



ANÁLISE DE JUNTA DISSIMILAR SOLDADA COM ELETRODO ER70S-6 NO MATERIAL STRENX 700 COM AÇO ASTM A-36

Ricardo Nuernberg Dal Molin¹

Anderson Daleffe²

Gilson De March³

Henrique Cechinel Casagrande⁴

Resumo: O transporte de cargas por meio rodoviário é um dos principais modos de transporte utilizado no mundo. No Brasil o transporte de cargas por meio rodoviário é extremamente importante e dominante. Esta indústria é responsável pela fabricação de equipamentos complementares ao caminhão, destinados para o transporte de mais variados tipos de cargas. Perante um mercado cada vez mais competitivo, buscando sempre a redução de peso e o aumento da qualidade do produto fabricado, para isso implementam-se aços de alta resistência, a problemática analisada é de ordem estrutural, pois nesses tipos de juntas é comum ocorrer quebra (trincas, fissuras, rompimento e cisalhamento), isso se dá por diversos fatores, vibração do equipamento, torção, excesso de carga ou também por um material de adição não adequado. A metodologia de estudo foi baseada no comportamento estrutural de uma junta soldada de aços dissimilares, utilizando o aço ASTM A36 e o aço Strenx 700, a fim de caracterizar mecânica e metalurgicamente as mesmas, utilizando o processo de soldagem GMAW (Gas Metal Arc Welding) com o arame ER70S-6, onde a junta foi submetida a realização de ensaios de tração, dobramento macrografia e micro dureza. Com os resultados dos ensaios o material de adição se mostrou eficaz, porém é necessário que sejam analisados outros fatores que possam vir a fazer com que esta junta dissimilar venha a romper.

Palavras-Chave: Transporte de cargas, Processo de soldagem GMAW, Aços dissimilares, arames sólidos.

1 INTRODUÇÃO

O transporte de cargas por meio rodoviário é um dos principais modos de transporte utilizado no mundo. No Brasil o transporte de cargas por meio rodoviário é extremamente importante e dominante. De fato, o Brasil possui uma das maiores malhas rodoviárias do mundo, com mais de 1,7 milhões de km de estradas o que facilita a movimentação de mercadorias em todo o país. No entanto a infraestrutura

¹ Graduando em Engenharia Mecânica. E-mail: ricardo.nd@terra.com.br

² Professor do Centro Universitário UniSATC E-mail: anderson.daleffe@satc.edu.br

³ Mestrando do Centro Universitário UniSATC E-mail: gilson.march@satc.edu.br

⁴ Mestrando do Centro Universitário UniSATC E-mail: henrique_cechinel@hotmail.com



das rodovias nem sempre está em ótimas condições, com trechos malconservados a qual fazem com que o implemento sofra maior esforço na sua utilização (CNT, 2022).

Esta indústria é responsável pela fabricação de equipamentos complementares ao caminhão, destinados para o transporte do mais variados tipos de cargas. Segundo Goldenstein no ramo da fabricação implementos rodoviários, há um amplo espaço para o desenvolvimento de eficiência operacional, bem como qualidade do equipamento e sua produtividade. E Vieira ainda afirma que este setor não é muito estudado em meios acadêmicos e que há uma grande escassez deste assunto na literatura, mesmo com a grande importância que exerce no mercado brasileiro de transporte (Goldenstein, 2006).

Perante um mercado competitivo, busca-se a redução de peso e o aumento da qualidade do produto fabricado, para isso implementam-se aços de alta resistência, porém muitas vezes esses aços, quando submetidos ao processo de soldagem, são unidos através de aços comuns do mercado.

O processo de manufatura metalomecânica mais utilizado e o mais popular dentro da indústria mundial na atualidade é sem dúvida a soldagem. Ela evoluindo de forma expressiva ao longo do tempo, incorporando novas tecnologias, novos processos, e novos estudos.

Na fabricação destes implementos utiliza-se o processo de soldagem MIG (Metal Inert Gas) / MAG (Metal Active Gas) que visa à união de dois materiais, neste caso aços dissimilares, onde um dos responsáveis por garantir essa união é o arame.

Nas juntas propostas nessa pesquisa, que são dissimilares, é comum ocorrer avaria (quebra) na região da zona termicamente afetada - ZTA, deve-se destacar que problemas com as juntas soldadas que envolvem aços de alta resistência apresentam muitas questões a serem analisadas.

Todos estes problemas acarretam um atraso nas linhas de produção, e problemas para o consumidor final qual gera prejuízos ao ocorrer a quebra do seu implemento, contudo, esse trabalho se justifica pois atualmente a indústria possui a necessidade de geração de dados técnicos a partir de estudos de engenharia para analisar o comportamento destes materiais nas regiões soldadas.

O presente trabalho busca analisar estas juntas dissimilares que são soldadas com material de adição comum na fabricação de implementos rodoviários,



gerando dados técnicos destas soldagens e melhorias no processo de projetos e fabricação de implementos rodoviários.

Para isso, faz-se necessário analisar as modificações nas propriedades mecânicas dos aços quando submetidos ao processo de soldagem.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

A busca contínua pela melhor qualidade do produto fabricado é uma meta essencial para muitas empresas. Isso envolve várias etapas, desde a seleção dos materiais até o controle de qualidade durante o processo de fabricação.

Quando se trata da escolha dos materiais, é importante considerar fatores como durabilidade, desempenho, segurança e sustentabilidade. As empresas buscam identificar e utilizar os melhores materiais disponíveis para garantir a qualidade do produto. Isso pode envolver a realização de pesquisas de mercado, testes de laboratório e análise das propriedades dos materiais (Israel Jorge C. Vieira e Jorge Luiz T. Manzato.2018).

Com a busca destes novos materiais alguns parâmetros podem comprometer a qualidade ao serem desconsiderados, mal executados ou até mesmo negligenciados. Portanto é fundamental conhecermos intimamente os processos, parâmetros e características dos materiais a serem empregados, e seguir as normas afim de garantir a qualidade final.

