**Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba**

# ESTUDO DA PRONFUNDIDADE E DILUIÇÃO DO AÇO A36 COM VARIAÇÃO DA INLINAÇÃO DO ÂNGULO DA TOCHA NO PROCESSO MIG (GMAW)

**Vanessa Dias Mendes Nazaré**

**Pindamonhangaba - SP**
**2022**

**Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba**

# ESTUDO DA PRONFUNDIDAE E DILUIÇÃO DO AÇO A36 COM A VARIAÇÃO DA INLINAÇÃO DO ÂNGULO DA TOCHA NO PROCESSO MIG (GMAW)

**Vanessa Dias Mendes Nazaré**

Monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba para graduação no Curso Superior de Tecnologia em Processos Metalúrgicos.

Orientador: Edilon de Oliveira França.
Co-orientador: Prof. Rômulo Lucas Borges

**Pindamonhangaba – SP**
**2022**

N335e Nazaré, Vanessa Dias Mendes.
Estudo da Profundidade e Diluição do Aço A36 com Variação da Inclinação do Ângulo da Tocha no Processo MIG (GMAW) / Vanessa Dias Mendes Nazaré / FATEC Pindamonhangaba, 2022.
45f.: il.

Orientador: Professor Dr. Edilon de Oliveira França
Co-orientador: Professor Rômulo Lucas Borges
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. 2022

1. MIG. 2. Empurrando. 3. Puxando. 4. Aporte Térmico. 5. Diluição. I. Nazaré, Vanessa Dias Mendes. II. França, Edilon de Oliveira. III. Borges, Rômulo Lucas. IV. Título.

CDD 669

Sueli Camargo de Souza – Bibliotecária FATEC Pindamonhangaba – CRB/8 7788

**Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba**

# "ESTUDO DA PROFUNDIDADE E DILUIÇÃO DO AÇO A36 COM VARIAÇÃO DA INCLINAÇÃO DO ÂNGULO DA TOCHA NO PROCESSO MIG (GMAW)".

**Vanessa Dias Mendes Nazaré**

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

Comissão Examinadora

Orientador – Prof. Dr. Edilon de Oliveira França

Membro – Prof. Me. Marcelo Bergamini de Carvalho

Membro – Prof. Me. Rafael Resende Lucas

**Pindamonhangaba, 13 de dezembro de 2022.**

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus avós, Jose Mendes (in memorian) e Claudina Dias - pilares da minha formação como ser humano. Eles foram meus maiores e melhores orientadores na vida e também os maiores incentivadores das realizações dos meus sonhos. Deram-me apoio incondicional em toda a trajetória da minha vida acadêmica. A eles a minha gratidão eterna.

## AGRADECIMENTO

Agradeço em primeiro lugar a Deus, minha fonte de inspiração e paz. O Único digno de toda honra, glória e adoração. Ele me deu ânimo e força para superar todos os obstáculos ao longo deste curso. Aos meus Avós, que me apoiaram e me incentivaram para que eu pudesse alcançar meu objetivo. Agradeço ao Professor e Dr. Edilon de Oliveira França por ser meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade. Aos Professores e Me. Marcelo Bergamini e Me. Rafael Resende Lucas, por aceitarem fazer parte da minha banca. A Sueli Camargo, nossa Bibliotecária e amiga, colega e companheira, que sempre que precisei conversar, seus conselhos me acalmavam. Agradeço pela sua amizade e por tudo que fez por mim durante a minha trajetória na Fatec.

As minhas queridas colegas de sala Cristiane Alves e Rafaela Azeredo que já não estão mais na instituição pois, no decorrer do curso seguiram por outra trajetória e foram em busca de seus sonhos. A minha querida Professora Dra. Leide Lili Goncalves que além das aulas de química me aconselhava sobre muitas coisas da vida ao mesmo tempo, em que se dedicava em seu trabalho desenvolvido no seu laboratório de Corrosão.

Não posso esquecer de agradecer ao grande mentor e precursor da Fatec em Pindamonhangaba, Professor e Dr. César Alves da Silva Leandro. Agradeço também ao José Luiz Professor Auxiliar Docente da Fatec que desempenha com muito amor e dedicação a sua função. Também estendo meus agradecimentos ao Professor Sérgio Alvarenga por sua descontração nas aulas de cálculo, ele nos fazia rir quando nos dava o desespero de não conseguir fazer os exercícios. Aos funcionários da limpeza que são grandes guerreiros e heróis que merecem todo o respeito. Ao meu amigo Felipe Reis que me ajudou em terríveis momentos de tempestade na vida pessoal. E desse amigo, não posso esquecer, Bruno Carvalho (ex funcionário da Fatec) que chegou como um anjo na minha vida e salvou meu estudo.

Aos meus vizinhos, Andrea Santos e Wigor Marin, foram muito importantes para o meu desempenho no curso por me ajudarem na realização dos meus estudos. Durante a trajetória muitas pessoas foram fundamentais durante o curso e provavelmente serão importantes para meu futuro profissional. E aos meus amigos e colegas do curso e todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para minha formação.

***A Tua justiça é uma justiça eterna, e a Tua lei é a verdade***

***Salmos 119 : 142***

NAZARÉ, V. D. M. **ESTUDO DA PROFUNDIDADE E DILUIÇÃO DO AÇO A36 COM A VARIAÇÃO DA INLINAÇÃO DO ÂNGULO DA TOCHA NO PROCESSO MIG (GMAW).** 2022. 46p. Trabalho de Graduação (Curso de Tecnologia em Processos Metalúrgicos). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2022.

## RESUMO

Este trabalho teve o objetivo, de realizar soldagem GMAW automático, com os ângulos de inclinação da tocha de -20°Puxando, 0° e 20°Empurrando e verificar a penetração, diluição e aporte térmico em todas as condições estudadas e se ocorre mudança nas estruturas da região da solda e ZTA. O presente trabalho foi desenvolvido no laboratório de soldagem da Fatec Pindamonhangaba, foram utilizados 3 chapas de aço ASTM A36 coma a seguintes dimensão: 100 mm X 39 mm x 12,78 mm e a máquina de soldagem MIG automática marca *Lincoln Electric* modelo *Power Wave* S350, com o gás de proteção Argônio Puro, variando o ângulo de soldagem em -20°, 0° e 20° e com os seguintes parâmentos de soldagem: 30v, velocidade do arame 8mm/min, vazão do argônio 15 L/min, distância do bico de contato10 mm para as três condições e -20°185 A, 0°198A e 20° 215 A. Ao analisar a penetração pode-se verificar que a menor penetração foi da técnica puxando e a ângulo 0° ficou no meio-termo e sendo cerca de 2% menor quando comparado com a empurrando e foi de cerca de 28% maior quando comparado com puxando. Já na diluição foi possível ver que a solda com o Ângulo 0° obteve o menor valor de diluição que é de 29,42% e seguido 20° Puxando com o valor de 33,34% e por fim o -20 empurrando com 35,08%. Segundo Souza Neto (2015) para aço baixo carbono o valor de diluição máximo é de 25%. Quando foi analisado o aporte térmico foi possível verificar que a técnica empurrando apresentou maior aporte térmico, sendo cerca de 14% quando comparado com a técnica puxando e cerca de 11% ao comparar com inclinação 0°. Conclui-se que ao variar o ângulo de tocha do processo de soldagem MIG, ocorre de não haver mudança nas microestruturas das regiões da solda e ZTA. As mesmas estruturas foram observadas em todas as amostras analisadas. A penetração houve um aumento expressivo e já na diluição apresentou um aumento superior ao encontrado na literatura para este processo.

Palavras chaves: MIG. Empurrando. Puxando. Aporte Térmico. Diluição

NAZARÉ, V. D. M.**STUDY OF DEPTH AND DILUTION OF A36 STEEL WITH**

**VARIATION OF TORCH ANGLE INLINATION IN THE MIG PROCESS (GMAW).** 2022. 46p. Graduation Work (Course of Technology in Metallurgical Processes) Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2022.

## ABSTRACT

This work aimed to perform automatic GMAW welding, with torch inclination angles of -20°Pulling, 0° and 20°Pushing and to verify the penetration, dilution and heat input in all the conditions studied and if it occurs change in the structures of the weld region and HAZ. The present work was developed in the welding laboratory of Fatec Pindamonhangaba, 3 ASTM A36 steel sheets were used with the following dimensions: 100 mm X 39 mm x 12.78 mm and the automatic MIG welding machine Lincoln Electric model Power wave S350, with the gas Pure Argon protection, varying the welding angle by -20°, 0° and 20° and with the following welding parameters: 30v, wire speed 8mm/min, argon flow rate 15 L/min, contact tip distance 10mm for the three conditions and -20°185 A, 0°198A and 20° 215 A. When analyzing the penetration it can be seen that the smallest penetration was from the pulling technique and the 0° angle was in the middle ground and being about 2 % lower when compared to pushing and was about 28% higher when compared to pulling. Already in the dilution it was possible to see that the weld with the Angle 0° obtained the lowest value of dilution which is 29.42% and followed by 20° Pulling with the value of 33.34% and finally the -20 pushing with 35, 08%. According to Souza Neto (2015) for low carbon steel the maximum dilution value is 25%. When the heat input was analyzed, it was possible to verify that the pushing technique presented higher heat input, being about 14% when compared to the pulling technique and about 11% when comparing with 0° inclination. It is concluded that when varying the torch angle of the MIG welding process, there was no change in the microstructures of the weld and HAZ regions. The same structures were observed in all analyzed samples. Penetration showed a significant increase and in the dilution it presented a higher increase than that found in the literature for this process.

**Keywords: MIG. pushing. pulling. Thermal Input. Dilution.**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Descrição do Processo MIG/MAG.....16
Figura 2 Distancia do bico de contato na junta de Topo .....18
Figura 3 Ângulos da tochas de soldagem MIG/MAG .....19
Figura 4 Maquina MIG/MAG automática .....20
Figura 5 Ciclo térmico de soldagem .....21
Figura 6 Regiões de uma solda por fusão.....22
Figura 7 Diluição em uma camada depositada por técnica de soldagem .....25
Figura 8 Posição de soldagem .....31
Figura 9 Maquina soldagem automática MIG.....32
Figura 10 Medida Profundidade com ângulos: 20° Puxando, 0° e -20 Empurrando 34
Figura 11 Região da solda : A) 20° Puxando, B)0° C) -20 Empurrando.....37
Figura 12 microestrutura ZTA : A) 20° Puxando, B) 0° C) -20 Empurrando.....38
Figura 13 Estrutura do Metal base .....39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Diluição conforme o processo de soldagem ..... 26
Tabela 2 Rendimento Térmico em Função do Processo de Soldagem ..... 27
Tabela 3 Aporte Térmico dos Processos de Soldagem e Suas Aplicações ..... 28
Tabela 4 Composição química [% em peso] do aço ASTM A36 ..... 29
Tabela 5 Composição aço Peso em porcentagem [%] ..... 31
Tabela 6 Parâmentos de Soldagem ..... 32
Tabela 7 cálculo da Diluição com ângulos: 20° Puxando, 0° e -20 Empurrando ..... 34
Tabela 8 Cálculo do Aporte térmico ..... 35

