

**JOSÉ VICTOR DE PAULO JUSTINO**

**VERIFICAÇÃO DA VERACIDADE DOS DADOS  
ENCONTRADOS NA LITERATURA TÉCNICA  
SOBRE A INFLUÊNCIA DA BITOLA DO ARAME  
ELETRODO NA SUA TAXA DE FUSÃO NO  
PROCESSO DE SOLDAGEM MIG/MAG**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**2020**

**JOSÉ VICTOR DE PAULO JUSTINO**

**VERIFICAÇÃO DA VERACIDADE DOS DADOS ENCONTRADOS NA  
LITERATURA TÉCNICA SOBRE A INFLUÊNCIA DA BITOLA DO  
ARAME ELETRODO NA SUA TAXA DE FUSÃO NO PROCESSO DE  
SOLDAGEM MIG/MAG**

**Projeto de Conclusão de Curso**  
apresentado ao Curso de graduação em  
Engenharia Mecânica da Universidade  
Federal de Uberlândia, como parte dos  
requisitos para a obtenção do título de  
**BACHAREL** em **ENGENHARIA  
MECÂNICA.**

Orientador: Prof. Dr. Volodymyr Ponomarov

**UBERLÂNDIA – MG**

**2020**

JOSÉ VICTOR DE PAULO JUSTINO

**VERIFICAÇÃO DA VERACIDADE DOS DADOS ENCONTRADOS NA  
LITERATURA TÉCNICA SOBRE A INFLUÊNCIA DA BITOLA DO ARAME  
ELETRODO NA SUA TAXA DE FUSÃO NO PROCESSO DE SOLDAGEM  
MIG/MAG**

Projeto de Conclusão de Curso **APROVADO**  
pelo Colegiado do curso de Graduação em  
Engenharia Mecânica da Faculdade de  
Engenharia Mecânica da Universidade Federal  
de Uberlândia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Volodymyr Ponomarov  
Universidade Federal de Uberlândia

Profa. Dra. Anna Tokar  
UNIGRAN, Dourados, MS

Prof. Dr. Maksym Ziberov  
UnB, Departamento de Engenharia Mecânica

**UBERLÂNDIA – MG**

**2020**

*...a meus pais.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, por toda a confiança depositada em mim desde sempre. Por todo o apoio que me foi dado e por terem sido minha base a vida toda.

À minha irmã, por sempre estar ao meu lado e me incentivar em tudo.

Aos meus amigos e a todos os envolvidos que de certa forma me ajudaram durante o curso e na execução desse trabalho.

Ao Bruno Henrique, mestrando do laboratório, pelo apoio durante a realização dos experimentos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Volodymyr Ponomarov pela condução do trabalho, pelos ensinamentos, pela paciência e pelas experiências passadas.

A todos os meus professores, que contribuíram muito para meu crescimento técnico e profissional.

À Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Mecânica.

## RESUMO

A soldagem é um dos processos de fabricação mais utilizados, e a soldagem MIG/MAG é um dos processos mais preferidos, devido às suas características como alta produtividade e domínio fácil por soldadores. Sendo assim, para especialistas nessa área, são muito importantes os dados a respeito do processo, mas eles têm que ser muito atentos pois são encontradas na literatura técnica algumas informações cuja veracidade é duvidosa. Este trabalho avalia se as informações, encontradas nos livros didáticos e técnicos do tema são corretas. A pesquisa focou em realizar experimentos, visando coletar dados sobre a influência da bitola do arame eletrodo na taxa de fusão do processo de soldagem MIG/MAG e assim compará-los com os dados encontrados na literatura. Verificou-se que apesar de haver muitos dados corretos, uma parte deles se encontra equivocada e são divergentes entre si. Além de ter pouca variedade de informação e que existem muitos fatores que influenciam no processo, não sendo então um processo simples de ser comentado. A partir desses resultados, pode-se concluir que, os dados técnicos da literatura sobre a soldagem MIG/MAG abordando a influência da bitola do arame eletrodo e a taxa de fusão não sempre são confiáveis.

---

**Palavras Chave:** MIG/MAG; Taxa de fusão; Bitola do arame-eletrodo.

## ABSTRACT

Welding is one of the most used fabrication processes, and the MIG/MAG welding is one of the most favourite welding methods due to its characteristics as high productivity and easy in handling by the welders. So, the data about the process is very important for the specialists working in this area, but they have to be very careful, because, some information found in the technical literature is not truthful. This work evaluates whether some information found on manuals and technical books about this subject is correct. Some experiments were carried out in order to collect data about the influence of the electrode wire gauge on the fusion rate in the MIG/MAG process and compare the obtained results with those found in on public record. It was verified that, despite that there is a lot of correct data, there are some data which is partially wrong, or, at least some data is rather divergent from other. Also, there is lack of information on many factors that influence the process, what makes it difficult to be discussed. From these results, it is possible to conclude that some technical data found in the literature about MIG/MAG welding, namely the influence of the electrode wire gauge on the fusion rate are not always reliable.

---

**Keywords:** *MIG/MAG; Fusion Rate; Electrode wire gauge.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura (2.1) – Esquema do posto de soldagem MIG/MAG.....	15
Figura (2.2) – Taxa de fusão de arames em função da corrente e do diâmetro do arame apresentada no livro Parmar (1995).....	17
Figura (2.3) – Taxa de fusão de arames em função da corrente e do diâmetro do arame apresentada no livro do Machado (1996) .....	17
Figura (2.4) – Velocidade de alimentação de arames em função da corrente e do diâmetro do arame apresentada no livro Welding Handbook (1991). .....	18
Figura (2.5) – Taxa de fusão de arames em função da corrente e do diâmetro do arame apresentada no livro Cary (1979).....	18
Figura (3.1) – Equipamento completo utilizado para a soldagem MIG/MAG .....	22
Figura (3.2) – Sistema mecânico de controle de movimentação da tocha e da mesa de soldagem .....	23
Figura (3.3) – Programa para controle automático da velocidade de soldagem e do valor DBCP.....	23
Figura (4.1) – Gráfico ilustrativo da relação entre a velocidade real do equipamento e a informada pelo mesmo.....	27
Figura (4.2) – Gráfico dos dados do livro Cary (1979) cruzados com os dados dos experimentos .....	28
Figura (4.3) – Gráfico dos dados do livro Parmar (1995) cruzados com os dados dos experimentos .....	29
Figura (4.4) – Gráfico dos dados do livro Machado (1996) cruzados com os dados dos experimentos .....	29
Figura (4.5) – Gráfico dos dados do livro Welding Handbook (1991) cruzados com os dados dos experimentos .....	30
Figura (4.6) – Gráfico da influência da DBCP na taxa de fusão .....	31

**LISTA DE TABELAS**

Tabela (3.1) – Dados de medição do diâmetro real dos arames x dados especificados pelo fabricante.....	21
Tabela (3.2) – Dados de corrente e da tensão .....	24
Tabela (3.3) – Valores de velocidade de alimentação indicados pela máquina e velocidade real.....	25
Tabela (3.4) – Valores de peso de 1 m encontrados para cada diâmetro de arame.	25
Tabela(4.1) – Amostras dos testes.....	26
Tabela (4.2) – Valores encontrados nos experimentos e as condições utilizadas para cada teste .....	26
Tabela (4.3) – Valores encontrados da taxa de fusão para cada teste .....	27
Tabela (4.4) – Valores da taxa de fusão em função da DBCP .....	30



**SUMÁRIO**

RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	viii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	11
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA.....	20
CAPÍTULO 4 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	26
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	36

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

Os processos de soldagem estão inseridos no universo das indústrias de uma forma bastante ampla. Desde as menores empresas que fazem trabalhos quase artesanais às grandes corporações que atuam na área de fabricação em larga escala - que necessitam destes processos dentro da sua linha de produção - , todas estão sempre procurando otimizá-los para que minimizem seus custos, tendo em contrapartida processos mais eficientes e, às vezes, mais limpos.