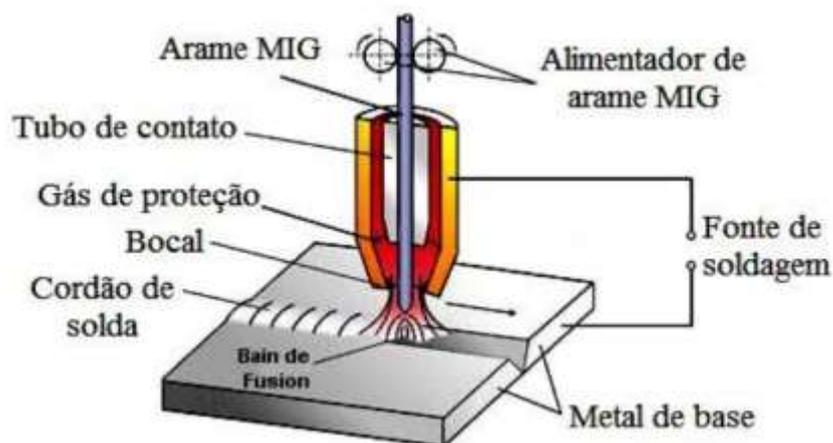
2.1 SOLDAGEM MIG/MAG (GMAW)

As primeiras informações conhecidas sobre processo de soldagem GMAW (Gas Metal Arc Welding) data-se do início da década de 1920, mas tornando-se viável a partir do final da década de 1940, com os estudos de H.F. Kennedy desenvolvendo o processo MIG segundo Ziedas (1997). Veiga (2011), fala que o processo de solda MIG\MAG é aquele que utiliza um arco elétrico gerado entre o material de alimentação e material base, com esse arco elétrico é gerando o calor necessário para a fusão de todas as partes e protegido por um gás que além de proteger ajuda também no processo de fusão do material.

Segundo Modenesi e Marques (2006), o que difere o tipo de soldagem ser MIG ou MAG, é o tipo de gás, que pode ser ativo MAG para soldagens de materiais ferrosos ou inerte MIG para materiais não ferrosos.

Esse processo é considerado semiautomático pois não há a necessidade e muitas paradas para troca do material de alimentação. A figura 1 mostra o processo MIG/MAG e uma parte da tocha de soldagem.

Figura 1-Esquema ilustrativo da manipulação MIG/MAG



Fonte: (http://epa.soudage.free.fr/tig/procede_mig.JPG).

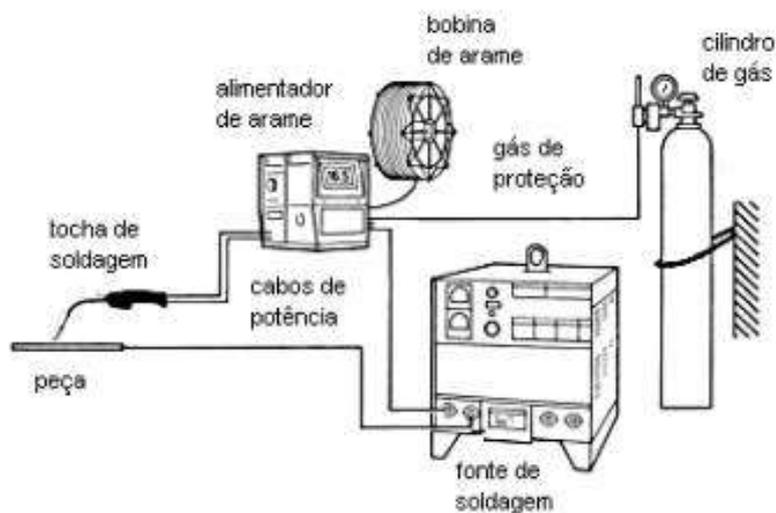
Entre algumas vantagens do processo de solda GMAW destacam-se, a superação de eletrodos com comprimentos limitados, a posição de soldagem em relação a soldas como a com arco submerso, que se restringem a apenas na posição horizontal, a velocidade de soldagem em relação à solda com eletrodo revestido,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

2.1.1 Equipamentos

O equipamento básico para soldagem GMAW consiste de fonte de energia, tocha de soldagem, fonte de gás e alimentador de arame. A fonte de energia é responsável por fornecer energia para a fusão do material, sendo de diferentes tecnologias e características; a tocha de soldagem leva o arame, gás e os fluxos de corrente elétrica até a poça de fusão. A fonte de gás é responsável por manter o

sistema com fluxo contínuo durante a operação e o alimentador de arame fornece o consumível até a poça de fusão com velocidade constante. (Gilapa, 2008). Segundo Pontel (2016) a distância do bico de contato e da peça, tensão elétrica, velocidade de soldagem e ângulo da tocha em relação a peça são outros parâmetros que podem ser definidos. Na figura 2 mostra os equipamentos básicos para o processo de soldagem mig/mag.

Figura 2 – equipamentos básicos de soldagem



Fonte: LabSolda (2005)

2.2 CONSUMÍVEIS

Segundo a norma AWS a definição é: “Consumíveis de soldagem são todos os materiais empregados na deposição ou proteção da solda”, ou seja, é todo material depositado e os que fazem a proteção da poça de fusão, alguns exemplos são:

- Eletrodos revestidos
- Varetas
- Arames sólidos e tubulares
- Fluxos em pó
- Gases de proteção



2.2.1 Arame classe ER70S-6

O arame de solda ou eletrodo é um dos consumíveis utilizados no processo de soldagem, responsável por se fundir a peça, fazendo a ligação de duas ou mais partes. Segundo Marques, et al. (2005) no mercado existe muitos tipos de arames, que produzem soldas com diferentes características, seguindo normas que regem a composição química do mesmo, existe sistemas propostos por diferentes sociedades, entre elas AWS (American Welding Society), DIN (Deutsches Institut für Normung), AFNOR (Association Française de Normalisation), ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), ISO (International Organization for Standardization), Etc. (Marques, 2005)

No Brasil aplica-se a norma técnica AWS (American Welding Society) na maioria das vezes. Para aços de médio e baixo carbono os consumíveis são determinados pelas normas AWS A 5.18 e A 5.28, onde diz algumas propriedades químicas e mecânicas são obrigatórias, como mostrado na representação da nomenclatura abaixo:

ER XX Y – Z

ER – Designa eletrodo na forma de arame ou vareta

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

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

Z – Designa a faixa de composição química

Segundo a fabricante de arames BELGO ARAMES o arame ER70S-6 pode ser aplicado em aços carbono em geral, também indicado para soldagem de chapas finas até chapas grossas também diz que este arame sólido tem uma boa fluidez da poça de fusão. Quando é usado na transferência por curto-circuito obtém uma grande eficiência com relação a deposição de material. (BELGO ARAMES,2023)

As principais características e benefícios deste arame é a sua versatilidade, boas propriedades de resistência, baixo respingo e estabilidade no arco. Abaixo temos a tabela 1 de composição química e na tabela 2 as propriedades mecânicas deste arame.



