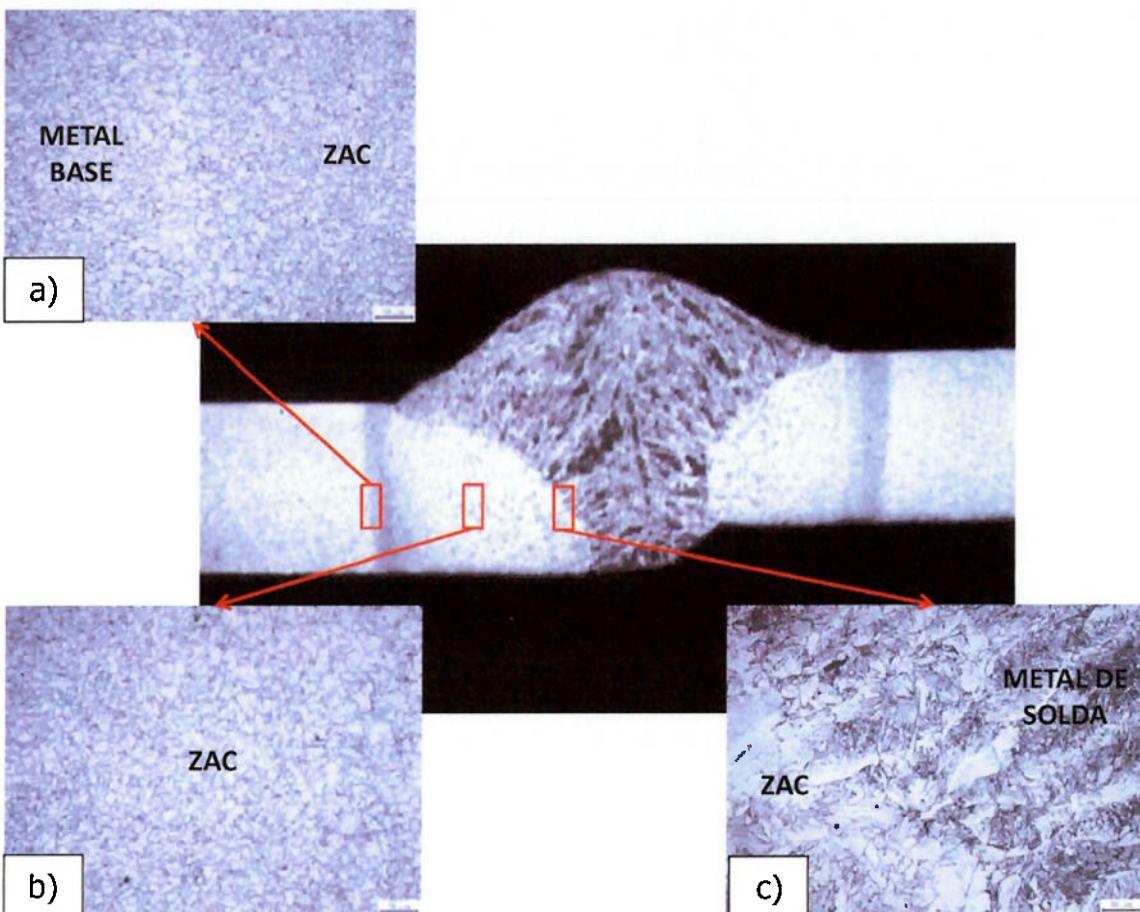
**Figura 5.4** – Microestrutura do metal de base onde se pode observar uma predominância da estrutura ferrítica. Aumento de 200X.



**Figura 5.5** – Microestrutura do metal de base com aumento de 500X composto de basicamente de ferrítica e pequenas ilhas de perlita.

### 5.3.2.2 ZONA AFETADA PELO CALOR (ZAC).

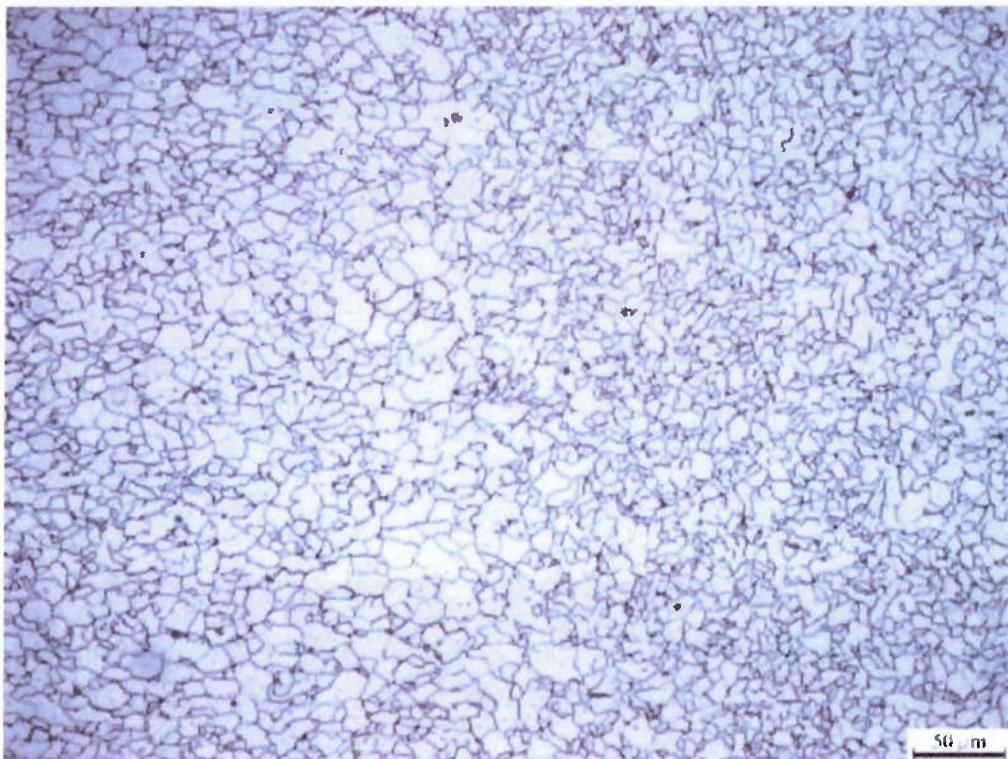
A microestrutura da zona afetada pelo calor pode ser dividida em três regiões bem distintas. Essas regiões estão indicadas na figura 5.6, onde podem ser observadas com melhor detalhamento nas figuras 5.7, 5.8 e 5.9.