Na prática industrial têm sido utilizados, ultimamente, dois tipos de processos de soldagem que permitem assegurar esse resultado, sendo eles: eletrodo revestido e o GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), mais conhecido no Brasil como MIG/MAG (*Metal Inert Gas e Metal Active Gas*).

O MIG/MAG consiste em um processo de união de peças por soldagem com uma atmosfera protetora para a solda feita com gases ativos e/ou inertes. Ele é feito através de uma máquina que fornece alimentação contínua do arame-eletrodo, que fica embobinado, através de roletes acionados pelo motor da mesma. O processo pode ser feito de forma automática ou semiautomática e aplicado em quase todos os materiais, por meio de diferentes combinações de arame eletrodo, gases de proteção, parâmetros de soldagem e fontes, possibilitando soldas com características distintas.

Neste trabalho, será analisado o comportamento da taxa de fusão e as diversas variáveis que podem influenciá-la na utilização do processo de soldagem MIG/MAG. Observa-se que na literatura disponível há uma grande confusão acerca de dados relativos às taxas de fusão de arames eletrodos mais finos quando comparados com arames mais grossos, usados com a mesma corrente.

Dessa forma, embora existam muitos estudos, o assunto ainda gera polêmicas. Esta pesquisa apresenta como problema a seguinte questão: **Os dados sobre a influência da bitola do arame eletrodo na sua taxa de fusão no processo de soldagem MIG/MAG encontrados na literatura técnica são verídicos?**

O objetivo geral do trabalho é verificar a veracidade dos dados encontrados na literatura técnica sobre a influência da bitola do arame eletrodo na sua taxa de fusão no processo de soldagem MIG/MAG, com base nos estudos dos autores Cary (1979), Welding Handbook (1991), Parmar (1995) e Machado (1996). Especificamente pretende-se fazer uma revisão bibliográfica onde se conceituará o processo de soldagem MIG/MAG, identificando suas vantagens e desvantagens, bem como se apresentará os resultados dos testes de verificação efetuados, visando a identificação da influência da bitola do arame eletrodo na sua taxa de fusão através do método de soldagem citado.

Tendo em vista a importância e a ampla utilização dos processos de soldagens, justifica-se o presente trabalho pela relevância em identificar os que assegurem melhor qualidade, maior facilidade em serem aplicados ou que apresentem maior eficiência térmica, ou até mesmo os que sejam mais baratos. É importante para as empresas tal conhecimento, uma vez que buscar processos mais eficientes sempre foi um objetivo das mesmas, tendo em vista a manutenção do seu poder competitivo, assim como para os profissionais da área que necessitam do conhecimento para que possam fazer a melhor escolha para seu caso.

No caso específico da análise do processo MIG/MAG o estudo proporcionará uma análise mais aprofundada sobre os dados encontrados na literatura, sendo trazidos com uma validação de dados confiáveis, procurando mostrar as divergências existentes e assim, dados a serem desconsiderados para estudos. Com isso, orientar quem necessita dessas informações, sejam estudantes que buscam compreender melhor os processos ou empresas que visam otimizá-los.

Para o acadêmico, desenvolver este trabalho se mostrou extremamente importante, na medida em que representa exercitar de forma prática as teorias estudadas e, junto a isso, compreender e aplicar o papel fundamental da Universidade inserida dentro da comunidade, modificando, impulsionando e buscando soluções que impactam a vida das pessoas e das empresas.

Metodologicamente esta pesquisa se apresenta como explicativa, o que para Gil (1999) tem como objetivo básico a identificação dos fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência de um fenômeno.

Para Marconi e Lakatos (2001) apud Oliveira (2011), visa estabelecer relações de causa-efeito por meio da manipulação direta das variáveis relativas ao objeto de estudo, buscando identificar as causas do fenômeno, e normalmente, é mais realizada em laboratório do que em campo.

Será efetuada também pesquisa bibliográfica através de livros, *sites da internet*, artigos acadêmicos, jornais e periódicos, abordando o tema objeto de pesquisa.

Marconi e Lakatos (2013 p.44), enfatizam que a finalidade da pesquisa bibliográfica, “é colocar o pesquisador em contato direto com tudo aquilo que foi escrito sobre determinado assunto.”

O trabalho foi estruturado em cinco capítulos, onde se abordará no primeiro de maneira geral o processo da soldagem MIG/MAG e as motivações para a realização do trabalho. Em seguida, no segundo capítulo, será aprofundada a história da soldagem, a conceituação e explicação do processo MIG/MAG, destacando características diferenciais do processo e as vantagens e desvantagens trazidas por ele. O terceiro capítulo apresenta o processo de testes e análises utilizados para o estudo, assim como os parâmetros e variáveis considerados durante este trabalho. Em seguida, no quarto capítulo, foram apresentados os resultados obtidos em comparação com os livros analisados e utilizados para a bibliografia deste trabalho. Por fim, no capítulo cinco, são apresentadas as conclusões tiradas a respeito do tema tratado a partir dos resultados alcançados.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Desde os primórdios da humanidade, o ser humano vem buscando a construção de ferramentas que lhes auxiliassem nas tarefas a serem feitas, começando pelo simples uso de pedra para amassar e abrir coisas e partindo daí para o desenvolvimento de novas ferramentas mais complexas e mais específicas para cada atribuição. Nessa linha de desenvolvimento e surgimento de novas necessidades a serem atendidas, surgiu a soldagem como um método de união de materiais mais rápido, com maior qualidade, aplicável a muitos materiais e ainda mais barato de que muitos outros processos de união.

A soldagem é um processo de união permanente de materiais através do estabelecimento de ligações intermoleculares entre os mesmos. Desde 1.000 a.C, encontram-se registros de itens feitos por forjamento (naquela época não havia a classificação de soldagem por pressão e por fusão, porém, o forjamento é um método de soldagem por pressão). Na idade média, com os ferreiros, muitos itens continuaram a ser fabricados através de soldagem por martelamento (forjamento), porém, apenas no século XIX foi inventada a soldagem como conhecemos hoje. Em 1800, o arco elétrico de pulso curto foi descoberto por Sir Humpry Davy. Em 1802, Vasily Petrov conseguiu manter o arco elétrico contínuo. Em 1881, Nikolai Bernardos e Stanislaw Olszewski criaram o primeiro método de soldagem por arco elétrico, utilizando eletrodos de carbono e 4 anos depois, em 1885 na Inglaterra, eles registraram a primeira patente por cima deste método de soldagem (WeldFab Tech,2017). A partir daí o processo de soldagem que utiliza o arco elétrico como meio para fundir o metal e fazer a solda, foi se desenvolvendo e novos métodos foram sendo criados, dos quais a soldagem por eletrodos revestidos e a soldagem a arco submerso eram as mais usadas na indústria até os meados do século XX. Nos anos 50, depois do grande desenvolvimento na soldagem devido, infelizmente, à Segunda Guerra Mundial, a soldagem com gás de proteção foi inventada para aumentar ainda mais a produção e produtividade do processo. Nesse período, surgia então a soldagem MIG/MAG, soldagem com gás de proteção para proteger a solda dos efeitos do oxigênio e do nitrogênio presentes no ar, a qual será abordada nesse estudo.

O princípio de funcionamento de soldagem MIG/MAG consiste em formação da solda pelo metal de adição e de base fundidos pelo arco elétrico aceso entre a ponta do arame eletrodo contínuo alimentado pela máquina, sendo a área ativa protegida por um gás. O gás de proteção pode interagir com a poça de fusão ou não, sendo chamado de ativo quando interage e inativo quando não. O nome do processo vem desse fato, da abreviatura do inglês de *Metal Inert Gas* (gás inativo) e *Metal Active Gas* (gás ativo). A máquina para esse procedimento é bem simples e somando com o fato da alimentação contínua de arame, são alguns dos motivos que fazem com que seja um dos processos preferidos de soldagem dentro de oficinas e fábricas até hoje.

