

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA

**Análise da soldagem de amanteigamento no aço  
ferramenta AISI D6 utilizando o processo  
soldagem GTAW**

**Jadson Guimarães da Silva Braga**

**Matheus Lameu Alves**

**PINDAMONHANGABA-SP**

**2023**

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA

# **Análise da soldagem de amanteigamento no aço ferramenta AISI D6 utilizando o processo de soldagem GTAW**

**Jadson Guimarães da Silva Braga**

**Matheus Lameu Alves**

Projeto de pesquisa apresentado à Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba como exigência para a conclusão da disciplina de Projeto de Trabalho de Graduação, no Curso Superior de Tecnologia em Mecânica - Processo de Soldagem.

Orientador (a): Prof. Me. Carlos Eduardo Figueredo dos Santos

**PINDAMONHANGABA-SP**

**2023**

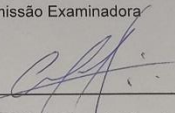
Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

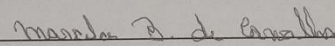
**"ANÁLISE DA SOLDAGEM DE  
AMANTEIGAMENTO NO AÇO FERRAMENTA AISI  
D6 UTILIZANDO O PROCESSO DE SOLDAGEM  
GTAW".**

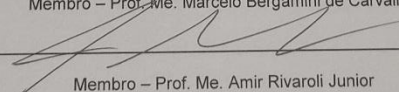
**Jadson Guimarães da Silva Braga  
Matheus Lameu Alves**

Monografia apresentada à Faculdade de  
Tecnologia de Pindamonhangaba, para  
graduação no Curso Superior de  
Tecnologia em Mecânica: Processos de  
Soldagem.

Comissão Examinadora

  
Orientador – Prof. Me. Carlos Eduardo Figueiredo dos Santos

  
Membro – Prof. Me. Marcelo Bergamini de Carvalho

  
Membro – Prof. Me. Amir Rivaroli Junior

**Pindamonhangaba, 13 de dezembro de 2023.**

B813a Braga, Jadson Guimarães da Silva.  
Análise da soldagem de amanteigamento no aço ferramenta AISI D6 utilizando o processo de soldagem GTAW / Jadson Guimarães da Silva Braga; Matheus Lameu Alves / FATEC Pindamonhangaba, 2023. 43f.; il.

Orientador: Professor Me. Carlos Eduardo Figueiredo dos Santos  
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. 2023

1. Processo de Soldagem. 2. Aço AISI D6. 3. TIG. 4. Amanteigamento. 5. Esmerilhamento. I. Braga, Jadson Guimarães da Silva. II. Alves, Matheus Lameu. III. Santos, Carlos Eduardo Figueiredo dos. IV. Título.

CDD 621

Dedicamos aos nossos familiares  
que com paciência e muita  
compreensão, souberam aceitar  
a redução do nosso tempo de  
nos dedicar aos estudos.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradecemos a Deus por nos dar forças e motivação para enfrentarmos os desafios e ultrapassar os obstáculos. Ao orientador, Carlos Eduardo que foi nosso grande mestre, que com sua experiência nos deu estímulos necessários para a procura do conhecimento nesse caminho. A Faculdade de tecnologia de Pindamonhangaba-FATEC pela contribuição para a formação.

“Grandes realizações não são feitas por impulso, mas por uma soma de pequenas realizações”.  
Vincen Van Vogh

BRAGA, Jadson Guimarães da Silva; ALVES, Matheus Lameu. Análise da soldagem de amanteigamento no aço ferramenta AISI D6 para conformação a frio utilizando o processo de soldagem GTAW. São Paulo. FATEC. 2023.

### **Resume**

Esta pesquisa abordou a soldabilidade do aço ferramenta AISI D6, um material amplamente usado em processos de conformação, corte e usinagem. Este estudo destaca a dificuldade de soldar esse tipo de aço devido ao seu alto teor de carbono, tornando necessário realizar procedimentos adicionais buscando a qualidade necessária para enfrentar as condições de trabalho. Para realizar a soldagem foi escolhido o processo de soldagem por arco elétrico TIG (tungsten inert gas), sendo a melhor escolha para recuperar aços ferramentas, pois permite um controle preciso dos parâmetros elétricos e a alimentação manual do metal de adição. Neste estudo de caso, foi utilizado o processo TIG com duas varetas diferentes: a vareta 3091 foi utilizada para o amanteigamento (almofada) para preparar a superfície, seguida pela utilização da vareta 14718, que é um revestimento duro. Além do amanteigamento, também foram realizados pré-aquecimento e para evitar defeitos após a soldagem. Deve se destacar a importância do reparo do aço ferramenta AISI D6, pois isso pode reduzir consideravelmente os custos das empresas. O valor das matrizes feitas com esse aço varia significativamente, e a recuperação dessas matrizes por meio de soldagem pode contribuir para a redução dos custos de fabricação, uma vez que o desgaste das ferramentas está indiretamente incluído no custo de produção. A realização de ensaios metalográficos, medição de dureza Rockwell (HRC) e ensaios de líquido penetrante permitirá uma avaliação completa da qualidade final da soldagem. Essas análises proporcionarão informações fundamentais sobre a estrutura da solda, a distribuição de elementos e possíveis descontinuidades. Compreender esses aspectos é essencial para garantir a integridade da peça soldada.

**PALAVRAS CHAVES:** aço aisi d6, Processo de Soldagem TIG, Amanteigamento, esmerilhamento.



BRAGA, Jadson Guimarães da Silva; ALVES, Matheus Lameu. Analysis of overlay welding on AISI D6 tool steel for cold forming using the welding process GTAW. São Paulo. FATEC. 2023.

### **Abstract**

This research addressed the weldability of AISI D6 tool steel, a material widely used in forming, cutting and machining processes. This study highlights the difficulty of welding this type of steel due to its high carbon content, making it necessary to carry out additional procedures seeking the quality necessary to face working conditions. To perform the welding, the TIG (tungsten inert gas) electric arc welding process was chosen, being the best choice for recovering tool steels, as it allows precise control of electrical parameters and manual feeding of the filler metal. In this case study, the TIG process was used with two different rods: the 3091 rod was used for buttering (cushioning) to prepare the surface, followed by the use of the 14718 rod, which is a hard coating. In addition to buttering, preheating was also carried out to avoid defects after welding. The importance of repairing AISI D6 tool steel should be highlighted, as this can considerably reduce companies' costs. The value of dies made with this steel varies significantly, and the recovery of these dies through welding can contribute to reducing manufacturing costs, since tool wear is indirectly included in the production cost. Carrying out metallographic tests, Rockwell hardness measurement (HRC) and liquid penetrant tests will allow a complete assessment of the final quality of the welding. These analyzes will provide fundamental information about the weld structure, the distribution of elements and possible discontinuities. Understanding these aspects is essential to guarantee the integrity of the welded part.

**KEYWORDS:** AISI D6 steel, TIG welding process, buttering, grinding

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquemática da soldagem TIG.....	9
Figura 2 – Identificação do eletrodo.....	11
Figura 3 – Composição química do eletrodo.....	12
Figura 4 – Geometria da ponta do eletrodo.....	12
Figura 5 – Parâmetros de cada eletrodo.....	13
Figura 6 – Comparativo entre vasão de gás e corrente.....	14
Figura 7 – Quadro de seleção de gás.....	14
Figura 8 – Peça aço AISI D6.....	19
Figura 9 – Forno elétrico.....	21
Figura 10 – Ebulidor elétrico.....	21
Figura 11 – Multímetro digital e termômetro de vidro.....	22
Figura 12 – Ensaio de dureza.....	22
Figura 13 – Representação do tratamento térmico.....	23
Figura 14 – Forno elétrico sem refratário.....	24
Figura 15 – Maçarico e termopar.....	25
Figura 16 – Tocha TIG e máquina de soldagem TIG.....	25
Figura 17 – Líquido penetrante e revelador utilizados.....	26
Figura 18 – Luxímetro.....	26
Figura 19 – Amostras soldadas.....	27
Figura 20 – Anexo 1 relatório do ensaio de líquido penetrante.....	30
Figura 21 – Folha de mapeamento longitudinal das descontinuidades.....	31
Figura 22 – Metal de base lixado ampliado a 100x.....	32
Figura 23 – Metal de base lixado ampliado a 200x.....	33
Figura 24 – Metal de adição não lixado ampliado a 50x.....	34
Figura 25 – Metal de base sem lixar ampliado a 200x.....	35
Figura 26 – Topo da solda lixado ampliado a 200x.....	35
Figura 27 – ZTA ampliado a 200x.....	36
Figura 28 – Altura inicial da solda.....	36
Figura 29 – Altura final da solda.....	37

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Classificação dos aços ferramentas de acordo com a SAE.....	4
Tabela 2 – Composição química do aço AISI D6.....	20

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	2
1.2 OBJETIVO.....	2
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	2
1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	2
1.3 JUSTIFICATIVA.....	3
2. REFERENCIAL TEORICO.....	4
2.1 AÇO FERRAMENTA.....	4
2.2 TRATAMENTO TÉRMICO.....	5
2.3 TÊMPERA.....	6
2.4 REVENIMENTO.....	7
2.5 NORMALIZAÇÃO.....	7
2.6 PRÉ AQUECIMENTO.....	8
2.7 AÇO AISI D6.....	8
2.8 PROCESSO TIG.....	9
2.8.1 APLICAÇÕES.....	9
2.8.2 ELETRODO.....	10
2.8.3 PARAMETROS DE SOLDAGEM.....	13
2.8.4 VARETA TIG ER309L.....	15
2.8.5 ASPECTOS TÉCNICOS DA SOLDAGEM.....	15
2.8.6 APLICAÇÃO DA VARETA.....	15
2.9 INSPEÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS.....	16
2.10 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS.....	16
2.11 LÍQUIDO PENETRANTE.....	17
2.12 SOLDAGEM POR REVESTIMENTO.....	17
2.13 AMANTEIGAMENTO.....	17
2.14 ENSAIO MECÂNICO DE DUREZA ROCKWELL.....	17
3 MATERIAIS E METODOS.....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1 SOLDAGEM.....	27
4.2 PROCEDIMENTO DE TRATAMENTO TÉRMICO DO AÇO AISI D6.....	28
4.2.1 TRATAMENTO TÉRMICO DE RECOZIMENTO.....	28
4.2.2 TRATAMENTO TÉRMICO DE TÊMPERO.....	28

4.3 RESULTADOS DE AVALIAÇÃO MECÂNICA DAS JUNTAS (DUREZA ROCKWELL) .....	29
4.4 ENSAIO POR LÍQUIDO PENETRANTE.....	29
4.5 ANÁLISE MICROESTRUTURAL E MACROESTRUTURAL DAS AMOSTRAS APÓS ENSAIOS DE DUREZA ROCKWELL.....	32
5 CONCLUSÃO.....	38
6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	39

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Modenesi (2011), existem diversas ligas metálicas, sendo que nem todas podem ser soldadas. No entanto, a maioria delas é soldável, embora algumas apresentem dificuldades de serem soldadas, e com isso é necessário realizar procedimentos adicionais para garantir a obtenção da qualidade adequada para que essas ligas possam atuar nas condições às quais são submetidas.

De acordo com Silva e Avanzi (2011), os aços classificados como ferramentas para trabalho a frio são amplamente utilizados em processos de conformação, corte, usinagem, entre outros. Esses aços possuem alto teor de carbono, o que lhes confere elevada dureza e alta resistência ao desgaste. Além disso, apresentam alto teor de cromo e passam por tratamento térmico, sendo temperados e revenidos, resultando em alta dureza, resistência ao desgaste e tenacidade, que são suas principais características.

