

Estudo da influência da velocidade de soldagem na dimensão dos catetos da solda

Henrique Costa Silva – henriquecosta_77@hotmail.com

Rafael dos Santos Gonçalves – rafa.goncalvess@gmail.com

Professor Luiz Gimenes – Orientador gimenes@infosolda.com.br

Fatec-SP Junho/2013

1.0 Introdução

Este trabalho tem o objetivo de analisar a influência da velocidade de soldagem no perfil de um filete de solda, executado em junta em ângulo (90° entre si). O processo de soldagem que utilizaremos será GMAW, com utilização de arame sólido, alguns parâmetros serão fixados para que não interfiram diretamente nos resultados, pois o foco dos testes está na variação da velocidade de soldagem.

As análises serão baseadas nos testes executados, na análise do perfil do cordão de solda iremos mensurar apenas os catetos, a garganta, a penetração da solda e o tamanho da ZTA não será levado em consideração.

2.0 Processo de soldagem

O processo de soldagem GMAW - Gas Metal Arc Welding ou MIG/MAG, como também é conhecido, tem como princípio de funcionamento a utilização de um arco elétrico para aquecer a superfície a ser soldada e um eletrodo metálico alimentado continuamente. O calor gerado pelo arco funde a ponta do eletrodo e a superfície do metal de base para formar a poça de fusão, a qual é protegida dos efeitos nocivos do ar atmosférico, por intermédio de um gás de proteção, proveniente de uma fonte externa. A figura abaixo demonstra este processo.

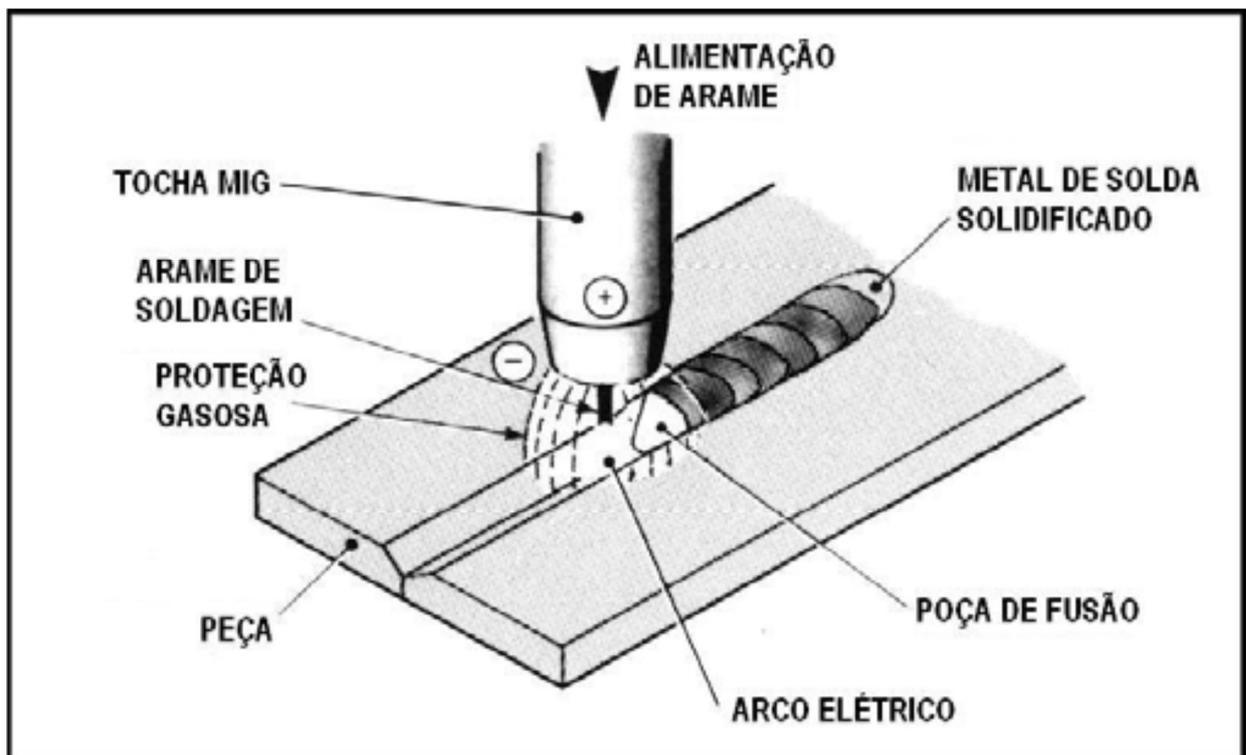


Figura 1. Processo de soldagem GMAW

3.0 Variáveis do Processo.

O Processo de soldagem GMAW possui diversas variáveis que podem interferir direta ou indiretamente no perfil, acabamento e até nas propriedades mecânicas do cordão de solda, cada uma das variáveis pode ser controlada separadamente, porém todas elas estão interligadas.

As principais variáveis deste processo são:

Corrente, tensão, velocidade de soldagem, velocidade de alimentação, polaridade, stick-out, gás de proteção.

3.1 Corrente

Este parâmetro de soldagem interfere diretamente no perfil do cordão e na taxa de deposição, para determinar este parâmetro deve-se levar em consideração a espessura de chapa a ser soldada e a bitola do eletrodo a ser utilizada, além disso correntes muito altas podem gerar um aquecimento demasiado, podem levar a perfuração da chapa (em pequenas espessuras) e correntes muito altas podem gerar falta de fusão e instabilidade no arco.

3.2 Tensão

Este parâmetro tem ligação direta com o comprimento de arco, logo, interfere diretamente no perfil do cordão. Wainer et all (1992) sustentam que a potência do arco, dada pelo produto entre sua tensão e corrente, é responsável pela largura do cordão de solda. Assim, para uma corrente constante, o aumento da tensão do arco provoca maior largura e menor altura do cordão, melhor molhagem, ou distribuição do metal depositado, e redução da penetração

3.3 Velocidade de soldagem

A velocidade de soldagem é o deslocamento do arco ao longo da junta soldada, ela tem interferência direta energia soldagem (heat input), ela também tem influência nas dimensões do cordão de solda.

3.4 Velocidade de alimentação

A velocidade de alimentação do arame governa o fluxo de corrente, portanto, é uma variável importante no processo, existe uma relação direta entre a velocidade do arame e a corrente de soldagem e uma relação inversa destas com o comprimento de arco.

A mudança na velocidade de alimentação do eletrodo nu, pode causar uma diminuição na distância do arco e um aumento no comprimento do eletrodo, o que proporciona a volta do arco original, l_0 . Este comportamento pode ser observado na figura abaixo.