**SUMÁRIO**

1. INTRODUÇÃO ..... 13
1.1 PROBLEMA ..... 14
1.2 OBJETIVOS ..... 14
1.2.1 Objetivo Geral ..... 14
1.2.2 Objetivos Específicos ..... 14
1.3 JUSTIFICATIVA ..... 14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..... 15
2.1 Soldagem ..... 15
2.1.1 Processo de soldagem MIG/MAG ..... 15
2.1.2 Variáveis do Processo de Soldagem MIG/MAG ..... 16
2.1.4 Metalurgia da Soldagem ..... 21
2.1.5 Macro estrutura de soldas por fusão ..... 22
2.2 MACROGRAFIA ..... 23
2.3 MICROGRAFIA ..... 23
2.4 DILUIÇÃO ..... 24
2.5 PENETRAÇÃO ..... 26
2.6 APORTE TÉRMICO ..... 27
2.6 AÇO A36 ..... 28
3 METODOLOGIA ..... 31
3.1 Estudo da microestrutura e macroestrutura ..... 33
3.1.1 Macrografia da solda ..... 33
3.1.2 Micrografia da solda ..... 33
4 RESULTADOS E DISCUSÃO ..... 34
4.1 Estudo da Penetração, Diluição e Aporte Térmico da Solda ..... 34
4.2 MICROGRAFIA DA SOLDA ..... 35
5 CONCLUSÃO ..... 40
5.1 TABALHOS FUTUROS ..... 41
5.2 TRABALHO APRESENTADOS ..... 41
REFERÊNCIAS ..... 42
ANEXOS ..... 44

## 1. INTRODUÇÃO

A Sociedade Americana de Solda, em inglês AWS (*American Welding Society*), denominou como GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), traduzido para português soldagem ao arco elétrico com atmosfera de proteção gasosa, que também é denominada como soldagem MIG/MAG. Este processo consiste na união de peças metálicas, produzidas a partir do aquecimento destas com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico nu consumível, alimentado interruptamente e a peça a ser soldada (CASTRO; PINHEIRO; MOTTA, 2017)

A proteção da região da solda é desenvolvida com objetivo de evitar a contaminação pela atmosfera e é feita por gás inerte ou ativo. Na soldagem MIG (*Metal Inert Gas*) a proteção se faz com o gás Inerte o mais comum de se utilizar são os gases Argônio, Hélio puro ou mistura dos dois gases. Já MAG (*Metal Active Gas*), a proteção é realizada com um gás ativos como o $CO_2$ (dióxido de carbono) ou uma mistura do mesmo com gás inerte. Os gases de proteção além de proteger a poça de fusão e gotas em transferência, eles podem estabilizar o arco, controlar a operacionalidade e a transferência metálica, também podem influenciar as propriedades mecânicas, a geometria e ainda as características metalúrgicas da solda (GOLOB, 2013).

Como principais motivos de escolha sendo deste projeto, em obter-se um melhor entendimento sobre o assunto e a transmissão do conhecimento para os estudantes que buscam compreender sobre o processo GMAW, contribuindo com a comunidade científica foi desenvolvido esse trabalho. Pois, a seleção e aplicação do ângulo é uma das condições que estabelece controle sobre a operacionalidade da soldagem, de modo que para cada tipo de aço, seja ele, aço-carbono ou aços de baixa, média e alta liga, é necessário a escolha de uma mistura de gases de proteção, sendo assim este tema é muito importante a ser estudado já que é vivenciado num ambiente de trabalho e a não utilização correta comprometerá a solda (CASTRO; PINHEIRO; MOTTA, 2017).

O aço ASTM A36 (American Society for Testing and Materials), é um aço

estrutural que possui as propriedades mecânicas e composição química próxima do Aço SAE 1012 (Sociedade dos Engenheiros Automotivos). Devido a possuir uma boa soldabilidade, uma boa conformabilidade, faz com que ele seja empregado na confecção de pontes, estrutura de equipamentos, passarelas, edifícios e plataformas de petróleo (SILVA; MEI, 2010).

## 1.1 **PROBLEMA**

No processo de Soldagem automático MIG no aço A36, a variação da inclinação do ângulo da tocha tem influência direta na penetração da solda e diluição.

## 1.2 **OBJETIVOS**

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi realizar soldagem GMAW automático, com os ângulos de inclinação da tocha de -20 °, 0° e 20° e verificar a penetração e diluição em todas as condições estudadas.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar a micrografia do cordão de solda em cada condição estudada.
- Analisar e fazer a medição da penetração do cordão com auxílio de software analisador de imagem em cada condição estudada.
- Realizar o cálculo de diluição com as medições das áreas dos cordões de solda utilizando o software analisador de imagem em cada condição estudada.

## 1.3 **JUSTIFICATIVA**

Em soldagem o conhecimento dos paramentos primários e a suma influência no cordão de solda são de uma importância muito relevante. Pois os mesmos ajudam a tomar decisões precisas e decisivas para o melhoramento do processo de soldagem.

Hoje no ramo industrial metalomecânico brasileira com alta competitividade o conhecimento desse parâmentos torna-se muito importante. Por esse motivo este trabalho aborda o efeito primário da varrição do ângulo de tocha do processo de MIG e a suas influências diretas na penetração de diluição da soldagem.

# 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2.1 **Soldagem**

Para se unir dois materiais pode ter a união através de forças microscópicas ou união através da ação macroscópica (REIS; RUTTER, 2014).

Quando se tem a união macroscópica pode ser a rebitagem, onde a resistência da junta é dada pela resistência ao cisalhamento do rebite ou parafuso mais as forças de atrito entre as superfícies. Já na união intermolecular é a aproximação dos átomos das peças a serem ligadas, ou até distâncias suficientemente para ocorrência de ligações químicas (REIS; RUTTER, 2014).

A Soldagem é o processo de união de materiais de mesma composição química ou de diferente, utilizando temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição (OLIVEIRA, 2017).

Os processos de soldagem se torna muito versáteis, pois podem ser aplicados desde a fabricação de estruturas simples como grades e portões até a uniões de equipamentos de grande reponsabilidade e segurança como na confecção de peças para as indústrias nuclear, petrolífera, indústrias químicas. A soldagem pode ser aplicada em diversas formas e variações, pois a mesma pode ser utilizada para a união de peças ou juntas, recuperação de peças desgastadas ou para fazer uma deposição de material sobre outro para a obtenção de revestimento (REIS; RUTTER, 2104).

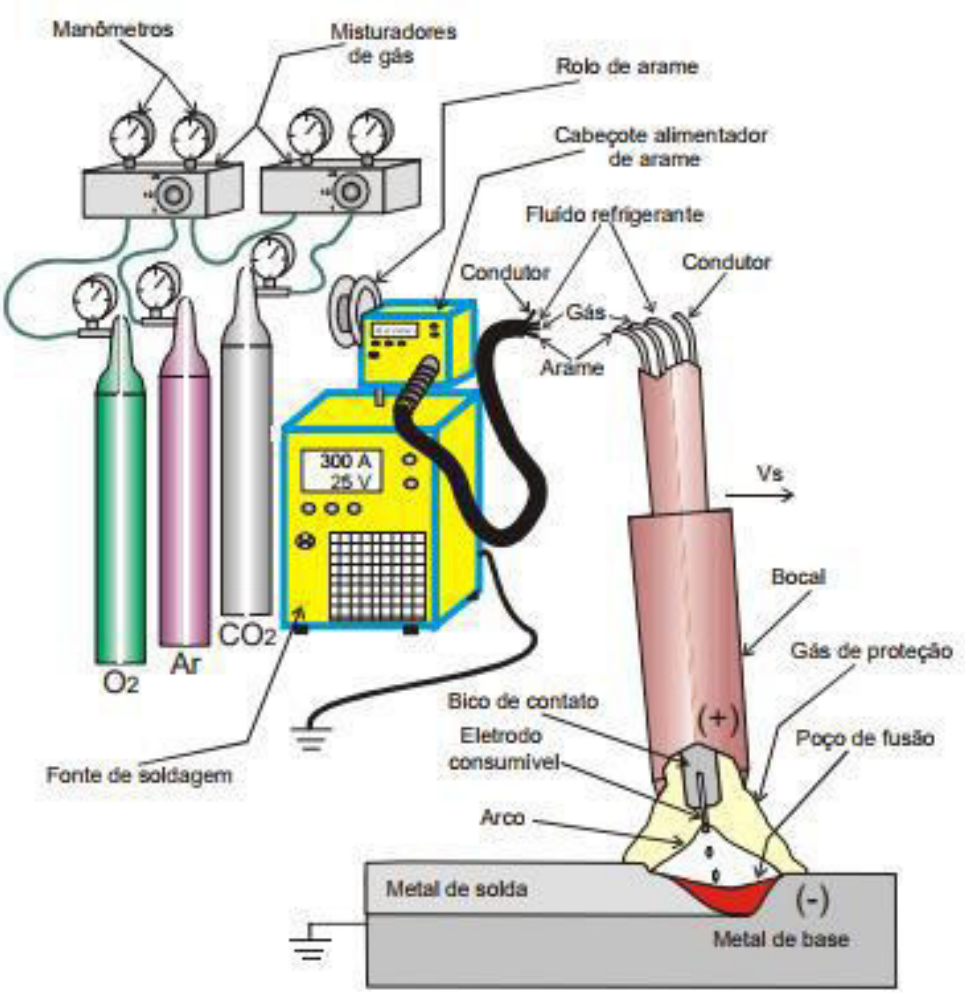
Estima-se que hoje em dia no mundo são utilizados mais de 70 processos de soldagem diferentes, sendo este um número dinâmico, pois no mercado mundial de soldagem vários outros processos estão em desenvolvimento em nível de pesquisa visando novas alterações (OLIVEIRA, 2017).

### 2.1.1 Processo de soldagem MIG/MAG

O processo MIG/MAG (*Metal Inerte Gas/Metal Active Gas*), GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) ou, ainda, “Soldagem a Arco Metálico com Atmosfera Gasosa (SAMG)”, a abertura do arco elétrico e a sua manutenção acontece quando o metal de adição (arame maciço alimentado continuamente) toca a peça, devido as altas temperaturas geradas, o mesmo se funde formando a poça de fusão ocorrendo o início da soldagem. Já o arame/eletrodo não possui revestimento (comum no processo Eletrodo Revestido) é necessário à inserção de uma proteção gasosa (inerte "MIG" ou ativa

"MAG"), externa, suprida com pressão e vazão adequadas. Na Figura 1 é ilustrado o processo de soldagem MIG/MAG.

Figura 1 - Descrição  do Processo MIG/MAG.




Fonte: Silva (2018)

### 2.1.2 Variáveis do Processo de Soldagem MIG/MAG

No processo de soldagem MIG/MAG qualquer mudança mais que sensível nos parâmetros elétricos operacionais do arco de soldagem é uma das principais limitações, influenciando diretamente na qualidade do cordão de solda depositado, necessitando um maior rigor no ajuste de parâmetros para obtenção de determinadas características para o cordão de solda. A determinação destes parâmetros é

dificultada pela forte interdependência destes e por sua influência no resultado da operação (SILVA, 2018).

A correta utilização do processo MIG dependerá do perfeito entendimento de como as diversas variáveis envolvidas na operação de soldagem podem influenciar na estabilidade do arco e na qualidade final do depósito (BARRA, 2003).