Segundo Borghi (2010), o aço ferramenta AISI D6 apresenta baixa soldabilidade devido ao seu elevado teor de carbono, o que dificulta sua soldagem. Este tipo de aço é considerado indeformável, mas pode sofrer desgaste ou fraturar prematuramente em áreas indesejadas. Por isso, muitas vezes é necessário realizar o reparo desses aços ferramentas, seja para recuperar ferramentas quebradas ou desgastadas, renovar arestas de corte ou conformação, corrigir erros de usinagem ou fazer alterações de projeto em moldes ou ferramentas, conforme destacado por Delarco (2022).

O reparo no aço ferramenta AISI D6 é de fundamental importância, pois pode reduzir significativamente os custos da empresa. Conforme Borghi (2010), o valor das matrizes feitas com esse aço pode variar consideravelmente, indo de R\$300,00 a R\$70.000,00. Dessa forma, a recuperação dessas matrizes por meio de soldagem pode contribuir para a redução dos custos de fabricação do produto, uma vez que o desgaste das ferramentas está indiretamente incluído no custo de produção. Entretanto, é necessário ter cuidado ao realizar retrabalho no aço ferramenta AISI D6 para evitar defeitos, uma vez que ele sofre um ciclo térmico para obter as propriedades adequadas ao trabalho a que é submetido, ou seja, é temperado e revenido, tornando-se menos soldável para o reparo.

Conforme mencionado por Delarco (2022), o processo de soldagem TIG (Tungsten Inert Gas) é a melhor escolha para recuperar aços ferramentas, pois permite um controle preciso dos parâmetros elétricos e a alimentação manual do metal de adição. Neste estudo de caso, será utilizado o processo TIG com duas varetas diferentes: a vareta 309l será utilizada para o

amanteigamento (almofada) para preparar a superfície, seguida pela utilização da vareta 14718, que é um revestimento duro. Além do amanteigamento, também serão realizados pré-aquecimento e para evitar defeitos após a soldagem.

De acordo com Pontes (2012), o amanteigamento atua como uma barreira para evitar a migração de elementos indesejáveis do metal base para a junta soldada, além de contribuir para o refino dos grãos e alívio de tensões residuais na ZTA (Zona Afetada pelo Calor). Neste trabalho, será realizado um estudo de caso para analisar o reparo do aço ferramenta AISI D6 por meio do revestimento de amanteigamento. Serão realizados ensaios metalográficos, medição de dureza rockwell (HRC) e ensaio de líquido penetrante para avaliar a qualidade final da soldagem.

## 1.1 PROBLEMA

O aço aisi d6 é de alto carbono e alta liga ao soldar, esse material tem grande possibilidade de aparecer descontinuidade e defeitos em razão de formação de fases indesejáveis após a soldagem.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho pretende analisar a soldagem por revestimento de amanteigamento no aço AISI D6, sendo assim apontar os resultados obtidos através do estudo.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a microestrutura da ZTA por ensaio micrografia e micrografia
- Realizar soldagem do aço AISI D6 no estado temperado/revenido;
- Realizar a deposição do revestimento de amanteigamento para melhorar a soldabilidade do aço AISI D6;
- Realizar ensaio de dureza HRC para avaliar a resistência ao endurecimento do aço tratado e soldado.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

É de grande importância o reparo do aço AISI D6, pois, ao reparar este material faz com que o custo da empresa seja reduzido, e o tempo de parada de produção seja menor e evitar gasto com a compra de um novo.

A soldagem de aços ferramenta, como o AISI D6, apresenta desafios significativos devido à sua baixa soldabilidade devido ao elevado teor de carbono. No entanto, a recuperação e o reparo desses materiais são de extrema importância para a indústria, pois podem reduzir custos significativos associados à substituição de ferramentas desgastadas ou quebradas.

Ao compreender os desafios inerentes à soldagem do aço AISI D6, é possível desenvolver procedimentos adequados para superar as dificuldades, como a preparação da superfície por meio do amanteigamento. O amanteigamento atua como uma barreira protetora, evitando a migração de elementos indesejáveis do metal base para a junta soldada e contribuindo para o refino dos grãos e alívio de tensões residuais na Zona Afetada pelo Calor (ZTA)..

Portanto, o estudo se baseia na necessidade de solucionar desafios relacionados à soldabilidade do aço ferramenta AISI D6 e no potencial de redução de custos por meio do reparo de ferramentas e matrizes desgastadas. Além disso, o estudo busca explorar o uso adequado do processo de soldagem TIG com revestimentos de amanteigamento para melhorar a qualidade peça soldada, prolongando a vida útil das ferramentas e ampliando sua eficiência na indústria.



## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 AÇOS FERRAMENTA

Segundo Silva e Avanzi (2010), com os grandes avanços tecnológicos na revolução industrial, houve um aumento na procura por novas ferramentas. Durante esse período, o objetivo era encontrar ferramentas de menor custo, porém com boa qualidade e que fossem compatíveis com os trabalhos mais exigentes. Para atender a essa necessidade, foram desenvolvidas diversas ligas especiais para ferramentas. Hoje em dia, existe uma ampla gama de aços ferramenta disponível, sendo importante que os técnicos responsáveis pelo projeto consultem o produto, uma vez que são fabricadas diferentes ligas metálicas com composições químicas variadas e aplicações distintas.

Os aços ferramenta, em geral, são ligas Fe-C com adição de elementos formadores de carbonetos, como vanádio, tungstênio, cromo, molibdênio, entre outros. Conforme o próprio nome sugere, esses aços são utilizados na fabricação de ferramentas de corte, dobramento, moldes, matrizes e qualquer outra ferramenta capaz de transformar um material em uma peça com uso bem definido (JUNIOR, 2006).

De acordo com Aços Nobres (2022), atualmente existem mais de 100 ligas de aço ferramenta, as quais são divididas em três grandes grupos: trabalho a quente, trabalho a frio e para moldes de plástico. Além disso, esses aços são classificados pela norma SAE em seis partes diferentes, como mostrado na tabela 1.

Tabela 1 - Classificação dos aços ferramentas de acordo com a SAE.

<b>Denominação dos aços ferramentas</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Designação</b>	<b>Exemplo</b>	<b>Aplicação</b>
<b>M</b>	Aço rápido ao molibdênio (Molibden)	M2	Usinagem
<b>H</b>	Aço ferramenta para trabalho a quente (Hot)	H13	Trabalho a quente
<b>D</b>	Aço ferramenta para matrizes (Dies)	D6, D3, D2	Trabalho a frio
<b>O</b>	Aço ferramenta temperável ao óleo (Oil)	O1	Trabalho a frio
<b>S</b>	Aços resistente ao choque (Shock)	S1	Trabalho a frio
<b>P</b>	Aço para molde (Plastic)	P20	Moldes para plásticos

Fonte:(AÇOS NOBRES, 2022).

Os aços ferramentas representam um importante segmento da produção siderúrgica de aços especiais. Estes aços são produzidos e processados para atingir um elevado padrão de qualidade e são utilizados principalmente em: matrizes, moldes, ferramentas de corte intermitente e contínuo, ferramentas de conformação de chapas, corte a frio, componentes de máquina e outros. Apesar de existirem mais de 100 tipos de aços ferramenta normalizados internacionalmente, procurando atingir as mais diversas aplicações e solicitações, a indústria de ferramentaria trabalha com uma gama reduzida de aços que possuem suas propriedades e desempenho consagrados ao longo do tempo (BORGHI, 2010).

De acordo com Chiaverini (1900) esses aços possuem grandes quantidade de elementos de liga com que faz eles ter alta capacidade de temperabilidade, ou seja, quando se adiciona os elementos de liga as curvas TTT (transformação tempo temperatura) se desloca para o lado direito do diagrama ferro-carbono aumentando o tempo de incubação da austenita e retardando os processos de transformação. Portanto, o efeito do elevado teor de carbono e cromo faz com que esses aços temperam até ao núcleo, pois apresentam baixa velocidade crítica de arrefecimento, o que faz ele ter elevada temperabilidade onde pode até ser mesmo temperado ao ar.

## 2.2 TRATAMENTO TÉRMICO

Tratamentos térmicos podem ser definidos como processos em que um metal, no estado sólido, é submetido a um ou mais ciclos de aquecimento e resfriamento para alterar, de forma desejada, uma ou mais de suas propriedades os aços podem ser submetidos a diferentes tratamentos térmicos visando um dos seguintes objetivos (MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2011).

- Remover as tensões induzidas pelo trabalho a frio ou remover as tensões originadas por resfriamento não uniforme de peças aquecidas;
- Diminuir a dureza e aumentar a ductilidade;
- Aumentar a dureza, a resistência mecânica e a resistência ao desgaste;
- Aumentar a tenacidade de forma a combinar uma alta resistência à tração e uma boa ductilidade, permitindo suportar choques de maior intensidade;
- Melhorar a usinabilidade;
- Melhorar as propriedades de corte de ferramentas;
- Alterar as propriedades elétricas e magnéticas.

O processo de tratamento térmico consiste em aquecer ou resfriar determinado material metálico de forma controlada afim de alterar suas propriedades físicas e mecânicas, sem que ocorra alteração no formado. Através disso é possível amolecer, diminuir a dureza, melhorar a tenacidade, endurecer, aumentar a resistência mecânica. Dentre os principais tipos de tratamentos estão os de recozimento, alívio de tensão, normalização, têmpera, cementação e nitretação (MONFERRATO, 2023).

### 2.3 TÊMPERA

Houve um grande avanço tecnológico quando o homem descobriu como conferir dureza ao aço. Os dentes da engrenagem, o engate do trem, o amortecedor do carro, as brocas devem ser fabricadas com aço endurecido, para suportarem os esforços a que são submetidos. A têmpera é um processo de tratamento térmico do aço destinado à obtenção de dureza. Uma têmpera feita corretamente possibilita vida longa à ferramenta, que não se desgasta nem se deforma rapidamente (SENAI, 2000).

Têmpera consiste no aquecimento de uma peça até a sua completa austenitização, seguido de seu resfriamento a uma velocidade suficientemente rápida para causar a formação da martensita, isto é usualmente conseguido por imersão em banho de salmoura, água ou óleo (MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2011).

Segundo Zuppo (2011), esse procedimento consiste em realizar um resfriamento brusco para evitar que a fase se transforme em perlita ou bainita, as quais poderiam ocasionar a perda da fase metaestável martensítica e, conseqüentemente, suas propriedades.

A microestrutura dos aços comuns é formada pela deformação da estrutura cristalina cúbica de corpo centrado (CCC), a qual possui baixa solubilidade de carbono no ferro. Essa estrutura cristalina tetragonal de corpo centrado (TCC) pode ser observada no microscópio como pequenos grãos em forma de agulhas, extremamente finos e resistentes. No entanto, essa maior resistência torna o aço menos dúctil e, muitas vezes, quebradiço, o que demanda um tratamento térmico adicional para aliviar tensões, aumentar a ductilidade e reduzir perdas de resistência mecânica. Esse tratamento é conhecido como revenimento (SILVA, 2016).

De acordo com Chiaverini (2003), entre os diversos tratamentos térmicos disponíveis, a têmpera é considerada a mais importante, pois, quando seguida pelo revenimento, proporciona aos aços maior qualidade, permitindo sua aplicação em ambientes críticos e de alta

responsabilidade dentro do mercado industrial de transporte, mecânica e outros setores".

