



# ESTUDO DO EFEITO TÉRMICO DE ALÍVIO DE TENSÃO NA ZONA TERMICAMENTE AFETADA - ZTA<sup>1</sup>

## STUDY OF THE THERMAL EFFECT OF STRESS RELIEF IN THE THERMALLY AFFECTED ZONE - TAZ

**Edilon de Oliveira França** | [edilon.franca@fatec.sp.gov.br](mailto:edilon.franca@fatec.sp.gov.br) | FATEC PINDA

**Roger Esteves de Almeida Dos Reis** | [roger.reis@fatec.sp.gov.br](mailto:roger.reis@fatec.sp.gov.br) | FATEC PINDA

### RESUMO

Neste estudo o objetivo foi analisar os efeitos causados pelo tratamento térmico de alívio de tensão, utilizando-se o processo de soldagem com *metal inert gas* (MIG) automática, uma fonte marca *Lincoln electric* modelo *Power wave S350*, com arame sólido 1,2 milímetros ER70S6, chapa de aço ASTM A36. Foi realizado um cordão de solda de revestimento no centro de cada chapa. Após o processo de soldagem, as chapas foram cortadas com auxílio da cortadeira metalográfica marca teclago modelo CM80 e retirada um pedaço quinze milímetros de largura, totalizando três amostras. Cada amostra foi identificada numericamente: amostra 1 sem tratamento de alívio de tensão; amostra 2 com alívio de tensão de 450°C e amostra 3 com alívio de tensão 650°C. Foram realizadas as medições de dureza no perfil do cordão de solda. Conclui-se que as amostras com tratamento térmico de 450°C não apresentou variação na dureza, a amostra de 650°C apresentou 6% na ZTA e 8% na solda.

**Palavras-chaves:** Dureza. Metalografia. Solda MIG.

### ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the effects caused by stress relief heat treatment using the automatic metal inert gas (MIG) welding process, a Lincoln Electric Power Wave S350 source, with 1.2 mm ER70S6 solid wire, and ASTM A36 steel plate. A coating weld bead was made in the center of each plate. After the welding process, the plates were cut with the aid of a Teclago CM80 metallographic cutter and a fifteen-millimeter-wide piece was removed, totaling three samples. Each sample was identified numerically: sample 1 without stress relief treatment; sample 2 with 450°C stress relief; and sample 3 with 650°C stress relief. Hardness measurements were taken on the weld bead profile. It was concluded that the samples with 450°C heat treatment did not present any variation in hardness, while the 650°C sample presented 6% in the HAZ and 8% in the weld.

**Keywords:** Hardness. Metallography. MIG welding.

---

<sup>1</sup> Artigo apresentado no Congresso Cimatech da Fatec de São José dos Campos, 2024

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de soldagem metal inert gas (MIG) consiste na utilização de um eletrodo de arame contínuo consumível e de um gás inerte de proteção, como Argônio, Hélio ou suas combinações. O aço ASTM A36 é um material estrutural baixo carbono, amplamente empregado nas indústrias e na construção civil pela excelente soldabilidade, resistência e durabilidade comumente aplicado em edifícios, pontes, plataformas e veículos (Silva; Gheno, 2018).

A formação do arco elétrico entre o eletrodo e a peça de trabalho gera o calor suficiente para a fusão do arame e da base metálica, proporcionando a formação da junta soldada. O gás inerte protege a região da poça de fusão contra contaminações atmosféricas, como oxigênio e nitrogênio, garantindo a integridade da solda (Nazaré, 2022).

O tratamento térmico é um procedimento meticulosamente controlado que envolve etapas de aquecimento, manutenção em nível térmico para homogeneização e resfriamento, aplicado a materiais metálicos ferrosos e não ferrosos, como o aço, com o objetivo de alterar suas propriedades físicas e mecânicas. Os principais tratamentos são: tempera, revenimento, recozimento e normalização (Aços Nobre, 2024, Gimenes Jr., 2024).

