

SOLDABILIDADE EM AÇO DOMEX 700MC MATERIAL DE ALTA RESISTÊNCIA E BAIXA LIGA

WELDABILITY IN DOMEX 700MC STEEL HIGH STRENGTH AND LOW ALLOY MATERIAL

Daniel Batista de Oliveira[I]
Marcelo Morelli Neves[II]
Antonio Carlos Muniz Ventura Junior[III]
Raquel Gomes Meirelles[IV]
João Paulo Sachetto[V]

Área: A4: Gestão de Sistemas Mecânicos e Industriais (GESMI).
Subárea: S6: Processos de Soldagem**.**

RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar a soldabilidade do aço DOMEX 700MPa, com a utilização do consumível ER70S-6 através do processo GMAW, utilizados na fabricação de chassis de caminhões e reboques. A análise foi realizada através dos ensaios mecânicos feitos por corpos de prova em laboratório, por meio de ensaios de tração, dobramento e microdureza. Nos resultados analisados, verificou-se que a resistência mecânica e a microdureza do metal de adição ER70S-6 é inferior à do metal de base Aço DOMEX 700 MPa sendo assim ocorre a ruptura do mesmo. No ensaio de dobramento o material apresentou boa deformação plástica sem a presença de descontinuidades na solda.

Palavras-chave: Transporte de cana de açúcar. Aço DOMEX700M. Soldabilidade. Processo de soldagem MAG (GMAW).

ABSTRACT

The objective of this work is to analyze the weldability of DOMEX 700MPa steel, with the use of the ER70S-6 consumable through the GMAW process, used in the manufacture of truck chassis and trailers. The analysis was performed through mechanical tests performed by speciments in the laboratory, through tensile, bending and micro hardness tests. In the results analyzed, it was verified that the mechanical strength and micro hardness of the

[I] Estudante do curso superior de Tecnologia em Mecânica: processos de soldagem da Faculdade de TecnologiaDeputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: Oliveira.danielb@outlook.com
[II] Estudante do curso superior de Tecnologia em Mecânica: processos de soldagem da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: Marcelostz83@gmail.com
[III] Prof.Mestre da Faculdade de Tecnologia (FATEC), de Sertãozinho – São Paulo – Brasil.E-mail: antonio.ventura@fatec.sp.gov.br
[IV] Profa da Faculdade de Tecnologia (FATEC), de Sertãozinho – São Paulo – Brasil. E-mail: raquel.meirelles@fatec.sp.gov.br
[V] Prof.Mestre da Faculdade de Tecnologia (FATEC), de Sertãozinho – São Paulo – Brasil.E-mail: joao.sachetto@fatec.sp.gov.br

V SITEFA
Simpósio de Tecnologia da Fatec Sertãozinho

addition metal ER70S-6 is lower than that of the base metal Domex Steel 700 MPa, so the rupture of the same occurs. The bending test showed good plastic deformation without the presence of discontinuities in the weld.
Keywords: Transport of sugar cane. DOMEX700MC steel. Weldability. Welding process GMAW.

Data de submissão do artigo: 15/07/2022.
Data de aprovação do artigo: 14/09/2022.
DOI: **10.33635/sitefa.v5i1.209**

1 INTRODUÇÃO

No final da década de 70 e início da década de 80 surgiu uma nova fronteira na expansão canavieira do Brasil caracterizando a região como original produtora de cana de açúcar e principal fonte de matéria prima para a transformação de açúcar e álcool.

A cana de açúcar tem grande importância para as usinas, pois é ela que alimenta todo o processo da cadeia de produção do açúcar e do álcool e para que isso possa ocorrer utiliza-se de meios de transporte. (ALVES *et al*, 2006).

O transporte de cana de açúcar tem evoluído muito nos últimos anos, principalmente com a atuação do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) em parceria com fabricantes de carrocerias.

O objetivo principal tem sido sempre reduzir o custo do transporte e se adaptar as mudanças no sistema de colheita (NOVACANA, 2013).

A cadeia de abastecimento de cana de açúcar no Brasil requer infraestrutura de caminhões e carretas (reboque/semirreboques) suficientes para garantir o abastecimento da indústria sucroalcooleira (SILVA, 2006).

Pensando nisso as indústrias siderúrgicas começaram a desenvolver tipos de aços usando modernos processos de fabricação, conseguindo como resultado um aço de alta resistência e baixa liga (ABRL) a *high straight low alloy* (HSLA), atingindo resistência máxima de até 1200 Mpa. Isso foi possível devido a introdução de processos (TMCP *Thermal Mechanical Controlled Process*) que combina a microestrutura dos aços. Em comparação com os aços convencionais foi possível obter uma melhora significativa na resistência e tenacidade(ANDRADE, 2018).