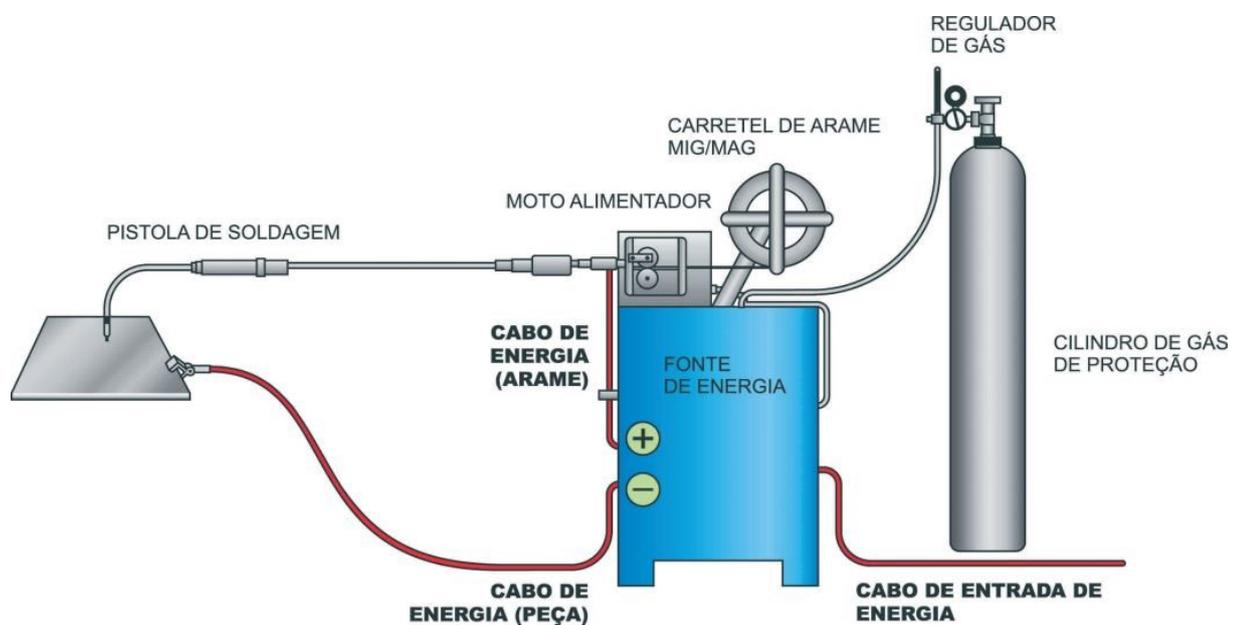


Figura (2.1) – Esquema do posto de soldagem MIG/MAG.

Vários parâmetros são levados em consideração na escolha de um processo a ser utilizado. Entretanto, um dos fatores que mais controla a opção por determinado processo, partindo da premissa que a qualidade final da solda pode ser assegurada por mais que um processo, é o fator econômico. Nesse aspecto, o tempo de soldagem tem papel importante, pois quanto mais rápido o processo de fabricação, menor é o preço final da peça, devido ao custo da mão-de-obra, que chega a 50-80% do total de soldagem, segundo Alex Santos (2019). Como o processo depende da fusão de material para depositá-lo e realizar a solda, quanto mais rápido o eletrodo for consumido, mais rápido a solda poderá ser feita. Sendo assim, a taxa com a qual ele é fundido, chamada de taxa de fusão, é de extrema importância.

Machado (1996) explica que a taxa de fusão é dada pela massa de eletrodo fundida por unidade de tempo, portanto, ela depende da velocidade de alimentação, que corresponde a uma intensidade de corrente. Logo, a taxa de fusão é uma função da densidade de corrente, o que implica que, para uma mesma corrente, menores diâmetros de eletrodo se fundem numa maior taxa, expressa não apenas em m/min, o que é esperado, mas também em kg/h. Scotti e Ponomarev (2008) traz uma equação empírica do consumo:  $C = \alpha I_m + \beta L_{el} I_{rms}^2$ , onde  $I_m$  é o valor médio da corrente,  $I_{rms}$  é a corrente eficaz,  $L_{el}$  é o comprimento energizado do arame-eletrodo e  $\alpha$  e  $\beta$  são constantes dependentes das composições químicas do eletrodo e do gás de proteção, assim como do diâmetro do eletrodo e da polaridade de corrente. A segunda parte da equação empírica do consumo explica o aumento da taxa de fusão com a redução do diâmetro, pois esta diminuição aumenta a constante  $\beta$ , que representa o efeito Joule e que aumenta com a redução do diâmetro (ou seja, com o aumento da resistência elétrica da extensão de eletrodo).

Estes conceitos são amplamente analisados na literatura técnica da área, entretanto, em alguns livros são encontrados certos equívocos durante a apresentação de dados que comprovam que o assunto é bastante complicado. Em Parmar (1995), observam-se informações no gráfico de taxa de fusão em função da corrente (Figura 2.2), dados em kg/min, onde os menores valores são da ordem de 2 kg/min. Esses valores são absolutamente irrealistas, visto que implicariam que uma bobina de 18 kg de arame eletrodo, fosse consumida em 9 minutos, resultando em uma velocidade de soldagem de dezenas de metros por minuto. Ademais, pode-se observar que, para a mesma corrente, uma redução de 0,2 mm (de 1,1mm para 0,9mm) resultaria em uma taxa de fusão quase duas vezes maior que a de diâmetro maior.

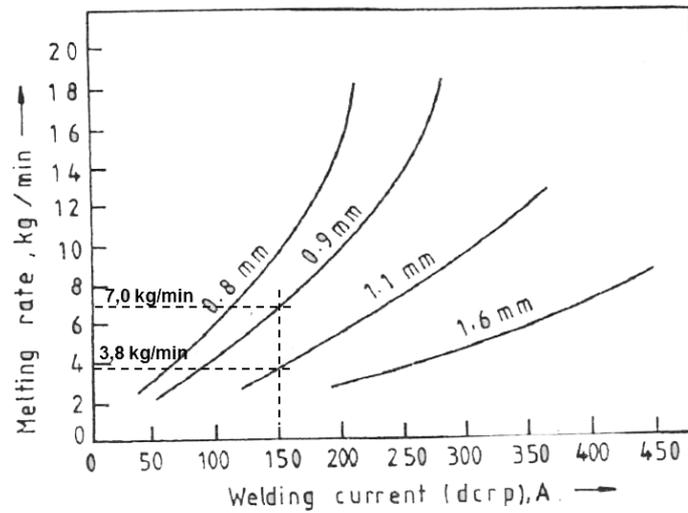


Figura (2.2) – Taxa de fusão de arames em função da corrente e do diâmetro do arame apresentada no livro do Parmar (1995).

Machado (1996) também apresenta valores, aparentemente errôneos, onde, na mesma redução de diâmetro de 1,1 mm para 0,9 mm há um aumento de cerca de 40% no valor da taxa de fusão (Figura 2.3).