**Figura 5.6** – Montagem da macrografia e as três regiões de diferentes microestruturas na ZAC. a) Transição da ZAC com o metal de base. b) Região da ZAC onde a microestrutura tende a ter similaridade. c) Região de transição da ZAC com o metal de solda.

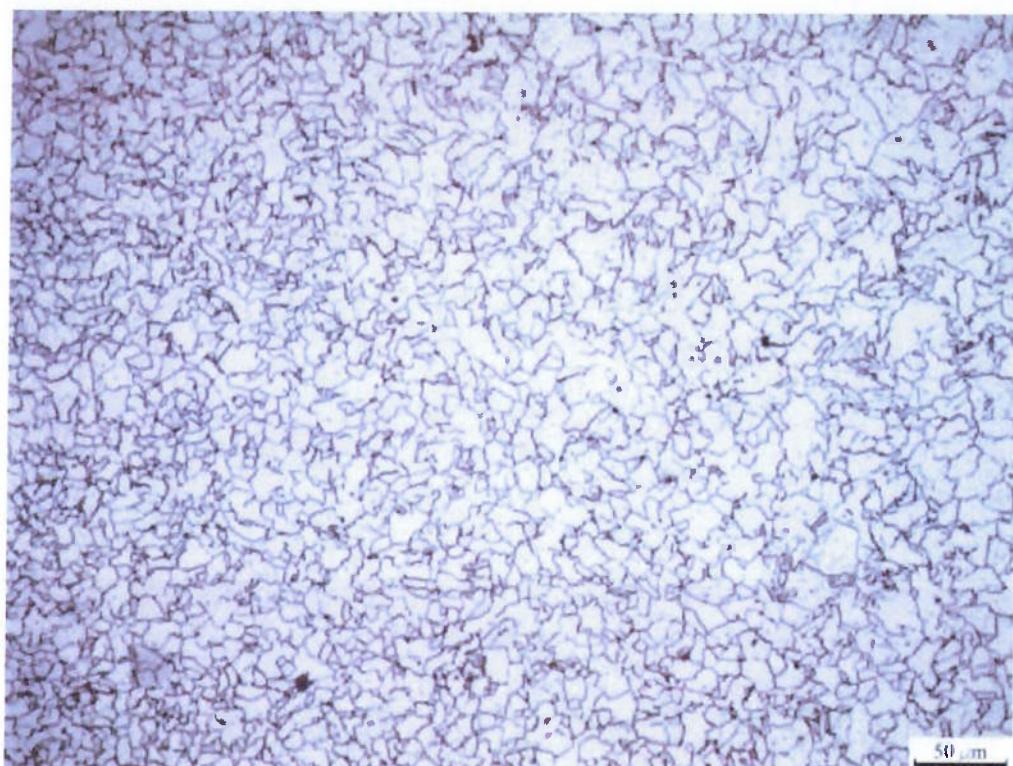
A figura 5.7 mostra a microestrutura da região de transição entre a ZAC e o metal de solda. Pode-se observar que próximo desta região há, dentro da ZAC, um refino de grão bem acentuado quando comparado com o metal de

base. Sendo comuns em ambas as regiões uma estrutura predominante ferrítica.



**Figura 5.7** – Microestrutura da região de transição entre o metal de base a esquerda com grãos maiores e a ZAC a direita com grãos um pouco menores. Aumenta de 200X.

A figura 5.8 apresenta com detalhes a região central da ZAC onde pode-se observar uma estrutura predominantemente ferrítica. Para a figura 5.9 que demonstra a microestrutura da região de transição entre a ZAC e o metal de solda podemos ver na ZAC, lado esquerdo, grãos ferríticos bem grosseiros e a microestrutura do metal de solda do lado direito.



**Figura 5.8** – Microestrutura da região central da ZAC com aumento de 200X.



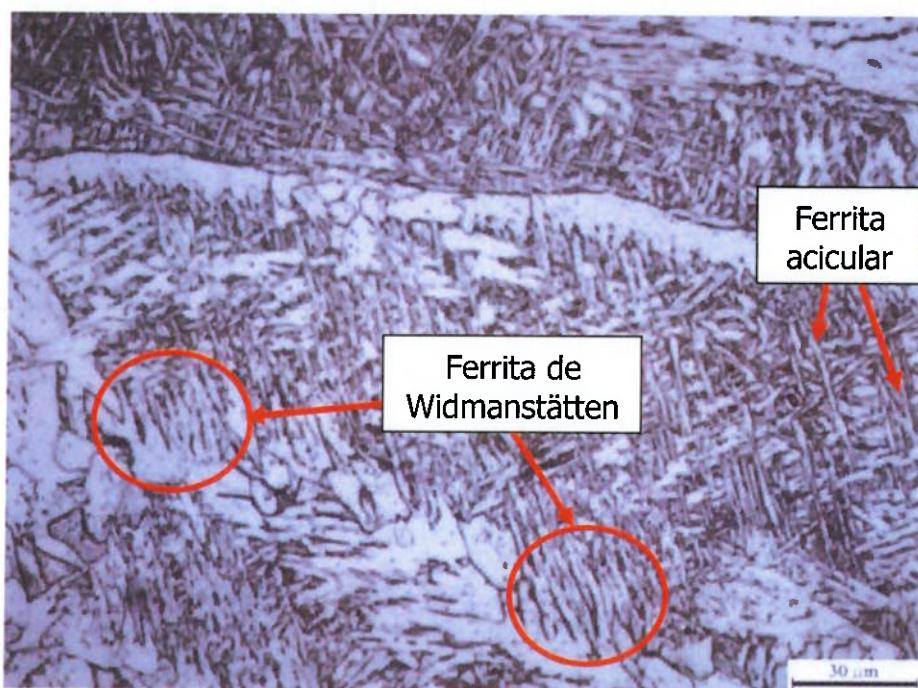
**Figura 5.9** – Microestrutura da região de transição entre a ZAC a esquerda com grãos ferríticos bem grosseiros e o metal de solda a direita. Aumento de 200X.