Podendo citar como exemplo desse tipo de aço o STRENX 700, conhecido comercialmente como aço DOMEX 700 MPa que é aplicado em chassis de carreta e semirreboques, guindastes, equipamentos de construção civil e agrícola, com o objetivo de fornecer às estruturas alta resistência e baixo peso. Ao soldar aços de alta resistência e baixa liga, caso do DOMEX® 700 MC utilizado neste estudo, alguns cuidados devem ser tomados para não afetar sua microestrutura refinada. Deve-se seguir com obediência o procedimento de soldagem recomendado. O metal de adição deve ser similar ao metal de base, tanto nas características químicas quanto nas mecânicas para evitar o aparecimento de defeitos como trincas, por exemplo.

Neste estudo foi analisado o processo de soldagem e os consumíveis adequados a serem utilizados para obtenção de uma solda resistente e sem defeitos.



2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O transporte de cana de açúcar das lavouras para o armazém da fazenda ou das usinas costuma ser de responsabilidade do produtor, sendo feito através de caminhões. Muito além dos caminhões que transportam a cana de açúcar das plantações para as usinas, o processo de transporte e logística é foco de atenção constante na cadeia sucroenergética (ALVES *et al*, 2006).

Entre os diversos motivos para isso, estão a busca por redução de custos, a necessidade de controle dos processos e o aumento de competitividade no segmento. Para diminuir custos e estar atualizados, as usinas e empresas ligadas ao setor investem em estratégias de coordenaçãodos sistemas de corte e aprimoramento dos sistemas de logísticas que gerenciam o transporte, dessa forma melhoram a eficiência operacional integrando a área logística da indústria. (ACHILES, 2018).

2.1 Aço Strenx 700MC

Este aço é de alta resistência e baixa liga (ARBL), aços ARBL são aqueles que, através de pequenas adições de elementos de liga, se obtém limite de escoamento acima de 40Ksi (276 MPa) na condição laminado, tendo como característica uma boa relação resistência mecânica etenacidade. Estes materiais possuem baixo teor de carbono, garantindo assim boa soldabilidade,quando comparados aos aços carbono convencionais, para a mesma resistência mecânica. (SOEIRO JUNIOR *et al*, 2013).

O STRENX 700MC, conhecido como aço DOMEX 700MPa é um aço estrutural laminado a quente para conformação a frio, que possui um limite de escoamento mínimo de 700MPa, para proporcionar estruturas mais resistentes e leves que atende ou supera os requisitos do grau S700MC na norma EN 101 49-2. Dentre as aplicações típicas, temos uma ampla variedade depeças e componentes de estruturas críticas de sustentação de carga com bom desempenho na soldagem, conformação a frio e no corte (SSAB, 2021).

A Tabela 1 mostra as propriedades mecânicas do aço DOMEX 700 MC.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas do aço DOMEX®700 MC

Tensão de Escoamento(Mpa)	Limite de Resistência aTração (Mpa)	Alongamento(%)
700	750 – 950	12

Fonte: adaptado SSAB (2021, p. 2)

2. 2 Soldagem

Denomina-se soldagem o processo de união entre duas partes metálicas usando uma fonte de calor, assegurando na junta soldada, a continuidade de propriedades físicas, químicas e metalúrgicas (MARQUES *et al*., 2011). A soldagem envolve aquecimento, fusão, diluição, solidificação e resfriamento de um material ou de diversos materiais, dependendo da aplicação do componente soldado. Assim, as transformações que ocorrem no aquecimento, as fases formadas durante a fusão, a solidificação e as transformações que ocorrem no resfriamento determinam o desempenho da junta soldada (INFOSOLDA, 2013b).



2.2.1 Processo de Soldagem MAG (GMAW)

O processo de Soldagem GMAW (*Gás Metal Arc Welding*), ou soldagem ao arco elétrico com atmosfera de proteção gasosa, foi introduzido na década de 1920 e tornado comercialmente viável a partir de 1948. Consiste em um processo de alimentação constante de um arame consumível (polaridade +), que é direcionado a uma peça metálica (polaridade -) sob uma atmosfera de proteção gasosa (ESAB, 2021). A soldagem GMAW, é muito bem difundida na indústria por conta de sua ampla utilização, podendo soldar materiais de várias espessuras, em várias posições (CRUZ, 2019).