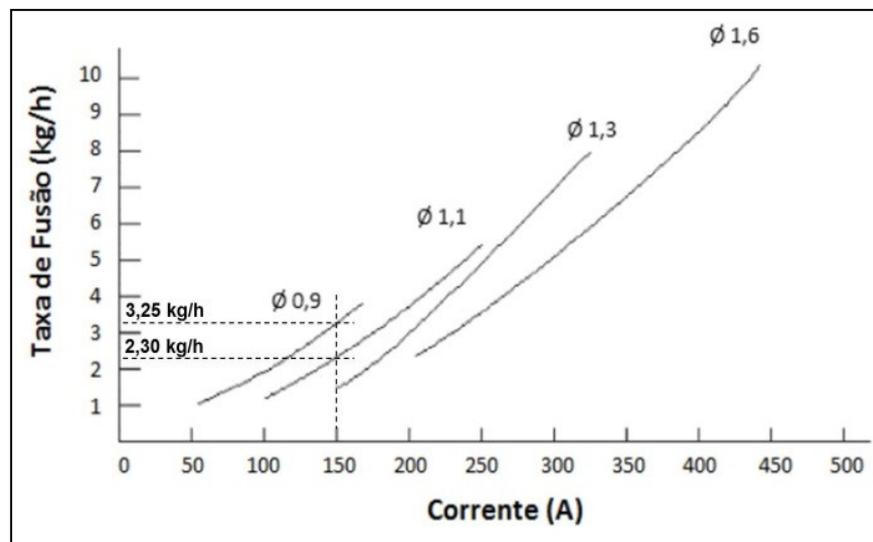


Figura (2.3) – Taxa de fusão de arames em função da corrente e do diâmetro do arame apresentada no livro do Machado (1996).

O Welding Handbook (1991) demonstra velocidades de alimentação, em m/min, quase duas vezes maior para um diâmetro de 0,9 mm em relação a um de 1,2 mm

(Figura 2.4). Esse valor, quando convertido para taxa de fusão, em kg/h, nos fornece valores com uma diferença de 4,5%, o que é esperado e aceitável. Igualmente, os dados publicados por Cary (1979) parecem estar adequados (Figura 2.5).

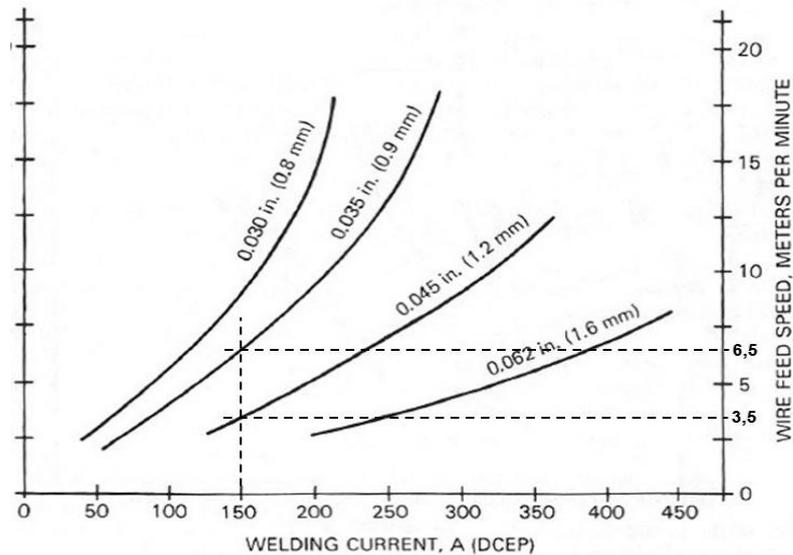


Figura (2.4) – Velocidade de alimentação de arames em função da corrente e do diâmetro do arame apresentada no livro Welding Handbook (1991).

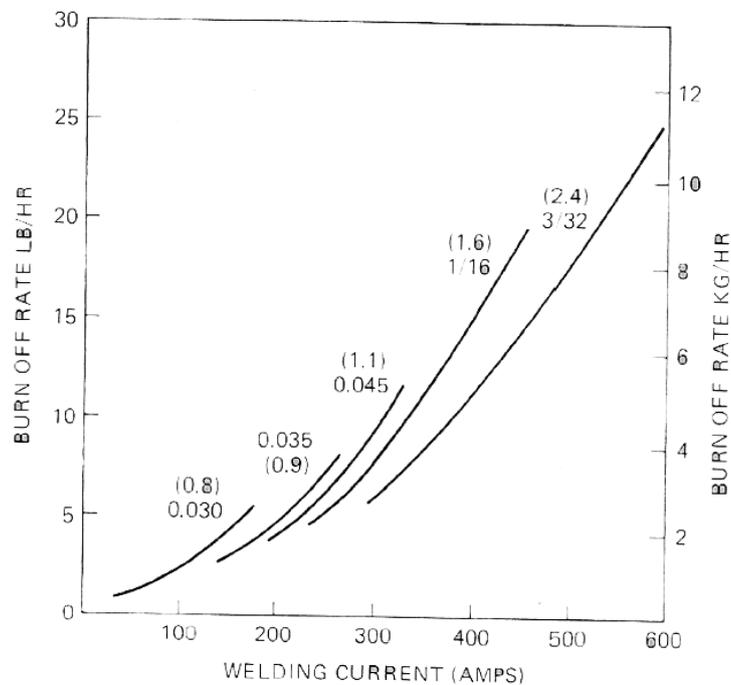


Figura (2.5) – Taxa de fusão de arames em função da corrente e do diâmetro do arame apresentada no livro Cary (1979).

No entanto, devido às discordâncias e falta de confiabilidade identificada nos dados disponibilizados, esse estudo teve como objetivo verificar as informações da literatura técnica a respeito da influência da bitola do arame eletrodo à sua taxa de fusão no processo MIG/MAG.

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGIA

Antes de iniciar a descrição dos procedimentos experimentais, gostaria de dar uma breve conceituação a respeito de pesquisa experimental. Primeiramente, foi feita a pesquisa bibliográfica, que consistia em observar as teorias publicadas em livros e artigos do tema em questão. O objetivo era conhecer melhor sobre as teorias existentes acerca do assunto da fusão do arame eletrodo no processo MIG/MAG, com a finalidade de ampliar o grau de conhecimento sobre o assunto para obter um domínio mais amplo e que servirá de base para todo o processo de construção da investigação do assunto proposto, além de determinar o que fazer durante os procedimentos experimentais. Inclusive, serve de base para ajudar a determinar qual metodologia utilizar.

Em seguida, partiu-se para a pesquisa experimental. Segundo Gil (1999), apud, Oliveira (2011), a pesquisa experimental consiste na determinação de um objeto de estudo na seleção das variáveis capazes de influenciá-lo e na definição das normas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. Então, nesta etapa investiga-se o problema, são construídas as hipóteses e determina-se quais variáveis seriam capazes de influenciar o objeto de estudo. Feito isso, se define quais serão as formas de controle e a observação dos efeitos que as variáveis identificadas produzem no objeto.

No presente trabalho realizou-se ensaios experimentais, visando a aquisição de dados para posterior comparação com os encontrados na literatura corrente. Tais procedimentos foram realizados no LAPROSOLDA – UFU (Centro para Pesquisa e Desenvolvimento de Processos de Soldagem – Universidade Federal de Uberlândia), com a utilização de equipamentos e apoio técnico necessário presentes no laboratório. Os equipamentos utilizados consistem em:

- Posto de soldagem MIG/MAG;
- Arames eletrodo AWS A5.18/ASME SFA5.18 ER70S-6 de diâmetros 0,9 mm, 1,0 mm e 1,2 mm;
- Gás de proteção (ArC-25: gás em base de argônio com 25% de CO<sub>2</sub>);

- Suporte para tocha, automatizado, controlado por computador;
- Placa de aquisição de sinais;
- Computador;
- Amperímetro;
- Micrometro;
- Trena;
- Balança;
- Cronômetro;
- Alicate de corte.

