

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – UFU
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA – FEMEC
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

LEONARDO MUTHI CORRÊA

AVALIAÇÃO DA INFLUENCIA DO CALORÍMETRO EM
SOLDAGENS TIG

UBERLÂNDIA
FEVEREIRO DE 2018

LEONARDO MUTHI CORRÊA

**AVALIAÇÃO DA INFLUENCIA DO CALORÍMETRO EM
SOLDAGENS TIG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Núcleo de Trabalho de Conclusão de Curso da Universidade Federal de Uberlândia, como exigência parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Volodymyr Ponomarev

UBERLÂNDIA - MG

2018

LEONARDO MUTHI CORRÊA

**AVALIAÇÃO DA INFLUENCIA DO CALORÍMETRO EM
SOLDAGENS TIG**

Banca Examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Volodymyr Ponomarev

Prof. Dr. Douglas Bezerra de Araújo

Me. Diego Costa Correia Silva

UBERLÂNDIA - MG

2018

AGRADECIMENTOS

À minha família, meus pais, Denir e Djalma por sempre estarem presentes e nunca terem poupado esforços para os meus estudos.

À minha namorada Leticia, por sempre me colocar para cima nos momentos em que mais precisei.

Ao professor e orientador Volodymyr Ponomarev, por todo o suporte, atenção e tempo gastos para que este trabalho fosse realizado.

Ao Doutorando Diego, por acompanhar e ajudar em todas as etapas deste trabalho.

Aos colegas que contribuíram para que este trabalho fosse possível.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi verificar se o resfriamento forçado, proporcionado pelo calorímetro, afeta a geometria da zona afetada pelo calor e da zona fundida. Para isto, foram feitas soldagens sobre chapas de duas espessuras, utilizando-se o processo TIG. Uma chapa foi mantida no calorímetro e outra fora. A escolha desse processo se deu em virtude dos poucos trabalhos realizados nesta área, mostrando resultados sobre o fluxo térmico em soldas TIG realizadas sem metal de adição. Foi verificado que o calorímetro e a espessura da chapa possuem pouca influencia sobre a região afetada pelo calor e nenhuma influencia sobre a região fundida. Além disso, observou-se que a intensidade da corrente foi fator determinante na penetração da solda.

Palavras chaves: 1. Resfriamento Forçado. 2. Soldagens. 3. TIG

ABSTRACT

The objective of this work was to verify if the forced cooling provided by the calorimeter affects the geometry of the heat affected zone and the fusion zone. For this, welds were made on plates of two thicknesses using Tungsten Inert Gas process. One plate was held in the calorimeter and the other plate out. The choice of this process was due to the few studies carried out in this area, showing results about the heat flux in TIG welds performed without filler metal. It has been found that the calorimeter and the thickness plate have little influence on the heat affected region and no influence on the fusion region. In addition, it was observed that the intensity of the current was a determining factor in the penetration of the weld.

Keyword: 1. Forced Cooling. 2. Weldments. 3. TIG

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Bocais para TIG.....	15
Figura 2: Curva Característica Estática da Fonte do tipo Corrente Constante.....	16
Figura 3 : Varetas de adição.....	22
Figura 4: Esquema representativo do Calorímetro de resfriamento contínuo.....	23
Figura 5: Calorímetro com fluxo contínuo de água.....	23
Figura 6: Esquema do calorímetro de nitrogênio líquido e de medição da massa do N ₂ L evaporada.....	24
Figura 7 : IMC Digiplus A7.....	25
Figura 8: Mecanismo utilizado.....	26
Figura 9: Regulador de argônio.....	26
Figura 10: Calorímetro de água utilizado.....	27
Figura 11: Reservatório de fluido frio (água).....	28
Figura 12: Montagem do sistema.....	28
Figura 13: Placa de aquisição de sinais.....	31
Figura 14: Válvula de esfera no reservatório.....	32
Figura 15: Placa de 6,35 mm.....	33
Figura 16: Placa de 9 mm.....	33
Figura 17: Gráfico da área fundida.....	34
Figura 18: Gráfico da ZAC.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros elétricos.....	34
Tabela 2: Resultados macrográficos.....	34