## 2.4 REVENIMENTO

Segundo o Senai (2000) a têmpera causa mudanças nas propriedades do aço como a dureza, a resistência à tração, atingem valores elevados. Mas outras propriedades como resistência ao choque e o alongamento ficam muito baixas e o aço adquire tensões internas o que torna o aço inadequado ao trabalho. Portanto, é necessário revenir o aço após a têmpera, pois, o revenimento tem a função de adequar a dureza excessiva causada pela têmpera, ou seja, aliviar ou remover as tensões internas, o processo de revenimento sempre é em seguida da têmpera.

Logo após a têmpera, a peça é levada ao forno, em temperatura abaixo da zona crítica, variando de 100°C a 700°C, dependendo da futura utilização do aço. Decorrido algum tempo (de uma a três horas), retira-se a peça do forno e deixa-se que ela resfrie por qualquer meio (SENAI, 2000).

## 2.5 NORMALIZAÇÃO

Esse tipo de tratamento térmico tem como objetivo eliminar os mais diversos tipos de defeitos resultantes de processos a quente ou a frio, tal como soldagem e fundição. Além disso o seu resfriamento é menos lento comparado com outros, devido a ser no ar. A estrutura final desse tratamento é mais fina, com isso, obtendo propriedades mecânicas superiores (AÇOS VIC, 2023).

É requerido o uso da normalização quando aços com crescimento excessivo de grãos devido a exposição ao calor, possibilitando que esses grãos ganhem melhores propriedades mecânicas, tal como a tenacidade. A normalização é normalmente utilizada antes de submeter o material a têmpera ou revenimento, demais tratamentos térmicos oferecidos nas indústrias, mas considerados superficiais (AÇOS VIC, 2023).

As vantagens são inúmeras, variando de acordo com o objetivo que quer alcançar, sendo eles relacionados a melhorias da sua microestrutura. É mais usado no processo de laminação por trazer mais vantagens do que outros, obtendo uma estrutura mais uniforme para o metal antes de expor a têmpera ou revenimento. As peças que sofrem normalização são adequadas também para serem usadas em etapas intermediária nos processos fabris (AÇOS VIC, 2023).

## 2.6 PRÉ-AQUECIMENTO

A taxa de resfriamento é uma consequência direta da quantidade de calor recebida pelo material e de sua capacidade de dissipação em um determinado período (Dutra; Machado, 2017). Seguindo a observação de Lages (2019), é importante ressaltar que a maioria dos metais possui uma alta condutividade térmica, o que significa que, durante o processo de soldagem, o calor é rapidamente distribuído por toda a estrutura da peça. Esse resfriamento rápido pode resultar em formação indesejável de fases microestruturais que comprometem as propriedades do aço.

Devido ao alto teor de carbono presente no aço AISI D6, é comum ocorrer a formação de fases que prejudicam a qualidade do material após o processo de soldagem. Portanto, é essencial realizar pré-aquecimento nesse tipo de aço. Conforme observado por Telles (2001), AWS (2010) e Perez (2010), o pré-aquecimento reduz a taxa de resfriamento,

De acordo com Borghi (2010) existem duas formas de pré-aquecimento, a primeira forma é leva a peça ao forno, e a segunda forma que pode ser utilizada é aquece a peça com auxílio de um maçarico.

## 2.7 AÇO AISI D6

Esse aço é ideal para corte de chapa, usado também em revestimentos de moldes cerâmicos por sua grande capacidade de manter a estabilidade no gume da lâmina. Sua elevada dureza o faz ser muito adequado em aplicações de severo desgaste como em conformação e corte a frio, em superfícies deslizantes e moldes para materiais cerâmicos. É usado em ferramentas de corte como matrizes, tesouras, facas e punções (Group AR, 2023).

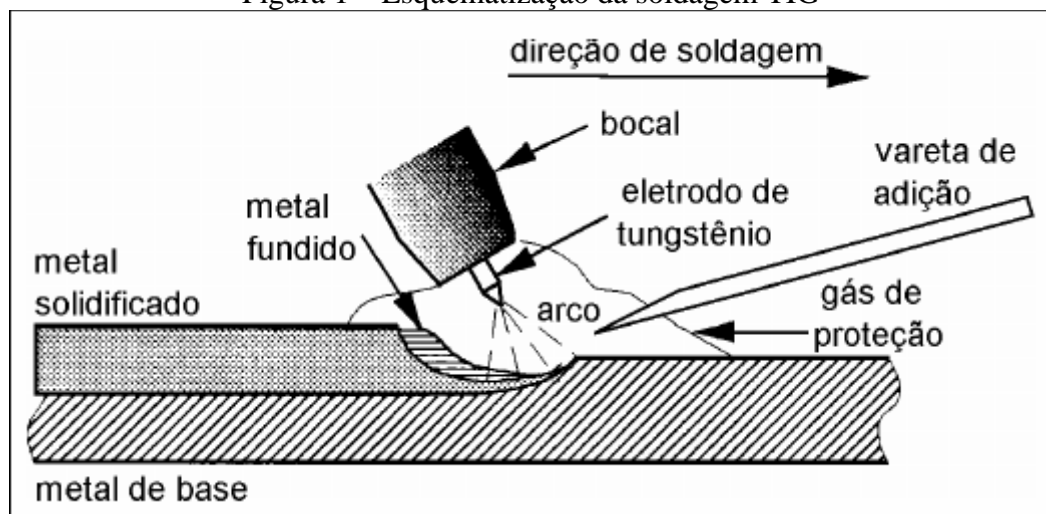
Pode ser realizados diversos tipos de ensaios térmicos, tais como: alívio de tensão, que consiste em ferramentas de formas complexas, como remoção heterogênea de material na usinagem de desgaste. mudança brusca de seções; têmpera, acontece durante o aquecimento para o estado austenítico, servindo para garantir homogeneidade de temperatura e minimizar distorções; revenimento, deve ser feito após a têmpera quando a temperatura atingir por volta de 70°C; nitretação, serve para elevar a resistência ao desgaste pelo endurecimento superficial, devendo ser controlado de forma a não diminuir significativamente a dureza do corpo da ferramenta; eletroerosão e retífica, pôr o aço AISI D6 ocorrer aparecimento de trincas após estes processos, esse tratamento térmico pode causar retempera da superfície, deteriorando o tratamento térmico na região e levar a formação de trincas (Mourano, 2023).

## 2.8 PROCESSO TIG

O processo TIG também conhecido como GTAW ou **Gas Tungsten Arc Welding** (Soldagem a arco com gás tungstênio) é uma soldagem a arco elétrico com proteção gasosa que utiliza eletrodo de tungstênio, um gás inerte, para proteger a poça de fusão. O tungstênio é um material que é feito o eletrodo e o gás inerte refere-se as gás que não reage com outros materiais. No processo TIG apresenta algumas variantes, como a soldagem TIG por pontos, TIG por corrente pulsada e TIG com arame quente (Info solda, 2023).

Nesse tipo de soldagem o aquecimento é obtido por meio de um arco elétrico gerado com o auxílio de um eletrodo não consumível de tungstênio o qual não deve se fundir para evitar defeitos ou discontinuidades no cordão de solda. O eletrodo e a poça de fusão são protegidos por uma atmosfera gasosa constituída de gás inerte, isto é, um gás que não reage com outros materiais, ou uma mistura de gases inertes, geralmente argônio e hélio (SciELO, 2011). Conforme podemos verificar na figura 1.

Figura 1 – Esquemática da soldagem TIG



Fonte: CETEC, 2022

O processo TIG permite soldar materiais com ou sem metal de adição. Dependendo da aplicação da solda, é possível adicionar material à poça de fusão, nesse caso o material deverá ser compatível com o metal de base.

Desenvolvido na década de 1940 com o intuito de soldar aços inoxidáveis e de ligas de alumínio e magnésio, hoje em dia, é usado para soldar praticamente todos os metais.

### 2.8.1 Aplicações

O processo TIG é muito utilizado com uma espessura menor que 10 mm, podendo unir todos os tipos de chapas e juntas. É recomendado para quase todos os metais, em especial ligas

de alumínio, magnésio, ligas de níquel, inoxidáveis e ligas especiais. É um processo bastante utilizado em tubos, na indústria nuclear e aeroespacial e em trabalhos de reparação devido a facilidade em encontrar o processo e à possibilidade de utilizar material de adição (Info solda, 2023).

Esse tipo de soldagem tem como vantagem apresentar excelente qualidade do cordão de solda, sem presença de escoria e sem respingos, podendo ser utilizado em todas as posições e juntas. O processo TIG é recomendado para materiais com fina espessura que são sensíveis ao calor, já que apresenta um controle preciso de entrega térmica (Info solda, 2023).

Esse procedimento tem como desvantagens possuir uma produtividade baixa em chapas grossas e não poder ser utilizado em local aberto sem cobertura ou protegido, pois a circulação do ar atmosférico influencia a proteção do gás inerte, prejudicando a qualidade do cordão (Info Solda, 2023)

### 2.8.2 Eletrodo

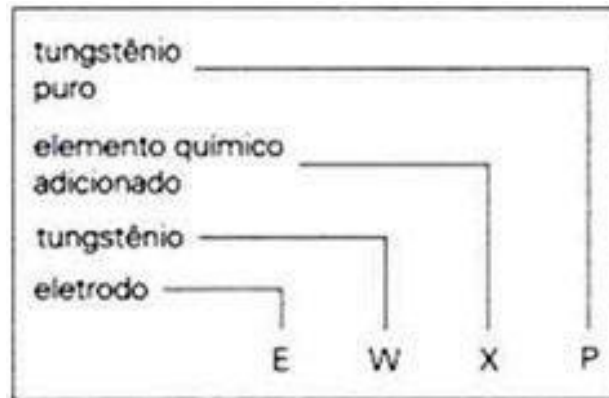
O eletrodo utilizado na soldagem é o de tungstênio, possuindo o maior ponto de fusão entre os metais  $3400^{\circ}$ . Outra característica é a facilidade de emissão de elétrons, auxiliando bastante na estabilidade do arco, podendo ser puro (99%) ou com ligas de zircônio ou tório (Info solda, 2023).

O eletrodo puro apresenta como vantagem um menor custo e menor efeito de retificação quando usado corrente alternada. Por outro lado, as desvantagens são a dificuldade na abertura do arco e menor durabilidade (Info solda, 2023).

Os eletrodos com adição de zircônio ou toro são importantes para melhorar o desempenho do processo, elevando a durabilidade, maior resistência com potencias elevadas e melhores propriedades de ignição. Por outro lado, tem as desvantagens que são elevado custo, maior efeito de retificação e estabilidade do arco (Info solda, 2023).

É estabelecido um código de identificação do eletrodo segundo sua composição química pela norma AWS A5.12-09. Segundo esse código, a letra E significa eletrodo, o W é para o wolfrâmio (ou tungstênio), o elemento químico que é feito o eletrodo, X é o elemento químico adicionado ao eletrodo e P significa puro (Passei direto, 2023). Conforme mostra a figura 2.

Figura 2 – Identificação do eletrodo



Fonte: Info solda, 2023

O EWTh contém óxido de tório, conhecido como tória, é responsável pelo aumento da vida útil do eletrodo em relação aos eletrodos de tungstênio puro devido ao sua alta emissão de elétrons, melhor ignição e estabilidade de arco. Estes eletrodos têm maior vida útil e apresentam grande resistência a contaminantes de tungstênio de solda (Passei direto, 2023).