2.2.2 Soldabilidade

Segundo a *American Welding Society* (AWS) a soldabilidade é a capacidade de um material ser soldado nas condições de fabricação impostas por uma estrutura específica projetada de forma adequada e de se comportar adequadamente em serviço (MODENESI, 2011). A boa soldabilidade de um aço é associada à pouca transformação da estrutura cristalinana execução da solda. Em geral como regra básica pode-se dizer que o aumento do teor de carbono reduz a soldabilidade. Altos teores de enxofre também são prejudiciais à soldagem (CIMM, 2021).

2.3 Metal de adição

O consumível empregado na fabricação dos reboques e semirreboques de transporte canavieiro, é o arame maciço cobreado (AWS A5.18 ER70S-6) com diâmetro de 1,2 mm, um dos mais utilizado nas indústrias metalúrgicas, por possuir uma boa penetração e operar em todas as posições de soldagem. Porém possui propriedades mecânicas inferiores à do Aço DOMEX 700. A Tabela 2 mostra a composição química do consumível aplicado.

Tabela 2 - Composição Química do arame maciço cobreado (AWS A5.18 ER70S-6)

% C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu
0,06-0,15	0,4-1,85	0,20-1,15	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15	0,03	0,5
			Máx.	Máx		Máx.	Máx	Máx	Máx.

Fonte: Techno-Alloys (2021)

A Tabela 3 representa as propriedades mecânicas do consumível de solda.

Tabela 3 - Propriedades Mecânicas do arame maciço cobreado (AWS A5.18 ER70S)

Módulo elástico (Mpa)	Resistência a Tração (Mpa)	Alongamento a Ruptura (%)	Resistência ao Impacto (Joule) (Charpy) temperatura -= 30º C
420	500	22	78

Fonte: Techno-Alloys (2021)

2.4 Ensaio de dobramento

O ensaio de um modo geral, consiste em dobrar um corpo de prova de eixo retilíneo e secção circular, tubular, retangular ou quadrada, assentando em dois pontos afastados a uma distância especificada, de acordo com o tamanho do corpo de prova, por intermédio de um cutelo, que aplica um esforço de flexão no centro do corpo de prova até que seja atingido um ângulo de dobramento especificado (GURGEL, 2011). Se houver trincas ou fissuras na região de dobra ou não for atingido o ângulo de dobramento especificado o resultado do ensaio será inválido. Uma grande vantagem do ensaio é que a carga aplicada não precisa ser medida, com o dobramento obtém-se uma indicação qualitativa da ductilidade do material (BIOPDI, 2021).

2.5 Ensaio de Dureza

A dureza é uma propriedade mecânica utilizada em estudos e pesquisas mecânicas e metalúrgicas e principalmente na especificação e comparação de materiais.

Para o conceito de dureza são atribuídos diferentes significados tais como medida de resistência do material a ação de origem mecânica sobre sua superfície, resistência a penetraçãoa deformação plástica e ao risco. (INFOSOLDA, 2013a).

O ensaio de dureza *Vickers* se baseia na resistência que o material oferece à penetração de uma pirâmide de diamante de base quadrada e ângulo entre faces de 136º, sob uma determinada carga.

Segundo Luz (2017), os fatores que influenciam na dureza de uma juntam soldada são vários, composição química do metal de base, o grau de trabalho mecânico (encruamento) do metal de base, composição química do consumível, efeito metalúrgico devido a soldagem, tratamento térmico, parâmetros de soldagem, ou seja, a dureza não é uma propriedade absoluta.

2.6 Ensaio de Tração

O material no ensaio de tração é submetido a uma carga e tem como objetivo alongá-lo até que ele se rompa. Essas cargas ou esforços são feitos nos corpos de prova através de uma máquina de ensaio chamada máquina universal. O corpo de prova é deformado e alongado até ocorrer a ruptura. O ensaio de tração tem como objetivo analisar o comportamento e a reação dos materiais através dos esforços de tração e quais os limites que irão suportar a partir do momento em que ocorrer a ruptura.

Essa aplicabilidade se deve ao fato de ser um tipo de ensaio relativamente simples e de realização rápida, além de fornecer informações primordiais para projeto e fabricação de peças e componentes. Esse tipo de ensaio utiliza corpos de prova preparado segundo as normas técnicas convencionais, (ALVES, 2014).

No ensaio de tração ocorre duas deformações: a plástica e a elástica. A deformação plástica uma vez cessados os esforços ela é permanente não voltando a sua forma original. Já a deformação elástica não é permanente, quando o material ultrapassa o limite de elasticidade ocorre a ruptura do mesmo (ACHILES, 2018).



