

## DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

# ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO PROCESSO MIG-BRAZING EM CHAPAS REVESTIDAS COM Zn-Fe PARA APLICAÇÕES QUE DEMANDAM APARÊNCIA DE INOX

---

ALUNA: LÍVIA ALVES FREIRE ABRANTES

ORIENTADOR: PROF. Dr. SANDRO ROSA CORRÊA

Volta Redonda, 2023

- ✓ Versatilidade;
- ✓ Vulnerabilidade à oxidação;
- ✓ Revestimento protetor: resistência à corrosão e boa aparência estética.



Fonte: Adaptado de Brasgolden



Fonte: Grupo Pizzinatto



Fonte: R3 Soluções em aço

- ✓ Revestimento à base de zinco;
- ✓ Galvanização: Baixo custo e peso;
- ✓ Processo MIG-Brazing.



Regional Telhas, 2019



Fonte: Autor

➤ **Objetivos Gerais:**

- ✓ Desenvolvimento de procedimento para união de chapas com revestimento em zinco;
- ✓ Sem degradação do revestimento, visando qualidade;

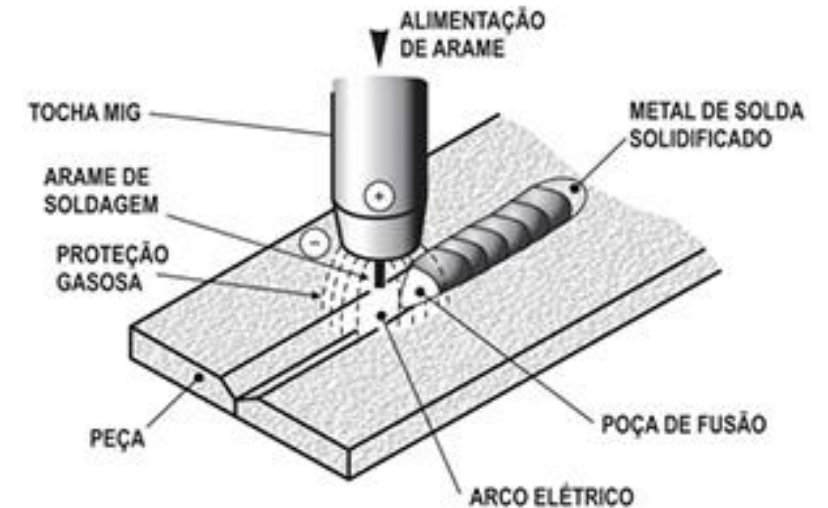
➤ **Objetivos Epecíficos:**

- ✓ Caracterização do metal base;
- ✓ Brasagem pelo processo MIG (MIG-Brazing) automatizado;
- ✓ Caracterização dos corpos de prova brasados.

- Obter a união por brasagem de chapas de aço zincadas com o mínimo de degradação do revestimento, visando o aspecto visual do produto, para substituição em algumas aplicações do aço inoxidável.

## Soldagem MIG/MAG (GMAW)

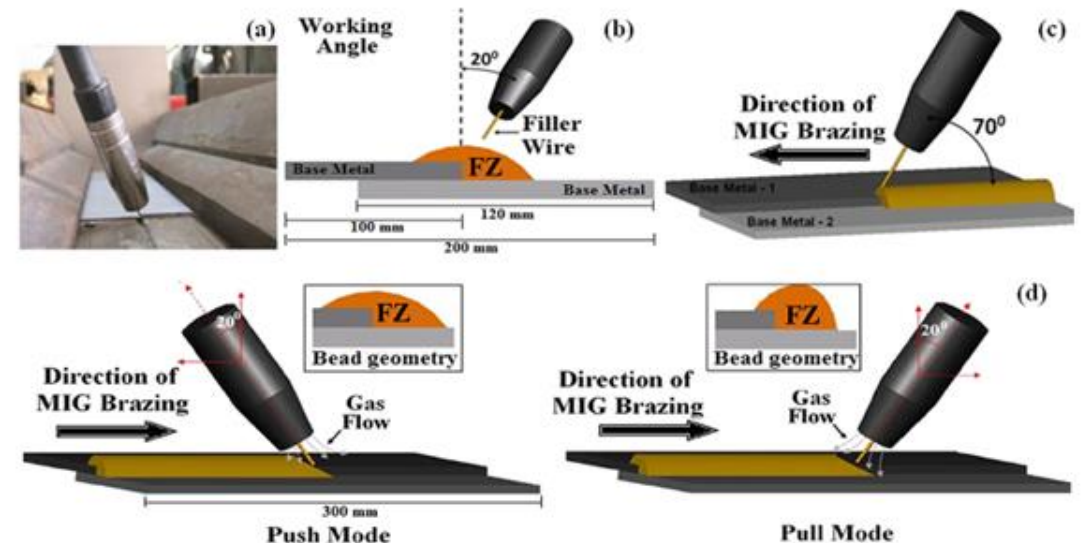
- Temperatura fusão: Aprox.: 2000°C;
- Eletrodo consumível (arame);
- Fusão do metal de adição e metal base;
- Resfriamento da poça: União.



Fonte: ESAB BR, 2005

## Brasagem (MIG-Brazing)

- Temperatura de fusão do material de adição:  $> 450^{\circ}\text{C}$ ;
- Temperatura fusão material de adição:  $<$  temp. fusão metal base;
- Metal base: não funde.



Fonte: Niket Shah, 2017

## Brasagem MIG

Apenas o metal  
de adição irá  
fundir.



Há fusão do  
metal base com  
o metal de  
adição

## Soldagem

# Revisão Bibliográfica

## MIG-Brazing

União das características da brasagem e soldagem MIG;

Material depositado nas juntas por molhabilidade;

Baixo aporte térmico;

Amplamente utilizado em chapas galvanizadas;

Preservação do revestimento.

# Revisão Bibliográfica

Técnica acessível para substituir a soldagem a arco;

Redução da volatilização do revestimento;

Menor tensão residual e distorção geométrica;

Menor deterioração dos materiais pelo calor.

## MIG-Brazing

## Aço Galvanizado

- Galvanização: Proteção do aço contra corrosão;
- Galvanização Zinco: Mantém as características do substrato (aço);
- Processo de galvanização, destacam-se:
  - **Imersão à quente;**
  - **Eletrodeposição.**

## Galvanização – Imersão à quente

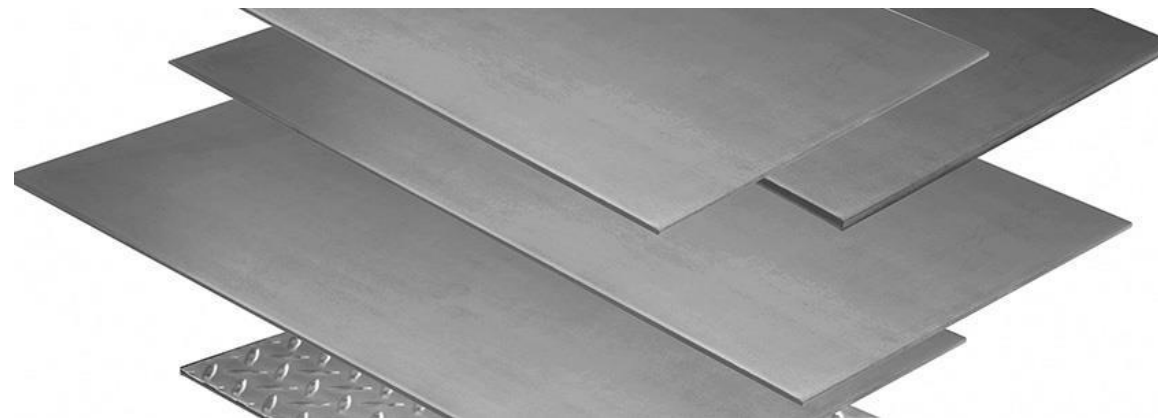
- Método bastante utilizado para proteção.



