

CENTRO PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA PROFESSOR  
MIGUEL REALE

EVANDRO MENDES DA CUNHA  
FERNANDO DA SILVA FERREIRA  
JOSÉ ORLEAN CORDEIRO DOS SANTOS  
MARIA ISABELLA DE OLIVEIRA PELEGRINI

**Estudo da junta dissimilar entre os materiais ASTM A36 e STREX 700 MC  
utilizando o processo SAW para implementos rodoviários.**

São Paulo  
2025

CENTRO PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA PROFESSOR  
MIGUEL REALE

EVANDRO MENDES DA CUNHA  
FERNANDO DA SILVA FERREIRA  
JOSÉ ORLEAN CORDEIRO DOS SANTOS  
MARIA ISABELLA DE OLIVEIRA PELEGRINI

**Estudo da junta dissimilar entre os materiais ASTM A36 e STRENGTH 700 MC  
utilizando o processo SAW para implementos rodoviários.**

Projeto Tecnológico elaborado como  
requisito total para a conclusão do Curso  
Superior de Tecnologia em Mecânica e  
processo de soldagem.

Orientador: Prof. Me. Edgar Dutra

São Paulo  
2025

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

EVANDRO MENDES DA CUNHA  
FERNANDO DA SILVA FERREIRA  
JOSÉ ORLEAN CORDEIRO DOS SANTOS  
MARIA ISABELLA DE OLIVEIRA PELEGRINI

**Estudo da junta dissimilar entre os materiais ASTM A36 e STREX 700 MC  
utilizando o processo SAW para implementos rodoviários.**

Projeto Tecnológico elaborado como  
requisito total para a conclusão do Curso  
Superior de Tecnologia Mecânica e  
processo de soldagem.

Orientador: Prof. Me. Edgar Dutra

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

### **BANCA EXAMINADORA**

Prof. Me. Edgar Dutra

Assinatura: \_\_\_\_\_

Instituição: FATEC ITAQUERA

Data \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Prof. Esp. Alex Arnoso

Assinatura: \_\_\_\_\_

Instituição: FATEC ITAQUERA

Data \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Esp. Anderson Carlos

Assinatura: \_\_\_\_\_

Empresa: Magno Peças

Data \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

## RESUMO

Este estudo aborda a união do aço estrutural ASTM A36 com o aço de alta resistência e baixa liga Strenx 700 MC, visando otimizar estruturas de implementos rodoviários. O processo de Soldagem por Arco Submerso (SAW) foi escolhido por sua alta produtividade, qualidade do cordão e proteção eficiente da poça de fusão. Utilizou-se o consumível EM12K e fluxo granular F7A2, com a secagem do fluxo para garantir estabilidade do processo em estufa apropriada a 220 °C. Os metais de base apresentaram espessuras de 12,7 mm para ASTM A36 e 6 mm para Strenx 700 MC, com juntas dimensionadas conforme norma AWS D1.1, realizando soldas de filete com pernas de 5 mm para equilíbrio estrutural e resistência. O processo foi controlado por parâmetros otimizados de corrente, tensão e velocidade, utilizados em dois níveis de energia de soldagem (1,0 kJ/mm e 1,6 kJ/mm) para análise comparativa de desempenho e qualidade. Os métodos incluíram ensaios visuais, caracterizações metalográficas, e testes de micro dureza Vickers para monitorar a integridade da juntas e o comportamento da zona afetada pelo calor (ZAC). Foram observadas boas condições de fusão, ausência de trincas, e controle da área termicamente afetadas pelo calor em ambos os aportes térmicos, evidenciando a viabilidade técnica da soldagem dissimilar com controle rigoroso dos parâmetros. Do ponto de vista econômico, foi evidenciado que o uso do processo SAW combinando os dois aços reduz custos ao aplicar o Strenx 700 MC apenas em regiões críticas, e o processo apresenta alta eficiência e produtividade. Custos de insumos, mão de obra e retrabalhos foram analisados, destacando que o treinamento e a padronização dos parâmetros são essenciais para minimizar perdas e otimizar resultados. Conclui-se que a aplicação da soldagem SAW em juntas dissimilares entre ASTM A36 e Strenx 700 MC é técnica e economicamente viável, desde que observadas práticas rigorosas de controle do processo, conferindo inovação, segurança e sustentabilidade às estruturas rodoviárias.

**Palavras-chave:** Produtividade; ZAC; Soldagem SAW; Juntas Dissimilares; ASTM A36; Strenx 700 MC.

## **ABSTRACT**

*This study addresses the joining of structural steel ASTM A36 with the high-strength, low-alloy steel Strenx 700 MC, aiming to optimize structures for road implements. The Submerged Arc Welding (SAW) process was selected due to its high productivity, weld bead quality, and efficient protection of the molten pool. Consumable EM12K and granular flux F7A2 were used, with the flux being dried in an appropriate oven at 220 °C to ensure process stability. The base metals had thicknesses of 12.7 mm for ASTM A36 and 6 mm for Strenx 700 MC, with joints dimensioned according to AWS D1.1, using 5 mm fillet weld legs to provide structural balance and strength. The process was controlled through optimized current, voltage, and travel speed parameters, applied at two levels of heat input (1.0 kJ/mm and 1.6 kJ/mm) for comparative performance and quality analysis. The methods included visual inspection, metallographic characterization, and Vickers microhardness testing to monitor joint integrity and the behavior of the heat-affected zone (HAZ). Good fusion conditions, absence of cracking, and controlled heat-affected areas were observed at both heat inputs, demonstrating the technical feasibility of dissimilar welding with strict parameter control. From an economic standpoint, the use of the SAW process combining both steels reduces costs by applying Strenx 700 MC only in critical regions, while maintaining high efficiency and productivity. Costs related to consumables, labor, and rework were analyzed, highlighting that training and parameter standardization are essential to minimize losses and optimize results. It is concluded that applying SAW to dissimilar joints between ASTM A36 and Strenx 700 MC is technically and economically feasible, provided that rigorous process control practices are followed, offering innovation, safety, and sustainability to road equipment structures.*

**Keywords:** *Productivity; HAZ; SAW Welding; Dissimilar Joints; ASTM A36; Strenx 700 MC.*

## Lista de figuras

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> - Soldagem por Fusão .....                                                      | 18 |
| <b>Figura 2</b> - Soldagem por arco submerso.....                                               | 19 |
| <b>Figura 3</b> - Fonte de energia e Trator .....                                               | 20 |
| <b>Figura 4</b> - Taxa de deposição dos Arames para SAW .....                                   | 20 |
| <b>Figura 5</b> - Esquema de soldagem por arco submerso .....                                   | 21 |
| <b>Figura 6</b> - Descontinuidade (Porosidade) .....                                            | 22 |
| <b>Figura 7</b> - Descontinuidade (Inclusões de escória) .....                                  | 22 |
| <b>Figura 8</b> - Descontinuidade (Falta de Fusão).....                                         | 23 |
| <b>Figura 9</b> - Descontinuidade (Trincas).....                                                | 23 |
| <b>Figura 10</b> - Zona Afetada Pelo Calor .....                                                | 26 |
| <b>Figura 11</b> - T da zona afetada pelo calor .....                                           | 27 |
| <b>Figura 12</b> - Micrografia e Macrografia .....                                              | 28 |
| <b>Figura 13</b> - Ensaio visual .....                                                          | 30 |
| <b>Figura 14</b> – Esquema de componentes de um equipamento para indentação instrumentada ..... | 31 |
| <b>Figura 15</b> - Traçados dos corpos de prova .....                                           | 32 |
| <b>Figura 16</b> - Implementos Rodoviário.....                                                  | 33 |
| <b>Figura 17</b> - Chapas de aço ASTM A36.....                                                  | 34 |
| <b>Figura 18</b> - Aço Strenx 700 MC aplicado no chassi de implementos rodoviários. ....        | 35 |
| <b>Figura 19</b> - Aplicação ASTM A36 .....                                                     | 41 |
| <b>Figura 20</b> - Aplicações do Strenx 700 MC no Chassi de Implemento Rodoviário.....          | 43 |
| <b>Figura 21</b> - Efeitos gerais do aporte térmico em uma junta soldada. ....                  | 45 |
| <b>Figura 22</b> - Soldagem por ângulo. ....                                                    | 46 |
| <b>Figura 23</b> - Grau do aço e espessura para aplicação no Chassi.....                        | 46 |
| <b>Figura 24</b> - Parâmetro de 1,0 kJ/mm .....                                                 | 47 |
| <b>Figura 25</b> - Parâmetro de 1,6 kJ/mm .....                                                 | 47 |
| <b>Figura 26</b> - Fluxo do SAW.....                                                            | 49 |
| <b>Figura 27</b> – Estufa .....                                                                 | 50 |
| <b>Figura 28</b> - Dimensões da Chapa .....                                                     | 51 |
| <b>Figura 29</b> - Fonte de soldagem e trator.....                                              | 52 |
| <b>Figura 30</b> - Primeiro Cordão .....                                                        | 53 |
| <b>Figura 31</b> - Segundo Cordão. ....                                                         | 53 |
| <b>Figura 32</b> - Serra Fita .....                                                             | 54 |

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 33 – Cut-Off</b> .....                                            | 55 |
| <b>Figura 34 - Resina</b> .....                                             | 56 |
| <b>Figura 35 - Endurecedor Epóxi</b> .....                                  | 57 |
| <b>Figura 36 - Embutimento</b> .....                                        | 58 |
| <b>Figura 37 - Lixamento</b> .....                                          | 59 |
| <b>Figura 38 - Polimento</b> .....                                          | 59 |
| <b>Figura 39 - Microscópio</b> .....                                        | 60 |
| <b>Figura 40 – Estereoscópio</b> .....                                      | 61 |
| <b>Figura 41 - Ataque Químico</b> .....                                     | 61 |
| <b>Figura 42 - Instrumentos</b> .....                                       | 62 |
| <b>Figura 43 – Escala de Solda</b> .....                                    | 63 |
| <b>Figura 44 - Ensaio de micro dureza</b> .....                             | 65 |
| <b>Figura 45 – Pesos da chapa teste</b> .....                               | 69 |
| <b>Figura 46 - CP1</b> .....                                                | 72 |
| <b>Figura 47 - CP 2</b> .....                                               | 73 |
| <b>Figura 48 - CP 3</b> .....                                               | 74 |
| <b>Figura 49 - Corpos de prova</b> .....                                    | 74 |
| <b>Figura 50 - Inclusões MB</b> .....                                       | 75 |
| <b>Figura 51 - Inclusões da Solda</b> .....                                 | 75 |
| <b>Figura 52 – MB ASTM A36 e Strenx 700 MC (100 vezes)</b> .....            | 76 |
| <b>Figura 53 - MB ASTM A36 e Strenx 700 MC (200 vezes)</b> .....            | 76 |
| <b>Figura 54 – Metal de Base ASTM A36 e Strenx 700 MC (500 vezes)</b> ..... | 77 |
| <b>Figura 55 - Zona Fundida (500 vezes)</b> .....                           | 78 |
| <b>Figura 56 - ZAC (500 vezes)</b> .....                                    | 79 |

## Lista de Tabela

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> - Abreviaturas dos Tipos de Ensaios Não Destrutivos .....                 | 29 |
| <b>Tabela 2</b> – Distância recomendadas .....                                            | 32 |
| <b>Tabela 3</b> - Propriedade Mecânica do ASTM A36.....                                   | 34 |
| <b>Tabela 4</b> - Propriedades mecânica do aço Strenx 700 MC.....                         | 36 |
| <b>Tabela 5</b> – Taxa de deposição para os principais processos de soldagem .....        | 38 |
| <b>Tabela 6</b> - Composição Química Norma .....                                          | 42 |
| <b>Tabela 7</b> - Composição Química - Certificado .....                                  | 42 |
| <b>Tabela 8</b> - Composição Química do Strenx 700 MC – Norma.....                        | 44 |
| <b>Tabela 9</b> - Composição Química Strenx 700 MC Certificado.....                       | 44 |
| <b>Tabela 10</b> - Eficiência térmica do processo SAW .....                               | 45 |
| <b>Tabela 11</b> - Composição Química do EM12K.....                                       | 48 |
| <b>Tabela 12</b> – Parâmetros .....                                                       | 54 |
| <b>Tabela 13</b> - Critérios e categorias das discontinuidades para o ensaio visual ..... | 64 |
| <b>Tabela 14</b> - Distância Recomendada .....                                            | 65 |
| <b>Tabela 15</b> - Requisitos da macrografia.....                                         | 66 |
| <b>Tabela 16</b> – Tempo do Processo de Soldagem.....                                     | 67 |
| <b>Tabela 17</b> – Dados de Soldagem .....                                                | 68 |
| <b>Tabela 18</b> - Ensaio Visual .....                                                    | 70 |
| <b>Tabela 19</b> - Resultados do ensaio visual.....                                       | 71 |
| <b>Tabela 20</b> - Tamanho de grão do ASTM A36.....                                       | 77 |
| <b>Tabela 21</b> - Tamanho de grão Strenx 700 MC .....                                    | 77 |
| <b>Tabela 22</b> - Tamanho de grão de 1,0 kJ/mm .....                                     | 78 |
| <b>Tabela 23</b> - Tamanho de grão de 1,6 kJ/mm .....                                     | 78 |
| <b>Tabela 24</b> - Tamanho de grão da ZAC ASTM A36 - 1.0 kJ/mm .....                      | 79 |
| <b>Tabela 25</b> - Tamanho de grão da ZAC ASTM A36 - 1.6 kJ/mm .....                      | 79 |
| <b>Tabela 26</b> – Tamanho de grão ZAC Strenx 700 MC -1,0 kJ/mm.....                      | 80 |
| <b>Tabela 27</b> - Tamanho de grão ZAC Strenx 700 MC – 1,6 kJ/mm.....                     | 80 |
| <b>Tabela 28</b> - Média CP1 .....                                                        | 84 |
| <b>Tabela 29</b> - Média CP 2 .....                                                       | 85 |
| <b>Tabela 30</b> – Média de dureza CP 3.....                                              | 86 |
| <b>Tabela 31</b> – Comparação de Custos Total .....                                       | 94 |



## **Lista de Gráfico**

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gráfico 1</b> - Taxa de resfriamento (1) - 1,0 KJ/mm ..... | 81 |
| <b>Gráfico 2</b> - Taxa de resfriamento (2) – 1,6 KJ/mm ..... | 82 |
| <b>Gráfico 3</b> – Dureza corpo de prova 1 .....              | 83 |
| <b>Gráfico 4</b> – Dureza do CP 2 .....                       | 84 |
| <b>Gráfico 5</b> - Dureza do CP3 .....                        | 86 |
| <b>Gráfico 6</b> - Rendimento de deposição .....              | 87 |
| <b>Gráfico 7</b> - Taxa de deposição. ....                    | 88 |
| <b>Gráfico 8</b> - Custo do Processo de 1,0 kJ/mm .....       | 89 |
| <b>Gráfico 9</b> - Custo em porcentagem 1,0 kJ/mm .....       | 90 |
| <b>Gráfico 10</b> - Custo do processo de 1,6 kJ/mm.....       | 91 |
| <b>Gráfico 11</b> - Custo em porcentagem 1,6 kJ/mm.....       | 92 |
| <b>Gráfico 12</b> – Valores Comparativos. ....                | 93 |

## **Lista de Siglas**

Al - Alumínio

ASME- American Society of engineers

ASTM - American Society for Testing and Materials

AWS - American Welding Society

C – Carbono

CA- Corrente Alternada

CC- Corrente Continua

CP- Corpo de Prova

ED - Ensaio de Dureza

END - Ensaio não Destrutivo

EPS - Especificação de procedimento em soldagem

EV- Ensaio Visual

Fe - Ferro

FF- Falta de Fusão

FP- Falta de Penetração

MB - Metal de Base Mg

- Manganês

mm - Milímetros

P - Fósforo

RQPS - Registro de Qualificação Processo Soldagem

S - Enxofre

SAW- *Submerge Arc. Welding*

Si - Silício

T - Trinca

Ti - Titânio

ZAC - Zona Afetada pelo Calor

ZF - Zona Fundida

Zn – Zinco

ZAC - Zona Afetada Pelo Calor

# Sumário

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| 1 INTRODUÇÃO .....                                                  | 14 |
| 1.1 Justificativa .....                                             | 15 |
| 1.2 Objetivo geral .....                                            | 15 |
| 1.2.1 Objetivo específicos .....                                    | 16 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                                       | 17 |
| 2.1 União de materiais .....                                        | 18 |
| 2.2 Soldagem por arco submerso (SAW) .....                          | 18 |
| 2.2.1 Equipamento .....                                             | 19 |
| 2.2.2 Consumíveis .....                                             | 20 |
| 2.2.3 Vantagens e desvantagens .....                                | 21 |
| 2.2.4 Descontinuidades características do processo SAW .....        | 22 |
| 2.3 Qualidade na soldagem .....                                     | 23 |
| 2.3.1 AWS D1.1 .....                                                | 24 |
| 2.3.2 EPS e RQPS .....                                              | 24 |
| 2.4 Metalurgia da soldagem .....                                    | 25 |
| 2.4.1 Transformações na zona fundida .....                          | 26 |
| 2.4.2 Transformação na zona afetada pelo calor .....                | 27 |
| 2.4.3 Macroestruturas e Microestruturas .....                       | 28 |
| 2.5 Ensaios não destrutivos .....                                   | 29 |
| 2.5.1 Ensaio visual .....                                           | 29 |
| 2.6 Ensaios Destrutivos .....                                       | 30 |
| 2.6.1 Ensaio de dureza .....                                        | 30 |
| 2.7 Aços Aplicados na indústria de implementos rodoviários .....    | 33 |
| 2.7.1 Aço ao carbono estrutural ASTM A36 .....                      | 33 |
| 2.7.2 Aço de alta resistência e baixa liga ARBL Strenx 700 MC ..... | 35 |
| 2.8 Custos de Soldagem .....                                        | 36 |
| 2.8.1 Rendimento .....                                              | 37 |

|                                              |           |
|----------------------------------------------|-----------|
| 2.8.2 Taxa de Deposição .....                | 37        |
| 2.8.3 Fator de Trabalho ou de Operação ..... | 38        |
| <b>2.8.4 Custos Totais .....</b>             | <b>40</b> |
| <b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>          | <b>41</b> |
| 3.1 Materiais de base .....                  | 41        |
| 3.1.1 ASTM A36 .....                         | 41        |
| 3.1.2 Strenx 700 MC .....                    | 43        |
| 3.2.1 Aporte de energia de soldagem .....    | 45        |
| 3.3 Metal de Adição .....                    | 48        |
| 3.3.1 Fluxo .....                            | 49        |
| 3.3.2 Estufa .....                           | 49        |
| 3.4 Dimensões da chapa-teste .....           | 50        |
| 3.5 Equipamentos .....                       | 51        |
| 3.5.1 Fonte de soldagem e trator .....       | 51        |
| 3.5.2 Cordões de Solda .....                 | 52        |
| 3.5.3 Serra fita .....                       | 54        |
| 3.5.4 Cut-Off .....                          | 55        |
| 3.5.6 Embutimento .....                      | 56        |
| 3.5.7 Lixamento .....                        | 58        |
| 3.5.8 Polimento .....                        | 59        |
| 3.5.9 Microscópio óptico .....               | 60        |
| 3.5.10 Estereoscópio .....                   | 60        |
| 3.5.11 Ataque Químico .....                  | 61        |
| 3.6 Instrumentos de medição .....            | 62        |
| 3.6.1 Escala .....                           | 63        |
| 3.7 Ensaios não destrutivos .....            | 63        |
| 3.7.1 Ensaio visual .....                    | 63        |
| 3.8 Ensaios destrutivos .....                | 65        |

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| 3.8.1 Ensaio de micro dureza.....           | 65  |
| 3.9 Caracterização macroestrutural .....    | 66  |
| 3.9.1 Caracterização microestrutural .....  | 66  |
| 3.2 Custos de soldagem.....                 | 67  |
| 3.2.1 Taxa de deposição.....                | 68  |
| 3.2.2 Custos totais .....                   | 69  |
| 4. RESULTADOS .....                         | 70  |
| 4.1 Ensaio Visual .....                     | 70  |
| 4.2 Análise metalográfico .....             | 71  |
| 4.2.1 Macrografia .....                     | 71  |
| 4.2.3 Micrografia .....                     | 76  |
| 4.3 Análise de taxa de resfriamento .....   | 81  |
| 4.4 Ensaio de Dureza Vickers .....          | 82  |
| 4.5.1 Rendimento de deposição .....         | 87  |
| 4.5.2 Taxa de deposição.....                | 87  |
| 4.5.3 Custo do Processo .....               | 88  |
| 4.5.4 Custo Total .....                     | 93  |
| 4.6 EPS .....                               | 95  |
| 4.7 RQPS .....                              | 95  |
| 5. CONCLUSÃO .....                          | 96  |
| REFERÊNCIAS.....                            | 98  |
| ANEXO .....                                 | 104 |
| ANEXO A – Certificado do A36.....           | 104 |
| ANEXO B – Certificado do Strenx 700 MC..... | 105 |
| ANEXO C – EPS .....                         | 106 |
| ANEXO D- RQPS .....                         | 107 |

## 1 INTRODUÇÃO

O setor de infraestrutura e logística é um dos pilares do desenvolvimento econômico do Brasil, com a malha rodoviária sendo a principal artéria para o transporte de cargas e pessoas. A eficiência e a durabilidade dos implementos rodoviários, como semirreboques, tanques, carrocerias e equipamentos de movimentação de terra, são fatores críticos para a competitividade e segurança do setor. Estes equipamentos são frequentemente submetidos a cargas dinâmicas, impactos, fadiga e exposição ambiental severa, demandando materiais e processos de fabricação de alta performance.

Neste contexto, a soldagem é um processo fundamental na fabricação dessas estruturas. A escolha adequada de materiais e técnicas de união é crucial para garantir a integridade e a vida útil dos componentes. Materiais de alta resistência e baixa liga, como o aço Strenx 700 MC, são cada vez mais empregados em aplicações onde se busca alta resistência mecânica associada à redução de peso. No entanto, a união desses aços avançados com aços estruturais mais comuns, como o Aço ASTM A36, representa um desafio significativo em função da diferença em sua composição química e propriedades metalúrgicas.

O processo de Soldagem a Arco Submerso (SAW – *Submerged Arc Welding*) destaca-se nessa aplicação devido ao seu alto rendimento de deposição, excelente qualidade do cordão de solda e proteção eficiente da atmosfera pela camada de fluxo. Porém, ao soldar materiais dissimilares como o ASTM A36 e o Strenx 700 MC, surgem preocupações específicas, como a formação de zonas de transição com microestruturas frágeis, tensões residuais elevadas e a potencial ocorrência de trincas, que podem comprometer a integridade da junta.

Este estudo visa aplicar os conhecimentos acadêmicos adquiridos durante a graduação para investigar a aplicação do processo SAW na união desses materiais dissimilares, focando na avaliação da qualidade da junta soldada e em suas propriedades mecânicas.

## 1.1 Justificativa

A fabricação de implementos rodoviários modernos exige soluções de engenharia que combinem leveza, resistência e durabilidade. A utilização do aço Strenx 700 MC permite projetar estruturas mais leves sem comprometer a capacidade de carga, resultando em economia de combustível. No entanto, o custo deste material inviabiliza sua utilização em toda a estrutura, sendo comum seu uso em regiões críticas sujeitas a altas tensões, enquanto o aço ASTM A36, mais econômico, é utilizado nas demais partes.

A soldagem é a principal forma de unir esses componentes. O processo de Arco Submerso é frequentemente escolhido para soldas longas e retas, típicas na fabricação de vigas e longarinas, devido à sua alta produtividade e qualidade. A soldagem dissimilar entre o aço ASTM A36 (um aço carbono) e o Strenx 700 MC (um aço de alta resistência e baixa liga) requer um cuidadoso procedimento de soldagem (WPS - *Welding Procedure Specification*) para evitar defeitos como trincas de solidificação, trincas sob tensão e fragilização da Zona Afetada Colar (ZAC).

Estudos que investiguem parâmetros otimizados, a seleção adequada de arame e fluxo, e as técnicas para mitigar tensões residuais e gradientes de dureza são essenciais para viabilizar a aplicação segura e confiável dessas juntas dissimilares. A falha de um cordão de solda em um implemento rodoviário pode levar a paradas não programadas, custos elevados de manutenção e, em casos extremos, a acidentes graves. Portanto, a qualificação robusta deste processo de soldagem é de grande relevância técnica e econômica para o setor.

## 1.2 Objetivo geral

Avaliação técnica e econômica das juntas dissimilares entre os aços ASTM A36 e Strenx 700 MC, produzidas pelo processo de Soldagem a Arco Submerso (SAW), utilizando energia de soldagem de 1,0 KJ/mm e 1,6KJ/mm.

### 1.2.1 Objetivo específicos

Desenvolver e qualificar um procedimento de soldagem para a junta dissimilar do aço ASTM A36 e o aço SSAB Strenx 700 MC utilizando o processo SAW;

Executar ensaios não destrutivos para verificar a isenção de defeitos superficiais nos cordões de solda;

- Realizar a caracterização macroestrutural e microestrutural da junta;
- Quantificar e comparar os custos operacionais associados ao procedimento envolvendo as diferentes energias de soldagem.
- Qualificar o procedimento de soldagem elaborando o RQPS e EPS;



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O desenvolvimento das técnicas de soldagem dissimilar pode ser acompanhado através de diversos marcos históricos. A introdução da soldagem a arco elétrico, ocorrida no final do século XIX, representou um avanço significativo ao possibilitar a união de materiais variados. Contudo, essa técnica inicial ainda enfrentava dificuldades na soldagem de metais dissimilares, sobretudo devido às diferenças em suas propriedades térmicas e mecânicas (CARVALHO, 2024).

Essas diferenças podem causar trincas induzidas por hidrogênio, fragilização na zona afetada pelo calor (ZAC) e formação de microestruturas heterogêneas.

Em relação ao aço Strenx 700 MC, estudos recentes apontam que seu comportamento térmico durante processos de soldagem exige controle rigoroso dos parâmetros, especialmente da energia linear aplicada, para evitar perda de tenacidade e surgimento de fases frágeis (SSAB, 2023). Normas como a ISO 15614 (2017) e AWS D1.1 (2020) fornecem diretrizes sobre a qualificação de procedimentos de soldagem envolvendo aços de alta resistência.

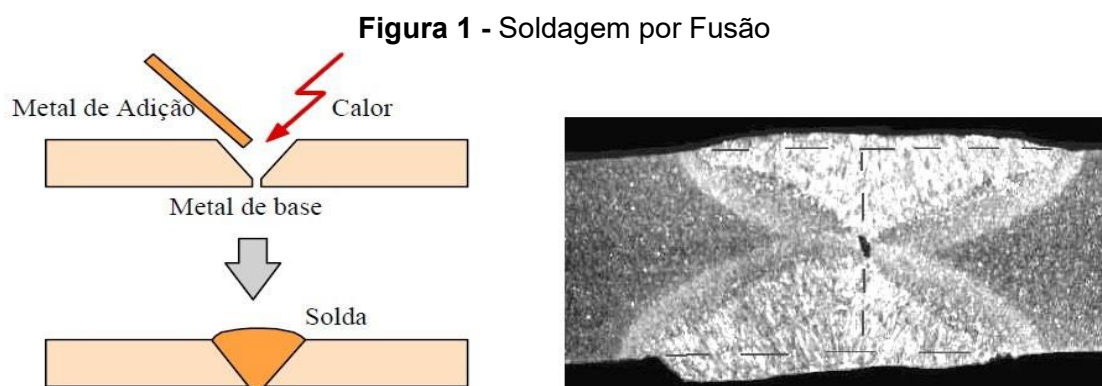
Já no caso do ASTM A36, sua soldabilidade é geralmente considerada boa, mas sua maior suscetibilidade à ZAC exige atenção especial quando combinado a aços de maior liga. Segundo Davis (2015), o controle da taxa de resfriamento e do pré-aquecimento são fatores essenciais para preservar a integridade da junta.

De acordo com Oliveira *et al.* (2019), a seleção apropriada dos consumíveis e a definição da sequência de passes impactam significativamente na resistência mecânica e na morfologia da zona fundida, sendo essenciais para a obtenção de soldas de alta qualidade. Além disso, a literatura destaca a importância da realização de ensaios não destrutivos e metalográficos para validação da qualidade da junta soldada (Lincoln Electric, 2020). Trabalhos apresentados em congressos da ABS (Associação Brasileira de Soldagem) demonstram que a seleção adequada de arame e fluxo é crucial para minimizar a zona afetada pelo calor (ZAC) e evitar fragilização na região da junta (SILVA; FONSECA, 2019). Além disso, estudos experimentais relatam que o pós-tratamento térmico em juntas soldadas por SAW pode melhorar significativamente a tenacidade ao impacto, conforme observado em ensaios realizados conforme normas ABNT NBR NM 300 (CARVALHO *et al.*, 2021). Essas investigações reforçam a viabilidade do arco submerso para aplicações

estruturais críticas, desde que sejam adotados procedimentos otimizados de soldagem e controle de qualidade.

## 2.1 União de materiais

A soldagem, embora seja um dos métodos mais comuns para união de materiais, não é isenta de limitações. Processos que envolvem fusão podem induzir transformações microestruturais nos materiais, afetando suas propriedades mecânicas e, em alguns casos, comprometendo seu desempenho em aplicações críticas (CALLISTER; RETHWISCH, 2016). A Figura 1 ilustra os efeitos térmicos do processo de fusão em uma junta soldada, evidenciando as zonas alteradas termicamente e as possíveis consequências sobre a integridade do material.



Fonte: Adaptado de MODENESI *et al.* (2012)

## 2.2 Soldagem por arco submerso (SAW)

Conforme Rodrigues e Cersosimo (2022), este processo une alta qualidade do metal de solda a uma produtividade elevada, sendo frequentemente escolhido para grandes volumes de solda e para soldagem de materiais com espessuras maiores, desde que sua aplicação seja tecnicamente adequada.

O arco submerso (SAW) opera com correntes elevadas (250–1500 A) e fluxo granular, garantindo alta produtividade em revestimentos de peças de grande porte como por exemplo eixos, rolos de moinho, componentes de mineração, revestimentos duros (*hardfacing*), camadas de ligas resistentes ao desgaste, etc. (Gimenes e Ramalho, 2020).

Conforme ilustrado na Figura 2, em consonância conforme descrito por, Rodrigues e Cersosimo (2022), no processo de soldagem por arco submerso, o arco elétrico permanece oculto sob um fluxo granulado que protege a poça de fusão. Esse fluxo, parte do qual não se funde e flutua sobre o metal fundido, fornece elementos desoxidantes e pode conter aditivos para modificar a composição química do metal depositado. Com o movimento do eletrodo, o fluxo fundido sobe e se separa do metal líquido na forma de escória.

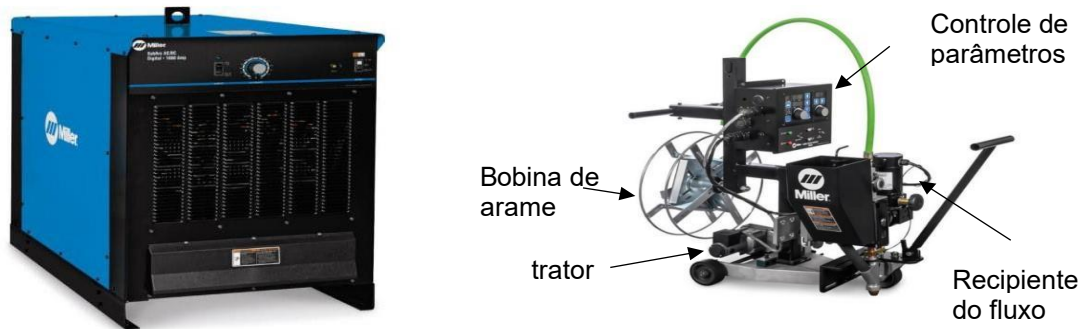
**Figura 2 - Soldagem por arco submerso**



**Fonte:** CODINTER (2025).

### **2.2.1 Equipamento**

A soldagem por arco submerso (SAW) requer equipamentos específicos, compostos por fontes de energia, sistema de alimentação do eletrodo, aplicador de fluxo e mecanismos de controle automatizado. De acordo com Codinter (2024), equipamentos como as fontes de energia da linha Miller SAW têm se destacado pela confiabilidade em aplicações industriais de média e grande escala. A Figura 3 apresenta exemplos de equipamentos utilizados no processo por arco submerso (SAW), incluindo a fonte de energia, o alimentador automático de arame, painel de controle de parâmetros, um trator com ajuste de velocidade e o sistema de distribuição de fluxo por gravidade.

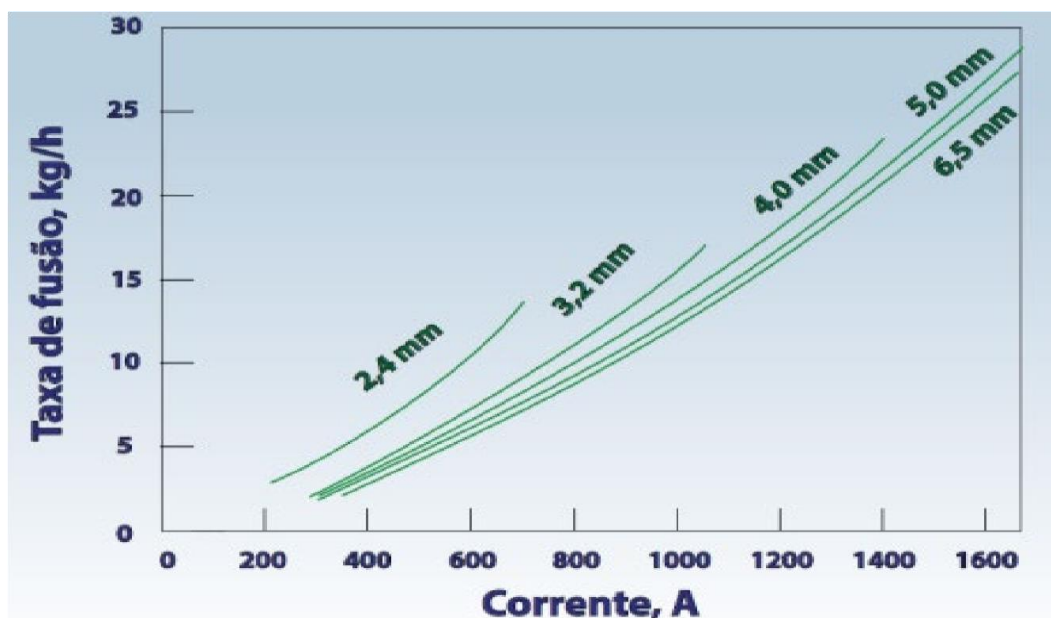
**Figura 3 - Fonte de energia e Trator**

Fonte: Adaptado por CODINTER (2025).

### 2.2.2 Consumíveis

Os arames utilizados no processo de soldagem por arco submerso (SAW) são predominantemente sólidos, embora existam variações tubulares para aplicações específicas. Eles são fornecidos em bobinas para alimentação automática e, em geral, possuem revestimento de cobre para prevenir oxidação e melhorar a condutividade elétrica. A estabilidade do arco, no entanto, depende principalmente da composição do fluxo granular (FREITAS; SENA, 2024).

A Figura 4 apresenta a relação entre a taxa de deposição do metal e a corrente de soldagem, evidenciando como os parâmetros elétricos influenciam diretamente na produtividade do processo.