O tratamento térmico de alívio de tensão é aplicado em juntas soldadas para reduzir as tensões residuais geradas pelo ciclo térmico da transferência, que decorrem de gradientes térmicos intensos e contrações não uniformes durante o resfriamento. Os danos residuais podem comprometer a integridade estrutural, resultando em deformações plásticas, trincas ou falhas prematuras, ou seja, resíduos embora inerente aos processos, devem ser minimizados combinando fatores em níveis ótimos (Moura *et al.*, 2024).

O procedimento envolve o aquecimento controlado de peças soldadas a temperaturas subcríticas, geralmente na faixa de 500°C a 650°C seguido por um resfriamento gradual e uniforme, preferencialmente em ambiente controlado. O ciclo térmico relaxa as tensões internas, melhora a estabilidade dimensional, otimiza a resistência à fadiga e contribui para a durabilidade e confiabilidade (Infosolda, 2024). Ensaios mecânicos são métodos empregados para avaliar diversos fatores que visam compreender o comportamento dos materiais. Esses ensaios são realizados em corpos de prova que atendem a padrões de dimensões definidos por normas técnicas (Silva, 2023).

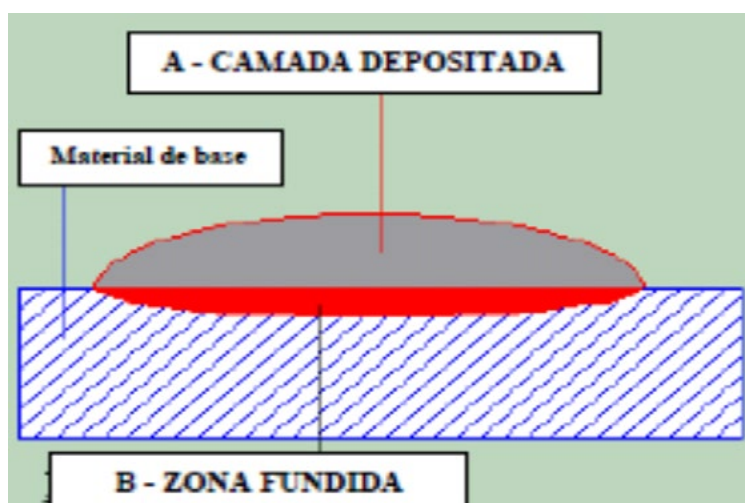
A dureza é uma propriedade mecânica que avalia a resistência de um material à deformação plástica, corte, abrasão ou penetração. Para medir a dureza, existem diversos métodos, sendo os mais comuns o teste de dureza Rockwell, Brinell e Vickers, cada qual de forma distinta aplica a carga e mede a profundidade ou a área da impressão deixada no material (Felizardo, 2016).

## 2. EMBASAMENTO TEÓRICO

### 2.1 DILUIÇÃO

Quando se realiza soldagem, umas das variáveis que deve ter uma atenção especial é a diluição, que deve ser controlada e monitorada com o objetivo de alcançar soldagens de revestimento excelentes. Nesse contexto, é crucial manter um controle rigoroso da diluição, buscando reduzir a influência da metal base, garantindo que seu efeito sobre as características do revestimento sejam minimizados e que forme uma perfeita ligação metalúrgica entre metal de adição e substrato. Revisar como aplicar técnicas de soldagem perfeitas requer o uso do aprendizado *priming* em treinamentos com importante influência na segurança ocupacional e assim melhorar a criatividade e resolver problemas durante o processo de soldagem (Oliveira *et al.*, 2023). Para ser realizado a medição da diluição é necessário ter o perfil da solda revelado por ataque químico conforme ilustrado na Figura 1 (Lara; José, 2024).

**Figura 1 |** Diluição em uma camada depositada por técnica de soldagem



Fonte: Nazaré (2022).