Tabela 1: Composição química especificado do arame ER70S-6

C (%)	Si (%)	Mn (%)
0,085	0,85	1,45

Fonte: BELGO ARAMES (2023)

Tabela 2: Propriedades mecânicas típicas do arame ER70S-6

C (%)	Limite Escoamento	Limite de Resistência	Alongamento
80% Ar - 20% CO ₂	470 MPa	560 MPa	25%
100% CO ₂	430 MPa	530 MPa	24%

Fonte: BELGO ARAMES (2023)

2.2.2 Gás de proteção

O gás de proteção tem por finalidade principal proteger a poça de fusão da penetração do ar atmosférico na zona de soldagem. Este ar é responsável por causar contaminação da poça e oxidação do eletrodo. Dentre os principais contaminantes provenientes da atmosfera podemos citar os gases: oxigênio, vapor d'água e nitrogênio. Todos estes contaminantes cada qual na sua proporção interferem na qualidade do processo.

Os gases de proteção utilizados nos processos de soldagem a arco elétrico podem ser Inertes ou Reativos, os gases de proteção inertes são os considerados que não reagem com o metal líquido da poça de fusão. Os gases inertes mais utilizados na soldagem na indústria são Argônio e Hélio. Os gases de proteção reativos são os considerados que reagem com o metal líquido da poça de fusão, podendo alterar as propriedades metalúrgicas e mecânicas do metal de solda. Estes gases podem ser ativos ou redutores, os mais utilizados são o CO₂ - Dióxido de Carbono e Oxigênio e o Hidrogênio - H₂ (Air Liquefe,2022)

Os gases de proteção podem ser de um único tipo de gás (puro) ou de mistura de gases. A AWS A5.32 identifica os componentes individuais dos gases como:

A – Argônio

C – CO₂ - Dióxido de Carbono



He – Hélio

H – Hidrogênio

N – Nitrogênio

O – Oxigênio

A escolha adequada do gás de proteção é de suma importância, pode afetar significativamente a qualidade e o custo da solda (Machado, 2007).

2.3 JUNTAS DISSIMILARES

Juntas soldadas dissimilares referem-se à união de materiais diferentes por meio de soldagem. Isso ocorre quando dois ou mais materiais com composições químicas distintas são soldados entre si para formar uma junta. Essas juntas são comumente encontradas em muitas aplicações industriais e estruturais, onde diferentes materiais precisam ser unidos para atender a requisitos específicos.

Segundo o livro “Dissimilar Welding” soldar materiais dissimilares pode apresentar alguns desafios devido às diferenças nas propriedades físicas e químicas dos materiais envolvidos. Essas diferenças podem afetar a qualidade da junta e sua resistência. Alguns dos principais desafios enfrentados ao soldar juntas dissimilares incluem:

- Diferentes coeficientes de dilatação térmica.
- Incompatibilidade metalúrgica.
- Diferenças nas propriedades mecânicas.

Para superar esses desafios, algumas técnicas podem ser aplicadas na soldagem de juntas dissimilares, como:

- Seleção adequada de materiais:
- Uso de materiais intermediários
- Adição de camadas de transição
- Seleção de técnicas de soldagem apropriadas



É importante analisar todas essas considerações e trabalhar com profissionais qualificados ao soldar juntas dissimilares, para garantir a integridade e a qualidade da junta soldada (Zhengyi Jiang, Yuming Zhang, Fusheng Pan, 2019).

2.3.1 STRENX 700

O Strenx 700 é um material de alta resistência desenvolvido pela SSAB, uma empresa líder mundial em aços de alta resistência. É um aço estrutural de alta resistência com uma resistência à tração mínima de 700 MPa, daí o nome "Strenx 700" (SSAB,2020).

O mesmo é conhecido por sua excelente combinação de resistência e tenacidade. É utilizado principalmente na indústria de construção, transporte e equipamentos pesados, onde a resistência e a durabilidade são essenciais.

As principais características e benefícios do Strenx 700 são:

1. Alta resistência.
2. Boa tenacidade.
3. Soldabilidade.
4. Resistência à fadiga.
5. Excelente planicidade.

O Strenx 700 é apenas um dos vários graus de aço de alta resistência oferecidos pela SSAB. A empresa possui uma ampla gama de produtos Strenx com diferentes resistências à tração para atender às diversas necessidades da indústria (SSAB,2020). A tabela 3 abaixo temos as propriedades mecânicas e a tabela 4 a composição química deste material.

Tabela 3: Propriedades mecânicas especificadas do Strenx® 700

Espessura	Limite Escoamento Mínimo (MPa)	Resistência à Tração (MPa)	Alongamento A80 Mínimo (%)	Alongamento A5 Mínimo (%)
2-3	700	750-950	10	12
3,01-6	700	750-950		12
6,01-10	700	750-950		12

Fonte: SSAB (2020)



Tabela 4: Composição química máxima especificada do Strenx® 700

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Al (%)	Nb (%)	V (%)	Ti (%)
0,12	0,21	2,10	0,020	0,010	0,015	0,09	0,20	0,15

Fonte: SSAB (2020).

É importante observar que, embora o Strenx 700 seja um material de alta resistência, o seu uso adequado requer conhecimentos técnicos específicos em termos de design e fabricação. É recomendável consultar as especificações e diretrizes da SSAB e seguir as práticas recomendadas ao utilizar este material em aplicações específicas.