EWLa é o eletrodo de tungstênio que contém 1% de óxido de lantânio, conhecido como lantânia, as vantagens são bem similares às do eletrodo com céria (Passei direto, 2023).

EWCe é o eletrodo de tungstênio com óxido de cério, mais conhecido com céria, apresentando elevada facilidade de ignição, maior estabilidade do arco, reduzida taxa de valorização ou queima e trabalha muito bem com corrente alternada ou contínua, com qualquer polaridade, essas vantagens aumentam com o aumento da quantidade de céria (Passei direto, 2023).

Por fim o eletrodo com adição de óxido de zircônio, conhecido como zircônio (EWZr), esse eletrodo é o preferido em aplicações nas quais a contaminação com tungstênio deve ser minimizada. Apresenta um bom desempenho quando utilizado em corrente alternada e apresenta alta resistência à contaminação (Passei direto, 2023).

A norma ANSI/AWS A5.12-09 apresenta a classificação completa quando à composição química do eletrodo. Conforme mostra a figura 3.



Figura 3 – Composição química do eletrodo

Classificação AWS	W %	CeO <sub>2</sub> %	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	ThO <sub>2</sub> %	ZrO <sub>2</sub> %	Outros % (máx.)	Cor da ponta
EWP	99,5	-	-	-	-	0,5	Verde
EWCe-2	97,5	1,8 - 2,2	-	-	-	0,5	Laranja
EWLa-1	98,3	-	0,9 - 1,2	-	-	0,5	Preta
EWTh 1 (1%)	98,5	-	-	0,8 - 1,2	-	0,5	Amarela
EWTh 2 (2%)	97,5	-	-	1,7 - 2,2	-	0,5	Vermelha
EWZr-1	99,1	-	-	-	0,15 - 0,40	0,5	Marrom
EWG	94,5	-	-	-	-	0,5	Cinza

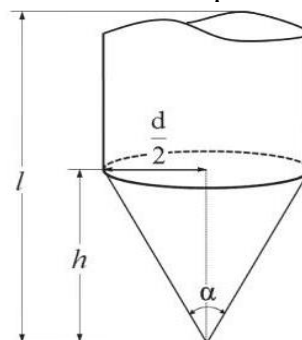
Os números 1 e 2 apresentam a quantidade de material adicionado

Fonte: Info Solda

A necessidade de realizar uma preparação previa da ponta do eletrodo, como corrente utilizada na soldagem e o diâmetro do eletrodo. Essa preparação ocorre com o esmerilhamento da ponta, sempre no sentido longitudinal, para facilitar o direcionamento dos eletros. Em casos especiais, as marcas do esmerilhamento podem ser retiradas por polimento (Info solda, 2023).

A soldagem por corrente continua a ponta do eletrodo deve ser pontiaguda. Pode se obter o cone correto da ponta do eletrodo por uma norma prática: a altura do cone deve ser duas vezes o diâmetro do eletrodo (Info solda, 2023). Conforme mostra a figura 4.

Figura 4 – Geometria da ponta do eletrodo



Fonte: Scielo, 2023

No caso da soldagem por corrente alternada, o eletrodo deve ter a ponta ligeiramente arredondada. A escolha do tipo e o diâmetro do eletrodo deve levar em consideração a espessura e o tipo de material, o tipo de junta, o número de passes e os parâmetros de soldagem, como amperagem e tensão, além de composição química do eletrodo (Info solda, 2023). Conforme

mostra a figura 5.

Figura 5 – Parâmetros de cada eletrodos

Diâmetro do eletrodo		Tungstênio puro	Tungstênio/Tório	Tungstênio/Zircônio
pol.	mm	Ampères CA	Ampères CA	Ampères CC
0.020	0.5	5 - 15	5 - 20	5 - 20
0.040	1.0	10 - 60	15 - 80	20 - 80
1/16	1.6	50 - 100	70 - 150	80 - 150
1/32	2.4	100 - 160	110 - 200	120 - 220
1/8	3.2	130 - 180	150 - 200	200 - 300
5/32	4.0	180 - 230	180 - 250	250 - 400

Fonte: Info solda, 2023

### 2.8.3 Parâmetros de soldagem

Os parâmetros de soldagem atuam na qualidade apresentada no cordão de solda, assim, é necessário ter conhecimento sobre todas as variáveis desse processo para cada tipo de ocasião. Os parâmetros existentes são o comprimento do arco, a velocidade de soldagem, a vazão do gás e a corrente de soldagem (Info solda, 2023).

O comprimento do arco consiste na distância entre a ponta do eletrodo e o metal base, aumentando o comprimento, fazendo aumentar também a tensão do arco, sob uma determinada corrente e vazão de gás. O comprimento do arco influencia diretamente na qualidade da solda, que pode ser mais largo quando maior for o arco ou um arco muito curto ou muito distante torna-se instável, favorecendo a formação de defeitos e discontinuidades como, porosidades, falta de fusão, trincas e mordeduras (Info solda, 2023).

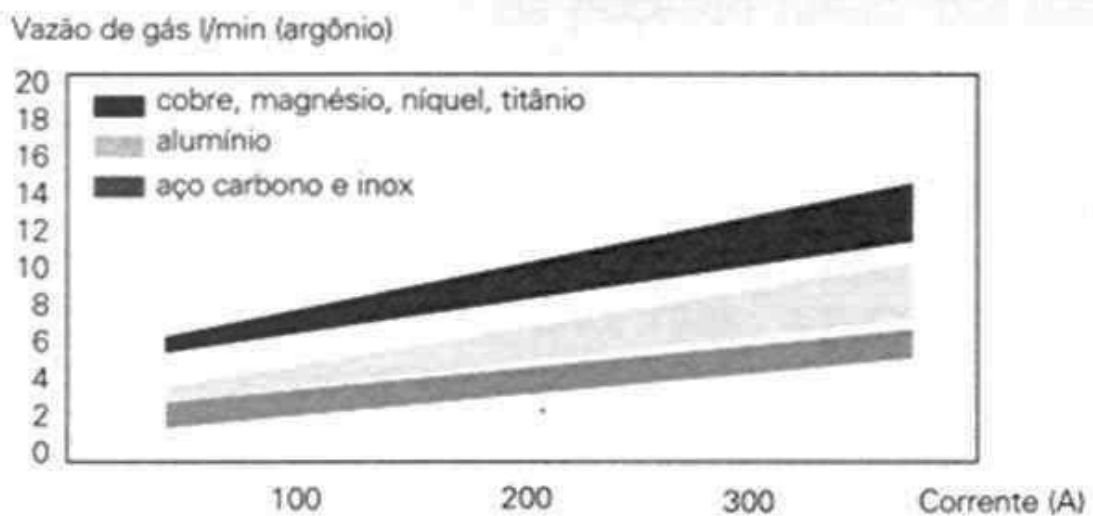
A velocidade da execução da solda tem influência sobre a penetração e a largura do cordão, se a velocidade diminui ocorre uma maior penetração e o cordão aumenta, se a velocidade aumenta ocorre o oposto disso, acontecendo o mesmo com o reforço quando se solda com adição de metal. A velocidade maior proporciona eficiência e a produtividade na soldagem, reduzindo os custos, porém, elevar a velocidade demais pode gerar defeitos e discontinuidades também, como mordeduras e falta de penetração (Info solda, 2023).

A vazão do gás deve ser levada em considerações pois promove a proteção da junta soldada contra agentes contaminantes presentes na atmosfera, evitando aparições de defeitos e discontinuidades. A vazão pode ser forte o suficiente para deslocar o ar para longe da região do cordão e assim proteger a poça de fusão, porém, uma vazão elevada pode gerar turbulência no fluxo de ar, gerando discontinuidades ou defeitos no cordão e instabilidade do arco, e eleva o custo da soldagem (Info solda, 2023).

A vazão recomendada varia para cada tipo de gás utilizado, distância entre o bocal e a peça, tipo de metal a ser soldado e tamanho da poça de fusão. Tem no mercado dispositivos que melhoram o fluxo de gás tornando mais eficiente e suave. Antes de iniciar a soldagem é necessário fazer um teste, iniciando o processo com vazão elevada e diminuindo gradativamente até atingir a vazão ideal para o metal a ser soldado, que é quando oxida superficialmente o cordão, sendo a vazão próxima ou superior a essa (Cetec, 2023).

Considerando o argônio como gás de proteção, o ajuste do gás deve ser feito relacionando a intensidade da corrente, sendo relacionados a vazão/corrente mostrados a seguir. Conforme mostra a figura 6.

Figura 6 – Comparativo entre vazão de gás e corrente



Fonte: Info solda, 2023

Abaixo na figura 7 com outros tipos de metais para auxiliar na seleção do gás.

Figura 7 – Quadro de seleção de gás

Solda TIG	Material	Manual						Automática						
		Espessura						Espessura						
		≤ 3,2mm			> 3,2mm			≤ 3,2mm			> 3,2mm			
		Ar	Ar-He	He	Ar	Ar-He	He	Ar	Ar-He	He	A <sub>2</sub> -H <sub>2</sub>	Ar	Ar-He	He
	Alumínio e ligas	●			●			●	▲				●	▲
	Aço carbono	▲			▲			▲					▲	▲
	Aço inoxidável	▲				▲		▲	▲	▲				▲
	Níquel e ligas	▲				▲		▲	▲					▲
	Cobre		▲					▲	▲					▲
	Titânio e ligas	▲				▲		▲	▲					▲

● - corrente alternada, alta frequência  
 ▲ - corrente contínua, polaridade direta  
 Ar - He - contém acima de 75% de Hélio  
 A<sub>2</sub> - H<sub>2</sub> - contém acima de 15% de Hidrogênio

Fonte: Info solda, 2023

#### 2.8.4 Vareta TIG er309l

A vareta TIG ER309L possui uma elevada resistência a corrosão e elevadas temperaturas, devido os seus componentes, contendo principalmente 24% Cr e 13% Ni. É um consumível projetado para atender requisitos dos aços inoxidáveis que usam processos de solda com gás inerte. A baixa presença de carbono no metal depositado reduz definitivamente a possibilidade de precipitação de carbonetos de Cr, aumentando a resistência a corrosão intergranular. São indicados para soldar aços autênticos das séries 201, 202, 301, 302, 303, 304L, 308L. Também para soldar aços refratários de composição química similar, sob condição de alta diluição, usado com frequência em soldar dissimilares entre aços inoxidáveis e aços C Mn (Delarco, 2023)

#### 2.8.5 Aspectos técnicos da soldagem

Essa vareta possui um controle eficiente do metal de solda devido a fonte de calor altamente concentrada, com arco extremamente estável e com boa visibilidade. Cordões não apresentam sujeira ou respingos, sem a necessidade de aplicar fluxos, como resultado das características de limpeza do arco e baixa incidência em óxidos metálicos (Senai BA, 2012).

Apresenta excelente qualidade metalúrgica, operando em todas as posições de soldagem e elevado controle de penetração, mantendo o cordão livre de poros e outros defeitos e descontinuidades. Além disso, tem alta vida útil dos eletrodos de tungstênio (Senai BA, 2012).

#### 2.8.6 Aplicação da vareta

Essa vareta é utilizada na soldagem de aços inoxidáveis com aços carbono ou de baixa liga, ligações de juntas dissimilares, peças para aeronaves e motores a jato, parafusos de ancoragem de fornos, trocadores de calor, incineradores de resíduos, escapamentos automotivos e componentes de sopro de vidro (Senai BA, 2012).