Para realizar o cálculo da diluição, pode-se utilizar a Equação (1) considerando  $B$  como sendo a área do substrato fundida na solda, e  $A$  área do metal adicionada. Portanto a diluição  $B$  dividida por  $(A+B)$  e multiplicado por cem representa o somatório das duas áreas, ou seja, a área total da solda (Lara; José, 2024).

$$d (\%) = \frac{B}{(A+B)} \times 100 \quad (1)$$

Na soldagem de união ou revestimento, o produto final não se resume apenas ao cordão de solda convencional. Do ponto de vista da metalurgia da soldagem, há três zonas de interesse distintas presentes nas soldas: Metal Base (MB), Zona Termicamente Afetada (ZTA) e Zona Fundida (ZF). Estas áreas podem ser identificadas com um ensaio de macrografia. A composição química da zona fundida resultante é influenciada pela diluição, que corresponde à participação relativa do metal de base e do metal de adição na formação desta zona. O percentual de diluição pode ser estimado por meio do ensaio de macrografia da seção transversal da junta soldada. A diluição varia de acordo com o processo de soldagem e suas condições de aplicação. Na soldagem MIG, por exemplo, a faixa típica de diluição utilizada varia de 10% a 40% (Nazaré, 2022).

## 2.1 TRATAMENTO TÉRMICO

O tratamento térmico é um processo que considera a realização de aquecimento como patamar para homogeneização e temperatura constante com velocidade de resfriamento que pode ser aplicado aos materiais metálicos ferrosos e não ferrosos e suas ligas, com o objetivo de alterar suas propriedades físicas e mecânicas. Há diversos tipos de tratamentos térmicos, cada um com finalidades específicas, tais como modificar a dureza, a resistência, a ductilidade e a microestrutura do material (Gimenes Jr., 2024).

## 2.2 ALÍVIO DE TENSÃO

O tratamento de alívio de tensão na solda é um processo térmico utilizado para reduzir as tensões residuais que ocorrem durante o processo de soldagem para evitar distorções e até mesmo falhas nas peças soldadas (Moura; Moura, 2019). Neste processo, geralmente há aplicação de calor controlado às peças soldadas, seguido por um resfriamento lento visando minimizar as tensões

residuais, melhorar a estabilidade dimensional das peças e aumentar a sua resistência à fadiga. Este tratamento é especialmente importante em aplicações onde a integridade estrutural é crucial, como na indústria aeroespacial, naval e de petróleo e gás (Gimenes Jr., 2024).

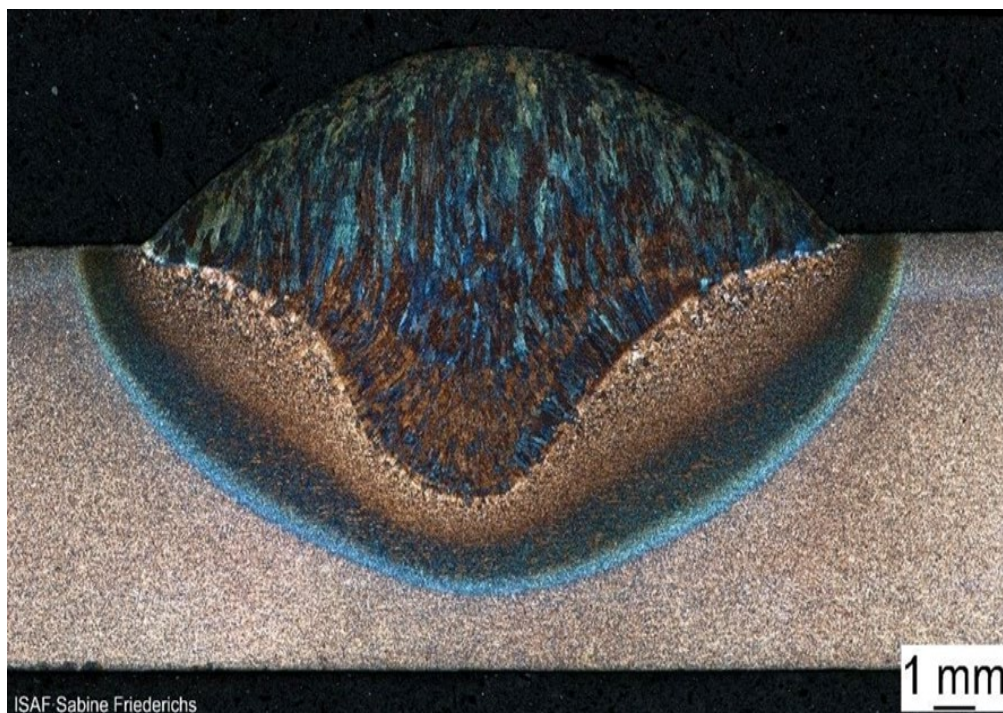
O alívio de tensão nada mais é que o tratamento de um metal ou liga, com aquecimento com velocidade que varia de 100 a 150°C por hora, e temperatura pré-estabelecida abaixo da temperatura de transformação (alívio de estresse ou recozimento subcrítico), seguido de resfriamento controlado com velocidade que varia de 100 a 150°C por hora. A faixa de temperatura de alívio de tensão para em aço em geral é entre 550 até 675°C, pois em temperaturas mais baixas, não há mudanças estruturais além de atender a regra de manter o tempo de patamar de uma hora para cada polegada de espessura de peça, ou seja, 25,4 milímetros (mm) seguido de um resfriamento lento no forno ou ao ar livre. A norma ASME na seção VIII item 1 determina que para espessuras de até 50mm, a temperatura de 650°C e o tempo de patamar devem ser 1h. Já para espessuras superiores a 50mm, a temperatura e o tempo de patamar devem ser de 595°C e 2h + 15 min para 25mm adicional (AÇOS NOBRE, 2024).