2.3.2 ASTM A-36

O aço A-36 é um aço carbono de qualidade estrutural. Sua resistência, conformabilidade e excelentes propriedades de soldagem o tornam adequado para uma ampla variedade de aplicações, incluindo soldagem, fabricação e dobra. (Aços Nobre,2023)

É um aço de baixo carbono. Aços de baixo carbono são classificados por terem menos de 0,3% de carbono por peso. Isso permite que o aço A-36 seja facilmente usinado, soldado e formado, tornando-o extremamente útil como um aço de uso geral, abaixo temos a tabela 5 de composição química do A36.

Tabela 5: Composição química do aço A-36.

C (%)	Cu (%)	Fe (%)	Mn (%)	P (%)	Si(%)	S (%)
0,25 -0,29	0,20	98,0	1,03	0,040	0,280	0,050

Fonte: Aços Nobre (2023)

Tabela 6: Propriedades mecânicas aço ASTM A-36.

Material	Limite Escoamento Mínimo (MPa)	Resistência escoamento (MPa)	Alongamento 200mm (%)	Alongamento 50mm (%)
ASTM A36	250	400 - 550	20	21

Fonte: Aços Nobre (2023)

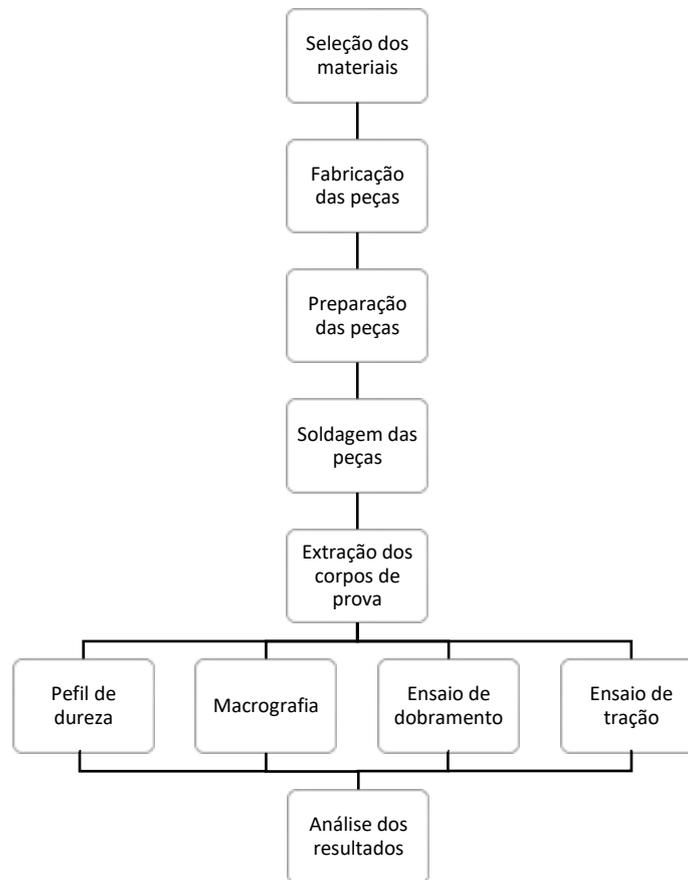


O baixo teor de carbono também evita que o tratamento térmico tenha muito efeito no aço A-36. Essa liga geralmente contém pequenas quantidades de outros elementos, incluindo manganês, enxofre, fósforo e silício. Esses elementos de liga são adicionados para dar ao aço A-36 as propriedades químicas e mecânicas desejadas, conforme a tabela 6 das propriedades mecânicas do ASTM A-36.

3 PROCEDIMENTO ESPERIMENTAL

A metodologia de estudo foi baseada no comportamento mecânico de uma junta soldada de aço dissimilar, utilizando o aço ABNT A36 e o aço Strenx 700. A fim de caracterizar mecânica e metalurgicamente as mesmas, foi utilizado o processo de soldagem GMAW – MAG com o gás de proteção sendo uma mistura de 85% de argônio e 15% de dióxido de carbono para o arame sólido ER70S-6 onde a junta foi submetida a realização de ensaios de tração, dobramento, macrografia e micro dureza, abaixo temos a figura 3 o fluxograma de trabalho do procedimento experimental.

Figura 3 – Etapas do procedimento experimental

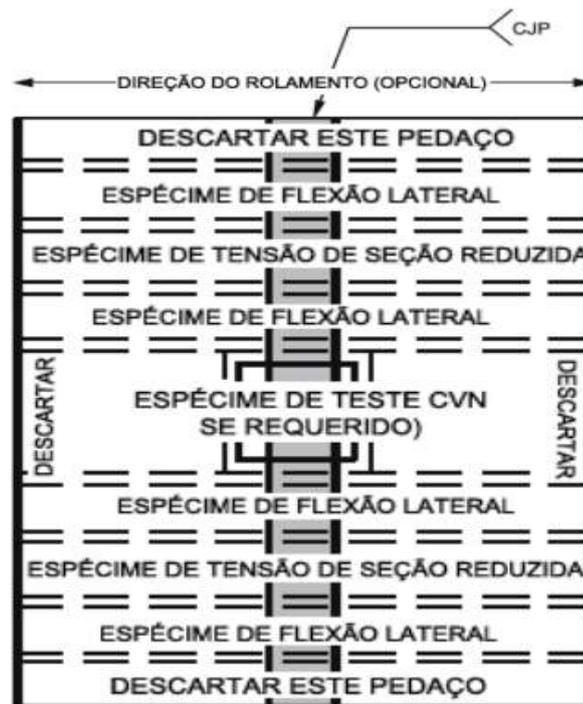


Fonte: Do autor.