Fonte: Adaptado de (Costa, 2013)

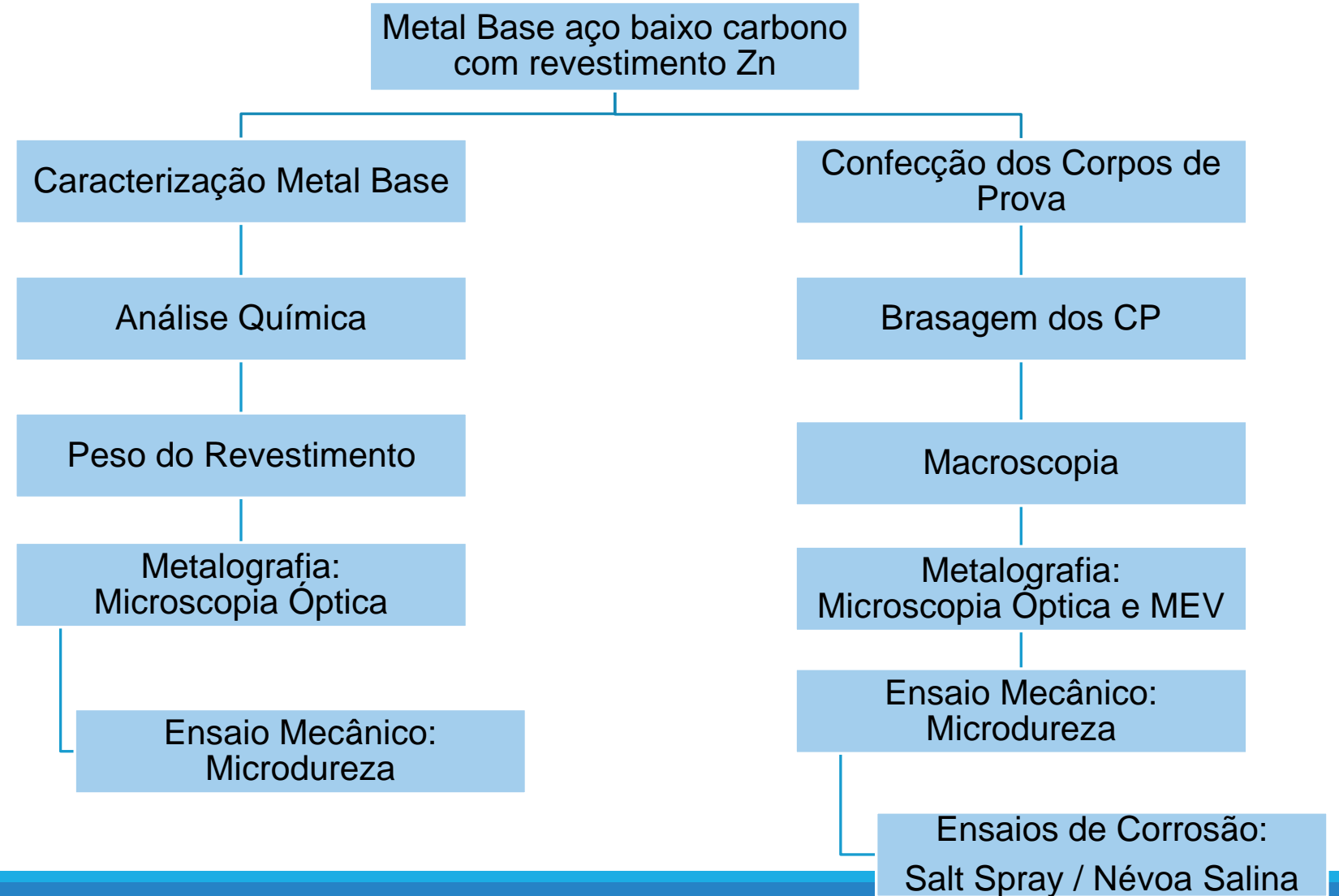
## Galvanização – Imersão à quente

- Resistência à corrosão
  - Proteção por barreira;
  - Proteção Sacrificial (Catódica).



Fonte: ArcelorMittal

## Metodologia Proposta



## Metal Base

- Espessura da chapa: 1 mm;
- Dimensões da chapa: 95 mm x 95 mm;
- Peso revestimento: 38 g/m<sup>2</sup>;
- Tratamento mecânico gerando aspecto brilhoso.



Fonte: Autor

## Brasagem

- Adaptação de um sistema MIG/MAG;
- Parâmetros: cordões homogêneos, arco estável e baixos respingos.

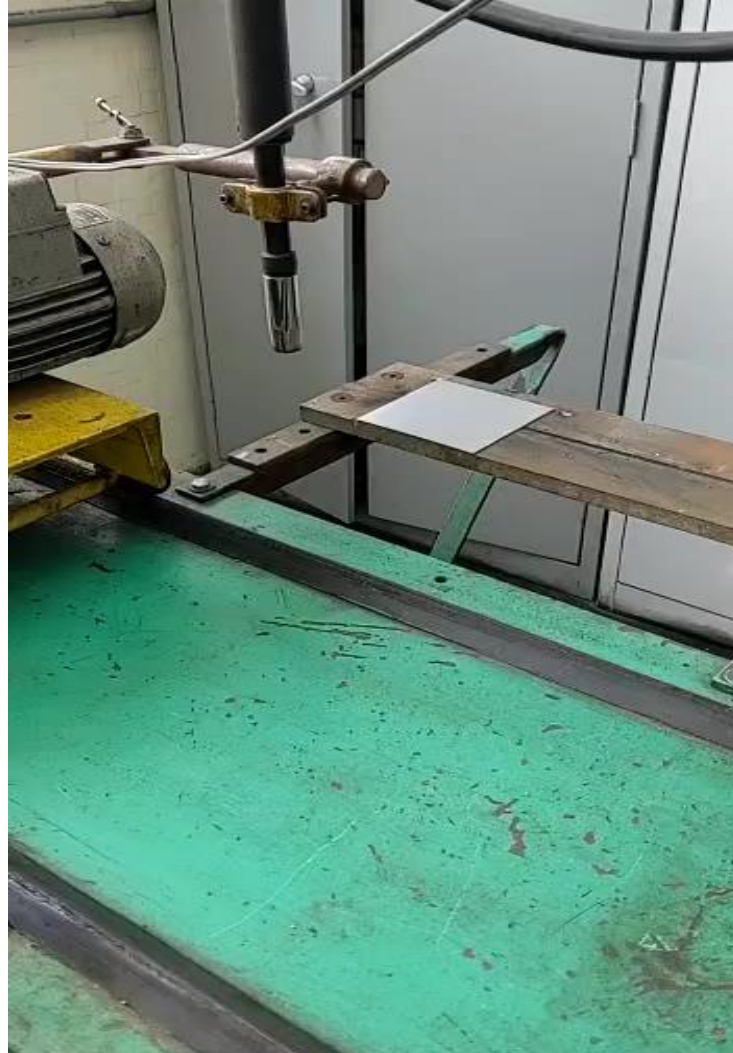
Parâmetros de Brasagem	
Consumíveis	Arame CastroMag 45706 (CuSi <sub>3</sub> ) (Eutectic Castolin)
Diâmetro do arame	1,0 mm
Velocidade de Brasagem	4,85 mm/s
Rendimento	80%
Tipo de Gás	Argônio
Vazão do gás	17 L/min
Comprimento do arco	1,0 mm

## Brasagem – Parâmetros nominais

- Inclinação da tocha: 70° (puxando) e 90° (empurrando);
- Comprimento do arco: constante.
- ✓ Metalografia: 1.2; 1.4; 2.2 e 2.4;
- ✓ Corrosão: 1.1; 1.3; 2.1 e 2.3.

Amostra	Corrente (A)	Voltagem (V)	Inclinação Tocha
1.1	51	15,3	70°
1.2	51	15,3	70°
1.3	71	16,2	70°
1.4	71	16,2	70°
2.1	51	15,3	90°
2.2	51	15,3	90°
2.3	71	16,2	90°
2.4	71	16,2	90°

## Brasagem



## Metalografia – Óptico

- Embutimento à quente: até 180°C;
- Pressão: 100Kgfc $m^{-2}$  / 25 min;
- Lixamento: 200, 360, 400, 600, 800, 1000, 1200 e 1500 mesh;
- Polimento: Feltro, alumina e água (1 $\mu$ m; 0,3 $\mu$ m e 0,05 $\mu$ m).

## Caracterização Microestrutural

- Microscopia óptica e MEV
- Ataque das amostras: Nital 3%;
- Análise da ZTA e metal base.