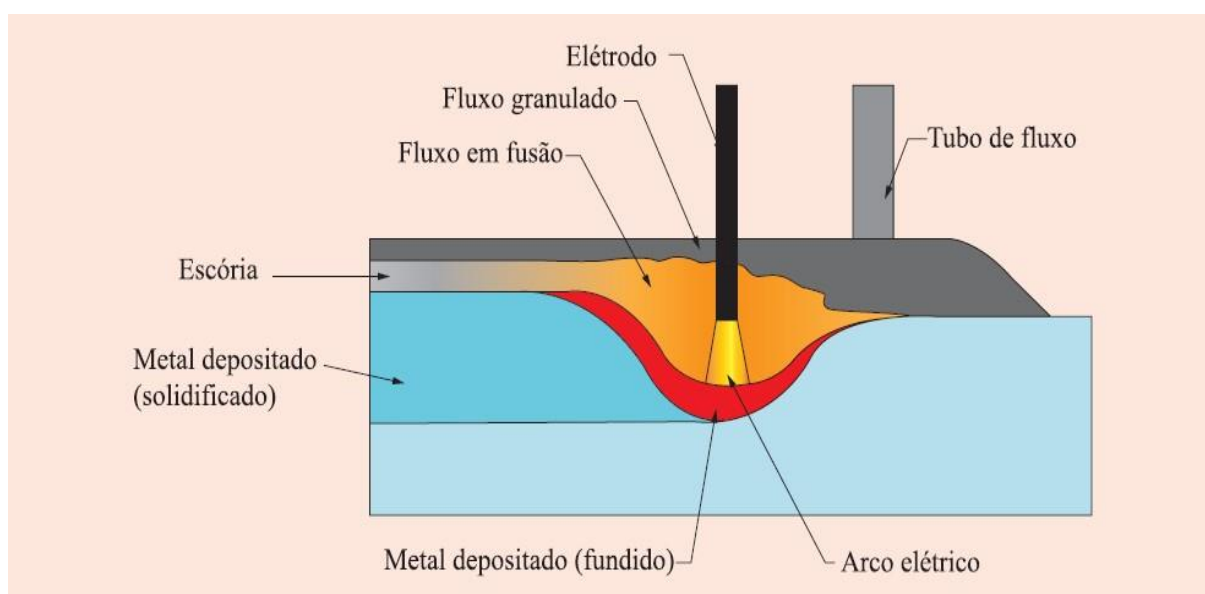
**Figura 4 - Taxa de deposição dos Arames para SAW**

Fonte: Adaptado de RIBEIRO *et al* (2022).

Os fluxos utilizados no processo de soldagem por arco submerso (SAW) são do tipo granular e podem ser fabricados por diferentes métodos, resultando em composições variadas, como aluminato-rutilo, aluminato-básico ou fluoreto-básico. Alguns fluxos também contêm elementos metálicos com a finalidade de promover a desoxidação do banho de fusão (RIBEIRO *et al.*, 2022 *apud* FREITAS e SENA, 2024).

O fluxo não fundido, após a soldagem, pode ser reaproveitado. Ele é normalmente aspirado por sistemas de recuperação automatizados, conforme ilustrado na Figura 5.

**Figura 5** - Esquema de soldagem por arco submerso



**Fonte:** SILVA (2014).

### 2.2.3 Vantagens e desvantagens

A soldagem por arco submerso (SAW) é particularmente indicada para peças com longos cordões de solda em linha reta. Dentre suas principais vantagens, destacam-se (SENAI Ceará, 2023):

- Alta qualidade do cordão de solda;
- O fluxo granular cobre o arco elétrico, evitando radiação luminosa direta;
- Elevadas taxas de deposição de material;
- Excelente resistência mecânica, inclusive à impactos.

Por outro lado, o processo também apresenta limitações, tais como:

- Aplicável somente em posições planas ou horizontais (limitações de posição);
- Não é adequado para chapas finas, devido ao alto aporte térmico.

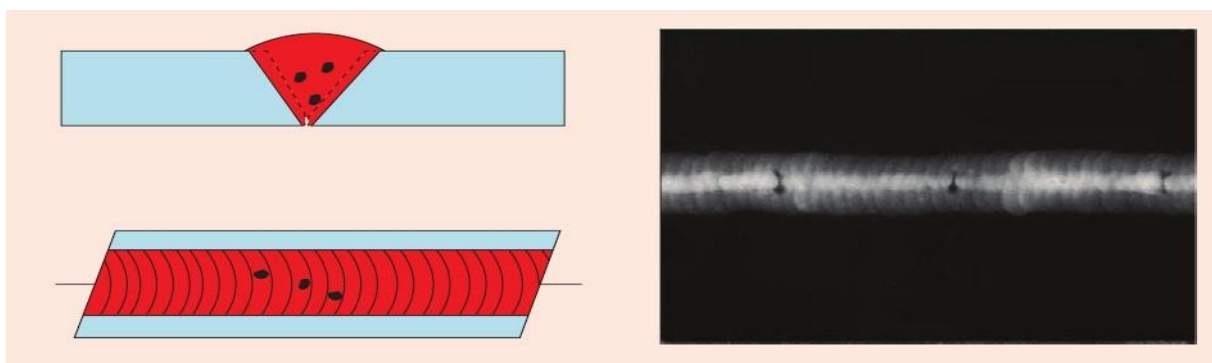
#### 2.2.4 Descontinuidades características do processo SAW

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2016, p. 136), a descontinuidade pode ser compreendida como uma interrupção ou violação da estrutura típica ou esperada de uma junta soldada, configurando-se, portanto, como um defeito que demanda correção. Dessa forma, a ocorrência de defeitos em juntas soldadas deve ser evitada, uma vez que pode gerar elevados custos durante o processo produtivo.

As principais descontinuidades associadas ao processo SAW são apresentadas na Figura 6, 7, 8 e 9 que incluem as formas de porosidades:

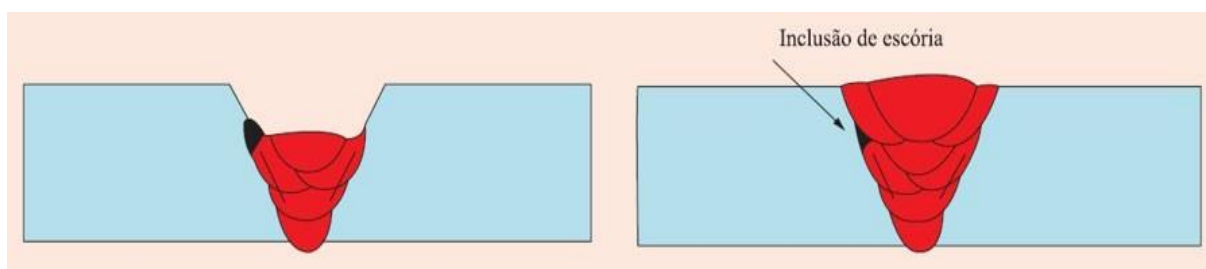
- Porosidade;
- Inclusões de escória;
- Falta de fusão;
- Trincas.

**Figura 6 - Descontinuidade (Porosidade)**



Fonte: Adaptado de SILVA (2014).

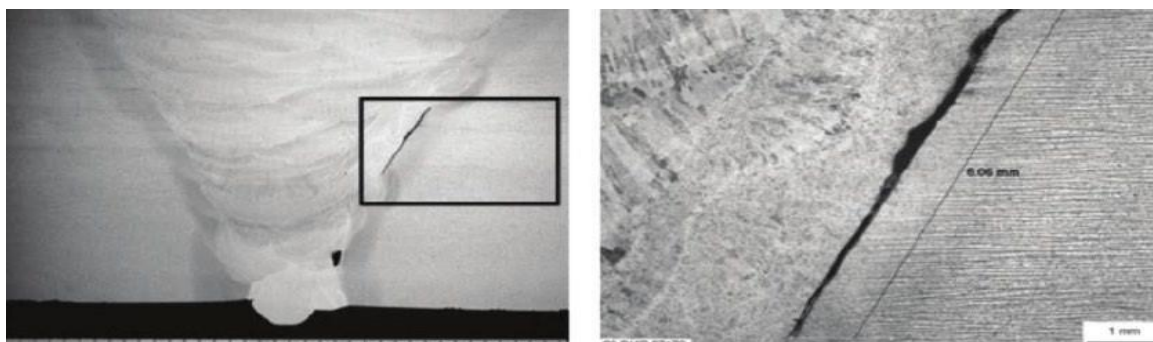
**Figura 7 - Descontinuidade (Inclusões de escória)**



Fonte: Adaptado SILVA (2014)

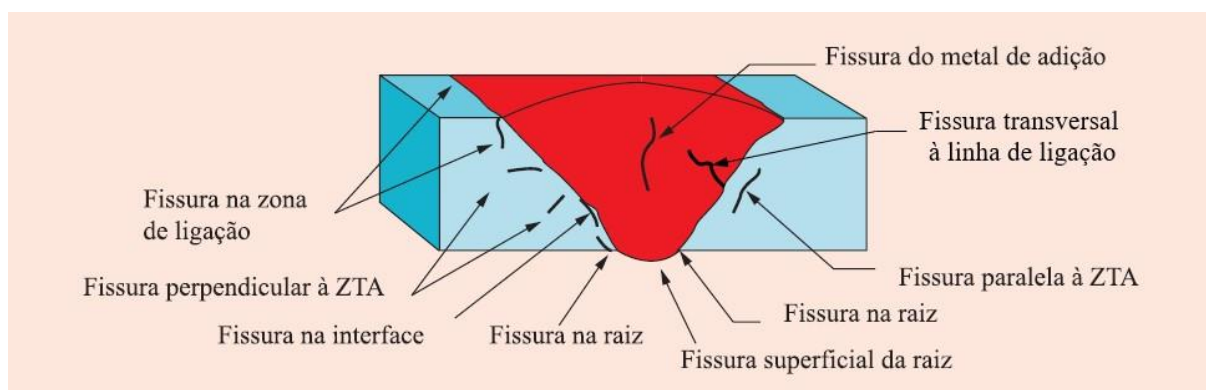


**Figura 8 - Descontinuidade (Falta de Fusão)**



Fonte: SILVA (2014).

**Figura 9 - Descontinuidade (Trincas).**



Fonte: Adaptado SILVA (2014)

## 2.3 Qualidade na soldagem

Para se chegar o produto com o grau de qualidade elevado a soldagem atinge de forma direta o produto, podem ser geradas falhas e danos nas peças, muitos deles visíveis e assim deixando o produto final com má qualidade. Dessa forma, o controle dos parâmetros de soldagem se torna fundamental para obter-se a soldagem de qualidade e por consequência assegurar a mesma qualidade do produto (CAMPOS, 2018). Entre os diversos processos de soldagem existentes, a soldagem por arco submerso (*SAW – Submerge Arc. Welding*) destaca-se por sua elevada eficiência, qualidade e produtividade.

Este processo é amplamente utilizado na fabricação de estruturas metálicas, vasos de pressão, dutos e tanques industriais. A soldagem por arco submerso (SAW) destaca-se pela alta taxa de deposição e penetração profunda, características que aliadas ao ambiente protegido pelo fluxo granular, reduzem

significativamente defeitos como respingos e porosidades. A qualidade da junta soldada depende fundamentalmente da seleção adequada de consumíveis (arame e fluxo), controle rigoroso dos parâmetros de processo (corrente, tensão e velocidade de soldagem) e aplicação de técnicas de inspeção, como ensaios não destrutivos AWS, (2020) *apud* GIMENES; RAMALHO, 2020).

### 2.3.1 AWS D1.1

O Código AWS D1.1/D1.1M, (2020), publicada pela *American Welding Society*, estabelece os requisitos essenciais para soldagem de estruturas de aço carbono e baixa liga. Como principal código setorial, ela regulamenta a qualificação de procedimentos (EPS/RQPS), certificação de soldadores, critérios de aceitação para descontinuidades e métodos de inspeção.

Sua aplicação é obrigatória em projetos críticos como na construção civil pesada em estruturas offshore (atividades industriais realizadas no mar, geralmente em plataformas, navios ou instalações afastadas da costa), em vasos de pressão e etc.

Códigos complementares como a AWS D17.1,2020 (aeroespacial) e AWS D14.3 (equipamentos agrícolas) demonstram a abrangência do sistema AWS (*AMERICAN WELDING SOCIETY, 2020*).

### 2.3.2 EPS e RQPS

A EPS (Especificação de Procedimento de Soldagem), conforme a NBR ISO 15609-1 (2019), estabelece os requisitos mínimos para a elaboração de procedimentos de soldagem, garantindo a rastreabilidade e repetibilidade do processo. Deve incluir dados como tipo de junta, ângulo do chanfro e método de limpeza (ABNT, 2019, Seção 6). Enquanto o WPS (termo internacional da AWS) é amplamente adotado em projetos multinacionais, a EPS (termo equivalente na norma ABNT) segue os mesmos princípios, porém com terminologia adaptada ao contexto brasileiro. Ambos exigem validação através de um PQR (*Procedure Qualification Record*). O WPS (*Welding Procedure Specification*) é um documento formal que descreve todos os parâmetros necessários para executar uma soldagem conforme os requisitos do projeto, incluindo tipo de processo, consumíveis, parâmetros



elétricos e técnicas de execução. Sua qualificação é obrigatória para aplicações críticas, como estruturas offshore e vasos de pressão (*AMERICAN WELDING SOCIETY, 2020, p. 45*).

Esse documento é essencial para o controle da qualidade e conformidade com as normas de projeto.

## **2.4 Metalurgia da soldagem**

A metalurgia da soldagem é fundamental para o entendimento das transformações físicas e químicas que ocorrem nos materiais durante o processo de soldagem. Conforme Brandi *et al.* (2018), esse conhecimento é imprescindível para prever a formação de defeitos e controlar as propriedades mecânicas da junta soldada, garantindo a integridade e o desempenho estrutural da união.

Durante o processo de soldagem, os materiais metálicos são expostos a uma forma de energia que pode ser térmica, resultando em fusão, ou mecânica, atuando no estado sólido. Em resposta a essa energia aplicada, os materiais sofrem alterações físicas, mecânicas ou metalúrgicas, o que pode provocar modificações nas propriedades originais dos materiais (Brandão, 2019, p. 351).

No caso de aços estruturais amplamente utilizados na indústria, como o ASTM A36, caracterizado por sua boa soldabilidade e baixa resistência, e o Strenx 700 MC, um aço de alta resistência e baixa liga (ARBL) produzido pela SSAB, as transformações metalúrgicas tornam-se especialmente relevantes. O ASTM A36 tende a apresentar microestruturas ferrítico-perlíticas com baixa suscetibilidade a trincas, enquanto o Strenx 700 MC, devido ao seu limite de escoamento elevado e microestrutura mais refinada, exige maior controle do aporte térmico para evitar crescimento de grão, perda de propriedades mecânicas e fenômenos de fragilização.

Zona Afetada pelo Calor (ZAC): região do metal base que não funde, mas sofre alterações microestruturais devido ao calor do processo. Em juntas dissimilares envolvendo ASTM A36 e Strenx 700 MC, a ZAC do Strenx 700 MC tende a ser mais crítica, exigindo controle rigoroso para evitar redução da resistência mecânica original do material.

Transformações metalúrgicas: formação de fases, mudanças de tamanho de grão e precipitações que afetam a resistência mecânica e ductilidade. Em aços ARBL como o Strenx 700 MC, transformações indesejadas podem comprometer as propriedades de alta resistência.

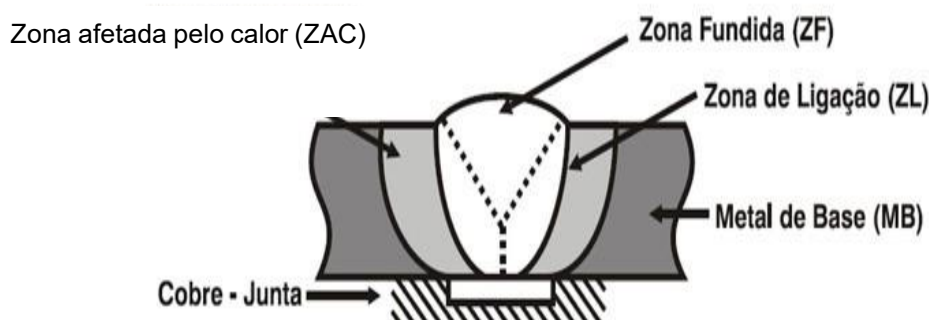
Defeitos metalúrgicos: como trincas a quente e a frio, fragilização por hidrogênio e tensões residuais, que podem se manifestar de maneira distinta em materiais com diferentes composições químicas, como o ASTM A36 e o Strenx 700 MC.

#### 2.4.1 Transformações na zona fundida

Na soldagem, a região denominada Zona Fundida (ZF) possui propriedades mecânicas, como resistência e tenacidade, que devem ser iguais ou superiores às do metal base, conforme as código de qualificação de procedimento. Essa zona pode ser composta apenas pelo metal de base fundido ou ainda conter o material depositado, sendo efetivamente a área onde ocorre a fusão na junta soldada, (Rodrigues e Cersosimo, 2022, p. 201), a zona fundida é a parte da junta onde o metal de base e o metal de adição fundem-se completamente, formando o cordão de solda como mostra a Figura 10.

Rodrigues *et al.* (2022) destacam que a resistência à tração, tenacidade e ductilidade da zona fundida são criteriosamente avaliadas durante a qualificação de procedimentos de soldagem, sendo fundamentais para a confiabilidade da junta. As transformações nessa zona são controladas por meio da seleção adequada de consumíveis, parâmetros de processo e técnicas de resfriamento.

**Figura 10** - Zona Afetada Pelo Calor



**Fonte:** Adaptado RODRIGUES *et al* (2022).

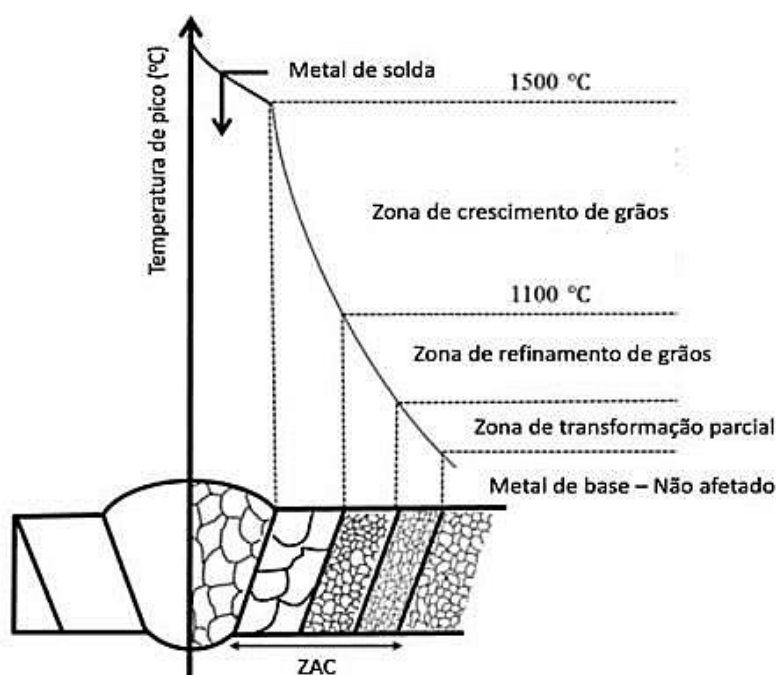
## 2.4.2 Transformação na zona afetada pelo calor

Rodrigues e Cersosimo (2022, p. 201) definem que a Zona Afetada pelo Calor (ZAC) situa-se entre a zona de ligação e o metal base, sendo caracterizada pela ausência de alterações microestruturais significativas que possam influenciar as propriedades mecânicas ou a resistência à corrosão do material.

A Zona Afetada pelo Calor (ZAC) forma-se em operações térmicas como a soldagem e o corte térmico, frequentemente sob restrições impostas pela geometria e espessura da peça. Esse processo térmico pode resultar em crescimento de grão, redução da tenacidade, formação de microestruturas frágeis, potencial à nucleação de trincas e descontinuidades.

Segundo Rodrigues e Cersosimo (2022). Eles explicam que a unidade de soldagem pode variar dependendo do padrão de deposição do cordão, seja retilíneo ou trançado, e que esses parâmetros devem ser rigorosamente controlados para garantir a conformidade com as normas aplicáveis, técnicas como o pré-aquecimento, o controle da energia de soldagem e os tratamentos térmicos pós-soldagem são empregadas para minimizar os efeitos adversos dessa zona crítica conforme Figura 11.

**Figura 11** - Gráfico da zona afetada pelo calor

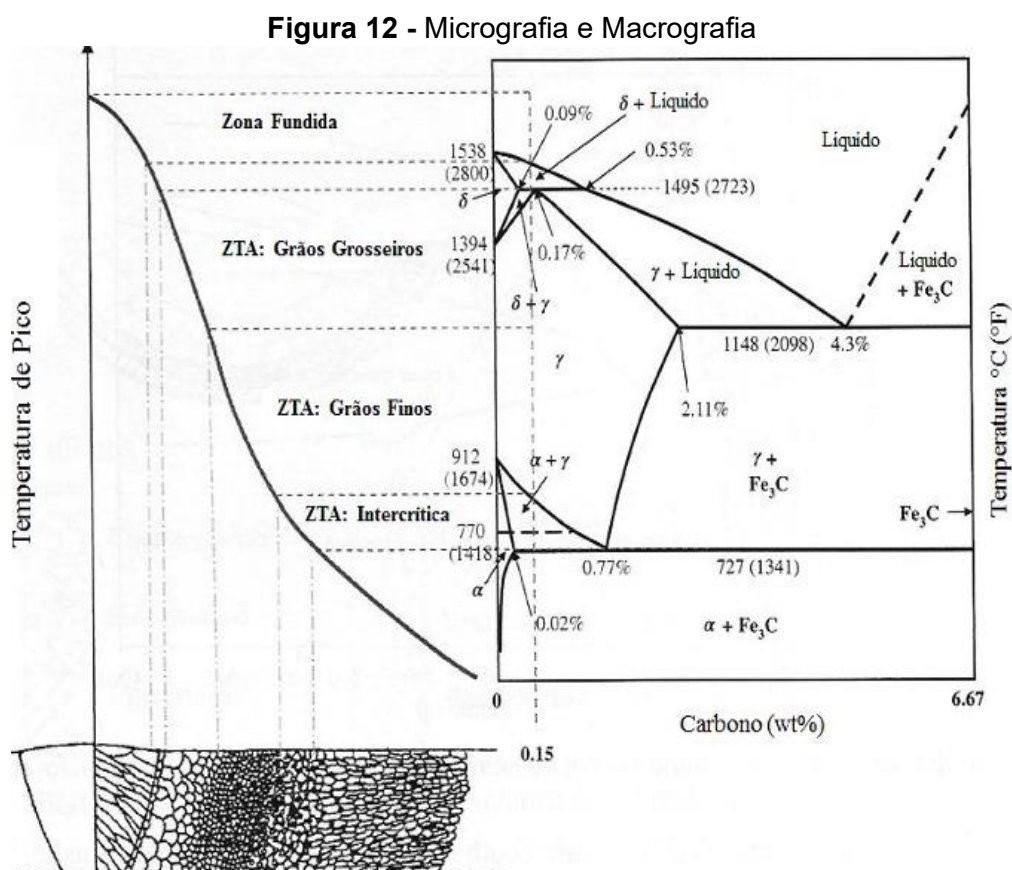


**Fonte:** RODRIGUES *et al* (2022).

### 2.4.3 Macroestruturas e Microestruturas

Com base em Brandão (2019), a macrografia é a observação da textura resultante da conformação mecânica, detecção de defeitos ou descontinuidades visíveis, avaliação da penetração e do perfil das soldas, bem como da disposição dos passes em soldas por fusão, podendo ser realizada a olho nu, com lupa de 10 vezes de aumento ou por meio de um estereoscópio, existem alguns conceitos importantes que são definidos, tais como micrografia, que consiste na identificação das microestruturas, presença de precipitados e inclusões, e na extensão da região próxima à solda, utilizando método como microscopia óptica.

É essencial compreender os diferentes níveis de análise microestrutural para garantir a integridade das juntas soldadas, qualificar os procedimentos de soldagem e selecionar os parâmetros adequados do processo. Para tal, utiliza-se o ataque por imersão com reagentes nital em concentrações entre 1% e 5%, método descrito por Jorge *et al.* (2015) como padrão na caracterização metalográfica. Figura 12.



**Fonte:** Adaptação de LIPPOLD (2015).

## 2.5 Ensaios não destrutivos

De acordo com Brandão (2019, p. 97), afirma que a inspeção não destrutiva preserva a integridade física e estrutural do item inspecionado, sem causar interferência ou dano que comprometa seu uso ou processamento futuro. Na Tabela 1 do mesmo autor, apresenta-se um comparativo das abreviaturas dos Ensaios Não Destrutivos utilizados pela AWS e pela Petrobrás.

**Tabela 1** - Abreviaturas dos Tipos de Ensaios Não Destrutivos

| <b>Tipo de Ensaio Não Destrutivo</b> | <b>Sigla AWS</b> | <b>Sigla Petrobras</b> |
|--------------------------------------|------------------|------------------------|
| Radiografia                          | RT               | RAD                    |
| Ultrassom                            | UT               | US                     |
| Partículas Magnéticas                | MT               | PM                     |
| Líquido Penetrante                   | PT               | LP                     |
| Inspeção Visual e Dimensional        | VT               | EV                     |

**Fonte:** Adaptado de BRANDÃO (2019, p. 299)

### 2.5.1 Ensaio visual

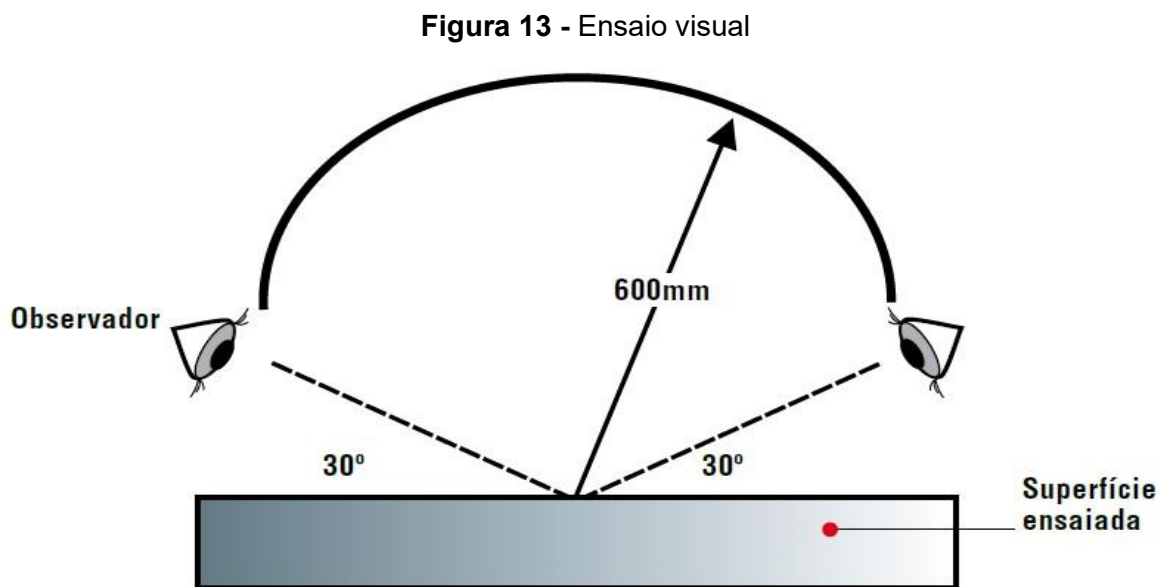
De forma destacada, Farias *et al.* (2023) a inspeção visual é um dos métodos não destrutivos mais utilizados no processo de soldagem, devido à sua simplicidade, baixo custo operacional e eficácia na detecção preliminar de defeitos nas juntas soldadas.

A pesquisa realizada em 2022 no setor metalúrgico de Fortaleza-CE reforça a importância da inspeção visual como primeira etapa para avaliação da soldagem em estruturas metálicas, destacando sua eficiência mesmo em contextos de alto volume produtivo (Farias *et al.*, 2023).

De acordo com Farias *et al.* (2023), destacam que o conhecimento dos diversos benefícios do processo de soldagem em estruturas metálicas, aliado à aplicação do ensaio de inspeção visual, é fundamental para garantir a qualidade do serviço executado.

Conforme Silva *et al.* (2023), foi adotado o método direto para a realização do ensaio visual, caracterizado pela observação direta da área em análise, utilizando-se

apenas fonte externa de iluminação, espelhos ou lupas, sem o uso de outros auxílios ópticos. Recomenda-se que o inspetor mantenha a vista a uma distância máxima de 600 mm da superfície e em um ângulo superior a 30° em relação à área inspecionada conforme a Figura 13 abaixo.



**Fonte:** Adaptado FBTS - Federação Brasileira de Técnicos em Soldagem.  
Instrução Técnica para Ensaio Visual de Solda (2022).

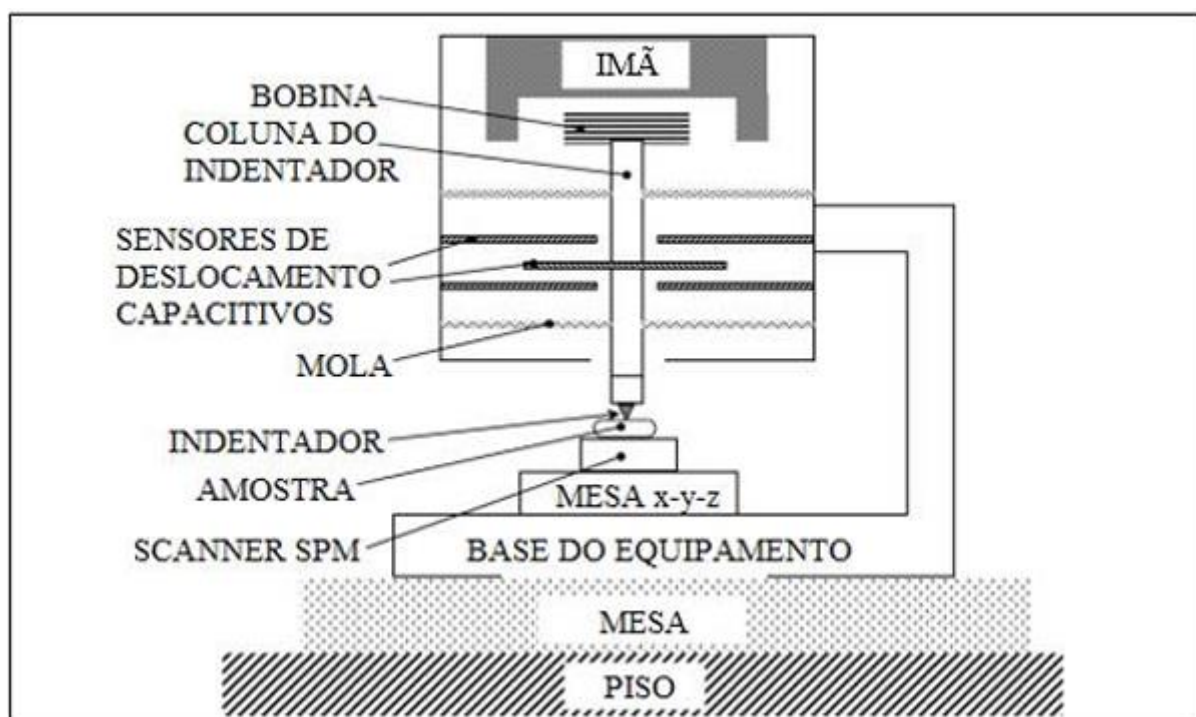
## 2.6 Ensaios Destrutivos

### 2.6.1 Ensaio de dureza

De acordo com Rodrigues e Cersosimo (2022, p. 231), os altos limites de escoamento e resistência observados na zona fundida durante a soldagem por processos como SMAW, GMAW e SAW resultam fundamentalmente da presença de elementos desoxidantes e dessulfurantes nas composições utilizadas. Contudo, quando adicionados em excesso, elementos como manganês e silício elevam a dureza das juntas soldadas, tornando-as mais suscetíveis a fenômenos de fragilização, tal como a formação de trincas induzidas por hidrogênio e casos de corrosão sob tensão. Ademais, as reações entre a escória e o metal líquido permitem a introdução de elementos provenientes de ligas ferrosas presentes em revestimentos, eletrodos sintéticos e fluxos.

A resistência de um material à penetração ou à deformação plástica permanente, conceito este apresentado por Brandão (2019, p. 278), é determinada por ensaios quantitativos como Brinell, Rockwell, Vickers, teste de choque Shore ou pela escala de Mohs, conforme Figura 14.

**Figura 14** – Esquema de componentes de um equipamento para indentação instrumentada

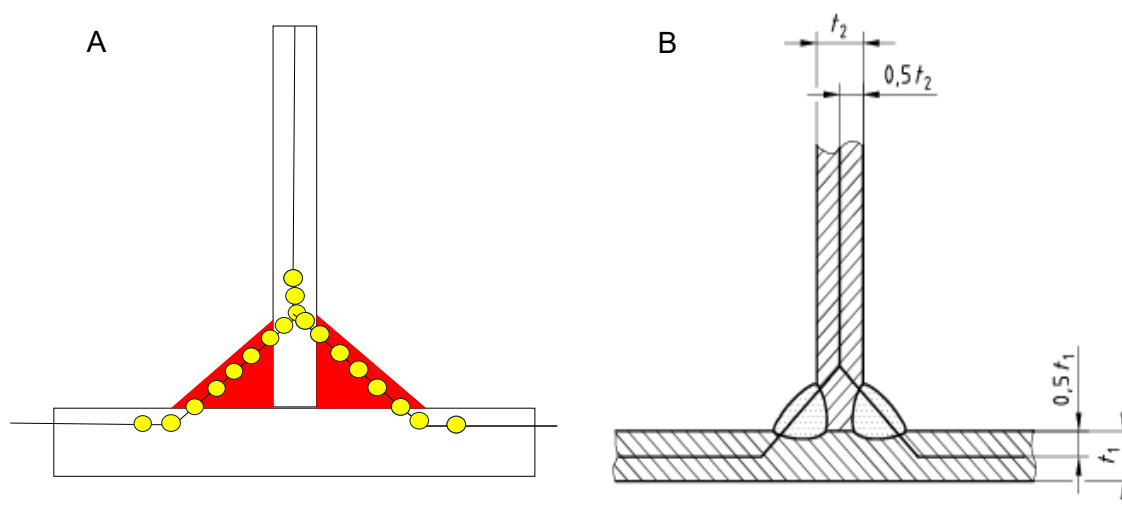


**Fonte:** PAZINI *et al* (2019).

A preparação dos corpos de prova deve seguir as diretrizes estabelecidas na ISO 6507-1 ou ISO 6506-1, conforme indicado na norma ISO, (*International Organization For Standardization, 2001*). Para isso, recomenda-se a obtenção de uma seção transversal do corpo de prova por meio de corte mecânico, normalmente perpendicular à junta soldada. Essa etapa, bem como a preparação posterior da superfície, deve ser realizada com muito cuidado para evitar alterações metalúrgicas que possam afetar a dureza a ser medida. Além disso, a superfície destinada ao teste deve estar adequadamente preparada e, preferencialmente, gravada para garantir a precisão das medições das impressões nas diferentes regiões da junta soldada, conforme Figura 15 A e 15 B, onde está demonstrando como os corpos de prova foi

traçado e também a distância Recomendada entre Indentações na Zona Afetada pelo Calor (ZAC) para solda de filete dos dois lados com um passe único, segundo ISO 9015-1:2001.