SUMÁRIO

1 .INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 Processos de soldagem.....	13
2.1.1 Soldagem GTAW (TIG).....	13
2.2 Equipamentos.....	14
2.2.1 Tochas.....	14
2.2.2 Pinças ou mandril.....	14
2.2.3 Bocais.....	15
2.2.4 Fontes de Energia.....	15
2.2.4.1 corrente contínua.....	15
2.2.4.2 corrente contínua pulsada.....	17
2.2.4.3 corrente alternada.....	17
2.2.5 Eletrodos.....	18
2.2.5.1 eletrodos de tungstênio puro.....	18
2.2.5.2 eletrodos ligados.....	18
2.2.5.3 preparação do eletrodo.....	19
2.2.5.3.1 arredondamento.....	19
2.2.5.3.2 esmerilamento.....	19
2.2.5.3.3 afiação química.....	19
2.3 Consumíveis.....	20
2.3.1 Gases de Proteção.....	20
2.3.1.1 Argônio.....	20
2.3.1.2 hélio.....	21
2.3.2 Metais de Adição.....	21
2.4. Calorímetro.....	21

2.4.1 Calorímetro de Água.....	21
2.4.2 Calorímetro de Nitrogênio Líquido (N2L).....	23
2.5 Análise Macrográfica do Cordão de Solda.....	24
3. METODOLOGIA.....	25
3.1 Equipamentos Utilizados para Soldagem TIG.....	25
3.1.1 Descrição do calorímetro utilizado.....	26
3.1.2 Fontes de Erro no Calorímetro de Água.....	27
3.2 Procedimentos Experimentais.....	28
3.2.1 Bolha de Ar.....	32
3.2.2 Vazão de Água.....	32
4. RESULTADOS.....	33
5.CONCLUSÕES.....	37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

1.INTRODUÇÃO

Os processos de soldagem, de forma geral, são diversificados. Isso ocorre em consequência da variação de parâmetros elétricos ou do uso de outros métodos para realização da solda, tendo assim, uma eficiência produtiva ampla e variável. Dessa forma, torna-se cada vez maior a preocupação com estudos sobre o aporte térmico em soldas. O rendimento térmico é o principal parâmetro avaliado durante estudos térmicos em soldagens, entretanto, o comportamento do fluxo de calor proveniente da solda é pouco estudado.

Para fundir um metal que está na temperatura ambiente, é necessário fornecer uma quantidade de energia suficiente para que o metal sólido atinja seu ponto de fusão, alterando assim, as propriedades mecânicas da junta. O estudo de como se comporta o fluxo de calor imposto pelo processo de soldagem ajuda a prever o comportamento da solda em serviço. Américo Scotti[1],(p.5-8), mostra que variações na espessura do metal base influenciam o comportamento do fluxo de calor dentro da chapa metálica. Essa influência é justificada pelo fenômeno da condução.

O presente trabalho faz uso da técnica de medição do calor efetivo por meio do uso de um calorímetro de fluxo de água. A variação dos parâmetros de soldagem não é de fundamental importância neste momento, mas sim a comparação macrográfica entre uma chapa fina exposta ao calorímetro e uma chapa grossa não exposta ao calorímetro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Processos de Soldagem

Segundo Houldcroft, 1979, todos os processos de soldagem devem preencher 4 requisitos:

- (1) Fornecer energia suficiente para criar uma união por fusão ou por pressão.
- (2) Um mecanismo para remover contaminações na superfície da junta.
- (3) Evitar contaminação da região pelo ar atmosférico durante a soldagem.
- (4) Ter controle metalúrgico da solda que está sendo formada.

A soldagem é utilizada para unir materiais de forma permanente e, para que isso ocorra, é necessário o uso de uma fonte de energia que proporcione o calor necessário para que a superfície de dois corpos em contato alcance um estado de fusão. A região em contato é denominada de junta e nessa região, as propriedades metalúrgicas são alteradas e se diferem das propriedades do material que foi unido, isso ocorre em decorrência da grande quantidade de calor introduzido durante a solda. A junta é a responsável por fornecer resistência e coesão à união formada pelo processo de solda.

Um dos grandes problemas da soldagem é a reação do metal que está sendo soldado, com o ambiente, devido ao aumento local de temperatura. Assim, os métodos utilizados para proteger a solda da atmosfera ajudam a distinguir os processos. As técnicas variam desde ferramentas que formam uma escória protetora por cima da solda, até a utilização de uma mistura de gases, os quais ajudam a manter a região a ser unida com uma menor contaminação.