Para a realização dos testes, buscando uma maior homogeneidade e menor influência humana no processo, foi montada a tocha no suporte automatizado e conectado o sistema ao computador. Antes, porém, de se iniciar a soldagem, foi conferido com a utilização do micrômetro, o diâmetro de arames eletrodo que seriam utilizados (Tabela 3.1). Em seguida, foram alimentados na máquina, um por um e realizada a deposição por cima das chapas de aço-carbono de 10,0 x 2,5 x 1,0 cm. Com o mesmo arame, foram feitos os testes com diferentes valores da distância bico de contato à peça (DBCP) e diferentes gases de proteção, procurando analisar como estes parâmetros influenciariam nos dados adquiridos.

Tabela (3.1) – Dados de medição do diâmetro real dos arames x dados especificados pelo fabricante.

Teste	Diâmetro especificado (mm)	Diâmetro conferido, real (mm)
1	1,2	1,18
2		
3	0,9	0,87
4		
5	1,0	0,98
6		

Para a realização das soldagens foi aproveitada a bancada para testes de manufatura aditiva que consistia do suporte de tocha automatizado com três motores de passo, associados a fusos que, controlados por computador, realizavam a

movimentação da tocha e da mesa de soldagem nas três direções, permitindo controle de velocidade de soldagem, posicionamento de peça transversalmente e controle da DBCP (Figuras 3.1 e 3.2).



Figura (3.1) – Equipamento completo utilizado para a soldagem as amostras.

- 1- Computador pelo qual se enviam os comandos para a movimentação da mesa;
- 2 - Computador com o *software* ligado à placa de aquisição para adquirir os dados;
- 3 - Mesa móvel onde é realizada a soldagem;
- 4 - Tocha de soldagem da máquina MIG/MAG.



Figura (3.2) – Sistema mecânico de controle de movimentação da tocha e da mesa de soldagem.

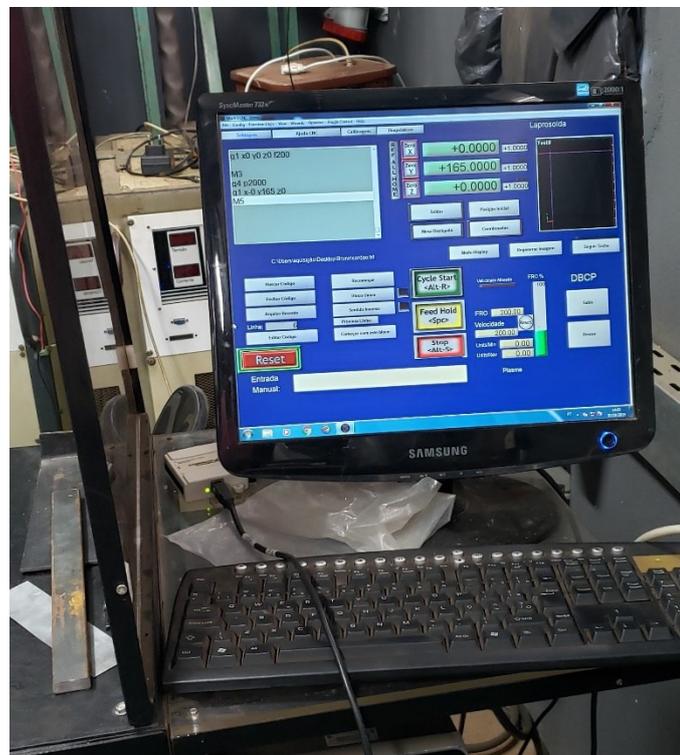


Figura (3.3) – Programa para controle automático da velocidade de soldagem e do valor DBCP.

Para a realização das soldagens, era colocado no programa mostrado na Figura 3.3 as posições iniciais e finais onde deveria ser executada a soldagem e qual a velocidade de deslocamento. Então, através das coordenadas se definia onde iniciaria e finalizaria a soldagem, qual a DBCP e qual a velocidade. Juntamente com os parâmetros definidos da fonte MIG/MAG, se tinha controle de tudo que era necessário no processo para a aquisição dos dados.

Durante a realização das soldagens, foi feita a medição, através do amperímetro, da corrente e a leitura da velocidade de alimentação e tensão fornecidas pela máquina. Durante este processo, a placa de aquisição de sinais também coletou dados de corrente e tensão para que fossem possíveis ser comparados e verificados posteriormente (Tabela 3.2).

Tabela (3.2) – Dados de corrente e da tensão

Teste	Ø, mm	DBCP, mm	Corrente medida pela placa de aquisição (A)	Tensão mostrada pela fonte (V)	Tensão medida pela placa de aquisição (V)
1	1,2	12	158,8	20,9	19,0
2		25	163,7	22,0	19,8
3	0,9	12	158,2	22,1	20,1
4		21	160,9	23,6	21,6
5	1,0	12	164,9	21,6	19,9
6		22	169,4	23,8	21,2

Obs.: Corrente ajustada e medida pelo amperímetro foi por volta de 150,0 A

A verificação da velocidade real de alimentação da máquina foi feita utilizando as mesmas condições expressas em cada teste, porém sem a realização da soldagem, utilizando um cronômetro para marcação de determinado tempo e posterior medição do comprimento de arame que foi alimentado pela máquina. Os resultados são apresentados a seguir:

Tabela (3.3) – Valores de velocidade de alimentação indicados pela máquina e velocidade real.

Teste	Ø, mm	DBCP, mm	Velocidade de alimentação (m/min)	Velocidade conferida, real (m/min)
1	1,2	12	3,6	3,33
2		25	4,7	4,51
3	0,9	12	7,4	7,30
4		21	9,6	9,52
5	1,0	12	6,0	5,90
6		22	7,6	7,49

Ainda buscando a coleta de todas as informações necessárias a respeito dos arames eletrodo, foi realizado o corte de 1 m de arame de cada diâmetro e medido o peso específico dele. Depois de três medições para cada diâmetro de arame, foram encontrados os seguintes resultados:

Tabela (3.4) – Valores de peso de 1 m encontrados para cada diâmetro de arame.

Diâmetro (mm)	Peso (g/m)
1,2	8,56
0,9	4,69
1,0	5,64

De posse dessas informações, a taxa de fusão, em kg/h, foi calculada utilizando os valores das velocidades de alimentação reais, em m/min, o peso específico de arame, em g/m, através da equação (1):

$$Taxa\ de\ fusão\ \left(\frac{kg}{h}\right) = Velocidade\ real\ \left(\frac{m}{min}\right) * Peso\ \left(\frac{g}{m}\right) * \frac{60}{1000} \quad (1)$$

Para elaboração dos gráficos que possuem informações das fontes bibliográficas e dos testes, foi utilizado o *software* GetData para extrair pontos dos gráficos dos livros e assim, importá-los para o computador, fazendo uma comparação mais visual e entre estes tipos de dados.

A partir das informações coletadas durante a condução dos testes foi possível realizar a análise e chegar aos resultados que serão apresentados a seguir.

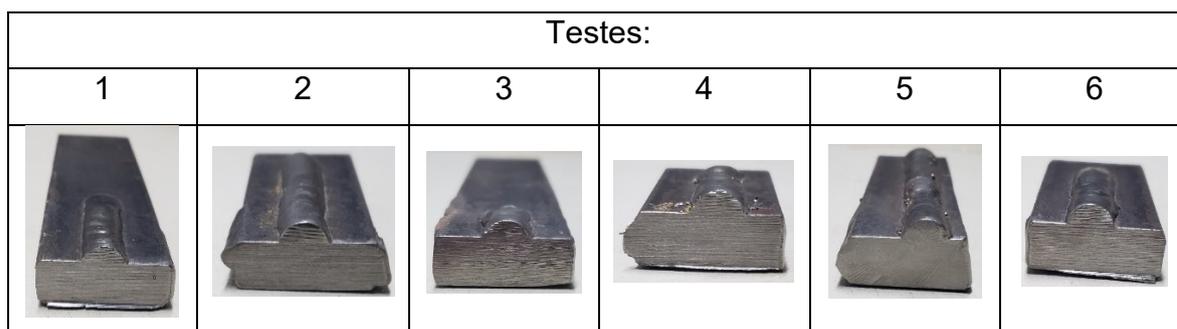
## CAPÍTULO 4

### DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os ensaios experimentais foram realizados no laboratório LAPROSOLDA UFU, com apoio da equipe técnica do laboratório e dos estudantes de graduação, mestrandos e doutorandos do laboratório, sob a supervisão do professor orientador Volodymyr.