### 2.3 METALOGRAFIA E MACROGRAFIA

Técnica utilizada para estudar a estrutura interna dos metais e ligas metálicas. Por meio da metalografia, é possível analisar a microestrutura dos materiais, incluindo a distribuição dos grãos, presença de inclusões, fases presentes, entre outros aspectos (Nazaré, 2022). Para realizar esta técnica, uma amostra do material é preparada por meio de lixamento, polimento e ataque químico, de forma a revelar sua estrutura interna de maneira clara e detalhada para ser analisada em um microscópio metalográfico (Marçal; Spolzino, 2022).

A macrografia é uma técnica de análise metalográfica que observa amostras de materiais metálicos em escala macroscópica, ou seja, com baixo aumento. Ela é utilizada para examinar a estrutura e características macroscópicas do material, como a distribuição de fases, inclusões, porosidades e outras imperfeições visíveis a olho nu ou com baixo aumento conforme ilustra a Figura 2 (Marçal; Spolzino, 2022).

**Figura 2 | Macro perfil de solda**



Fonte : Friederichs (2024).

Segundo Nazaré (2022), a técnica de macro perfil de solda é fundamental para entender as propriedades dos materiais metálicos, auxiliando no desenvolvimento de ligas, no controle de qualidade e na investigação de falhas em componentes metálicos. Ensaios mecânicos são métodos utilizados para medir uma série de fatores com o objetivo de entender o comportamento do material com que se trabalha.

Os ensaios mecânicos são realizados em corpos de prova que seguem padrões de dimensões estabelecidas por normas técnicas. Dessa forma, os efeitos dos ensaios nos corpos de prova podem ser comparados de ensaio para ensaio (Silva, 2023).

A dureza é uma propriedade mecânica que mede a resistência de um material à deformação plástica, corte, abrasão ou penetração. Existem vários métodos para medir a dureza de um material, sendo os mais comuns o teste de dureza Rockwell, Brinell e Vickers. Cada método utiliza uma abordagem específica para aplicar a carga e medir a profundidade ou a área da impressão deixada material (Felizardo, 2016; Sousa *et al.*, 2024). A dureza é uma propriedade importante na seleção de materiais para aplicações específicas, já que materiais mais duros tendem a resistir melhor à deformação e à abrasão (Silva, 2023).



### 3. METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado nos laboratórios da Fatec de Pindamonhangaba. Utilizou-se o processo de soldagem MIG automática, fonte marca *Lincoln Electric* modelo *Power Wave S350*, arame sólido 1,2 mm ER70S6.

A técnica de soldagem neutra com tocha a 90°, aço ASTM A36 composição química mostrada no Quadro 1 respeitando as dimensões: 25mmX100mm x 6,35mm.

**Quadro 1 | Porcentagem dos elementos químicos do aço ASTM A36**

Composto	C	Si	Mn	P	Cu
%	0,14	0,13	0,67	0,02	0,16

Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

O equipamento e bancada para soldar as amostras são ilustrados na Figura 3.