2.1.1 Soldagem GTAW (TIG)

Uma das técnicas mais comuns de soldagem é conhecida como soldagem TIG (“Tungsten Inert Gas”), sigla americana e comumente utilizada no Brasil. O modo de operação TIG pode ser manual, semiautomático ou automático [Machado, 1966]. Esse processo de

soldagem foi desenvolvido com a intenção de realizar soldas de alta qualidade que mantenham baixo teor de hidrogênio e boa estanqueidade. Apesar da soldagem TIG não ser recomendada em juntas espessas, a necessidade de soldas que possuam alta qualidade fez com que ela fosse empregada em juntas mais grossas ou em passe de raiz.

Em termos gerais, a soldagem TIG é um processo de soldagem a arco que utiliza um eletrodo não consumível de tungstênio. O eletrodo é responsável por formar um circuito elétrico, servindo de cátodo ou ânodo. Assim, ele realiza a fusão do metal através do aquecimento superficial da junta.

Nos trabalhos com TIG, a solda pode ser realizada com ou sem material de adição e, na maioria das vezes, o material de adição é inserido manualmente. Esse processo de soldagem também é caracterizado pela utilização de um gás de proteção inerte em circunstâncias normais. Esses gases possuem alta pureza (99,99%), determinando a boa qualidade da solda.

2.2 EQUIPAMENTOS

2.2.1 Tochas

As tochas, que desempenham o papel de conduzir o gás de proteção até o arco, são diferenciadas de acordo com seu mecanismo de refrigeração. Tochas refrigeradas a água, utilizam usualmente um circuito fechado para promover a refrigeração. Assim, nesse tipo de ferramenta, pode-se empregar uma corrente de até 1000 Amperes. Já tochas refrigeradas a gás, alcançam a temperatura adequada através do resfriamento causado pelo próprio gás de proteção. Tais tochas, estão limitadas a uma corrente máxima de aproximadamente 200 A.

2.2.2 Pinças ou mandril

As pinças são responsáveis por fixar os eletrodos. Assim, um contato adequado entre o eletrodo e a parte interna do mandril, é fundamental para uma transmissão estável de corrente e para promover uma boa refrigeração do eletrodo.

2.2.3 Bocais

O gás de proteção é conduzido para a região de soldagem através de bocais fixados na extremidade da tocha. Esses bocais, representados na Figura 1, são responsáveis por produzir um fluxo laminar do gás de proteção e podem ser fabricados de materiais cerâmicos, metais, metais revestidos com cerâmicos e outros. As características mais importantes dos bocais são as suas dimensões e seus perfis, eles devem ser largos o suficiente para cobrir toda a região onde a solda está ocorrendo e, ao mesmo tempo, devem atender o volume exigido pelo gás.



Figura 1: Bocais para TIG

[Fonte: adaptada de <http://www.acasadasoldas.com.br/>]

2.2.4 Fontes de Energia

As fontes utilizadas nos processos TIG, em geral, são do tipo corrente constante. Essa escolha acontece porque esse processo é comumente empregado de forma manual. Dessa forma, o uso de uma fonte do tipo corrente constante minimiza as variações de corrente ocasionadas por alterações no comprimento do arco durante a soldagem.

As fontes de corrente constante apresentam em sua grande maioria, uma tensão em vazio relativamente alta (entre 55V e 85V). Assim, um valor mais alto da tensão em vazio facilita a

abertura do arco, apesar de representar maior risco ao soldador. O termo “Slope” é usualmente utilizado para designar a inclinação da curva característica da fonte, mostrada na Figura 2, no trecho correspondente as condições operacionais.

A fonte adequada para o processo GTAW(TIG) dependerá do tipo de corrente que será utilizada no processo, incluindo-se correntes senoidais, correntes de onda quadrada, corrente contínua e contínua pulsada.