Entre as variáveis utilizadas na soldagem MIG/MAG as que tem maiores destaques são a corrente de soldagem (Is), tensão de soldagem (Us), velocidade de soldagem (Vs), extensão livre do eletrodo (*Stick out*), a proteção gasosa e o ângulo de soldagem (SILVA, 2018).

A corrente de soldagem (Is) tem uma influência diretamente na penetração do metal de adição sobre o substrato, na energia de soldagem, na transferência metálica, em aspectos geométricos e qualitativos do cordão de solda. No processo MIG ela tem relação direta com a velocidade de alimentação do arame, quando é realizada a velocidade de alimentação, a corrente de soldagem varia na mesma proporção e sentido (OLIVEIRA, 2017).

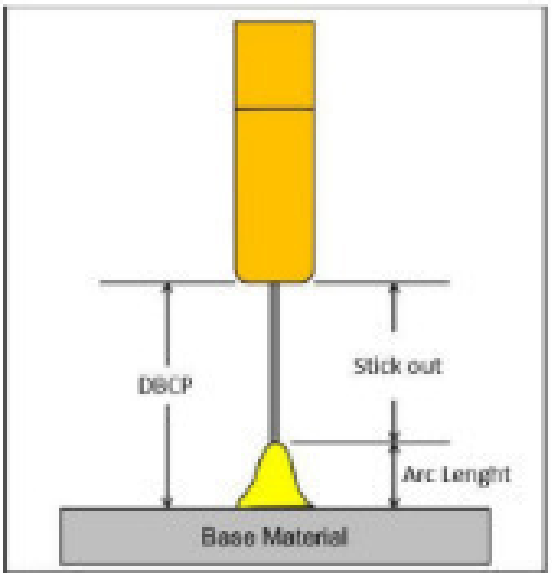
Já o potencial de soldagem (V) exerce grande influência no comprimento do arco, no modo de transferência de metal e no formato do cordão. Quando se tem altos valores de potencial o cordão apresenta maiores espessuras e gera maior formação de respingos. Já os valores de potencial, a transferência por curto-circuito é favorecida e instabilidade do arco também é mais intensa. Esta, por sua vez, facilita a absorção de gases da atmosfera, que pode resultar em porosidade ou outros problemas associados (SILVA,2018).

Quanto a velocidade de soldagem (Vs) é representada pela taxa linear em que o arco se move ao longo da junta soldada. Ela item influência direta na energia de soldagem e a quantidade de calor cedido à peça, tem relação direta no tamanho do cordão e na penetração da solda, é uma variável independente da intensidade de corrente (SILVA, 2018).

O "*Stick Out*" (Figura 2), é considerado como a distância entre o último ponto de contato elétrico, que geralmente é a do bico de contato da tocha e a extremidade do arame em contato com o arco. Consequentemente geram alterações significativas tanto na corrente média quanto na frequência de transferência metálica, principalmente no modo curto-circuito. Quanto maior for essa distância, maior será o aquecimento do arame por efeito Joule e, portanto, menor a corrente necessária para

fundir o arame, mantida a velocidade de alimentação. Inversamente, quanto maior o “Stick Out”, maior a taxa de deposição e instabilidade do arco voltaico, se mantida a corrente de soldagem, recomenda –se que a distância mínima de 10 mm e máxima de 25 mm para não mudar as propriedades mecânicas do arme e diluir muito o efeito da proteção da solda causando porosidade (GOLOB, 2013).

Figura 2 - Distancia do bico de contato na junta de Topo

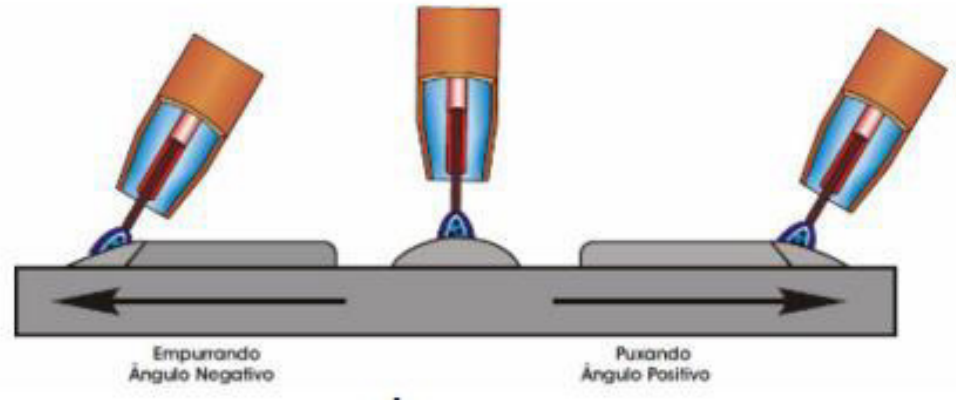



Fonte: Castro; Pinheiro; Motta (2017)

A vazão de gás protetor tem a finalidade de ser tal que proporcione uma proteção eficiente contra a contaminação do arco e da solda pela atmosfera. O aumento da corrente, gera um amento da poça de fusão e consequentemente o aumento da área a ser protegida, e havendo uma necessidade de aumentar a vazão necessária. Para a soldagem MIG os gases inertes mais utilizados são o argônio e o hélio, e mistura entre eles também são admitidas. O gás inerte não provoca nenhuma reação metalúrgica a poça de fusão, desta forma a função do gás inerte é de proteger as regiões soldadas da atmosfera externa e auxiliar a abertura e manutenção do arco voltaico (SILVA, 2018).

O ângulo da tocha de soldagem influencia fortemente nos aspectos geométricos do cordão de solda: largura, altura e penetração. Desta forma o ângulo da tocha de soldagem, produz cordão que se torna mais ou menos espesso, aumentando ou não a penetração. Conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Ângulos da tochas de soldagem MIG/MAG




Fonte: Castro; Pinheiro; Motta (2017)

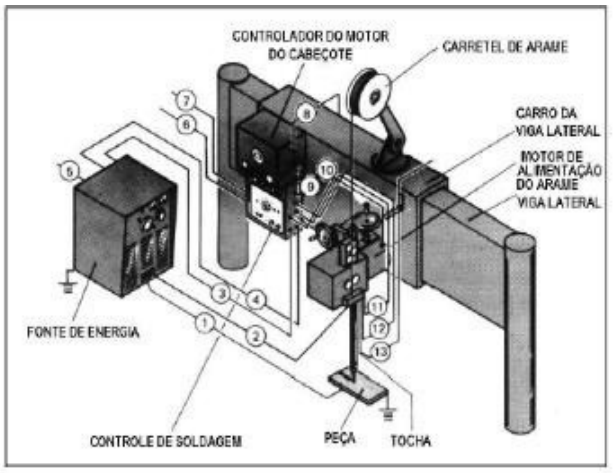
No procedimento de soldagem onde se tem o tracionamento da solda, (ângulo é positivo técnica “puxando) a alimentação do arame é realizada no sentido oposto ao do deslocamento do arco, proporcionando uma maior taxa de transferência de calor para a peça, elevando a penetração para ângulos de até 25°. Em condições de empurrar (ângulo é negativo) a solda, a tocha é posicionada de forma que o arame é alimentado no mesmo sentido do deslocamento do arco, proporcionando uma redução na penetração e o surgimento de cordões de solda mais largos e planos. Quando se utilizado o ângulo nulo (0º), tem-se características intermediárias dos dois casos citados anteriormente, na Figura 3 ilustra os três ângulos de soldagens (CASTRO; PINHEIRO; MOTTA, 2017).

### 2.1.3 Soldagem MIG/MAG Automática

A Soldagem MIG/MAG automática são utilizados quando é possível que a peça seja transportada com logística facilitada até o equipamento ou onde muitas atividades repetitivas de soldagem justifiquem dispositivos especiais de fixação. Esse equipamento geralmente tem a velocidade de deslocamento da solda iniciada junto com a abertura do arco e encerrado quando o mesmo cessa. Neste tipo de processo a repetibilidade e a qualidade da solda é melhor com uma velocidade de soldagem sempre estável e homogênea.

O equipamento de soldagem numa configuração automática é o mesmo que não manual, exceto: a tocha é normalmente montada diretamente sob o motor de alimentação do arame, eliminando a necessidade de um conduíte, o controle de soldagem é montado longe do motor de alimentação do arame. Podem ser empregadas caixas de controle remoto; adicionalmente, outros dispositivos são utilizados para proporcionar o deslocamento automático do cabeçote. Exemplos desses dispositivos são os pórticos e os dispositivos de fixação. O controle de soldagem também coordena o deslocamento do conjunto no início e no fim da soldagem, sendo ilustrada na Figura 4.

Figura 4 - Maquina MIG/MAG automática




1. CABO DE SOLDA (NEGATIVO)
2. CABO DE SOLDA (POSITIVO)
3. DETECÇÃO DE CORRENTE E TENSÃO DE SOLDAGEM
4. ENTRADA DE 42 V (CA)
5. CONEXÃO PARA A FONTE PRIMÁRIA (220/380/440 V)
6. ENTRADA DE ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO
7. ENTRADA DO GÁS DE PROTEÇÃO
8. SAÍDA PARA O MOTOR DE DESLOCAMENTO DO PÓRTICO
9. ENTRADA 42 V (CA) PARA A MOVIMENTAÇÃO / PARADA DO CABE-ÇOTE
10. MOTOR DE ALIMENTAÇÃO DO ARAME
11. ENTRADA DO GÁS DE PROTEÇÃO
12. ENTRADA DE ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO
13. SAÍDA DE ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO

Fonte: Fortes; Vaz (2022)

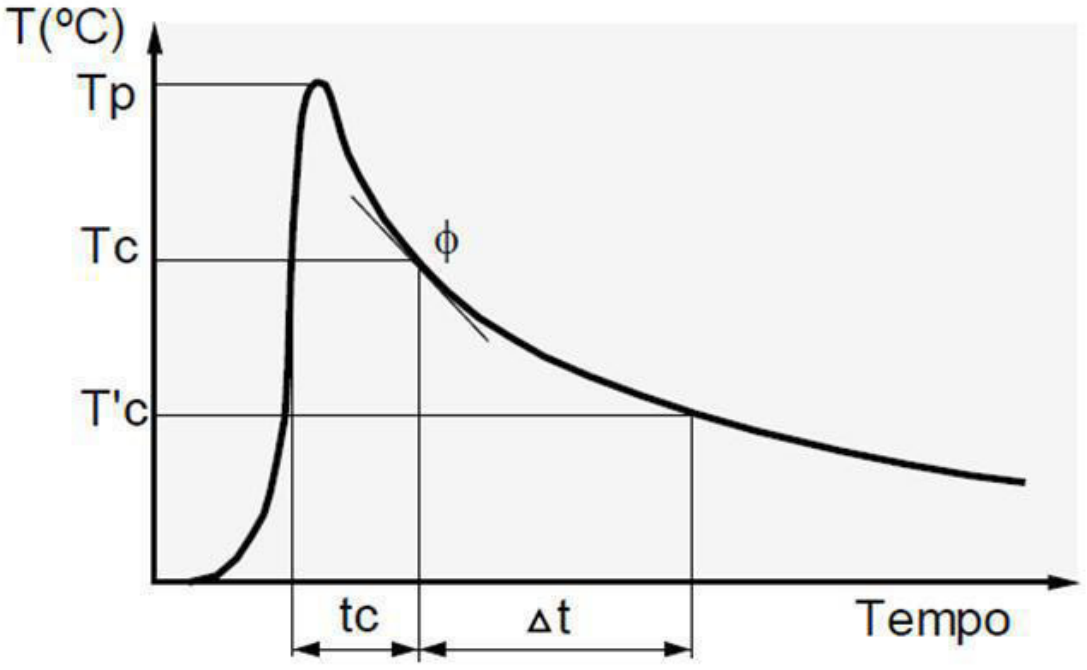
### 2.1.4 Metalurgia da Soldagem

A capacidade de se realizar uma solda de um metal ou liga e obter as condições necessárias para o processo de fabricação, numa estrutura específica e adequada, e desempenhar-se satisfatoriamente no serviço para o qual se destina é denominada soldabilidade. Durante o processo de soldagem as propriedades mais importantes e visadas pelos profissionais de soldagem são as seguintes: tenacidade, ductilidade, fragilidade, elasticidade, resistência mecânica, dureza e resistência à corrosão (ROMÃO; SILVA, 2018).