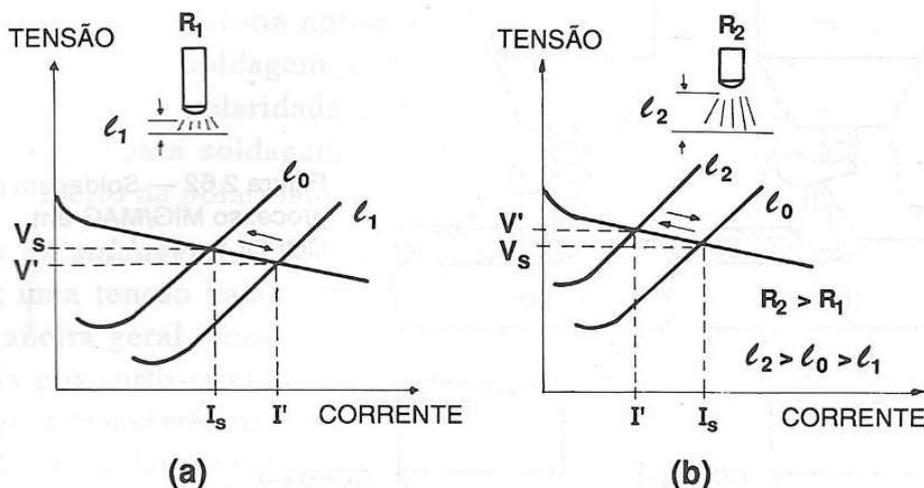


Figura 2. Comprimento de arco

3.5 Polaridade.

O parâmetro de polaridade somente é aplicável em soldagem com corrente contínua (CC), este parâmetro interfere no modo de transferência.

A polaridade interfere também no calor aplicado a peça, pois uma polaridade direta (CC-) causa um maior aquecimento do eletrodo, enquanto que uma polaridade inversa (CC+) (polaridade mais aplicada neste processo) proporciona um maior aquecimento da peça.

3.6 Stick-out

O Stick-out, também conhecido como distancia bico-peça, é a distancia existente entre o final do bico de contato e o final do eletrodo, ou seja, até o ponto em que ele entra em fusão, a distancia entre a ponta do eletrodo e a peça é comprimento do arco, está relação Poe ser observada na figura abaixo.

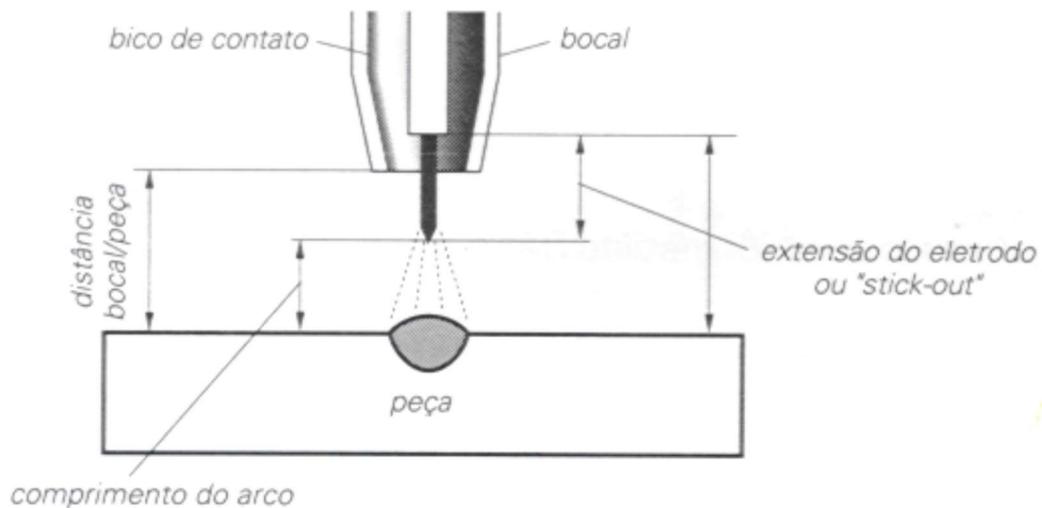


Figura 3. Stick-out

O Stick-out também interfere também na geometria do cordão como pode ser observado na figura abaixo.

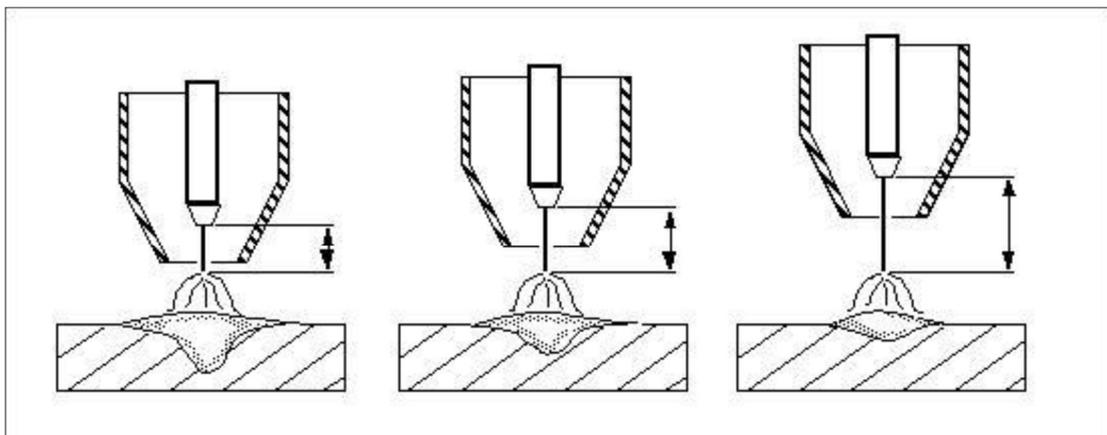


Figura 4. influência do Stick – out na geometria do cordão

A largura do cordão e a penetração são inversamente proporcionais ao stick-out, com o aumento do stick-out ambas as dimensões serão reduzidas.

3.7 Gás de proteção

O tipo de gás influencia nas características do arco, na transferência do metal, na penetração, largura, formato e propriedades mecânicas do cordão, na velocidade máxima de soldagem, na ação de limpeza ou desoxidação da poça de soldagem, nas tendências ao aparecimento de mordeduras e no custo da soldagem. Os gases utilizados no processo MIG/MAG podem ser inertes, ativos ou misturas destes gases, podendo conter pequenas quantidades de oxigênio ou CO₂, os quais permitem aumentar, paulatinamente, a penetração nas adjacências.