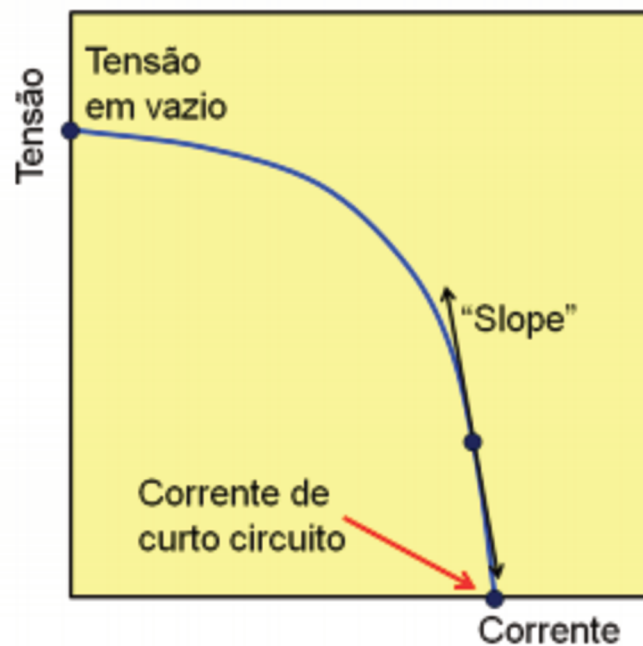


Figura 2: Curva Característica Estática da Fonte do tipo Corrente Constante
(Fonte: <http://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/fontes.pdf>)

2.2.4.1 corrente contínua

Em corrente contínua, na maioria dos casos se utiliza a polaridade DCEN (Direct current electrode negative), onde os elétrons fluem do eletrodo para a peça e os íons no sentido contrário. Isso faz com que 70% do calor fique contido na peça e 30% no eletrodo. A polaridade DCEN além de preservar a ponta do eletrodo, provê maior penetração. Em utilizações onde a limpeza catódica for importante, a DCEP (Direct current electrode positive) pode ser utilizada, essa polaridade é inversa a DCEN, com os elétrons fluindo da peça para o eletrodo. A limpeza catódica é prioridade na soldagem de materiais que possuem óxidos refratários, como alumínio e magnésio.

2.2.4.2 corrente contínua pulsada

A corrente pulsada é caracterizada por uma variação repetitiva da intensidade da corrente do arco, oscilando entre um valor máximo e mínimo. Além disso, é mantido controle sobre o tempo do pulso, nível mínimo da corrente e nível máximo da corrente. A principal vantagem da corrente pulsada é permitir a união de boa penetração com continuidade na fusão do material. Outra vantagem é o aumento na estabilidade da solda propiciado pela maior estabilidade do arco.

2.2.4.3 corrente alternada

A corrente alternada consiste na variação do sentido das cargas ao longo do tempo, ao contrário da corrente contínua, cujo sentido permanece o mesmo. A forma representativa desse tipo de onda é senoidal. Além disso, enquanto a corrente contínua é composta por polos negativo e positivo fixos, a corrente alternada é composta por fases.

Essa corrente é extremamente útil em GTAW, pois combina a limpeza catódica, necessária em materiais refratários, com a penetração mais profunda. Em contrapartida, alguns problemas com a estabilização do arco podem ser encontrados durante o uso desse tipo de corrente. Eles ocorrem por causa da inércia na mudança de direção dos elétrons. Esse atraso pode ser minimizado fazendo-se uso de fontes de alta tensão em circuito aberto, capacitores para descarga, utilização de velas ou utilização de ondas quadradas.

2.2.5 Eletrodos

O eletrodo empregado na soldagem TIG é o de tungstênio. Atualmente, o tungstênio é o metal que apresenta maior ponto de fusão dentre todos os metais. Na fabricação do eletrodo, o material pode ser puro (99% tungstênio) ou com ligas de tório, cério e zircônio.

2.2.5.1 eletrodos de tungstênio puro

Os eletrodos puros são utilizados com corrente alternada, pois mantém uma extremidade limpa que possibilita estabilidade do arco.

2.2.5.2 eletrodos ligados

Os eletrodos com óxido de tório são constituídos por 1% ou 2% deste material, sendo classificados como EWTh-1 e EWTh-2. A tória permite realizar operações em correntes mais elevadas, isso é possível em virtude do incremento na emissividade termoiônica do tungstênio. Esses eletrodos são bons para a soldagem de aços, por manterem um perfil fino da ponta durante a solda. Por outro lado, quando a soldagem acontece com corrente alternada, tornam-se deficientes, pois não conseguem manter a extremidade arredondada.