### 5.3.2.3 METAL DE SOLDA.

As figuras 5.10 e 5.11 mostram a microestrutura do cordão de solda onde é possível observar uma predominância de ferrita de contorno de grão e ferrita de Widmanstätten e ferrita acicular.



**Figura 5.10** – Microestrutura do metal de solda com aumento de 200X.



**Figura 5.11** – Microestrutura do metal de solda com aumento de 500X.

## **5.4 ENSAIO DE CORROSÃO ACELERADA EM CÂMERA DE NÉVOA SALINA.**

Os corpos de prova “A”, “A1”, “B”, “B1”, “C”, “C1”, “D” e “D1” após serem soldados foram submetidos ao ensaio de névoa salina. Somente os corpos de prova “A” e “A1” não receberam nenhum tipo de proteção contra corrosão, às demais receberam camadas de dois tipos de tinta para aumentarem a proteção contra corrosão.

Os resultados do ensaio de névoa salina estão representados na tabela 5.3. Pode-se observar que até 72 horas de ensaio nenhum experimento apresentou indícios de corrosão.

A partir de 96 horas os corpos de prova “A” e “A1” apresentaram degradação da camada de zinco e do substrato, onde foi constatada a corrosão vermelha e pode ser observado nas figuras 5.12 e 5.13. Este comportamento era esperado devido estarem sem nenhum tipo de proteção extra contra corrosão. Também foi evidencia nas 96 horas o início da corrosão branca nos demais corpos de prova, conforme pode ser observado nas figuras de 5.14 à 5.19.

Após 120 horas de ensaio os corpos de prova foram retirados e foi observado que a corrosão vermelha permanecia nos experimentos “A” e “A1”, mostrados nas figuras 5.20 e 5.21, porém sua aparência era muito similar aos mesmos experimentos com 96 horas. Neste tempo de exposição as matrizes “C” e “C1” também apresentaram corrosão vermelha, figuras 5.22 e 5.23, quando comparado com as amostras “A” e “A1” demonstram melhor acabamento superficial.

Os corpos de prova “B”, “B1”, “D” e “D1” demonstraram apenas a

corrosão branca o que indica a corrosão da camada de zinco, podendo ser observadas nas figuras 5.24 à 5.27. Esta corrosão branca pode ser das camadas de proteção extra oferecidas pelas camadas de tinta.

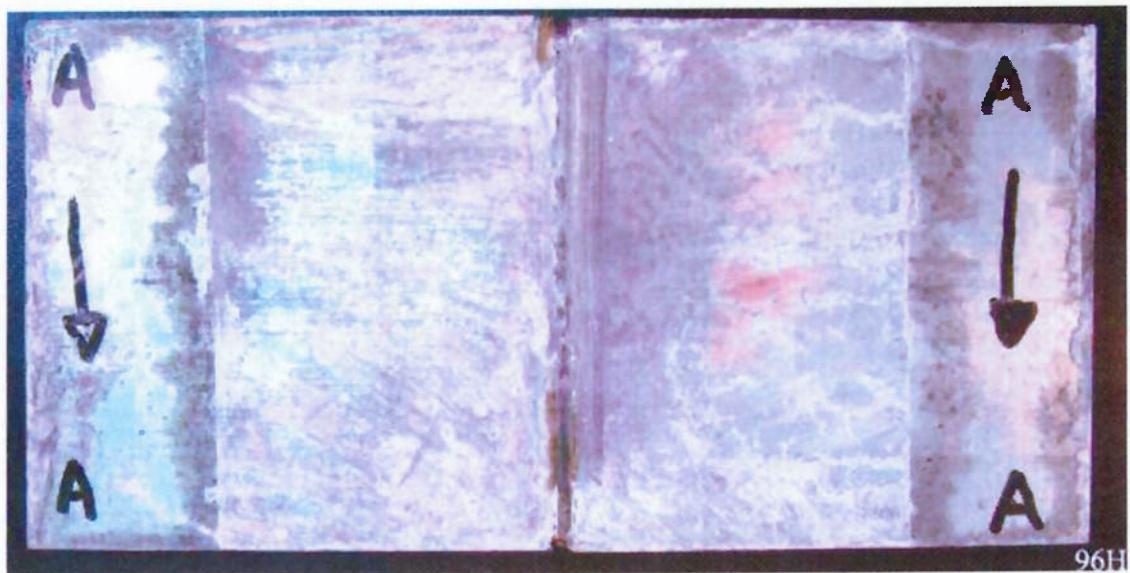
Os resultados obtidos com o ensaio de corrosão acelerada em câmara de névoa salina mostraram que as chapas zincadas que receberam dupla aplicação com tinta rica de zinco e as que receberam dupla aplicação com tinta rica de zinco mais aplicação com tinta alumínio fosco apresentaram um bom desempenho em relação à resistência a corrosão. Deve-se mencionar que as condições do ensaio são consideradas muito agressivas e que desta forma todos os experimentos tiveram um bom resultado inclusive as matrizes que não receberam nenhuma proteção extra contra a corrosão.

**Tabela 5.3 – Valores especificados da análise de corrosão acelerado (anexo II).**

Data	Dados da Câmara		Dados da Solução Coletada			Dados das Amostradas	
	Exposição (horas)	Temperatura (°C)	Volume (¹) (mL/h)	Concentração (²) (%)	pH (³)	Eventos	Inspeções
06/09/12	0	35,01	0,0	0,0	0,0	Ínicio do teste às 16:00h.	Ínicio do teste
07/09/12	24	35,0	1,5	5,0	7,0	Teste contínuo	Não verificado
08/09/12	48	35,0	1,5	5,0	7,0	Teste contínuo	Não verificado
09/09/12	72	35,0	1,5	5,0	7,0	Teste contínuo	Não verificado
10/09/12	96	35,0	1,5	5,0	7,0	Inspeção 16:00 às 16:15h	Corrosão vermelha "A" e "A1". Corrosão branca em todos os outros corpos de prova.
11/09/12	120	35,1	1,7	5,0	7,0	Final do teste 16:00h	Corrosão vermelha "A", "A1", "C" e "C1". Corrosão branca "B", "B1", "D" e "D1".