## **Microdureza – Caracterização das Fases de composição da estrutura do material**

- Carga: 300 g;
- Tempo permanência: 20 segundos;
- Distância entre indentações: 0,25 mm;
- Indentações realizadas no metal base e metal de adição.

## Corrosão – NBR 8094/83 e ASTM B117

✓ Amostras: 1.1; 1.3; 2.1 e 2.3

Materiais Ensaio de Corrosão (1 litro de solução)	
Solução aquosa	$\pm 5\%$ de NaCl
Dissolução para obtenção de 1 litro	$(50 \pm 5)$ g NaCl
Temperatura	Ambiente
Faixa de pH	6,5 a 7,2
Pressão ar comprimido	Entre 70 KPa a 170 KPa
Ângulo de disposição	15° a 30° (relação a vertical)
Temperatura Câmara	$(35 \pm 2)^\circ\text{C}$

## Corrosão – NBR 8094/83 e ASTM B117

- Lavagem: água corrente inferior a 40°C;
- Inspeção Visual: 24h; 48h; 72h; 120h e 168h.

Após 48 horas



corrosão acentuada

## Brasagem - Parâmetros

Amostra	Corrente (Real)	Corrente (Nominal)	Voltagem (Real)	Voltagem (Nominal)	Inclinação Tocha	Aporte Térmico (J/mm)
1.1						
1.2						
1.3						
1.4						
2.1						
2.2						
2.3						
2.4	48	71	19,8	16,2	90°	156,77

■ Cálculo do aporte térmico:

**“...foram encontrados resultados que mostram que ângulos de ataque puxando apresentam maiores valores de calor no metal base.” (HIRATA et al; 2014) (RESENDE e SCOTTI; 2015)**

7671-1:2002)

## Brasagem – Cordões

Coloração escura em volta do cordão, associado à evaporação do zinco. (NASCIMENTO et al, 2010)

Amostra 1.1



Face superior



Face inferior

Amostra 1.2



Face superior

Amostra 1.3



Face superior



Face inferior

Amostra 1.4



Face superior

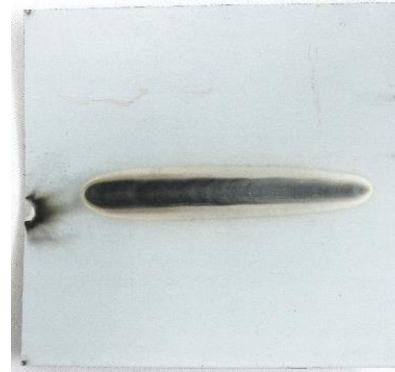
## Brasagem – Cordões

Coloração escura em volta do cordão, associado à evaporação do zinco. (NASCIMENTO et al, 2010)

Amostra 2.1



Face superior



Face inferior

Amostra 2.2



Face superior



Face inferior

Amostra 2.3



Face superior



Face inferior

Amostra 2.4



Face superior



Face inferior

## Metalografia – Metal base

- ✓ Grãos recristalizados;
- ✓ Leve heterogeneidade;
- ✓ Grãos ferríticos e cementita no contorno de grãos.