3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta seção serão apresentados os materiais que vão ser utilizados na pesquisa e os ensaios realizados.

3.1 Materiais

Os materiais utilizados serão apresentados abaixo.

3.1.1 Corpos de Prova

As chapas utilizadas como metal base são de aço DOMEX 700 MC, cortadas na guilhotina com espessura de 6,0mm por 150mm de comprimento e largura de 100mm, esmerilhada as bordas para ajustes do corte, preparadas na posição plana, junta de topo com chanfro em paralelo. Após soldadas, os corpos de prova serão ensaiados mecanicamente por dobramento e tração, segundo a norma ASME IX-17. Complementando os ensaios mecânicos, será efetuada uma dureza na junta soldada.

3.1.2 Metal de adição

As juntas foram soldadas utilizando o arame maciço cobreado AWS A5.18 ER70S-6. As propriedades mecânicas do arame são menores que as do material de base DOMEX 700MC.Esta relação é conhecida como *undermatching* (PICCOLI, 2017).

3.1.3 Equipamento utilizado na soldagem

A solda dos corpos de prova, foram feitas utilizando uma máquina de solda Lincoln Eletric Idealarc cv 400 I com os parâmetros indicados pelo fabricante, 24 volts 195 amperes, velocidade do arame 7 m/min com polaridade positiva em corrente contínua, utilizando o gás de proteção mistura com 80% de argônio e 20% de CO_2 com vazão de 14 L/min.

3.2 Métodos

Os testes mecânicos foram realizados no laboratório da Fatec Sertãozinho.

3.2.1 Ensaio de Dobramento

Foram avaliados 3 corpos de prova no laboratório, em uma máquina universal de ensaios, modelo WDW 1008 e capacidade de 100 kN conforme norma ASME IX-17. O ensaio de dobramento foi feito de forma transversal da raiz, com ângulo de 120º de formaque a raiz se localize na parte convexa do corpo de prova, a temperatura de 22ºC. O objetivo deste ensaio foi avaliar a ductilidade do metal soldado em relação ao metal de base.

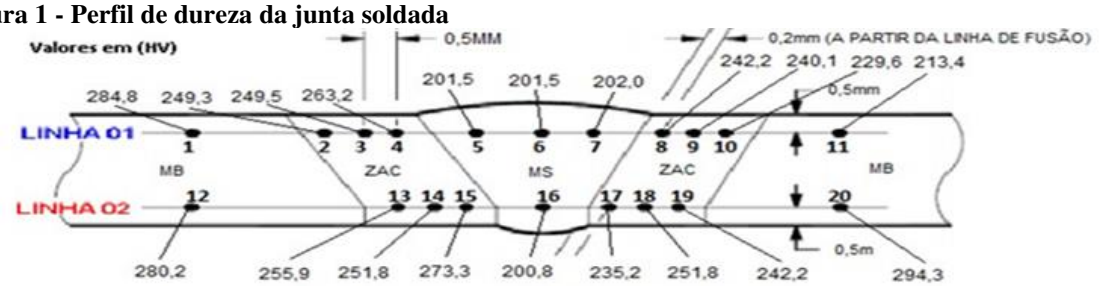
3.2.2 Ensaio de Microdureza

Para realizar o ensaio de microdureza, o corpo de prova foi soldado com o consumível ER70S-6, o metal de base DOMEX700MC, na posição plana 1G no processo MAG (GMAW),

e foram cortados manualmente com uma esmerilhadeira de 4$^{1/2}$”com disco de corte, no sentido transversal, para serem realizados no perfil de dureza *Vickers,* com um indentador piramidal de diamante e com uma carga de 9,8N conforme norma ASTM E384-16. O ensaio foi realizado no microdurômetro digital

Foram analisados vinte pontos, mostrados na Figura 1.

Figura 1 - Perfil de dureza da junta soldada



Fonte: os autores (2021)

3.2.3 Ensaio de tração

Os ensaios foram realizados em uma máquina universal, mostrada na Figura 6, conforme as normas ASTM E8/E8M-16 e ASME IX -2017, na temperatura de 22ºC. A preparação dos corpos de prova foi feita através de lixadeira de 4 ½” utilizando disco de corte para a retirada de três corpos de prova no sentido longitudinal. Na Figura 7 estão presentes os três corpos de prova utilizados no ensaio de tração com o objetivo de avaliar a resistência a tração da região soldada.