Os eletrodos com óxido de cério (EWCe-2) se assemelham aos eletrodos com tória, além disso, a céria possui a vantagem de não ser radioativa. Já os eletrodos com óxido de zircônio (EWZr) possuem características intermediárias entre os eletrodos puros e os torinados, sendo mais utilizados em soldagens com corrente alternada, pois combinam estabilidade com a ponta arredondada do eletrodo puro. Os demais eletrodos não classificados acima, são designados como EWG, contendo quantidade não especificada de uma adição.

2.2.5.3 preparação do eletrodo

De acordo com o tipo de corrente utilizada na soldagem e com o diâmetro do eletrodo, faz-se necessário uma preparação prévia. Essa operação de configuração da ponta do eletrodo pode ocorrer antes e durante a soldagem, pois avarias na extremidade do eletrodo são comuns durante a solda. A preparação pode ser realizada por afiação química, esmerilamento e arredondamento.

2.2.5.3.1 arredondamento

A preparação por arredondamento é usualmente utilizada em processos que trabalham com corrente alternada, sendo realizada pela abertura de um arco sobre um bloco de cobre refrigerado a água. Em seguida, a intensidade da corrente é aumentada até que a ponta do eletrodo se torne branca com o calor, gerando a fusão do tungstênio e formando uma pequena bola na extremidade.

2.2.5.3.2 esmerilamento

Para aumentar a estabilidade do arco, as pontas cônicas dos eletrodos devem ser obtidas a partir do esmerilamento, com o eletrodo perpendicular ao eixo do rebolo. O rebolo deve ser exclusivo para essa operação e, assim, busca evitar contaminações do eletrodo.

2.2.5.3.3 afiação química

A afiação química é realizada por meio da submersão da ponta do eletrodo em um recipiente com nitrato de sódio. A reação química causa uma erosão pontual em torno da extremidade do eletrodo.

2.3 Consumíveis

2.3.1 Gases de Proteção

O gás de proteção é armazenado em cilindros de alta pressão, os quais possuem reguladores de vazão na saída. A vazão de gás é dependente da velocidade em que a solda esta ocorrendo, das condições de ventilação do ambiente de trabalho, da distância do bocal à peça e, principalmente, da posição de soldagem. Assim, a vazão através do bocal deve ser suficiente para proteger a solda contra o ar atmosférico.

Os tipos de gases mais utilizados são o argônio, hélio e a mistura de ambos, além de misturas com hidrogênio e nitrogênio.

2.3.1.1 Argônio

O argônio usado em soldagens possui uma pureza de 99,95%, podendo ser utilizado com a maioria dos metais. O argônio é mais empregado do que o gás hélio devido à algumas peculiaridades, tais como:

- Possibilita um arco mais suave
- Penetração reduzida
- Baixo custo e alta disponibilidade
- Maior resistência a ventos cruzados
- Facilita a abertura do arco

A penetração reduzida é desejável na soldagem de chapas mais finas ou soldagens verticais.

2.3.1.2 *hélio*

O gás Hélio transmite maior calor do que o gás argônio e, por isto, acaba se tornando importante na soldagem de peças mais espessas ou de materiais com alta condutividade térmica.

Uma das principais propriedades do gás de proteção é a sua densidade. Nesse contexto, o argônio possui uma densidade cerca de 10 vezes maior do que a do hélio, formando uma camada consistente em torno da solda. Em contrapartida, o hélio, por ser leve, tende a subir em torno do bocal. Assim, para ter uma proteção adequada, ao se usar hélio, deve-se ter uma vazão pelo menos duas vezes superior a vazão de argônio.

As principais características ao se usar gás Hélio estão relacionadas com:

- Boa penetração
- Alta condutividade térmica
- Alto potencial de ionização
- Permite maior velocidade de soldagem, sendo assim, maior produtividade.

Características intermediárias podem ser alcançadas por meio da mistura dos dois gases.

2.3.2 Metais de Adição

Os metais de adição em processos TIG, quando utilizados, devem ser semelhantes ao metal base. Esses metais são produzidos com pleno controle sobre os constituintes. Dessa forma, algumas composições são feitas para terem uma resposta melhor a tratamentos térmicos posteriores à solda. O material de adição é escolhido de acordo com a compatibilidade metalúrgica, com as propriedades mecânicas e com os custos.

Normalmente, os metais de adição, representados na Figura 3, são empregados de forma manual, entretanto, o processo automatizado também é bastante utilizado, pois padroniza o cordão de solda formado. As condições do ambiente, posição da solda e a produtividade são fatores que ajudam a definir como o metal será adicionado.