4.0 Parâmetros de soldagem

Para este experimento alguns parâmetros de soldagem foram fixados, com o objetivo de facilitar a avaliação dos resultados, e foram variados apenas os parâmetros os quais buscamos analisar, os parâmetros utilizados encontram-se dispostos na tabela abaixo.

Parâmetro (∅)	0,8	1
Corrente (A)	200	300
Tensão (V)	24	32
Vazão (l/h)	18	25
Stick-out (mm)	20	20

Tabela 1. Parâmetros Teóricos.

Corpo de prova	Velocidade de soldagem (cm/min.)	Velocidade alimentação (m/min.)	Corrente (A)	Tensão (V)	Tempo de Soldagem (s)
A1	85	16	165	25	13
A2	162	16	164	25	7
B1	41,2	16	190	25	28
B2	58,8	16	192	25	18
C1	69	16	190	25	15
C2	58,8	16	230	32	19
D1	69	16	234	32	15
D2	162	16	240	32	7
E1	132	16	239	32	6
E2	85	16	240	32	12

Tabela 2. Parâmetros reais Utilizados.

O parâmetro que objetivamos analisar foi à velocidade de soldagem, por este motivo foi feita a variação deste parâmetro o gráfico abaixo apresenta uma comparação das velocidades de soldagem utilizadas em ambos os arames.

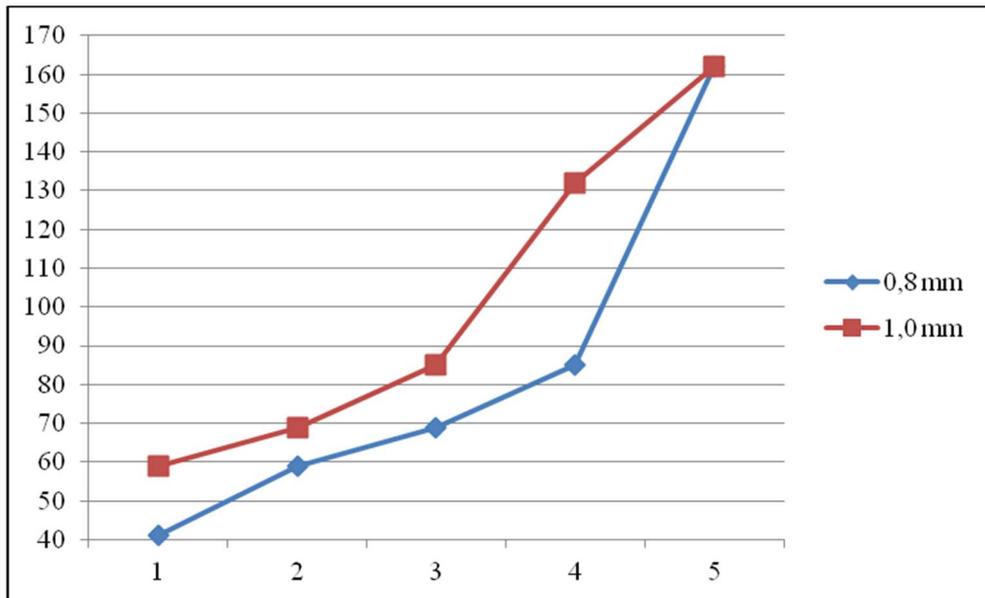


Gráfico 1: Velocidades de soldagem

5.0 Equipamento de soldagem

Para efetuar a soldagem dos corpos de prova utilizamos o equipamento do fabricante Stel modelo HI – MIG 350.



Figura 5. Equipamento de soldagem GMAW

Este equipamento é do tipo gerador Inversor com refrigeração integrado, possuindo um ciclo de trabalho de 350: 350A - 60%, 300A - 100%

6.0 O Experimento

Experimento realizado no laboratório de soldagem da FATEC São Paulo, onde foram realizados 10 cordões de solda em ângulo na posição horizontal (2F) pelo processo GMAW automatizado, sendo que, em 5 cordões foi utilizado arame de \varnothing 0,8mm e 5 com arame de \varnothing 1,0mm.

Com o arame de \varnothing 0,8 mm a tensão utilizada foi 25V e a velocidade de alimentação do arame máxima suportada pela máquina, a corrente é dada em função da tensão e da velocidade de alimentação do arame e os valores dos parâmetros podem ser observados na tabela 2. Para a proteção da soldagem utilizamos uma mistura de Argônio com CO₂ (75-25) com uma vazão de 18 l/h.

Com o arame de \varnothing 1,0mm a tensão foi de 32V e a velocidade de alimentação do arame e a corrente de soldagem seguem o mesmo padrão utilizado para o arame 0,8 mm e também pode ser verificado na tabela 2. O gás utilizado foi o mesmo, com uma vazão de 25 l/h. Para todas as combinações de parâmetros o stick-out utilizado foi de 20 mm.

Para que não houvesse variação em parâmetros como velocidade de soldagem, stick-out e angulação da tocha optamos por utilizar um processo de soldagem mecanizado, onde a tocha de soldagem foi acoplada em um torno através de um suporte como pode ser observado na figura abaixo.



Figura 6. Suporte de acoplamento para tocha

Os corpos de prova foram montados e soldados conforme disposto nas figuras abaixo

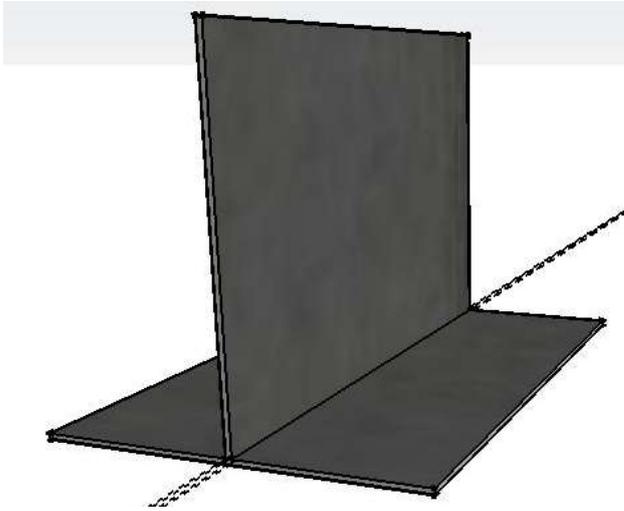


Figura 7. Esquema de montagem dos corpos de prova.