**Figura 3 | Máquina de solda MIG automática.**



Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

O ambiente acadêmico de trabalho industrial, um laboratório de soldagem com máquina de solda da marca Lincoln conectada a uma fonte de gás (proteção) e uma bancada de trabalho com materiais e ferramentas para a preparação das peças a serem soldadas.

A Figura 4 ilustra a chapa preparada para o experimento de soldagem.

**Figura 4 |** Chapa utilizada para realizar a soldagem



**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2024).

Foram soldadas três chapas, Executado um cordão de solda de revestimento no centro de cada chapa, com os parâmetros de soldagem: 18V, 160A, velocidade de alimentação do arame 6,3 m/min, vazão do gás de Argônio 15l/min e distância do bico de contato 15mm , onde totalizaram-se 3 chapas soldadas:

- Amostra 1 realizada a soldagem de revestimento;
- Amostra 2 de soldagem e alívio de tensão à temperatura de aquecimento de 450°C;
- Amostra 3 de soldagem e alívio de tensão à temperatura de aquecimento de 650°C.

No tratamento térmico de alívio de tensão, as amostras foram colocadas no centro do forno, iniciando com temperatura de 25° C e aquecimento controlado com velocidade de 180°C por hora. O patamar de homogeneização da temperatura foi de uma hora e o resfriamento teve a velocidade controlada de 180°C por hora até a temperatura de 25°C.

Após realizar o processo de soldagem MIG e tratamento térmico, as chapas foram cortadas ao meio com o auxílio da cortadeira metalográfica (Teclago modelo CM80) e, na sequência, realizou-se outro corte, retirando uma nova amostra de 15 mm de largura para cada condição estudada, totalizando 3 amostras identificadas como amostra #1 sem tratamento de alívio de tensão, amostra #2 com alívio de tensão de 450°C e amostra #3 com alívio de tensão 650°C. Em seguida as amostra foram preparadas para o ensaio de macrografia usando lixas de 180, 220, 320, 400, 500 e 600 *mesh*.



Após preparadas as amostras foram enviadas para o laboratório Químico onde foram atacadas com solução Nital 10% (ácido nítrico 10ml e 90 ml de álcool etílico) para revelar o contorno da amostra. No laboratório de microscopia da Fatec, foram analisados o perfil do cordão de solda revelado no ataque químico de cada amostra com o auxílio do estereoscópio marca Olympus e modelo XZ ampliado 6,7 vezes e medido a penetração e área do cordão de solda para se realizar o cálculo de diluição de cada amostra.

Finalizado as análises metalográficas, as três amostras foram levadas para o laboratório de ensaios mecânicos para ensaios de dureza no perfil do cordão de solda, na zona fundida e na zona térmica afetada.

Procedimento dos ensaios de dureza: realizadas 3 medições de dureza na superfície da amostra, 3 medições no centro e 3 medições na parte inferior. Calculada a média das 15 medições para cada condição estudada para o ZF, MB e ZTA.

Equipamentos: as medições de dureza *Rockwell A* com penetrador cone de diamante de 120° e carga de 60 kgf/mm realizadas no equipamento da marca Panantec.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1 os valores da diluição dos corpos de prova soldados por amostra.

**Tabela 1 | Diluição das soldadas estudadas**

Áreas	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Inferior B (mm)	12,210	13,515	13,457
Superior A (mm)	21,402	24,459	24,669
Total A+B (mm)	33,612	37,974	38,126
Diluição (%)	36,33	35,59	35,30
Penetração (mm)	2,72	2,98	2,75