**Figura 15** - Traçados dos corpos de prova



**Fonte:** Adaptado da Norma ISO (2001)

A Tabela 2 apresentada a seguir exibe as distâncias recomendadas entre os centros das impressões de dureza realizadas na zona afetada pelo calor (ZAC) em juntas soldadas, conforme especificado na norma ISO 9015-1:2001. Esses valores variam de acordo com o método de dureza empregado (HV, HBW) e o tipo de material ensaiado, sendo essenciais para garantir a precisão dos ensaios e evitar a sobreposição das zonas de deformação.

Vale salientar que, para metais ferrosos, as distâncias mínimas permitidas estão diretamente relacionadas ao símbolo de dureza utilizado, enquanto para alumínio, cobre e suas ligas, valores específicos também são definidos. O respeito a esses parâmetros é fundamental para obter resultados confiáveis na caracterização da dureza das diferentes regiões de uma solda, conforme requerem os padrões internacionais (*International Organization For Standardization*, 2001).

**Tabela 2** – Distância recomendadas

| Símbolo de Dureza | Metais Ferrosos <sup>1</sup> (mm) |
|-------------------|-----------------------------------|
| HV 5              | 0,7 a 1                           |

**Fonte:** Adaptado ISO (2001)



## 2.7 Aços Aplicados na indústria de implementos rodoviários

O transporte rodoviário de cargas mantém-se como pilar da logística no Brasil, onde a malha rodoviária, responsável por 61% do transporte de cargas em 2023 (ANTT, 2023), exige implementos duráveis e eficientes. Como destacam Oliveira e Silva (2021), a escolha de aços especiais, como os de alta resistência Strenx700 MC e os micro ligados ASTM A36, é fundamental para resistir a cargas dinâmicas e corrosão em longas distâncias. Essa demanda é reforçada por estudos recentes (ABDI, 2022), que apontam crescimento de 15% na produção de semirreboques e equipamentos rodoviários entre 2020 e 2022, impulsionado pela necessidade de otimização logística pós-pandemia. Conforme Figura 16.

**Figura 16** - Implementos Rodoviário.



**Fonte:** Adaptado por LIBRELATO (2025).

### 2.7.1 Aço ao carbono estrutural ASTM A36

O aço carbono estrutural ASTM A36 que será utilizado neste estudo é considerado um dos materiais mais versáteis para aplicações industriais, conforme evidenciado por pesquisas recentes (SMITH *et al.*, 2022). Sua combinação equilibrada entre resistência mecânica e conformabilidade o torna especialmente

adequado para estruturas metálicas, implementos rodoviários e componentes agrícolas (ASTM A36/A36M). Tabela 3.

**Tabela 3** - Propriedade Mecânica do ASTM A36.

| Propriedade                | Valor     |
|----------------------------|-----------|
| Tensão de Escoamento (MPa) | ≥ 250     |
| Resistência à Tração (MPa) | 400 - 550 |

**Fonte:** Adaptado do ASTM A36 (2006).

Estudos demonstram que aproximadamente 68% das estruturas temporárias em projetos logísticos brasileiros utilizam este material, principalmente devido ao seu excelente custo-benefício (ABNT NBR 15900, 2021).

A versão mais recente da norma (2022) mantém as especificações originais, porém com controles mais rigorosos de composição química, particularmente para aplicações em ambientes corrosivos (JONES; BHADESHIA, 2023). Conforme Figura 17.

**Figura 17** - Chapas de aço ASTM A36.



**Fonte:** AN Aços Nobre (2025).

### 2.7.2 Aço de alta resistência e baixa liga ARBL Strenx 700 MC

O aço Strenx 700 MC que foi utilizado neste estudo é classificado como um aço de alta resistência e baixa liga (ARBL), que atinge um limite de escoamento superior a 700 MPa na condição laminada, evidenciando sua alta resistência mecânica, conforme especificado pela norma EN 10149-2 (2023).

Conforme destacam Pereira e Santos (2022) em estudo sobre materiais para mobilidade sustentável, essa classe de aços apresenta uma combinação ideal entre resistência mecânica elevada e boa tenacidade, resultado de microestruturas obtidas por meio de adições controladas de Nb, Ti e V, com teores de carbono inferiores a 0,12%.

Segundo análise de Campos *et al.* (2023), seu uso em chassis de caminhões e equipamentos agrícolas permite reduções de peso da ordem de 15-20% sem comprometer a resistência estrutural, para aplicações em transporte pesado.

**Figura 18** - Aço Strenx 700 MC aplicado no chassi de implementos rodoviários.



**Fonte:** SSAB (2025).

Conforme demonstrado na Tabela 4, o aço Strenx 700 MC possui tensão de escoamento mínima de 700 MPa, resistência à tração entre 750 e 950 MPa, e alongamento mínimo de 10%, valores que indicam alta resistência e boa ductilidade para aplicações estruturais (SSAB, 2023).

**Tabela 4** - Propriedades mecânica do aço Strenx 700 MC.

| Propriedade                | Valor     |
|----------------------------|-----------|
| Tensão de Escoamento (MPa) | ≥ 700     |
| Resistência à Tração (MPa) | 750 - 950 |
| Alongamento (%)            | ≥ 10      |

**Fonte:** Adaptado de SSAB (2023).

**2.8 Custos de Soldagem**

A soldagem constitui uma fase essencial no processo de fabricação e pode exercer grande impacto sobre o custo global de produção. Conforme indicado por Decker (2024), ainda há fabricantes que demonstram dificuldade em avaliar de maneira precisa e uniforme os custos relacionados à soldagem.

Conforme o processo de soldagem tem como papel fundamental em vários setores industriais, porém, a falta de precisão na estimativa de custos e a adoção de práticas pouco eficientes podem gerar perdas econômicas consideráveis.

De acordo com a American Welding Society (AWS, 2020), milhões de dólares em lucros são desperdiçados anualmente em operações de soldagem em razão dessas imprecisões e ineficiências.

A estimativa de custos pode basear-se em valores aproximados ou reais, sendo preferível utilizar dados reais para reduzir possíveis desvios, especialmente em processos de maior complexidade, como na confecção de biséis em juntas a topo com chanfro.

A composição do custo de soldagem abrange diversos elementos, incluindo consumíveis, energia elétrica, mão de obra e depreciação de equipamentos. Dessa forma, o custo total do processo resulta da soma e análise detalhada desses fatores, assegurando a viabilidade econômica e técnica da operação (THAKUR; GEBRELIBANOS; GABREY, 2019).

Erros na estimativa dos custos podem ocasionar desperdícios e comprometer a produtividade, afetando negativamente a saúde financeira das organizações.

Portanto, é fundamental entender detalhadamente todos os fatores que influenciam os custos de soldagem para garantir uma gestão eficaz e minimizar perdas econômicas. A aplicação de práticas adequadas de cálculo e a otimização do processo de soldagem são essenciais não só para elevar a competitividade, mas também para garantir a sustentabilidade das empresas no mercado global a longo prazo (JÚNIOR, 2018).

### 2.8.1 Rendimento

A eficiência de deposição foi definida conforme equação apresentada por Brito (2005, p.38, apud Tavares, 2020), sendo ela um parâmetro fundamental para o cálculo do rendimento da soldagem.

$$\text{Eficiência de Deposição} = \frac{\text{Peso de Metal Depositado (g)}}{\text{Peso do Material Consumido (g)}} \quad (1)$$

### 2.8.2 Taxa de Deposição

A taxa de deposição, entendida como o peso do metal depositado por unidade de tempo, é um fator importante para a produtividade da soldagem, embora não deva ser o único critério para a escolha do processo de soldagem.

Outros parâmetros devem ser considerados, como a eficiência da taxa de deposição, a posição da soldagem, qualidade da solda, penetração requerida, além da disponibilidade do equipamento e do pessoal qualificado (BRITO; PARANHOS, 2005), apud TAVARES, (2024).

Segundo Brito e Paranhos (2005, p.12), apud Tavares, (2024), as variáveis que mais influenciam a taxa de deposição no processo de soldagem incluem a intensidade e densidade de corrente no eletrodo, tipo de corrente e polaridade, diâmetro e extensão do eletrodo, além da posição de soldagem.

Ainda, esses autores indicam que, em termos de produtividade baseada na taxa de deposição, a ordem de preferência dos processos de soldagem é mecanizada, semiautomático e manual.

Na Tabela 5 deste trabalho, compara-se as taxas típicas de deposição para diversos processos de soldagem a arco elétrico.

**Tabela 5** – Taxa de deposição para os principais processos de soldagem

| Processo de Soldagem                          | (Kg/h)      |
|-----------------------------------------------|-------------|
| Eletrodo Revestido                            | 1,0 a 3,0   |
| MIG-MAG                                       | 2,0 a 6,0   |
| Arame Tubular                                 | 3,0 a 8,0   |
| Arco Submerso (1 arame)                       | 5,0 a 12,0  |
| <i>Twin-Arc</i> : Arco Submerso ou MIG-MAG    | 10,0 a 25,0 |
| <i>Tandem-Arc</i> : Arco Submerso ou MIG-MAG) | 12,0 a 30,0 |

**Fonte:** Adaptado de BRITO e PARANHOS (2005, p. 13), *apud* TAVARES 2024

Brito e Paranhos (2005, p. 13), *apud* Tavares (2024), explicam que a taxa de deposição é calculada pela diferença entre o peso final de uma peça após a soldagem e seu peso inicial conhecido antes do processo. Para este cálculo, são definidas variáveis específicas: Peso de Metal Depositado (PMD), Peso Final da Chapa (PF), Peso Inicial da Chapa (PI) e Taxa de Deposição (TD), esta última dependente do diâmetro do arame eletrodo e da intensidade da corrente empregada. As Equações 2, 3 e 4 descrevem de forma sucinta estes cálculos.

$$TD \text{ (kg/h)} = \left( \frac{PF \text{ (kg)} - PI \text{ (kg)}}{TTA \text{ (h)}} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$PMD \text{ (kg)} = PF \text{ (kg)} - PI \text{ (kg)} \quad (3)$$

$$TD \text{ (kg/h)} = \left( \frac{PMD \text{ (kg)} \times 60}{TTA \text{ (h)}} \right) \quad (4)$$

### 2.8.3 Fator de Trabalho ou de Operação

Brito e Paranhos (2005, p. 8), *apud* Tavares (2024), destacam que o processo de soldagem somente avança quando o arco elétrico está efetivamente estabelecido. Atividades como montagem, ponteamento, movimentação da peça no posicionador e limpeza da junta, embora necessárias, não contribuem diretamente para a

produtividade da soldagem, pois representam momentos que não se configuram como tempo efetivo de soldagem. Portanto, apenas o tempo dedicado à execução da solda deve ser considerado para fins de avaliação da progressão e produtividade do processo.

Segundo Brito e Paranhos (2005, p. 8) apud Tavares (2024) informam que a equação de fator de operação determina o rendimento da operação de soldagem. Sendo um fator básico em fórmulas de custo de soldagem e que para poder ter avaliações corretas devem ser determinados e seguidos com precisão as formulas de cálculos e descreve a Equação 5, onde se tem descrito o Fator de Operação – TO, o Tempo de Arco Aberto – TAA, e o Tempo Total de Soldagem – TTS.

$$FO (\%) = \left( \frac{TAA (s)}{TTS (s)} \right) \times 100 \quad (5)$$

Conforme descrito por Brito e Paranhos (2005, p. 8), apud Tavares (2024), apresentam as equações complementares necessárias para o cálculo do rendimento da soldagem, incluindo o Tempo de Parada (TP), o Comprimento da Solda (CS) e a Velocidade de Soldagem (VS). Nas Equações 6, 7 e 8, estão detalhadas as fórmulas que descrevem esses parâmetros, que são essenciais para determinar com precisão os índices de produtividade e eficiência do processo de soldagem adotado. Essas equações possibilitam uma análise abrangente e fundamentada para o planejamento e controle das operações de soldagem.

$$TTS (s) = TAA (s) + TP (s) \quad (6)$$

$$FO (\%) = \left( \frac{TAA (s)}{TAA (s) + TP (s)} \right) \times 100 \quad (7)$$

$$TAA (min) = \left( \frac{CS (cm)}{VS (cm/min)} \right) \times 100 \quad (8)$$



#### 2.8.4 Custos Totais

Marques, Modenesi e Bracarense (2016, p. 206) explicam que o custo total pode ser calculado de forma simples ao decompor o processo em várias parcelas e somá-las entre si, conforme descrito na equação 9.

$$CT = CMO + CC + CE + CM + CD + CMC \text{ (R\$)} \quad (9)$$

Conforme indicado por Marques Modenesi e Bracarense (2016, p. 207) definem que o custo da mão de obra (CMO), o custo dos consumíveis (CC), o gasto com energia elétrica (CE), custos de manutenção (CM), depreciação (CD) e os custos relacionados a outros materiais de consumo (CMC) são componentes essenciais para o cálculo do custo total de soldagem, conforme as equações abaixo.

$$CMO = Ch \times T \quad (10)$$

$$CC \text{ arame} = Ckg \times m \text{ (arame)} \quad (11)$$

$$CC \text{ fluxo} = C \text{ fluxo kg} \times m \text{ fluxo} \quad (12)$$

$$CE = Ckwh \left( \frac{V \times I \times n}{1000} \right) \times Ts \quad (13)$$

$$CM = \left( \frac{Cmanut_{atual}}{Hprod_{anual}} \right) \times Ts \quad (14)$$

$$CD = \left( \frac{Cequip}{Vvida} \right) \times Ts \quad (15)$$

$$CMC = \frac{Ctotal\_consumo}{L} \quad (16)$$



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo teve como objetivo analisar a soldagem de juntas dissimilares entre o aço Strenx 700 MC e o aço ASTM A36, empregando o processo de Arco Submerso (SAW). Para a realização das soldagens, foi utilizado o consumível F7A2-EM12K. As juntas foram produzidas por meio de parâmetros otimizados de corrente, tensão e velocidade de avanço previamente definidos, a fim de assegurar a qualidade e a integridade da união.

#### 3.1 Materiais de base

##### 3.1.1 ASTM A36

O aço carbono estrutural ASTM A36 foi utilizado em nosso estudo para os implementos rodoviários devido à sua resistência mecânica moderada, boa conformabilidade e excelente soldabilidade. Esse material possui composição química balanceada, com baixo teor de carbono, o que facilita processos de usinagem e conformação. Apresenta limites de escoamento e resistência à tração compatíveis para aplicações estruturais, como vigas e colunas. Devido à sua versatilidade, o ASTM A36 tem sido amplamente empregado em diversas estruturas metálicas, equipamentos industriais e componentes agrícolas, garantindo desempenho confiável nas condições exigidas. Conforme Figura 19.

**Figura 19** - Aplicação ASTM A36



**Fonte:** Adaptado BARRIOS; SILVA e SALLES (2024)

A Tabela 6 e 7, demonstra as composições químicas, dos materiais utilizados.

**Tabela 6 - Composição Química Norma**

| <b>Composição Química</b> | <b>Porcentagem (%)</b> |
|---------------------------|------------------------|
| Carbono (C)               | 0.25                   |
| Silício (Si)              | 0.40                   |
| Manganês (Mn)             | 0.80                   |
| Fosforo (P)               | 0.04                   |
| Enxofre (S)               | 0.05                   |
| Cobre (Cu)                | 0.20                   |

**Fonte:** Adaptado de ASTM A36 (2006)

Conforme indicado o Anexo A, a composição química do ASTM A36

**Tabela 7 - Composição Química - Certificado**

| <b>Composição Química</b> | <b>Porcentagem (%)</b> |
|---------------------------|------------------------|
| Carbono (C)               | 0.16                   |
| Silício (Si)              | 0.01                   |
| Manganês (Mn)             | 0.35                   |
| Fosforo (P)               | 0.018                  |
| Enxofre (S)               | 0.013                  |
| Alumínio (AL)             | 0.052                  |
| Vanádio (V)               | 0.001                  |
| Titânio (T)               | 0.001                  |
| Cromo (Cr)                | 0.03                   |
| Níquel (Ni)               | 0.01                   |
| Estanho (Sn)              | 0.001                  |
| Nitrogênio (N)            | 0.0038                 |
| Boro (B)                  | 0.0001                 |
| Chumbo (Pb)               | 0.002                  |
| Antimônio (Sb)            | 0.002                  |

**Fonte:** Certificado USIMINAS (2025).

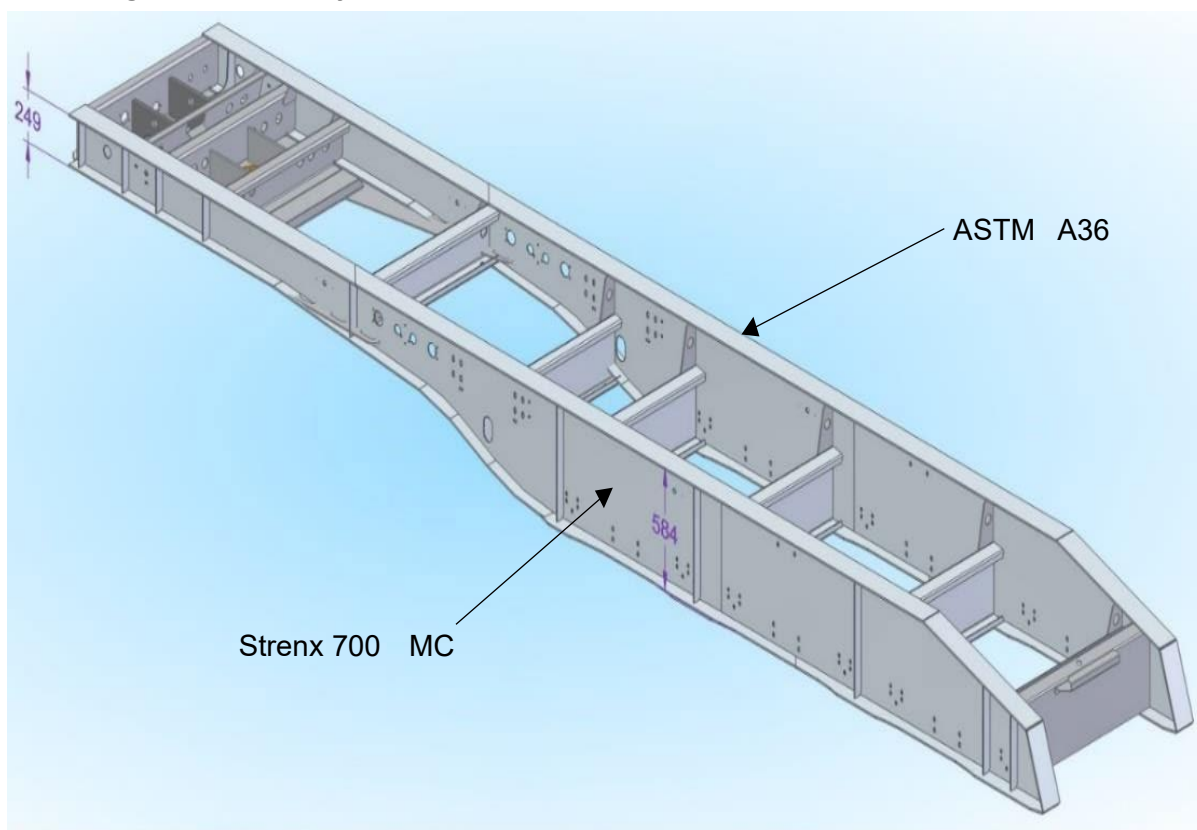
### 3.1.2 Strenx 700 MC

O aço estrutural Strenx 700 MC apresentou propriedades que o qualificaram como material ideal para aplicações que exigiam elevado desempenho estrutural aliado à redução de peso.

Para o estudo, foi escolhida uma espessura de 6 mm. Suas características mecânicas, como o limite mínimo de escoamento em torno de 700 MPa, permitiram seu uso em componentes estruturais críticos, como chassis de veículos pesados, equipamentos de elevação e estruturas offshore.

Demonstrou também excelente conformabilidade e boa soldabilidade, facilitando os processos de fabricação e montagem. Dessa forma, o Strenx 700 MC atendeu aos requisitos técnicos para projetos que demandavam alta resistência e durabilidade a Figura 20, mostra certamente a aplicações do Strenx 700 MC no Chassi.

**Figura 20** - Aplicações do Strenx 700 MC no Chassi de Implemento Rodoviário.



**Fonte:** Adaptado BARRIOS; SILVA e SALLES (2024).

A Tabela 8, mostra o certificado que utilizamos para a comparação de composição química, e esse material foi o utilizado para a soldagem do nosso trabalho.

**Tabela 8** - Composição Química do Strenx 700 MC – Norma.

| <b>Composição Química</b> | <b>Porcentagem (%)</b> |
|---------------------------|------------------------|
| Carbono (C)               | 0.12                   |
| Silício (Si)              | 0.21                   |
| Manganês (Mn)             | 2.10                   |
| Fósforo (P)               | 0.020                  |
| Enxofre (S)               | 0.010                  |
| Nióbio (Nb)               | 0.09                   |
| Vanádio (V)               | 0.20                   |
| Titânio (Ti)              | 015                    |

**Fonte:** SSAB (2025).**Tabela 9** - Composição Química Strenx 700 MC Certificado.

| <b>Composição Química</b> | <b>Porcentagem (%)</b> |
|---------------------------|------------------------|
| Carbono (C)               | 0.06                   |
| Silício (Si)              | 0.03                   |
| Manganês (Mn)             | 1,79                   |
| Fosforo (P)               | 0.017                  |
| Enxofre (S)               | 0.003                  |
| Alumínio (AL)             | 0.030                  |
| Cobre (Cu)                | 0,01                   |
| Nióbio (Nb)               | 0.063                  |
| Vanádio (V)               | 0.012                  |
| Titânio (T)               | 0.104                  |
| Cromo (Cr)                | 0.03                   |
| Molibdênio (Mo)           | 0.11                   |
| Nitrogênio (N)            | 0.0061                 |
| Boro (B)                  | 0.0001                 |
| Cálcio (Ca)               | 0.0025                 |

**Fonte:** Certificado USIMINAS (2025).

### 3.2.1 Aporte de energia de soldagem

O aporte de energia de soldagem (Q) foi determinado considerando a corrente, a tensão e a velocidade de soldagem conforme a Tabela 10. O valor de Q representou a energia que foi aplicada à junta durante o processo. Durante a soldagem, observou-se que ocorreu uma perda de energia no arco elétrico.

A eficiência térmica (k) correspondeu à proporção da energia do processo de soldagem que foi efetivamente transferida para a junta. De acordo com a (SSAB,2021), diferentes métodos de soldagem apresentam eficiências térmicas variáveis vide Tabela 10.

**Tabela 10** - Eficiência térmica do processo SAW

| Eficiência Térmica | k (sem dimensões) |
|--------------------|-------------------|
| SAW                | 1.0               |

**Fonte:** Adaptado por SSAB (2021)

A Equação 12, demonstra como se calcular o aporte térmico:

$$Q = \frac{k \cdot U \cdot I \cdot 60}{v \cdot 100} \text{ [kJ/mm]} \quad (17)$$

Q= Aporte Térmico [kJ/mm]

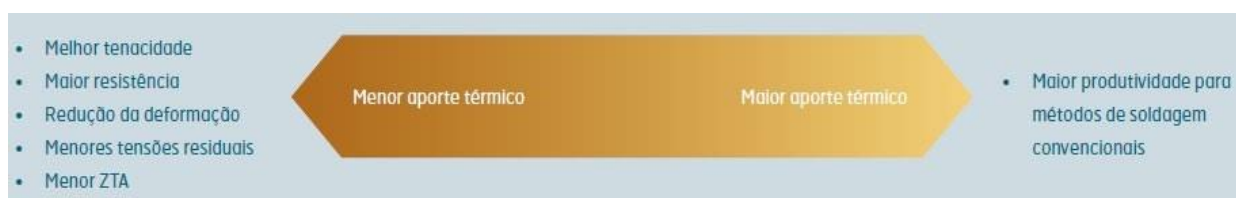
k= Eficiência térmica [sem dimensões]

U= Tensão [V]

I= Corrente [A]

v= Velocidade de deslocamento [mm/min]

**Figura 21** - Efeitos gerais do aporte térmico em uma junta soldada.



**Fonte:** SSAB (2021).

Foram consideradas as propriedades do processo SAW devido à sua maior eficiência térmica em comparação com os demais processos usuais. Utilizou-se a calculadora SSAB (Figura 22) para atender às recomendações de cálculo e às otimizações de soldagem requeridas para o aço Strenx 700 MC.

Todas as entradas e parâmetros utilizados para a execução das condições de soldagem foram inseridos de acordo com as especificações técnicas fornecidas pelo fabricante SSAB.

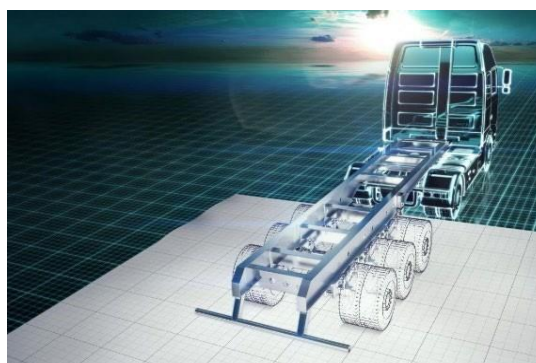
**Figura 22 - Soldagem por ângulo.**



Fonte: Adaptado por SSAB (2025).

Para manter o aporte térmico adequado, evitando riscos de fragilização da junta soldada pelo processo SAW, foram aplicados parâmetros de soldagem conforme exemplificado na Figura 23, iniciando pela definição do nível de resistência do aço.

**Figura 23 - Grau do aço e espessura para aplicação no Chassi.**



Fonte: Adaptado por SSAB (2025).

O nosso trabalho foi definido entre dois parâmetros de aporte térmico sendo um dentro da especificação do fabricante SSAB, com 1,0 kJ/mm, e outro extrapolado, com 1,6 kJ/mm.

A Figura 24 indica o parâmetro dentro da especificação, mostrando as recomendações ideais, sendo que o mínimo do aporte térmico seria de 0.24 KJ/mm e o máximo seria de 1.06 kJ/mm.

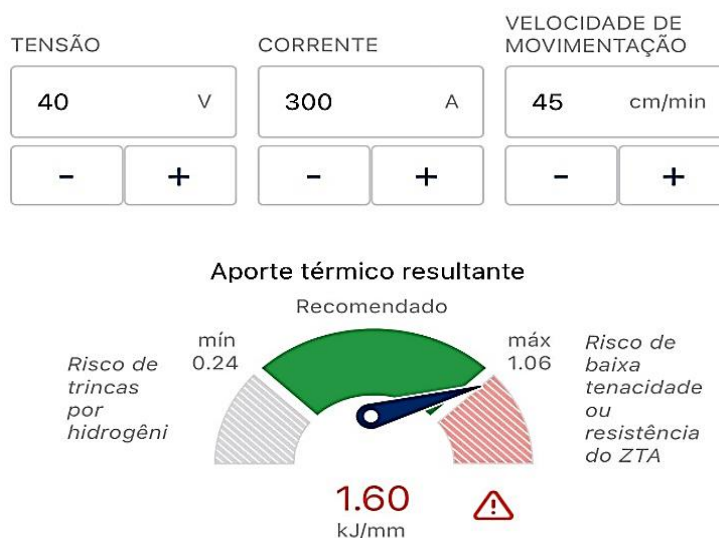
**Figura 24 - Parâmetro de 1,0 kJ/mm**



**Fonte:** Adaptado de SSAB (2025).

A Figura 25 demonstra o parâmetro extrapolado, indicando os riscos de baixa tenacidade ou resistência do ZAC, ultrapassando o máximo do indicado, este parâmetro foi realizado para analisar o cordão de solda, sendo feito para uma aprovação da soldabilidade operatória, dos ensaios visuais e efetuar análises metalográficas.

**Figura 25 - Parâmetro de 1,6 kJ/mm**



**Fonte:** Adaptado de SSAB (2025).

### 3.3 Metal de Adição

Os metais de adição que empregamos para preenchimento do espaço entre os materiais base durante processos de soldagem, no caso específico da soldagem por arco submerso (SAW), foi utilizado o arame eletrodo EM12K, classificado conforme a norma ASME II Parte C A5.17/A5.17M (2020).

Composição química otimizada para soldagem de aços carbono e de baixa liga. Conforme estabelecido pela American Welding Society (2020).

Os consumíveis classificados como EM12K são recomendados para aplicações em chapas grossas devido ao seu perfil de resistência mecânica e baixa susceptibilidade à formação de trincas a frio, podendo ser aplicados para chapas finas.

A classificação EM12K, conforme ASME II Parte C especificação SFA5.17, refere-se a consumíveis de soldagem para o processo de arco submerso, sendo utilizada para a soldagem de aços ao carbono em geral. A Tabela 11 apresenta a composição química típica deste consumível, demonstrando os teores de elementos que garantem a compatibilidade e qualidade do metal depositado.

- **E:** Indica eletrodo
- **M:** Teor médio de manganês, conforme especificação AWS
- **12:** 0,12% de carbono no eletrodo
- **K:** Produzido a partir de aço acalmado com silício (desoxidação)

**Tabela 11** - Composição Química do EM12K.

| Composição química | Porcentagem (%) |
|--------------------|-----------------|
| Carbono (C)        | 0,15            |
| Manganês (Mn)      | 1,25            |
| Silício (Si)       | 0,10            |
| Enxofre (S)        | 0,030           |
| Fosforo (P)        | 0,030           |
| Cobre (Cu)         | 0,35            |

**Fonte:** Adaptado ASME II Parte C SFA 5.17 (2020).

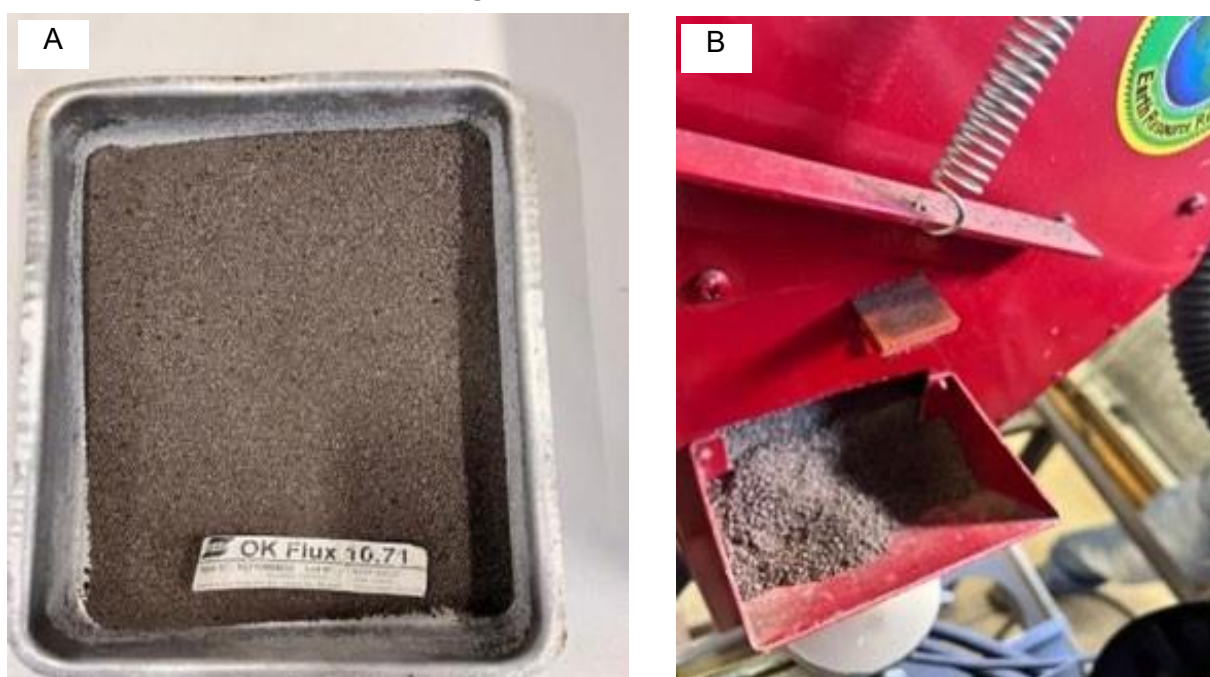


### 3.3.1 Fluxo

O fluxo granular utilizado foi o F7A2, e o tempo de permanência na estufa Spencer foi de uma hora antes do uso, na temperatura de 220°C para eliminação da umidade. Após a secagem, o reservatório do sistema SAW foi abastecido com fluxo livre de umidade, conforme mostrado na Figura 26. A seguir, apresenta-se a descrição da classificação do fluxo conforme ASME II Parte C SFA 5.17 (2020).

- **F:** Indica fluxo
- **7:** Resistência mínima de 70-95 KSi
- **A:** Condições soldadas
- **2:** É uma tenacidade ao impacto Charpy com a temperatura -20°C

**Figura 26** - Fluxo do SAW.



**Fonte:** Autores (2025).

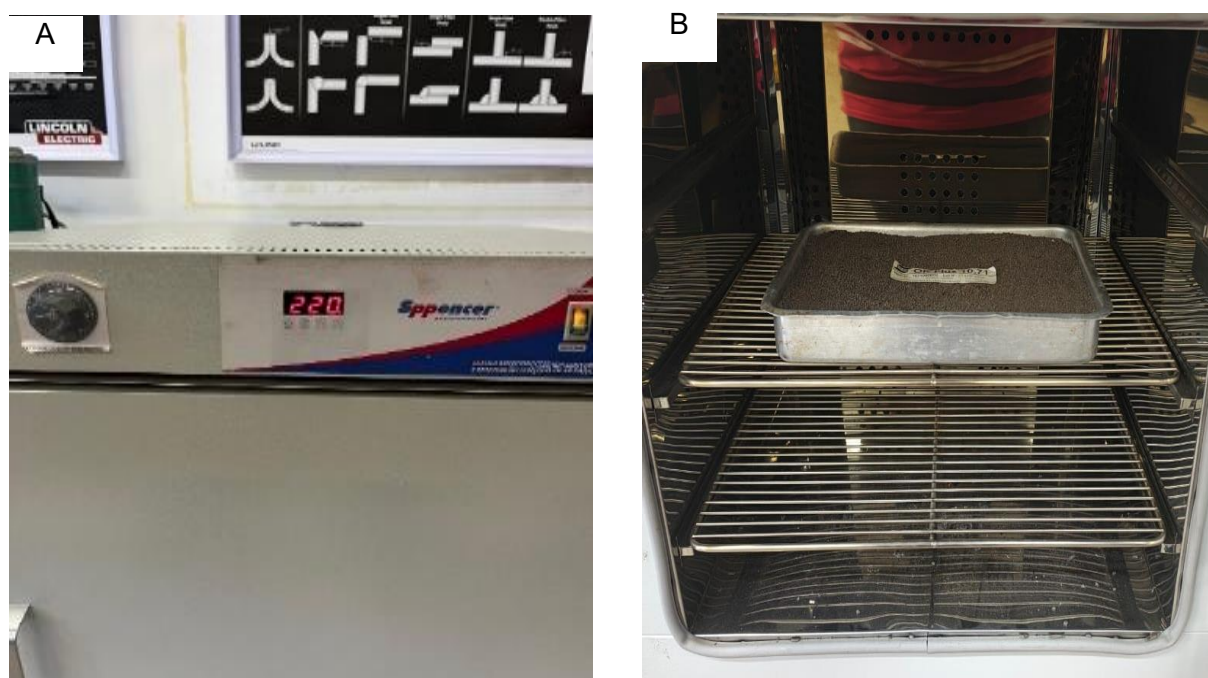
### 3.3.2 Estufa

Foi utilizado para a ressecagem a estufa Spencer conforme a Figura 27, o material foi submetido à secagem controlada, com o objetivo de remover umidade. A temperatura de aquecimento foi mantida constante durante o processo, garantindo a uniformidade térmica do granulado. O tempo de permanência na estufa variou entre uma e três horas, conforme a quantidade e a granulometria do fluxo de solda. Após o

tratamento térmico, o material foi resfriado naturalmente até atingir a temperatura ambiente.