Micrografia Metal Base após ataque



## Metalografia – Material Brasado

Amostra 1.2 – Antes do ataque



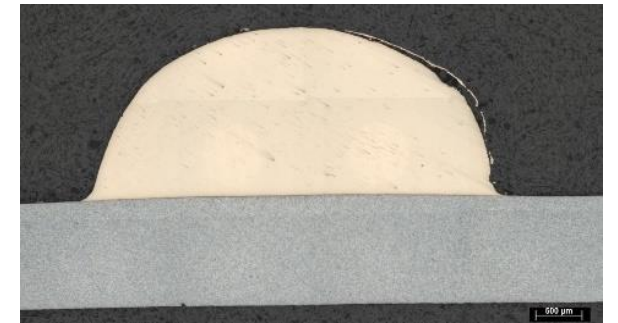
Interface



Amostra 1.2 – Após ataque

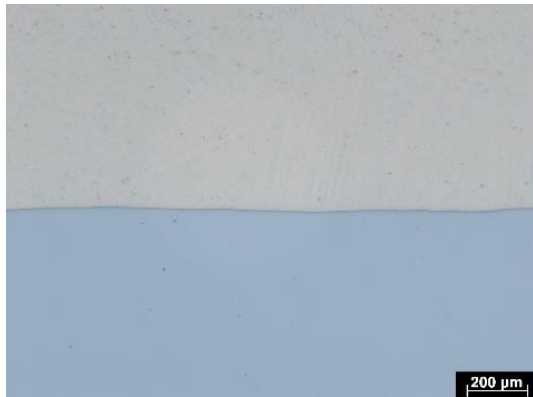


Interface

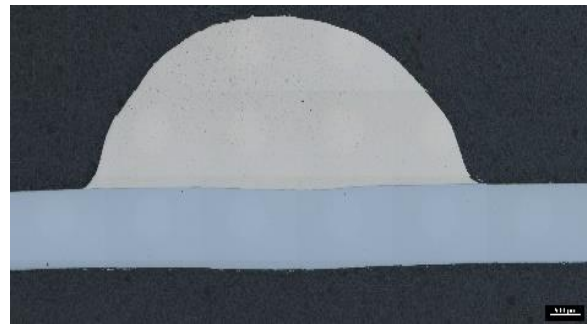


## Metalografia – Material Brasado

Amostra 1.4 – Antes do ataque



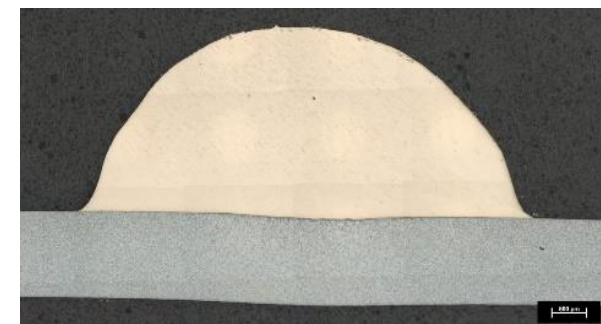
Interface



Amostra 1.4 – Após ataque



Interface

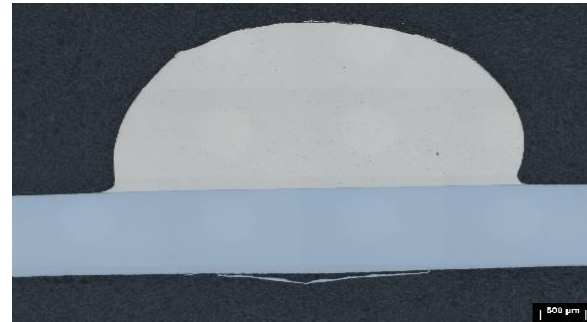


## Metalografia – Material Brasado

Amostra 2.2 – Antes do ataque



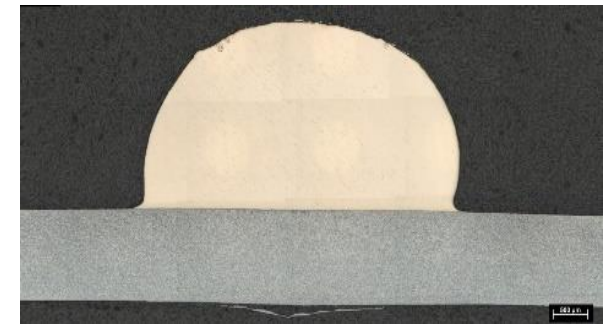
Interface



Amostra 2.2 – Após ataque

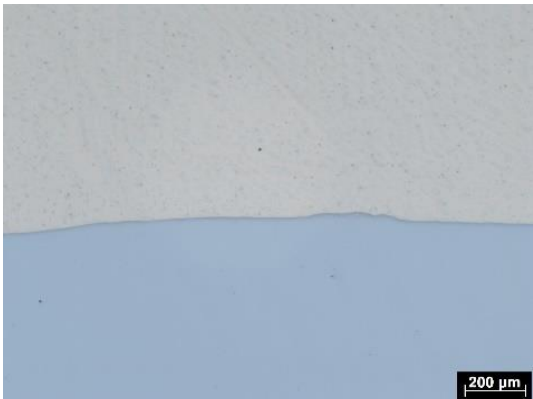


Interface

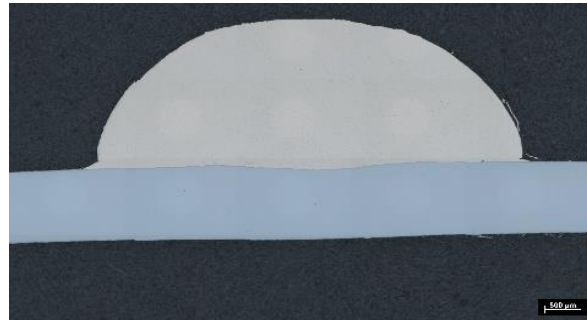


## Metalografia – Material Brasado

Amostra 2.4 – Antes do ataque



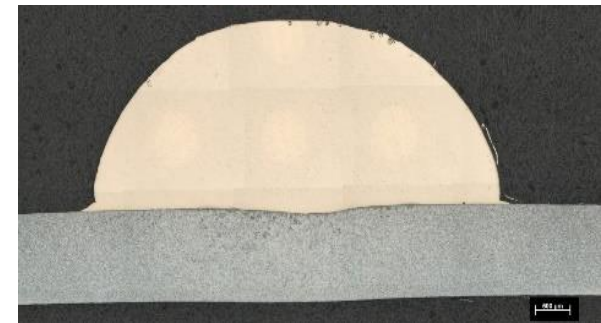
Interface



Amostra 2.4 – Após ataque



Interface



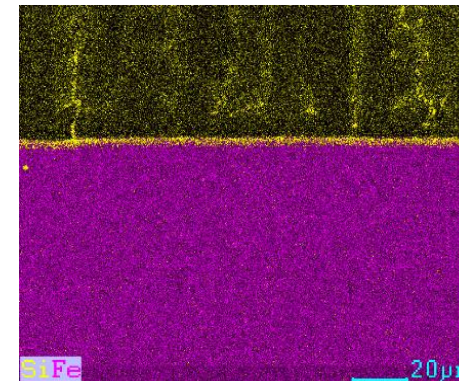
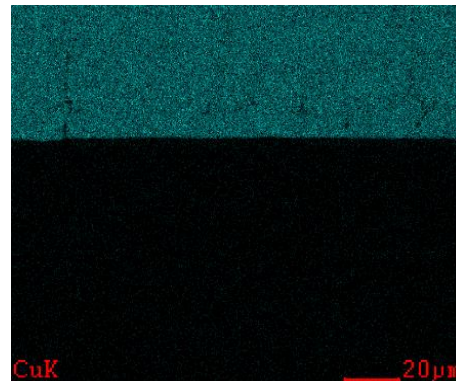
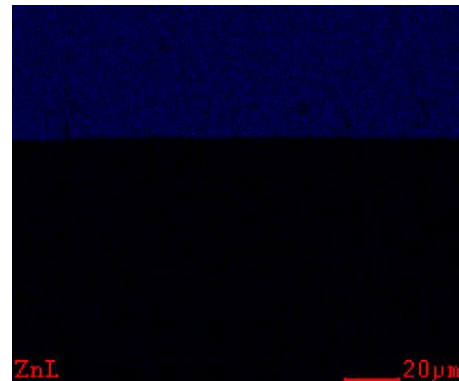
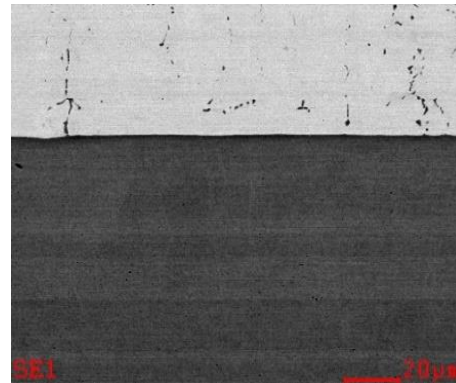
## Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

### Região central das amostras:

- Amostras 1.2; 1.4; 2.2 – Somente Si e Fe na interface;
- Presença de Si – relacionada ao consumível;
- Evaporação do Zn – temperatura do processo.

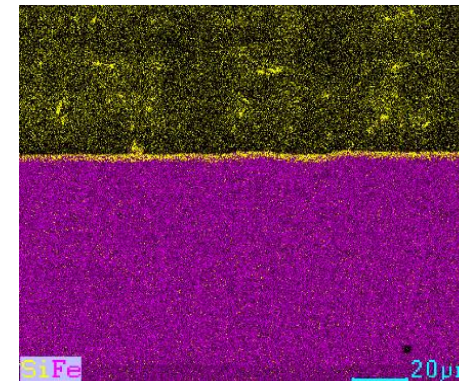
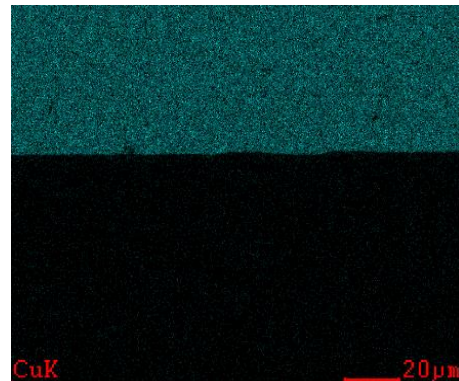
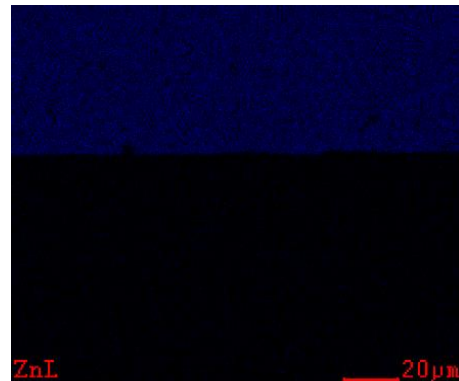
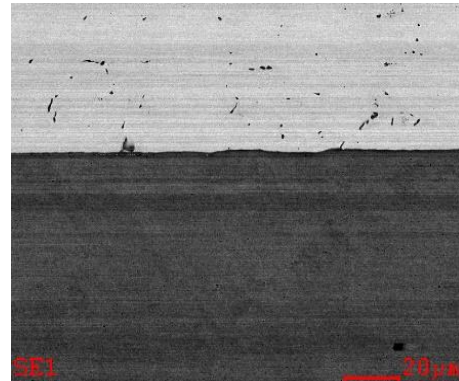
## Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

Região Central - Amostra 1.2



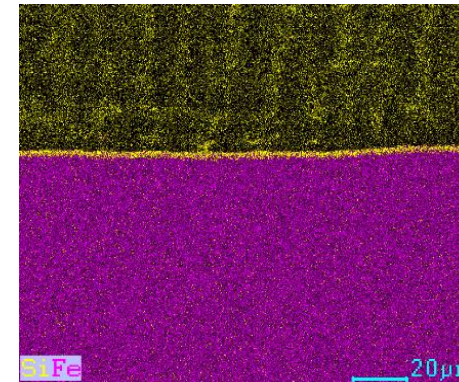
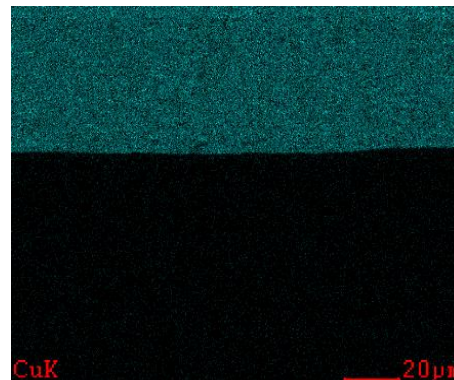
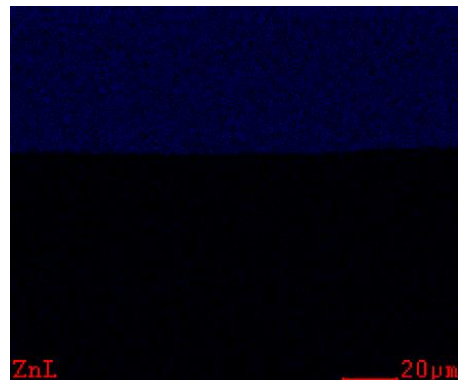
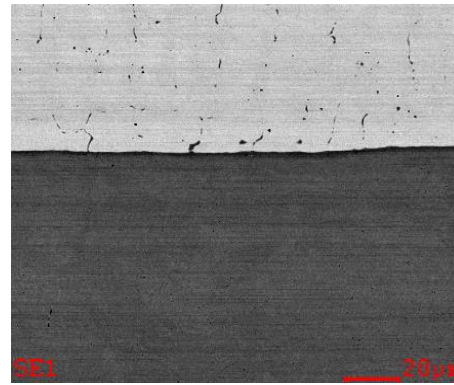
## Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