Durante a soldagem é gerado calor pelo arco elétrico, onde gera as vibrações entre os átomos. Essa energia térmica pode ser transferida de três modos: condução, radiação e convecção (ROMÃO; SILVA, 2018).

Para ocorrer o processo de soldagem é necessário utilizar o calor e/ou deformação plástica. Onde a energia térmica aplicada gera uma curva que é denominada de ciclo térmico de soldagem como apresentado na Figura 5 (ROMÃO; SILVA, 2018).

Figura 5 Ciclo térmico de soldagem




Fonte: Romão; Silva (2018)

Onde: **Tp** é a temperatura de pico, ou seja, temperatura máxima atingida pelo ponto
**Tc** temperatura crítica é a temperatura mínima para ocorrer uma alteração relevante, como uma transformação de fase.

### 2.1.5 Macroestrutura de soldas por fusão

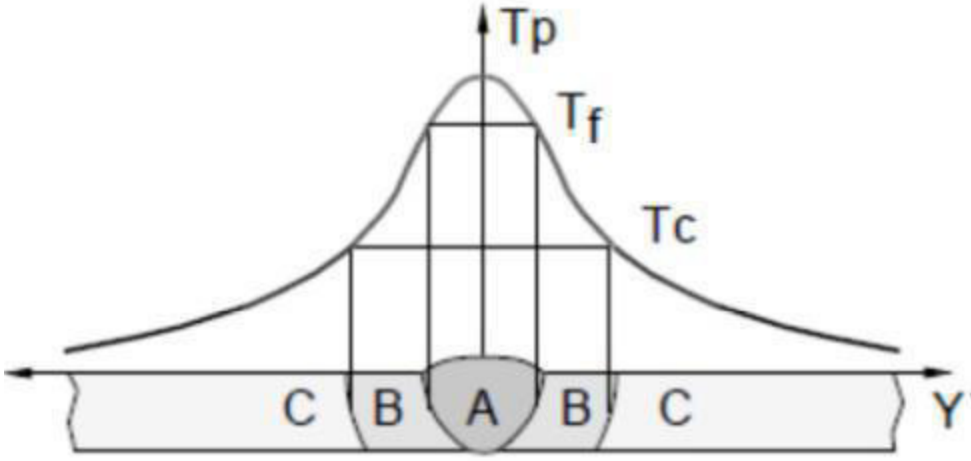
Quando é realizado uma soldagem por fusão, algumas repartições térmicas são formadas que são divididas em três regiões básicas:

**Zona Fundida (ZF) ou solda**: Essa região é onde ocorre a fusão e a solidificação do material de deposição ou consumível de solda, durante a operação de soldagem. Nesta região os picos de temperatura são superiores á temperatura de fusão do metal base e material de adição e estão representadas como na região na Figura 6,

**Zona Termicamente Afetada (ZTA):** É a região do metal de base que não foi fundida, mas devido ao ciclo térmico de soldagem, tem alterações nas suas microestruturas e/ou propriedades. Nesta região os picos de temperatura são superiores a temperatura de fusão da metal base e o material de adição e estão representadas em regiões na (Figura 6) é demonstrada com a Letra B;

**Metal base (MB):** É o material inicial a união, devido estar mais afastada do cordão de solda não é afetada pelo ciclo térmico do processo de soldagem. As suas temperaturas de pico são inferiores à temperatura crítica do material na (Figura 6) é representada pela letra C (ROMÃO; SILVA, 2018).

Figura 6 Regiões de uma solda por fusão.




Fonte: Romão; Silva (2018)

Onde: **Tp** é a temperatura de pico, ou seja, temperatura máxima atingida pelo ponto

**Tf** é temperatura final de fusão, devido ao contado com o metal base a temperatura de pico é dissipada e é menor ao TP.

**Tc** temperatura crítica é a temperatura mínima para ocorrer uma alteração relevante, como uma transformação de fase.

## 2.2 **MACROGRAFIA**

A macrografia consiste na análise, descrição ou registo do aspeto de uma peça, ou amostra metálica, segundo uma secção plana devidamente lixado geralmente até lixa de granulometria de 600 Mesh e em regra atacada por um reagente apropriado. O exame é realizado à vista desarmada ou com a ajuda de uma lupa. O aspecto assim obtido designa-se por macroestrutura (REIS; RUTTER, 2014).

A palavra macrografia é também utilizada para designar os documentos que reproduzem a macro estrutura, em tamanho natural ou com ampliação máxima de 10 vezes (para ampliações maiores, usa-se o termo micrografia) (REIS; RUTTER, 2014).

A macrografia possibilita a observação da heterogeneidade química existente, resultante da estrutura de solidificação, assim como as alterações sofridas por esta e devidas a tratamentos posteriores. Pode evidenciar a distribuição das impurezas metálicas, não metálicas e gasosas contidas na estrutura. A análise macrográfica permite visualizar a presença de fissuras, bolhas, porosidades, gotas frias (REIS; RUTTER, 2014).

## 2.3 **MICROGRAFIA**

A micrografia tem a finalidade de obter imagens ampliadas de um material, onde possibilita ser revelados detalhes que a olho nu ou com ampliação até 10x não é possível analisar. As micrografias são obtidas através de equipamentos que usam técnicas de difração de luz, assim sendo, qualquer imperfeição na superfície da amostra, como planos, riscos, rugas, acabarão por desviar a luz, revelando uma falsa imagem da superfície da amostra (ROMÃO; SILVA, 2018).

Para realizar as análises de uma peça ou material, o mesmo deve possuir um preparo prévio, geralmente uma face polida e atacada por um reagente específico, de modo a expor a microestrutura da peça em análise (REIS; RUTTER, 2014).

Com o ensaio metalográfico é possível determinar a textura do metal, os constituintes, tamanho de grãos e diferentes fases presentes. O tamanho de grão e a

forma em que se organizam na estrutura alteram diretamente as propriedades mecânicas do material. A formação diferenciada dos grãos pode decorrer de trabalhos mecânicos a frio (ROMÃO; SILVA, 2018).

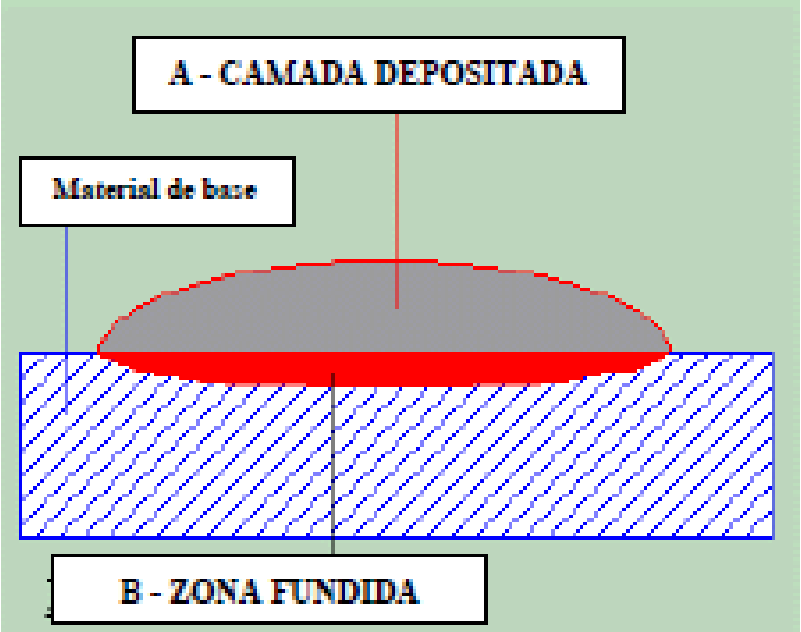
## 2.4 **DILUIÇÃO**

Quando ocorre a fusão na solda, a zona fundida pode ser formada sob as mais diversas condições. Ocorre uma mistura entre o metal de adição, sob intensa agitação, ao metal de base fundido, gerando uma interação intensa com gases e escórias presentes na região do arco. Gerando a Zona Fundida (ZF) ou a região da solda, que depende da interação das composições químicas do metal de base, metal de adição e da participação relativa destes na formação da ZF, esta participação relativa é conhecida como “diluição” (SOUZA NETO, 2015).

Essa diluição é dada como a quantidade de material de base que se mistura ao metal de adição durante o processo de soldagem, essa diluição serve como parâmetro fundamental no desempenho em serviço de um revestimento. Como o material utilizado nesse trabalho tem uma composição química e mecânica diferente do substrato, a diluição pode alterar mudanças dessas características (ROMÃO; SILVA, 2018).

Sabendo que o controle da diluição no processo de revestimento e na soldagem de materiais dissimilares é importante, procura-se nos processos de revestimentos produzir, a mínima diluição possível, suficiente apenas para formar uma perfeita ligação metalúrgica entre metal de adição e substrato, para isso ocorrer tem a necessidade de que haja um controle rígido da diluição, procurando mantê-la no menor nível possível, a Figura 7 demonstra a área A camada depositada e área B zonas fundidas (REIS; RUTTER, 2014).

Figura 7 Diluição em uma camada depositada por técnica de soldagem




Fonte: Souza Neto (2015)

Para realizar o cálculo da diluição pode ser utilizado uma formula matemática que está descrita na Equação (1). Para tanto, tem-se *B* como sendo a área do substrato fundida na solda, e *A* área do metal adicionada. Sendo assim, (*A+B*) representa o somatório das duas áreas, ou seja, área total da solda (SOUZA NETO, 2015).

$$d(\%) = \frac{B}{(A+B)} \cdot 100 \qquad \text{Eq.1}$$

A quantidade máxima de diluição depende do processo utilizado para o revestimento, dos parâmetros de processamento e das características do material de adição e do substrato. Para um revestimento mais efetivo não são recomendados valores superiores a 25% de diluição, os valores de diluição conforme processo de soldagem estão descritos na Tabela 1 (SOUZA NETO, 2015).

Tabela 1 Diluição conforme o processo de soldagem

| **Diluição [%]** | | |
|---|---|---|
| Processo de revestimento de soldagem | Mínima | Máximo |
| Oxiacetileno | 1 | 5 |
| Laser | 1 | 6 |
| TIG | 10 | 20 |
| MIG | 15 | 44 |
| Eletrodo Revestido | 15 | 30 |
| Arco Submerso | 30 | 60 |

Fonte: Adaptado de Souza Neto (2015).