3.1 FABRICAÇÃO DAS PEÇAS PARA PROCESSO DE SOLDAGEM

Foi utilizado 3 chapas de cada tipo de material com 300 mm de comprimento por 150 mm de largura e 4,75 mm de espessura. As dimensões utilizadas para o corte do material obedeceram aos critérios da norma BS EN ISO 9606-1:2013 e a retirada dos corpos de prova conforme AWS D1.1, conforme ilustrado na figura 4 abaixo:

Figura 4 - Critério de Retirada dos corpos de prova conforme AWS D1.1



Fonte: American welding Society

3.2 PREPARAÇÃO DAS PEÇAS PARA SOLDAGEM

As chapas após serem confeccionadas receberam um chanfro em formato de duplo “V” com dimensões baseadas na norma BS EN ISO 9692-1:2003. A fim de evitar a contaminação do cordão de solda por óleo e sujeira proveniente do processo de corte e armazenagem do material, o mesmo foi limpo com solução a base de álcool isopropílico.

3.3 MONTAGEM E SOLDAGEM DAS PEÇAS

As peças foram unidas por processo manual de soldagem GMAW. Nela consiste em unir as duas peças cortadas com materiais diferentes, utilizando o arame ER70S-6.

O processo de soldagem foi realizado na empresa librelato. Com os parâmetros da máquina conforme tabela 7. O equipamento utilizado para confecção das peças é o mesmo usado para a fabricação do implemento rodoviário.

Tabela 7: Parâmetros médios de soldagem.

Tipo do arame	Tensão (V)	Corrente (A)	Vazão do gás (l/min)	Velocidade Arame (m/on
ER70S-6	21,8	200	12	5,4

Fonte: do autor (2023)

Os valores de tensão, corrente e velocidade do arame foram coletados no equipamento utilizado e a vazão do gás foi usado um fluxometro.

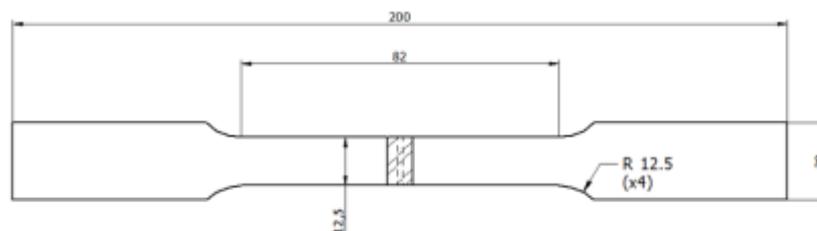
3.4 CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova para ensaios de tração e dobramentos da junta soldada foram cortados conforme norma AWS D1.1 conforme figura 4. Eles foram seccionados em uma máquina de corte a laser na empresa librelato.

3.4.1 Ensaio de tração

Foram seccionados três corpos de prova de tração da junta, e confeccionados conforme norma DIN EN ISO 4136: 2013 “*Destructive tests on welds in metallic materials – Transverse tensile test*” na direção transversal a solda para determinação dos limites de escoamento e resistência a ruptura. Abaixo figura 5 ilustra as dimensões do corpo de prova utilizado.

Figura 5 - Dimensões do corpo de prova para o ensaio de tração.



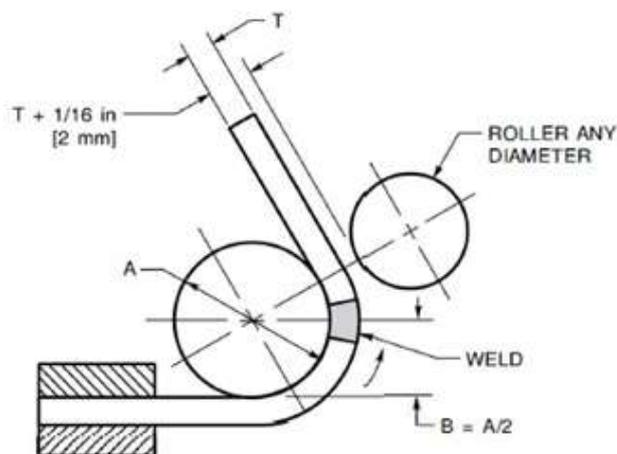
Fonte: do autor.

Os ensaios de tração foram realizado no Laboratório de Caracterização Microestrutural da empresa librelato, com o auxílio de uma Máquina Universal de Ensaio do fabricante EMIC.

3.4.2 Ensaio de dobramento

Foram seccionados três corpos de prova de dobramento da junta, e confeccionados conforme norma DIN EN ISO 5173: 2012 – “*Destructive tests on welds in metallic materials – Bend tests*”. As dimensões dos corpos de prova foi, largura de 20mm, comprimento de 200mm e espessura de 4,75mm. A representação do ensaio é ilustrado na figura 6.

Figura 6 - Dimensões do corpo de prova de ensaio de dobra



Specified or Actual	A	B	A	B
Base Metal Yield Strength, Ksi [Mpa]	in	in	mm	mm
50[345] & under	1 - 1/2	3/4	38.1	19.0
Over 50 [345] to 90 [620]	2	1	50.8	25.4
90 [620] over	2 - 1/2	1 - 1/4	63.5	31.8

Fonte: AWS D1.1

Os ensaios de dobramento foram realizados na UniSatc com o auxílio de uma dobradeira de tubos adaptada para atender a norma AWS D1.1, e após isso foi feito o ensaio de LP (líquido penetrante) para verificar as possíveis micro trincas e defeitos na região dobrada, o ensaio de LP seguiu a norma ABNT NBR 16450.