Região Central - Amostra 1.4



## Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

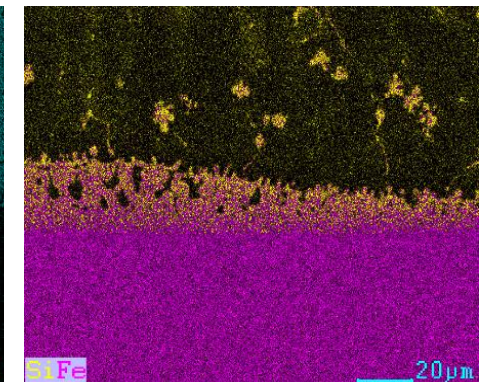
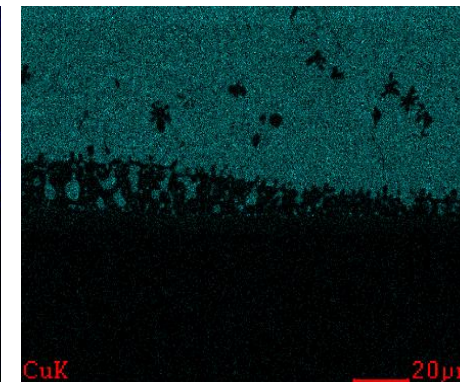
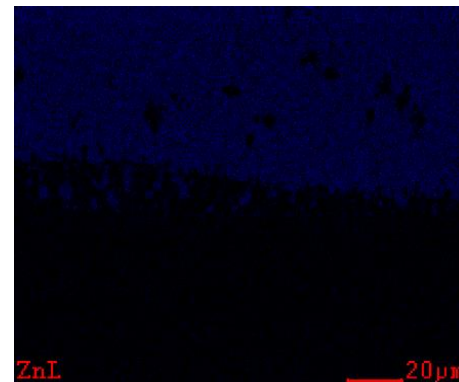
Região Central - Amostra 2.2



## Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

- ✓ Presença de FeSi – Proximidade da interface e na própria interface.

Região Central - Amostra 2.4



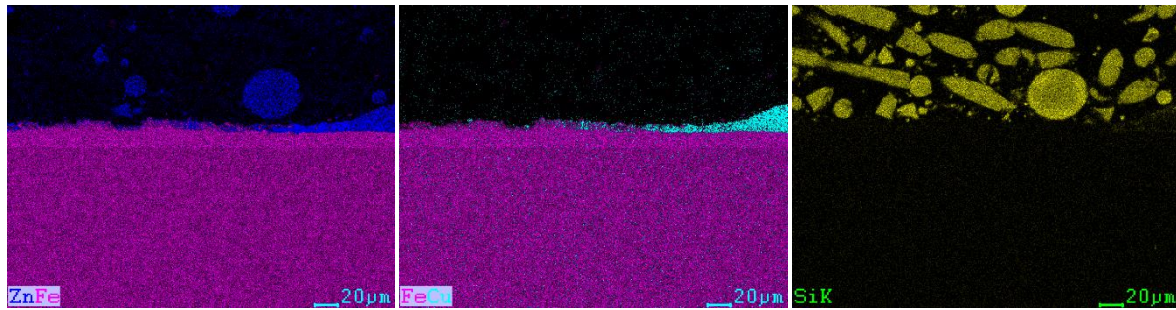
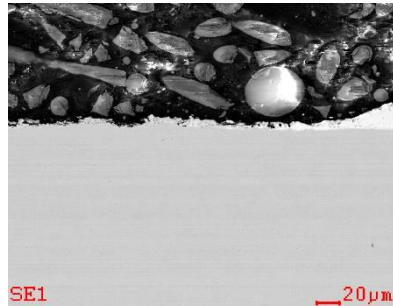
## Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

### Extremidades das amostras:

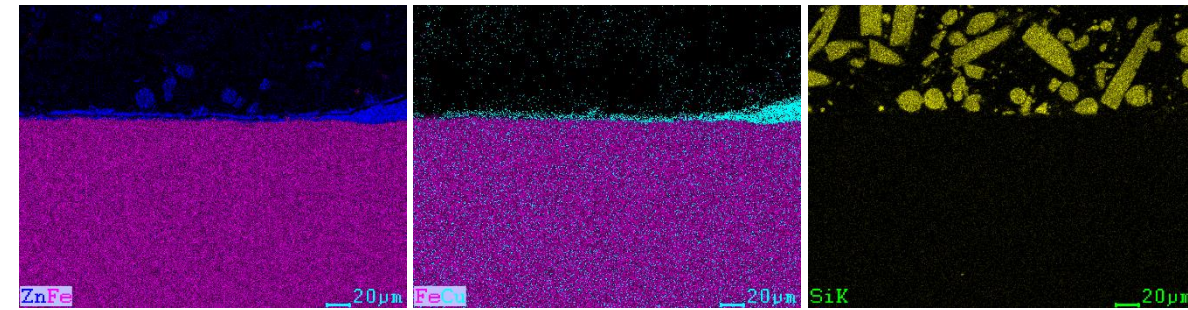
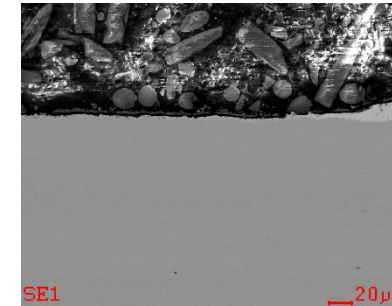
- Amostras 1.2; 1.4; 2.2 e 2.4 – Presença de Zn;
- Formação da liga CuZn (Latão);

## Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

Lado Esquerdo - Amostra 1.2

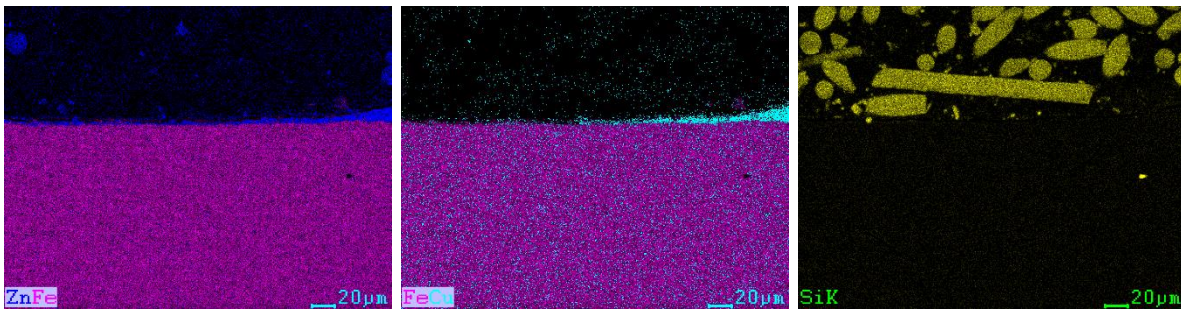
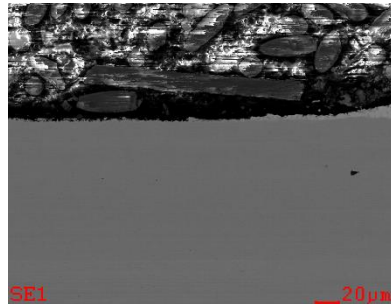