## 2.9 INSPEÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS

A inspeção de juntas soldadas consiste na realização de um controle de qualidade que engloba diversas etapas, desde a fabricação da peça soldada até o seu fim de vida útil. Com isso, este termo refere-se as operações realizadas não somente na produção da peça, mas também enquanto está permanecer em esforço mecânico. Os princípios básicos de condução são iguais mesmo variando as etapas e tipos de descontinuidade ou defeito. Assim, existe alguns ensaios não destrutivos que podem ser usados na inspeção da junta soldada, tendo como principal objetivo identificar as descontinuidades presentes no cordão de solda (Senai BA, 2012).

## 2.10 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Como o nome diz esse tipo de ensaios consiste na técnica de inspeção de materiais e equipamentos metálicos sem danificá-los, sendo feito nas etapas de manutenção, construção, fabricação e montagem. Esse processo está entre as principais ferramentas de controle da qualidade de materiais e são muito usados nos setores siderúrgicos, navais, petrolíferos/petroquímicos, aeroespaciais, químicos e eletromecânicos. Esse processo ajuda a elevar a qualidade dos bens e serviços, reduzindo custos e aumentando a competitividade das empresas que os utilizam (ABENDI, 2018).

## 2.11 LÍQUIDO PENETRANTE

O ensaio de líquido penetrante (LP) consiste na revelação de descontinuidades em materiais metálicos. Esse processo se baseia na ação das capilaridades, que é o poder de penetração de um líquido em locais extremamente apertados devido às suas propriedades físicas e químicas, como por exemplo a tensão superficial. O quanto o líquido se penetra na junta soldada é de grande importância já que a sensibilidade do ensaio é dependente disso. O intuito do ensaio de líquido penetrante é avaliar a confiabilidade do produto, por meio de uma imagem visual, revelando a descontinuidade na superfície da junta soldada sem danificá-la (ABENDI, 2013).

Esse ensaio consiste na aplicação de um líquido sob a solda, possuindo características especiais, de forma que, após um período, esse líquido penetra nas descontinuidades presentes no material e que sejam abertas visualmente na superfície. Após esse determinado tempo, o excesso de líquido é removido e um spray chamado revelador é aplicado sobre a superfície,

agindo de forma a retirar o líquido penetrante da descontinuidade, formando uma imagem na superfície do material, que será avaliada de acordo com as normas de fabricação da peça ou componente (ABENDI, 2013).

## 2.12 SOLDAGEM POR REVESTIMENTO

A soldagem de revestimento consiste na deposição de um material dissimilar sobre um material metálico para obter características que o metal de base não possui. Esse tipo de soldagem tem por objetivo, normalmente, aumentar a resistência à abrasão e/ou corrosão do metal base. A realização desse procedimento deve ser feita quando buscamos uma reconstrução do material de base para repara a forma e ajustar as dimensões de uma peça, amanteigamento de uma superfície de um metal base com cordões de material diferente, que serve como camada de transição quando a junta subsequente for executada sobre a camada amanteigada, aumento da resistência ao desgasta após endurecimento superficial com uma camada de composição dissimilar e a adição de uma camada de revestimento no metal de base com composição dissimilar, possibilitando ao metal base diferentes características físicas, químicas ou metalúrgicas, como por exemplo a resistência a corrosão, propriedades magnéticas e elétricas (FRATARI; SCHVARTZMAN; SCOTTI, 2010).

## 2.13 AMANTEIGAMENTO

O amanteigamento consiste no revestimento por cordões de solda no chanfro, sendo a deposição de um metal sobre uma ou mais superfícies a fim de proporcionar um metal de solda compatível para os objetivos da soldagem, ou também para ajustar/corrigir as dimensões de um chanfro. É um processo diferente do preenchimento normal com cordões de solda, tendo como objetivo ajustar o mesmo, e não somente a união dos dois materiais metálicos (FRATARI; SCHVARTZMAN; SCOTTI, 2010).

## 2.14 ENSAIO MECÂNICO DE DUREZA ROCKWELL

Os ensaios mecânicos de dureza são os métodos destrutivos mais utilizados pelas industriais atualmente. Os resultados obtidos através desse procedimento devem ser garantidos pelo fator humano, pois é a partir de utilização manual nas etapas de verificação, ajuste e operação no equipamento mecânico. Dentro dos ensaios mecânicos de dureza destacamos o

emprego do método Rockwell (HRC) para avaliar as características de deformação plástica do material metálico (FABRICIO; TREVISAN; SARTORI, 2019).

Os ensaios mecânicos de dureza Rockwell são utilizados nas indústrias de metalmeccânica para ter um controle de qualidade de diversos processos de fabricação. Este controle ocorre através do ensaio que pode ser realizado na inspeção de matérias no recebimento ou durante as etapas de fabricação de um componente. Alguns fatores influenciam os valores de dureza medidos, tais como a composição química do material, microestrutura, existência ou não de camada superficial, entre outros; além de parâmetros voltados aos próprios ensaios que devem ser levados em consideração também, como a etapa de preparação superficial, aplicação de carga e leitura da endentação realizada na superfície do material (SOUZA, 2000; ABNT, 2008).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizamos uma peça do aço AISI D6 para realização deste trabalho de formato retangular com as seguintes dimensões 150 mm comprimento, 50 mm de largura e 20 mm espessura. A figura 8 mostra a peça utilizada.

Figura 8- Peça aço AISI d6



Fonte: Autor, 2023



Na tabela 2 a composição química do aço D6.

Tabela 2 – Composição química do aço AISI D6

CARBONO (C)	2.10 %
CROMO (CR)	11.50 %
MOLIBDÊNIO (MO)	0.95 %
MANGANÊS (MN)	0.30 %
TUNGSTÊNIO (W)	0.70 %
SILÍCIO (SI)	—
VANÁDIO (V)	0.20 %

Fonte: (Mourano, 2023).

Com a amostra em mãos iniciamos ao tratamento térmico de têmpera. Para isso o forno foi programado para aquecer a temperatura continuamente a uma taxa de 3°C por minuto, a peça foi colocada no forno elétrico com temperatura ambiente inicial em 24°C. E durante o período de 4 horas e 21 minutos, o forno foi cuidadosamente monitorado para controlar a temperatura do forno, para sim iniciar o tratamento térmico de têmpera. Após atingir se a uniformidade de temperatura de 800°C. Durante todo este tempo. A figura 9, mostra o forno elétrico utilizado.

Figura 9 - Forno elétrico



Fonte: Autor, 2023

Enquanto a peça estava sendo aquecida no forno, foi testado o ebulidor, com o termômetro, e um multímetro, chegando à temperatura do óleo do tambor entre 40 e 42°C, ou seja, a temperatura adequada para o resfriamento. Na figura 10 e 11 o ebulidor elétrico e o multímetro digital e termômetro de vidro.

Figura 10 – Ebulidor elétrico



Fonte: Autor, 2023

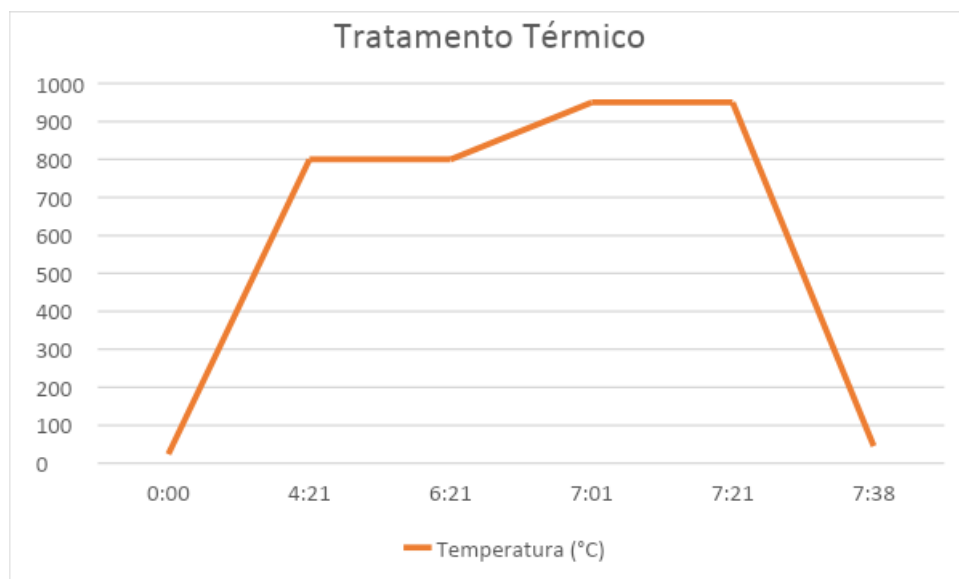
Figura 11 -Multímetro digital e termômetro de vidro



Fonte: Autor, 2023

O revenimento foi realizado na temperatura ambiente, levado ao forno a 60°C e mantido durante 1h, após isso foi levado a outro forno a 500°C por 2h, e então resfriado a temperatura ambiente. Na figura 12 a seguir temos a representação do tratamento térmico.

Figura 12 – Representação do tratamento térmico

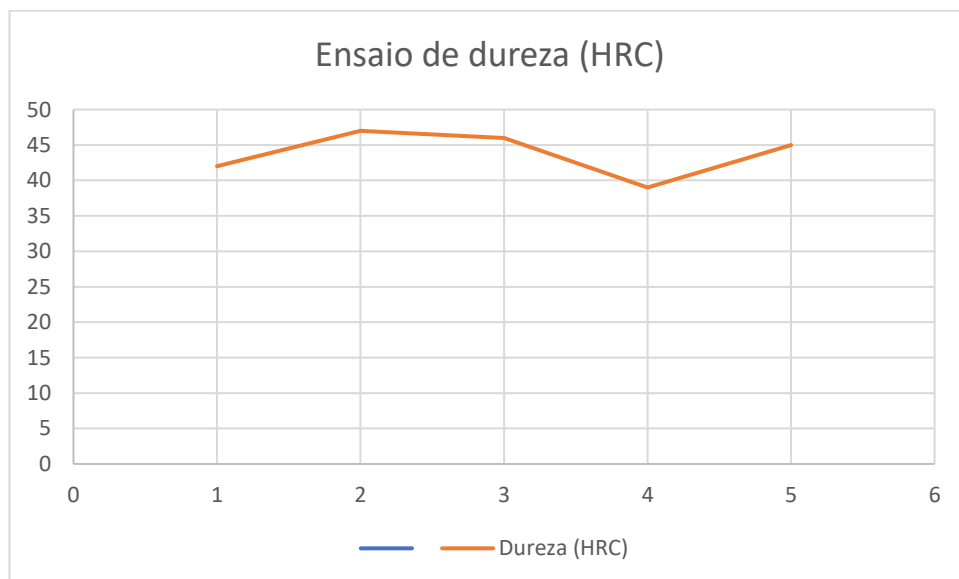


Fonte: Autor, 2023

Foi colocado a peça no forno elétrico a 24°C com aquecimento contínuo de 3°C/Min, onde o forno foi monitorado o tempo todo para o controle da temperatura e o tempo que a peça iria passar dentro do forno, portanto, o forno levou o tempo de 4:21h para atingir a temperatura desejada de 800 °C. No período de 4:21h. No gráfico a vertical representa a temperatura em C° e na horizontal é o tempo em que passou no forno, tendo iniciado em temperatura ambiente a 24C°.