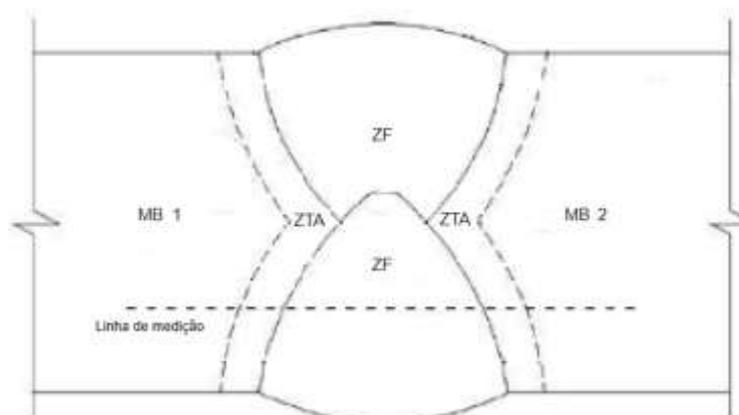
3.4.3 Macrografia

Foram lixados para o teste, seguindo a ordem de granulometria das lixas 80,120, 220, 320, 400, 600 e 1200 e posteriormente foi feito o polimento da amostra em uma politriz giratória sendo adicionado alumina durante o processo. Terminada esta etapa as amostras foram submetidas a ataque químico com Nital 5% durante alguns minutos. Realizou-se as análises nos corpos de prova afim de obter uma inspeção visual, verificar a zona termicamente afetada e o resultado da penetração nas juntas soldadas. O ensaio de macrografia seguiu a norma ASTM E340

3.4.4 Avaliação do perfil de dureza

Para a realização do ensaio de microdureza Vickers, foi utilizadas as mesmas seções dos corpos de prova utilizados para o ensaio de macrografia. O experimento foi realizado conforme norma DIN EN 9015-2: 2011 – *“Destructive test n weld in metallic material – Hardness test – Part 2: Microhardness testing of welded joint”*.

Figura 8 – Representação do local da medição do micro dureza Strenx700 (MB 1); A36 (MB 2).



Fonte: autor (2023)

As medições foram feitas em pontos distribuídos pela região soldada, afim de passar pelo material base, região da zona termicamente afetada (ZTA) e na zona fundida (ZF). Uma esquematização da região onde foi feita a medição é apresentada na figura 8.

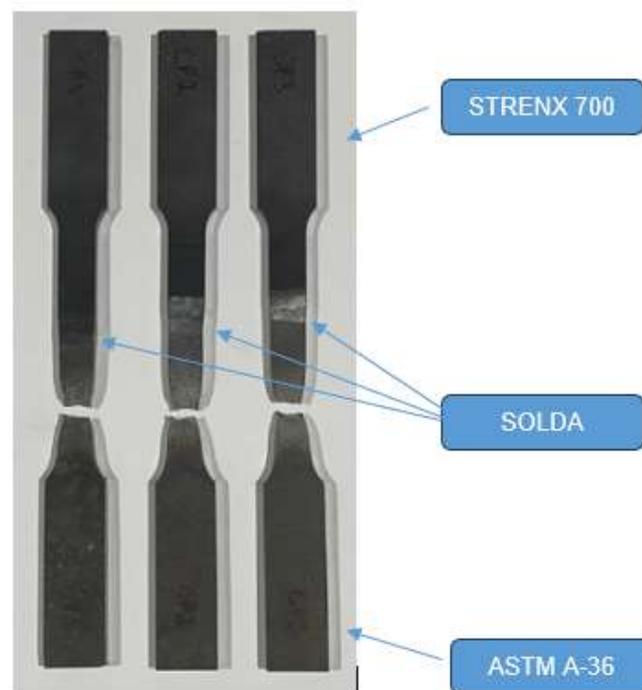
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

O ensaio de tração tem o objetivo de validar a resistência aos esforços aplicados nos corpos de prova e sua ductilidade. Foram realizados três corpos de prova e então feita a média dos valores.

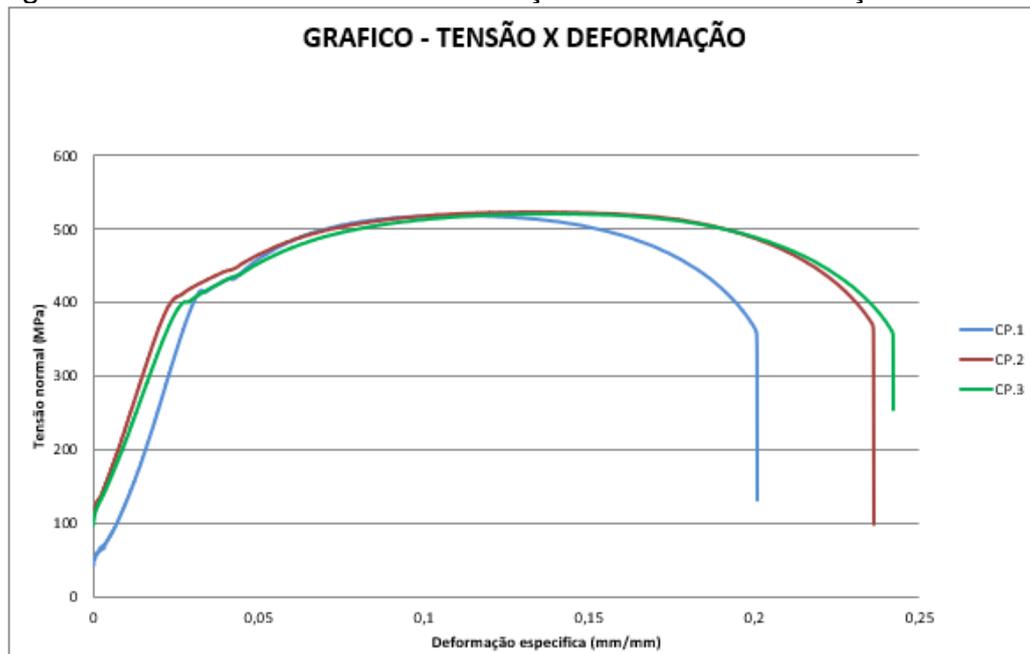
Todos os corpos de prova romperam no material base A-36 conforme mostra a figura 9 , ou seja, a ruptura ocorreu no material de menor resistencia da junta.

Figura 9 – corpos de prova após ensaios de tração



Fonte: autor (2023)

Figura 10 – Gráfico tensão x deformação dos ensaios de tração.



Fonte: do autor (2023)

Não foi detectada visualmente falta de fusão na junta. Os valores médios da tensão de escoamento, tensão máxima e alongamento do material encontrados nos ensaios de tração podem ser visualizados na tabela 8.

Tabela 8: Resultado médio dos ensaios de tração das juntas soldadas

Tensão de escoamento (MPa)	Tensão máxima (MPa)	Alongamento (%)
407,5	521,7	21,17

Fonte: Do autor (2023).