Este procedimento visou garantir a estabilidade física e química da escória antes de sua utilização nas etapas posteriores de análises e reaproveitamento. Na Figura A), apresenta-se a estufa em uma temperatura a 220°C e B) fluxo sendo ressecado.

**Figura 27 – Estufa**



**Fonte:** Autores (2025).

### 3.4 Dimensões da chapa-teste

As chapas utilizadas nos ensaios foram preparadas com dimensões específicas para cada tipo de aço adotado, visando garantir a consistência e a confiabilidade dos resultados obtidos durante os testes. Para o aço Strenx 700 MC, as chapas foram cortadas com 300 mm de comprimento, 130 mm de altura e 6 mm de espessura, enquanto que para o aço ASTM A36, as dimensões foram 300 mm de comprimento, 150 mm de largura e 12,7 mm de espessura, conforme detalhado na Figura 28. O processo de soldagem entre essas chapas dissimilares, foi realizado utilizando o código AWS D1.1 (2020) como referência normativa. De acordo com o mesmo, a solda foi executada com filetes de 5 mm nas pernas, dimensionamento

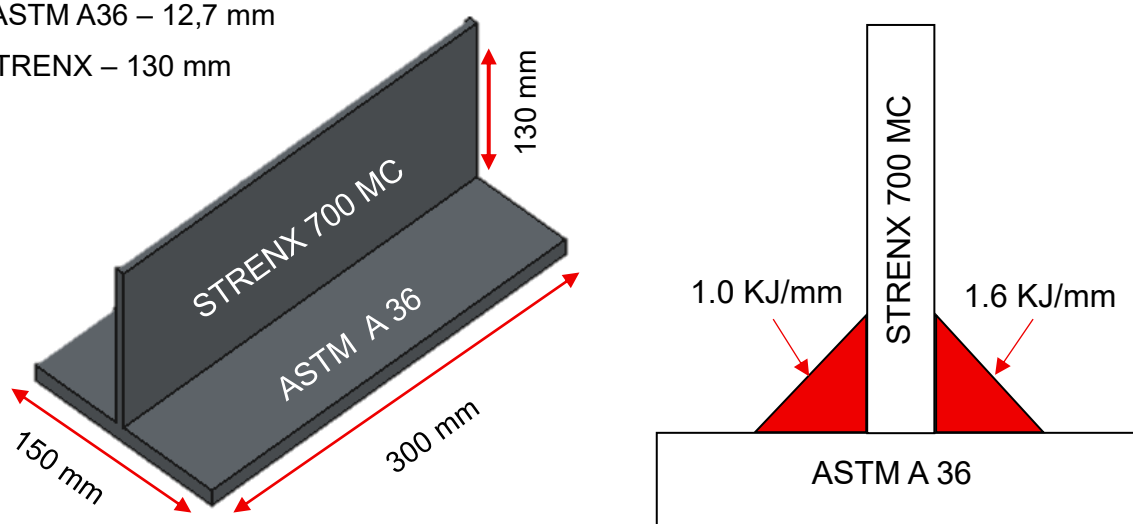
esse que obedece ao critério da menor espessura presente na junta soldada. A escolha dessas especificações, visou assegurar a integridade estrutural da união soldada, além de atender aos requisitos técnicos necessários para aplicação industrial, garantindo desempenho e segurança.

**Figura 28 - Dimensões da Chapa**

Esp: STREX – 6.3 mm

Esp: ASTM A36 – 12,7 mm

Alt: STREX – 130 mm



**Fonte:** Adaptada do AWS D1.1 (2020).

### 3.5 Equipamentos

#### 3.5.1 Fonte de soldagem e trator

O sistema de soldagem por arco submerso utilizado neste estudo foi a fonte IDEALARC DC-1000 da Lincoln Electric, uma fonte multiprocessos de corrente contínua controlada por tiristores, capaz de fornecer uma corrente máxima de 1000 A e fator de trabalho de 100%, garantindo alta estabilidade e desempenho contínuo durante o processo.

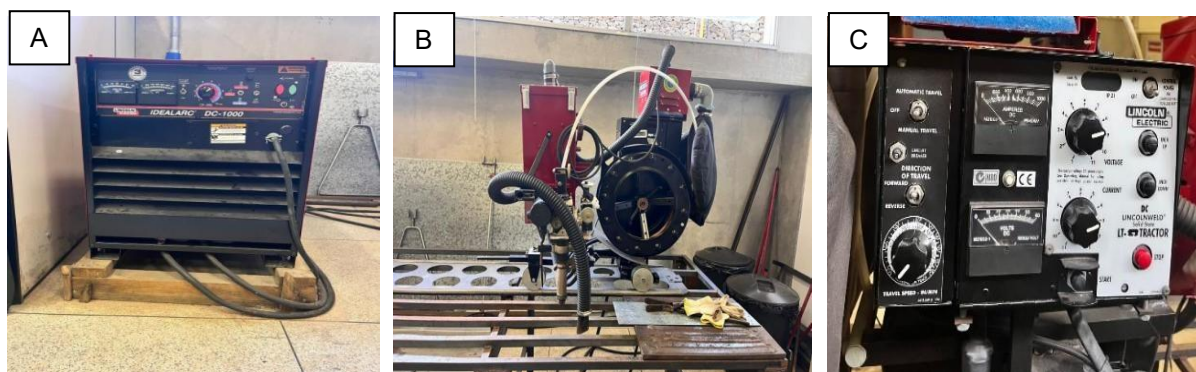
Onde a Figura 29, (A) apresenta fonte de soldagem IDEALARC DC-1000 apresenta um circuito continua que proporciona controle preciso da corrente e tensão, assegurando um arco estável. Essa fonte é robusta, adequada para

operação contínua em ambientes industriais, e oferece capacidade para processos de soldagem automáticos, seus terminais de saída suportam correntes de 150 A e 1000 A, permitindo flexibilidade conforme a necessidade da soldagem.

Já na Figura 29 (B), o trator de soldagem integrado possibilita o avanço controlado e preciso da tocha de solda, garantido a regularidade do arco e a qualidade da soldagem. Sua automação contribui para a repetibilidade e eficiência do processo, reduzindo a variabilidade que poderia ocorrer com movimentação manual.

O painel oferece interface intuitiva para o operador, permitindo ajustes finos da corrente de soldagem e monitoramento em tempo real do processo. Com controles ergonômicos e indicadores claros, a operação é fácil, segura e eficaz, garantindo que os parâmetros definidos sejam mantidos durante toda a realização da solda, conforme ilustrado na Figura 29, (C).

**Figura 29 - Fonte de soldagem e trator**



**Fonte:** Autores (2025)

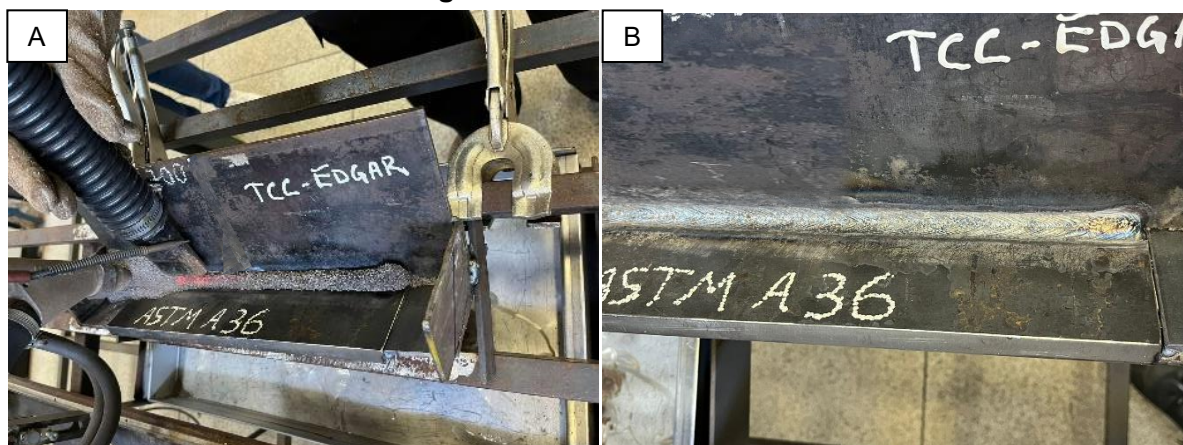
### 3.5.2 Cordões de Solda

Foram utilizados dois parâmetros diferentes conforme ilustrado na Figura 30, A e B, referentes à aporte de energia de soldagem no processo por arco submerso. Um dos parâmetros está dentro dos limites recomendados pelo fabricante, que disponibiliza uma calculadora específica para realizar os cálculos necessários da energia de soldagem no processo. O outro parâmetro, excede esses limites recomendados, permitindo avaliar os efeitos do aumento da energia na qualidade e propriedades da solda.



O primeiro conjunto de parâmetros, caracterizado pelo aporte da taxa de energia de soldagem de 1,0 kJ/mm, tensão de 30 V (*tensão*), corrente de 250 A (*corrente*) e velocidade de 45 cm/min, corresponde a uma condição controlada e otimizada para garantir a qualidade e a eficiência da soldagem.

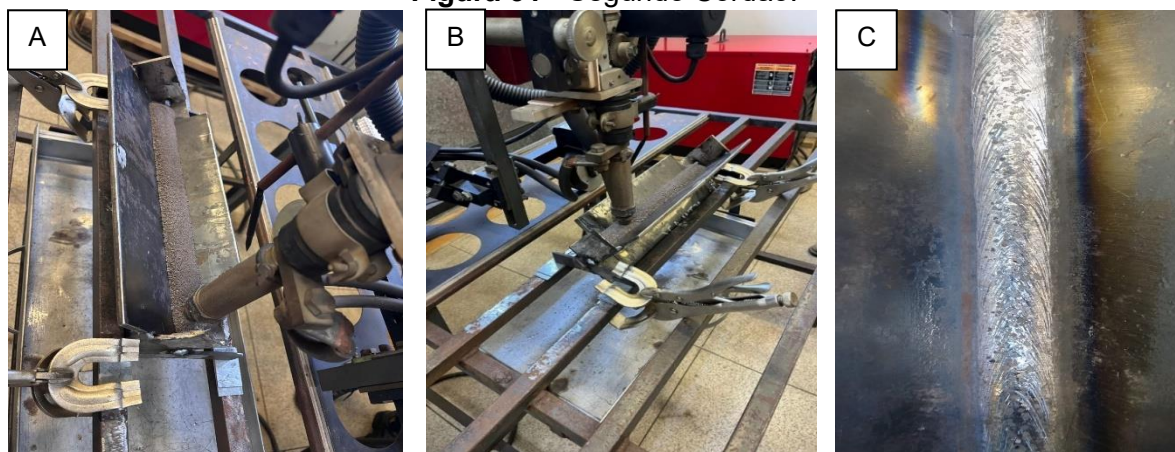
**Figura 30 - Primeiro Cordão**



**Fonte:** Autores (2025).

O segundo cordão de solda, exibido nas Figuras 31 A, B e C, foi executado com parâmetros extrapolados, apresentando um aporte de energia de soldagem de 1,6 kJ/mm, tensão de 40 V, corrente de 300 A e velocidade de soldagem de 45 cm/min. Esses parâmetros ultrapassam os valores recomendados pela calculadora SSAB para o aço Strenx 700 MC, potencializando maior aporte energético durante o processo. A aplicação desses valores, visou atender a condições específicas do procedimento, buscando otimizar a penetração e a qualidade da solda, considerando as particularidades da peça e do processo.

**Figura 31 - Segundo Cordão.**



**Fonte:** Autores (2025).

A Tabela 12 apresenta os dois conjuntos de parâmetros utilizados no processo de soldagem.

Tabela 12 – Parâmetros

| Parâmetro                 | Condição 1 | Condição 2 |
|---------------------------|------------|------------|
| Energia de Soldagem kJ/mm | 1,0        | 1,6        |
| Tensão (V)                | 30         | 40         |
| Corrente (A)              | 250        | 300        |
| Velocidade cm/mm          | 45         | 45         |

Fonte: Autores (2025)

3.5.3 Serra fita

Para a preparação das amostras, utilizou-se uma serra fita de bancada da fabricante FRANHO, selecionada pela elevada estabilidade dimensional, baixo nível de vibração e capacidade de realizar cortes precisos e uniformes.

Durante o corte, parâmetros operacionais como velocidade da lâmina e taxa de avanço foram rigorosamente controlados para evitar superaquecimento e deformações superficiais, preservando as propriedades originais dos materiais. O uso contínuo de fluido refrigerante garantiu a dissipação térmica adequada e a qualidade da superfície cortada. Cada corpo de prova foi identificado, assegurando a rastreabilidade e integridade até as etapas posteriores de embutimento, A Figura 32 demonstra o processo de corte, evidenciando o posicionamento e alinhamento da peça na serra fita, garantindo precisão e uniformidade na preparação das amostras.

Figura 32 - Serra Fita



Fonte: Autores (2025).



### 3.5.4 Cut-Off

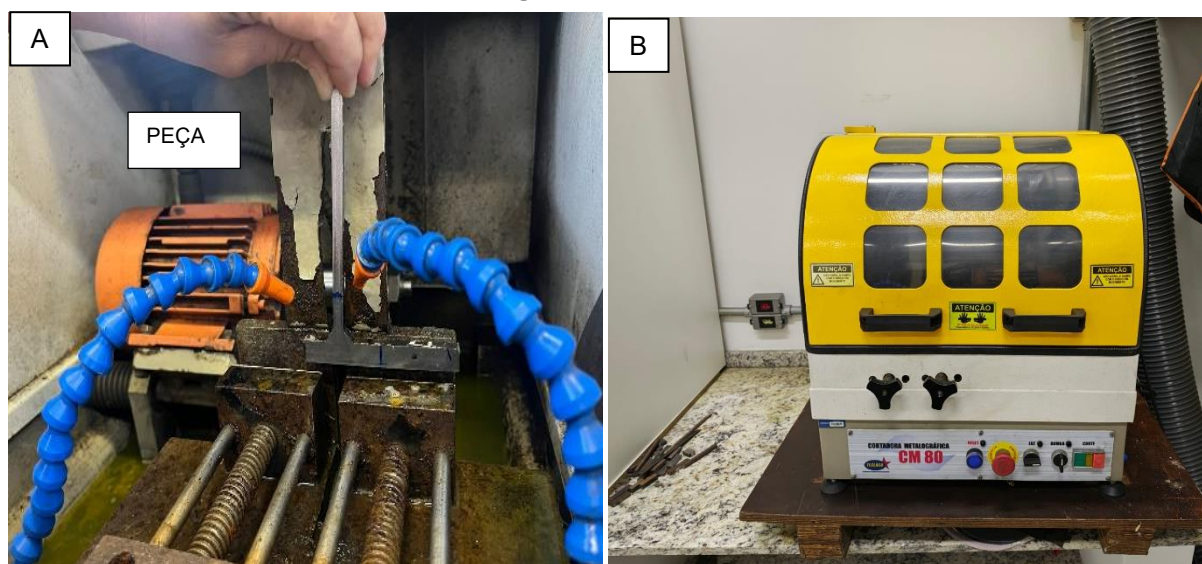
As amostras foram preparadas para análise metalográfica por meio de seccionamento com a cortadora Cut-off modelo CM80, especificada para metais ferrosos, conforme ilustrado na Figura 33. Este equipamento robusto conta com motor de 2,0 CV, acionamento por alavanca lateral e capacidade para cortes de até 80 mm de diâmetro, garantindo precisão e segurança durante o procedimento.

A fixação das amostras foi realizada por um sistema eficiente de morsa dupla com mordentes de aço inoxidável, com regulagem rápida para acomodar diferentes tamanhos e formatos. O corte foi efetuado com refrigeração contínua por fluido à base de óleo solúvel e água, aplicada por bicos direcionáveis, a fim de minimizar o aquecimento local e evitar alterações microestruturais ao material.

A tampa em policarbonato, proporcionou proteção ao operador e possui sensores de segurança que desligam automaticamente o motor ao ser aberta, conforme normas técnicas vigentes.

A iluminação interna em LED facilitou a visualização do corte, enquanto o sistema elétrico inclui botão de emergência monitorado, botão reset e proteção contra curto-circuito, assegurando um ambiente seguro e controlado para o processo metalúrgico. Todo o procedimento seguiu rigorosamente as normas aplicáveis para garantir a qualidade e representatividade dos corpos de prova obtidos.

**Figura 33** – Cut-Off



**Fonte:** Autores (2025).

### 3.5.6 Embutimento

Para análise metalográfica, as amostras foram embutidas em resina epóxi com endurecedor na proporção de 2:1, submetidas a 72 horas de cura. A Figura 34 A demonstra dosagem balanceada de 30 mL de resina por amostra, enquanto a Figura 35 apresenta a aplicação correspondente de 15 mL de endurecedor por amostra, mantendo a proporção estabelecida.

**Figura 34 - Resina**



**Fonte:** Autores (2025).

O preparo da resina e do endurecedor foi realizado por meio de homogeneização lenta e contínua durante seis minutos, assegurando a completa mistura dos componentes e a obtenção de uma massa uniforme, essencial para o sucesso do embutimento metalográfico. Esse procedimento visou evitar a formação de bolhas e garantir a adequada polimerização do material, promovendo propriedades mecânicas e químicas satisfatórias para a etapa subsequente de análise laboratorial. A proporção entre resina e endurecedor foi rigorosamente seguida, conforme especificações do fabricante, pois desvios poderiam comprometer tanto o endurecimento quanto o desempenho do embutimento. Utilizou-se uma balança de precisão para dosagem correta dos reagentes, minimizando riscos de

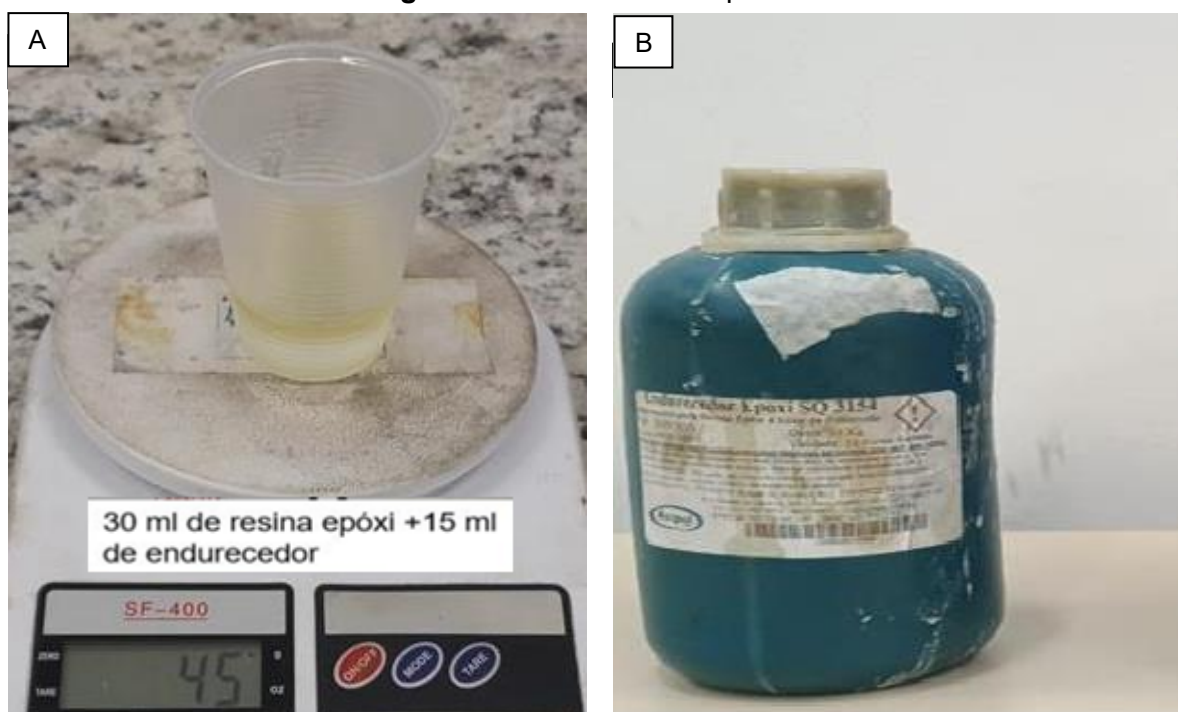


falhas por mistura inadequada. Após o tempo de mistura, o composto foi preparado para aplicação sobre a amostra previamente posicionada no molde de embutimento.

A Figura 35 ilustra a etapa em que a resina polimerizada é vertida cuidadosamente sobre a amostra, envolvendo-a totalmente e favorecendo a integração entre material embutido e a matriz polimérica.

Essa etapa é crítica para evitar microfissuras e garantir a estabilidade dimensional durante cortes, lixamentos e análises posteriores. Recomenda-se, durante todo o procedimento, o uso de equipamentos de proteção individual, como luvas e óculos, para evitar exposição direta aos vapores da resina e do endurecedor. Após o vertimento, a amostra permaneceu em repouso até o endurecimento total do sistema, estágio imprescindível para prosseguimento às etapas de polimento e análise microestrutural.

**Figura 35** - Endurecedor Epóxi.

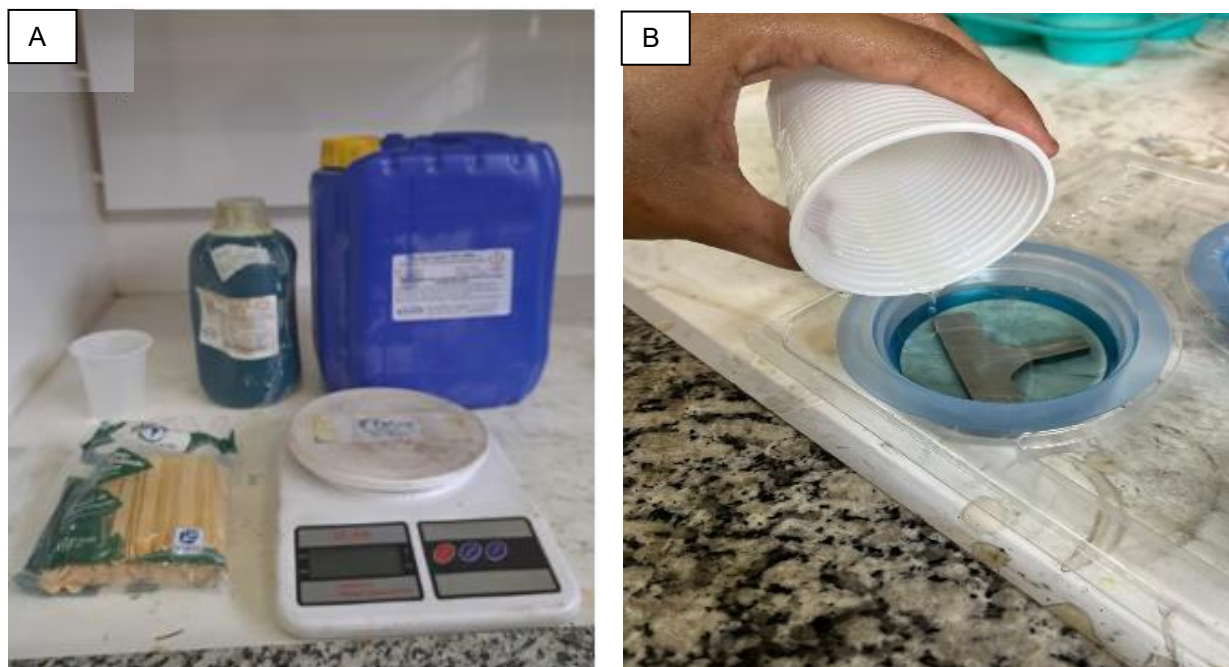


**Fonte:** Autores (2025).

Após o processo de homogeneização, os corpos de prova foram embutidos em moldes de silicone específicos para preparação metalográfica conforme a Figura 36 B. Em seguida, foram posicionados em locais apropriados para a cura completa da resina, assegurando a fixação correta das amostras para as etapas subsequentes de lixamento, polimento e análise.

Esse procedimento é fundamental para garantir a integridade e estabilidade das amostras durante o manuseio e análise microscópica.

**Figura 36 - Embutimento**



**Fonte:** Autores (2025).

### 3.5.7 Lixamento

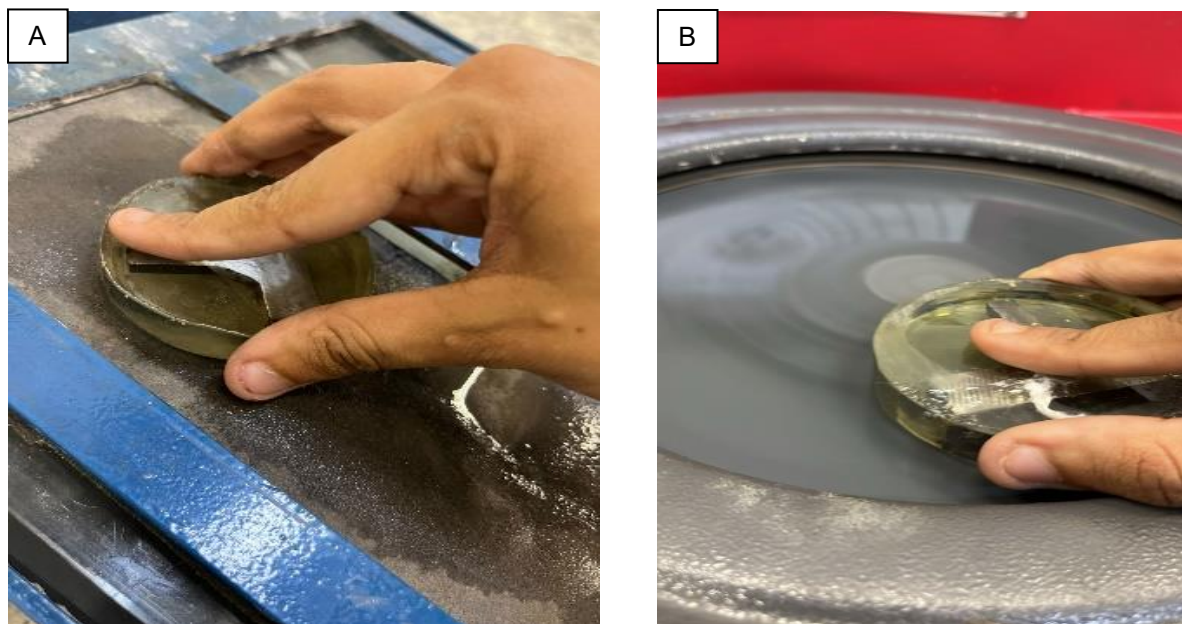
O lixamento das amostras foi realizado em sequência progressiva, utilizando lixas de granulometria de 36,80,100,120,240,320 e a 400 para processo inicial e intermediário de preparação das amostras e a 600 a 1200 para processo final de polimento das amostras. A opção pela lixa 36 deveu-se à maior resistência ao desgaste apresentada pelo aço Strenx 700 MC conforme a, que demandou esforço de lixamento superior em comparação ao aço ASTM A36, além da necessidade de remoção eficiente da resina de embutimento, o procedimento é ilustrado na Figura 37.

O acabamento final foi realizado com lixas de granulometria 1200 para garantir uma superfície lisa e uniforme, essencial para análises microscópicas de alta resolução. Devido à elevada dureza do Strenx 700 MC, o lixamento requer cuidados adicionais para evitar aquecimento excessivo, que poderia alterar características microestruturais.

Por isso, o emprego inicial da lixa 36 facilitou a remoção rápida das camadas superficiais e da resina, reduzindo o tempo total do processo e preservando a

integridade das amostras. Além disso, o uso de água como lubrificante durante o lixamento contribuiu para minimizar o atrito e evitar danos térmicos.

**Figura 37 - Lixamento**

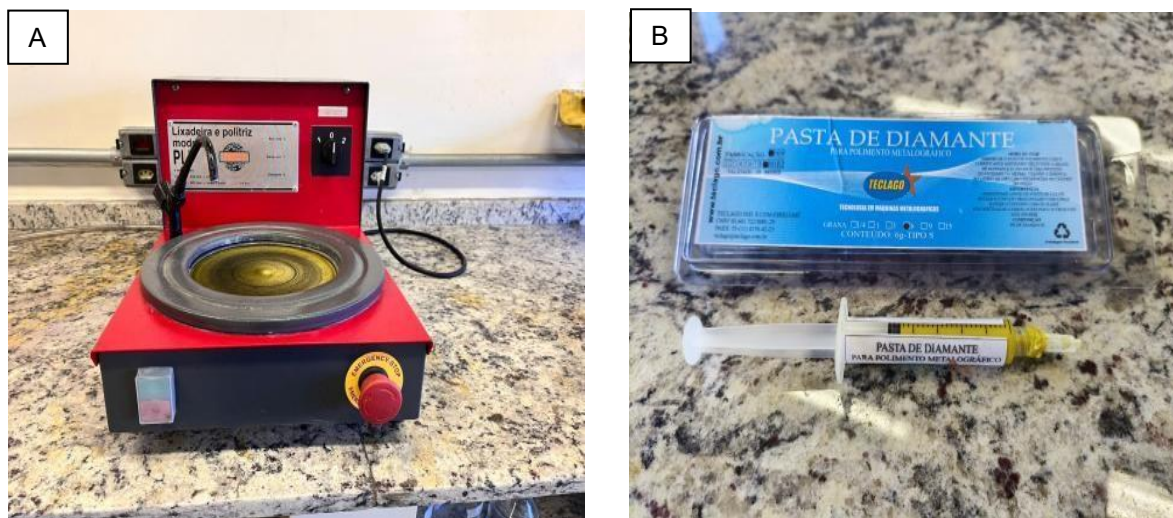


Fonte: Autores (2025).

### 3.5.8 Polimento

Após o lixamento, os corpos de prova foram submetidos ao polimento mecânico em politriz, utilizando pasta de diamante com granulometrias sequenciais de 3  $\mu\text{m}$  e 1  $\mu\text{m}$ . O procedimento é ilustrado na Figura 38. A) Ilustra a politriz e B) A pasta de diamante.

**Figura 38 - Polimento**



Fonte: Autores (2025).

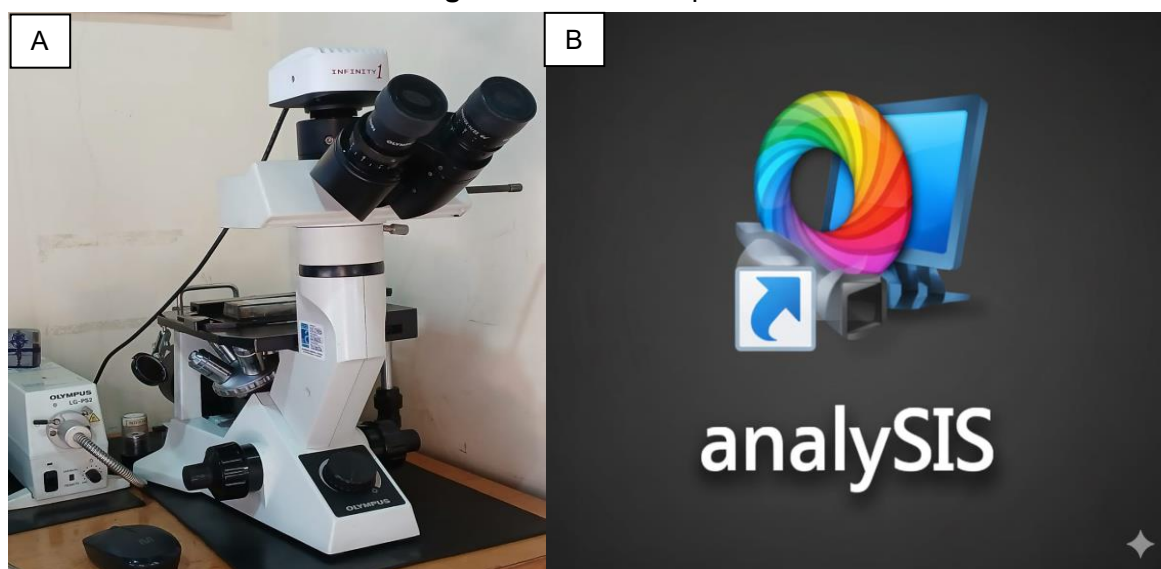


### 3.5.9 Microscópio óptico

Neste estudo, foi utilizado um microscópio óptico com o software Analysis, conforme mostrado na Figura 39, para obtenção de imagens ampliadas e de alta precisão da microestrutura de um material, utilizando sistemas ópticos e de software que permitem variar a ampliação e registrar as características da amostra para estudo. de alta precisão com ampliação variável entre 50 e 1000 vezes. Esse equipamento foi fundamental para a análise das microestruturas, permitindo a caracterização detalhada de três regiões críticas.

Na Figura 39, são indicados: a) o microscópio Olympus e b) o software Analysis, utilizado com ampliações de 10x a 50x, correspondendo a 100 a 500 vezes de visualização da microestrutura.

**Figura 39 - Microscópio**



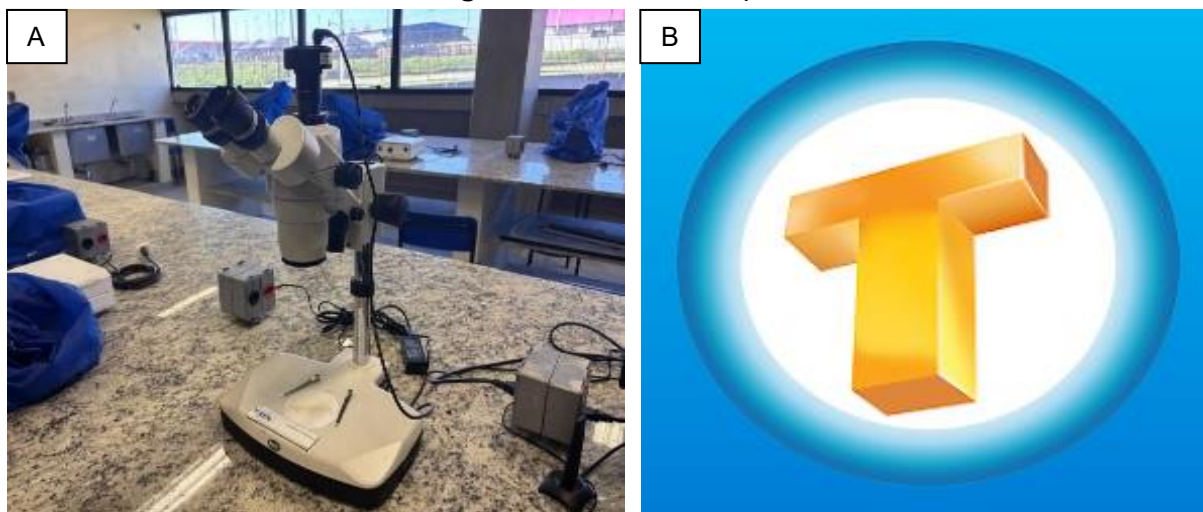
**Fonte:** Autores (2025)

### 3.5.10 Estereoscópio

Este estudo utilizou um estereoscópio, instrumento óptico que opera segundo o princípio da visão binocular, permitindo a visualização tridimensional detalhada das amostras. O sistema de lentes do equipamento sobrepõe duas imagens bidimensionais com disparidade lateral, criando percepção de profundidade e relevo que facilita a análise de superfícies e contornos de forma precisa. Complementarmente, o software Toup View 64, associado ao estereoscópio, oferece

recursos avançados de captura, medição e documentação das imagens. A Figura 40 ilustra (a) o estereoscópio utilizado e (b) a interface do software Toup View 64, instrumento fundamental para análises em áreas como metalografia.