Lado Esquerdo - Amostra 1.4

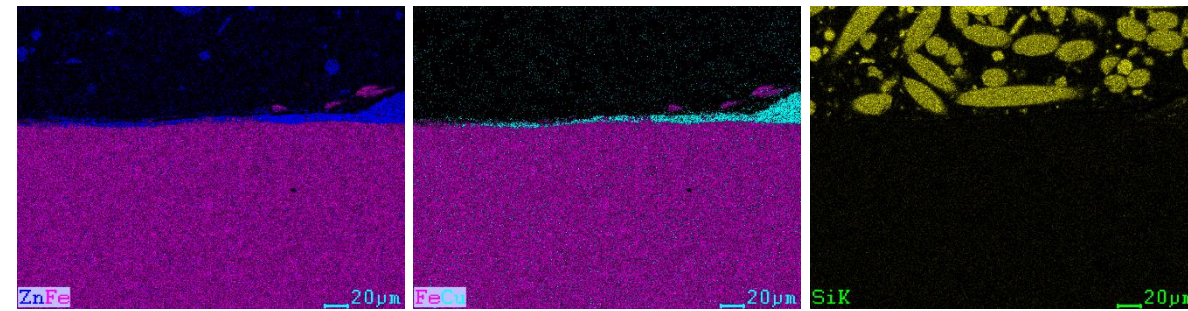
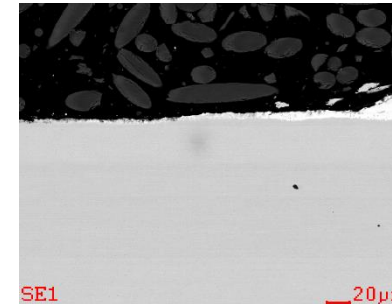


## Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

Lado Esquerdo - Amostra 2.2

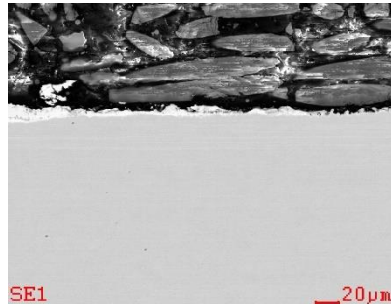


Lado Esquerdo - Amostra 2.4

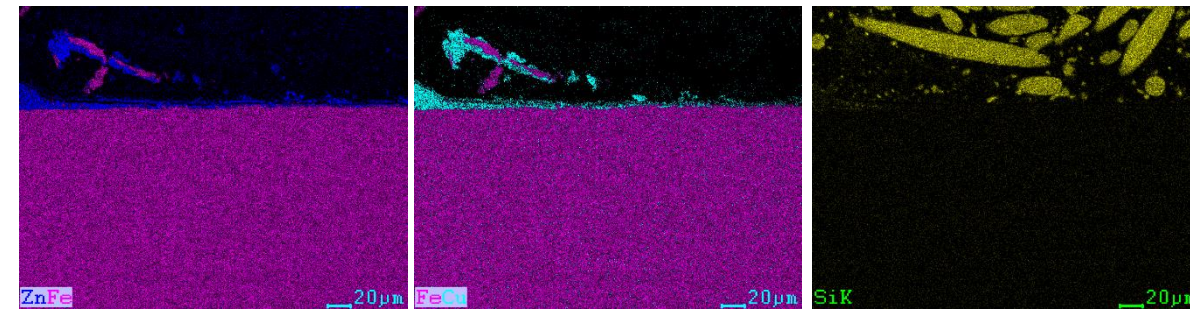
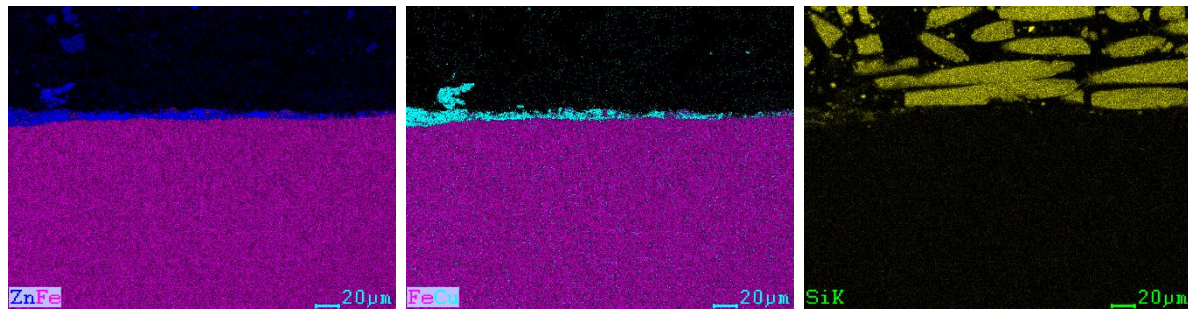
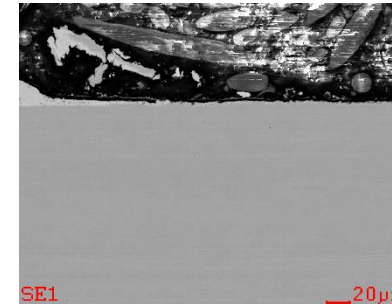


## Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

Lado Direito - Amostra 1.2



Lado Direito - Amostra 1.4

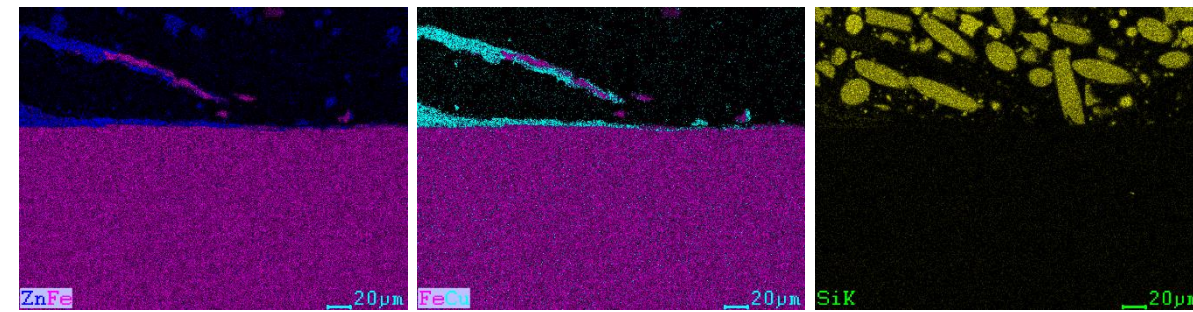
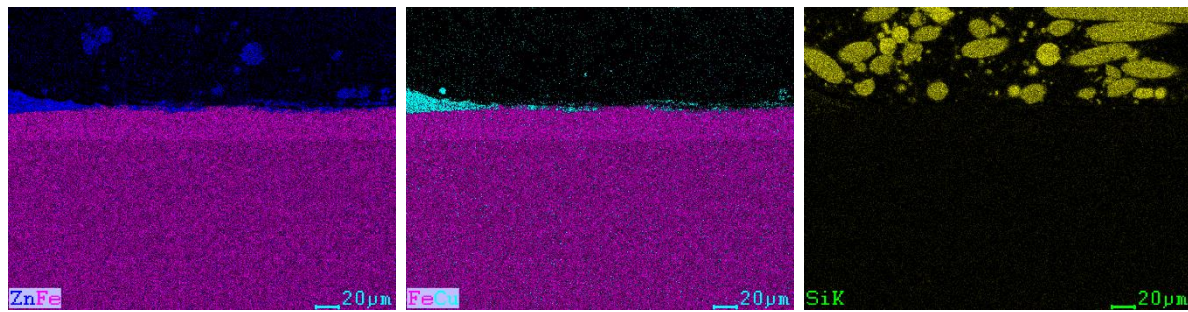
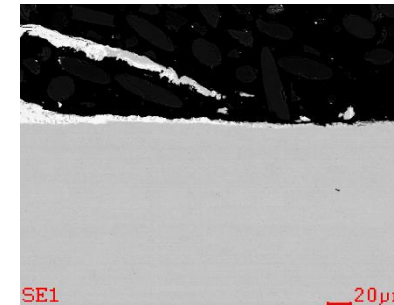


## Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

Lado Direito - Amostra 2.2



Lado Direito - Amostra 2.4



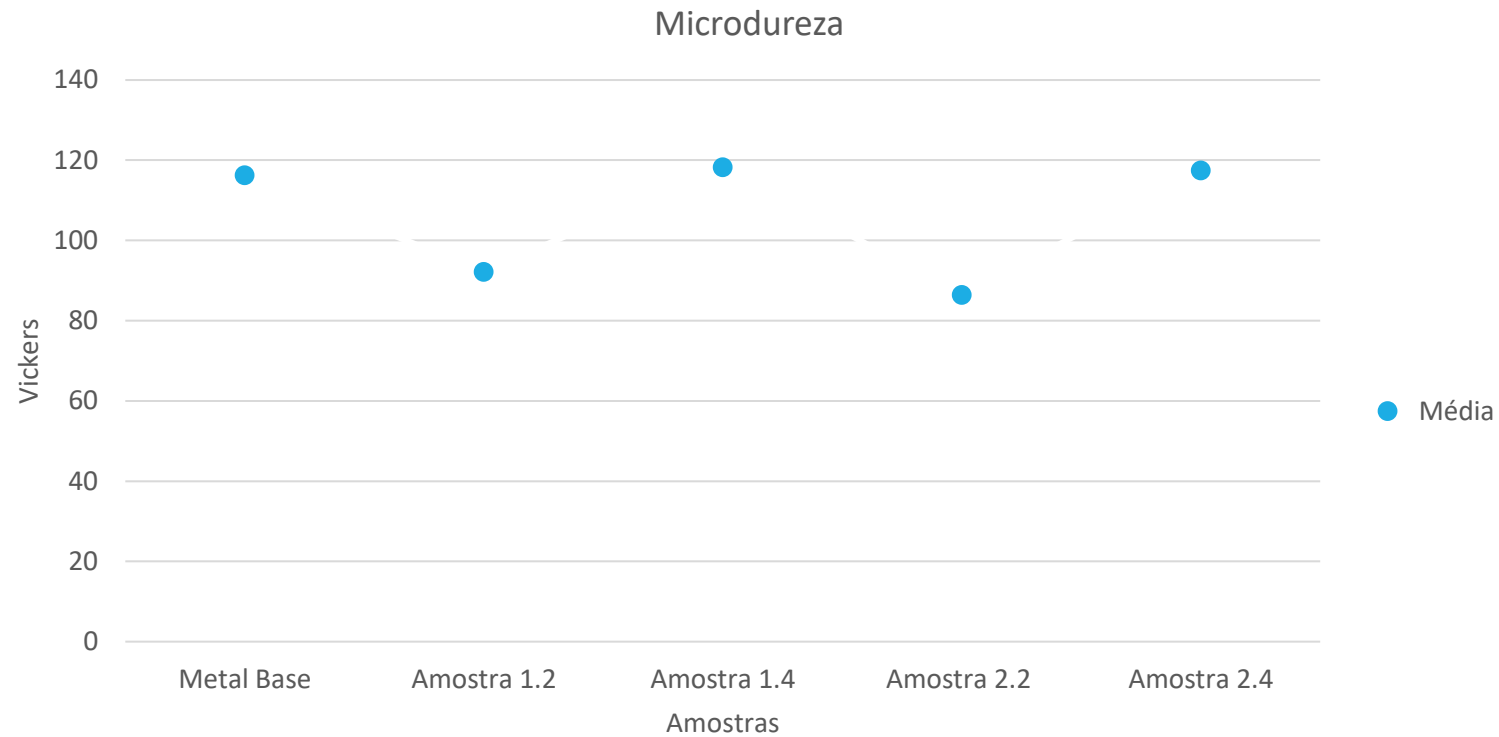
## Microdureza

Amostra	1º Ponto de Dureza Vicker	2º Ponto de Dureza Vicker	3º Ponto de Dureza Vicker	Média dos Pontos	Desvio Padrão
Metal Base	111,70	119,90	117,10	116,23	3,403267
1.2	88,90	88,90	98,60	92,13	4,572624
1.4	122,20	117,30	115,30	118,27	2,898659
2.2	84,70	86,50	88,10	86,43	1,388845
2.4	120,40	113,00	118,90	117,43	3,194092

## Microdureza

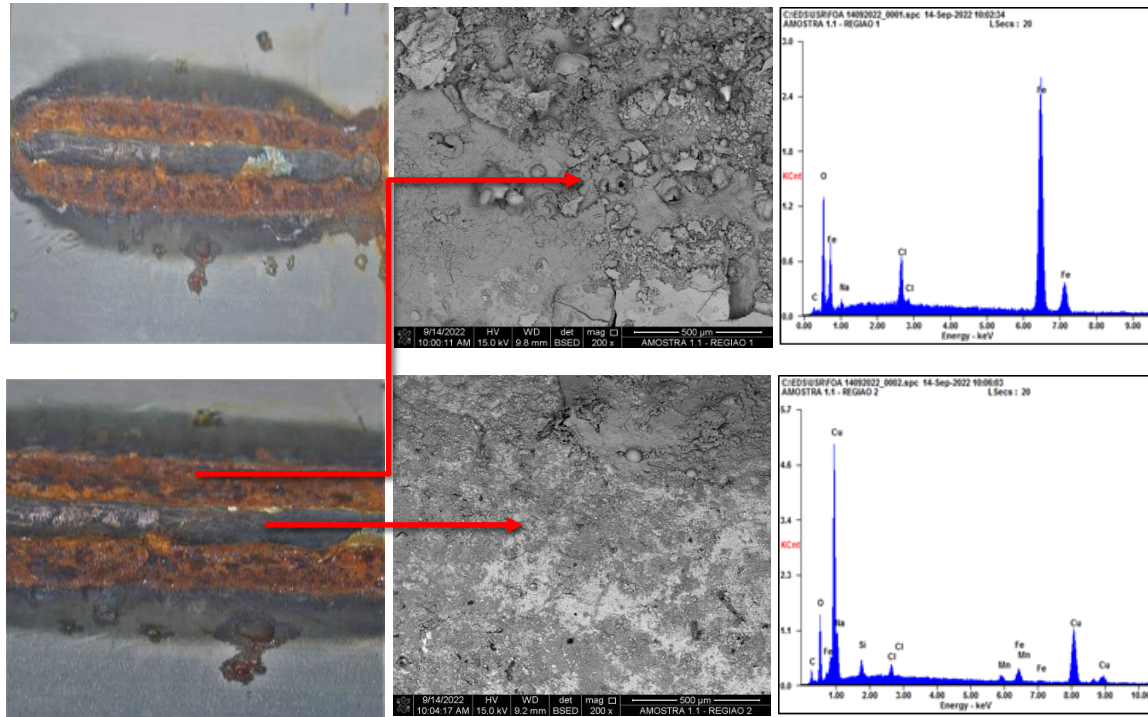
Amostra	1º Ponto de Dureza Vicker	2º Ponto de Dureza Vicker	3º Ponto de Dureza Vicker	Média dos Pontos	Desvio Padrão
Metal Base	111,70	119,90	117,10	116,23	3,403267
1.2	88,90	88,90	98,60	92,13	4,572624
<b>1.4</b>	<b>122,20</b>	<b>117,30</b>	<b>115,30</b>	<b>118,27</b>	<b>2,898659</b>
2.2	84,70	86,50	88,10	86,43	1,388845
<b>2.4</b>	<b>120,40</b>	<b>113,00</b>	<b>118,90</b>	<b>117,43</b>	<b>3,194092</b>