Quando a peça chegou em 800 °C foi mantida dentro do forno por 2h, após isso a temperatura do forno foi elevada a 950°C onde levou o tempo de 50Min, após isso foi esperado 1min para essa temperatura estabilizar e logo em seguida foi mantido a peça por 2min a essa temperatura neste período de 20 min foi ligado o ebulidor para aquecer o óleo quando se estava aquecendo o óleo foi agitado para uniformizar a temperatura quando deu o tempo de 20min o óleo estava a 41°C a peça foi retirada do forno e mergulhada no óleo com agitação em mais ou menos 17min foi medido a temperatura da peça e do óleo, onde a temperatura do óleo subiu de 41 para 45°C e a temperatura de 950 para 45°C, então a peça foi retirada do óleo e resfriada a temperatura ambiente.

Figura 13 – Ensaio de dureza



Fonte: Autor, 2023

A peça foi colocada no forno a 60°C e foi mantida por 1h dentro do forno, e após 1h foi retirada e levada ao outro forno a 500°C, e mantida por 2 h depois retirada e resfriada em temperatura ambiente. Foram feitos cinco ensaios representados no gráfico pelo eixo horizontal, já na vertical o número de dureza que varia entre 38 e 45 HR.

A figura 14 é um forno elétrico sem refratário que foi utilizado como auxílio do revenimento.

Figura 14 – Forno elétrico sem refratário



Fonte: Autor, 2023

A seguir na figura 15, 16, 17, e 18, terá a representação do maçarico e termopar, tocha TIG e máquina de soldagem TIG, líquido penetrante e revelador, luxímetro utilizados.

Figura 15 – Maçarico e termopar



Fonte: Autor, 2023

Figura 16 – Tocha TIG e máquina de soldagem TIG



Fonte: Autor, 2023

Figura 17 – Líquido penetrante e revelador utilizados



Fonte: Autor, 2023

Figura 18 – Luxímetro



Fonte: Autor, 2023

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. SOLDAGEM

Como resultados iniciais deste trabalho foram obtidos juntos nas condições de soldagem para o aço AISI D6. Com superfície pré-aquecida a 200°C, escovada, determinou as condições mínimas para a soldagem. Iniciou o processo de soldagem com o movimento retilíneo da primeira extremidade para o meio e da segunda extremidade para o meio, até que as duas camadas se encontraram no meio e dessa forma controlando as temperaturas de cada passe, sendo o último cordão do meio ficando mais alto e esmerilhado. O esmerilhamento é eficaz para prevenir que haja uma região de excesso de dureza em regiões internas em uma solda de multipasse. Após isso foi realizado o passe de revestimento duro com a vareta 14718, sendo o segundo passe por cima como um refino dos grãos e alívio de tensões residuais derivadas da ZTA. Conforme mostra a figura 19 a amostra soldada.

Figura 19- Amostras soldadas



Fonte: autor, 2023.



Adicionalmente foi medida a temperatura com um pirômetro e o resultado foi à solda proporcionar o atingimento da temperatura por volta de 200°C a 300°C. Sendo que esta foi suficiente para causar a junção.

#### 4.2 PROCEDIMENTO DE TRATAMENTO TÉRMICO DO AÇO AISI D6

- Forno que possa aquecer até 960°C;
- Óleo aquecido entre 40 e 70°C;
- Furadeira com broca misturadora para agitar o óleo;
- Ebulidor de água para aquecer o óleo.

##### 4.2.1 Tratamento térmico de recozimento

- Realizado entre 840 e 860°C e mantendo a temperatura até que ocorra a completa homogeneização do material;
- Em seguida o material foi levado ao resfriamento lento com taxa entre 20 e 30°C até atingir a temperatura de 600°C e, então, resfriado ao ar calmo;
- Neste tratamento foi usado atmosfera protetora para evitar oxidação e decarbonetação superficial.

##### 4.2.2 Tratamento térmico de têmpera

- Pré-aquecido lentamente até 800°C, mantido por 2 horas;
- Elevado a temperatura entre 960°C até que ocorra a completa homogeneização do material;
- Após a austenitização, a têmpera pode ser realizada no seguinte meio de resfriamento: óleo morno com temperatura entre 40 e 70°C.

### 4.3 RESULTADOS DE AVALIAÇÃO MECÂNICA DAS JUNTAS (DUREZA ROCKWELL)

Com a obtenção das juntas nas condições de soldagem obtidas por planejamento experimental, foi realizado o ensaio mecânico de dureza Rockwell para verificar a influência da exposição aos processos térmicos. Foram então realizadas as análises das amostras depois de soldadas, após o período ao qual permaneceram até resfriar para começar o ensaio. Os resultados de resistência destas sem condicionamento estão na tabela 2.

Tabela 1. Valores de resistência mecânica obtida através do ensaio Dureza Rockwell.

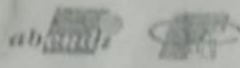
Cordão soldado	60 KGF
1	55 HRA
2	63 HRA
3	68 HRA
Média	62 HRA
Cordão lixado	60 KGF
1	49 HRA
2	48 HRA
3	65HRA
Média	54 HRA

Fonte: autor, 2023.

### 4.4 ENSAIO POR LÍQUIDO PENETRANTE

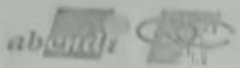
Foi realizado o ensaio de líquido penetrante seguindo os requisitos mínimos determinados pela Associação brasileira de ensaios não destrutivos (ABENDI). Foram detectados 4 defeitos (poros) no cordão de solda, provavelmente proveniente de contaminação com o eletrodo de tungstênio, vazão de gás inadequada ou angulação incorreta. Na figura 20 e 21 podemos verificar o relatório do ensaio por líquidos penetrante e o mapeamento dos defeitos encontrados.

Figura 20 – Anexo 1 relatório do ensaio de líquido penetrante


**LÍQUIDO PENETRANTE**  
**PROCEDIMENTO DE ENSAIO**  
**PR-001**

Manual: S-LP  
 Página: 9 de 40  
 Revisão: 8 (Dez/2019)

ANEXO 1 – FOLHA DE RELATÓRIO


**RELATÓRIO DE ENSAIO**  
**LÍQUIDO PENETRANTE**

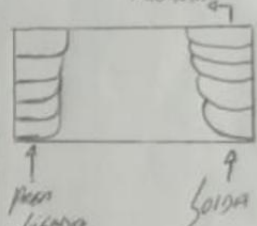
DEFINICÃO DO ITEM  
**16**

PROCEDIMENTO DE ENSAIO: **PR-001**      CONDIÇÃO DE ADEQUAÇÃO: \_\_\_\_\_      REQUISITO: **ST**

SISTEMA: **Pop. Casimiro**      N.º DE: **01**      CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE: **ESMERILHADA/SOLDA**      FOLHA: **01 de 02**

REMOVEDOR: \_\_\_\_\_      PENETRANTE: **SPOTCHECK**      REVELADOR: **SPOTCHECK**

Marca/Modelo: \_\_\_\_\_      Lote: \_\_\_\_\_      **SKI-UP**      **SKI-UP**

N.º	Tipo de Descontinuidade	Localização (Indic. de ... e ...)	Dimensão (mm)	LAUDO	Grupos / Descrição
1	PO	Na placa 6mm			
2	PO	Na placa 10mm			
3	PO	Na placa 7mm			
4	PO (4)	Na placa 10mm			

LEGENDA:

Laudo:	Descontinuidades:	FP: Fenda de Furo
A: Abrevido	TL: Trinca Longitudinal	PQ: Porosidade
R: Ruptura	TT: Trinca Transversal	MI: Mancha
NCC: Necessário Exame	SO: Substância	

APROVADO       REPROVADO       NCC

NOME DO CANDIDATO: **FRANCISCA PERES - JARDIM LOPES**      N.º: \_\_\_\_\_

LOCALIDADE DO EXAME: **LP - F.P. 11 - M. 1000 A**      ASSINATURA DO CANDIDATO: **Francisca**

EMPRESA: **FRANCISCA PERES**      DATA: **14/06/2019**      N.º DO EXAMINADOR: **SUPERVISOR - Luiz**

AUXILIAR DO EXAME: **Francisca**

DOCUMENTO EM FASE DE IMPLANTAÇÃO

DATA DE IMPLANTAÇÃO: 01/03/2018

Fonte: autor, 2023.

Figura 21 – Folha de mapeamento longitudinal das descontinuidades

**LÍQUIDO PENETRANTE  
PROCEDIMENTO DE END  
PR-001**

Manual: **S-LP**  
Página: **10 de 40**  
Revisão: **8 (Dez/2015)**

**ANEXO 2A – FOLHA DE MAPEAMENTO LONGITUDINAL DAS DESCONTINUIDADES**

**abenda's** Mapeamento Longitudinal da descontinuidade

RELATÓRIO N° *01*  
FOLHA: *2 de 2*

Líquido Penetrante: Tipo:  I  II Técnica:  A  B  C  D  
 Corpo da Prova nº *01*  Junta do ângulo  Chapa Plana  Tubo

<p><i>P01</i></p> <p><i>P02</i></p> <p>50</p> <p><i>P03</i></p> <p>100</p> <p><i>P04</i></p> <p>150</p> <p>200</p> <p>250</p>	<p>200</p> <p>300</p> <p>400</p> <p>500</p>	<p>500</p> <p>600</p> <p>700</p> <p>800</p> <p>900</p>	<p>700</p> <p>800</p> <p>900</p> <p>1000</p>
---	---	--	--

CANDIDATO: *Marcos A. J. Junior* SHGC Nº \_\_\_\_\_

**DOCUMENTO EM FASE DE IMPLANTAÇÃO**

DATA DE IMPLANTAÇÃO: 01/03/2016

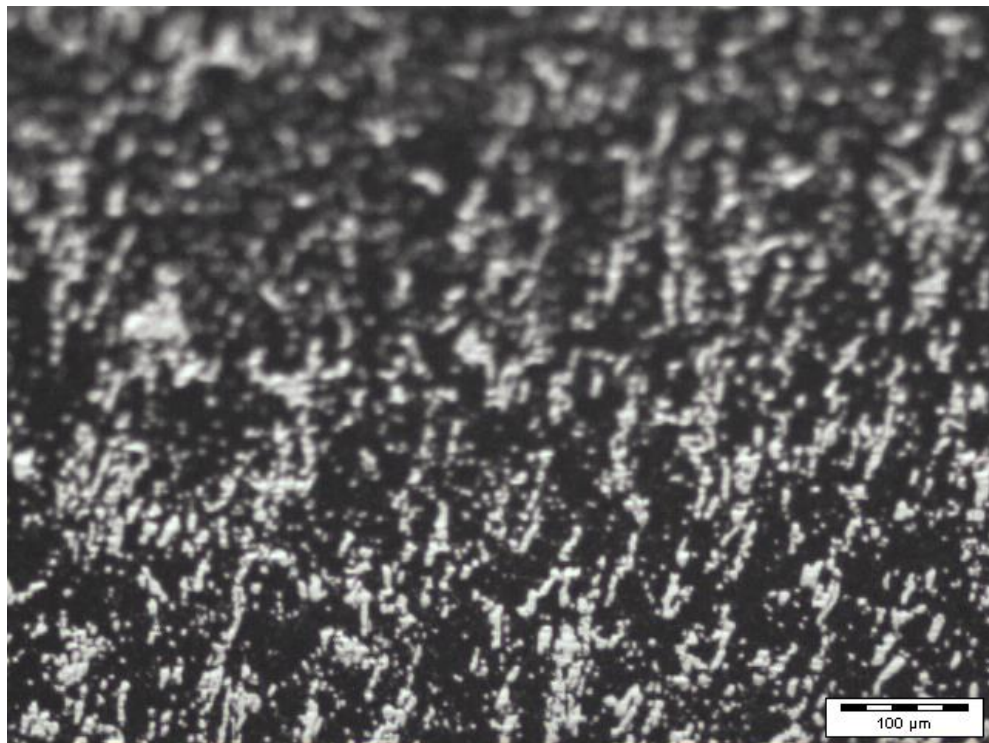
*Obs: Falha de Reparação no início da solda, após reparação não requer  
Execução: Última etapa Reforço (Cura/Secagem)*