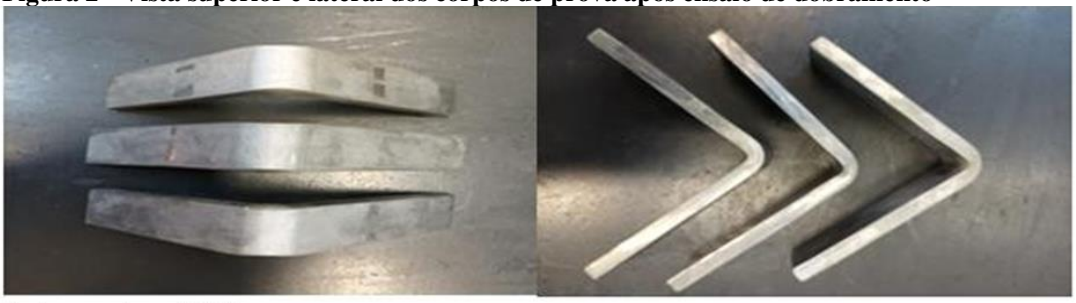
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados e as discussões dos ensaios.

4.1. Ensaios de Dobramento

Como mostra a Figura 2, não foi encontrado nenhuma trinca ou descontinuidade nos três corpos de prova na região da dobra, mostrando que apesar do metal de adição ter o limite de escoamento inferior ao do metal de base, o material de adição possui boa ductilidade.

Figura 2 - Vista superior e lateral dos corpos de prova após ensaio de dobramento

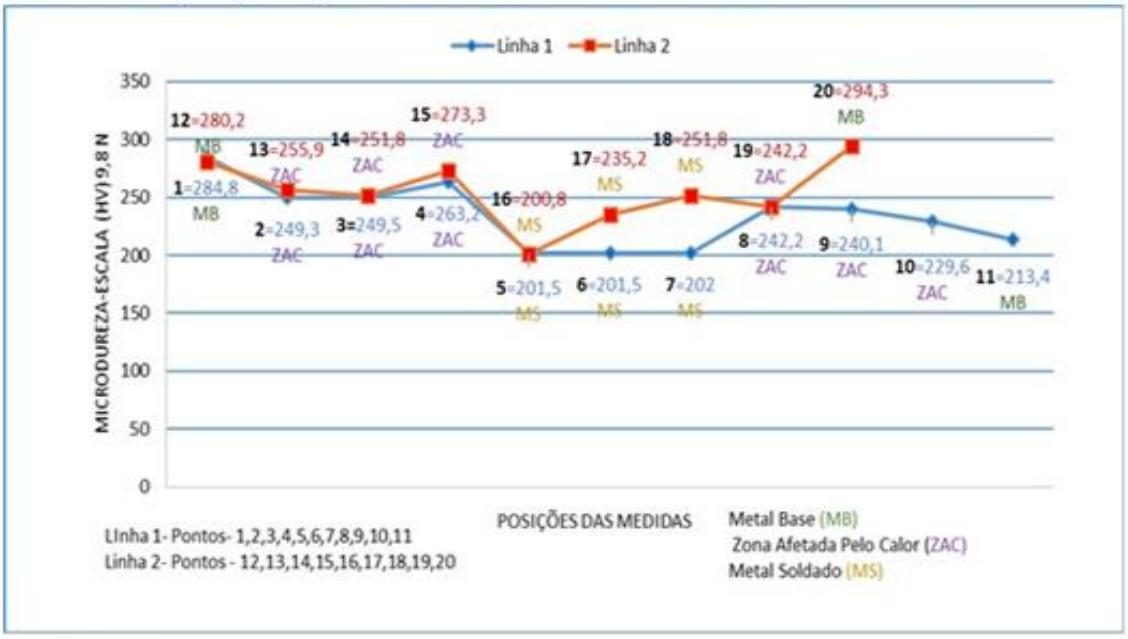


Fonte: os autores (2021)

4.2 Ensaios de micro dureza

O resultado obtido no ensaio de dureza *Vickers*, mostrou uma dureza incompatível do metal de solda ER70S-6 com a do metal de base Aço DOMEX 700 MPa. O Gráfico 1 mostra adistribuição dos valores de dureza no perfil soldado.