Figura 3 : Varetas de adição
[Adaptado de ESAB, 2014].

2.4. Calorímetro

Os calorímetros são ferramentas que possibilitam a resolução experimental de problemas relacionados ao aporte térmico durante a soldagem. Esses instrumentos quantificam o calor transferido em um processo térmico, técnica denominada calorimetria. Eles podem apresentar diversas formas de operação, embora possuam a mesma finalidade. Existem dois tipos básicos e mais utilizados de calorímetros, o calorímetro de água e o calorímetro de nitrogênio líquido.

2.4.1 Calorímetro de Água

O calorímetro de água é um dos equipamentos mais comuns em estudos relacionados à transferência de calor. O princípio de funcionamento desse instrumento é baseado no resfriamento contínuo do corpo de prova com água. Essers e Walter (1981) foram um dos primeiros a utilizar o calorímetro de água, representado na Figura 4, mantendo uma chapa metálica parcialmente imersa em água. Ao decorrer do experimento, a água era agitada por um agitador com a finalidade de garantir a homogeneização da temperatura da água.

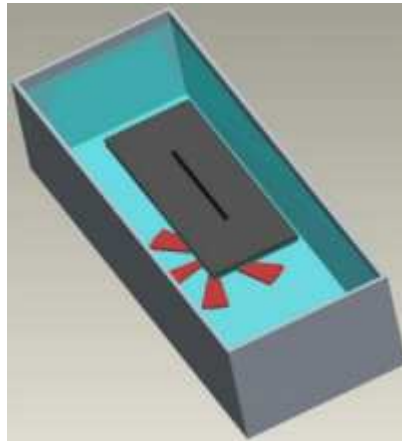


Figura 4: Esquema representativo do Calorímetro de resfriamento contínuo
[Fonte: Essers e Walter, 1981].

Lu e Kou, 1989, diferentemente dos autores anteriores, construíram um calorímetro com escoamento contínuo de água, determinando a temperatura de entrada e de saída da água por meio de termopares. O fluxo de água ficava diretamente em contato com uma placa de aço, a qual foi montada em cima de uma caixa metálica. A Figura 5 demonstra esse calorímetro.

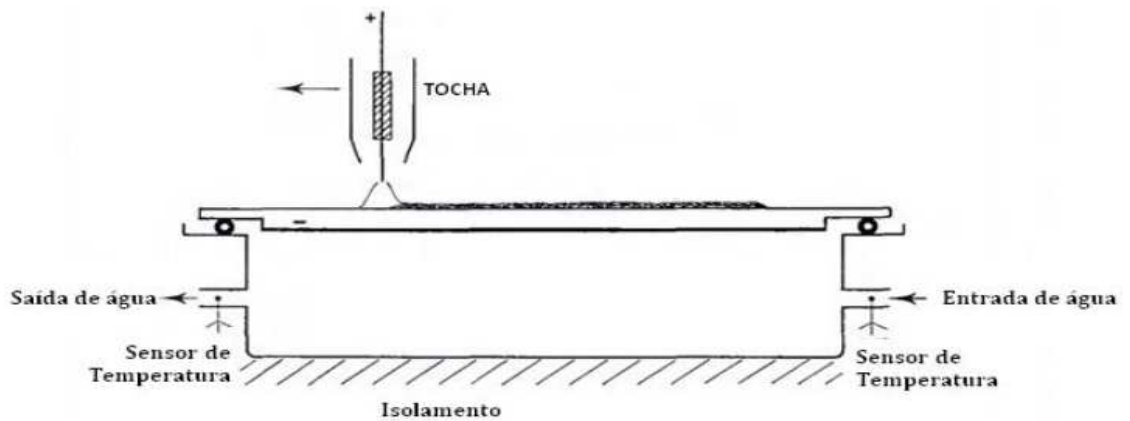


Figura 5: Calorímetro com fluxo contínuo de água
[adaptado de Lu e Kou, 1989].

2.4.2 Calorímetro de Nitrogênio Líquido (N2L)

O calorímetro de nitrogênio líquido, mostrado na Figura 6, assim como o de fluxo de água, é amplamente utilizado na calorimetria. Ele consiste em transferir o calor absorvido pela

chapa para o nitrogênio líquido durante a formação do cordão de solda. Dessa forma, o contato da placa com o nitrogênio no estado líquido faz com que uma parcela desse composto entre em ebulição e cause uma diferença na massa total de nitrogênio. A energia associada à mudança de fase pode ser avaliada como energia perdida pela chapa, sendo a análise calorimetria baseada na massa perdida de N₂L.