Notas:

- 1) Volume da solução salina coletada no interior da câmara, dado em milímetro por hora por 80cm<sup>2</sup>;
- 2) Concentração de sal na névoa coletada medida a 25°C;
- 3) pH da solução coletada medido a 25°C;
- 4) Solução salina – 5 partes em massa de cloreto de sódio em 95 partes de água destilada;
- 5) Suporte de amostras: Linhas de nylon e grade em material plástico.



**Figura 5.12** – Frente da matriz “A” com 96 horas de exposição no ensaio de névoa salina sem aplicação de proteção extra. Apresenta início de pequenos pontos de corrosão vermelha.



**Figura 5.13** – Frente da matriz “A1” com 96 horas de exposição no ensaio de névoa salina sem aplicação de proteção extra. Apresenta início de pequenos pontos de corrosão vermelha.



**Figura 5.14** – Frente da matriz “B” com 96 horas de exposição no ensaio de névoa salina com aplicação de duas camadas de tinta rica em zinco (CRZ). Apresenta início de corrosão branca.



**Figura 5.15** – Frente da matriz “B1” com 96 horas de exposição no ensaio de névoa salina com aplicação de duas camadas de tinta rica em zinco (CRZ) e aplicação de mais uma camada de tinta de alumínio fosca. Apresenta início de corrosão branca.



**Figura 5.16** – Frente da matriz “C” com 96 horas de exposição no ensaio de névoa salina com aplicação de uma camada de tinta alumínio fosca verificado. Apresenta início de corrosão branca.



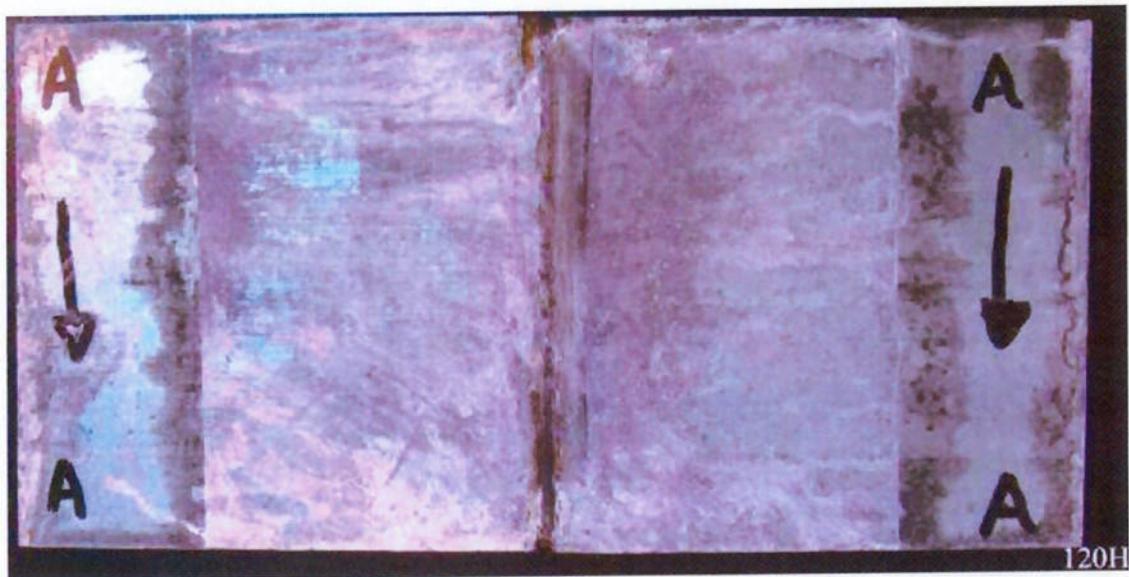
**Figura 5.17** – Frente da matriz “C1” com 96 horas de exposição no ensaio de névoa salina com aplicação de uma camada de tinta alumínio fosca verificado. Apresenta início de corrosão branca.



**Figura 5.18** – Frente da matriz “D” com 96 horas de exposição no ensaio de névoa salina com aplicação de duas camadas de tinta rica em zinco (CRZ) e mais uma camada de tinta alumínio fosco. Apresentou início de corrosão branca.



**Figura 5.19** – Frente da matriz “D1” com 96 horas de exposição no ensaio de névoas salina com aplicação de duas camadas de tinta rica em zinco (CRZ). Apresentou início de corrosão branca.



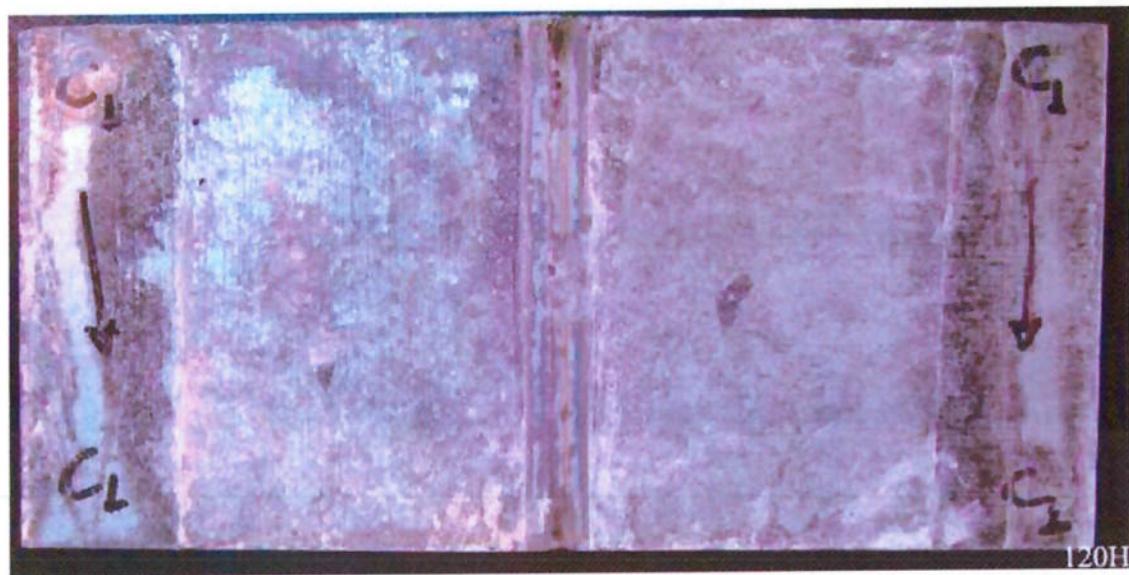
**Figura 5.20** – Frente da matriz “A” com 120 horas de exposição no ensaio de névoa salina sem aplicação de proteção. Apresentou maiores pontos de corrosão vermelha.