Gráfico 1 - Comparação do perfil de dureza do metal base com o metal de solda



Fonte: os autores (2021)

O metal de solda mostrou na parte superior do acabamento na junta soldada uma inferioridade de dureza em ralação ao metal de base. Em contrapartida, a dureza da ZTA foi superior à do metal de base em função da maior taxa de resfriamento. Na parte inferior a raiz da solda, os resultados obtidos apresentaram, também o metal de solda com uma dureza inferior em relação ao metal de base e a ZTA apresentou uma maior dureza em relação a ZTA da parte superior. Isso pode ser um indicativo que a energia de soldagem na raiz da solda teve uma maior concentração de calor proporcionando uma maior dissipação de térmica ocasionando uma diluição maior dos precipitados de carbono. O metal de solda, comparado ao metal de base otem uma menor resistência mecânica e uma maior ductilidade, indicando fases ferriticas em sua composição.

O resultado obtido no ensaio de micro dureza *Vickers*, mostrou uma dureza incompatíveldo metal de solda ER70S-6 com o metal de base o aço DOMEX 700.

4.3. Ensaios de Tração

Os corpos de prova do metal de solda apresentaram os seguintes resultados para análise estrutural conforme ASME II-2017 parte C:

- O corpo de prova 1 do metal de solda com arame ER70S-6, apresentou resultados não satisfatórios a resistência a tração, não atendeu as especificações do metal de base 700MPa. No corpo de prova 1 foi exercida uma força máxima de tração de 50,45KN

exigindo uma tensão de resistência 656,42 MPa, com um limite de escoamento de 556,44 MPa com um alongamento total de 14% e uma estricção de 42,94% até correr a ruptura dele.

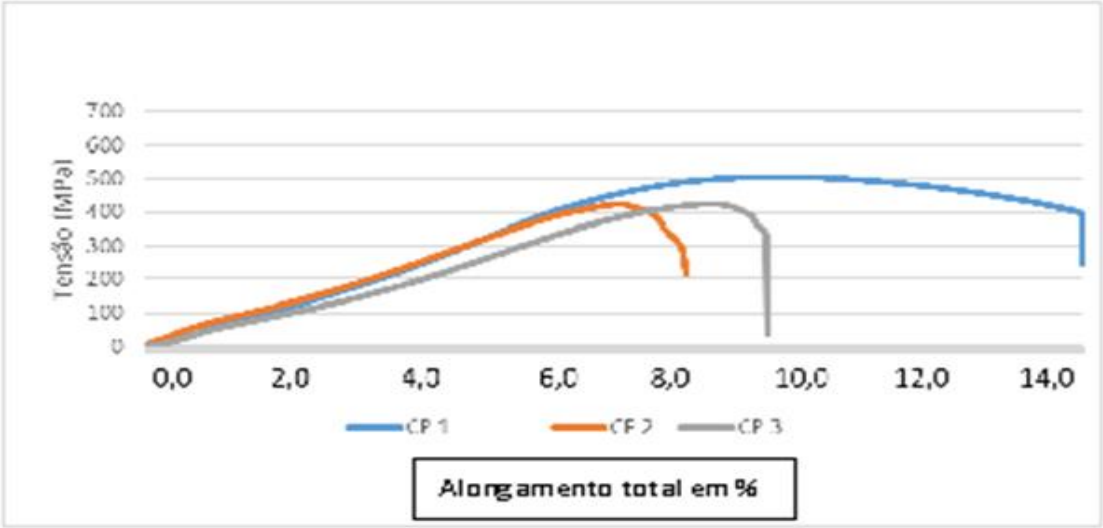
- O corpo de prova 2 do metal de solda com arame ER70S-6 apresentou um resultado não satisfatório a resistência a tração e acabou ocorrendo a ruptura e não atendeu as especificações do metal de base, o Aço DOMEX700 MPa. No corpo de prova 2 foi exercida uma força máxima de tração de 42,21 KN, e exigindo uma tensão de resistência de 567,76 Mpa,com um limite de escoamento total de 551,99 Mpa com um alongamento total de 9,00% e comuma estricção de 32,20%.

- O corpo de prova 3 do metal de solda com o arame ER70S-6, apresentou um resultadotambém não satisfatório ao ensaio de tração, não atendendo as especificações do metal de baseo aço DOMEX700 MPa.

Os resultados dos corpos de prova 1,2 e 3 do metal de solda com arame ER70S-6, nenhum teve resultado satisfatório para atender as especificações do metal de base o aço DOMEX700 MPa, ocorrendo a ruptura nos mesmos.

Sendo assim, os resultados obtidos demonstraram que o comportamento do metal de adição não é o mesmo que o do metal de base na avaliação da resistência mecânica, devido aometal de adição não ser compatível, com composição química e classe para um limite de escoamento inferior ao do metal de base. O Gráfico 2 mostra o alongamento dos três corpos deprova até sua ruptura em porcentagem.