Fonte: autor, 2023

#### 4.5 ANÁLISE MICROESTRUTURAL E MACROESTRUTURAL DAS AMOSTRAS APÓS ENSAIOS DE DUREZA ROCKWELL

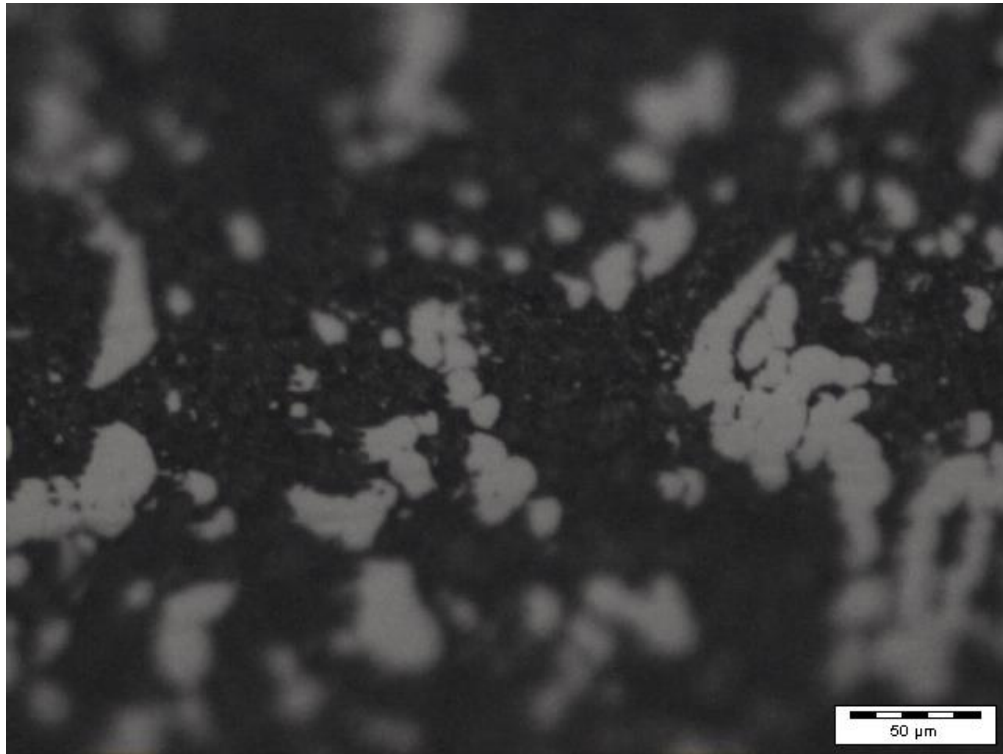
Na Figura 22 e 23 apresenta-se a microestrutura do metal de base do aço AISI D6, ou seja, após os tratamentos térmicos. A estrutura inicial deste material é composta por uma matriz martensítica (fase escura) com carbonetos primários dispersos na forma de  $M_7C_3$  (fase branca). Nesta condição, o carbono e os demais elementos de liga, tais como o Cr, W e V, formam carbonetos primários de dimensões grandes.

Figura 22 – Metal de base lixado ampliado a 100X



Fonte: autor, 2023

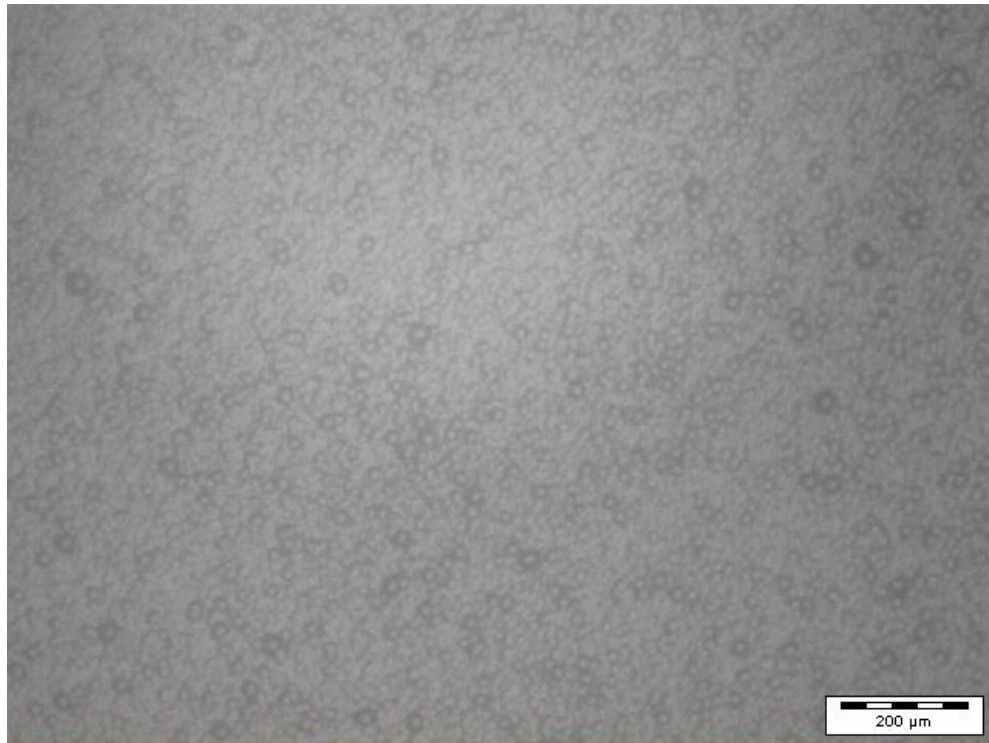
Figura 23 – Metal de base lixado ampliado a 200X



Fonte: autor, 2023

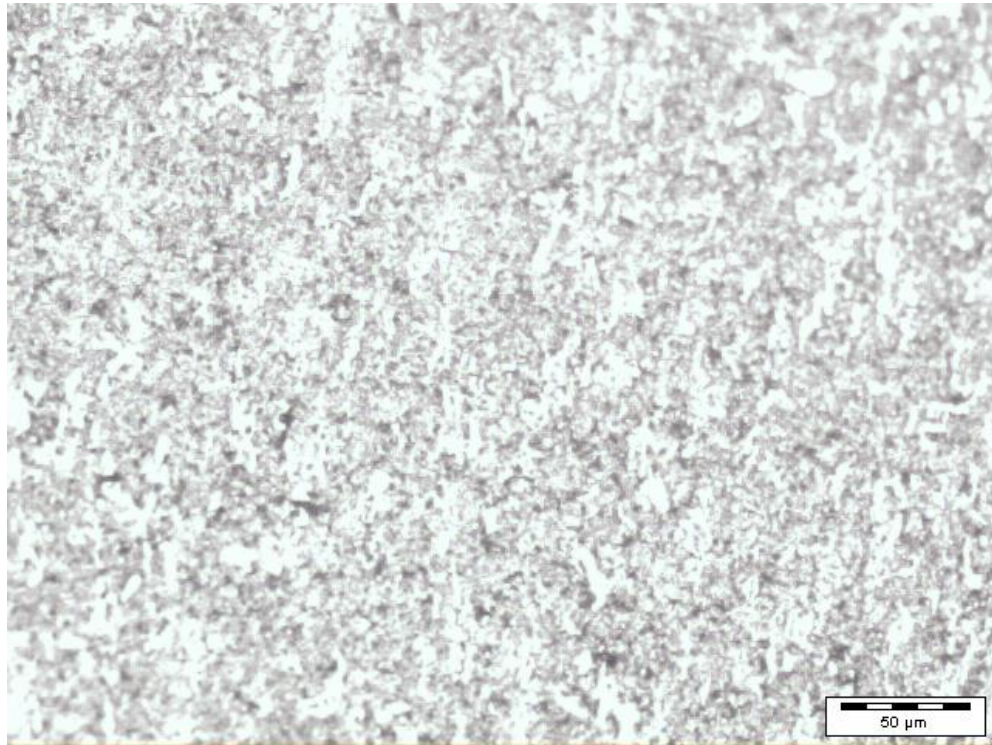
Após a têmpera, as microestruturas apresentam-se refinadas com carbonetos primários dispersos numa matriz martensítica. Conforme a figura 24 e 25.