A Tabela 4.1 mostra o resultado obtidos nas amostras soldadas. Cada teste foi realizado de acordo com os parâmetros explicitados e detalhados nos procedimentos metodológicos. Os valores obtidos nos experimentos serão expostos na sequência.

Tabela (4.1) – Amostras dos testes.



A Tabela 4.2 mostra os resultados obtidos com os 3 arames, nas condições estabelecidas. Pode-se observar que apesar a corrente que deveria ser constante, de acordo com o amperímetro, não teve esse real valor e chegou a 169,4 A, em um dos casos.

Tabela (4.2) – Valores encontrados nos experimentos e as condições utilizadas para cada teste.

Teste	Diâmetro (mm)	DBCP, mm	Velocidade de alimentação (m/min)	Velocidade Real (m/min)	Computador (A)	Tensão Fonte (V)	Tensão PC (V)
1	1,2	12	3,6	3,3	158,8	20,9	19,0
2		25	4,7	4,5	163,7	22,0	19,8
3	0,9	12	7,4	7,3	158,2	22,1	20,1
4		21	9,6	9,5	160,9	23,6	21,6
5	1,0	12	6,0	5,9	164,9	21,6	19,9
6		22	7,6	7,5	169,4	23,8	21,2

Da Tabela 4.2, também é possível ver as diferenças entre as velocidades de alimentação que eram informadas pelo equipamento e a velocidade real calculada. A Figura 4.1 explicita as diferenças entre o que era esperado, que seria a correspondência entre as duas velocidades e o que realmente foi percebido durante o experimento.

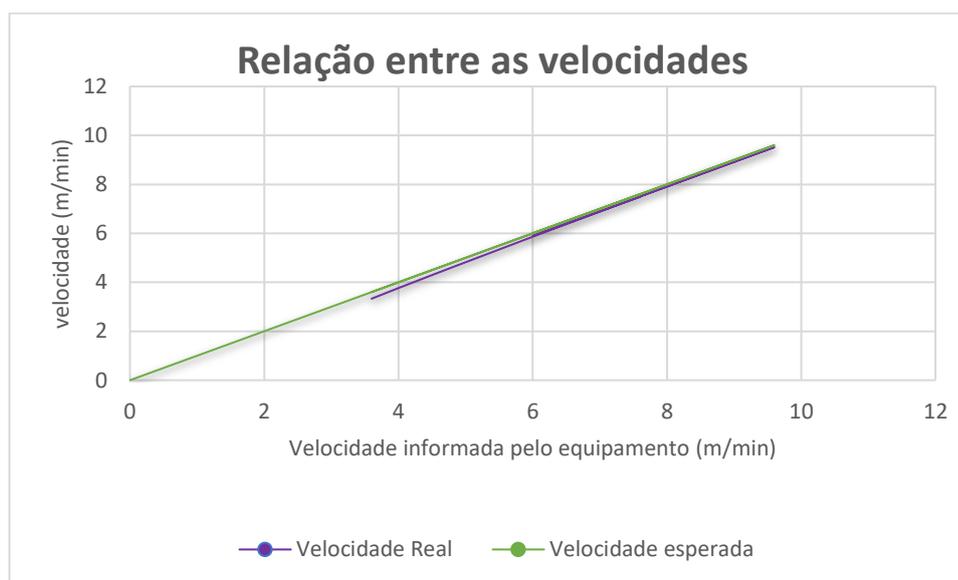


Figura (4.1) – Gráfico ilustrativo da relação entre a velocidade real do equipamento e a informada pelo mesmo.

De posse das informações de velocidade real e do peso de cada arame, pôde-se então efetuar o cálculo e chegar ao valor desejado, que era o da taxa de fusão, em kg/h. A Tabela 4.3 traz os dados obtidos após o tratamento feito e a partir deles iniciam-se as comparações com os valores obtidos nos livros.

Tabela (4.3) – Valores encontrados da taxa de fusão para cada teste.

Teste	Ø, mm	DBCP, mm	Velocidade Real (m/min)	Peso (g/m)	Taxa de fusão (kg/h)
1	1,2	12	3,3	8,557	1,710
2		25	4,5	8,557	2,314
3	0,9	12	7,3	4,690	2,055
4		21	9,5	4,690	2,679
5	1,0	12	5,9	5,643	1,998
6		22	7,5	5,643	2,537

Para uma análise comparativa visual mais simples, os valores dos testes realizados em laboratório foram colocados em um gráfico, juntamente com cada um dos livros analisados. As Figuras 4.2 a 4.5 mostram o resultado obtido em cada um dos casos.

Como foi mostrado acima, conforme o *Welding Handbook* (1991), o arame eletrodo de 0,9 mm de diâmetro demonstra a taxa de fusão em 4,5% maior do que a mesma para o arame eletrodo de 1,2 mm de diâmetro, para a mesma corrente de soldagem, ou seja, em aproximadamente 1,0% para cada décimo de milímetro da redução do diâmetro do arame.

Nos resultados obtidos nos testes, chega-se a valores entre 3% e 8% de variação a cada décimo de milímetro alterado no arame eletrodo (veja Tabela 4.3), valores que foram considerados satisfatórios e plausíveis de acordo com a teoria.

Os dados apresentados no livro Cary, uma redução de 0,2 mm, trouxeram variações entre 7,90% e 11,12%. Tais valores vão ao encontro do que é esperado da teoria e com os resultados obtidos nos testes deste trabalho. Na mesma linha, os valores absolutos apresentados pelo livro também se encontram de acordo com o esperado pela realidade e com o conhecimento teórico e prático, difundido na soldagem.



Figura (4.2) – Gráfico dos dados do livro Cary (1979) cruzados com os dados dos experimentos.

Por outro lado, o livro Parmar nos traz dados que devem ser questionados, com valores que variam entre 2 a 18 kg/min. Tais valores tornariam impossível que a

soldagem fosse utilizada como método de fabricação amplamente difundido como é hoje, pois ocasionaria em um aumento de peso muito grande para as peças fabricadas. Além, claro, da quantidade de material que seria utilizada para o processo, o que faria com que o custo dele fosse extremamente alto.



Figura (4.3) – Gráfico dos dados do livro Parmar (1995) cruzados com os dados dos experimentos.

O livro do Machado também traz valores duvidosos, uma vez que em uma redução de 0,2 mm provoca um aumento de mais de 30% na taxa de fusão. Tal mudança, como já comentado anteriormente, não é plausível, e portanto, devem ser indagados.

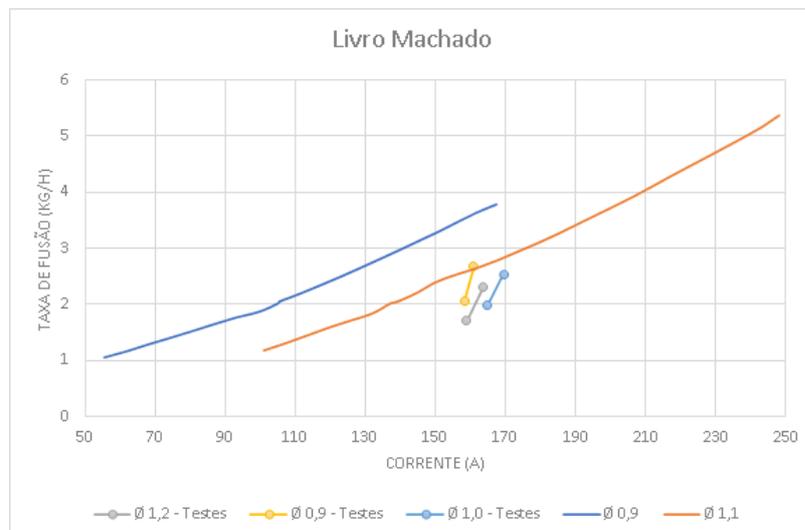


Figura (4.4) – Gráfico dos dados do livro Machado (1996) cruzados com os dados dos experimentos.