Gráfico 2 - resultados dos ensaios de tração dos corpos de prova 1,2 e 3



Fonte: os autores (2021)

A Tabela 4 mostra as dimensões iniciais e finais dos corpos de prova do ensaio de tração.

Tabela 4 - Dimensões iniciais e finais do ensaio de tração

Identificação da Amostra	Dimensões Iniciais e Finais						Fr [kN]
	To (mm)	Tf (mm)	Wo (mm)	Wf (mm)	Lo (mm)	Lf (mm)	
CP I	6,30	3,4	12,2	9,2	50	57	50,45
CP II	6,30	4,8	11,8	10,5	50	54,5	42,20
CP III	6,30	5,5	11,3	10,2	50	54,9	42,23

Legenda –To – Espessura Inicial; W0 – Largura Inicial; L0 – Comprimento inicial; Tf – Espessura final; Wf – largura Final; Lf –Comprimento final
Fonte: os autores (2021)

Os corpos de prova do metal de adição apresentaram resultados não satisfatórios a resistência à tração, não atendendo as especificações do metal de base o aço DOMEX 700 MPa, devido a sua composição química e classe de consumível não serem compatíveis, ocorrendo a ruptura dele. O Gráfico 2 mostra um alongamento típico de microestrutura ferrítica, com baixos teores de carbonetos, diferentes comparadas com as propriedades mecânicas do metal de base compostas por microestruturas bainitas inferior, perlitas e ferritas aciculares.

5 CONCLUSÃO

O estudo de soldabilidade realizado em um material de alta resistência e baixa liga, o aço DOMEX 700MPa, utilizando o consumível ER70S-6 para soldar com o processo de soldagem GMAW através dos ensaios e os resultados obtidos podem ser retiradas as seguintes conclusões:

- O consumível ER70S-6, não tem a mesma resistência mecânica do metal de base, o aço DOMEX 700.
- O seu limite de escoamento e de resistência mecânica é inferior ao do metal de base.
- O ensaio de dobramento apresentou boa conformação mecânica do metal de adição.
- O resultado de dureza corrobora com os do ensaio de tração.

Sendo assim deve-se levar em consideração a seleção do metal de adição para os materiais que serão soldados, além de suas propriedades mecânicas, é necessária a realização da análise de composição química.



REFERÊNCIAS

ACHILES, R. Logística de cana-de-açúcar: como maximizar a eficiência e reduzir os custos do campo até a usina**. Mundo Logística** 2018. Disponível em: https://revistamundologistica.com.br/blog/achiles/logistica-de-cana-de-acucar-como-maximizar-a-eficiencia-e-reduzir-os-custos-do-campo-ate-a-usina https://www.ssab.com.br/api/sitecore/Datasheet/GetDocument?productId=18074E31EF1849 5 78E2979B2EE96F1C1&language=pt-BR Acesso em: 12 jul. 2021.

ALVES. C. **Ensaio de tração**.2014. Disponível em: http://claudemiralves.weebly.com/uploads/3/8/6/2/3862918/aula_-_ensaio_de_trao.pdf Acesso em: 12 out., 2021.

ALVES, K. C. M. BORGES, R. M. MARQUES, K. M. **A logística de transporte da cana-de-açúcar como uma especificidade da logística aplicada ao setor sucroalcooleiro.** 59p.Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Administração) – Faculdades Integradas Antônio Eufrásio de Toledo, Presidente Prudente, 2006. Disponível em: http://intertemas.toledoprudente.edu.br/index.php/Direito/article/view/462. Acesso em:12 nov. 2021.

ANDRADE, L. A. S. **Estudo da alteração em taxa de corrosão da liga DOMEX 700 MC devido a soldagem a laser.** 60p**.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2018. Disponível em:http://repositorio.roca.utfpr.ed u.br/jspui/bitstream/1/15507/1/GP_COEME_2019_02_15.pdf Acesso em: 07 nov. 2021.

ASME. American Society of Mechanical Engineers**.** Boiler and Pressure Vessel, an International Code. Code II, Part C, **Ferrous Material Specifications**, 2017.

_____American Society of Mechanical Engineers. Boiler and Pressure Vessel, an International Code. Code IX, **Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators**, 2017.

ASTM. American Society for Testing and Materials. **ASTM E8 / E8M - 16A Standard TestMethods for Tension Testing of Metallic Materials.** ASTM International, Oeste Conshohocken, 2016.