Figura 24 – Metal de adição não lixado ampliado a 50X



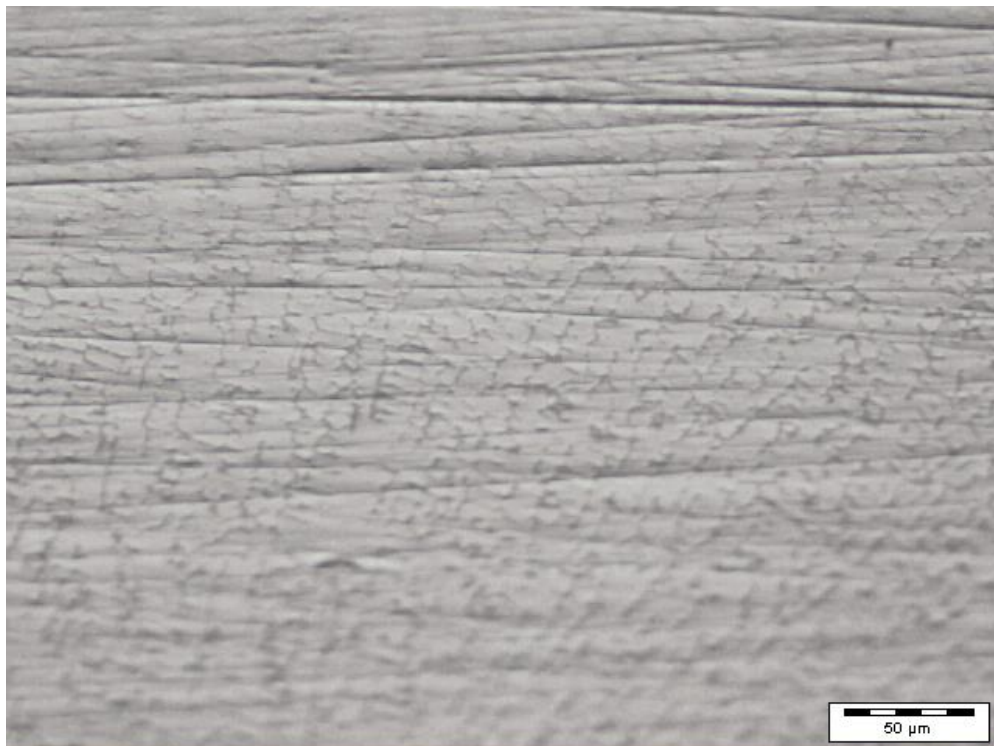
Fonte: autor, 2023

Figura 25 – Metal de base sem lixar ampliado a 200X



Fonte: autor, 2023

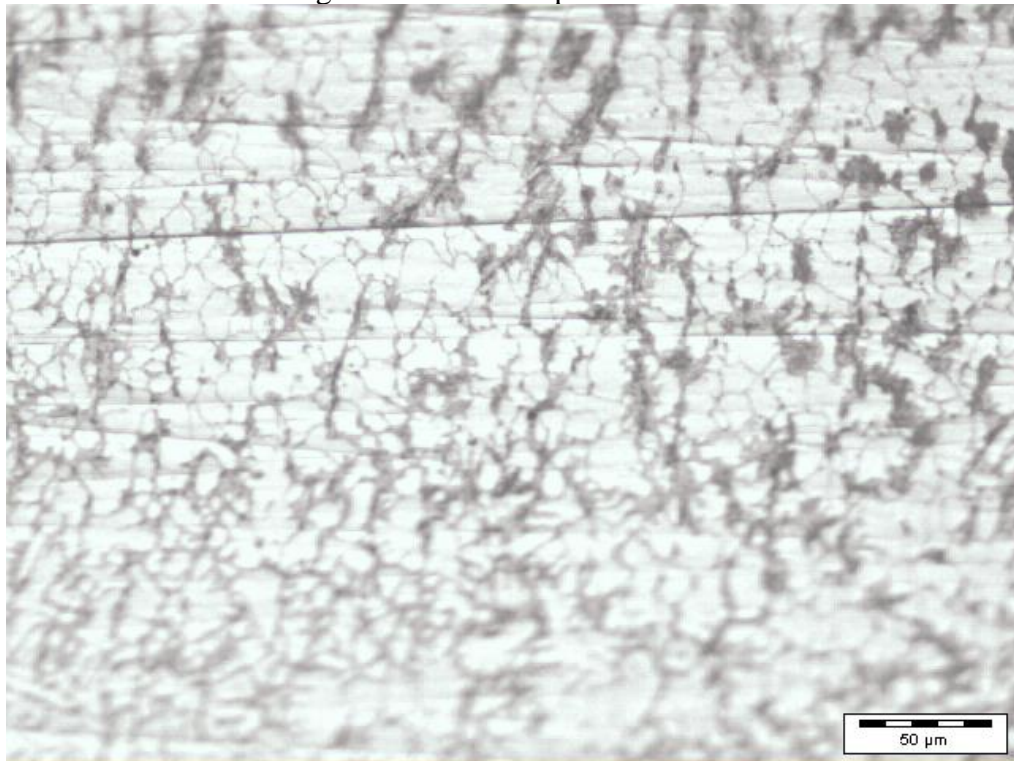
Figura 26 – Topo da solda lixada ampliado a 200X



Fonte: autor, 2023



Figura 27 – ZTA ampliado a 200X



Fonte: autor, 2023

Conforme figura 28 e 29, podemos analisar o perfil da solda através do ensaio de macrografia.

Figura 28 – Altura inicial da solda



Fonte: autor, 2023

Figura 29 - Altura final da solda



Fonte: autor, 2023

## 5. CONCLUSÃO

As características de processo, parâmetros fundamentais relacionados à têmpera e ao revenimento, afetam as propriedades mecânicas finais do aço, principalmente no que se refere ao endurecimento, teor de austenita retida e tamanho de grão. O aço AISI D6, foi possível a obtenção de valores de dureza próximos ao especificado pelo fabricante com as condições de tratamento estudadas.

A elevação da temperatura de austenitização, propicia uma dissolução dos carbonetos primários na microestrutura. Portanto, de acordo com os resultados obtidos, a condição que propiciou um melhor resultado de dureza, 68 HRC, foi a região próxima da solda não lixada. Já o valor da região lixada mais elevada foi próximo da solda também com 65 HRC. Apresentou estrutura metalográfica com carboneto de cromo M7C3 e martensita.

A execução do amantegamento foi feito devido ao elevado teor de carbono e elementos de baixa liga, adicionado ao alto teor de carbono do revestimento duro na hora da soldagem, que poderia ocorrer o endurecimento e sofrer trincas a quente ou a frio, para evitar essas discontinuidades foi usado um eletrodo de aço inoxidável austenítico, não ocorrendo o endurecimento da peça.

## REFERÊNCIAS

AÇO AISI D6 (W-NR-12436 OU VC-131). Group AR. Disponível em:  
<https://aco.com.br/aco/aisi-d6-w-nr-1-2436-aco-ferramenta/>

AÇO AISI D6. Mourano Aços Especiais. Disponível em  
<https://www.acosmurano.com.br/produtos/acos-ferramenta/aisi-d6#:~:text=O%20a%C3%A7o%20AISI%20D6%20%C3%A9,que%20o%20a%C3%A7o%20AISI%20D2.>

APOSTILA FBTS DE SOLDAGEM. Passei direto. Disponível em:  
<https://www.passeidireto.com/arquivo/38514045/apostila-fbts-de-soldagem>

ANDREUCCI, R. Líquidos Penetrantes. Abendi, 2013.  
 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS -ABENDI. Ensaios não destrutivos e inspeção. São Paulo, 2018. Disponível em:  
<http://www.abendi.org.br/abendi/default.aspx?mn=709&c=17&s=&friendly=.> Acesso em: 02 abri. 2019.

BARBOSA, R. P. **TECNOLOGIA MECÂNICA METALURGIA DA SOLDAGEM SOLDABILIDADE DOS MATERIAIS.** Centro Universitário do Leste de Minas de Gerais UNILESTEMG Coronel Fabriciano, 2007.

BORGHI, G. B. **SOLDAGEM DE REPARO DE FERRAMENTA EM AÇO D6 PARA CONFORMAÇÃO A FRIO.** 2010. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Ufsc, Florianópolis, 2010.

CHIAVERINI, V. “**Aços e Ferros fundidos**” 7ª Edição – 1996, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM.

CHIAVERINI, V. **Tratamentos térmicos das Ligas Metálicas.** 1a. Ed., Editora Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Paulo-SP, 2003.

DUTRA, W. T; MACHADO, I. G. Influência do Pré-aquecimento Indutivo Localizado sobre Características Metalúrgicas de Juntas Soldadas. **Soldagem & Inspeção**, Porto Alegre, Rs, v. 22, n. 3, p. 333-342, set. 2017. Trimestral. FapUNIFESP (SciELO).  
<http://dx.doi.org/10.1590/0104-9224/si2203.10>. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI2203.10>. Acesso em: 09 set. 2022.

ELLES, P. C. S. **Tubulações industriais materiais, projetos, montagem.** 10ª ed. Rio de Janeiro, UFRJ, 2001.

QUAIS OS TIPOS DE TRATAMENTOS TÉRMICOS EM METAIS. Monferrato. Disponível: <https://monferrato.com.br/tipos-de-tratamentos-termicos-em-metais/>

JUNIOR E. S. E. **Efeito do Tratamento Térmico na Microestrutura e nas Propriedades Mecânicas de Aços-ferramentas para Trabalho a Frio.** 2006. 100f. Dissertação de mestrado (Tecnologia nuclear - materiais) São Paulo: Instituto de pesquisas energéticas e nucleares, 2006.

LAGES, R. E. S. **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO PRÉ-AQUECIMENTO NO AÇO FERRAMENTA VC131 PARA APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO COM O AÇO ER308L ATRAVÉS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO GMAW**. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Centro Universitário do Sul de Minas/Unis-MG.

MODENESI, P. J. **Soldabilidade de algumas ligas metálicas**. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

PROCESSO TIG. Info Solda. Disponível em: <https://infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/processos/168-processo-tig-eletrodo>

PONTES, M. K. G. **Estudo da compatibilidade metalúrgica de juntas soldadas de metais dissimilares utilizados no setor de petróleo e gás**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, p. 2012.1q

SENAI. **Tratamento térmico: módulos especiais mecânico**. Itatiba – SP: Leide Aparecida da Silva, 2000.

SILVA, A. C. M. **Tratamento térmico de têmpera no Aço SAE 1040 em diferentes meios de resfriamento**. 43f. trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Materiais). Universidade Federal do Sul e Sudeste para- Unifesspa, Marabá, Pará, 2016.

SILVA, A. L. V. C; MEI, Paulo Roberto. **Aços e ligas especiais**. 3. ed. São Paulo Sp: Edgard Blucher, 2010. 637 p.

SOLDAGEM. CETEC. Disponível em [http://www.cpscetec.com.br/cpscetec/arquivos/apostila\\_soldagem.pdf](http://www.cpscetec.com.br/cpscetec/arquivos/apostila_soldagem.pdf)

Site Aços Nobre. **Aços ferramentas tipos e aplicações** <https://acosnobre.com.br/blog/acos-ferramenta-matrizes-corte-trabalho-a-frio-tipos/> Acesso em 08/04/2022.

Site Delarco soldas. **Ligas para ferramentaria**. Disponível em <https://delarcosoldas.com.br/produto/vareta-de-solda-tig-aco-ferramenta-vc131/> Acesso em 06/07/2022.

Site MVJ Solda. **Vareta Inox AWS ER 309L**. Disponível em <http://www.mjvsoldas.com.br> Acesso em 03/03/2022.

ZUPPO, R. M. **Análise Comparativo do Efeito da Têmpera e Revenimento e da Austêmpera seguida ou não de Conformação a Frio da Microestrutura e nas Propriedades do aço SAE4140H**. 156f. dissertação de mestrado (Engenharia mecânica). Universidade Estadual de Campinas-Unicamp. Campinas: São Paulo, 2011.

ESCOLA NACIONAL DA INSPEÇÃO DO TRABALHO – ENIT. NR-12. Segurança do trabalho em máquinas e equipamentos. Brasília, 2019. Disponível em: [https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos\\_SST/SST\\_NR/NR-12.pdf](https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-12.pdf). Acesso em: 31 mar. 2019.

ER309L. Delarco. Disponível em: <https://delarcosoldas.com.br/produto/vareta-e-arame-de-solda-aco-inox-er309l/>

SENAI-BA Cimatec. Inspetor de Soldagem / SENAI-BA / SENAI-MG / SENAI-RJ. Rio de

Janeiro, 2012

TRATAMENTO TÉRMICO DE NORMALIZAÇÃO. AÇOS VIC. Disponível em: (AÇOS VIC, 2023).

TIG de elevada produtividade: influência dos gases de proteção na velocidade limite para formação de defeitos. Scielo. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/si/a/VXGpZyKxGDWkFTYfJ6FNH4q/>

FABRICIO, D. A. K.; TREVISAN, L.; SARTORI, C. DEVELOPMENT OF VERIFICATION STANDARDS FOR BRINELL AND ROCKWELL HARDNESS TESTS. **Periódico Tchê Química**, v. 16, n. 31, p. 616–621, 2019. Disponível em:  
[https://doi.org/10.52571/PTQ.v16.n31.2020.623\\_Periodico31\\_pgs\\_616\\_621.pdf](https://doi.org/10.52571/PTQ.v16.n31.2020.623_Periodico31_pgs_616_621.pdf)

FRATARI, R. Q.; SCHVARTZMAN, M. M. A. M.; SCOTTI, A. Otimização dos parâmetros de tecimento para confecção de amanteigamento em chapas de aço ao carbono pelo processo TIG com arame AWS ER309L. **Soldagem & Inspeção**, v. 15, p. 209–217, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-92242010000300007>

MATERIAIS PARA ELETRODOS QUE EMITEM TERMIONICAMENTE EM SOLDAGEM A ARCO. Scielo. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/si/a/DJTMdN77RRyRCTGTyWtk6kB/?lang=pt>