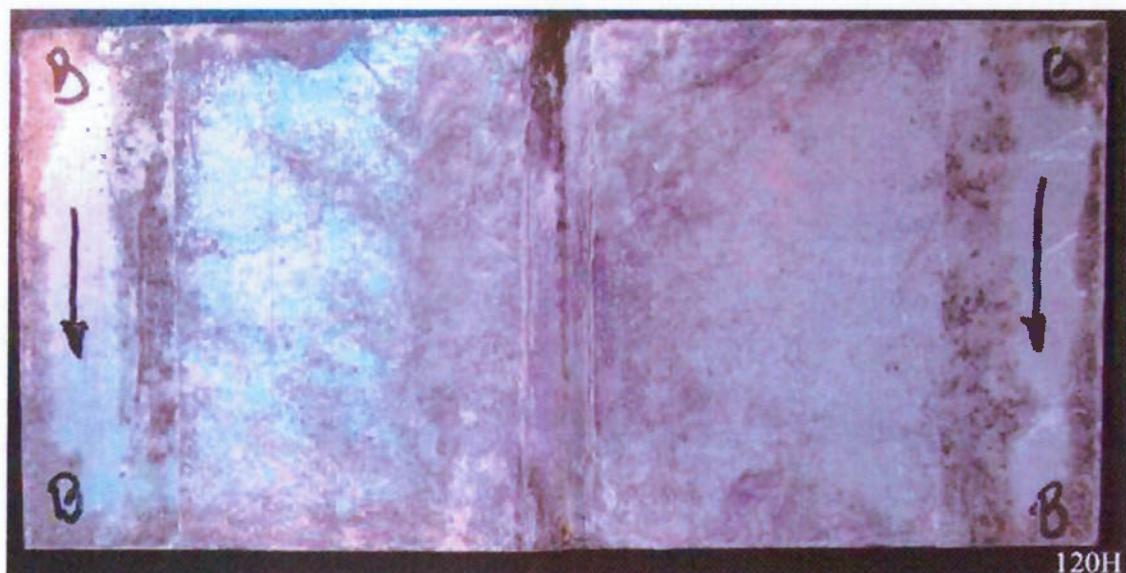
**Figura 5.21** – Frente da matriz “A1” com 120 horas de exposição no ensaio de névoa salina sem aplicação de proteção. Apresentou maiores pontos de corrosão vermelha.



**Figura 5.22** – Frente da matriz “C” com 120 horas de exposição no ensaio de névoa salina com aplicação de uma camada de tinta alumínio fosca. Apresentou início de pequenos pontos de corrosão vermelha.



**Figura 5.23** – Frente da matriz “C1” com 120 horas de exposição no ensaio de névoa salina com aplicação de uma camada de tinta alumínio fosca. Apresentou início de pequenos pontos de corrosão vermelha.



**Figura 5.24** – Frente da matriz “B” com 120 horas de exposição no ensaio de névoa salina com aplicação de duas camadas de tinta rica em zinco (CRZ). Apresentou a continuação da corrosão branca.



**Figura 5.25** – Frente da matriz “B1” com 120 horas de exposição no ensaio de névoa salina com aplicação de duas camadas de tinta rica em zinco (CRZ) e com mais uma camadas de tinta alumínio fosca. Apresentou a continuação da corrosão branca.



**Figura 5.26** – Frente da matriz “D” com 120 horas de exposição no ensaio de névoa salina com aplicação de duas camadas de tinta rica em zinco (CRZ) e mais uma camada de tinta alumínio fosca. Apresentou a continuação da corrosão branca.



**Figura 5.27** – Frente da matriz “D1” com 120 horas de exposição no ensaio de névoa salina com aplicação de duas camadas de tinta rica em zinco (CRZ). Apresentou a continuação da corrosão branca.

## **6. CONCLUSÕES.**

1. Os resultados dos ensaios de resistência à tração e de dobramento confirmaram que a resistência mecânica da junta topo-a-topo soldada pelo processo MAG não foi comprometida, sendo amplamente qualificada pela Norma ASME IX 2010.
2. As variáveis utilizadas na execução da soldagem dos corpos de prova geraram mudanças microestruturais nas juntas soldadas que não comprometeram a sua resistência mecânica.
3. Os resultados obtidos no ensaio de corrosão acelerado de névoa salina mostraram que a melhor proteção contra corrosão foi a aplicação de uma dupla camada com tinta rica em zinco. Com esse tipo de proteção, as chapas zincadas soldadas podem ser utilizadas em ambientes agressivos.
4. Os resultados obtidos no ensaio de corrosão de névoa salina para as juntas sem nenhuma proteção extra contra a corrosão apresentam grande viabilidade quando utilizadas em estruturas temporárias.

**SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.**

1. Automatizar o processo a fim de melhor compreender o efeito dos parâmetros de soldagem (stick-out, ângulo de trabalho, ângulo de deslocamento, velocidade de soldagem, etc.).
2. Estudo das propriedades mecânicas e de corrosão quando se é alterado o tipo e o percentual dos gases utilizados na soldagem.
3. Analisar as propriedades mecânicas mudando as variações do processo MIG/MAG (STT®, RMD® e CMT®).
4. Estudar os mecanismos de corrosão da camada de zinco.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. INSTITUTO AÇO BRASIL. A importância do Aço: Disponível em:  
<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/introducao.asp> Acesso em: 16 de Abr./2012.
2. DOX BRASIL. Aço Zincado: Disponível em:  
[http://201.90.225.19:90/produtos/acos/planos/bobinas\\_chapasG.asp](http://201.90.225.19:90/produtos/acos/planos/bobinas_chapasG.asp) Acesso em: 16 de Abr./2012.
3. MENDES, M. TAVARES. União de chapas galvanizadas através de brasagem por processo “MIG Brazing”. 2005. 1 à 3 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
4. CORROSION, Edited by L. L. SHREIR, Corrosion Control; Jhon Wiley & Sons, Vol. 2, Inc. New York; 1963.
5. REVISTA SIDERURGICA BRASIL, Processos e Produtos, Grips Editoras, Ano 3, nº 5, pp.47-53, Março-Abril, 2002.
6. H. E. Townsend, “Coated Steel Sheets for Corrosion Resistant Automobiles”, Materials Performance, pp.60-65, 1991
7. ZINC, The Science and Technology of the Metal, Its Alloys and Compounds, C. H. MATHEWSON, 1970.
8. M. Joy, “Zinc Electrtolítico e sue Leghe”, Galvano-Organo-traitments de Surface, pp.352-353, 1986.
9. A. Abibsi, “Electrodeposition of Corrosion Resistant Zinc Alloy Coatings”, Thesis, University of Aston, 1988.
10. W. Kautek, M. Sahre, W. Paatsch, “Transition Metal Effects in the Corrosion Protection of Electroplated Zinc Alloy Coatings”, Electrochimica Acta, pp.1151-1157, 1994.

11. M.R. Kalantary, "Zinc alloy electrodeposition for corrosion protection", and Surface Finishing, 81, 80-88, 1994.
12. T.E. SHARPLES, "ZnCo: Fighting corrosion in the 90's", Products Finishing, 54, 38-44, 1990.
13. SOUZA, A. H., FERNANDES, C. A. S., SILVA, F. H. A., "Processos de Fabricação, Características e Principais Aplicações das Chapas Galvanizadas", Apostila da Companhia Siderúrgica Nacional, pp.4-5, 9, 32-36.
14. HOSTMANN, D. & PETERS, F . K. , "The Reactions Between Iron and Zinc", Proceedings of the 9 thInternational Hot-Dip Galvanizing Conference, Zinc Development Association, Londres, 1971 p. 75-166.
15. HERSHMAN, A. A. , "Alloy Formation in Hot-Dip Galvanizing: A Short Review", Proc. Of the 8 thInternational Galvanizing Conference, Londres. P. 3-29, 1969.
16. AMERICAN WELDING SOCIETY. Welding Handbook, applications, part 2, 8<sup>a</sup> ed., v. 4, p.118-136; Miami Fl., 1998.
17. SLUNDER, C. J. & BOYD, W. K., Zinc: Its Corrosion Resistance. S. I. Batelle Columbus Laboratories, 2.ed. 1983.
18. NATAL, Y. D & BARCELOS, E. J. , Relatório Final de Estudo Sobre Soldabilidade de Chapas Zincadas de Alta Resistência por Soldagem à Ponto por Resistência Elétrica. Volta Redonda, CSN, Jul. 1990.
19. Material extraído do texto de apoio da disciplina SLD 004 – Processos de Soldagem e Junção GMAW (MIG/MAG) do curso de Especialização em Engenharia de Soldagem.
20. FRONIUS DO BRASIL. Soldagem dos aços zincados: Disponível em:  
[http://www.fronius.com/download/welding.technology/papers/14\\_mig\\_loetenvon](http://www.fronius.com/download/welding.technology/papers/14_mig_loetenvon)

- verziken duennblechen\_gb.pdf> Acesso em 05 abr. 2012.
21. Word Centre for Materials Joining Technology, Welding Galvanized Steel Connect; nº23, July 1991.
22. PERDIGÃO, S. C., "Soldagem M AG de Chapas Finas Galvanizadas". In. Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem – XIII, ABS, Anais, pp.146-159, Guarujá-SP, Outubro de 1987.
23. The Welding Institute, welding Coated Steels, Abington Hall, Abington Cambrige, CBIGAL, 1978.
24. GUPTA, S. R., GUPTA, P. C. , "Effect of Some Variables on Spatter Loss", Welding and Metal Fabrication, pp. 361-364, nov./dec. , 1984.
25. GREGORY, E. N. , "Fusion Welding of Galvanized Sheet", Sheet Metal Industries, pp.79-86, feb. , 1973.
26. MACEDO, W. A. , TORRES, R. , ZEEMANN, A. , EMYGDIO, P. R. O. , "Soldagem de chapas galvanizadas" In: Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem – ABS, Anais, pp.173-185, Blumenau - Santa Catarina, 1996.
27. INFOSOLDA. SÃO PAULO. Processo de soldagem fundamentos do processo MIG/MAG: Disponível em:  
<http://www.infosolda.com.br/download/61dpe.pdf> Acesso em: 05 set. 2012.
28. SUGA, T. , "Recent Progress of Mag Welding Material for Automation", Welding in the World, Great Britain, v. 34: pp.301-308; 1994.
29. BANG, K. S. , AHN , Y. H. CHANG, R. W. , "Effects of Welding Condition and Deoxidizing Elements of Wire on the Spatter Generation in GMAW", Welding in the World, Great Britain, n. 34: pp.411- 412, 1994.
30. PORTER, F. C. , "Galvanizing and Welding Structural Steel Part 1 – Fusion Welding", Metal Construction, pp.606-609, oct. , 1983.

31. WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELO, F. D. H. Soldagem: Processos e Metalurgia. São Paulo: Editora Blücher, 7<sup>a</sup> Ed. 1995. 99 à 132 p.
32. MARQUES, P. V.; MODENSI, P. J.; BRANCARENSE, A. Q. Soldagem Fundamentos e Tecnologia. Minas Gerais: Editora UFMG 2<sup>a</sup> Ed. 2007. 233 à 254 p.
33. ESAB. BRASIL. Processo de soldagem – conceitos e fundamentos do processo MIG/MAG: Disponível em:  
[http://www.esab.com.br/br/por/Instrucao/biblioteca/upload/1901104rev0\\_ApostilaSoldagemMIGMAG.pdf](http://www.esab.com.br/br/por/Instrucao/biblioteca/upload/1901104rev0_ApostilaSoldagemMIGMAG.pdf) Acesso em: 07 abr. 2012.
34. Material extraído do texto de apoio da disciplina SLD 002 – Física da Soldagem do curso de Especialização em Engenharia de Soldagem.
35. SOUZA, D.; ROSSI, L. M.; KEOCHEGUERIANS, F; NASCIMENTO, C. V; VILARINHO, O. LOURIEL; SCOTTI, A. Influência da Tensão de Soldagem e do Gás de Proteção sobre a Correlação entre Indutância e Regularidade da Transferência Metálica na Soldagem MIG/MAG por Curto-Círcuito. São Paulo: Artigo Científico, Vol. 16 nº 2 p 114-122, abril/junho 2011.
36. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL -NORMA A653/2011: Standard Specification for Steel Sheet: Zinc-Coated (Galvanized) or Zinc-Iron Alloy- Coated (Galvannealed) by the Hot-Dip Process.
37. KRYSIAK, K. F. , BHADHA, P. M. , "Shielding Gas Purification Improves Weld Quality", Welding Journal, pp.47-49, nov., 1990.
38. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7008/2003: Chapas e bobinas de aço revestidas com Zinco ou com liga Zinco-Ferro pelo processo contínuo de imersão a quente — Especificação.

39. AMERICAN WELDING SOCIETY Disponível em:  
<http://www.gerdau.com.br/catalogoconsumiveis.pdf> Acesso em: 07 abr. 2012.
40. QUIMATIC BRASIL. Galvanização a frio: Disponível em:  
<http://www.quimatic.com.br/catalogo.pdf> Acesso em: 07 abr. 2012.
41. SUVINIL BRASIL. tintas Spray para metais ferrosos: Disponível em:  
<http://www.suvinil.com.br/catalogo.pdf> Acesso em: 07 abr. 2012.
42. WHITE MARTINS BRASIL. Gases para proteção na soldagem: Disponível em: <http://www.whitematins.com.br> Acesso em: 07 abr. 2012.
43. CASTOLLIN AUTECTIC BRASIL. Equipamentos para soldagem: Disponível em: <http://www.eutectic.com.br/catalogos/catalogo\_geral\_de\_maquinas\_eutecti.pdf> Acesso em: 07 abr. 2012.
44. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL–NORMA B-117/2009, “StandarPratice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus1”.
45. AMERICAN SOCIETY FOR MECHANICAL ENGENEER – SEÇÃO IX 2010 ADENDDA 2011, “ Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators”.

**ANEXO I – Relatório de Ensaio de Tração**

**Team Lab**

**Relatório de Ensaio**

Laboratório de Ensaio Acreditado pela COCCE / INMETRO de acordo com a  
AGMTR NBR ISO/IEC 17025, sob o N° CRL 0347

**LABORATÓRIO DE ENSAIO PERTINENTE À REDE BRASILEIRA DE LABORATÓRIOS DE ENSAIOS - RBLE**

**Relatório de Ensaio**

**REL:** SP-0001/12 **Página 1 de 1**

**Informações fornecidas pelo solicitante:**

Solicitante/ Intendente: USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
Endereço: -

Aplição: Qualificação da Procedimento de Soldagem  
Norma de referência: ASME D1.2010 e Adenda 2011A  
Metal de base: ASTM A 653-C9 Tipo B (Z100)  
Dimensões da peça: L73 x 300 x 300  
EPS: 10  
Posição de Soldagem: 1G  
Processo de Soldagem: GMAW

Data de Soldagem: 08/08/12  
Soldador / Operador: Silviano

**1 - ENSAIO DE TRAÇÃO**

Identificação	Espessura (mm)	Largura (mm)	Ares (mm²)	Carga Máxima		Tensão (MPa)	Local da ruptura	Ladro
				Kgf	(N)			
T1	1,5	19,5	29,3	1.134	11.120	350	Metal Base	Aprovado
T2	1,5	19,5	29,4	1.124	11.020	375	Metal Base	Aprovado

\* Incerteza de Medição ( $\delta$ ) = +/- 0,5%

Preparação: QW-002-100  
Método de Ensaio: QW-102  
Critério de Aceitação: QW-103  
Limite de resistência especificado: 110.000 MPa

Máquina de Ensaio: TL-017  
Identificação: QW-102  
Certificado de calibração: DIN TT 10020/11  
Data de validade: 07/09/12  
Entidade emisora: Oficinado

**2 - ENSAIO DE DOBRAMENTO GUIADO**

Dâmetro do círculo: 50 mm  
Distância entre roletes: 13 mm

Identificação	Dimensões (mm)	Ângulo	Identificação e dimensões das descontinuidades detectadas	Ladro
DR 1	1,5 x 26 x 200	180°	Isento de descontinuidades	Aprovado
DR 2	1,5 x 30 x 200	180°	Isento de descontinuidades	Aprovado
DR 1	1,5 x 30 x 200	180°	Isento de descontinuidades	Aprovado
DR 2	1,5 x 30 x 200	180°	Fimeto de avanço/melena	Aprovado

Preparação: QW-002-300  
Método de ensaio: QW-102  
Critério de aceitação: QW-103

- Este relatório atende aos requisitos de acreditação pela COCCE/INMETRO, que avalia a competência do laboratório e comprova sua razoabilidade a partir das regras de medição.
- Ox ensaios foram realizados nas condições ambientais: (21 +/- 1) °C.
- A incerteza expandida declarada é baseada em uma incerteza padrão combinada, multiplicada pelo fator de abrangência  $k=2$ , fornecendo um nível de confiança de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- Os resultados apresentados no presente relatório têm significado métrico. As amostras ensaiadas, não serão admissíveis a qualquer teste. É proibida a reprodução parcial deste relatório.

Ensaio realizado em 23 de Junho de 2012. Emissão do relatório em 23 de Julho de 2012.