Com todos os parâmetros definidos, foram realizados cordões testes com diferentes velocidades de soldagem, cada corpo de prova obtendo dois cordões diferentes para poder identificar cada cordão foram marcados com letras de A a E e divididos em lado 1 e 2

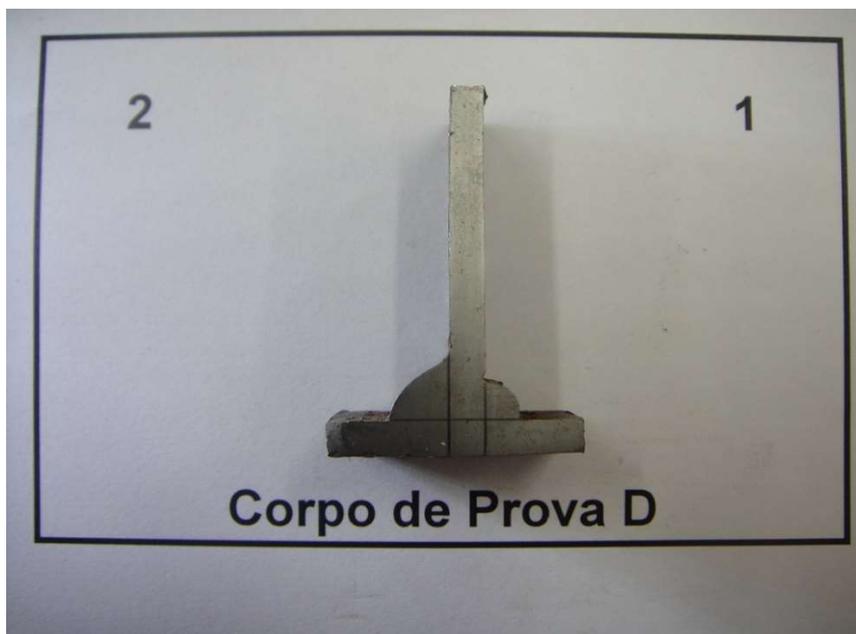


Figura 8. Esquema de traçagem dos corpos de prova

Foram determinadas as seguintes velocidades de soldagem (em cm/min.):

Arame de Ø 0,8mm:

Corpo de prova	Velocidade de soldagem (cm/min.)
A1	85,0
A2	162,0
B1	41,2
B2	58,8
C1	69,0

Tabela 3. Velocidade de soldagem arame Ø 0,8

Arame de Ø 1,0mm:

Corpo de prova	Velocidade de soldagem (cm/min.)
C2	58,8
D1	69,0
D2	162,0
E1	132,0
E2	85,0

Tabela 4. Velocidade de soldagem arame Ø 1,0

Em seguida foi realizada a soldagem nas chapas teste. Que depois foram cortadas e realizado análise macrográfica da solda que nos mostrou o formato, dimensões e penetração dos cordões de solda.

O intuito do experimento foi verificar as dimensões dos catetos em relação as diferentes velocidades de soldagem para a mesma corrente x tensão.

7.0 Testes

Após a soldagem dos corpos de prova os mesmos foram cortados e lixados com lixa até a gramatura 600 e feito um ataque com Nital a 10%, para que fosse revelada a região do metal de base e metal de adição.

Como o experimento busca avaliar a influência da velocidade de soldagem nos catetos do cordão de solda, mesmo havendo condições de medir a penetração esta informação foi desprezada.

Para fazer a medição os corpos de prova foram traçados de modo a facilitar a visualização do metal base e do metal de adição, o dimencsional foi feito com

uma lupa graduada. Os resultados obtidos nestas medições estão dispostos na tabela 5.

Corpo de prova	Vertical (mm)	Horizontal (mm)
A1	3,60	3,15
A2	2,60	2,70
B1	5,91	4,50
B2	3,95	5,29
C1	3,50	4,81
C2	4,57	6,39
D1	3,70	3,18
D2	5,33	5,51
E1	3,00	3,27
E2	5,03	4,50

Tabela 5. Dimensões dos catetos

8.0 Análise dos resultados

Para a elaboração dos gráficos a seguir os dados foram divididos de acordo com a bitola do arame utilizado e ordenados de acordo com a velocidade de soldagem. Para facilitar a apresentação dos dados os catetos foram definidos como vertical e horizontal, esta definição está apresentada na Figura 9.

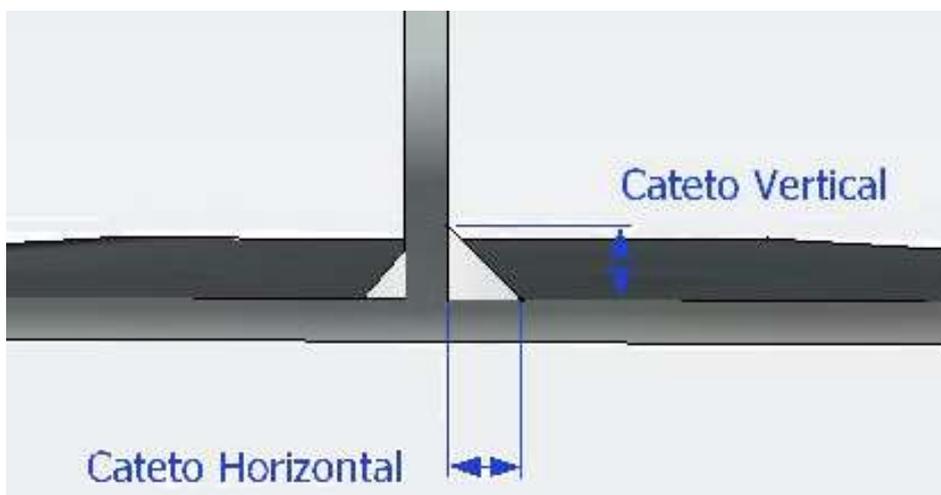


Figura 9. Catetos

Nos gráficos a seguir estão apresentadas comparações do que ocorre com as dimensões dos catetos com a variação da velocidade de soldagem de acordo com as bitolas dos arames