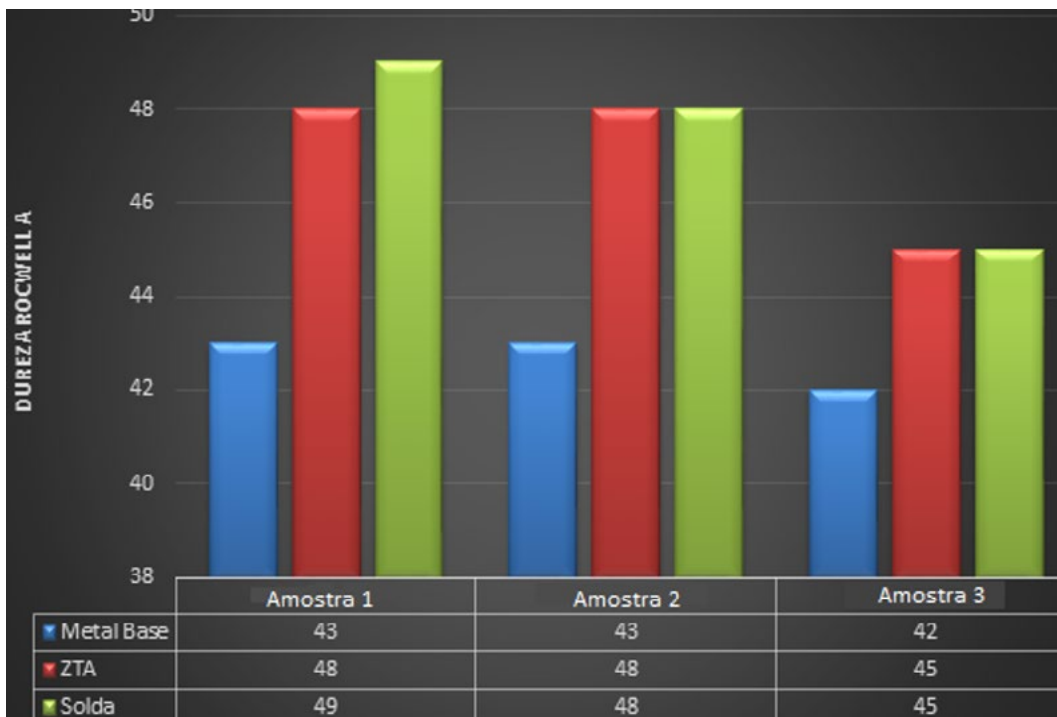
**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2024).

Ocorreram diferentes percentual de diluição entre as amostras sem nenhuma relação com o tratamento térmico. Todos permaneceram com valores aceitáveis para aços de baixa ligas, onde o valor máximo é de 40% nos seguintes valores:

- Amostra 1 sem tratamento de alívio de tensão, obteve uma diluição de 36,33% e penetração de 2,72 mm.
- A amostra 2 com alívio de tensão na temperatura de 450°C teve uma diluição de 35,59% e penetração de 2,98mm.
- A amostra 3 com alívio de tensão na temperatura de 650°C teve uma diluição de 35,30 % e penetração de 2,75mm.

Na Figura 5, a amostra 2 que foi tratada termicamente para alívio de tensão na temperatura de patamar de 450°C reduziu a dureza aproximada de 2% na região da solda não expressiva se comparada à amostra 1 sem tratamento térmico. A amostra 3 que sofreu tratamento à 650°C apresentou uma redução de 6% na região de ZTA e 8% na região da solda, demonstrando que essa temperatura favoreceu a difusão e proporcionou um alívio de tensão tanto na região da ZTA como na região de solda.

**Figura 5 | Gráfico das amostras com alívio de tensão.**



Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar a dureza, é possível verificar que a temperatura de 450°C não foi suficiente para realizar mudanças na estrutura e, já na temperatura de 650°C, foi observada uma redução de 6% na região da ZTA e 8% na região de solda, demonstrando que essa temperatura favorece a difusão e ocorre o alívio de tensão tanto na solda como na ZTA.

Esta pesquisa confirma que a temperatura de 450°C e inferior não são adequadas para esse tipo de tratamento térmico, como descrito por trabalho da instituição Aços Nobre em 2024, o que gera um gap para trabalho futuros para outras temperaturas como por exemplo, as temperatura de 500° C, 550° C e 600° C.

Conclui-se que o alívio de tensão não exerce influência na penetração e diluição do material soldado, já que os valores apresentados neste trabalho não têm uma variação significativa entre as amostras analisadas e a diluição manteve-se dentro dos valores sugeridos pela literatura.