**Figura 40 – Estereoscópio**

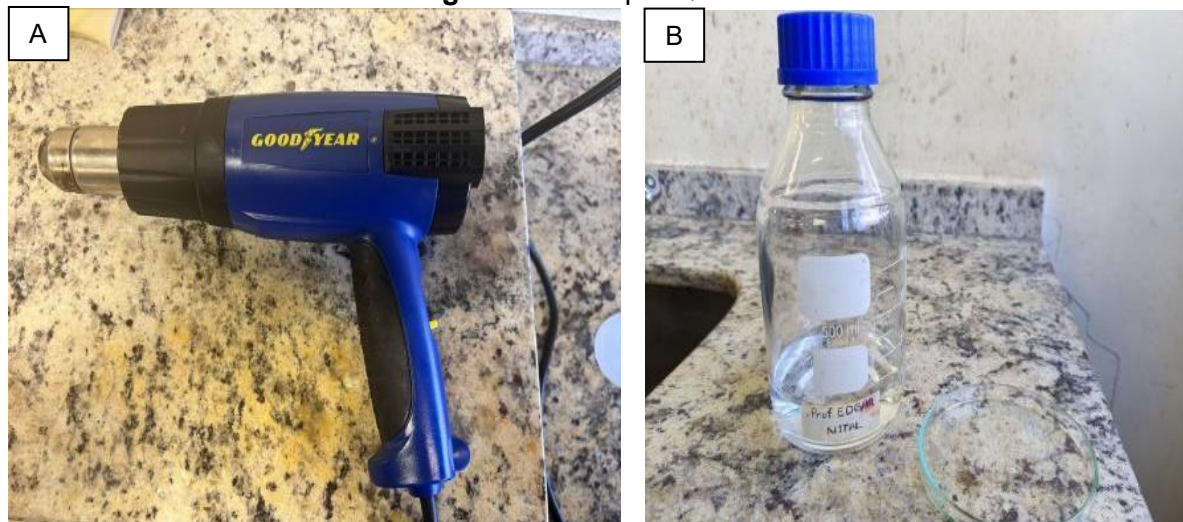


Fonte: Autores (2025).

### 3.5.11 Ataque Químico

O ataque químico foi realizado com solução de Nital 3%, constatando-se tempos de ataque distintos entre os materiais: 3 segundos para o aço ASTM A 36 e 9 segundos para o Strenx 700 MC. O resultado do procedimento é apresentado na Figura 41. A) soprador térmico e B) solução de nital a 3%.

**Figura 41 - Ataque Químico**



Fonte: Autores (2025).

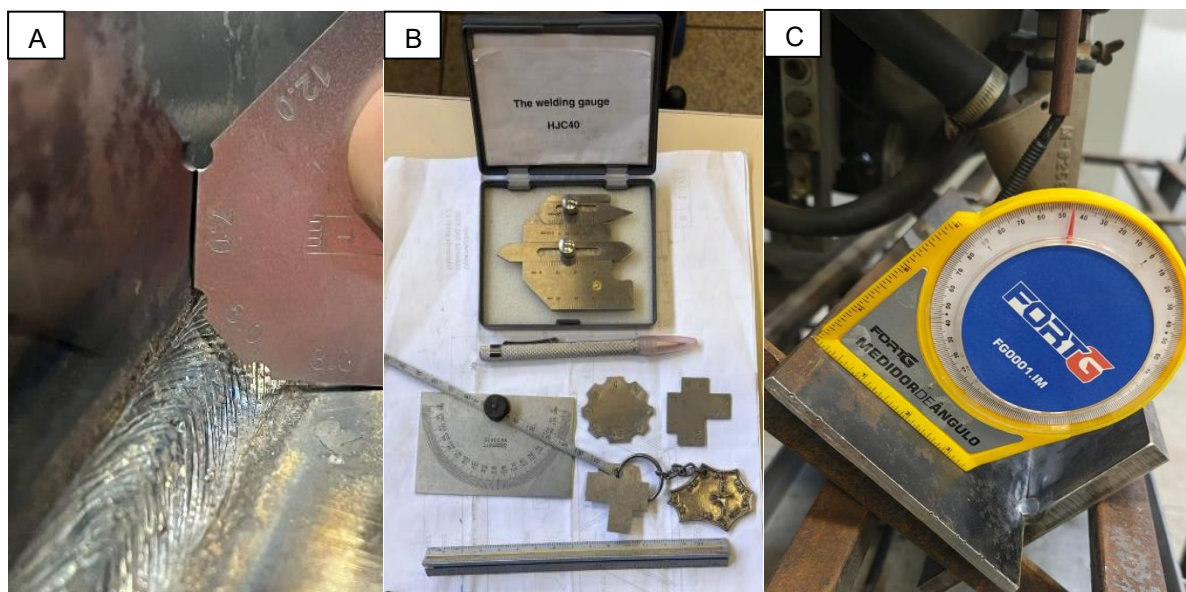
### 3.6 Instrumentos de medição

Para a verificação da geometria das juntas soldadas e dos parâmetros dimensionais dos cordões, foram empregados calibres e gabaritos específicos de solda, conforme ilustrado na Figura 42 A, B e C. O calibre de solda principal foi utilizado para medir com precisão a perna e a garganta dos cordões, garantindo a conformidade com os requisitos normativos e os padrões técnicos do processo de soldagem.

A aplicação metódica desses instrumentos permitiu a quantificação métrica das dimensões essenciais, como altura das pernas das soldas, profundidades das gargantas e ângulo de inclinações dos cordões, assegurando padronização e controle de qualidade nas avaliações. Outros instrumentos de medição auxiliaram na conferência do ângulo de inclinação, comprimento da solda e controle das juntas, proporcionando controle rigoroso sobre todos os parâmetros dimensionais envolvidos. Além do calibre universal, foram utilizados gabaritos de alinhamento para garantir que os elementos das juntas permanecessem corretamente posicionados antes e após o processo de soldagem, evitando desalinhamentos que pudessem comprometer a geometria do cordão.

Estes procedimentos foram fundamentais para o monitoramento da execução das soldas e para a validação dos parâmetros em ensaios e análises subsequentes, proporcionando maior confiabilidade estrutural ao resultado do experimento.

**Figura 42 - Instrumentos**



**Fonte:** AUTORES (2025).

### 3.6.1 Escala

Para a análise dimensional dos corpos de prova, foram utilizadas escalas de medição linear de alta precisão, conforme ilustrado na Figura 43. Esta etapa é fundamental para a documentação das dimensões iniciais, permitindo registrar com exatidão as medidas dos corpos de prova.

A precisão na medição garante que quaisquer alterações dimensionais decorrentes dos processos de soldagem, preparação ou ensaio sejam identificadas e quantificadas de forma confiável. Foram utilizados instrumentos calibrados, como paquímetros e réguas, adequados para as dimensões e tolerâncias requeridas.

**Figura 43 – Escala de Solda**



**Fonte:** AUTORES (2025).

## 3.7 Ensaios não destrutivos

### 3.7.1 Ensaio visual

O ensaio visual constitui como uma etapa fundamental da inspeção da qualidade das juntas soldadas, sendo realizado após a conclusão do processo de soldagem mecanizada. Conforme os critérios estabelecidos no código AWS D1.1 (2020), foram avaliadas características visuais das soldas, como continuidade, uniformidade, ausência de trincas, porosidade, inclusões e outros defeitos superficiais que possam comprometer a performance estrutural.

A inspeção visual foi feita por pessoal qualificado, utilizando equipamentos de iluminação adequados e, quando necessário, lupas ou dispositivos de aumento para garantir a detecção confiável das descontinuidades superficiais. Este método não destrutivo é crucial para a validação preliminar do processo de soldagem, permitindo identificar a necessidade de reparos ou análise complementar por ensaios não destrutivos mais sofisticados.



A Tabela 13 apresenta os parâmetros de aceitação e rejeição adotados durante o ensaio, fundamentados em especificações normativas rigorosas para assegurar a qualidade e integridade do processo. Esses critérios definem os limites tolerados para defeitos e discontinuidades na soldagem, garantindo que apenas estruturas que atendam ao padrão técnico sejam aprovadas, assegurando segurança e durabilidade. A aplicação desses parâmetros permite a identificação precisa de falhas como porosidade, trincas, mordedura e sobreposição, possibilitando ações corretivas quando necessário. O rigor na avaliação assegura que o processo de soldagem mantenha conformidade com normas técnicas reconhecidas.

**Tabela 13** - Critérios e categorias das discontinuidades para o ensaio visual

| <b>Categoria da Descontinuidade</b> | <b>Critério de Inspeção</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (1) Proibição de trincas            | São inaceitáveis.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| (2) Fusão entre metal base e solda  | Deve existir fusão completa entre passes adjacentes do metal de solda e do metal de base.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| (3) Cratera                         | Todas as crateras devem ser preenchidas para estabelecer a dimensão específica da solda, exceto nos terminais de soldas de filete intermitente externas aos seus comprimentos efetivos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| (4) Perfil das soldas               | Devem atender ao item 7.23 da AWS D1.1.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| (5) Período de inspeção             | Após resfriamento completo em temperaturas ambientes.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 6) Solda subdimensionadas           | <p>A dimensão da solda de filete em qualquer trecho contínuo pode ser menor que o valor nominal especificado (L) sem correção pelos seguintes valores de (U):</p> <p>Dimensão nominal específica da solda (mm) / Redução permitida de L (mm):</p> <p style="padding-left: 40px;">&lt;5 → &lt;2 mm</p> <p style="padding-left: 40px;">6 → &lt;2,5 mm</p> <p style="padding-left: 40px;">&gt;8 → &lt;3 mm</p> <p>A porção de sobreposição não deve exceder a 10% do comprimento da solda.</p> |
| (7) Mordedura                       | Mordeduras não devem ser maiores que 1 mm em profundidade.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| (8) Porosidade (B)                  | A frequência em soldas de filete não deve exceder uma em cada 100 mm de comprimento da solda e com máximo diâmetro de 2,5 mm.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

**Fonte:** Adaptado AWS D1.1 (2020).



3.8 Ensaios destrutivos

3.8.1 Ensaio de micro dureza

A Tabela 14 demonstra a distância recomendada para os pontos de medição no ensaio de microdureza, um procedimento essencial para garantir a precisão e confiabilidade dos resultados obtidos. Essas distâncias são definidas para evitar interferências entre as impressões, assegurando que cada indentação seja independente e livre de influências próximas que possam distorcer a leitura da dureza.

No ensaio, a separação entre os pontos costuma ser determinada com base no diâmetro da impressão deixada pelo penetrador, seguindo normas técnicas como a ISO 6507 e recomendações específicas para diferentes materiais.

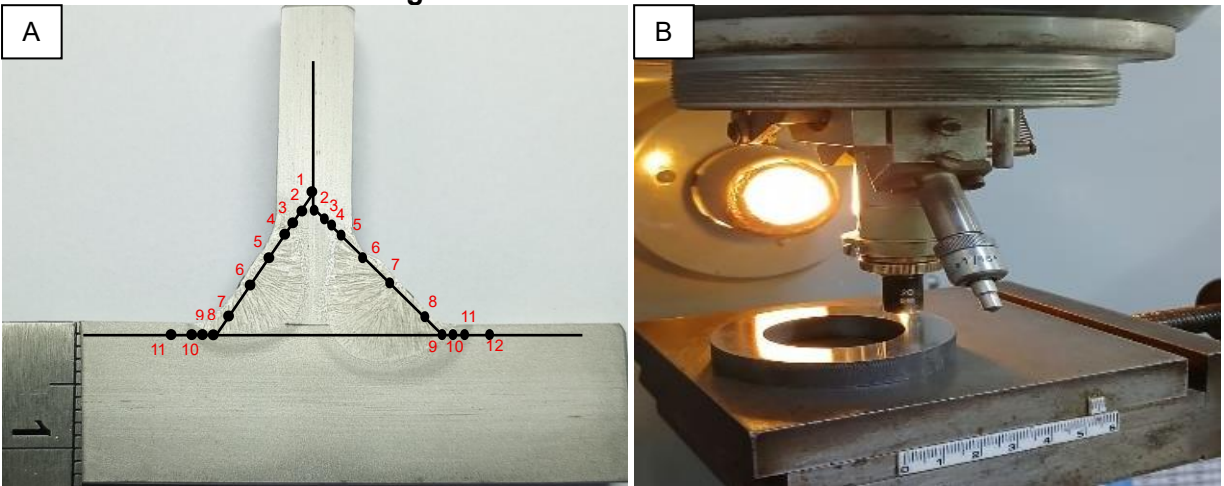
Tabela 14 - Distância Recomendada

| Símbolo de micro dureza | Distância recomendada entre impressões (mm) |
|-------------------------|---------------------------------------------|
| HV5                     | 0,7 a 1,0                                   |

Fonte: Adaptado por ISO 6507-1

A Figura 44 ilustra o procedimento do ensaio de dureza Vickers, onde a subfigura A apresenta o desenho esquemático utilizado para a execução do ensaio, detalhando a disposição das impressões e a distância recomendada entre elas. A subfigura B mostra o durômetro empregado para a medição das diagonais das indentações deixadas pelo penetrador piramidal de diamante sob carga constante.

Figura 44 - Ensaio de micro dureza



Fonte: Autores (2025).

### 3.9 Caracterização macroestrutural

Seguindo as recomendações do código AWS D1.1 (2020) o item 4.31.2.3, para qualidade aceitável, o exemplar de teste, quando executado visualmente, esteve em conformidade com os seguintes requisitos, conforme Tabela 15

**Tabela 15 - Requisitos da macrografia**

| Item | Descrição / Requisito                                                                                                                                                |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | As soldas de filete combinadas com a raiz da junta, porém não necessariamente além.                                                                                  |
| 2    | O tamanho mínimo da solda atende ao tamanho de solda do arquivo especificado.                                                                                        |
| 3    | As soldas de filete e a junta de ângulo para ensaio macrográfico em redes em T, Y e K em tubulações de caixa correspondentes devem atender aos seguintes requisitos: |
| (3a) | Nenhuma trinca.                                                                                                                                                      |
| (3b) | Fusão completa entre camadas adjacentes de metais de solda e entre metal de solda e metal base.                                                                      |
| (3c) | Perfis de solda em conformidade com o detalhe pretendido, sem quaisquer das variações proibidas no item 5.45.24.                                                     |
| (3d) | Nenhuma mordedura excedendo 1/32 pol. (1 mm).                                                                                                                        |
| (3e) | Porosidade de 1/32 pol. (1 mm) ou maior, com porosidade acumulada que não exceda 1/4 pol. (6 mm).                                                                    |
| (3f) | Ausência de escória acumulada cuja soma das maiores dimensões não exceda 1/4 pol. (4 mm).                                                                            |

**Fonte:** Adaptado por AWS D1.1 (2020)

#### 3.9.1 Caracterização microestrutural

Utilizando as designações do Instituto Internacional de Soldagem (IIW), foram verificados os constituintes microestruturais dos metais de base, as zonas afetadas pelo calor e a zona fundida da junta dissimilar.

Para a caracterização seguiu os seguintes passos:

- Corte na Serra Fita;
- Corte no *Cut -Off*
- Embutimento dos corpos de prova;
- Lixamento das peças com as lixas de 36 a 1200

- Polimento em 3 $\mu$ m e 1 $\mu$ m, utilizado pasta de diamante;
- Ataque químico com Nital a 3%;
- Análise microestruturais em resolução de 10, 20 e 50 vezes. (foi necessário a resolução de 50 vezes para análises dos grãos refinados do aço Strenx 700 MC, e do ASTM A 36.

### 3.2 Custos de soldagem

Para a análise de custos do processo de soldagem por arco submerso (SAW), realizou-se o levantamento de dados, organizados na Tabela 16, referentes às energias de soldagem de 1,0 kJ/mm e 1,6 kJ/mm. Destaca-se que a energia de soldagem influencia diretamente os tempos de execução, o consumo de consumíveis, o desempenho do processo e a qualidade da junta soldada, fatores que impactam significativamente o custo final do procedimento

**Tabela 16** – Tempo do Processo de Soldagem.

| <b>Tempo de Processo de Soldagem</b> | <b>Cordão 1,0 kJ/mm</b> | <b>Cordão 1,6 kJ/mm</b> |
|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Tempo de Execução                    | 0,0893 h                | 0,0836 h                |
| Tempo de Arco Aberto                 | 0,0153 h                | 0,0146 h                |
| Tempo de Acabamento (Limpeza)        | 0,074 h                 | 0,069 h                 |
| Tempo Total do Processo              | 0,1786 h                | 0,1672 h                |

**Fonte:** Autores (2025).

O estudo contemplou a análise dos custos variáveis da soldagem a partir dos dados apresentados na Tabela 17, utilizando o peso do metal depositado como parâmetro fundamental para estimar o consumo dos principais consumíveis, como arame e fluxo. Para isso, foram avaliadas diferentes condições de energia de soldagem, sendo aplicados cordões com 1,0 kJ/mm e 1,6 kJ/mm, monitorando diretamente o impacto sobre a eficiência produtiva e o controle do processo. A variação do metal depositado resultante dessas configurações permitiu analisar a relação entre aporte energético, rendimento do revestimento e otimização dos custos totais envolvidos na execução do procedimento. Este método realizado conforme as Equações (1), (3), (5),

(6) e (7); forneceu informações estratégicas para aprimorar a gestão econômica da soldagem em função das especificações operacionais e requisitos de qualidade do projeto.

**Tabela 17 – Dados de Soldagem**

| <b>Dados de Soldagem</b>      | <b>Cordão 1,0 kJ/mm</b> | <b>Cordão 1,6 kJ/mm</b> |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Peso inicial da peça [Kg]     | 8047                    | 8047                    |
| Peso do Primeiro Cordão [Kg]  | 0,088                   | -                       |
| Peso do Segundo Cordão [Kg]   | -                       | 0,067                   |
| Peso de Metal Depositado [Kg] | 0,155                   | -                       |
| Peso final da peça [Kg]       | 8202                    | -                       |

**Fonte:** Autores (2025).

### **3.2.1 Taxa de deposição**

No estudo realizado, foram coletadas evidências por meio da pesagem dos consumíveis utilizados no processo de soldagem. Inicialmente, registrou-se o peso do corpo de prova sem solda, mantendo um apêndice de 30 mm de cada lado para permitir abertura e fechamento do arco elétrico durante o procedimento.

A Figura 45 ilustra essa situação, onde a subfigura (A) apresenta o corpo de prova base, sem qualquer depósito de metal; a subfigura (B) mostra o cordão depositado utilizando uma energia de soldagem de 1,0 kJ/mm; e a subfigura (C) exibe o cordão correspondente à energia mais elevada, de 1,6 kJ/mm.

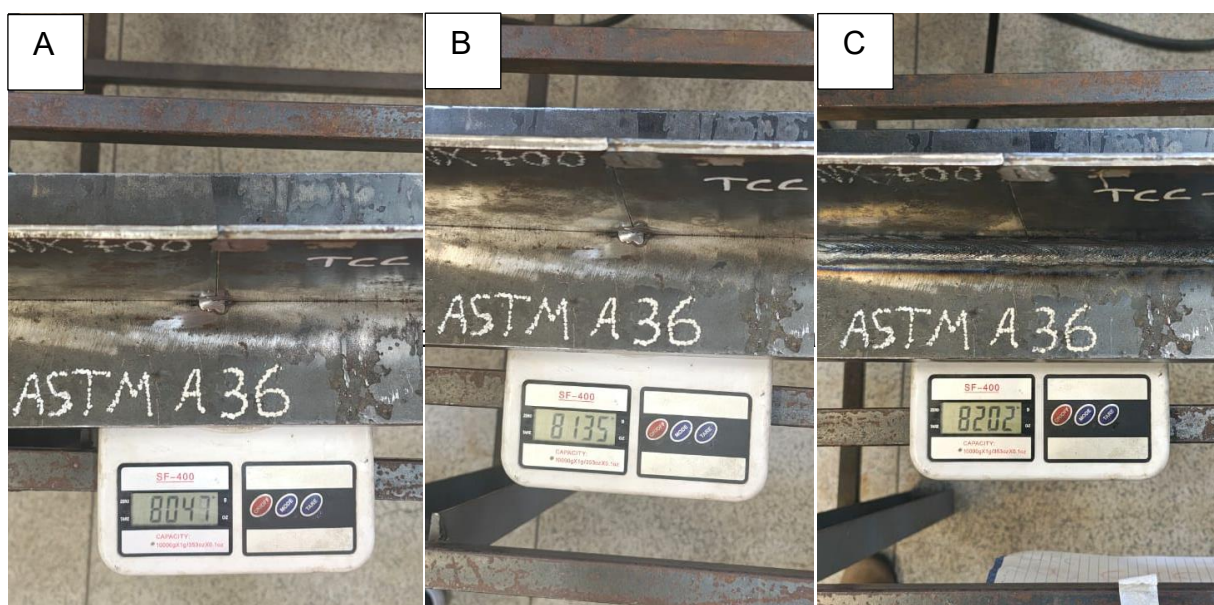
Os dados resultantes evidenciam a taxa de deposição de material em termos de incremento de peso por unidade de área depositada. Observou-se que o cordão com menor energia aplicada (1,0 kJ/mm) apresentou maior quantidade de metal depositado 0,088 Kg, indicando uma eficiência superior na deposição do material nesse cenário.

Por outro lado, o cordão obtido com maior energia (1,6 kJ/mm) apresentou um peso de metal depositado de aproximadamente 0,067 kg, o que sugere maior fusão e penetração no substrato, porém com menor volume de material depositado. Esta redução pode estar associada à maior energia térmica absorvida, a qual pode impactar

a estabilidade do arco e o controle do processo, reflexo que exige atenção para a otimização dos parâmetros de soldagem.

Esses resultados são fundamentais para compreender o equilíbrio entre eficiência na deposição e qualidade do cordão, podendo influenciar decisões técnicas e econômicas, tais como ajuste de consumíveis e controle do aporte térmico para maximizar produtividade e minimizar custos no processo de soldagem. Para o cálculo de deposição foi utilizado a formula 4 do item 2.8.2.

**Figura 45 – Pesos da chapa teste**



**Fonte:** Autores (2025)

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Ensaio Visual

As Tabelas 18 e 19, demonstraram que as soldas foram aprovadas de acordo com as especificações da norma AWS D1.1 (2020).

**Tabela 18 - Ensaio Visual**

| <b>Categoria da Descontinuidade</b> | <b>Critério de Inspeção</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (1) Proibição de trincas            | São inaceitáveis.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| (2) Fusão entre metal base e solda  | Deve existir fusão completa entre passes adjacentes do metal de solda e do metal de base.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| (3) Cratera                         | Todas as crateras devem ser preenchidas para estabelecer a dimensão específica da solda, exceto nos terminais de soldas de filete intermitente externas aos seus comprimentos efetivos.                                                                                                                                                                                                                                       |
| (4) Perfil das soldas               | Devem atender ao item 7.23 da AWS D1.1.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| (5) Período de inspeção             | Após resfriamento completo em temperaturas ambientes.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 6) Solda subdimensionadas           | <p>A dimensão da solda de filete em qualquer trecho contínuo pode ser menor que o valor nominal especificado (L) sem correção pelos seguintes valores de (U):</p> <p>Dimensão nominal específica da solda (mm) / Redução permitida de L (mm):</p> <p style="text-align: center;">&lt;5 → &lt;2 mm<br/>6 → &lt;2,5 mm<br/>&gt;8 → &lt;3 mm</p> <p>A porção de sobreposição não deve exceder a 10% do comprimento da solda.</p> |
| (7) Mordedura                       | Mordeduras não devem ser maiores que 1 mm em profundidade.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| (8) Porosidade (B)                  | A frequência em soldas de filete não deve exceder uma em cada 100 mm de comprimento da solda e com máximo diâmetro de 2,5 mm.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

**Fonte:** Autores (2025).

**Tabela 19 - Resultados do ensaio visual**

| <b>Categoria da Descontinuidade</b> | <b>CP1</b> |           | <b>CP2</b> |           | <b>CP3</b> |           |
|-------------------------------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
|                                     | 1,0 kJ/mm  | 1,6 kJ/mm | 1,0 kJ/mm  | 1,6 kJ/mm | 1,0 kJ/mm  | 1,6 kJ/mm |
| (1) Proibição de trincas            | A          | A         | A          | A         | A          | A         |
| (2) Fusão entre metal base e solda  | A          | A         | A          | A         | A          | A         |
| (3) Cratera                         | A          | A         | A          | A         | A          | A         |
| (4) Perfil das soldas               | A          | A         | A          | A         | A          | A         |
| (5) Período de inspeção             | A          | A         | A          | A         | A          | A         |
| (6) Solda subdimensionadas          | A          | A         | A          | A         | A          | A         |
| (7) Mordedura                       | A          | A         | A          | A         | A          | A         |
| (8) Porosidade (B)                  | A          | A         | A          | A         | A          | A         |

R = REPROVADO; A=APROVADO, foram os critérios utilizados para o ensaio visual:

(1) Proibição de trincas; (2) Fusão entre metal base e solda; (3) Cratera; (4) Perfil das soldas; (5) Período de inspeção; (6) Solda subdimensionadas; (7) Mordedura; 8) Porosidade (B). Esses são os critérios para o preenchimento da tabela 19.

**Fonte:** Autores (2025).

## 4.2 Análise metalográfico

### 4.2.1 Macrografia

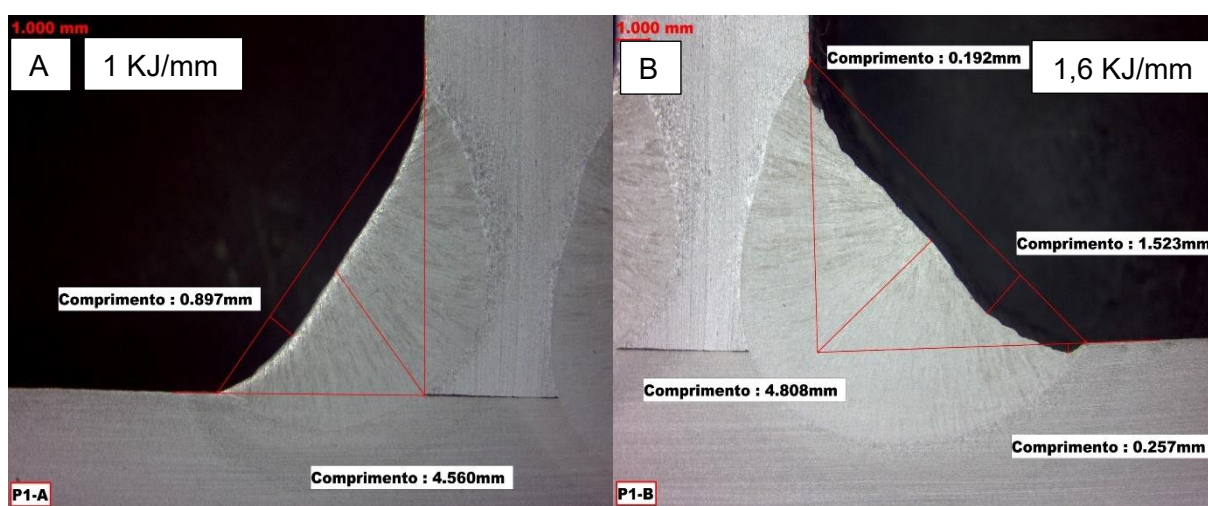
O corpo de prova 1, representado na Figura 46 A, corresponde à condição de aporte de energia de soldagem de 1,0 kJ/mm. Foram obtidos os seguintes resultados: perna horizontal de 6,5 mm, perna vertical de 9,0 mm, concavidade aproximada de 0,897 mm e garganta de 4,560 mm. Observa-se que a zona fundida apresenta contornos nítidos e transição claramente definida entre o metal de solda, zona afetada pelo calor (ZAC) e o metal de base, evidenciando um ciclo térmico controlado e relativamente restrito.

O corpo de prova 1, representado na Figura 46 B, foi submetido ao aporte de energia de 1,6 kJ/mm, apresentando perna horizontal de 9,0 mm e perna vertical de 8,5 mm. A profundidade da concavidade aumentou para 1,523 mm e a garganta atingiu



4,808 mm. O maior aporte térmico resultou em dilatação da zona afetada pelo calor e aumento da penetração da solda. Na análise das duas imagens, observa-se a formação da zona fundida (mordedura), indicada pelo perfil e pelo contorno escuro junto à linha de fusão, com profundidade medida para cada condição. Na Figura B, referente à energia de 1,6 kJ/mm, a mordedura superior apresentou profundidade de 0,192 mm, enquanto a mordedura inferior foi mais profunda, atingindo cerca de 0,257 mm, sendo ambas aprovadas dentro do máximo de 1 mm, conforme Tabela 20.

**Figura 46 - CP1**



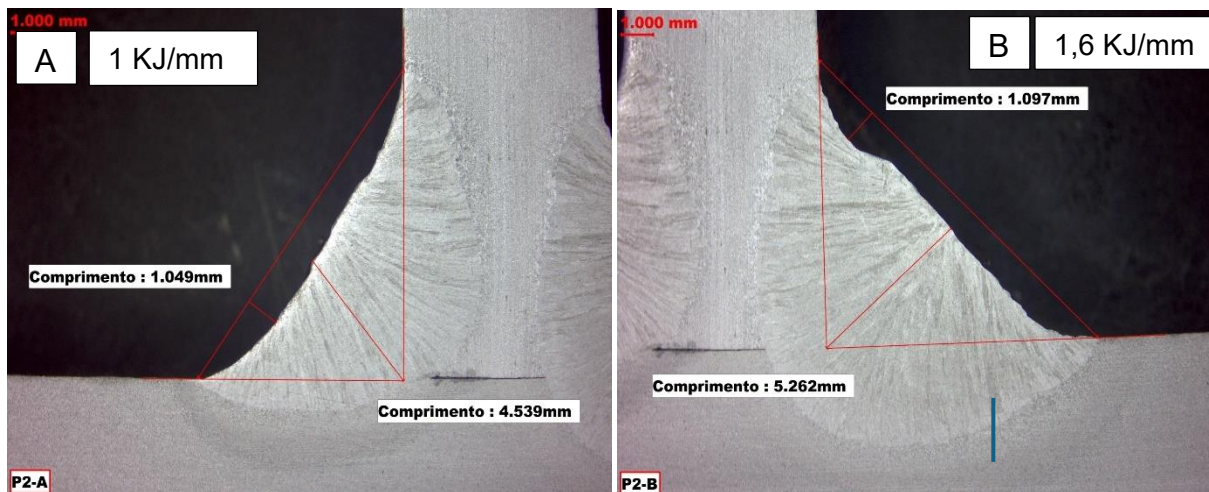
**Fonte:** Autores (2025).

O corpo de prova 2 da Figura 47 A, referente à condição de 1,0 kJ/mm de energia de soldagem, foram obtidos os seguintes resultados para horizontal de 6,5 mm, perna vertical de 9,5 mm, observou-se uma concavidade com dimensão aproximada de 0,897 mm e uma garganta de 4,560 mm. Foi observado que a zona fundida evidencia contornos nítidos, com uma transição claramente definida entre o metal de solda, a zona afetada pelo calor (ZAC) e o metal de base. Essa configuração revela um ciclo térmico bem controlado, com restrição adequada da dispersão térmica, promovendo regularidade geométrica e boa distinção entre as regiões metalúrgicas envolvidas.

Já o corpo de prova 2 da Figura 47 B, correspondente à condição de 1,6 kJ/mm, foi observado uma perna horizontal de 9,0 mm, e uma perna vertical de 8,0 mm, e identificado uma concavidade com dimensão de aproximadamente 1,097 mm e uma garganta de 5,262 mm. A zona fundida apresenta contornos bem definidos, com

transição clara entre o metal de solda, a zona afetada pelo calor (ZAC) e o metal de base. Essas características indicam maior aporte de energia, favorecendo a regularidade geométrica e a distinção das regiões metalúrgicas envolvidas.

**Figura 47 - CP 2**

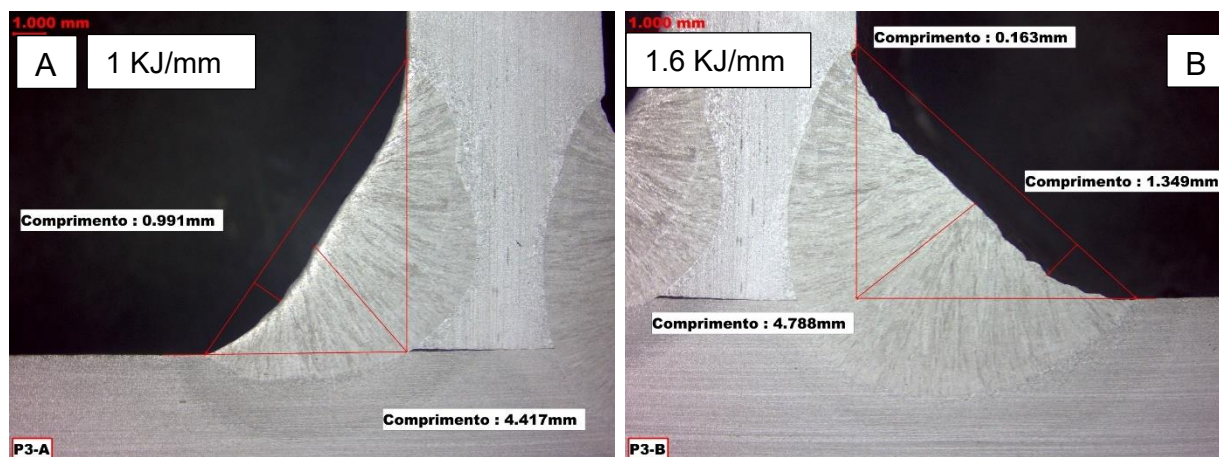


**Fonte:** Autores (2025).

O corpo de prova 3 da Figura 48 A, referente à condição de 1,0 kJ/mm de energia de soldagem, foram obtidos os seguintes resultados perna horizontal de 6,5 mm, perna vertical de 9,5 mm, observou-se uma concavidade com dimensão aproximada de 0,991 mm e uma garganta de 4,417 mm. A zona fundida apresentou limites bem definidos, com interfaces claras entre o metal de solda, a zona afetada pelo calor (ZAC) e o metal de base.

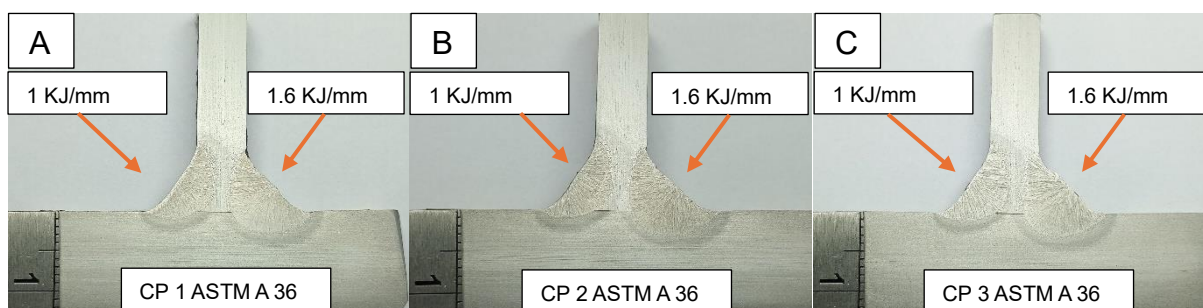
Essa delimitação indica que o ciclo térmico aplicado proporcionou uma restrição eficiente da propagação do calor, resultando em geometria regular e uma distinção evidente entre as diferentes regiões metalúrgicas envolvidas.