Já no Welding Handbook, os valores encontrados foram entre 4,55% e 4,73% para uma redução de 0,3 mm. Tais valores, apesar de abaixo do esperado, que é entre 3% e 8% para cada um décimo de milímetro reduzido (veja Tabela 4.3), ainda são valores aceitáveis e que conseguem representar como a variação pode ser num processo de soldagem MIG/MAG.

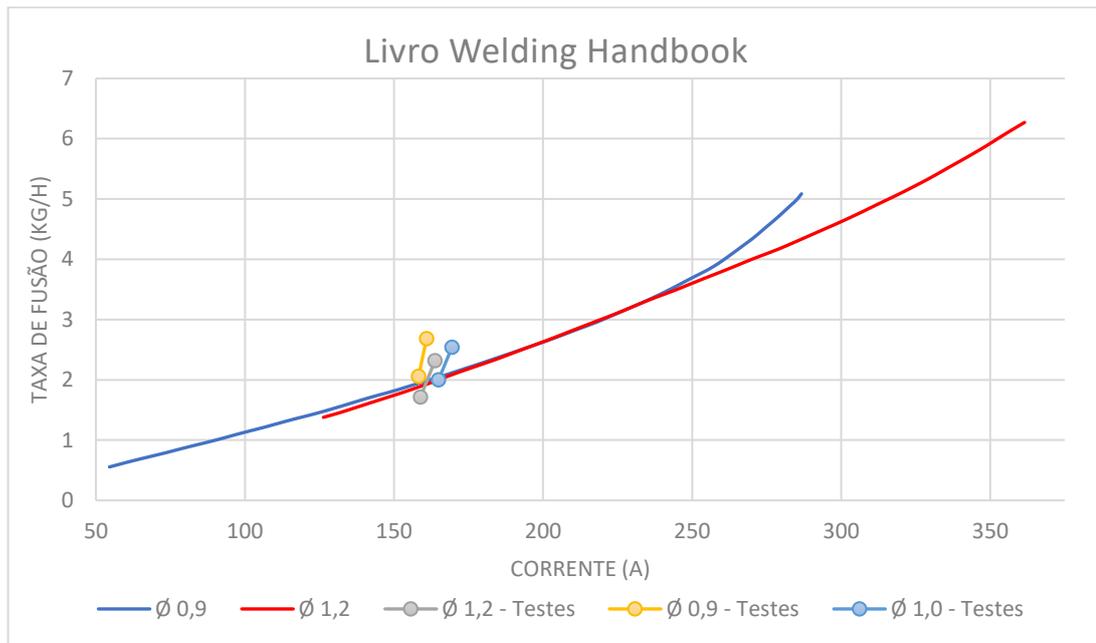


Figura (4.5) – Gráfico dos dados do livro Welding Handbook (1991) cruzados com os dados dos experimentos.

Entretanto, para uma análise da variação nos testes realizados, separou-se em dois grupos, uma vez que foi identificado que a DBCP tem um certo grau de influência no valor da taxa de fusão.

Tabela (4.4) – Valores da taxa de fusão em função da DBCP.

Teste	Diâmetro (mm)	DBCP (mm)	Taxa de fusão (kg/h)
1	1,2	12	1,710
2		25	2,314
3	0,9	12	2,055
4		21	2,679
5	1,0	12	1,998
6		22	2,537

Como já esperado pela teoria apresentada no Welding Handbook, “a distância da ponta à obra afeta as taxas de deposição e, à medida que a distância aumenta, o pré-aquecimento do fio do eletrodo contribui para taxas de deposição mais altas”, tornando a DBCP um importante parâmetro para a análise da solda. Durante a realização dos testes e posterior análise dos resultados obtidos, foi observado que a influência desse fator contribui significativamente para alteração dos resultados encontrados. A DBCP utilizada durante o processo de soldagem tem alto poder de alteração na taxa de fusão. A Figura 4.6 mostra os valores obtidos para as mesmas condições com diferentes DBCP's.

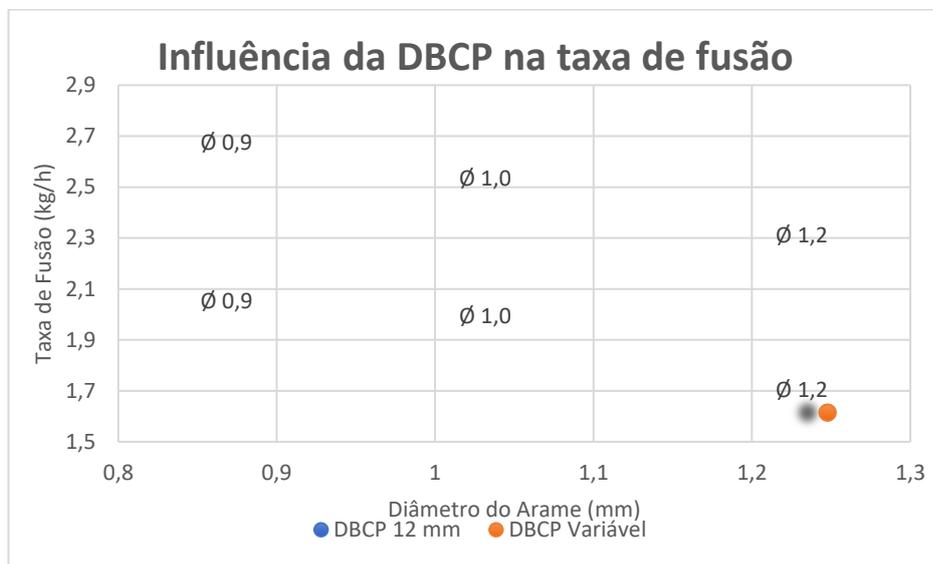


Figura (4.6) – Gráfico da influência da DBCP na taxa de fusão.

Como já mencionado, era esperado que a DBCP fosse influenciar na taxa de fusão durante o processo de soldagem, devido ao aumento do pré-aquecimento do arame eletrodo junto com o aumento da distância do bico de contato à peça, o que aumenta a taxa de fusão e conseqüente, a taxa de deposição, como mencionado acima. Entretanto, durante a análise, descobriu-se que, quantitativamente, a DBCP influencia bastante na taxa de fusão, sendo este um fator muito importante a se considerar. Foi comparada a DBCP de 12 mm, utilizada para os três arames, com outras variações de DBCP indo de 21 a 25 mm. Os pontos apresentados no gráfico estão apresentados na tabela 4.4 e, através deles, pode-se perceber variações por volta de 25% no valor das taxas de fusão, apenas com a variação da DBCP. Esses valores são altos, principalmente quando se trata de processos em grande escala, que impactam e muito na produtividade e nos custos. Portanto, deve se atentar sobre a

DBCP, o que faz com que essa informação seja de fundamental importância quando se trata da apresentação de dados para estudos e a utilização dos mesmos como referência.