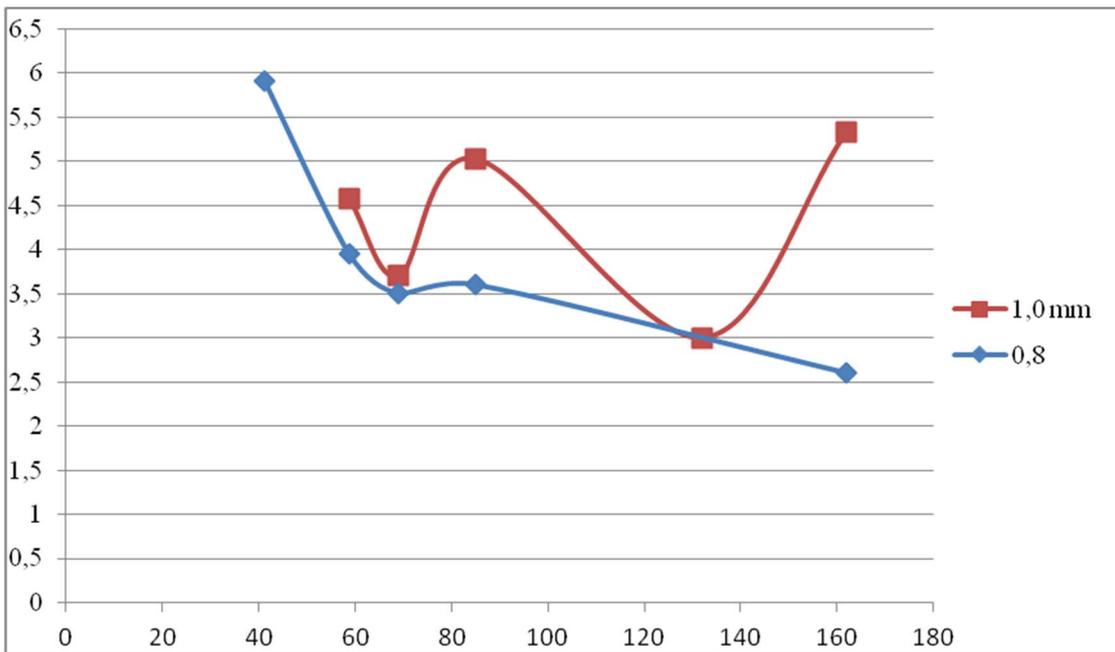


Gráfico 2: Cateto vertical x velocidade

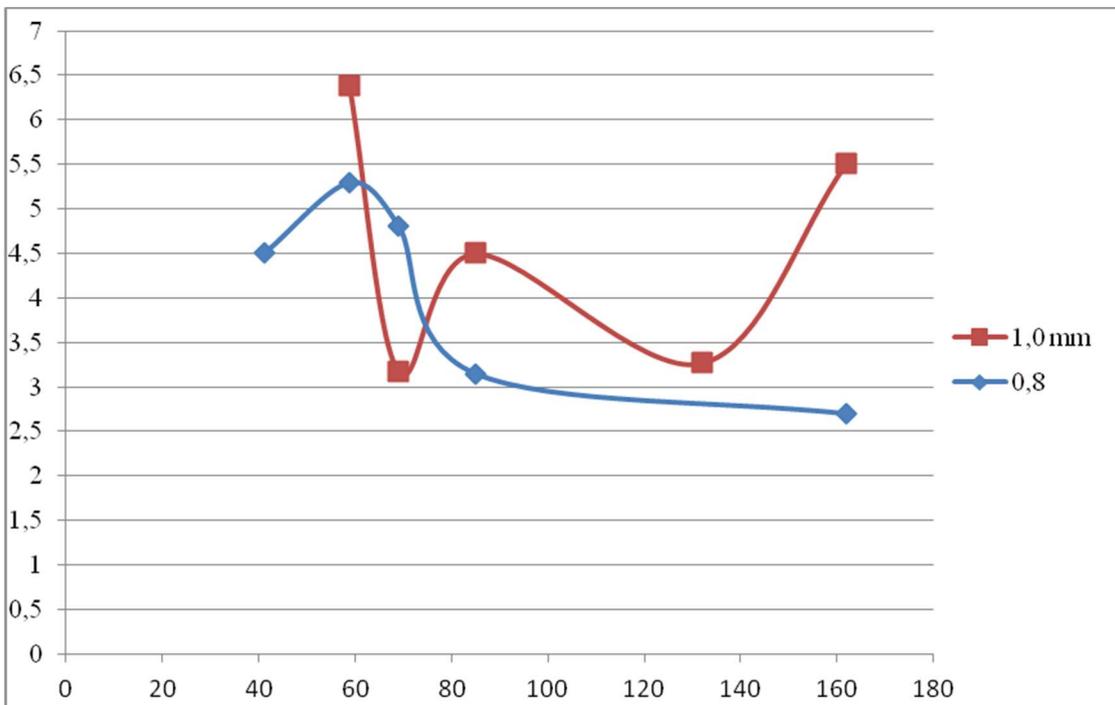


Gráfico 3: Cateto horizontal x velocidade

Verifica-se que o menor volume de solda, para um valor fixo de altura da garganta e do comprimento L da solda ocorre para a solda com pernas iguais

Esta evidência pode ser observada da figura abaixo.

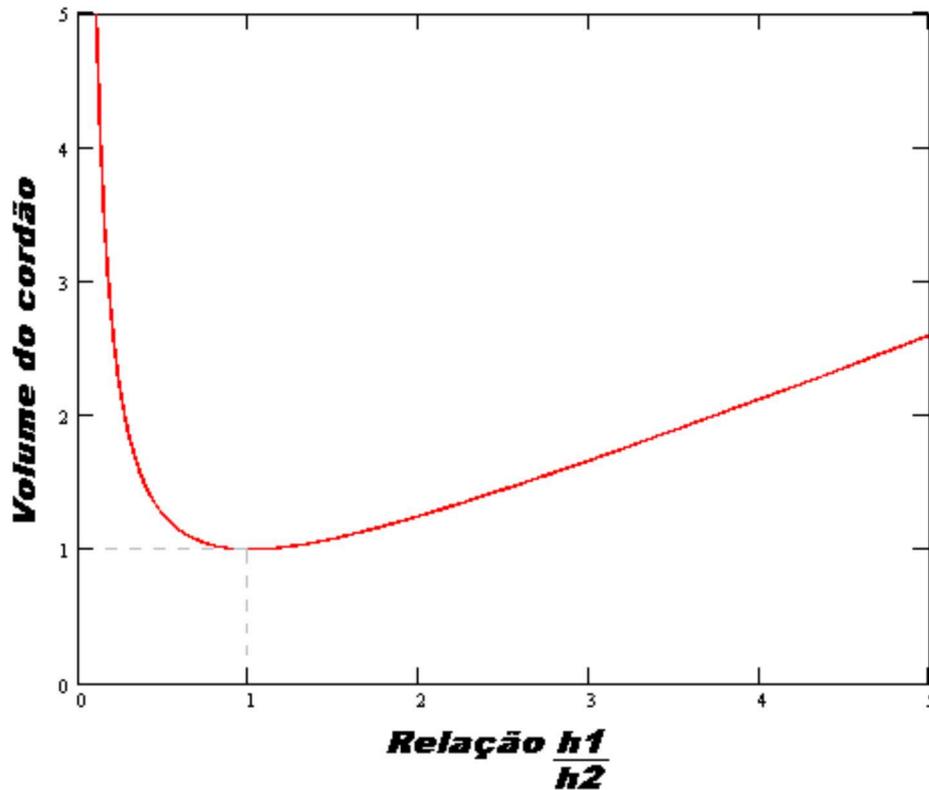


Gráfico 4. Relação entre o volume de cordão em relação a razão h_1/h_2 para uma seção resistente constante