Já o corpo de prova 3 da Figura 48 B, correspondente à condição de 1,6 kJ/mm, foi observado uma perna horizontal de 9,0 mm, e uma perna vertical de 7,5 mm, e identificado uma concavidade com dimensão de aproximadamente 1,349 mm e uma garganta de 4,788 mm, a zona fundida revelou margens distintas, permitindo uma visualização clara da interface entre o metal depositado, a zona afetada pelo calor (ZAC) e o metal de base. Esse perfil evidenciado se associa ao maior aporte de calor, que contribui para uma configuração geométrica uniforme e facilita a identificação de cada domínio metalúrgico na junta soldada.

**Figura 48 - CP 3**

Fonte: Autores (2025).

As Figuras a seguir, representam os três corpos de prova em suas respectivas macrografias Figura 49 A) CP-1; 49 B) CP-2; 49 C) CP-3

**Figura 49 - Corpos de prova**

Fonte: Autores (2025).

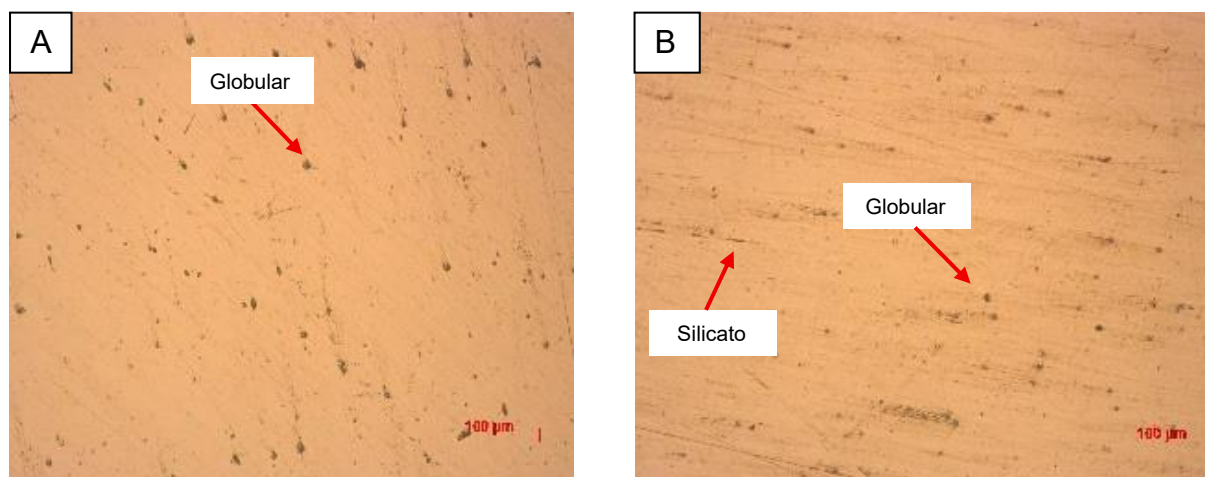
#### 4.2.2 Análise de inclusões

Na análise realizada das inclusões presentes nos metais de base, utilizou-se a norma ASTM E45 para determinar e classificar o conteúdo e os tipos de inclusões não metálicas. No aço ASTM A36, foram identificadas evidências de óxidos globulares, sinalizando a presença destes compostos no material conforme a Figura 50 A. Para conduzir essa análise, aplicou-se o método descrito por Colpaert (2008), que destaca a importância da adequada preparação da superfície, embora tenha sido observado que a superfície polida apresentava riscos decorrentes do processo de polimento, o que pode interferir na avaliação visual das inclusões.



Já no aço Strenx 700 MC, a análise revelou uma variedade mais complexa de inclusões, silicatos de série fina e óxidos globulares. A superfície analisada apresentou riscos em múltiplas direções, bem como a ocorrência de estruturas denominadas 'cometas', que indicam padrões específicos das inclusões como mostrado na Figura 50 B.

**Figura 50 - Inclusões MB**

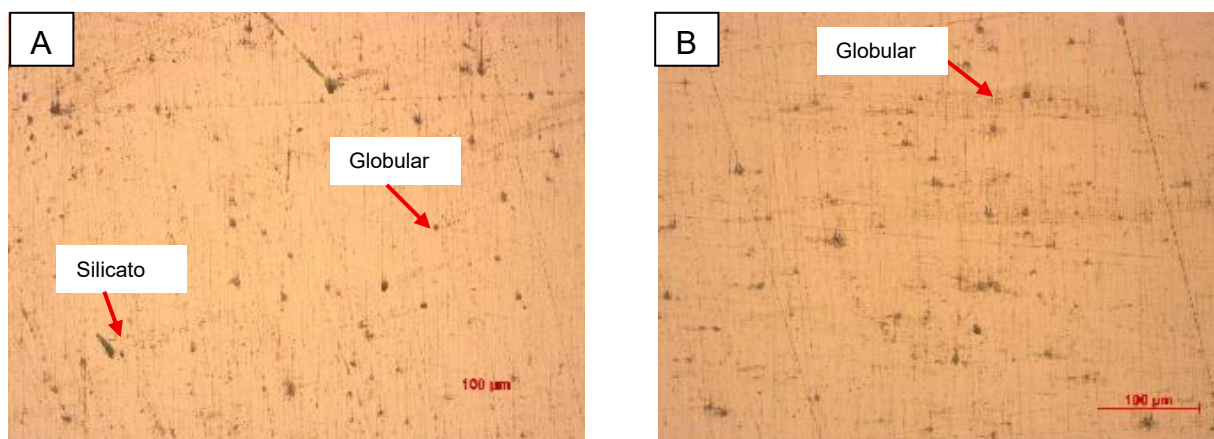


**Fonte:** Autores (2025).

Analizando a presença de silicato, óxido globular na soldagem com aporte térmico de 1,0 kJ/mm, observa-se que essas inclusões influenciam a microestrutura e propriedades do cordão de solda, conforme ilustrado na Figura 51 A.

Analizando a presença de óxidos globulares, observou-se um índice elevado, ainda com uma superfície com deficiência no polimento, evidenciando riscos em diversas direções, conforme ilustrado na Figura 51 B.

**Figura 51 - Inclusões da Solda**

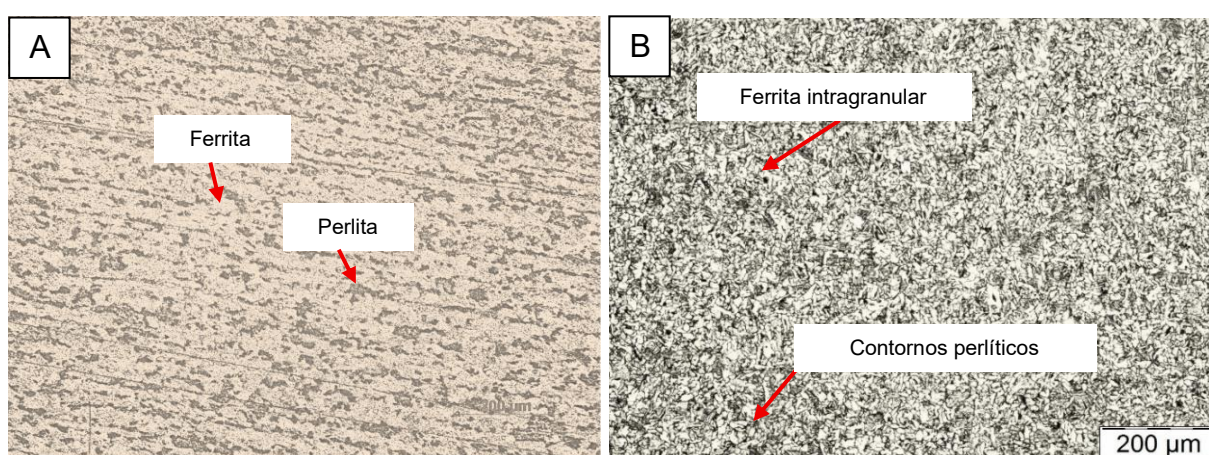


**Fonte:** Autores (2025)

### 4.2.3 Micrografia

As microestruturas tiveram aumento de 100 vezes, 200 vezes e 500 vezes conforme ilustra a Figura 52 A, onde o ASTM A36 apresentou estrutura de ferrita e perlita, já a Figura 52 B, o aço Strenx 700 MC, apresentou uma estrutura coalescida com precipitados ainda agrupados, ferrita intragranular e perlita. Onde os grãos claros indicam a ferrita e os grãos escuros a perlita.

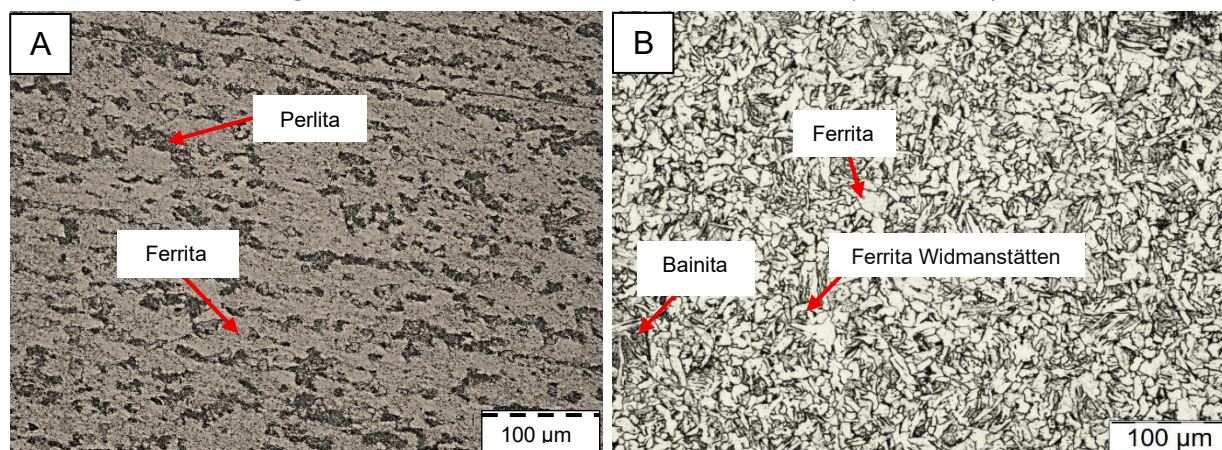
**Figura 52 – MB ASTM A36 e Strenx 700 MC (100 vezes)**



**Fonte:** Autores (2025)

A Figura 53 A o aço ASTM A36, apresentou estrutura de agregados de ferritas e carbonetos e perlita. Já a Figura 53 B Strenx 700 MC apresentou uma estrutura ferrítica Widmanstätten com contornos perlíticos.

**Figura 53 - MB ASTM A36 e Strenx 700 MC (200 vezes)**



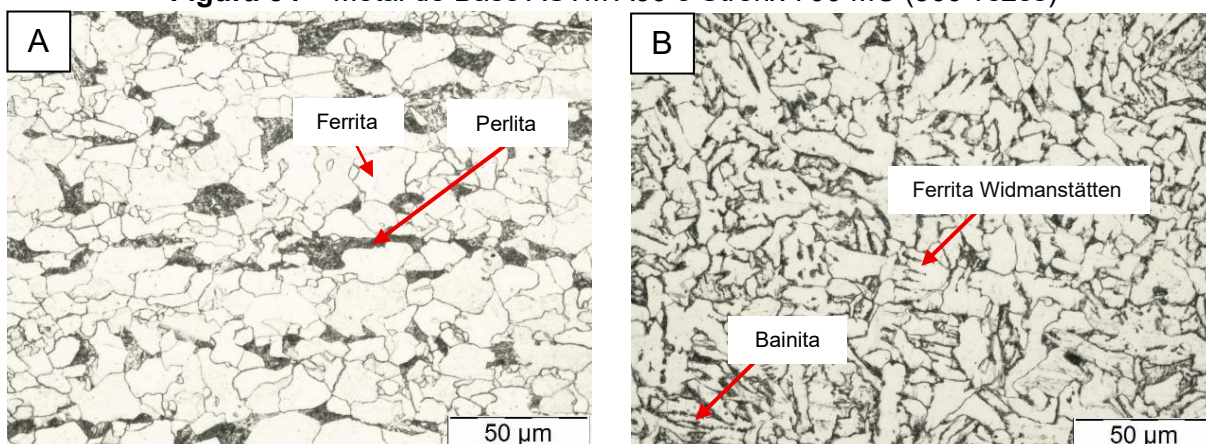
**Fonte:** Autores (2025)

A Figura 54 A o aço ASTM A36 apresentou estrutura de agregados de ferritas e carbonetos, ferrita degenerada e perlita. Já a Figura 54 B Strenx 700 MC



apresentou uma estrutura ferrítica Widmanstätten com contornos perlíticos e bainita ou ferrita de segunda fase.

**Figura 54 – Metal de Base ASTM A36 e Strenx 700 MC (500 vezes)**



**Fonte:** Autores (2025).

Os tamanhos de grãos compostos nos metais de base ASTM A36 e Strenx 700 MC, conforme os resultados obtidos na Tabela 20 e 21. A média é 10,23 µm no ASTM A 36 e no Strenx 700 MC é 8,05 µm, refletindo uma granulometria refinada neste último.

**Tabela 20 - Tamanho de grão do ASTM A36**

| Linhas | Medida  | Ponto Simples | Ponto Duplo | Ponto Triplo | Quantidade de Pontos | Tamanho de Grão µm |
|--------|---------|---------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------|
|        |         | 0,5           | 1,0         | 1,5          |                      |                    |
| 1      | 69,424  | 2             | 3           | 2            | 7                    | 9,92               |
| 2      | 64,054  | 2             | 6           | 2            | 10                   | 6,41               |
| 3      | 83,960  | 2             | 6           | 4            | 13                   | 6,46               |
| 4      | 72,062  | 2             | 5           | 0            | 6                    | 12,01              |
| 5      | 130,732 | 2             | 4           | 2            | 8                    | 16,34              |

**Fonte:** Autores (2025).

**Tabela 21 - Tamanho de grão Strenx 700 MC**

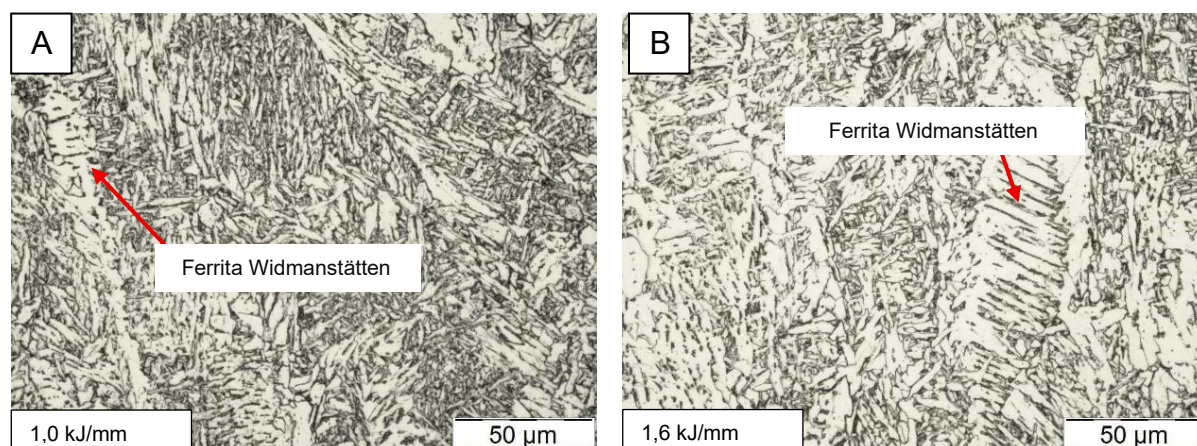
| Linhas | Medidas | Ponto Simples | Ponto Duplo | Ponto Triplo | Quantidade de Pontos | Tamanho de Grão µm |
|--------|---------|---------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------|
|        |         | 0,5           | 1,0         | 1,5          |                      |                    |
| 1      | 58,480  | 2             | 3           | 3            | 8,5                  | 6,88               |
| 2      | 93,643  | 2             | 4           | 3            | 9,5                  | 9,86               |
| 3      | 78,102  | 2             | 8           | 0            | 9                    | 8,68               |
| 4      | 61,443  | 2             | 4           | 3            | 9,5                  | 6,47               |
| 5      | 83,556  | 2             | 3           | 4            | 10                   | 8,36               |

**Fonte:** Autores (2025).

O estudo da microestrutura foi realizado com base em análises detalhadas das regiões da solda, a partir das quais foram identificadas as características morfológicas dos constituintes presentes. Na Figura 55 A, foram observadas estruturas

ferríticas típicas, com precipitados localizados predominantemente nos contornos de grão e com padrão de formação conhecido como Widmanstätten, resultante do ciclo térmico específico da soldagem. Já na Figura 55 B, referente à zona fundida, identificou-se uma microestrutura composta por ferrita Widmanstätten com contornos perlíticos e bainita ou ferrita de segunda fase.

**Figura 55 - Zona Fundida (500 vezes)**



**Fonte:** Autores (2025).

O tamanho de grãos compostos na Zona Fundida de 1,0 kJ/mm e 1,6 kJ/mm, conforme os resultados obtidos na Tabela 22 e 23. Obtém-se as médias com 1,0 kJ/mm é de 2,442 µm e para 1,6 kJ/mm é de 3,838 µm.

**Tabela 22 - Tamanho de grão de 1,0 kJ/mm**

| Linhas | Medidas<br>µm | Ponto<br>Simples | Ponto<br>Duplo | Ponto<br>Triplo | Quantidade de<br>Pontos | Tamanho de<br>Grão µm |
|--------|---------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|
|        |               | 0,5              | 1,0            | 1,5             |                         |                       |
| 1      | 26,141        | 2                | 4              | 5               | 12,5                    | 2,09                  |
| 2      | 17,973        | 2                | 2              | 5               | 10,5                    | 1,71                  |
| 3      | 19,243        | 2                | 1              | 4               | 8                       | 2,41                  |
| 4      | 29,871        | 2                | 4              | 3               | 9,5                     | 3,14                  |
| 5      | 25,756        | 2                | 2              | 4               | 9                       | 2,86                  |

**Fonte:** Autores (2025).

**Tabela 23 - Tamanho de grão de 1,6 kJ/mm**

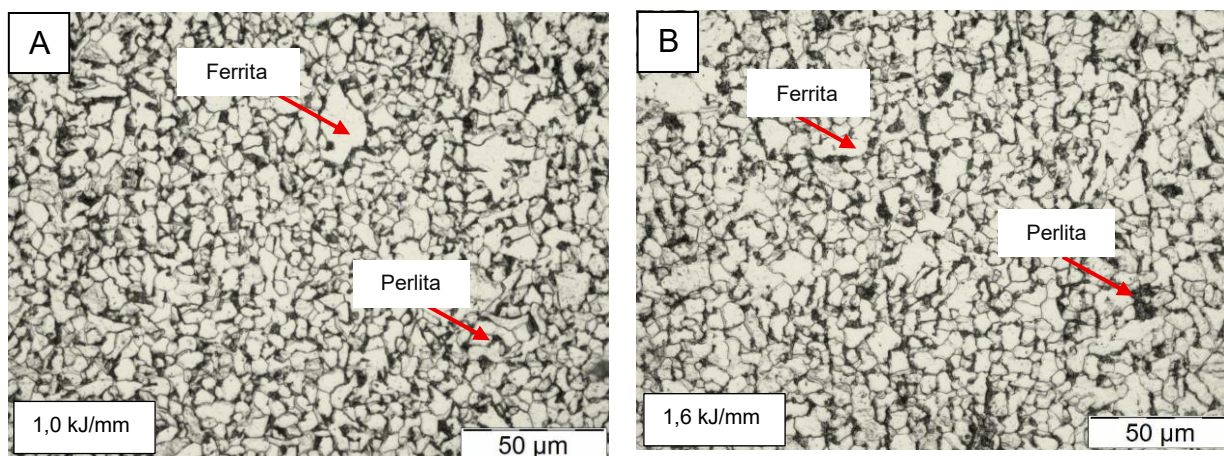
| Linhas | Medidas<br>µm | Ponto<br>Simples | Ponto<br>Duplo | Ponto<br>Triplo | Quantidade<br>de Pontos | Tamanho de<br>Grão µm |
|--------|---------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|
|        |               | 0,5              | 1,0            | 1,5             |                         |                       |
| 1      | 36,602        | 2                | 4              | 3               | 9,5                     | 3,85                  |
| 2      | 47,919        | 2                | 5              | 3               | 10,5                    | 4,56                  |
| 3      | 40,013        | 2                | 4              | 3               | 9,5                     | 4,21                  |
| 4      | 37,552        | 2                | 7              | 1               | 9,5                     | 3,95                  |
| 5      | 30,087        | 2                | 3              | 5               | 11,5                    | 2,62                  |

**Fonte:** Autores (2025).



Quanto a ZAC, a Figura 56 A apresentou placas de ferrita e perlita, a. Já a Figura 56 B apresenta uma microestrutura ferrita e perlita.

**Figura 56 – ZAC ASTM A36 (500 vezes)**



**Fonte:** Autores (2025).

Os tamanhos de grãos compostos na ZAC de 1,0 kJ/mm e 1,6 kJ/mm, conforme os resultados obtidos na Tabela 24 e 25, respectivamente. Ambas análises, evidenciaram um aumento dos grãos em relação ao metal de base. A média é 2,096 µm e 3,752 µm.

**Tabela 24 - Tamanho de grão da ZAC ASTM A36 - 1.0 kJ/mm**

| Linhas | Medidas<br>µm | Ponto<br>Simples | Ponto<br>Duplo | Ponto<br>Triplo | Quantidade de<br>Pontos | Tamanho<br>de Grão<br>µm |
|--------|---------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------------|--------------------------|
|        |               | 0,5              | 1,0            | 1,5             |                         |                          |
| 1      | 18,505        | 2                | 5              | 2               | 9                       | 2,06                     |
| 2      | 12,144        | 2                | 3              | 2               | 7                       | 1,73                     |
| 3      | 22,182        | 2                | 2              | 3               | 7,5                     | 2,96                     |
| 4      | 21,143        | 2                | 2              | 5               | 10,5                    | 2,01                     |
| 5      | 15,511        | 2                | 2              | 4               | 9                       | 1,72                     |

**Fonte:** Autores (2025).

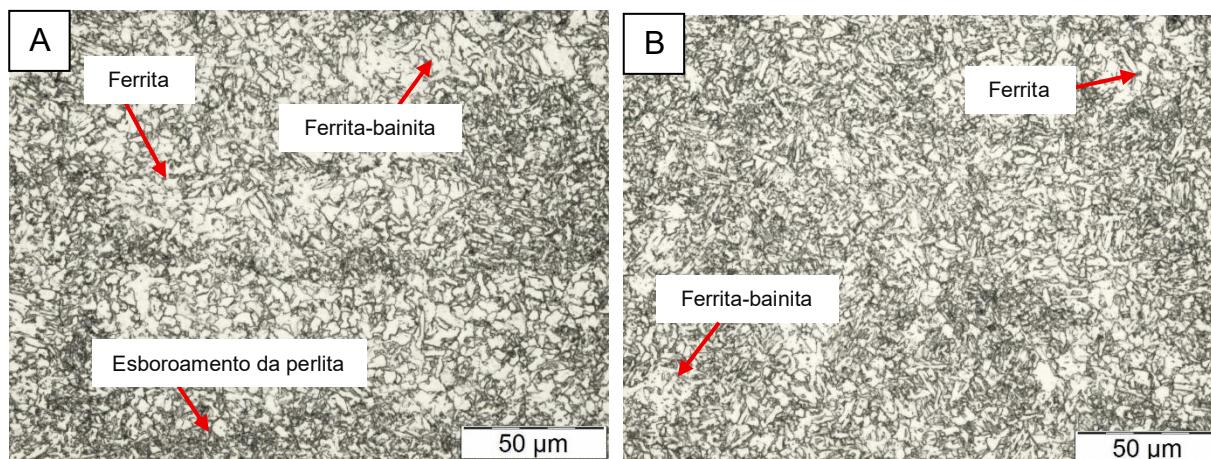
**Tabela 25 - Tamanho de grão da ZAC ASTM A36 - 1.6 kJ/mm**

| Linhas | Medidas<br>µm | Ponto<br>Simples | Ponto<br>Duplo | Ponto<br>Triplo | Quantidade de<br>Pontos | Tamanho<br>de Grão<br>µm |
|--------|---------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------------|--------------------------|
|        |               | 0,5              | 1,0            | 1,5             |                         |                          |
| 1      | 39,010        | 2                | 5              | 3               | 10,5                    | 3,72                     |
| 2      | 29,755        | 2                | 4              | 2               | 8                       | 3,72                     |
| 3      | 29,901        | 2                | 3              | 3               | 8,5                     | 3,52                     |
| 4      | 25,257        | 2                | 3              | 2               | 7                       | 3,61                     |
| 5      | 35,616        | 2                | 3              | 3               | 8,5                     | 4,19                     |

**Fonte:** Autores (2025).

Quanto a ZAC, a Figura 57 A apresentou placas de ferrita e perlita ferrita-bainita e esboroamento de perlita. Já a Figura 57 B apresenta uma microestrutura ferrita e perlita.

**Figura 57 - ZAC STRENX 700 MC (500 vezes).**



**Fonte:** Autores (2025).

Os tamanhos de grãos compostos na ZAC de 1,0 kJ/mm e 1,6 kJ/mm, conforme os resultados obtidos na Tabela 26 e 27, respectivamente. Ambas análises, evidenciaram um aumento dos grãos em relação ao metal de base. Média entre elas é 3,348 µm e 3,282 µm

**Tabela 26 – Tamanho de grão ZAC Strenx 700 MC -1,0 kJ/mm**

| Linhas | Medidas<br>µm | Ponto<br>Simples | Ponto Duplo | Ponto Triplo | Quantidade<br>de Pontos | Tamanho<br>de Grão<br>µm |
|--------|---------------|------------------|-------------|--------------|-------------------------|--------------------------|
|        |               | 0,5              | 1,0         | 1,5          |                         |                          |
| 1      | 33,323        | 2                | 2           | 3            | 7,5                     | 4,44                     |
| 2      | 25,723        | 2                | 2           | 5            | 10,5                    | 2,45                     |
| 3      | 27,476        | 2                | 2           | 4            | 9                       | 3,05                     |
| 4      | 33,673        | 2                | 3           | 3            | 8,5                     | 3,96                     |
| 5      | 24,283        | 2                | 2           | 3            | 7,5                     | 3,24                     |

**Fonte:** Autores (2025).

**Tabela 27 - Tamanho de grão ZAC Strenx 700 MC – 1,6 kJ/mm**

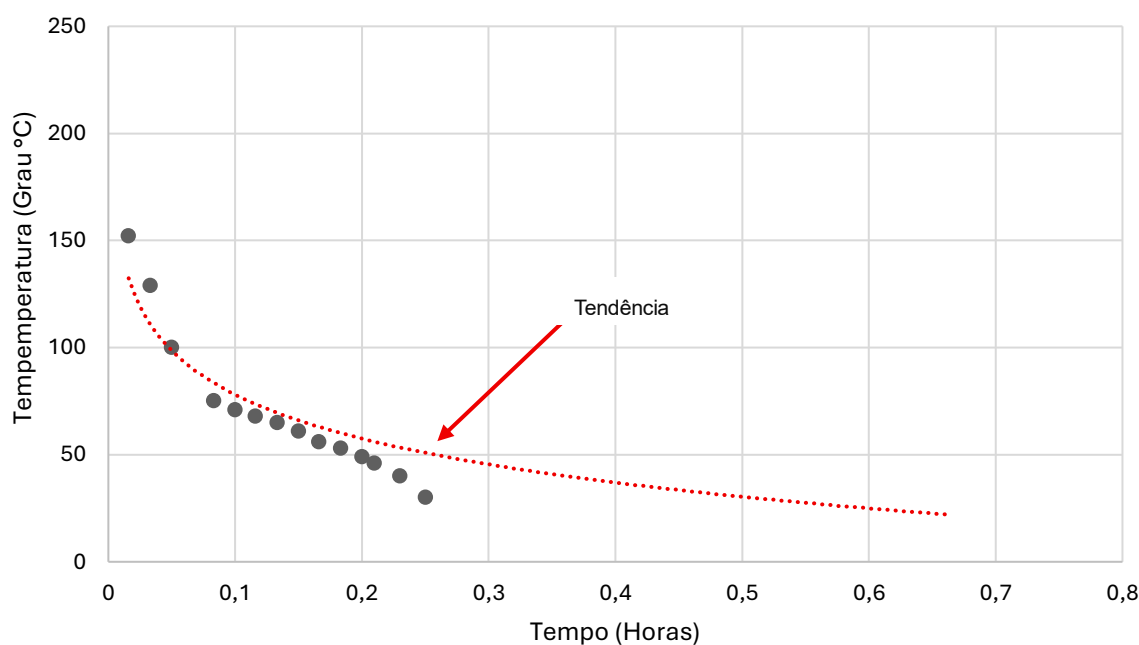
| Linhas | Medidas<br>µm | Ponto<br>Simples | Ponto Duplo | Ponto Triplo | Quantidade<br>de Pontos | Tamanho<br>de Grão<br>µm |
|--------|---------------|------------------|-------------|--------------|-------------------------|--------------------------|
|        |               | 0,5              | 1,0         | 1,5          |                         |                          |
| 1      | 22,515        | 2                | 2           | 2            | 6                       | 3,75                     |
| 2      | 22,936        | 2                | 1           | 5            | 9,5                     | 2,41                     |
| 3      | 32,036        | 2                | 1           | 4            | 8                       | 4,00                     |
| 4      | 27,092        | 2                | 2           | 3            | 7,5                     | 3,61                     |
| 5      | 23,804        | 2                | 2           | 4            | 9                       | 2,64                     |

**Fonte:** Autores (2025).

### 4.3 Análise de taxa de resfriamento

No estudo realizado, a taxa de resfriamento dos cordões de solda foi acompanhada por intervalos regulares de 1 minuto, permitindo uma análise detalhada do comportamento térmico durante o processo. Para o cordão soldado com a energia recomendada de 1,0 kJ/mm, o resfriamento levou aproximadamente 15 minutos para que a peça atingisse a temperatura ambiente e se estabilizasse termicamente. Esse resfriamento mais lento está associado a um menor aporte térmico, o que favorece uma transição gradual do estado fundido à solidificação e permite melhor controle da microestrutura formada. A temperatura ficou acima de 100°C por 3 minutos, garantindo a difusão de hidrogênio e consequente prevenção quanto às trincas a frio. Gráfico 1.

**Gráfico 1 - Taxa de resfriamento (1) - 1,0 KJ/mm**

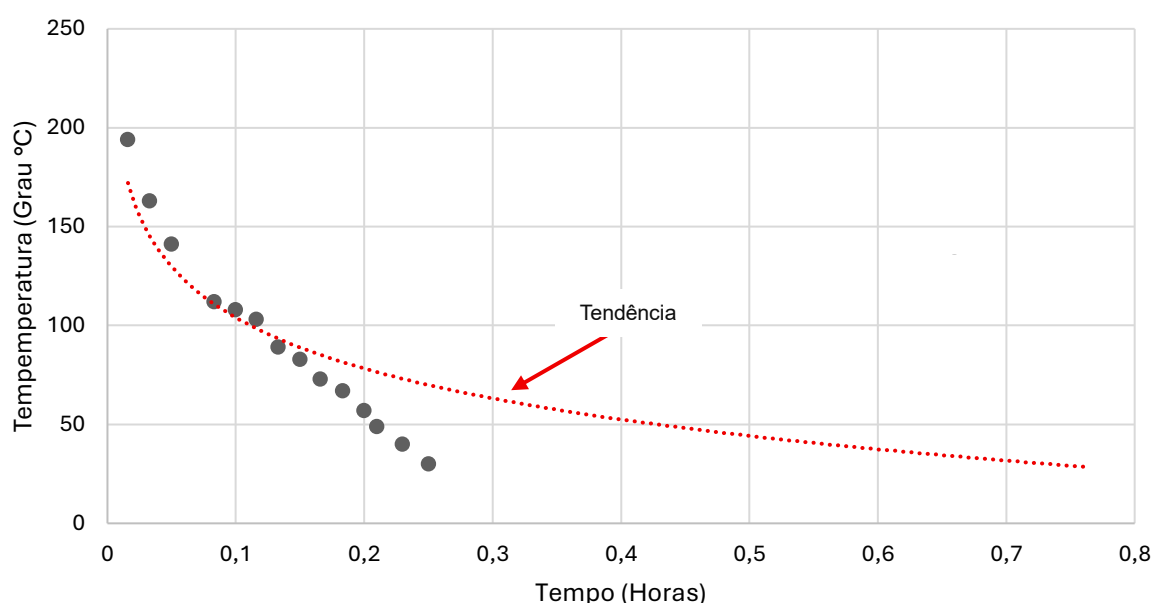


**Fonte:** Autores (2025).

O Gráfico 2 indica e demonstra a taxa de resfriamento obtida ao longo do tempo, onde a mesma no segundo cordão, em que se utilizou o valor extrapolado de 1,6 kJ/mm, apresentou variações de temperatura a cada intervalo de 1 minuto. No tempo total, o processo levou cerca de 15 minutos para se estabilizar e atingir a temperatura ambiente, resfriamento idêntico à condição de 1,0 KJ/mm.

Foi notado que o cordão onde a energia foi extrapolada para 1,6 kJ/mm, embora o tempo total para estabilização térmica também tenha sido próximo de 15 minutos, a maior energia gerou uma taxa de resfriamento mais lenta na queda de 200°C para 100°C, refletindo em um resfriamento gradual conforme a dissipação de calor para o ambiente, demorando até 6 minutos, o dobro da condição de 1,0 KJ/mm. O Gráfico de taxa de resfriamento confirma essas variações ao longo do tempo, evidenciando como o parâmetro energético influencia o ciclo térmico.