_____American Society for Testing and Materials. **ASTM E384-16. Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials.** ASTM International. Pennsylvania, United States. Fev. 2016.

BIOPDI**. Ensaio de dobramento**, 2021. Disponível em: https://biopdi.com.br/artigos/ensaio-de-dobramento/ Acesso em: 10 mar. 2021



CIMM**: material didático /aços para construção civil/soldabilidade**.2021. Disponível em: https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6351-soldabilidade Acesso em: 23 out.2021.

CRUZ, F. E. G. **Uma metodologia para monitoramento em tempo real dos modos de transferência de metal convencionais no processo de soldagem GMAW**. 2019. Disponívelem: https://repositorio.unb.br/handle/10482/37068. Acesso: 6 nov. 2021
ESAB. **Processo de Soldagem: MIG/MAG (GMAW).** 2021. Disponível em: https://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_mig_mag_gmaw.cfm Acesso em: 3 nov. 2021.

GURGEL**,** J. I**.** Deformação Plástica e Elástica. **Minério de Minas**, 2011. Disponível em: https://mineriodeminas.blogspot.com/2011/07/deformacoes-plastica-e-elastica.html. Acesso em: 18 out. 2021.

INFOSOLDA**, Ensaio Mecânico: Dureza**, 2013a. Disponível em: https://infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/ensaios-nao-destrutivos-e-mecanicos-livros-senai/212-ensaio-mecanico-dureza. Acesso em: 18 out. 2021.

_____Soldabilidade, 2013b. Disponível em:https://infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/metalurgia-livros-senai/117-soldabilidade. Acesso em: 8 nov. 2021

LUZ, G. Ensaio de Dureza. **Blog Materiais**, [s. l], 2017. Disponível em: https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/ensaio-de-dureza.html.Acesso em:14 mai. 2021.

MARQUES, P.V.*et al*.. **Soldagem Fundamentos e Tecnologia.** 3. ed. Belo Horizonte MG: UFMG, 2011, p. 255-256.

MODENESI, P. J**. Soldabilidade de algumas ligas metálicas**. Belo Horizonte: UFMG–Universidade Federal de Minas Gerais, v. 26, 2011. https://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/soldabilidade.pdf Acesso em: 6 nov. 2021.

NOVACANA. **Como é feito o transporte de cana-de-açúcar no Brasil**. 2013. Disponível em: https://www.novacana.com/cana/transporte-da-cana-brasil#:~:text=O%20transporte%20da%20cana%20tem%20evolu%C3%ADdo%20muito%20
nos,se%20adaptar%20%C3%A0s%20mudan%C3%A7as%20no%20sistema%20de%20colhei ta. Acesso em: 19 out. 2021.

PICCOLI, W. **Efeito da energia de soldagem em um aço de alta resistência e baixa liga: simulação do tamanho de ZTA e avaliação de propriedades mecânicas e metalúrgicas**, requisito à conclusão do curso de graduação em Engenharia Mecânica. Universidade de Caxias do Sul. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. 2017. Disponível em: https://repositorio.ucs.br/handle/11338/1865 Acesso em:17 set. 2021.



SILVA, J. E. A. R. **Desenvolvimento de um modelo de simulação para auxiliar o gerenciamento de sistemas de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar.** 145f.Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/3478/DissJEARS.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acesso em 12 nov. 2021.

SOEIRO JUNIOR, J. C.; ROCHA, D.B.; BRANDI, S. D. Uma breve revisão histórica do desenvolvimento da soldagem dos aços API para tubulações. **Soldagem & Inspeção**, v. 18, n.2, p. 176-195, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/j/si/a/dSVxVWJPRq4Lq9wtFchVgTH/?lang=pt. Acesso em: 18 ago. 2021.

SSAB. **Strenx® 700MC** 2021. Disponível em: https://www.ssab.com.br/products/brands/strenx/products/strenx-700-mcAcesso em: 13 maio 2021

_____. **Discrição geral do produto, Strenx 700MC**, 2017. Disponível em: https://www.ssab.com.br/api/sitecore/Datasheet/GetDocument?productId=18074E31EF18495 78E2979B2EE96F1C1&language=pt-BR Acesso em: 20 jul. 2021.

TECHNO ALLOYS, **Ficha técnica arame ER70-S6.** Disponível em: https://www.techno-alloys.com/site/fichas-tecnicas/aco-carbono-e-baixa-liga/arames/ARAME%20METAL%20ARC%2076%20(ER%2070S-6).pdf. Acesso em: 21 jul. 2021.