Os valores médios de tensão de escoamento, tensão máxima e alongamento do material encontrado nos ensaios se enquadraram conforme material que ocorreu a rompimento, validando o ensaio.

4.2 ENSAIO DE DOBRAMENTO

O ensaio de dobramento fornece uma indicação qualitativa da ductilidade do material (SOUZA, 1982). Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de dobramento transversal de face como mostra na figura 11, e avaliados visualmente

com auxílio de lupa e posteriormente feito o ensaio de líquido penetrante (LP) para ter um resultado mais acertivo.

Figura 11 – Amostras dos ensaios de dobramento de face



Fonte: Do autor (2023).

O ensaio de líquido penetrante foi realizado para prevenir possíveis micro trincas e pequenos defeitos, os corpos de prova ensaiados obtiveram resultados satisfatórios ao enquadrarem-se dentro dos critérios de aceitação estabelecida pela norma como mostra na figura 12.

Figura 12 – Resultados do teste de líquido penetrante nas amostras de dobramento.

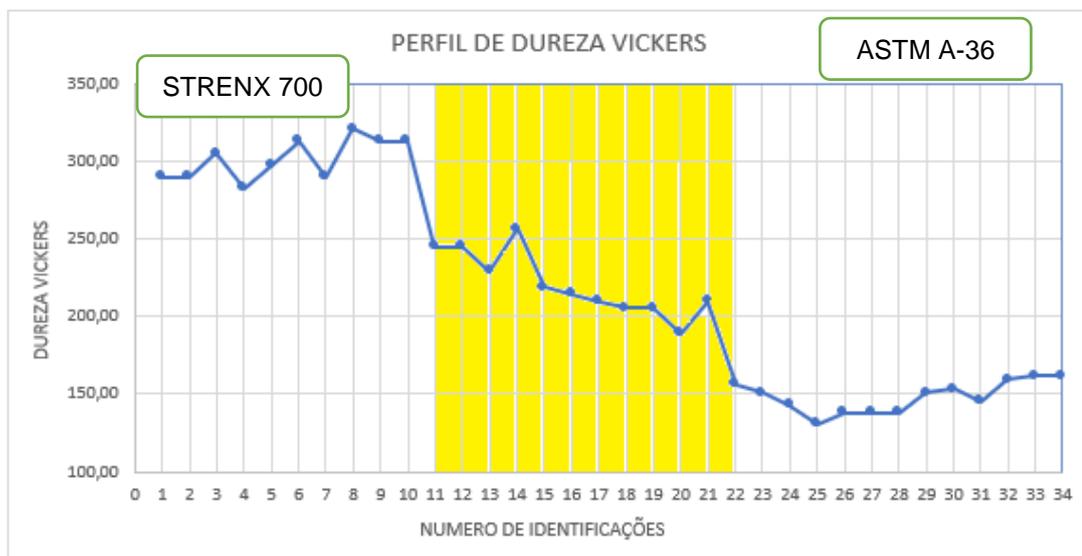


Fonte: Do autor (2023).

4.3 ENSAIO DE PERFIL DE DUREZA NA SUPERFÍCIE

Analisando a dureza encontrada nos corpos de prova das juntas soldadas, o perfil de dureza apresentou uma decrescente, isto se dá pois o material base Strenx tem uma dureza superior ao material base A36 e a o material de adição tem uma dureza intermediária aos materiais bases.

Figura 14 – Perfil de dureza Vickers da junta soldada.



Fonte: Do autor (2023).

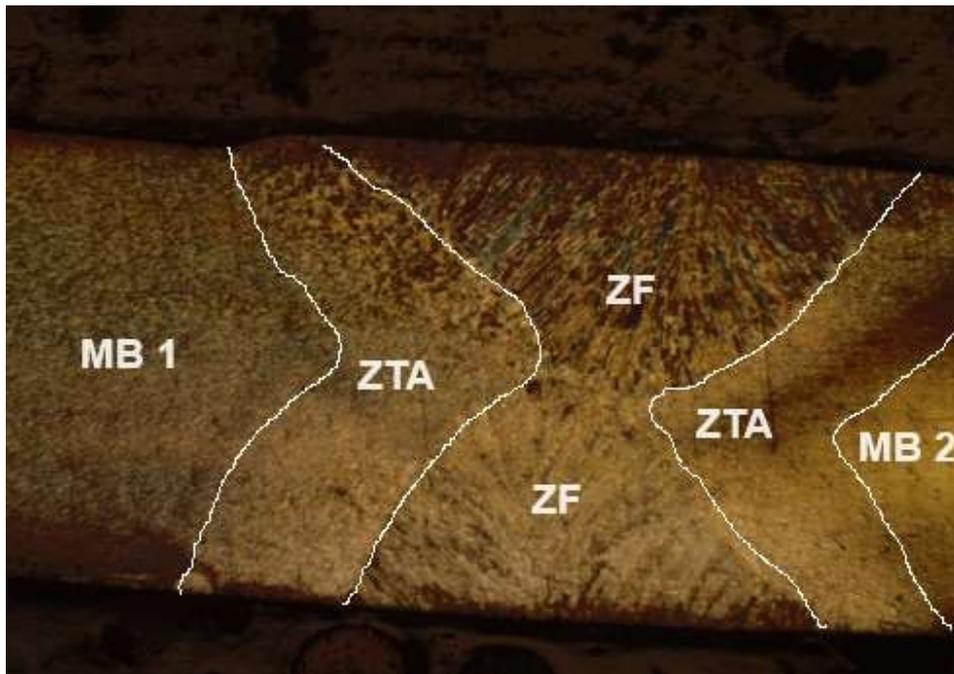
A figura 14 mostra o comportamento do ensaio e suas regiões de abrangência, destacando os pontos que vão do ponto 11 ao 22 onde está localizada a região afetada pela solda (ZTA + ZF). Também se nota por meio da linha de tendência o comportamento acima citado, onde foi evidenciado as faixas de transição da dureza, que vai do metal base, passando pela ZTA (zona termicamente afetada) e transita novamente pelo metal base.