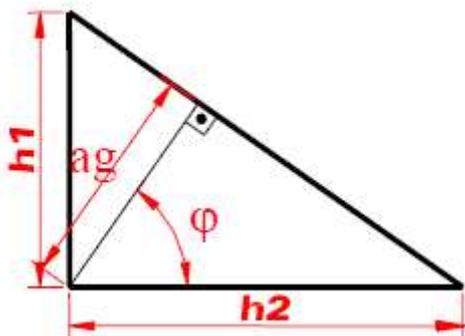


Figura 10. Seção transversal do cordão de solda

A “International Institute of Welding” (IIW) considera que a seção da garganta é a seção resistente do cordão de solda. Assume-se que as tensões ao longo da altura da garganta são uniformemente distribuídas. Uma segunda simplificação importante corresponde à condição de que as tensões normais no plano normal

ao eixo longitudinal ao cordão são aqui consideradas desprezíveis, porque estas são geralmente provocadas, com maior intensidade, por carregamentos a serem resistidos em conjunto pelas chapas que formam a junta e pelos cordões de solda.

Assim pode-se, de uma maneira geral, definir as tensões nominais incidentes na região da garganta, utilizadas para o dimensionamento de cordões de solda, como mostrado na Figura 11. as seguintes componentes de tensão são consideradas:

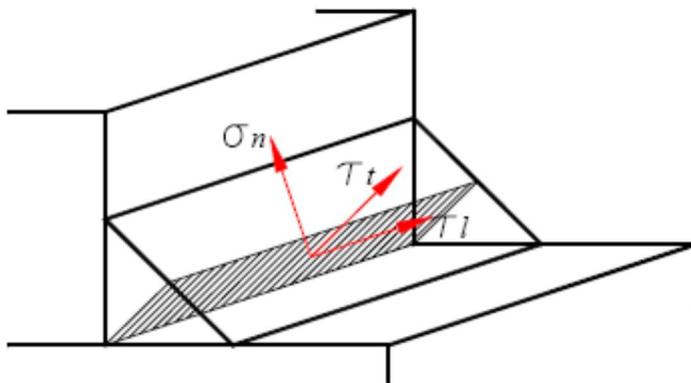


Figura 11 – Tensões nominais atuantes na seção da garganta do cordão solda

- σ_n – tensão normal atuando perpendicularmente à seção da garganta;
- τ_t – tensão cisalhante atuando transversalmente à seção da garganta;
- τ_l – tensão cisalhante atuando longitudinalmente à seção da garganta.

Para o nosso experimento, só foi levado em consideração as medidas dos catetos, outras dimensões do perfil do cordão como garganta e penetração não foram levados em consideração, sendo assim, qualquer dos testes de tensão que esses CPs possam ser submetidos o resultado podem não ser os desejados, uma vez que é possível que tenha ocorrido penetração e diluição do metal depositado insuficiente, mesmo apresentando catetos com dimensões satisfatórias.

O Gráfico 5 apresenta a relação dos catetos pela velocidade, quanto mais próximo do 1,0 menor é o volume de solda para a mesma resistencia.

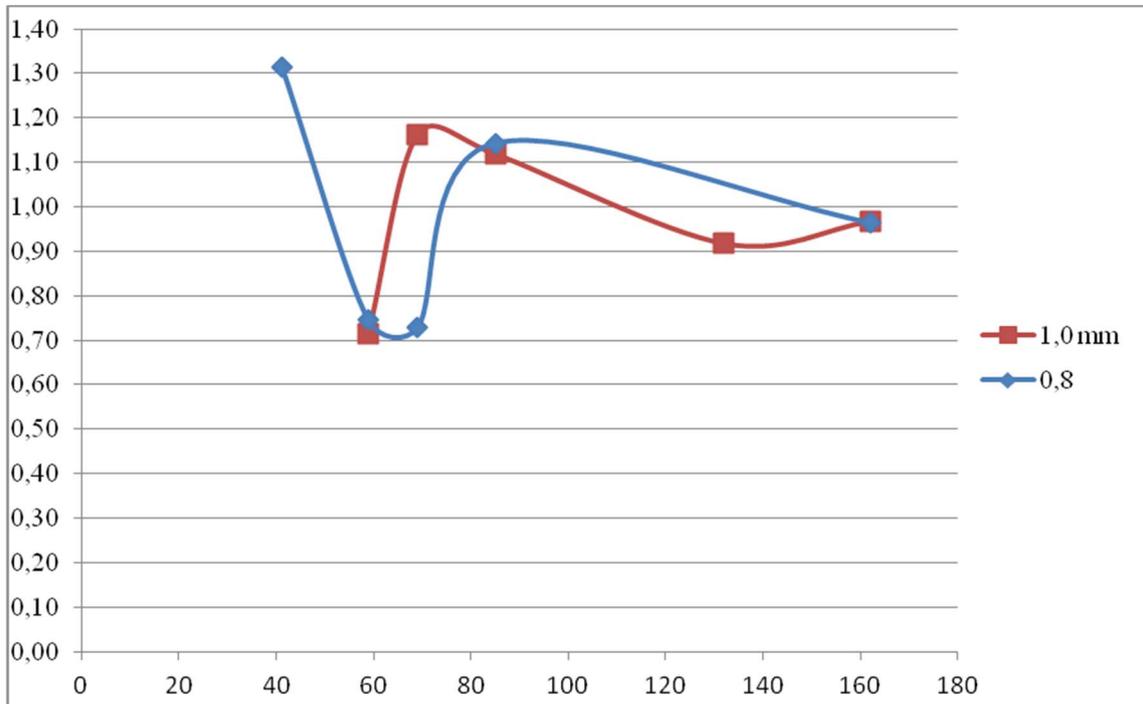


Gráfico 5: Relação dos catetos x velocidade

Os corpos de provas apresentaram as seguintes características:

Arame Ø 0,8mm

Para velocidades altas, existe uma boa relação entre catetos, porém visualmente a solda não apresentou boas características com mordeduras e porosidade.



Figura 12. Corpo de prova A

Para a velocidade de 69 cm/min visualmente apresenta-se um ótimo cordão. Mas a relação entre catetos ficou em 0,73, sendo depositado mais material na horizontal.