Em contramão disso, foi verificado que o gás de proteção não age na taxa de fusão. Portanto, não tem grande valor nesse estudo, uma vez que a importância dele se restringe à qualidade da solda e este não é um tópico de relevância neste trabalho.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES

Conforme abordado anteriormente no trabalho, o processo MIG/MAG, por ser um processo automático ou semiautomático, torna-se extremamente eficiente, de alta velocidade e que reduz a chance de erro humano, sendo altamente confiável. A utilização do gás de proteção presente neste processo também faz com que se tenha soldas de boa qualidade e com boa resistência a fatores externos, como o vento. O fato de se utilizar alimentação contínua do arame eletrodo também permite ao processo maior produtividade, visto que reduz tempo perdido para substituição de eletrodos. Juntando com as composições químicas dos arames eletrodos, podem inserir boas qualidades provenientes dos outros materiais para a solda.

Tais fatores citados são os que fazem com que a soldagem MIG/MAG, em termos de soldagem, seja um dos processos mais utilizados para fabricação em larga escala. Por isso a motivação de tê-lo como tema deste estudo.

Partindo do objetivo do trabalho que era a verificação da veracidade dos dados encontrados na literatura técnica sobre a influência da bitola do arame eletrodo na sua taxa de fusão no processo de soldagem MIG/MAG, e após realizados os ensaios propostos, chega-se a algumas conclusões principais, que serão abordadas a seguir.

Primeiramente, a literatura técnica apresenta vários dados que contrariam a teoria apresentada nos livros estudados. A desconfiança inicial que motivou o estudo, se deve ao fato de terem sido encontradas diferenças muito grandes, e o que foi surpreendente: elas foram bastante óbvias.

Em sequência, chega-se ao ponto de que faltam informações dos parâmetros utilizados nos testes que originaram os dados dos livros, uma vez que estes fatores possuem alta influência nos resultados e interferem profundamente na compreensão correta destes. Resultados publicados com a omissão dos parâmetros importantes do processo de soldagem (como, por exemplo, o DBCP,  $V_{al}$ , ...) devem ser analisados com atenção visto que não se sabe quais as condições nas quais foram realizados os testes.

Dentre os fatores observados no estudo, verifica-se que o gás de proteção não possui influência considerável na taxa de deposição. Já a DBCP, por sua vez, exerce uma interferência forte na taxa, podendo alterar significativamente os resultados. Sendo assim, chega-se a alguns questionamentos que podem e devem ser feitos sobre os estudos publicados e os quais deveriam conter as informações indagadas.

Foi medida a DBCP? Se sim, qual era? – Como discutido anteriormente e apresentado nos resultados, a DBCP tem um papel importante na taxa de fusão, portanto o conhecimento desta informação é fundamental para a análise correta do resultado.

Foi conferido o diâmetro do arame? – Conforme foi apresentado nos resultados, o diâmetro real do arame não é o diâmetro indicado pelo fabricante. Logo, há uma diferença gerada nos cálculos feitos e, portanto, é necessário fazer essa conferência.

Foi verificada a velocidade de alimentação da máquina? – Assim como no caso do diâmetro, foi feita uma verificação da velocidade de alimentação indicada na máquina e foi constatado que a informação trazida pelo aparelho divergia da velocidade de alimentação real. Portanto, é outro fator que pode apresentar erro nos valores alcançados e que também se faz necessário uma confirmação.

Como foi medida a taxa de fusão? – Foram apenas feitos os cálculos ou foi medido o peso da chapa antes e depois? A maneira de fazer essa medição também tem influência no resultado e, portanto, deve ser levada em conta.

A partir desses pontos, acredita-se que a melhor forma para se apresentarem os gráficos desse caso, não sejam por linhas, mas por faixas, uma vez que essas abordariam quase todas as variáveis e se saberia o que esperar, de acordo com as variações possíveis, produzindo um debate mais profundo, inclusive, sobre os valores observados.

Desta forma, a pesquisa foi respondida, uma vez que foi demonstrado que existe uma divergência entre os dados apresentados pela literatura e os dados reais, esperados segundo a teoria.

Além disso, uma maior atenção durante a conversão de unidades pode ser fundamental também para a redução no número de erros nas informações encontradas.

Por fim, ressalta-se a importância desse trabalho na confirmação das informações obtidas na teoria durante os estudos acadêmicos e o papel fundamental do olhar crítico a todas as informações que chegam, para evitar a propagação de conhecimentos incorretos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILERA, B. O. O. **Métodos e técnicas de pesquisa**, [s.d]. Disponível em: <<https://docs.ufpr.br/~benitoag/Tecnicas-pesquisa.pdf>>. Acesso em: 15 de jul. de 2020.

CARY, H.B. **Modern Welding Technology**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, USA, 1979, p. 154.

FERNANDES, D. B., **Correlação entre a Regularidade da Transferência Metálica no Modo Curto-Circuito e o Desempenho do Processo para a Soldagem MIG/MAG Posicional**. 2013. 104 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

GIL, R. L. **Tipos de pesquisa**, 2008. 13 Slides. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/ecb/files/2009/09/Tipos-de-Pesquisa.pdf>>. Acesso em: 15 de jul. de 2020.

MACHADO, I.G. **Soldagem e Técnicas Conexas: Processos**. Ed. Pelo autor e distribuído pela Associação Brasileira de Soldagem (ABS). Porto Alegre, 1996, p. 210.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do Trabalho Científico**. 7ª ed. São Paulo. Editora Atlas, 2013.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P.J.; BRACARENSE, A.Q. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. 3ª Edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011.

MOBILON NETWORKS. **Tecnoblog: tecnologia que interessa**, c2018. Página inicial. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/>>. Acesso em: 18 de nov. de 2020.

Oliveira, M. F. **Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em Administração** / Maxwell Ferreira de Oliveira. -- Catalão: UFG, 2011. 72 p.: il.

PALMAR R.S., **Welding Processes and Technology**. Khanna Publishers, Delhi, 1995, p. 256.

PONOMAROV, V. **Fontes de soldagem a arco voltaico**. 2019. 55 Slides.

PONOMAROV, V. **Introdução à Soldagem**. 2019. 60 Slides.

PONOMAROV, V. **PROCESSO MIG/MAG (GMAW) + FCAW**. 2019. 97 Slides.

REGRAS PARA TCC. **Regras para TCC**, c2020. Página inicial. Disponível em: <<https://regrasparatcc.com.br/>>. Acessado em: 18 de nov. de 2020.

RIBEIRO, P. H. R. **Análise da influência do diâmetro de arames-eletrodo na taxa de fusão no processo MIG/MAG**. 2019. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia.

SCOTTI, A.; PONOMAREV, V. **Soldagem MIG/MAG: Melhor entendimento Melhor desempenho**. 2ª Edição. São Paulo: Artlibrer Editora, 2008.

SICCHIERI, L.C. **Comparação de Modelos Matemáticos para Mancais Hidrodinâmicos Segmentados**. 2017. 49p. Projeto de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, Brasil.

Significado de Pesquisa bibliográfica. **Significados**, 2018. Disponível em: <<https://www.significados.com.br/pesquisa-bibliografica/#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20Pesquisa%20bibliogr%C3%A1fica,a%20partir%20de%20determinado%20tema.>>. Acesso em: 15 de jul. de 2020.

TUMELERO, N. **Tipos de pesquisa: da abordagem, natureza, objetivos e procedimentos**. METTZER, 2019. Disponível em: <<https://blog.metzzer.com/tipos-de-pesquisa/#a-Pesquisa-experimental>>. Acesso em: 15 de jul. de 2020.

WAINER, E., BRANDI, S. e MELLO, F. D. H. **Soldagem: Processos e Metalurgia**. São Paulo, Edgard Blücher, 1992.

WAINER, E.; BRANDI, S.D.; de Mello, F.D.H. **Soldagem: Processos e metalurgia**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2004.

**Welding Handbook**, vol. 1, Eighth Ed. American Welding Society, Miami, 1991, p. 117.