**Gráfico 2 - Taxa de resfriamento (2) – 1,6 KJ/mm**



**Fonte:** Autores (2025).

#### 4.4 Ensaio de Dureza Vickers

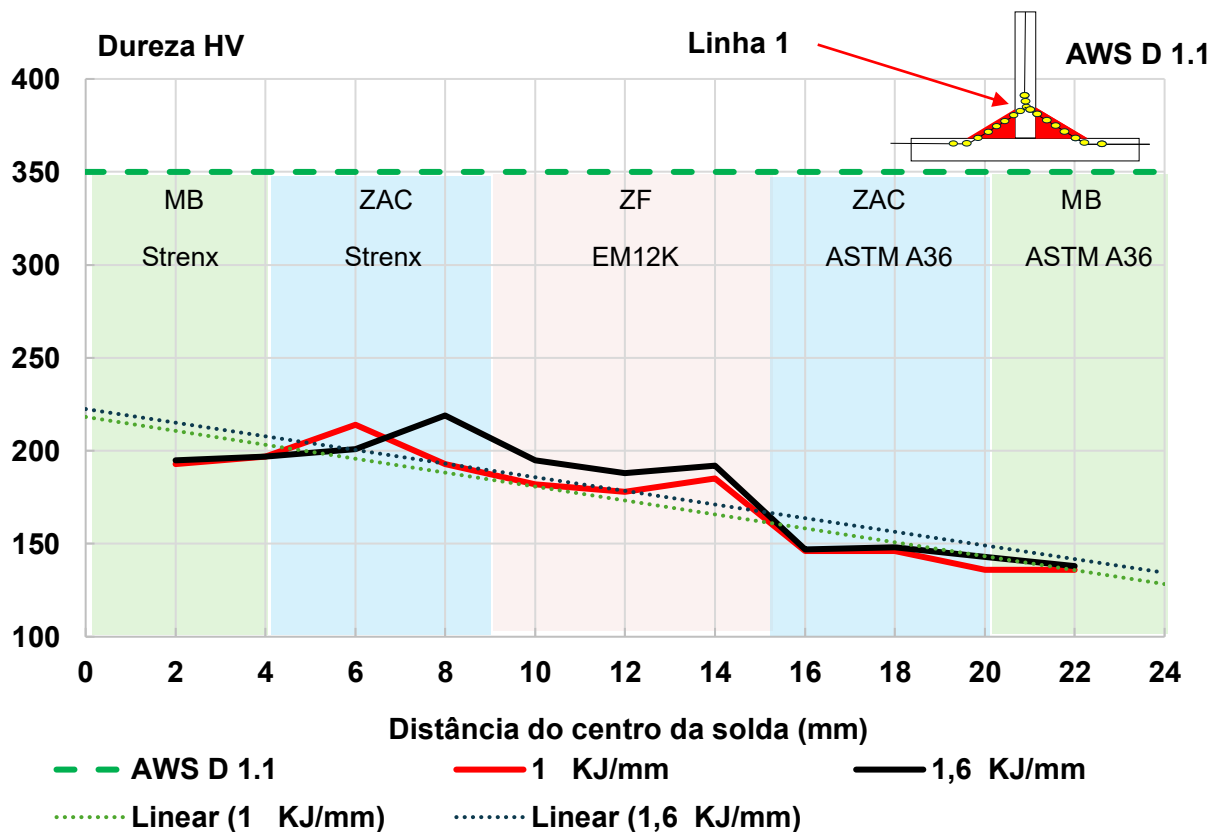
O Gráfico 3 apresenta o ensaio de dureza do corpo de prova, com os resultados de cada região. Para uma análise mais detalhada, foi calculada a média de cada área, posicionando a origem na base dos dois cordões de solda. O gráfico a seguir refere-se aos lados com entradas de calor de 1,0 kJ/mm e 1,6 kJ/mm

No primeiro corpo de prova, observou-se uma dureza elevada na zona afetada pelo calor (ZAC) do Strenx 700 MC, variando aproximadamente entre 190 e 210 HV. No metal base (MB) do Strenx 700 MC, a dureza apresentou valores entre 190 e 195 HV, indicando que o Strenx 700 MC é o material com maior resistência. Já o MB do

aço ASTM A36 apresentou dureza na faixa de 140 a 147 HV, enquanto na ZAC os valores foram próximos a 150 HV, caracterizando-o como o material de menor resistência.

Na zona fundida (ZF), os valores de dureza obtidos foram bastante elevados, aproximando-se dos valores da Zona Afetada pelo Calor (ZAC) do aço Strenx 700 MC, com valores em torno de 225 HV. Em contrapartida, na ZAC do aço ASTM A36, a dureza medida foi inferior, alcançando cerca de 145 HV. Essa diferença reflete as características intrínsecas dos materiais, com o Strenx 700 MC apresentando uma microestrutura mais resistente devido à sua composição química. A maior dureza observada na ZF e na ZAC do Strenx 700 MC indica melhor resistência ao desgaste e maior capacidade de suportar esforços mecânicos em comparação com o aço ASTM A36.

**Gráfico 3 – Dureza corpo de prova 1**



A Tabela 28 apresenta os resultados obtidos no ensaio de dureza realizados nas diferentes regiões da junta soldada, com os valores de dureza medidos e a média calculada para cada área avaliada. Esses dados evidenciam a variação da dureza

entre o metal de base, a zona afetada pelo calor e a zona fundida, refletindo as alterações microestruturais provocadas pelo processo de soldagem. A análise desses resultados permite avaliar a influência dos parâmetros térmicos sobre as propriedades mecânicas locais e a qualidade da solda.

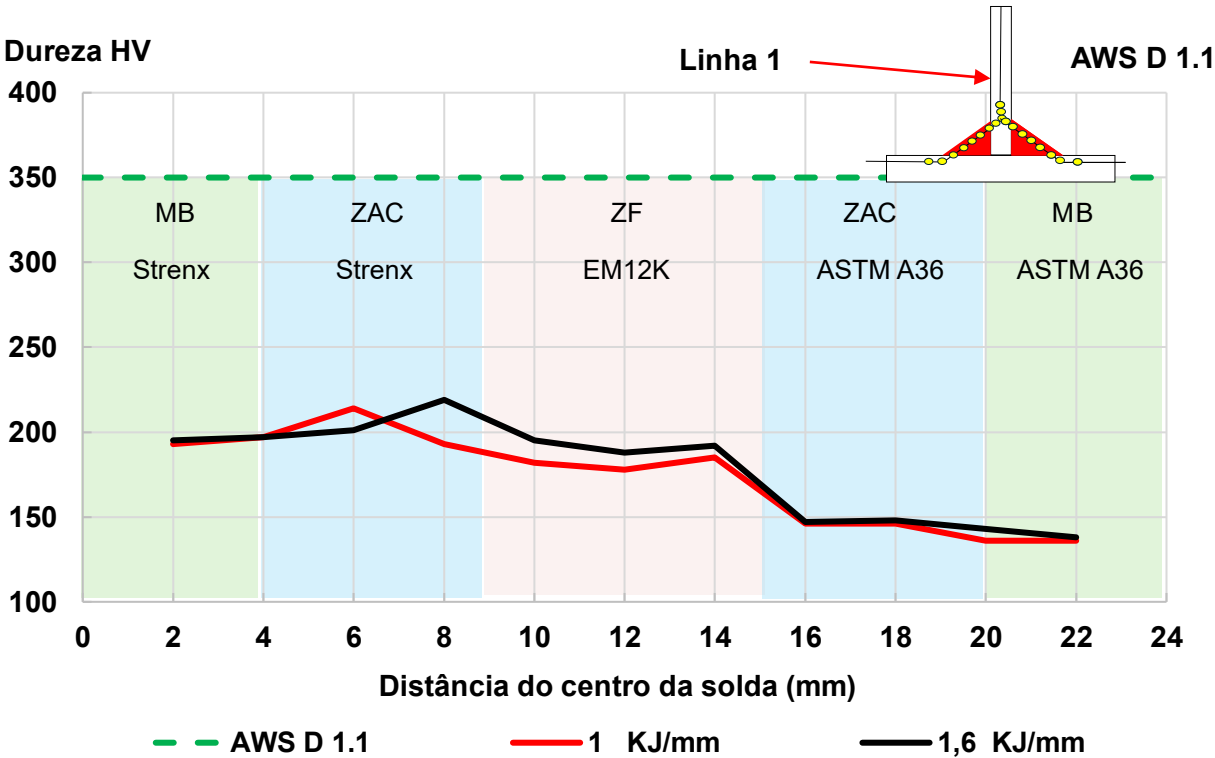
Tabela 28 - Média CP1

| Média (HV) | MB (Strenx) | ZAC (Strenx) | ZF  | MB (A36) | ZAC(A36) |
|------------|-------------|--------------|-----|----------|----------|
| 1KJ/mm     | 187         | 214          | 191 | 136      | 152      |
| 1,6KJ/mm   | 204         | 212          | 203 | 131      | 143      |

Fonte: Autores (2025).

No segundo corpo de prova, percebeu-se que a dureza na zona afetada pelo calor (ZAC) do Strenx 700 MC estava alta, variando entre aproximadamente 200 a 220 HV. No metal base (MB) do Strenx 700 MC, os valores de dureza ficaram entre 190 e 195 HV, confirmando que o Strenx 700 MC é o material que apresenta maior resistência. Por outro lado, o MB do aço ASTM A36 teve dureza na faixa de 148 a 150 HV, enquanto na ZAC os valores se aproximaram de 150 HV, indicando que este é o material com menor resistência. Na região da zona fundida (ZF), a dureza foi elevada, próxima aos valores da ZAC do Strenx 700 MC, chegando a cerca de 220 a 225 HV. Já na ZAC do aço ASTM A36, a dureza foi em torno de 200 HV, conforme Gráfico 4.

Gráfico 4 – Dureza do CP 2





Os resultados do segundo corpo de prova estão apresentados na Tabela 29, contendo os valores medidos de dureza em diferentes regiões da junta soldada. Esses dados reais fornecem suporte essencial para a análise quantitativa do comportamento do material após o processo de soldagem.

A coleta e apresentação organizada dos valores permitem a verificação da uniformidade das propriedades mecânicas e da influência dos parâmetros de soldagem adotados.

A Tabela 29 evidencia diferenças significativas entre as regiões avaliadas, confirmando a heterogeneidade típica das juntas soldadas e destacando áreas que requerem monitoramento especial em aplicações práticas. Assim, esses resultados contribuem para o entendimento detalhado do desempenho estrutural da solda diante das condições experimentais testadas.

**Tabela 29 - Média CP 2**

| <b>Média (HV)</b> | <b>MB (Strenx)</b> | <b>ZAC (Strenx)</b> | <b>ZF</b> | <b>MB (A36)</b> | <b>ZAC (A36)</b> |
|-------------------|--------------------|---------------------|-----------|-----------------|------------------|
| 1KJ/mm            | 193                | 207                 | 191       | 136             | 145              |
| 1,6KJ/mm          | 195                | 207                 | 199       | 140             | 147              |

**Fonte:** Autores (2025)

O Gráfico 5 corresponde ao terceiro corpo de prova, elaborado seguindo o mesmo procedimento adotado para o gráfico de dureza 1, onde no mesmo, notou-se que a dureza na zona afetada pelo calor (ZAC) do Strenx 700 MC continuou maior, variando entre aproximadamente 210 a 220 HV.

No metal base (MB) do Strenx 700 MC, os valores de dureza ficaram entre 195 HV, confirmando que o Strenx 700 MC.

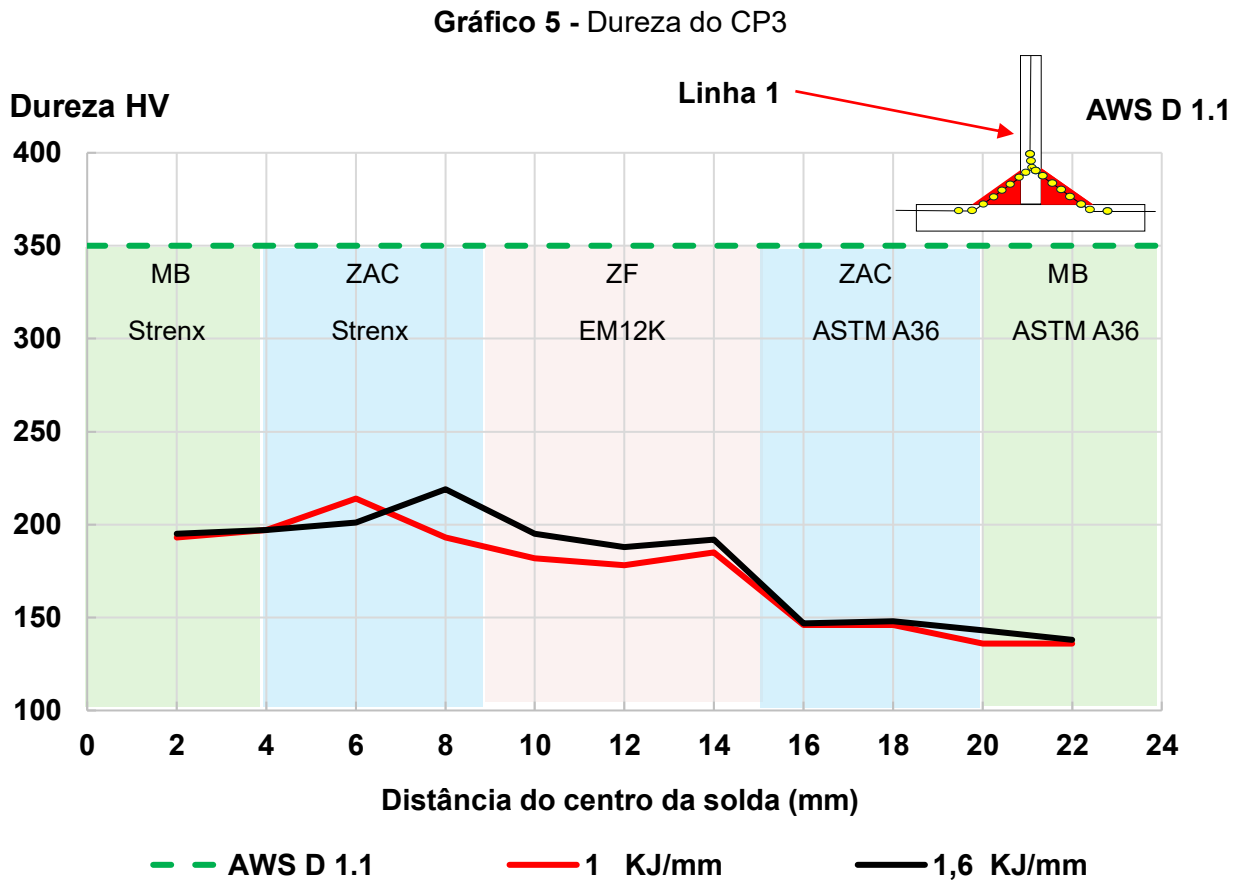
Por outro lado, o MB do aço ASTM A36 teve a variação de dureza na faixa de 148 HV, enquanto na ZAC os valores se aproximaram de 150 HV, indicando que este é o material com menor resistência.

Na região da zona fundida (ZF), a dureza foi elevada, próxima aos valores da ZAC do Strenx 700 MC, chegando a cerca de 220 a 225 HV. Já na ZAC do aço ASMT A36, a dureza foi em torno de 200 HV.

O resultado é que o aço Strenx 700 MC tem uma dureza superior ao ASTM A36 e que os três corpos de provas resultaram na tendência da dureza da ZAC ser maior

que os demais, na ZF, tem alterações mínimas, mas causando que o lado do Strenx 700 MC seja maior.

Nas três análises, observa-se uma tendência de redução gradual da dureza partindo do Strenx 700 MC, sua ZAC, a zona fundida utilizando o arame EM12K, até a ZAC do ASTM A36 e metal de base deste último.



Fonte: Autores (2025)

A Tabela 30 indica os valores obtidos com o terceiro corpo de prova, fornecendo valores reais.

**Tabela 30 – Média de dureza CP 3**

| Média (HV) | MB (Strenx) | ZAC (Strenx) | ZF     | MB (A36) | ZAC(A36) |
|------------|-------------|--------------|--------|----------|----------|
| 1KJ/mm     | 193         | 201          | 182    | 136      | 143      |
| 1,6KJ/mm   | 195         | 206          | 191,66 | 138      | 146      |

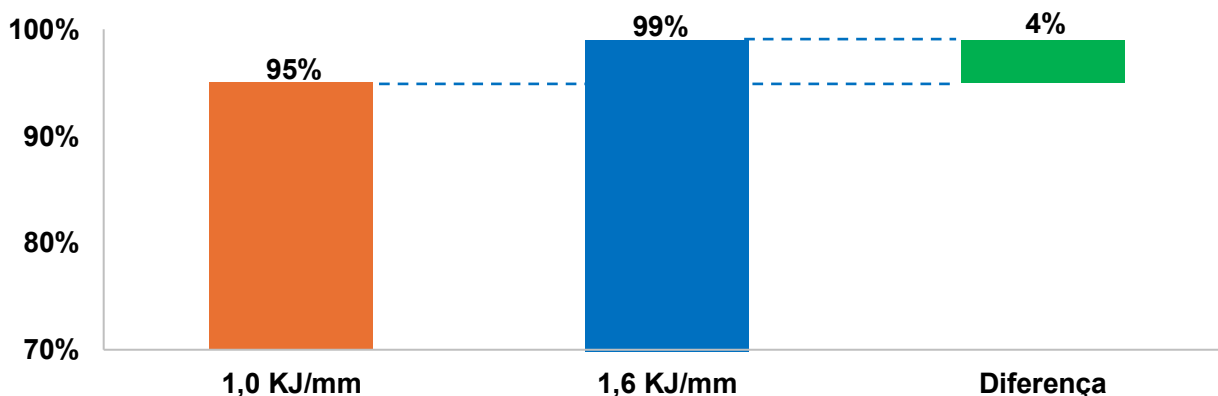
Fonte: Autores (2025).

## 4.5 Custo total

### 4.5.1 Rendimento de deposição

O rendimento de deposição apresentou uma diferença de 4% entre as duas condições de energia de soldagem analisadas. Para a energia de 1,0 kJ/mm, o rendimento registrado foi de 95%, enquanto que para a energia extrapolada de 1,6 kJ/mm, o rendimento atingiu 99%. O Gráfico 6 ilustra claramente o efeito das diferentes energias na eficiência do processo em termos de rendimento, evidenciando a influência direta do aporte energético sobre o desempenho da soldagem e a quantidade de material efetivamente depositada. Esses resultados são essenciais para a otimização dos parâmetros de soldagem, visando melhorar a produtividade e reduzir o desperdício de consumíveis no processo.

**Gráfico 6 - Rendimento de deposição**



Fonte: Autores (2025).

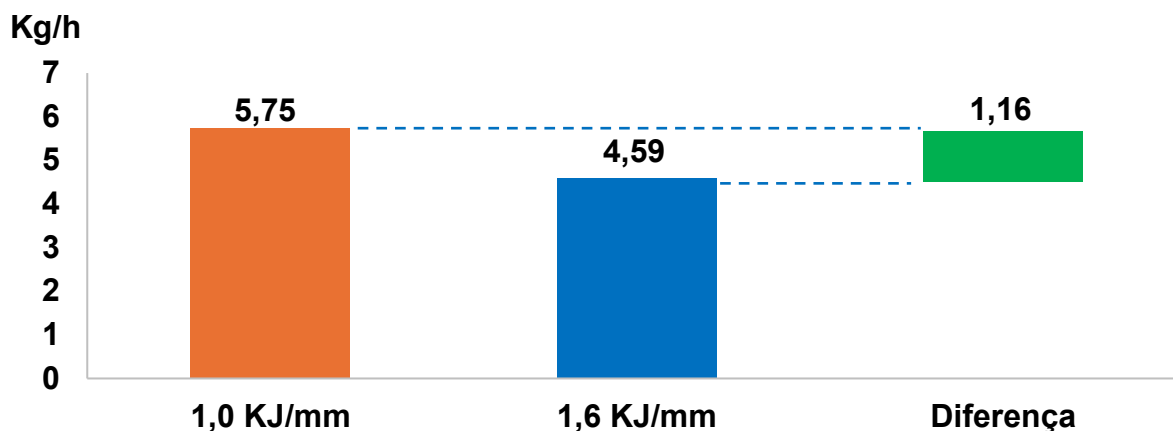
### 4.5.2 Taxa de deposição

No comparativo entre os dois níveis de energia utilizados na soldagem por arco submerso, a condição com energia de 1,0 kJ/mm apresentou maior taxa de deposição (5,75 kg/h) do que a condição com 1,6 kJ/mm (4,59 kg/h). Isso indica que, sob os parâmetros adotados no experimento, o menor aporte de energia permitiu adicionar uma quantidade maior de material por hora à junta soldada.

A diferença observada (1,16 kg/h) mostra que, para estes dados, a energia mais elevada resultou em menor taxa de deposição. Esse resultado pode estar

associado ao comportamento do processo sob diferentes combinações de parâmetros, já que o aumento de energia pode favorecer a fusão e penetração. Conforme Gráfico 7.

**Gráfico 7 - Taxa de deposição.**



Fonte: Autores (2025)

#### 4.5.3 Custo do Processo

Para uma gestão estruturada dos custos do projeto, conforme evidenciado pelos gráficos de 8 a 12, que demonstram o planejamento, estimativa e controle dos investimentos envolvidos, foi efetuada uma análise financeira, empregando cálculos detalhados que incluem não apenas os valores absolutos, mas também a aplicação de percentuais e diferenciações nos aportes de energia de cada processo, o que possibilitou comparar de forma precisa o desempenho e a eficiência de alternativas técnicas empregadas.

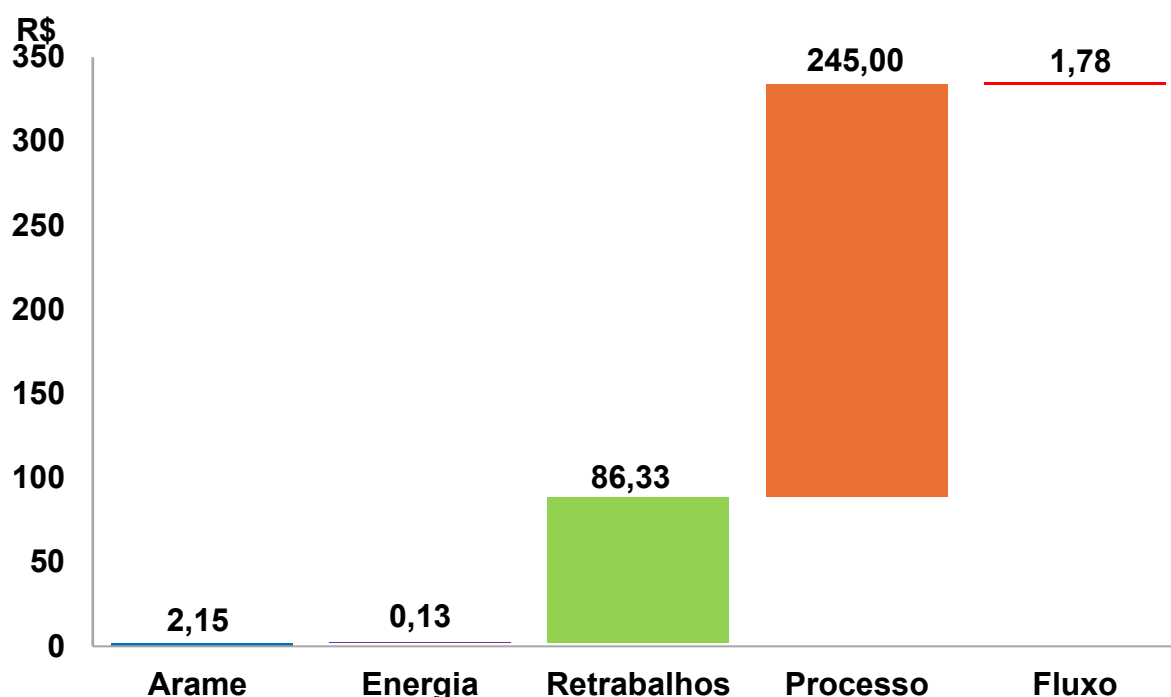
Para a solda realizada com 1,0 kJ/mm, os dados demonstram que um dos responsáveis pelo custo é o item retrabalho, cujo valor expressivo é de R\$ 86,33, refletindo a preparação de uma chapa teste com dimensões pequenas.

Em seguida, observa-se que o processo referente à mão de obra e equipamentos para executar a solda somou R\$ 245,00, mostrando ser um elemento relevante, ainda que inferior ao retrabalho. Já o arame corresponde a R\$ 2,15, representando um fator de custo menor em relação aos anteriores, mas ainda evidenciando o peso da matéria-prima na composição do orçamento.

Os custos associados ao fluxo registraram R\$ 1,78, mostrando que os insumos adicionais também têm o seu valor considerado no processo.

Por fim, a energia apresentou um valor baixo de R\$ 0,13, indicando que, sob estas condições, o consumo elétrico representa uma parcela pequena do custo total conforme o Gráfico 8.

**Gráfico 8 - Custo do Processo de 1,0 kJ/mm**



Fonte: Autores (2025).

Analisando os dados, para 1,0 kJ/mm de aporte de energia de soldagem, observa-se que o maior percentual do custo total está relacionado ao próprio processo, representando 73,05%, o que evidencia a importância de buscar maior eficiência operacional nesta etapa.

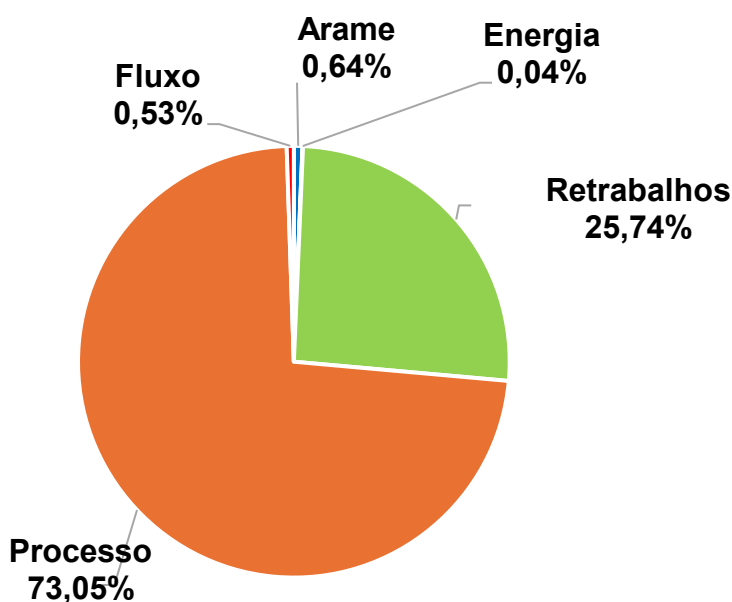
Em segundo lugar, os retrabalhos correspondem a 25,74% do custo total, reforçando a relevância de minimizar essas intervenções para reduzir despesas no processo.

Já os custos do arame representam apenas 0,64% do total, demonstrando uma participação significativamente menor em relação aos demais componentes.

O fluxo contribui com 0,53% dos custos, enquanto a energia elétrica é responsável por 0,04%, evidenciando que o consumo energético tem impacto marginal neste cenário apresentado.

O Gráfico 9 apresenta claramente essa distribuição percentual dos custos envolvidos no processo de soldagem, destacando as contribuições relativas de cada componente para o custo total. Esta visualização gráfica reforça a importância de controlar e otimizar os fatores de maior peso, especialmente o processo e os retrabalhos, para reduzir os custos operacionais e melhorar a eficiência do processo como um todo.

**Gráfico 9 - Custo em porcentagem 1,0 kJ/mm**



Fonte: Autores (2025).

O custo do processo de soldagem com energia de 1,6 kJ/mm foi detalhadamente analisado neste estudo. Observou-se que a maior parte do custo total está relacionada ao próprio processo, que atingiu um valor de R\$ 210,17.

Os retrabalhos aparecem como o segundo maior custo, com R\$ 76,33, evidenciando a importância do controle e redução dessas intervenções para otimizar o custo final do processo.

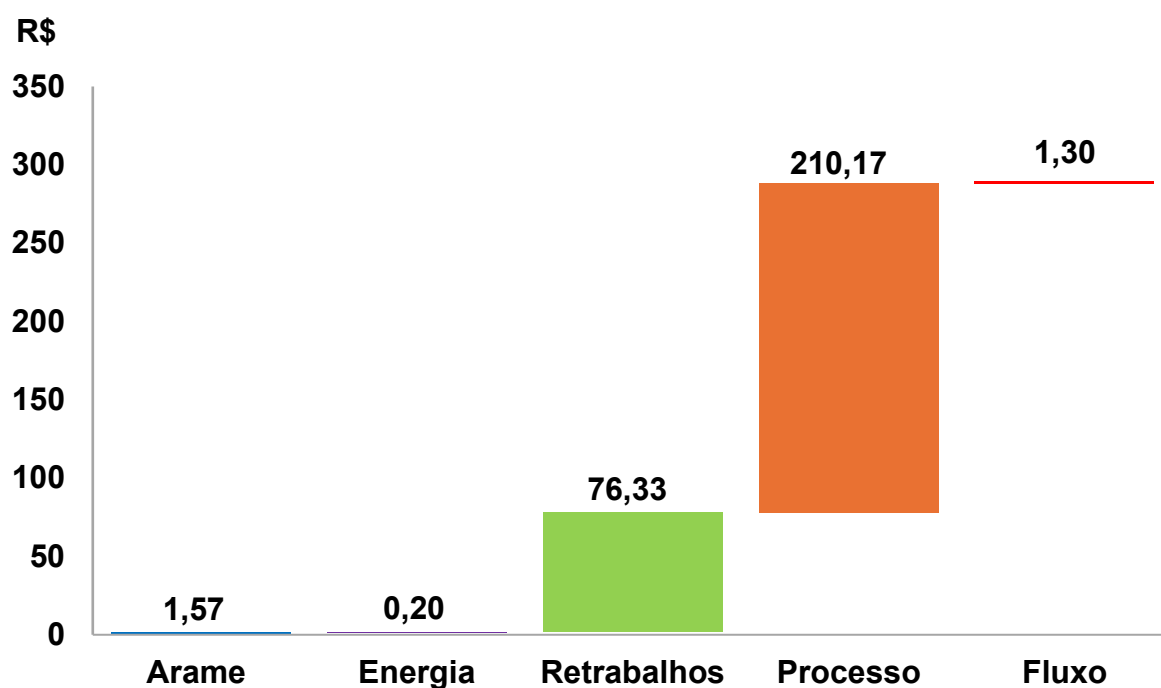
O consumo de arame registrou R\$ 1,57, seguido pelo custo associado ao fluxo, que totalizou R\$ 1,30.

Os custos relacionados à energia elétrica foram mínimos, totalizando apenas R\$ 0,20, demonstrando que têm impacto reduzido no custo geral para o presente estudo.



Esses resultados destacam que o controle rigoroso dos retrabalhos e o uso eficiente dos consumíveis são fundamentais para garantir a produtividade e a sustentabilidade econômica do processo de soldagem. A análise detalhada, conforme o Gráfico 10, dos custos fornece subsídios essenciais para a tomada de decisões em otimização e para o desenvolvimento de estratégias que visem reduzir despesas e aumentar a eficiência operacional em processos industriais.

**Gráfico 10** - Custo do processo de 1,6 kJ/mm



Fonte: Autores (2025).

O Gráfico 11, ao analisar o impacto de cada composição de custo em porcentagem, apresenta dados consolidados prontos para análise e discussão. Conforme identificado no gráfico, o maior percentual do custo total corresponde ao próprio processo, que representa 72,58% do orçamento do processo que. Esse resultado evidencia o forte impacto causado pela etapa de execução, mostrando que a eficiência operacional pode influenciar diretamente os gastos totais.

Em segundo lugar, aparecem os retrabalhos, responsáveis por 26,36% do valor final, reforçando a necessidade de controlar e reduzir correções e ajustes durante a soldagem para melhorar a eficiência e reduzir despesas.

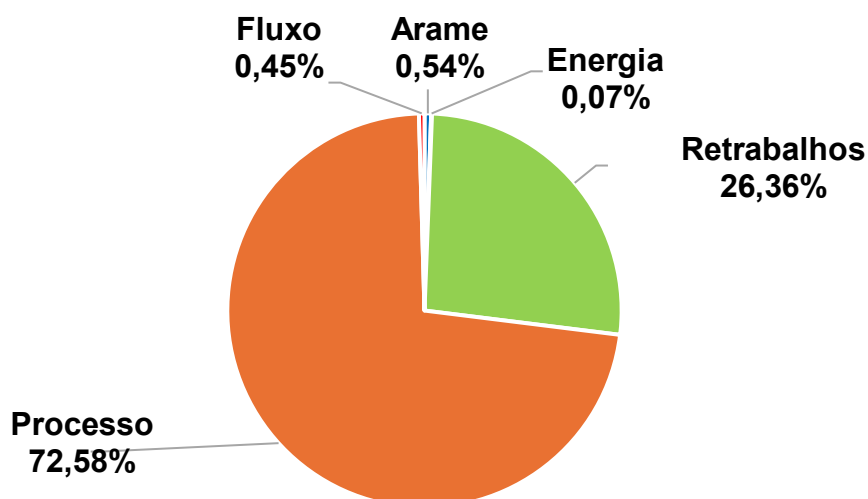
O custo com arame é de 0,54%, indicando uma participação pequena do consumível no orçamento, mas ainda relevante para o processo produtivo.

O item fluxo contribuiu com 0,45% dos custos analisados, mostrando sua influência marginal para assegurar a estabilidade e qualidade da solda, mas justificando a importância do controle desses insumos.

A energia elétrica representou apenas 0,07% do custo total, indicando baixo impacto financeiro desse componente em comparação aos demais itens analisados.

Os dados apresentados neste estudo são fundamentais para o entendimento do cenário atual do processo de soldagem adotado, permitindo identificar os principais pontos críticos e direcionar esforços para ações de melhoria contínua e redução de custos globais. Com isso, o estudo está pronto e disponibiliza todas as informações necessárias para embasar relatórios, discussões técnicas e propostas de otimização no contexto produtivo.

**Gráfico 11** - Custo em porcentagem 1,6 kJ/mm.



**Fonte:** Autores (2025).

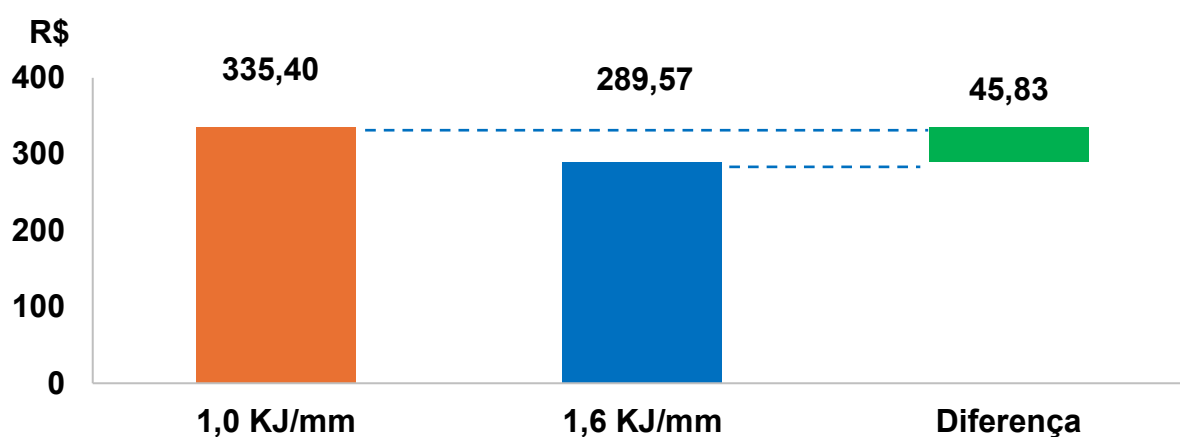
No Gráfico 12, são apresentados os valores comparativos entre os custos dos processos de soldagem utilizando 1,0 kJ/mm e 1,6 kJ/mm de energia térmica, demonstrando que a opção com maior aporte energético proporciona melhor relação custo-benefício. Os resultados mostram que o custo para o processo com 1,0 kJ/mm

resulta em R\$ 335,40, enquanto o processo com 1,6 kJ/mm apresenta um custo reduzido de R\$ 289,57.

A diferença entre os cenários foi de R\$ 45,83, evidenciando o impacto positivo da parametrização térmica mais alta sob a perspectiva da economia operacional.

Esse gráfico permite uma análise precisa da eficiência econômica, destacando como o ajuste da energia de soldagem pode impactar diretamente a redução dos custos do processo e contribuir para escolhas mais estratégicas na gestão industrial.