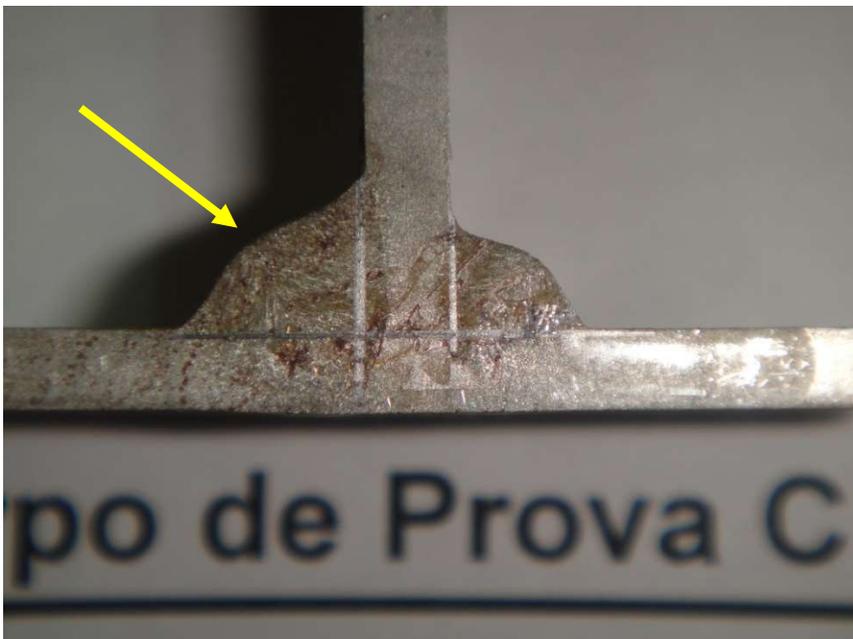


Figura 13. Corpo de prova C

Nas velocidades mais baixas, houve um grande depósito de material, gerando catetos elevados e com grande variação em suas relações. 1,31 para o da esquerda e 0,75 para o da direita.



Figura 14. Corpo de prova B

Arame Ø 1,0mm

Na velocidade mais baixa, o cordão apresentou a menor relação (0,72) tendo sido depositado mais material na horizontal.



Figura 15. Corpo de prova C

Com a velocidade de 162 m/min (a mais alta) o cordão apresentou uma ótima relação entre catetos (0,97) com um ótimo aspecto visual como podemos ver na posição 2. Já a posição 01 foi utilizada a velocidade de 69 m/min, onde a relação ficou em 1,16 apresentando ainda mordedura no cateto vertical.

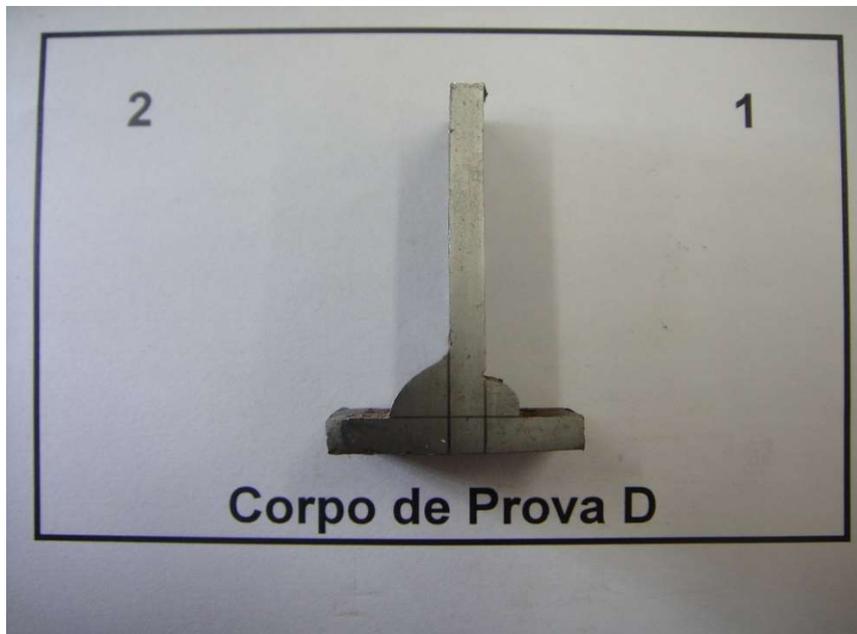


Figura 16. Corpo de prova D

Este CP apresenta características semelhantes ao anterior. A Relação de ambos ficou em 1,12 (2) e 0,92 (1). O cordão 2 teve mais depósito na posição vertical enquanto o cordão 1 apresentou mordedura na mesma posição.



Figura 17. Corpo de prova E

9.0 Conclusões

Com base nos testes efetuados podemos concluir que com o aumento da velocidade de soldagem (grafico 1) houve uma queda no Heat input como podemos observar no grafico 6

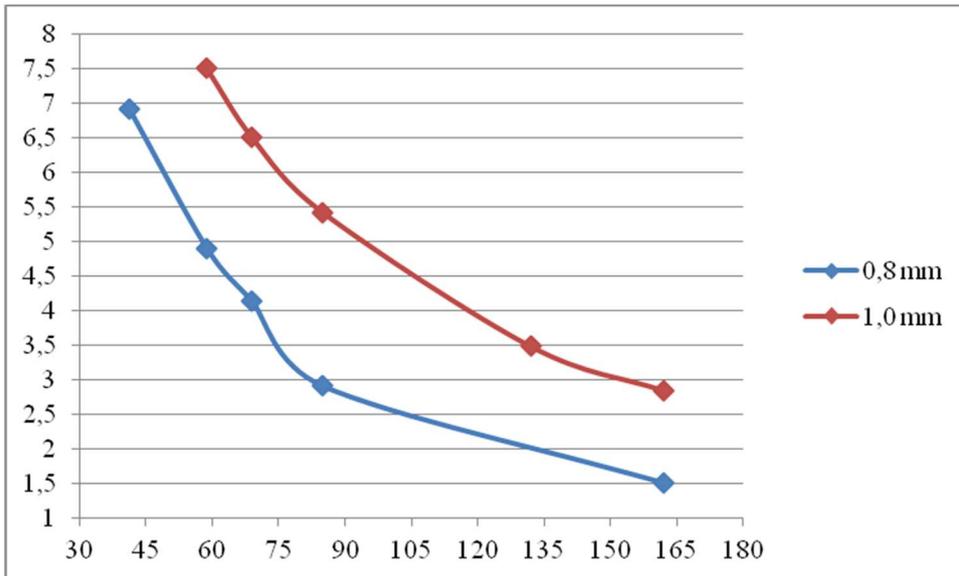


Gráfico 6. Heat input

É possível concluir também que cordões efetuados com velocidades de soldagem maiores possuem “catetos ideais”, pois para ambas bitolas de arame

a razão $\frac{H_1}{H_2}$ que mais aproximou-se de 1,0 foi justamente com a maior velocidade de soldagem, porém o cordão efetuado utilizando o arame Ø 0,8mm apresentou mordedura (Figura 18), o que é um aspecto insatisfatório, pois gera um ponto de acumulo de tensões, podendo favorecer o aparecimento de trincas.