## REFERÊNCIAS

- AÇO NOBRE. 2024. Alívio de tensão: o que é, benefícios e tratamentos térmicos. Disponível em: <https://acosnobre.com.br/blog/alivio-de-tensao/#:~:text=Al%C3%ADvio%20de%20tens%C3%B5es%20A%20tratamento%20t%C3%A9rmico%20de%20metais&text=A%20%20temperatura%20de%20al%C3%ADvio%20de,no%20forno%20ou%20a%20ar.%20Acessado%20em:%2024/062024%20>. Acessado em: 24/062024.
- FELIZARDO, I. Apostila - Tecnologia da Soldagem. 2016. 113p. Departamento de Engenharia Mecânica. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG. 2016.
- FRIEDERICH, S. Macrografia de um cordão de solda. Disponível em: [https://www.facebook.com/photo/?fbid=2489298457867660&set=a.656691051128419&locale=ms\\_MY](https://www.facebook.com/photo/?fbid=2489298457867660&set=a.656691051128419&locale=ms_MY). Acessado em : 26/06/2024.
- GIMENES JR. L. Tratamento térmico em juntas soldadas. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://infosolda.com.br/wp-content/uploads/Downloads/Artigos/metal/tratamento-termico-em-juntas-soldadas.pdf>.
- LARA, E. A. C.; JOSÉ, F. O. A Influência do Aporte Térmico da Soldagem MIG/MAG na Profundidade e Diluição do Aço SAE 1045. 2024. 40p. Trabalho de Graduação no Curso Superior de Tecnologia em Mecânica: Processos de Soldagem. Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2024.
- MARÇAL, I.S.L.; SPOLZINO, L.E.C.L. Estudo do Processo de Soldagem por MIG em Material A-36 com Adição de Óxido de Titânio. 2022. 46p. Trabalho de Graduação (Curso de Mecânica em Processos de Soldagem). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2022.
- MOURA, R. A. DE, SANTOS, D. F. A., GOUSSAIN, B. G. S., OLIVEIRA, M. R. DE, & SILVA, M. B. (2024). Design of Experiments (DoE) for non-specialists in statistics in the food industry: trials with popcorn. *RGSA*, 18(10). <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n10-229>
- MOURA, R. A.; MOURA, M. L. S. 2019. Aplicação da engenharia estrutural segura na montagem do veículo baja para aprendizado acadêmico e aprimoramento profissional dos discentes. *Sodebras* [on line]. vol. 14. n° 12, pp 31-36. ISSN 1809-3957. DOI: [10.29367/issn.1809-3957.14.2019.162.31](https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.14.2019.162.31)
- NAZARÉ, V. D. M. (2022). Estudo da Profundidade e Diluição do Aço A36 com a Variação da Inclinação do Ângulo da Tocha no Processo MIG (GMAW). 2022. 47p. Trabalho de Graduação (Curso de Tecnologia em Processos Metalúrgicos). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba.
- OLIVEIRA, M. R. DE, MOURA, R. A. DE., & SILVA, M. B. (2023). Priming memory and its important role in learning and in the social and professional behavior of individuals. *Concilium*, 23 (21), 1–10. <https://doi.org/10.53660/CLM-2382-23S10>

SILVA, L. G. C. Estudo dos Efeitos da Adição de Óxido de Titânio na Soldagem por Arco Submerso. 2023. 53p. Trabalho de Graduação do Curso de Tecnologia em Processos Metalúrgicos. Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba – São Paulo. 2023.

SILVA, R. C.; GHENO, S. M. Caracterização Mecânica e Estrutural do Aço ASTM A131 Classe DH36 em Comparação com Aço ASTM A36 Utilizado para Projetos Estruturais. I STEFA Simpósio de Tecnologia Fatec Sertãozinho. 2018. Fatec Sertãozinho-Sertãozinho-São Paulo.

SOUSA, V. J. DE RICETTO, M. R. S., MOURA, R. A. DE, OLIVEIRA, M. R. DE, & SILVA, M. B. (2024). Analysis of management practices in a non-governmental organization. Revista De Gestão Social E Ambiental, 18(11), e09646. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n11-045>

“O conteúdo expresso no trabalho é de inteira responsabilidade dos Autores.”