José Batista Damasceno  
Signatário Autorizado

**ANEXO II – Relatório de Teste de Corrosão Acelerado**

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 12096050MESP

FL 1/15



Empresa interessada: JORISMAR DE LIMA XAVIER  
Rua São Francisco, 84 - Canaã dos Carajás / PA

Pedido de ensaio: 256396

Natureza do trabalho: TESTE DE CORROSÃO POR EXPOSIÇÃO A NÉVOA SALINA

Indicações fornecidas pelo interessado sobre o material ensaiado:

AMOSTRA RECEBIDA: 09 amostras

IDENTIFICAÇÃO: Painéis galvanizados

REF. DO CLIENTE: E-mail de 21/08/2012 e 06/09/2012

**TESTE DE CORROSÃO POR EXPOSIÇÃO À NÉVOA SALINA - Método de ensaio conforme ASTM B 117, ed 09**

Data	Dados da Câmara		Dados da solução coletada			Dados da(s) amostra(s)	
	Exposição h	Temperatura °C	Volume mL/h	Concentração (%)	pH	Estatus	Inspecções
06/09/2012	0	35,1	0,0	0,0	0,0	Inicio do teste 16:00h	Inicio do teste
07/09/2012	24	35,0	1,5	5,0	7,0	Teste contínuo	Não verificado
08/09/2012	48	35,0	1,5	5,0	7,0	Teste contínuo	Não verificado
09/09/2012	72	35,0	1,5	5,0	7,0	Teste contínuo	Não verificado
10/09/2012	96	35,0	1,5	5,0	7,0	Inspeção 16:00 as 16:15	Corrosão vermelha A, A1
11/09/2012	120	35,1	1,7	5,0	7,0	Final do teste 16:00h	Corrosão vermelha A, A1, C e C1

## Notas:

- 1) Volume da solução salina coletada no interior da câmara, dado era mililitro por hora por 80cm<sup>3</sup>.
- 2) Concentração de sal na névoa coletada, medida a 25°C.
- 3) pH da solução coletada, medida a 25°C.
- 4) Solução Salina - 5 partes em massa de cloreto de sódio em 95 partes de água destilada.
- 5) Suporte de amostras: bobinas de nylon e grade em material plástico.

## Informações complementares:

Câmera de Névoa Salina - Modelo USC MPK2/2004 - Identificação: 4737  
 Controlador de Temperatura, West - Identificação: 4738 - Certificado RBC/ABSI CAL-A 3358/12 - válido até 07/2013  
 Controlador de Temperatura, West - Identificação: 4739 - Certificado RBC/ABSI CAL-A 3358/12 - válido até 07/2012  
 Manômetro/ Record - Identificação Tork: 4742 - Certificado RBC/Tork 11084270AFSP - válido até 09/2012  
 Manômetro/ Record - Identificação Tork: 4743 - Certificado RBC/Tork 11084271AFSP - válido até 09/2012  
 Prova Gravida: Identificação Tork: 4484 - Certificado RBC/PGG 0568/2011 - válido até 03/2016  
 Prova Gravida: Identificação Tork: 4686 - Certificado RBC/PGG 0963/2011 - válido até 04/2016  
 Refratômetro para Salinidade - Instruhem - Identificação Tork 4676  
 Medidor de pH Digital - Quimis - Identificação Tork 4654 - Certificado RBC/Tork LV 20995/11 - válido até 11/2012

Laboratório de Ensaio acreditada pela Cigre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CRL 0056.  
 Os resultados apresentados no presente documento têm significado restrito e se aplicam somente ao objeto ensaiado ou calibrado. A sua reprodução só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração. Lembrar que não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório.

Nº-GM-Rev 1

TORK Controle Tecnológico de Materiais Ltda.

SP - Rua Cruzeiro, 415 a 423 - CEP 01137-000 - Tel/Fax: (11) 3392-3962 - e-mail: tork@laboratorios-tork.com.br  
 RJ - Rua Leopoldino de Oliveira, 292 - Tijuca - CEP 21360-060 - Tel/Fax: (21) 3838-6001 - e-mail: torkj@laboratorios-tork.com.br



RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 12096030MESP

FL. 15/15

**Resultados:**

Após 96 horas de exposição foi verificada corrosão branca em todos os corpos de prova. Nas amostras A e A<sub>1</sub> foram identificados pequenos pontos de corrosão vermelha no metal de solda com 96 horas de exposição.

Com 120 horas de exposição às amostras A e A<sub>1</sub> apresentaram mais pontos de corrosão vermelha no metal de solda. As amostras C e C<sub>1</sub> também apresentaram pequenos pontos de corrosão vermelha no metal do solda com 120 horas de exposição.

As demais amostras não apresentaram corrosão vermelha.

**Procedimento Tork: P-521.**

Local e Data dos Ensaios: São Paulo, de 06 a 11 de Setembro de 2012.  
Emissão do Relatório: São Paulo, 12 de Setembro de 2012.

Eng. Leopoldo Rosalim de Oliveira – CREA 0600318910  
Gerente Técnico do Laboratório Tork SP

Laboratório de Ensaio acreditado pelo Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CRL 0056.  
Os resultados apresentados no presente documento têm validade restrita e se aplicam somente ao objeto ensaiado ou calibrado. A sua reprodução só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração. Laudos não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório.

M-04-004

**TORK Controle Tecnológico de Materiais Ltda.**

SP - Rua Cruzeiro, 415 a 423 - CEP 01137-000 - Tel. Fax: (11) 3392-3902 - e-mail: tork@laboratorios-tork.com.br  
RJ - Rue Leopoldino de Oliveira, 392 - Tucuruvi - CEP 21360-060 - Tel./Fax: (21) 3830-0011 - e-mail: torkj@laboratorios-tork.com.br

## ANEXO II – Certificado de Qualidade da Chapa Zincada

**DSP** Reg No. 5155757  
**Davinder Singh Production (Pty) Ltd**  
 51 Ruimsig Street  
 Northgate 1410  
 S.Africa  
 Tel: 011-727 0222/27900  
 Fax: 011-727 0223/7126/7134

Customer Details	
VA 843-9	PO BOX 2223
U.S.A.	ZIP CODE
840-7824	

Customer Order Number	Customer Order No 1	Customer Order No 2
Order Number	103020000	101052000
Net Mass (kg)	111.810	112.650
Gross Mass (kg)		
Comments		

43