**Gráfico 12 – Valores Comparativos.**



#### 4.5.4 Custo Total

O custo total do processo de soldagem conforme a Tabela 31 foi obtido a partir da soma dos principais componentes envolvidos, sendo calculados detalhadamente para cada condição de energia térmica aplicada. Para isso, o estudo considerou o consumo de arame, energia elétrica, insumos de fluxo, custo dos retrabalhos e operação do processo, possibilitando uma análise precisa de cada fator.

Na condição de 1,0 kJ/mm, os custos foram organizados da seguinte maneira, o arame totalizou R\$ 2,15, enquanto o custo da energia elétrica foi de R\$ 0,13. O valor referente aos retrabalhos atingiu R\$ 86,33, que representa um dos principais impactos no orçamento geral.

O custo do processo (incluindo mão de obra, operação e equipamentos) registrou R\$ 245,00. Já o fluxo, componente essencial para garantir a estabilidade e qualidade do cordão fundido, foi responsável por um custo de R\$ 1,78. Com a soma

desses componentes, o custo total para o processo com energia de 1,0 kJ/mm chegou a R\$ 335,40.

Na condição de 1,6 kJ/mm, o estudo demonstrou uma variação significativa nos custos. O arame manteve-se em R\$ 1,57, enquanto a energia apresentou leve aumento para R\$ 0,20, devido ao maior aporte térmico do processo.

O valor dos retrabalhos reduziu-se para R\$ 76,33, indicando possível melhora na eficiência do procedimento e redução de intervenções corretivas. O custo com o processo em si foi de R\$ 210,17, refletindo também um ajuste positivo no controle operacional. O custo com fluxo foi de R\$ 1,30, totalizando, assim, um valor final de R\$ 289,57 para o processo com maior energia.

A metodologia adotada priorizou o levantamento, registro e cálculo detalhado de cada parcela do custo, utilizando medições reais do consumo de materiais e energia, bem como do tempo de execução das diversas etapas do procedimento. Dessa forma, os resultados fornecem base sólida para a comparação entre as duas estratégias de energia térmica de soldagem, destacando como a escolha adequada dos parâmetros pode influenciar diretamente os custos, seja pela redução de retrabalhos, pelo aproveitamento de insumos ou pelo ajuste do processo produtivo.

A análise comparativa dos parâmetros mostra que o processo com energia de soldagem de 1,6 kJ/mm apresenta um custo 14% menor em relação ao de 1,0 kJ/mm. Essa diferença representa uma economia significativa na produção, reduzindo o impacto financeiro por unidade fabricada. A escolha do parâmetro mais eficiente contribui diretamente para a otimização dos recursos e maior competitividade do processo industrial.

**Tabela 31 – Comparação de Custos Total**

| <b>Tipo</b> | <b>1,0 kJ/mm (R\$)</b> | <b>1,6 kJ/mm (R\$)</b> |
|-------------|------------------------|------------------------|
| Arame       | 2,15                   | 1,57                   |
| Energia     | 0,13                   | 0,20                   |
| Retrabalhos | 86,33                  | 76,33                  |
| Processo    | 245,00                 | 210,17                 |
| Fluxo       | 1,78                   | 1,30                   |
| Total       | 335,40                 | 289,57                 |

**Fonte:** Autores (2025)

#### **4.6 EPS**

Após aprovação dos corpos de prova conforme critérios do código AWS D1.1 (2020) para a qualificação de soldas em filetes, foi elaborada uma EPS, conforme demonstrado no ANEXO C.

#### **4.7 RQPS**

Para validar a qualificação do procedimento de soldagem seguindo o código AWS D 1.1 (2020), onde foi elaborado o documento de registro da qualificação do procedimento de soldagem (RQPS), conforme ANEXO D.

## 5. CONCLUSÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso avaliou o comportamento da soldagem por arco submerso (SAW) aplicada a juntas dissimilares entre os aços ASTM A36 e Strenx 700 MC, sob diferentes condições de energia de soldagem. Todos os ensaios realizados apresentaram soldas com boa qualidade visual, sem descontinuidades superficiais aparentes e com fusão adequada, demonstrando a viabilidade técnica do processo para este tipo de aplicação.

A análise macrográfica e micrográfica evidenciou que o maior aporte térmico (1,6 kJ/mm) promoveu maior penetração da zona fundida e aumento da largura da zona afetada pelo calor (ZAC), proporcionando maior fusão entre os metais de base e modificando o perfil do cordão. Por outro lado, essa condição não foi acompanhada pelo aumento da taxa de deposição. Os resultados mostraram que a taxa de deposição máxima foi obtida com 1,0 kJ/mm (5,75 kg/h), enquanto para 1,6 kJ/mm foi de 4,59 kg/h. Essa inversão, em relação ao comportamento esperado, reforça que a eficiência do processo depende do ajuste integrado dos parâmetros, como alimentação de arame, tempo de arco aberto e regime de operação, e não apenas do incremento do aporte energético.

A avaliação dos custos revelou que o processo com menor energia de soldagem apresentou custo mais elevado por unidade de metal depositado. Isso ocorreu porque, apesar de ter apresentado maior taxa de deposição, o regime de 1,0 kJ/mm demandou maior tempo de arco aberto e consumo de insumos, como eletricidade e material de adição, para atender o mesmo comprimento de junta soldada. Já a condição com 1,6 kJ/mm teve menor taxa de deposição, porém proporcionou maior eficiência energética em função da maior penetração e da redução do tempo total de soldagem exigido para atingir os parâmetros de qualidade. Assim, contrariamente ao senso comum, o regime com menor aporte não resultou em menor custo para o projeto avaliado.

Esses resultados enfatizam que o sucesso da aplicação de Arco Submerso (SAW) em materiais de alta resistência depende do controle criterioso de todas as variáveis de processo, da adequada preparação das juntas e da avaliação conjunta da qualidade metalúrgica e dos custos operacionais. Embora ambos os regimes garantam integridade e desempenho estrutural compatíveis com os requisitos normativos, a

condição de 1,6 kJ/mm demonstrou-se economicamente mais vantajosa para a realidade experimental deste trabalho.

Finalmente, conclui-se que a escolha dos parâmetros de soldagem deve ser orientada não apenas pela busca da melhor propriedade mecânica ou maior taxa de deposição, mas pelo equilíbrio técnico-econômico da operação, considerando produtividade, custos, qualidade e as particularidades de cada aplicação industrial.



## REFERÊNCIAS

ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial). Relatório setorial: implementos rodoviários 2022. Brasília: ABDI, 2022.

ABNT. NBR ISO 6506-1:2019. Materiais metálicos — Ensaio de dureza Brinell — Parte 1: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ABNT. NBR ISO 6507-1:2019. Materiais metálicos — Ensaio de dureza Vickers — Parte 1: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ABNT. NBR 15900:2021. Aços para estruturas metálicas – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ABNT. NBR 7007:2022. Aços para estruturas rodoviárias e implementos agrícolas. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

AWS D1.1/D1.1M:2020 – SOCIEDADE AMERICANA DE SOLDAGEM. Código de soldagem estrutural – aço. Miami: AWS, 2020.

AWS D17.1/D17.1M:2020 – SOCIEDADE AMERICANA DE SOLDAGEM. Especificação para transferência por fusão para aplicações aeroespaciais. Miami: AWS, 2020.

AWS, 2020. SOCIEDADE AMERICANA DE SOLDAGEM. Guia para avaliação de custos de soldagem. Miami:

AWS. A.17M:2025 – Eletrodos e fluxos de aço carbono para soldagem a arco submerso. Miami: AWS, 2025.WS A5.17/A5

AN AÇOS NOBRE. Disponível em: <https://acosnobre.com.br/> . Acesso em: 14 jun. 2025.

ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres). Anuário estatístico 2023. Brasília: ANTT, 2023.

ASME. Seção IX – Qualificações de soldagem, brasagem e fusão. Código de Caldeiras e Vasos de Pressão. Nova York: ASME, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 15609-1:2019 – Especificação e qualificação de procedimentos de soldagem para materiais metálicos – Parte 1: Especificação do procedimento de transferência para transferência a arco. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM A36/A36M-22 – Especificação padrão para aço estrutural de carbono. West Conshohocken: ASTM International, 2022.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM A588/A588M-22 – Especificação padrão para aço estrutural de alta resistência e baixa liga. West Conshohocken: ASTM International, 2022.

BARRIOS, A.; SILVA, B.; SALLES, C. mecânica do aço de 700 MPa Strenx em relação ao aço ASTM A36 no uso em implementos rodoviários. 2024. Trabalho acadêmico.

BRANDÃO, JE Tecnologia da soldagem. Belo Horizonte: Editora PUC Minas, 2019. E-book.

BRANDI, SD et al. Metalurgia da soldagem. 3.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2018.

CALLISTER, W.; RENISHAW, D. Ciência e engenharia de materiais. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CAMPOS, FR et al. Materiais avançados na indústria de transportes brasileira. São Paulo: Edgard Blücher, 2023.

CAMPOS, LN Controle de qualidade nas configurações de soldagem TIG (GTAW) na fabricação de peças em aço inoxidável. 2018. Monografia (Especialização em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

CARVALHO, JS Caracterização mecânica e microestrutural de solda de amanteigamento dissimilar. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/10809> . Acesso em: 12 jun. 2024.

CODINTER. Soldagem por arco submerso: um guia completo. Disponível em: <https://www.codinter.com/br/soldagem-por-arco-submerso-um-guia-completo/> . Acesso em: 7 de maio de 2025.

DAVIS Jr., JR (Ed.). Manual de metais da ASM: soldagem, brasagem e soldagem com solda. 9ª ed. Materials Park: ASM International, 2015.

DECKER, J. Custos e eficiência em processos de soldagem. São Paulo: Editora Técnica, 2024.

COMITÊ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. EN 10149-2:2023 – Aços para conformação a frio. Bruxelas: CEN, 2023.

FLENNER, P. Manual de aço carbono. Palo Alto: Instituto de Pesquisa de Energia Elétrica, 2007.

FONSECA, EB Influência do fluxo no desempenho de juntas diferentes soldadas por SAW. In: CONGRESSO ABS, 2019. Anais [...]. 2019.

FREITAS, AL; SENA, MP Soldagem por arco submerso: fundamentos, aplicações e variáveis do processo. Soldagem & Inspeção, 2024, v. 45–60.

GIMENES, ALV; RAMALHO, LHM Soldagem: processos e metalurgia. São Paulo: Edgard Blücher, 2020.

INFOSOLDA. Guia prático para compreensão de EPS, RQP e RQS. Disponível em: <https://infosolda.com.br/487-guia-pratico-para-compreensao-eps-rqp-e-rqs/> . Acesso em: 2025.

ISO 9015-1:2001 ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE NORMALIZAÇÃO. – Ensaios destrutivos em soldas de materiais metálicos – Ensaio de dureza – Parte 1: Ensaio de dureza em juntas soldadas a arco. Genebra: ISO, 2001. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/32821.html> .

JORGE, JCF et al. Propriedades mecânicas e microestruturais de juntas soldadas pelo processo a arco submerso com suporte térmico elevado. Soldagem & Inspeção, 2015, p. 347–358.

JONES, A.; BHADESHIA, HKDH. Desenvolvimentos na tecnologia do aço carbono. Ciência e Engenharia de Materiais, v. 45, 2023.

JÚNIOR, ACOC Gestão da qualidade: restrição da produtividade. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) – Barreiro, 2018.

LIBRELATO. Implementos rodoviários ideais para o seu negócio. Disponível em: <https://librelato.com.br/noticias/implementos-rodoviarios-ideais-para-oseu-negocio-581> . Acesso em: 18 jun. 2025.

LIPPOLD, JC. Metalurgia e soldabilidade da soldagem. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015.

LIVROS DO SENAI. Apostila de processos de soldagem. SENAI, 2019.

MARQUES, P.; MODENESI, P.; BRACARENSE, A. Soldagem: fundamentos e tecnologia. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

MODENESI, P. Soldagem: fundamentos e tecnologia. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2022.

MVL PAZINI. [Trabalho]. Caxias do Sul: UCS, 2019.

OLIVEIRA, JPC; SANTOS, TG; MIRANDA, RM Revisitando conceitos fundamentais de inovação para aprimorar a produção aditiva: da teoria à prática. Ciência e Engenharia de Materiais A, v. 139101, 2020.

OLIVEIRA, MA; SILVA, RP Materiais avançados na indústria de implementos rodoviários. São Paulo: Edgard Blücher, 2021.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE NORMALIZAÇÃO. ISO 15614-1:2017 – Especificação e qualificação de procedimentos de soldagem para materiais metálicos — Parte 1: Soldagem a arco e a gás de aços e soldagem a arco de níquel e ligas de níquel. Genebra: ISO, 2017. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/51792.html> . Acesso em: 19 nov. 2025.

PEREIRA, MA; SANTOS, RJ Engenharia de materiais para mobilidade sustentável. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.

RIBEIRO, L. et al. . Apud FREITAS, AL; SENA, MP Soldagem por arco submerso: fundamentos, aplicações e variáveis do processo. Soldagem & Inspeção, v. 1, p. 45–60, 2024.

RODRIGUES, C.; CERSOSIMO, A. Soldagem na indústria do petróleo. Rio de Janeiro: Petrobras, 2022.

SENAI. SENAI Ceará: 80 anos de inovação para o futuro da indústria. Fortaleza: SENAI, 2023.

SILVA, FG Tecnologia da solda. 2. ed. Lisboa: 2014.

SILVA, MC; FONSECA, LF Avaliação microestrutural de revestimentos de solda Inconel 625 depositados pelos processos GMAW e GMAW com eletrodos rotativos. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração, v. e2848, 2024.

SMITH, J. et al. Materiais estruturais avançados em infraestrutura moderna. Amsterdã: Elsevier, 2022.

SSAB. Manual de soldagem do Strenx. SSAB, 2023.

SSAB. Produção e fornecimento de aços de alta resistência. Disponível em: <https://www.ssab.com/pt-br/marcas-e-produtos/strenx/portfolio-de-produto/700> . Acesso em: 2025.

SUMIG. Fabricante de tochas e soldas MIG/MAG, TIG, corte plasma. Disponível em: <https://www.sumig.com/pt/institucional/quem-somos> . Acesso em: 2025.

THAKUR, A.; OLIVEIRA, H.; GABREY, T. Seleção do processo de soldagem a arco através da qualidade e dos custos. Revista Internacional de Engenharia e Tecnologia Atual, v. 6, 2019.





## ANEXO B – Certificado do Strenx 700 MC

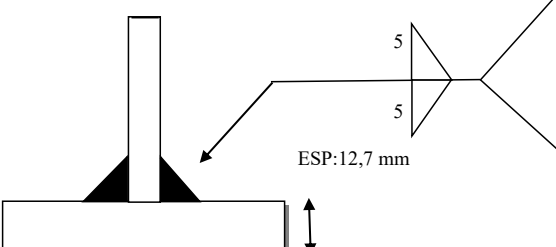
[illegible]

## ANEXO C – EPS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |                                                                                                                                                                                      |  |                                     |  |                                        |  |                                   |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------|--|----------------------------------------|--|-----------------------------------|--|
|                                                                                                                                                                                                                         |  | <b>ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM</b><br><b>(WELDING PROCEDURE SPECIFICATION)</b>                                                                                         |  |                                     |  | <b>EPS (WPS) NR:</b><br><b>SAW 1.1</b> |  | <b>Norma :</b><br><b>AWS D1.1</b> |  |
| <b>PROCESSO:</b> GMAW <input type="checkbox"/> ER: <input type="checkbox"/> Semi-aut.: <input type="checkbox"/> Manual: <input type="checkbox"/><br>SAW <input checked="" type="checkbox"/> TIG: <input type="checkbox"/> Mecaniz.: <input checked="" type="checkbox"/> Autom.: <input type="checkbox"/> |  | <b>Junta</b><br>Topo butt: <input type="checkbox"/> Angulo fillet: <input checked="" type="checkbox"/><br>Aresta edge: <input type="checkbox"/> Sobrep.lap: <input type="checkbox"/> |  | <b>RQPS (PQR)</b><br><b>SAW - 1</b> |  |                                        |  |                                   |  |

ESP: 6 mm



ESP: 12,7 mm

**SOLDA DE FILETE**  
**FILLET WELD**

|                                                                                                                                        |  |                                                                                                                                                                                      |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Mat. Espec.</b> <b>ASTM A 36 Grupo 1 Pnr 1</b><br><b>Mat. Espec.</b> <b>STRENX 700 MC</b>                                           |  | Faixa de esp. thickness range (mm): 6 a 12 <b>Chanfro groove: N/A</b><br>Faixa de diam. (mm) Chanfro: Angulo fillet: N/A                                                             |  |
| e-aquecim. pre-heat min: (°C) N/A<br>ter-passe interpass: max: (°C) N/A<br>ps-aquec. post-heat (°C) N/A                                |  | Metodo: N/A<br>Controle: N/A<br>Tempo time (min): N/A                                                                                                                                |  |
| <b>Mat. de adição</b> filler metal<br>spec. e Class. AWS: A5.17 / EM12K<br>Nr 6<br>Nr 1<br>itola size (mm) 2,4<br>abricante brand ESAB |  | Processo: SAW<br>Processo: SAW<br>A5.17 / F7A2<br>N/A<br>Granulação Refinados<br>ESAB                                                                                                |  |
| <b>Let. de solda depos.</b><br>pos. weld metal                                                                                         |  | Faixa de espessura thickness range:<br>N/A N/A                                                                                                                                       |  |
| Em chanfro butt (mm): N/A<br>Em angulo fillet (mm): TODAS                                                                              |  | TIG Eletrodo: N/A Diam. (mm): N/A<br>Diam. do bocal cup size (mm): N/A<br>SAW Diam. do bocal cup size (mm): 18 mm<br>SAW Stick-out (mm): 35 mm<br>AT Transferencia trnsfer mode: N/A |  |
| utro other: N/A                                                                                                                        |  | N/A                                                                                                                                                                                  |  |

| Camada bead | Processo process | Met. de adição filler metal classification | diametro | Corrente polarid amperagem(A) | Voltagem (V) | Velocidade (cm/min) | Observações                                                                                |
|-------------|------------------|--------------------------------------------|----------|-------------------------------|--------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1           | SAW              | A 5.17                                     | 2.4      | DCEP 250                      | 30           | 45                  | Cordão 1: Parâmetro está dentro da faixa recomendada pela calculadora SSAB                 |
| 2           | SAW              | A 5.17                                     | 2.4      | DCEP 300                      | 40           | 45                  | Cordão 2: Parâmetro está extrapolado (fora do limite) da especificação da calculadora SSAB |
|             |                  |                                            |          | +/-10%                        | +/- 7%       |                     |                                                                                            |

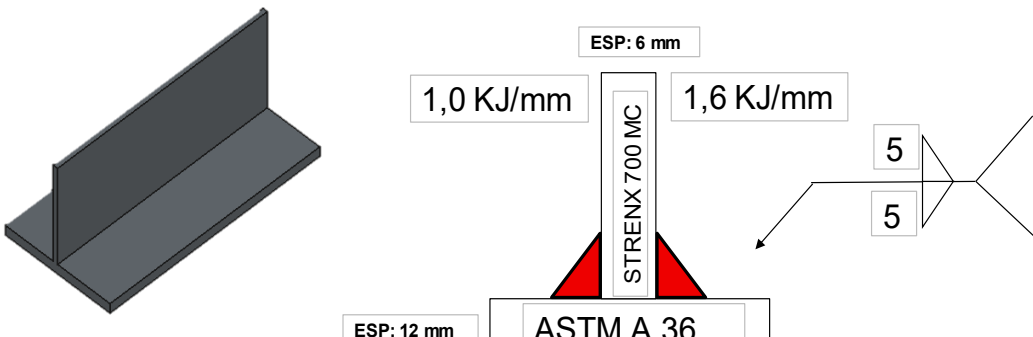
|                                                                                                                                                                      |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Preparação da junta</b> joint preparation: Mecanizada Limpeza<br>inicial initial cleaning: lixadeira<br>Limpeza entre passes interpass cleaning: Escória removida |  | Goivagem gouging: N/A<br>Passe pass (por lado per side): simples single: <input type="checkbox"/> multiplo multipass: <input checked="" type="checkbox"/><br>Cordão bead: retilíneo straight: <input checked="" type="checkbox"/> oscilado waved: <input type="checkbox"/> larg. max. max width (mm): |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

otas: EPS Para cordão 1 e 2, onde o cordão 1 está dentro da especificação da calculadora SSAB e o cordão 2 estará fora da especificação da calculadora sendo com os valores extrapolado.

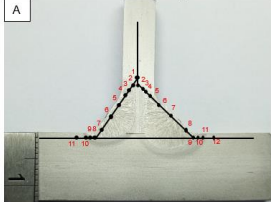
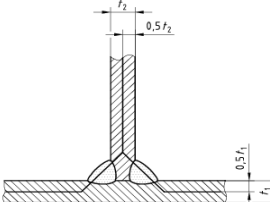
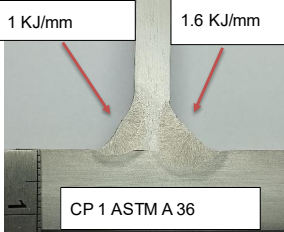
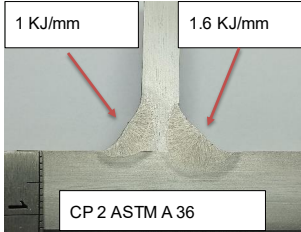
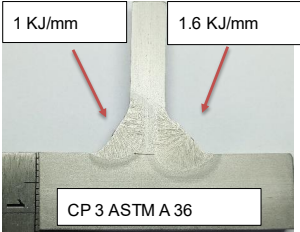
  

|                                                                          |                         |                                |                           |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| <b>INSPEÇÃO DE SOLDAGEM</b><br>Welding Inspector<br>XXXXXXXX<br>SNQC IS2 | <b>EMPRESA</b><br>FATEC | <b>Responsável</b><br>FERNANDO | <b>DATA</b><br>25/11/2025 |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------------------|

## ANEXO D- RQPS

|                                                                                                                                                                                                                                       |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                      |                                                                                                              |                                            |                                                                |                                     |                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
|  <b>FATEC</b><br>Faculdade de Tecnologia                                                                                                             |                       | <b>REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM</b><br>(WELDING PROCEDURE QUALIFICATION RECORD)                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                      |                                                                                                              |                                            | <b>RQPS:</b><br>(PQR) <small>FL1/2</small><br>Norma : AWS D1.1 |                                     |                      |
| EPS: (WPS) :                                                                                                                                                                                                                          | PROCESSO (PROCESS)    | ER (SMAW): <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | MIG (GMAW): <input type="checkbox"/> | SEMI-AUTOM: <input type="checkbox"/>                                                                         | MANUAL: <input type="checkbox"/>           |                                                                |                                     |                      |
|                                                                                                                                                                                                                                       |                       | SAW : <input checked="" type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | MAG (GMAW): <input type="checkbox"/> | AUTOMATICO: <input type="checkbox"/>                                                                         | MECAN: <input checked="" type="checkbox"/> |                                                                |                                     |                      |
|                                                                                                                                                     |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                      |                                                                                                              |                                            |                                                                |                                     |                      |
| <b>POSIÇÃO: 1 F      L= 300 mm</b>                                                                                                                                                                                                    |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                      |                                                                                                              |                                            |                                                                |                                     |                      |
| <b>METAL</b> Especificação (spec): <b>ASTM A 36</b><br><b>BASE</b> Tipo ou grau (type or grade): <b>GRUPO 1 Pnr 1</b><br>(BASE      Espessura (thickness) mm: <b>12,7 mm</b><br>METAL)      Certificado (certificate): <b>6006069</b> |                       | Especificação (spec): <b>STREX 700 MC</b><br>P n°, Tipo ou grau (type or grade): <b>N/A</b><br>Espessura (thickness) mm: <b>6 mm</b><br>Certificado (certificate): <b>00667668</b>                                                                                                                                                                                                     |                                      |                                                                                                              |                                            |                                                                |                                     |                      |
| Preaquec. (preheating) °C: <b>N/A</b>                                                                                                                                                                                                 |                       | Metodo: <b>N/A</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                      | Alívio de tensões (PWHT): <b>N/A</b>                                                                         |                                            | Norma (code): <b>N/A</b>                                       |                                     |                      |
| Interpasse max. °C: <b>N/A</b>                                                                                                                                                                                                        |                       | Controle: <b>N/A</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                      | Patamar (soaking temp.) °C: <b>N/A</b>                                                                       |                                            | Tempo (soaking time.) <b>N/A</b>                               |                                     |                      |
| Pos-aquec. (pos-heating) °C: <b>N/A</b>                                                                                                                                                                                               |                       | Tempo (time) min. h: <b>N/A</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                      | Aquec. (heating rate.) °C/h: <b>N/A</b>                                                                      |                                            | Resfr. (cooling rate) °C/h: <b>N/A</b>                         |                                     |                      |
| Obs:                                                                                                                                                                                                                                  |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                      | Início (start) °C: <b>N/A</b>                                                                                |                                            | Fim (end) °C: <b>N/A</b>                                       |                                     |                      |
| <b>METAL DE ADIÇÃO</b> (filler metal)<br>Espec. (specification): <b>AWS 5.17</b><br>Classific. : <b>EM12K</b><br>F Number : <b>6</b> A Number: <b>1</b><br>Marca (brand): <b>ESAB</b><br>Certif: <b>N/A</b>                           |                       | <b>CARACTERÍSTICAS ELETRICAS</b> (electrical characteristic): ver tabela abaixo (see below)<br>Fonte (font): <b>Lincoln IDEALARC 1000</b><br>Eletrodo de Tungstenio (tungsten electrode) <b>N/A</b> Diâmetro (size) mm:<br>Transferência (transfer mode) (MIG-MAG): <b>N/A</b><br>Distância bico-peça (stick out) mm: <b>35</b> Diâmetro do bocal (gas cup size) mm: <b>18</b><br>Obs: |                                      |                                                                                                              |                                            |                                                                |                                     |                      |
| GÁS : Proteção (shielding) : <b>N/A</b><br>Auxiliar (trailing) : <b>N/A</b><br>Da raiz (baking) : <b>N/A</b>                                                                                                                          |                       | Vazão (flow rate) l/min: <b>N/A</b><br>Vazão (flow rate) l/min: <b>N/A</b><br>Vazão (flow rate) l/min: <b>N/A</b>                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                      | <b>OPERADOR: MARIA ISABELLA</b><br><b>SINETE (staamp nr): 2570982311009</b><br><b>CHAPA (clock nr): 2025</b> |                                            |                                                                |                                     |                      |
| <b>TECNICA (technique) : Preparação da junta (joint preparation): Mecanizada</b>                                                                                                                                                      |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                      |                                                                                                              |                                            |                                                                |                                     |                      |
| Limpeza inicial (initial cleaning) : <b>Esmerilhamento, Escova</b>                                                                                                                                                                    |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                      |                                                                                                              |                                            |                                                                |                                     |                      |
| Limpeza entre passes (interpass cleaning) : <b>N/A</b>                                                                                                                                                                                |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                      |                                                                                                              |                                            |                                                                |                                     |                      |
| Remoção da raiz (back gouging) : <b>N/A</b>                                                                                                                                                                                           |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                      |                                                                                                              |                                            |                                                                |                                     |                      |
| Passe por lado (per side pass) : <b>N/A</b> simples (single): <b>X</b> múltiplo (multiple):                                                                                                                                           |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                      |                                                                                                              |                                            |                                                                |                                     |                      |
| Cordão (bead) : <b>RETILENIO (string): X</b> Oscilado (weave):      Largura max. (max. bead size) mm: <b>6</b>                                                                                                                        |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                      |                                                                                                              |                                            |                                                                |                                     |                      |
| Martelamento (peening): <b>N/A</b>                                                                                                                                                                                                    |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                      |                                                                                                              |                                            |                                                                |                                     |                      |
| Obs:                                                                                                                                                                                                                                  |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                      |                                                                                                              |                                            |                                                                |                                     |                      |
| CAMADA/<br>PASSE<br>(Layer/pass)                                                                                                                                                                                                      | PROCESSO<br>(process) | METAL DE ADIÇÃO<br>(Filler metal)<br>CLASSIFIC.      DIAM. mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                      | CORRENTE (current)<br>POLAR.      AMPERAGEM (A)                                                              |                                            | VOLT<br>V                                                      | VELOCID<br>(travel speed)<br>cm/min | OBS.                 |
| 1 - 1                                                                                                                                                                                                                                 | SAW                   | AWS 5.17                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2.4                                  | DCEP                                                                                                         | 250                                        | 30                                                             | 45                                  | Energia de 1.0 kJ/mm |
| 2 - 2                                                                                                                                                                                                                                 | SAW                   | AWS 5.17                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2.4                                  | DCEP                                                                                                         | 300                                        | 40                                                             | 45                                  | Energia de 1.6 kJ/mm |

## Continuação da RQPS.

| <b>ENSAIO DE TRAÇÃO</b><br>(TENSILE TEST)<br>LEGENDA (CODIFICATION):<br>1 - PRISMÁTICA 2 - CILÍNDRICA<br>3 - TUBULAR<br>A - TRANSVERSAL B - LONGITUDINAL<br>MB - METAL BASE (BASE METAL) S - SOLDA<br>ZAT - ZONA AFETADA TERMICAMENTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | TIPO<br>(typ)                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | CP N°<br>Spec. n°                                                                                              | DIMENSÕES<br>Dimensions (mm) | AREA<br>(mm²)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | CARGA<br>Load (kgf) | Resistência<br>Strenght (Mpa)      | Local<br>location | RQPS: 1<br>SAW: 1<br>(PQR) FI 2/2 |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|-----|----|-----|---|-----|----|-----|---|-----|----|-----|---|-----|----|-----|---|-----|--|--|---|-----|--|--|---|-----|--|--|---|-----|--|--|---|-----|--|--|---|-----|--|--|---|-----|--|--|---|-----|--|--|---|-----|--|--|---|-----|--|--|---|-----|--|--|---|-----|--|--|---|-----|--|--|---|-----|--|--|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                                    |                   | Lab: FATEC ITAQUERA               |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                                    | SOLDA             | <b>CERTIFICADO</b>                |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                                    |                   | <b>REL 0001/20</b>                |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
| <b>DOBRAMENTO</b><br>(BEND TEST)<br>LEGENDA (CODIFICATION):<br>1 - LATERAL<br>2 - FACE<br>3 - RAIZ (ROOT)<br>A - TRANSVERSAL<br>B - LONGITUDINAL<br>A - APROVADO<br>B - REPROVADO<br><b>FIG QW462.2</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | LABORATÓRIO: TORK                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                | CERTIFICADO: REL 0001/20     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | TIPO<br>(typ)                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | CP N°<br>Spec. n°                                                                                              | CUTELO<br>Bend. Diam<br>(mm) | ESPAÇAMENTO<br>SPACING<br>(mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | ANGULO<br>ANGLE     | DESCONTINUIDADES<br>DISCONTINUITES |                   | LAUDO<br>RESULT                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | DL1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | DL2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | DL3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
| <b>IMPACTO</b><br>Temperatura °C:<br>Entalhe (notch):<br>Norma (code)<br>Dimens (mm)<br><b>LAUDO (RESULT)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | LABORATÓRIO:                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                | CERTIFICADO:                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | CP N°<br>Spec. n°                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Local<br>location                                                                                              | RESULT<br>(J)                | CP N°<br>Spec. n°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Local<br>location   | RESULT<br>(J)                      | CP N°<br>Spec. n° | Local<br>location                 | RESULT<br>(J) |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
| <b>SOLDA EM ANGULO</b><br>(FILLET WELD)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | MACROGRAFIA.: CP1: Visual aprovado: diferença entre pernas (difference in the length of the legs): SIM<br>CP2: Visual aprovado: diferença entre pernas (difference in the length of the legs): SIM<br>CP3: Visual aprovado: diferença entre pernas (difference in the length of the legs): SIM<br>OBS LAUDO(Results) |                                                                                                                |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
| <b>DUREZA (Hardness):</b> NA: <input type="checkbox"/> NORMA (AWS D1.1) UNIDADE (unity): HV <input checked="" type="checkbox"/> HRb <input type="checkbox"/> HB <input type="checkbox"/><br>LABOR: FATEC CERTIF. N/A LAUDO (results) APROVADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                             |                              | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ponto</th> <th>Valor</th> <th>Ponto</th> <th>Valor</th> <th>Ponto</th> <th>Valor</th> <th>Ponto</th> <th>Valor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>187</td><td>10</td><td>146</td><td>1</td><td>204</td><td>10</td><td>142</td></tr> <tr><td>2</td><td>221</td><td>11</td><td>136</td><td>2</td><td>195</td><td>11</td><td>131</td></tr> <tr><td>3</td><td>214</td><td></td><td></td><td>3</td><td>219</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>206</td><td></td><td></td><td>4</td><td>221</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>187</td><td></td><td></td><td>5</td><td>204</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>195</td><td></td><td></td><td>6</td><td>206</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>190</td><td></td><td></td><td>7</td><td>199</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>164</td><td></td><td></td><td>8</td><td>145</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>145</td><td></td><td></td><td>9</td><td>142</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> |                     |                                    |                   |                                   | Ponto         | Valor | Ponto | Valor | Ponto | Valor | Ponto | Valor | 1 | 187 | 10 | 146 | 1 | 204 | 10 | 142 | 2 | 221 | 11 | 136 | 2 | 195 | 11 | 131 | 3 | 214 |  |  | 3 | 219 |  |  | 4 | 206 |  |  | 4 | 221 |  |  | 5 | 187 |  |  | 5 | 204 |  |  | 6 | 195 |  |  | 6 | 206 |  |  | 7 | 190 |  |  | 7 | 199 |  |  | 8 | 164 |  |  | 8 | 145 |  |  | 9 | 145 |  |  | 9 | 142 |  |  |
| Ponto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Valor                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Ponto                                                                                                          | Valor                        | Ponto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Valor               | Ponto                              | Valor             |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 187                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 10                                                                                                             | 146                          | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 204                 | 10                                 | 142               |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 221                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 11                                                                                                             | 136                          | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 195                 | 11                                 | 131               |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 214                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                |                              | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 219                 |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 206                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                |                              | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 221                 |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 187                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                |                              | 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 204                 |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 195                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                |                              | 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 206                 |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
| 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 190                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                |                              | 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 199                 |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
| 8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 164                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                |                              | 8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 145                 |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
| 9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 145                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                |                              | 9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 142                 |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
| <b>OUTROS EXAMES (OTHER TESTS)</b><br><div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;">         As figuras a seguir representam os três corpos de prova em suas respectivas macrografias do CP-1; CP-2; e CP-3       </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>1 KJ/mm 1.6 KJ/mm</p> <p>CP 1 ASTM A 36</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>1 KJ/mm 1.6 KJ/mm</p> <p>CP 2 ASTM A 36</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>1 KJ/mm 1.6 KJ/mm</p> <p>CP 3 ASTM A 36</p> </div> </div> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
| <b>EXAME VISUAL (visual examitnation): CRITÉRIO: AWS D1.1 LAUDO (results): APROVADO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
| Certificamos que as informações contidas neste documento estão corretas e que os corpos de prova foram preparados e ensaiados de acordo com a Norma indicado no cabeçalho.<br>We certify that the staments in this record are correct and that welds were prepared, welded and tested, welded and tested in accordance with the requirements of the above mentioned Code.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                |                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                                    |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |
| INSPECTOR DE SOLDAGEM NIVEL 2<br>LEVEL 2 QUALIFIED WELDING INSPECTOR<br><br>SNQC ISXXXN2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <br>Faculdade de Tecnologia |                              | MARIA ISABELLA<br>Engenharia de Produção                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                     | DATA<br>25/11/2025                 |                   |                                   |               |       |       |       |       |       |       |       |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |   |     |  |  |