## 2.5 **PENETRAÇÃO**

Profundidade de fusão (também conhecida como "penetração") é a distância que a fusão se estende na metal base ou no passe anterior da superfície derretida durante a soldagem (SOUSA NETO, 2015; AVENTA,2022).

A variável de soldagem com maior efeito sobre o grau de penetração da solda é a corrente (medida em amperagem A). A medida que a corrente de soldagem aumenta (ou seja, mais amperagem), a penetração da solda aumenta e à medida que a corrente de soldagem diminui (ou seja, menos amperagem), a penetração da solda diminui (SOUSA NETO, 2015; AVENTA, 2022).

Os processos MIG/MAG utilizam fonte de corrente contínua e polaridade inversa com elétrodo positivo a fim de possibilitar melhor penetração e estabilidade do arco. Quando não é necessária grande penetração, é possível usar a polaridade direta, o que aumenta a velocidade de deposição. A corrente alternada é utilizada para alumínio e as suas ligas (SOUSA NETO, 2015; AVENTA,2022).

## 2.6 APORTE TÉRMICO

Para soldagem que utiliza o arco elétrico, uma fonte ideal fornece calor necessário para formar uma solda que precisa de uma potência q, onde se desloca em linha reta num eixo de referência (X), com velocidade constante e portanto, energia fornecida por unidade de comprimento fixa. Entretanto, para as aplicações usuais da Soldagem, o cálculo da potência gerada no arco (W ou J/s) através da seguinte relação apresentado na Equação 2 (SOUSA NETO, 2015; AVENTA, 2022).

$$\mathbf{q = \eta UI} \qquad \textbf{Eq.2}$$

onde :

**U** [V volts] é a tensão

**I** [A Ampères] a intensidade da corrente de soldagem

$\eta$ (Adimensional, variando entre 0 e 1) é o rendimento térmico do processo naquelas específicas condições.

Assim, este último fator indica a proporção da potência total gerada que é transferida para a peça soldada. Diversos pesquisadores avaliaram os rendimentos térmicos dos principais processos de soldagem, com os cada vez mais refinados (e exatos) métodos de medição, os valores encontrados têm sido modificados e são apresentados na Tabela 2 (MACHADO, 2022).

Tabela 2 Rendimento Térmico em Função do Processo de Soldagem

| Processo | Rendimento [$\eta$] | Processo | Rendimento [$\eta$] |
|---|---|---|---|
| Arco Submerso | 0,9 $\pm$ 0,09 | MIG/MAG | 0,75+0,1 |
| Eletrodo Revestido | 0,75+0,1 | Oxigás | 0,52+0,27 |
| Eletroescória | 0,68+ 0,13 | TIG (CC) | 0,65+0,15 |
| Feixe de Elétrons | 0,87+0,8 | TIG (CA) | 0,35+0,15 |

**Nota CC corrente contínuo eletrodo Negativo CA= Corrente Alternada.**

Fonte: Adaptado de Machado (2022)

Desta forma, sendo v a velocidade de soldagem (mm/s), a quantidade de calor fornecida por unidade de comprimento do cordão de solda, ou simplesmente “energia de soldagem” (E, expressa em KJ/mm), é dada por:

$$\boldsymbol{E = \frac{q}{v} = \eta \frac{UI}{v} /1000} \qquad \textbf{Eq.3}$$

E = Energia de soldagem ou Aporte Térmico [KJ/mm]

Q= quantidade de calor da solda [W]

V= velocidade de soldagem

U= tensão da soldagem [V]

I= Corrente da soldagem [A]

$\eta$= rendimento térmico do processo [adimensional]

Quando a velocidade de solda estiver expressa em cm/min deve-se utilizar a equação 4 para conversão das unidades e o valor o aporte térmico ser dado em KJ/mm.

$$\boldsymbol{E = \frac{q}{v} = \eta \frac{UI}{v}\ 0{,}006} \qquad \textbf{Eq.4}$$

Tabela 3 Aporte Térmico dos Processos de Soldagem e Suas Aplicações

| Processo | E [KJ/mm] Mínimo | E [KJ/mm] Máximo | Metais e Ligas |
|---|---|---|---|
| Eletrodo Revestido | 0,5 | 3,0 | Todos aços , aço Inox, Ferro Fundido |
| Arco Submerso | 1,0 | 10 | Aço carbono, aço Inox, Ferro Fundido |
| TIG | 0,3 | 1,5 | Todos aços, Não Ferroso, Metais refratários e resistente a calor |
| MIG | 0,5 | 3,0 | Todos aços , aço inox e Não Ferroso |
| Eletroescória | 5 | 50 | Aços estruturais e Aço Inox |
| Feixe de Elétrons | 0,1 | 0,6 | Titânio, metis refratários e aços especiais. |

Fonte: Adaptado de Carlos; Carritá; Souza (2022)

## 2.6 **AÇO A36**

Utilização do aço ASTM A36 para a fabricação de perfis estruturais. Existem diversos aços produzidos em uma vasta variedade de formas e tipos, cada qual satisfazendo eficientemente a um ou mais seguimentos, tais como, chapas, perfis,

tubos e barras. Na construção civil os chamados aços estruturais possuem maior relevância, pois apresentam média e alta resistência mecânica, termo intitulado a todos os aços que, correspondem à sua resistência, ductilidade e outras propriedades, são apropriados para a utilização em elementos da construção, submetidos a carregamento (SILVA; GHENO, 2018).

Dentre os aços estruturais presentes atualmente, o mais empregado e afamado é o ASTM A36, sendo categorizado como um aço carbono de média resistência mecânica e com boa soldabilidade, pois apresenta pequenas quantidades de carbono. Um ponto negativo deste material é sua propensão de ferrugem, caso não houver um revestimento. As Tabelas 01 e 02 apresentam, respectivamente a composição química e as propriedades mecânicas para o aço ASTM A36, estabelecidas pela norma ASTM A36 (SILVA; GHENO, 2018).

Tabela 4 Composição química [% em peso] do aço ASTM A36

| **Elementos** | **%** |
|---|---|
| **Carbono** | 0.25-0.29 |
| **Cobre** | 0.20 |
| **Ferro** | 98.0 |
| **Manganês** | 1.03 |
| **Fósforo** | 0.040 |
| **Silício** | 0.280 |
| **Enxofre** | 0.050 |

Fonte : Aços Nobre (2022)

Segundo a ASTM A36 A AWS (*American Welding Society*) a soldabilidade é a possibilidade de um material ser soldado nas exigências de fabricação impostas por uma estrutura específica projetada de forma propícia e de se comportar adequadamente em serviço (AÇOS NOBRE, 2022).

A maioria das ligas metálicas são soldáveis, no entanto, algumas ligas são mais difíceis que outras, dependendo do processo utilizado. Além disso, o desempenho

esperado para uma junta soldada depende fundamentalmente da aplicação destinada. Assim, para determinar a soldabilidade de um material, é necessário considerar o processo, o procedimento de soldagem e a sua aplicação. Também, é fundamental conhecer bem o material que será soldado, o projeto da solda e da estrutura, além dos requerimentos de serviço, como cargas e condições ambientais (SILVA; GHENO ,2018).

Os teores de C e Mn e os níveis de impureza influenciam na soldabilidade dos aços carbono. Os aços com percentuais de até 0,15% a 0,20% de carbono possuem excelente soldabilidade por serem pouco temperáveis. 20 Aços com percentuais entre 0,15% e 0,30% de carbono possuem boa soldabilidade, entretanto, existe a possibilidade de endurecimento. Os aços estruturais ASTM A36 são aços de baixo carbono, como consequência, apresentam uma boa soldabilidade (AÇOS NOBRE, 2022).

# 3 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido no laboratório de soldagem da Fatec Pindamonhangaba, teve o objetivo de avaliar a influência da variação do ângulo da tocha do processo MIG sendo de:

- 20° (puxando);
- 0°;
- -20° (empurrando);

Estes ângulos estão demonstrados na (Figura 8), com a finalidade de avaliar o aporte térmico, a profundida e diluição da junta soldada.

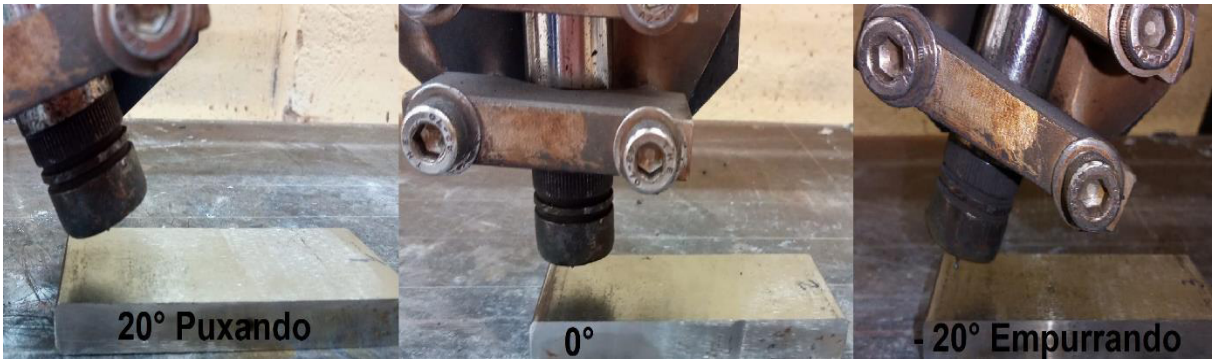
Para a soldagem foram utilizados 3 chapas de aço ASTM A36 coma a seguintes dimensão: 100 mm X 39 mm X 12.78 mm, a composição química foi fornecida pelo revendedor de Aço CONFER ilustrada na tabela 5

Tabela 5 Composição aço Peso em porcentagem [%]

| C | Si | Mn | P | S | Cu |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,14 | 0,13 | 0,67 | 0,02 | 0,02 | 0,16 |

Fonte: do autor

Figura 8 Posição de soldagem




Fonte: do autor

Para realizar a soldagem MIG foi utilizado a máquina de soldagem MIG automática marca *Lincoln Electric modelo Power Wave* S350 (Figura 9), com o gás de

proteção Argônio Puro e com os parâmentos de soldagem que foram utilizados para cada técnica de soldagem estão descritos na Tabela 2.

Figura 9 Maquina soldagem automática MIG

Fonte: do autor

Tabela 6 Parâmentos de Soldagem

| PARÂMETOS | 20° Puxando | 0° | -20° Empurrando |
|---|---|---|---|
| Voltagem [V] | 30 | 30 | 30 |
| Amperagem [A] | 198 | 185 | 215 |
| Velocidade do Arame [m/min] | 8 | 8 | 8 |
| Velocidade de Soldagem [cm/min] | 30 | 30 | 30 |
| Posição de Soldagem | 1G | 1G | 1G |
| Vazão gás Argônio [L/min] | 15 | 15 | 15 |
| Distância bico de contato [mm] | 10 | 10 | 10 |

Fonte: do autor

## 3.1 Estudo da microestrutura e macroestrutura

### 3.1.1 Macrografia da solda

Após o processo de soldagem, as chapas soldadas foram cortadas ao meio (no sentido transversal do cordão de solda) com o auxílio da cortadeira mecanográfica Marca Teclago modelo CM80 ilustrada na (Figura 10) e na sequencia retirado uma amostra de 10 mm de largura de cada chapa soldadas, totalizando 4 amostras. Posteriormente foi iniciado o processo de lixamento coma a lixadeira marca Arotec modelo Aropol dupla, com a seguinte sequência de Lixas: 180,220,320,400,500,600 mesh. Após esse processo as amostras foram levadas ao laboratório de Química, e realizado o ataque químico, como o método esfregando e com o reagente químico Nital 10% (ácido Nítrico 10ml e 90 ml de álcool etílico). Por final as amostras foram analisadas no estereoscópio marca Olympus modelo SZ com ampliação de 6,7x, com o objetivo de realizar aquisição de imagem do cordão de solda revelado pelo ataque químico e realizar as medições de penetração e área do cordão de solda.