Ao utilizar a máxima velocidade de soldagem com o arame de Ø 1,0 mm foram obtidos resultados satisfatórios, pois além de uma razão entre os catetos de 0,97 o cordão apresentou bom padrão visual, estando isento de mordeduras, trincas e outras descontinuidades de solda, como pode ser observado na figura 19, o cordão indicado pela seta.

As dimensões dos catetos também apresentaram um comportamento diferente de acordo com a bitola do arame utilizado, para a menor bitola quanto maior a velocidade de soldagem menor é a dimensão de ambos os catetos, entretanto para o Ø 1,0 mm com a maior velocidade de soldagem também foram obtidos grandes catetos (gráficos 2 e 3), isto pode ser explicado pela variação na corrente de soldagem, que como mencionado anteriormente à corrente de soldagem não foi regulada mas sim dada pelo equipamento em função da

tensão, as correntes apresentadas de acordo com cada velocidade de soldagem podem ser observadas no gráfico 7.



Figura 18. Mordedura apresentada no cordão A2

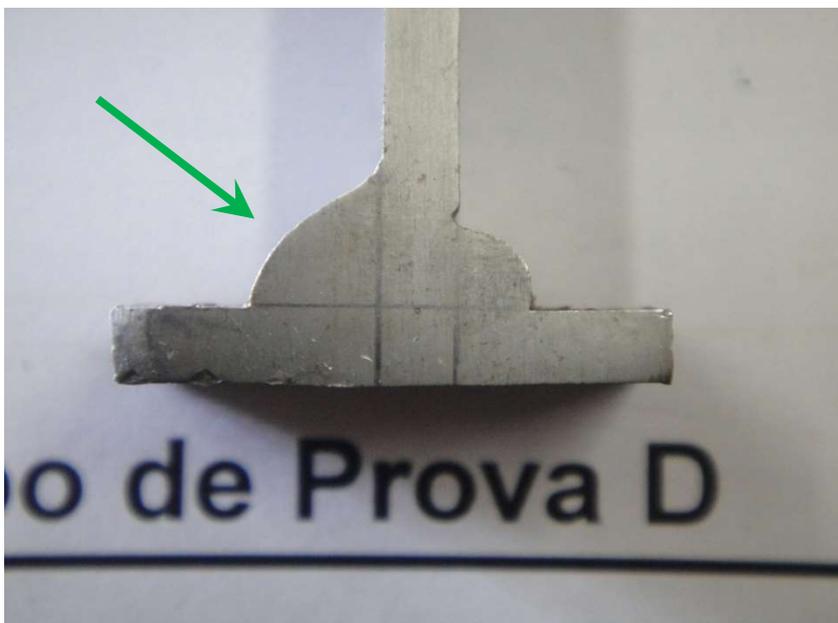


Figura 19. Cordão D2

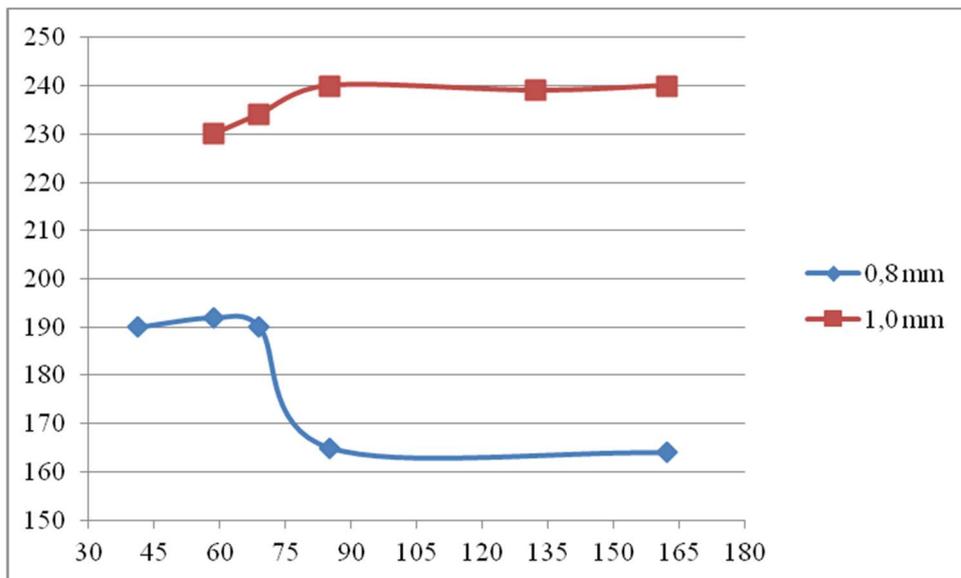


Gráfico 7. Corrente X Velocidade de soldagem

Com base nas informações contidas no gráfico 5 podemos concluir que para o arame de \varnothing 1,0 mm com a maior velocidade de soldagem obtém-se o melhor cordão, porém para o \varnothing 0,8 mm resultados melhores são obtidos com velocidades medianas.

10.0 Fontes Bibliográficas

www.weldingcompany.be/nl-BE/ProductDetail.aspx?PID=136&CID=9&p=2

Desenvolvimento Histórico de Fusão de Juntas – Lincoln

Tese de Mestrados - OTIMIZAÇÃO DE UM PROCESSO DE SOLDAGEM MIG/MAG PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DO PROJETO E ANÁLISE DE EXPERIMENTOS (UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ)

Wainer, E.; Brandi, S. D.; Mello, F.D.H. – Soldagem Processos e metalurgia, Editora Edgard Blücher LTDA.

Alvim, R, A – Dissertação de Mestrado - Dimensionamento de Juntas Soldadas Utilizando Soluções de Modelos de Placas Obtidas por Elementos Finitos – PUC-Rio

Welding Journal - Fevereiro 2011 – Optimizing Shipyard Welding With Intelligent Process Controls – Jeffrey Noruk

Welding Journal - Maio 2011 - Welding Challenges in Today's Automotive Industry – Robert Ryan and Davis Bellamy.