4.4 ENSAIO DE MACROGRAFIA

A figura 15 apresenta a imagen macrográfica da juntas soldadas com os consumíveis ER70S-6. Verifica-se que a junta soldada apresentou penetração completa, garantindo as propriedades mecânicas da mesma. A mesma ainda reforça a validação da inspeção visual feita anteriormente nas peças soldadas, demonstrando

que as juntas não sofreram com nenhuma descontinuidade, como falta de fusão, mordedura, falta de penetração, porosidade entre outras, mantendo a região soldada dentro dos requisitos de qualidade necessários para a resistência mecânica da junta soldada.

Figura 15 – Macrografia da junta soldada A36 (MB1) Strenx700 (MB2).



Fonte: Do autor (2023).

Fica evidente as três zonas clássicas de uma junta soldada, zona fundida (ZF), zona termicamente afetada (ZTA) e metal base (MB) não afetado pelo aporte térmico gerado no processo de soldagem. Pode ser observado na zona fundida (ZF), uma orientação colunar da microestrutura com orientação em direção ao fluxo de calor. Também pode ser observado grãos menores na interface com o MB. A ZTA também se apresenta bem revelada, com grãos maiores, mais próximos da interface com a ZF.

5 CONCLUSÃO

Todas as soldas foram inspecionadas visualmente após a realização das mesmas, afim de identificar descontinuidades na junta como: porosidade, trincas



superficiais, mordeduras, sobreposição, deposição insuficiente, concavidade, penetração, falha dimensional, e em todas os coedoes de solda não apresentaram nenhuma descontinuidade.

Nos ensaios de tração observou-se que todos os corpos de prova romperam no material A36, ou seja, a ruptura ocorreu no material de menor resistencia da junta. Verificou se tambem que os valores médios de tensão de escoamento, tensão maxima e alongamento do material encontrado nos testes se enquadraram confome material que ocorreu a rompimento.

No ensaio de micro dureza observou-se que a dureza do material Strenx 700 decresce quando entra na região da ZTA e tem um pico ao sair desta região e entrar no material base A36, isso se dá pela influência que o material de adição causa em cada material na região da ZTA.

Os resultados dos ensaios de dobramento se apresentaram satisfatórios por não apresentarem nenhuma descontinuidade ou trinca no dobramento de face que pudesse levar a quebras ou falhas que comprometessem o material, todos os corpos de prova enquadraram dentro dos critérios de aceitação estabelecida pela norma.

O ensaio de macrografia foi essencial para revelar as três zonas clássicas de uma junta soldada, ou seja, zona fundida (ZF), zona termicamente afetada (ZTA) e metal base não afetado (MB). Como o processo de soldagem possui grandes aportes térmicos as três zonas estavam bem representativas.

De modo geral os ensaios feitos se enquadram dentro dos parâmetros aceitos conforme as normas dos mesmos, tornando o material de adição apto para a soldagem deste tipo de junta dissimilar, porém tem outros pontos a serem estudados que podem ser o causador destas quebras dos implementos nesta região.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar análise de torção da junta soldada para analisar o seu comportamento
- Realizar ensaio de fadiga nas juntas soldadas para analisar o seu comportamento
- Realizar análise de micrografia para analisar a transformação de cada material na zona termicamente afetada.



- Verificação da composição química de cada material, como por exemplo a quantidade presente de cada componente, para validação do material perante o que a norma exige.

REFERENCIAS

- A. CESÁRIO, “Estimativa da vida em fadiga de componentes de implementos rodoviários através de métodos espectrais,” J. Chem. Inf. Model., 2012,
- American Welding Society. (2010). Código de Soldagem Estrutural - Aço. AWS D1.1/D1M
- Anuário CNT do transporte, confederação nacional do transporte – CNT, 2022
- ASM HANDBOOK. (1993). Welding, Brazing and Soldering - vol.6
- ASTM A36 / 36M. Standard Specification for Carbon Structural Steel: Annual Book of ASTM Standards. USA: [s.n.]. 2008
- ASTM E340- Prática padrão para macrogravação de metais e ligas, Edição 2015, 1º de junho de 2015
- Dissimilar Welding" por Zhengyi Jiang, Yuming Zhang, Fusheng Pan. (2019)
- ESAB MIG Welding Handbook – ESAB Welding & Cutting Products (2005)
<https://repositorio.uces.br/xmlui/bitstream/handle/11338/12102/TCC%20Eduardo%20Felippe%20Turella.pdf?sequence=1>
<https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/34fd089b-5d97-469c-92f4-594c165bd22e/content>
- M. Goldenstein, M. D. F. Alves, R. Luiz, and S. De Azevedo, “Marcelo Goldenstein Marcelo de Figueiredo Alves Rodrigo Luiz Sias de Azevedo* *.”
MARQUES, P. V. Soldagem – Fundamentos e Tecnologia. Editora UFMG, Belo Horizonte, 2005
- Marques, P., Modenesi, P., & Bracarense, A. Q. (2011). Soldagem Fundamentos e Tecnologia. Belo Horizonte: UFMG.
- Materiais de Engenharia: Microestrutura, Propriedades e Processos de Produção" por Israel Jorge C. Vieira e Jorge Luiz T. Manzato.2018
- Mendes, G. M., & Machado, L. M. D. T. (2014). Transporte rodoviário de cargas no Brasil: avaliação do ambiente institucional. Revista de Administração Pública.
- SENAI. (2013). "Soldagem: área metalurgia. Em S. N. Industrial, "Soldagem: área metalurgia (p. 719). São Paulo: SENAI-SP.



Senai. “Soldagem – Área metalúrgica”. Ed. Senai, SP, 2013.

Silva, E. A. F., & Botter, R. C. (2017). Logística de transporte rodoviário de cargas: um estudo sobre os gargalos enfrentados no Brasil. *Gestão & Produção*

SSAB. (15 de setembro de 2020). www.ssab.com.br. Fonte: SSAB:
<https://www.ssab.com.br>

Vieira and S. Souza, “Análise Da Concorrência E Nível De Concentração Na Indústria De Implementos Rodoviários No Brasil,” 2018,