### 3.1.2 Micrografia da solda

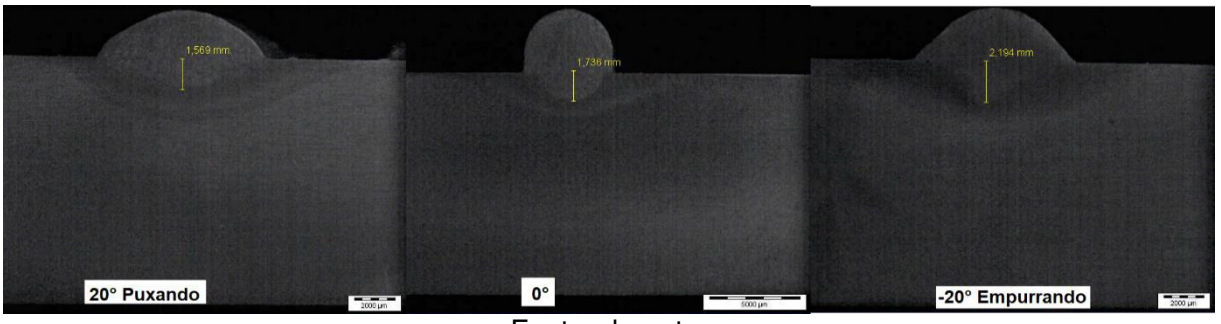
Após de realizar a macrografia nas amostras, as mesmas retornaram para o lixamento com a seguinte sequencia: 600,800 1000,1200,1500 mesh e polimento com alumina com partícula de 0,3 mícron. Na sequência realizou-se o ataque químico com Nital 2% (ácido Nítrico 2ml e 98 ml de álcool etílico) com a técnica por imersão por 10 segundos. Com objetivo de analisar as microestruturas da região soldada e zona afetada termicamente e metal base, levaram-se as amostras para o microscópio marca Olympus modelo CX31 e realizou-se imagem de 500x de ampliação.

# 4 RESULTADOS E DISCUSÃO

## 4.1 Estudo da Penetração, Diluição e Aporte Térmico da Solda

Ao observar a Figura 10 pode-se verificar que a menor penetração foi da técnica puxando e a do ângulo 0° ficou no meio-termo e sendo cerca de 2% menor quando comparado com a empurrando e foi de cerca de 28% maior quando comparado com puxando, também observado por (CASTRO; PINHEIRO, 2017).

Figura 10 Medida Profundidade com ângulos: 20° Puxando, 0° e -20 Empurrando




Fonte: do autor

Já a Tabela 7 é possível ver que a solda com o Ângulo 0° obteve o menor valor de diluição que é de 29,42% e seguido 20 Puxando com o valor de 33,34% e por fim o -20 empurrando com 35,08%. Segundo (SOUZA NETO, 2015) para aço baixo carbono o valor de diluição máximo é de 25%.

Tabela 7 cálculo da Diluição com ângulos: 20° Puxando, 0° e -20 Empurrando

| Técnica | 20°Puxando | 0° | -20° Empurrando |
|---|---|---|---|
| Área Superior mm$^2$ [A] | 14,805 | 15,585 | 15,355 |
| Área Inferior [mm$^2$] [B] | 7,406 | 6,499 | 8,299 |
| Área Total [A+B] | 22,211 | 22,084 | 23,654 |
| Diluição [%] | 33,34 | 29,42 | 35,08 |

Fonte: do autor

Ao analisar a Tabela 8 é possível verificar que a técnica empurrando apresentou maior aporte térmico, sendo cerca de 14% quando comparado com a técnica puxando e cerca de 11% ao comparar com inclinação zero graus. Todos valores estão conforme vistos no trabalho similar de Carlos; (CARRITÁ; SOUZA,2022).

Tabela 8 Cálculo do Aporte térmico

| Condições | 20° Puxando | 0° | -20° Empurrando |
|---|---|---|---|
| Voltagem [V[ | 30 | 30 | 30 |
| Amperagem [A] | 185 | 198 | 215 |
| η | 0,75 | 0,75 | 0,75 |
| Velocidade de soldagem [cm/min] | 30 | 30 | 30 |
| Aporte térmico KJ/mm | 0,83 | 0,89 | 0,97 |

Fonte: do autor

$$\boldsymbol{E = \frac{q}{v} = \eta \frac{UI}{v}\ 0,006}$$

E20 = 0,75 . (30.185)/30. 0,006= 0,8325 KJ/mm
E20 = 0,75. (30.198)/30. 0,006= 0,891 KJ/mm
E20 = 0,75. (30.215)/30. 0,006= 0,9675 KJ/mm

## 4.2 **MICROGRAFIA DA SOLDA**

Ao analisar a penetração pode-se verificar que a menor penetração foi da técnica puxando e a ângulo 0° ficou no meio-termo e sendo cerca de 2% menor quando comparado com a empurrando e foi de cerca de 28% maior quando comparado com puxando.

Já na diluição foi possível ver que a solda com o Ângulo 0° obteve o menor valor de diluição que é de 29,42% e seguido 20° Puxando com o valor de 33,34% e por fim o -20 empurrando com 35,08%. Segundo Souza Neto (2015) para aço baixo carbono o valor de diluição máximo é de 25%.

Quando foi analisado o aporte térmico foi possível verificar que a técnica empurrando apresentou maior aporte térmico, sendo cerca de 14% quando comparado com a técnica puxando e cerca de 11% ao comparar com inclinação zero grau. Todos os valores estão conforme vistos no trabalho similar de (CARLOS; CARRITÁ; SOUZA, 2022).

Ao observar a micrografia (Figura 11) da região soldada de todas as amostras, com o aumento de 500x e ataque de Nital 2%, foi possível observar a presença da estrutura Dendritica e Ferrita.

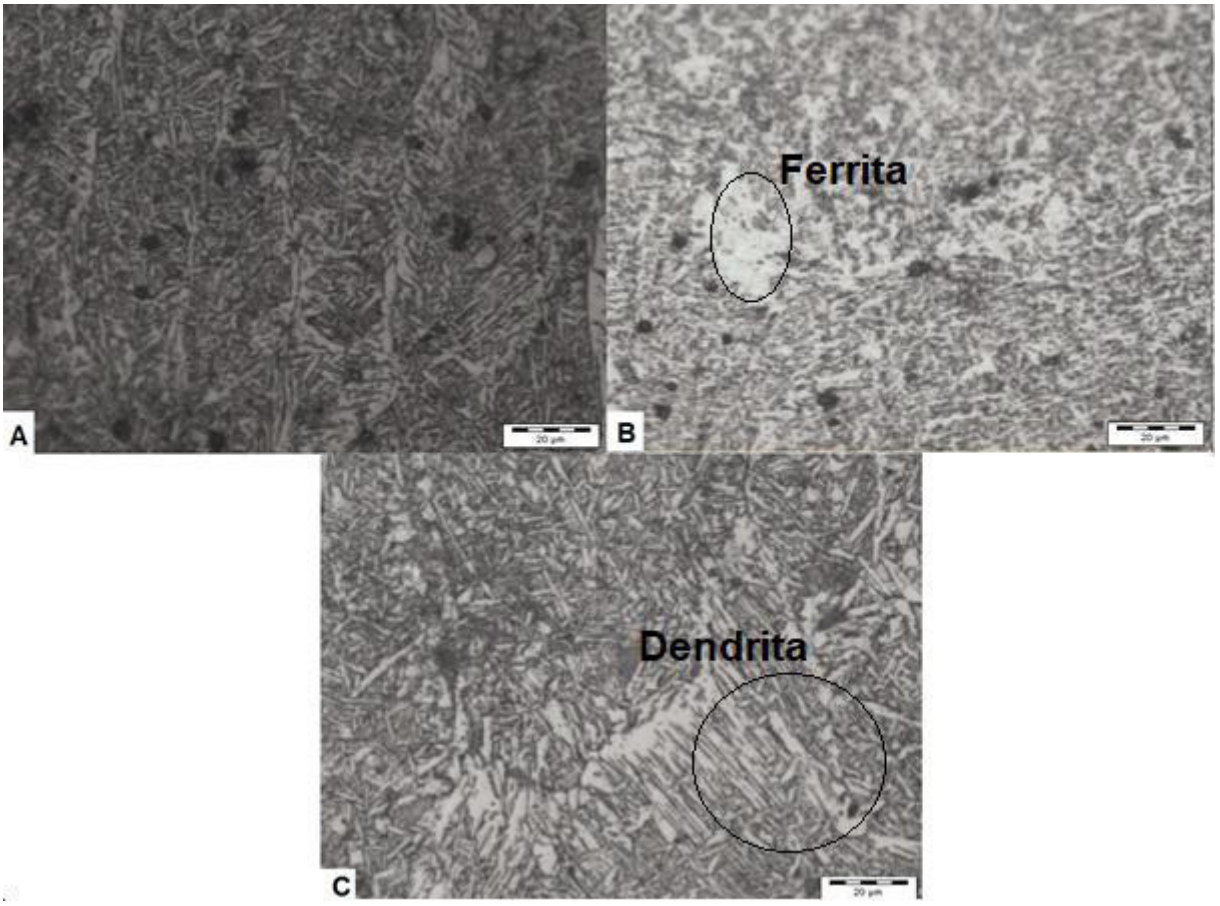
Na região da ZTA (Zona Térmica Afetada), com aumento de 500x e ataque de Nital 2%, foi possível identificar as mesmas estruturas presentes em todas as condições estudadas, indicando que a condição do fluxo também não afeta essa região da solda e não tem influência na formação das estruturas.

Pode-se verificar a presença de Ferrita com a Segunda Fase não Alinhada, Ferrita Poligonal, Ferrita de contorno Alinhada e Ferrita de Segunda fase alinhada que são comuns nas ZTA das regiões soldadas.

A microestrutura do Metal Base com aumento de 500x ataque nital 2% é possivel verificar a presença da Ferrita e Perlita que é característico de aço Baixo carbono, como é o caso do aço ASTM A36. Estas estruturas se repetem em todas as 3 amostras.

Nas Figuras 11, região da solda A) 20° puxando e B) 0° e C) -20 empurrando, com aumento de 500x e ataque de Nital 2%, onde foi possível observar nas três amostras a repetição das estruturas que são presença da estrutura Dendritica e Ferrita. Deste modo é possível verificar que os ângulos de inclinação da tocha não afetaram as formações das estruturas, como visto por ISQUIERDO *et al,* 2022b.