## Microdureza

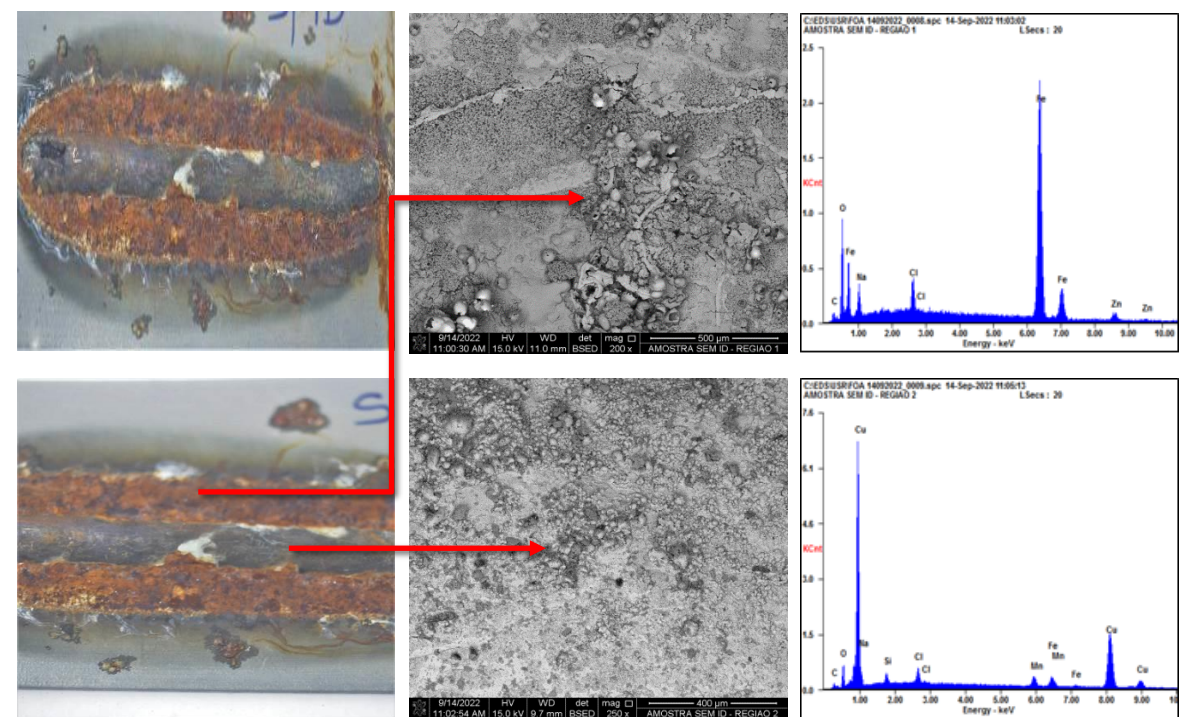


## Corrosão

### Amostra 1.1

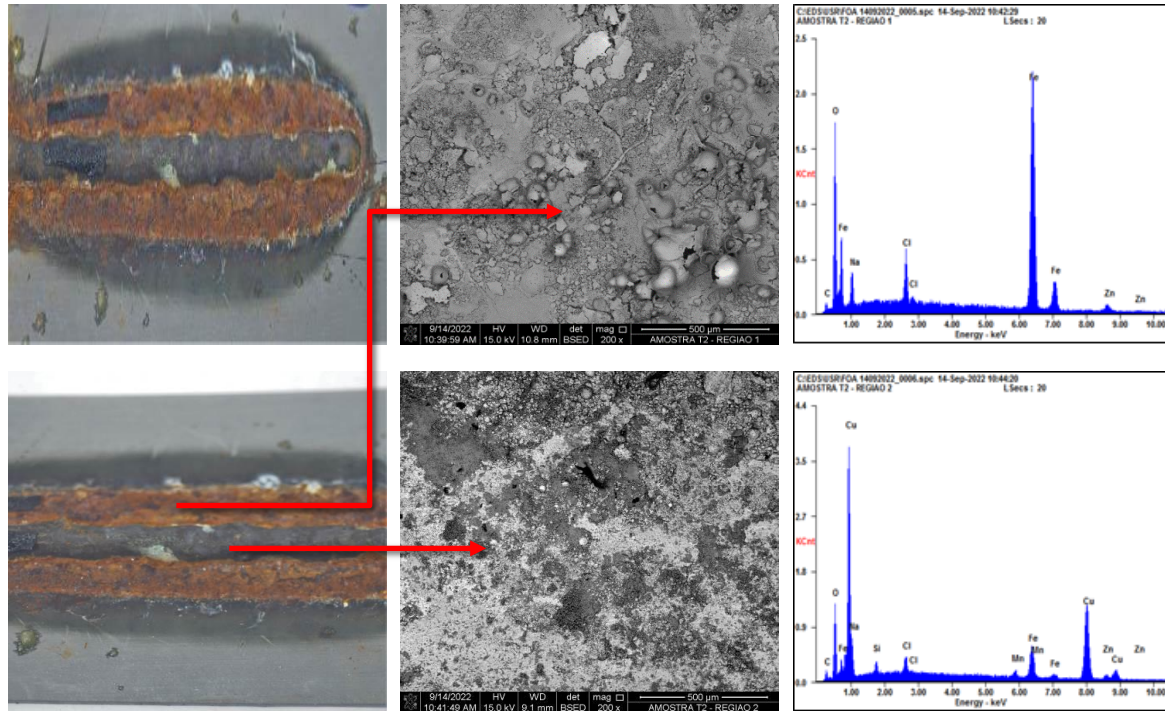


### Amostra 1.3

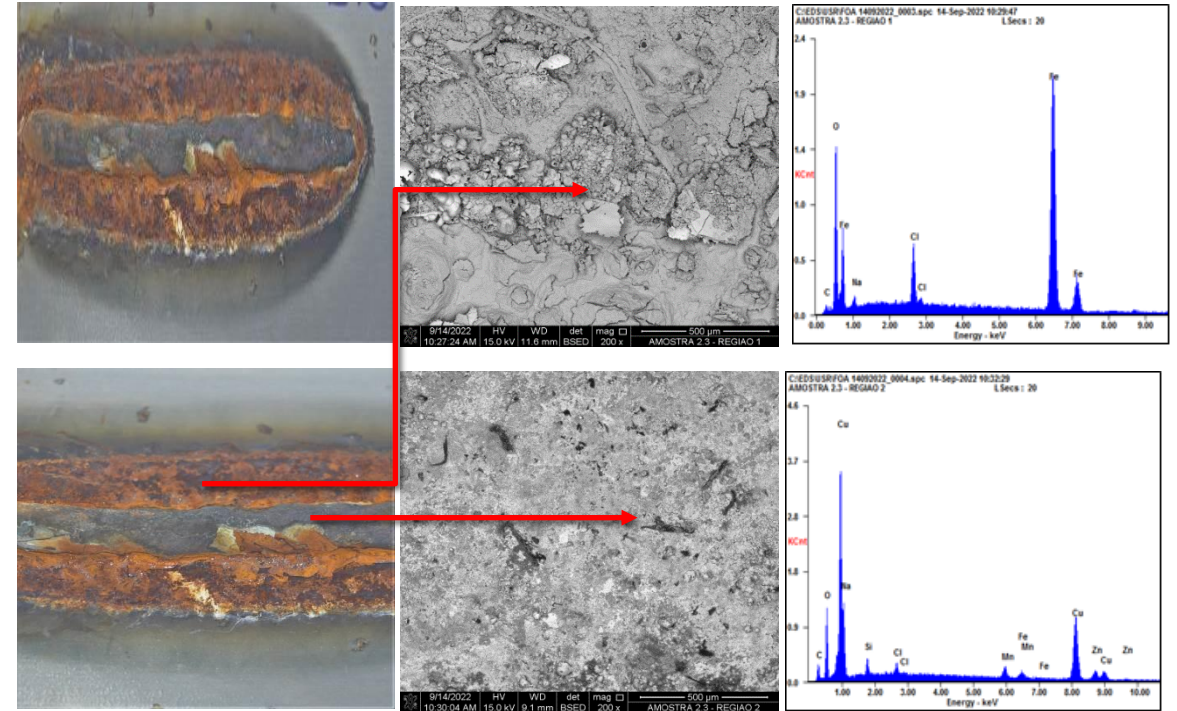


## Corrosão

### Amostra 2.1



### Amostra 2.3



## Corrosão

Amostra	Corrosão 	Cordão 
1.1	Fe; O	Fe; O; Cu; Si; Mn
1.3	Fe; O	Fe; O; Cu; Si; Mn; Zn
2.1	Fe; O; Zn	Fe; O; Cu; Si; Mn
2.3	Fe; O; Zn	Fe; O; Cu; Si; Mn; Zn

**“Característica da degradação das camadas de liga do aço galvanizado, ou até mesmo do ataque ao substrato do aço carbono.” (NUNES et al, 2018)**

# Conclusões

Satisfatória resposta dos parâmetros de brasagem;

Boa aparência visual dos cordões;

Evaporação do zinco;

Comprometimento da resistência a corrosão;

Comprometimento estético e decorativo.

- Avaliação da resistência à tração da junta;
- Avaliação da molhabilidade do metal de adição.

OBRIGADA!