Figura 11 Região da solda : A) 20° Puxando, B)0° C) -20 Empurrando

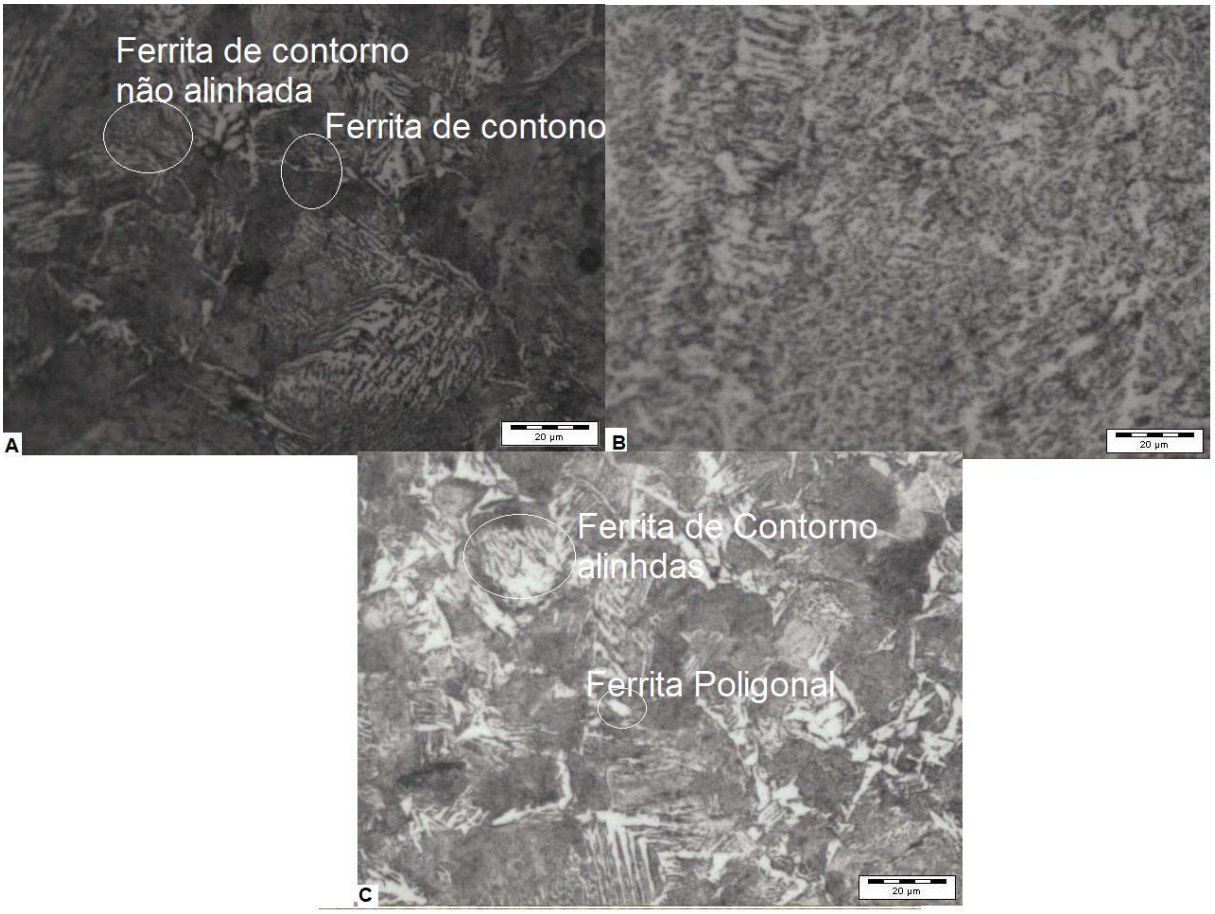



Fonte: do autor

Na Figuras 12 regiões da ZTA (Zona Térmica Afetada) A) 20° puxando e B) 0° e C) -20 empurrando, com aumento de 500x e ataque de Nital 2%, foi possível identificar as mesmas estruturas presentes em todas as condições estudadas, indicando que a condição do fluxo também não afeta essa região da solda e não tem influência na formação das estruturas.

Pode-se verificar a presença de Ferrita com Segunda Fase não Alinhada, Ferrita Poligonal, Ferrita de contorno Alinhada e Ferrita de Segunda fase alinhada que são comuns nas ZTA das regiões soldadas como é observado por trabalho similares de ISQUIERDO *et al,* 2022a.

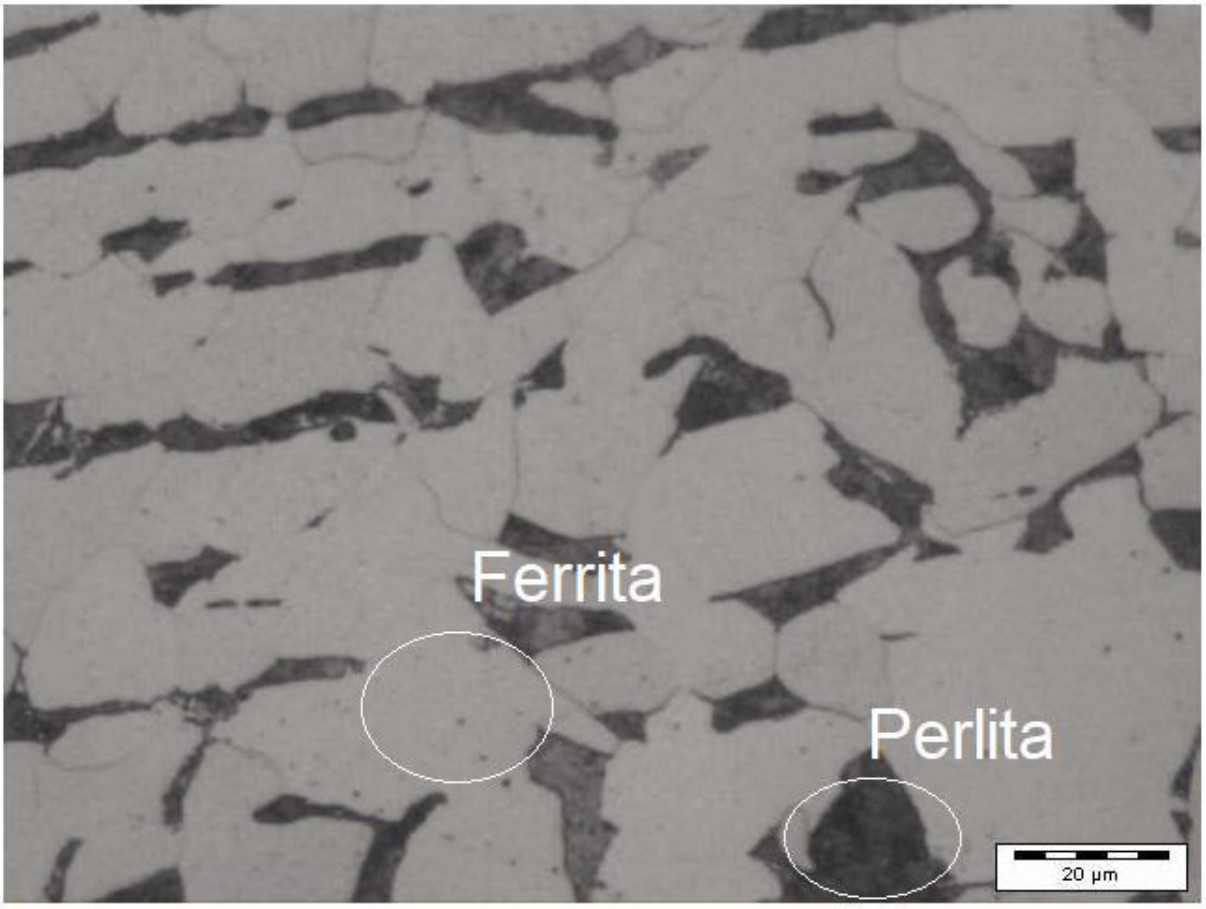
Figura 12 microestrutura ZT A : A) 20° Puxando, B) 0°  C) -20  Empurrando




Fonte: do autor

Já na Figura 13 A microestrutura do Metal Base com aumento de 500x com ataque Nital 2% é possível verificar a presença da Ferrita de cor branca e Perlita, a estrutura de cor escura que é característico de aço Baixo carbono como é o caso do aço ASTM A36. Estas estruturas se repetem em todas as 4 chapas, são as estruturas características deste tipo de aço baixo carbono que também foi observado por (HOLANDA; LIMA; REBOUÇAS, 2019).

Figura 13 Estrutura do  Metal base




Fonte: do autor

# 5 CONCLUSÃO

Ao analisar a penetração pode-se verificar que a menor penetração foi da técnica puxando e a ângulo 0° ficou no meio termo e sendo cerca de 2% menor quando comparado com a empurrando e foi de cerca de 28% maior quando comparado com puxando.

Já na diluição foi possível ver que a solda com o Ângulo 0° obteve o menor valor de diluição que é de 29,42% e seguido 20° Puxando com o valor de 33,34% e por fim o -20 empurrando com 35,08%. Segundo Souza Neto (2015) para aço baixo carbono o valor de diluição máximo é de 44%.

Quando foi analisado o aporte térmico foi possível verificar que a técnica empurrando apresentou maior aporte térmico, sendo cerca de 14% quando comparado com a técnica puxando e cerca de 11% ao comparar com inclinação zero grau. Todos valores estão conforme vistos no trabalho similar de Carlos; Carritá; Souza (2022).

Ao observar a micrografia da região soldada de todas as amostras, com o aumento de 500x e ataque de Nital 2%, foi possível observar a presença da estrutura Dendritica e Ferrita.

Na região da ZTA (Zona Térmica Afetada), com aumento de 500x e ataque de Nital 2%, foi possível identificar as mesmas estruturas presentes em todas as condições estudadas, indicando que a condição do fluxo também não afeta essa região da solda e não tem influência na formação das estruturas.

Pode-se verificar a presença de Ferrita com a Segunda Fase não Alinhada, Ferrita Poligonal, Ferrita de contorno Alinhada e Ferrita de Segunda fase alinhada que são comuns nas ZTA das regiões soldadas.

A microestrutura Metal Base com aumento de 500x ataque Nital 2% é possível verificar a presença da Ferrita e Perlita que é característico de aço Baixo carbono, como é o caso do aço ASTM A36. Estas estruturas se repetem em todas as 3 amostras.

Conclui-se que ao variar o ângulo de tocha do processo de soldagem MIG, ocorre de não houve mudança nas microestruturas das regiões da solda e ZTA. As mesmas estruturas foram observadas em todas as amostras analisadas. A penetração houve um aumento expressivo e já na diluição apresentou um aumento superior ao encontrado na literatura para este processo.

## 5.1 **TABALHOS FUTUROS**

- Manter os mesmos parâmetros e variar o Stick out.
- Manter os mesmos parâmetros e mudar o aço 1045.

## 5.2 **TRABALHO APRESENTADOS**

Trabalho apresentado Encontro de Iniciação Científica (ENIC) - Resumo Expandido| Estudantes de graduação | Apresentação presencial em formato de pôster Ciências Exatas Exposição de pôster foi apresentado no evento **XI Congresso Internacional de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento**, realizado em 19/10/2022 a 21/10/2022, com o título de **ESTUDO DA PROFUNDIDADE E DA DILUIÇÃO DA SOLDA MIG COM AÇO A36 VARIANDO A INLINAÇÃO DO ÂNGULO DA TOCHA**.

## REFERÊNCIAS


AÇOS NOBRE **Tudo sobre Aço A36** Disponivel em:< https://acosnobre.com.br /blog/aco-a36/> Acessado em 10/10/2022

AVENTA **Penetração da Solda: Saiba o que Influência**. Disponível em <https://aventa.com.br/novidades/penetracao-solda> acessado em 10/10/2022.

BRITO, F. A.; COSTA, J. L. L. Influência do pré e pós-aquecimento no processo de soldagem da liga SAE 5160. 2018. 55p. Trabalho de Graduação (Curso de Processos Metalúrgicos). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2018

BARRA, S. R. **Influência do processo MIG/MAG Térmico Sobre a Microestrutura e a Geometria da Zona Fundida**. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis, 2003.

CARLOS, J. CARRITÁ, P.H.G.; SOUZA, T.I.Z.**Trabalho de Solidificação Soldagem** Disponivel em : <https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5009972/LOM3045/Soldagem-texto.pdf> Acessado em 10/10/2022.

CASTRO, J. N.; PINHEIRO, B. R; M. M. F.**, Estudo da Variação da DBCP e do Ângulo de Soldagem em Corrente Pulsada, Curto Circuito Convencional e Curto Circuito Controlado Em Soldagem Mig/Mag** 72º Congresso Anual da ABM, Internacional e ao 17º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, parte integrante da ABM Week, realizada de 02 a 06 de outubro de 2017, São Paulo, SP, Brasil.

FORTES, C; VAZ, C. T. **Apostila MIG/MAG ESAB** Disponível em <https://www2.ufjf.br/profab/files/2016/09/ESAB-Apostila-MIG-MAG.pdf> Acessado em 17/08/2022

GOLOB, F. **Efeitos da Mudança de Parâmetros na Soldagem MAG CCC**. Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Mecânica) Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2013.

MACHADO, I. G. **Condução do Calor na Soldagem: Fundamentos & Aplicações** Disponível em :< https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/213605/001118059.pdf? sequence=1> acessado em 10/010/2022

SILVA, A. V. C ; MEI, P. R., **Aços especiais** , 3ed, São Paulo, Blucher ,2010.

SILVA, R. C.; GHENO, S. M. **Caracterização Mecânica e Estrutural do Aço ASTM A131 Classe DH36 Em Comparação som Aço ASTM A36 Utilizado para Projetos Estruturais.** I SITEFA simpósio de tecnologia Fatec Sertãozinho 2018.

SILVA, W. C. **Avaliação Microestrutural de Zonas Parcialmente Diluídas Obtidas por Soldagem Dissimilar Empregando os Metais de ADIÇÃO INOX 309L e INCONEL 625** [dissertação de mestrado]. Natal: Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte; 2018.

SOUZA NETO, E.C., **Avalição da Resistência ao Desgaste de Revestimentos Duros Aplicados por Soldagem em Martelo Triturados de Baterias Automotivas.** Dissertação mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciência e tecnologia, 2015.

REIS, M.C; RUTTER, W.H. **Soldagem e Caracterização do Revestimento de Inconel 625 pelo Processo de Eletrodo Revestido (SMAW) Sobre Aço SAE 1020.** 2014 64 fls. Trabalho de Graduação (Graduação Processo Metalúrgicos) - Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, 2014.

OLIVEIRA, R.C. **Estudo de Comportamento dos Aços Inoxidáveis 304, 316 e 321 Soldado com Eletrodo E-309L-16 em meios corrosivos: Água do Mar e Diesel.** 2017. 52 fls. Trabalho de Graduação (Graduação Processos Metalúrgicos) – Faculdade de Pindamonhangaba, 2017.

ROMÃO, E. J. E.; SILVA, L. F. N**. Análise do Perfil De Dureza Da Solda, Variando a Temperatura de Pré-Aquecimento**. 2018. Trabalho de Graduação (Curso de Tecnologia em Processos Metalúrgicos). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. 2018.

## ANEXOS

### UM POUCO DA MINHA HISTORIA NA FATEC

Quando fiquei sabendo da existência da Fatec, uma Faculdade gratuita em Pindamonhangaba, e não tinha condições para pagar o vestibular onde infelizmente não consegui a isenção pois já tinha encerrado. Deparei-me com um comentário da funcionária Jamile num grupo de WhatsApp e entrei em contato com ela. Conversamos e pude contar o que estava passando no momento. Na época estava passando por um dos vários momentos ruins que tive na vida, pegava reciclagem e comia restos de comida de vizinhos. Minha vó soube que eu iria prestar o vestibular e com muito sacrifício me emprestou os R$67,00 para que eu pudesse fazer a prova, onde vim a realizar na ETEC em dezembro de 2017.Já no ano seguinte fui recepcionada pela Aline, Mateus e Dani funcionários da instituição, vim de bicicleta fazer minha matrícula embaixo de um sol escaldante pois nem dinheiro para passagem eu tinha, mas apesar de tudo eu estava feliz.

Ao longo da Fatec infelizmente tive grandes decepções e revoltas por parte de alguns sem ética profissional entre várias outras coisas, e isso acabou afetando emocionalmente meu desempenho estudantil fora os muitos problemas pessoais que eu já tinha. Com o tempo passando conheci pessoas incríveis e fui adquirindo maturidade. Sendo assim EU dedico este trabalho a Deus por me ajudar a suportar tudo que passei aqui dentro e fora. Aos meus filhinhos que partiram e foram ser luz em outra dimensão pois nós passamos fomes juntos entre tantas lagrimas e algumas alegrias que tivemos juntos, estes nunca me abandonaram, quem eu mais amei em toda minha vida; Deus me deu e assim ele tirou. Ao avô que já partiu, mas era o único que torcia por mim por meu processo de evolução na vida ele e meu Tio Paulino que também já se foi. Também dedico a minha vozinha que mesmo sendo uma senhora de vida rural simples e desapegada sempre quis me dar o mundo ela e meu vô, minha vó. Infelizmente nunca me apoiou nos estudos sempre me quis ter em baixo dos seus braços e eu a entendo, seu coração enorme e sua cultura, mas não posso ser ingrata e deixa-la de agradecer por tudo que sempre quis fazer por mim.

Os melhores avós do mundo eu tive e tenho e isso só fui entender tarde. Então este trabalho de certa forma eu agradeço a todas as pessoas boas que cruzaram no meu caminho e as todas as ruins também, pois derramei muitas lagrimas,

sangrei muito, mas amadureci; não o suficiente pois sei que ainda muita água irá rolar. Estes me ajudaram a reafirmar ainda mais meu caráter por nunca na vida ter jogado sujo com ninguém tão pouco fingir ser algo que não sou e usar o nome de Deus em vão, pois ele vê nossos atos e essa vida é como um círculo tudo que a gente faz de bom ou ruim a alguém ou animal volta para a gente mesmo. Dedico aos meus queridos tios que já partiram e infelizmente não irão ver minhas conquistas e ser exaltada por Cristo, agradeço as pessoas verdadeiras que passaram pela minha vida e as poucas presentes a professores que são amigos para a vida, pessoas queridas.

Meu agradecimento também se estende de coração a Jamile pois foi através dela que eu pobre sem condições financeiras pude fazer um curso superior numa instituição pública. uma pessoa muito comprometida com os alunos e pouco valorizada na instituição. A Dani da secretaria que todas as vezes que eu tive problema com as rematrículas etc. kkkk ela gentilmente me salvava e dava broncas. A Professora Leide Lili que é uma ótima pessoa foi além de professora uma amiga para mim dava aulas extras de Química, me aconselhava era uma mãe para nós alunos, tenho muito carinho assim como o Professor Sergio Alvarenga sempre com seu jeitão engraçado sempre quando íamos mal em alguma prova ou atividade levávamos broncas, era como pai dos alunos. Minhas queridas colegas iniciais a Rafaela (Rafa) e Cristian (Cris) que saudades de vocês. Sempre maravilhosas e nós muito unidas, grandes colegas e amigas para a vida.

Ao Professor Bergamini e Edilon porque além de professores são excelentes pessoas com o coração muito nobre. E Professor Rafael uma grande pessoa, estudioso guerreiro e extremamente humilde de coração e inteligente, ao Luiz também companheiro e amigo inseparável do Edilon outra excelente pessoa sempre disposto a ajudar nós alunos, que tem um coração de ouro e aceitou ser meu orientador e está conquistando o que Deus tem reservado de melhor para sua vida sempre com bom humor, a Professora  Luciana pelas conversas muitas vezes a sós pelos conselhos broncas, agradecer ao professor Cristian pela oportunidade de executar o projeto de Iniciação Cientifica  algo que eu nunca tinha feito antes na vida conheci pessoas bacanas dedicadas. Agradecimento eterno de todo coração ao ex funcionário e estagiário da Fatec Bruno de Carvalho pois me ajudou num momento muito difícil da pandemia onde quase a perdi o semestre e senão fosse por ele e por Deus eu teria perdido o semestre inteiro. Bruno foi um anjo que surgiu do nada e salvou meus estudos, eu passava tanta necessidade quando entrei e fui tão abençoada durante a pandemia tive tanta fartura

trabalhei tanto com faxinas, conheci o verdadeiro caráter das pessoas, na dificuldade.

Senti muita magoa dor e decepção mas aprendi grandes lições assim como superei também grande parte. Amadureci, endureci também durante o processo. Também quero agradecer a Diretora Cristina sempre muito carinhosa comigo quando via alguma publicação em minha rede social, me chamava para conversar imbox. A Professora Giselia por ter sido sempre muito carinhosa comigo e auxiliado quando precisei, ao pessoal da limpeza pela dedicação no trabalho, a minha vizinha pois retomamos nosso contato depois de 11 anos por um mal entendido talvez e foi como um anjo na pandemia para mim,pois nem comida em casa eu não tinha., e para eu não perder o curso na Fatec eu usava o seu wi-fi emprestado, sim eu estudava na rua a noite na calçada de casa pois o sinal não chegava até em casa chegava até a calçada da rua. Bruno também ajudou a salvar meus estudos naquele momento de muita dificuldade. Por 6 anos eu fiquei desempregada na miséria extrema sem ter nem ao menos 10 reais para comprar um chinelo, senti ódio, revolta mas entendi que o Senhor sabe de todas as coisas e eu precisava passar por isso para ter amor próprio um sentimento que eu não tinha, pois eu ajudava e a todos e sai ferida e magoada e usada.

Agradeço ao professor Godoy pelas dicas, conversas experiências de vida etc. a Maria Gabriela (Gabi) pelo Escritório de Carreiras que existiu na Fatec, por me ensinar a formular um currículo dentre muitos outros assuntos. A minha vozinha idosa por me ajudar quando pode agradecer a Sueli bibliotecária da Fatec minha bicuda como carinhosamente a chamo pela dedicação em seu trabalho. E a todos aqueles também que me usaram e fingiram amizade comigo por terem revelado seu verdadeiro caráter e observar o sentido do ***"PAGAR EM VIDA"*** pois me ajudaram e ter mais sangue nos olhos a conquistar o que mereço na vida.

***Que a justiça do senhor seja feita sob todos aqueles que nos fazem mal, que nos usam e nos descartam. Pois quem espera em Cristo jamais se decepciona! Tudo é no tempo de Deus...***