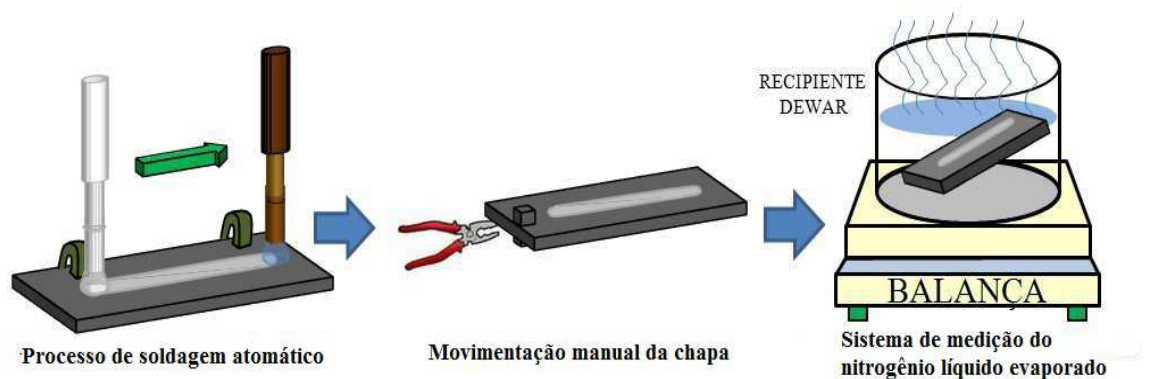


Figura 6: Esquema do calorímetro de nitrogênio líquido e de medição da massa do N₂L evaporada
Fonte: (AREVALO, 2011).

2.5 Análise Macrográfica do Cordão de Solda

O ensaio de macrografia se baseia na verificação de uma superfície plana utilizando uma ampliação de no máximo 10 vezes. A superfície deve ser preparada por meio de lixamento e, posteriormente, pode ser atacada por uma substância que reage com a área lixada, revelando detalhes macrográficos da junta soldada.

A análise macrográfica da solda ensaiada consegue detalhar propriedades como a zona afetada pelo calor (ZAC) e a área fundida. A ZAC representa um volume de material próximo à solda, em que as propriedades do metal foram alteradas pelo calor. Tendo em vista que o processo de solda exige aquecimento das duas peças, a formação da zona afetada pelo calor é inevitável. Já a área fundida, é uma região que representa o local em que o metal foi fundido.

A verificação de parâmetros como ZAC e área fundida é imprescindível, pois são conceitos fundamentais para prever o comportamento da solda em serviço.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi baseado na comparação da zona afetada pelo calor (ZAC) e da área fundida de duas chapas com espessuras diferentes. O processo de soldagem foi realizado mantendo os mesmos parâmetros para as duas chapas.

3.1 Equipamentos Utilizados para Soldagem TIG

A fonte utilizada no experimento foi a IMC Digiplus A7, representada na Figura 7. Esse modelo conta com diversas modalidades de soldagem e possui um elevado desempenho no controle do arco. A interface com o usuário é feita por um painel de comando em português.



Figura 7 : IMC Digiplus A7.

[Fonte:<http://www.imc-soldagem.com.br>]

A realização de experimentos com soldagens manuais aumenta os erros relacionados à repetibilidade dos testes. Os problemas ocorrem, devido a alterações no posicionamento do soldador, na velocidade de soldagem e no comprimento do cordão de solda. Diante disso, para garantir maior controle sobre os testes, foi utilizado um mecanismo automatizado de movimento da tocha.

O mecanismo mostrado na Figura 8 mantém a velocidade de soldagem constante, mantém o mesmo posicionamento da tocha durante a soldagem e garante maior controle sobre o início e sobre o fim do processo.



Figura 8: Mecanismo utilizado

Para auxiliar no controle de vazão do gás de proteção, reguladores, mostrados na Figura 9, são empregados juntamente ao cilindro. O gás de proteção utilizado foi o argônio.



Figura 9: Regulador de argônio.

Fonte: adaptado de infosolda.com.br

3.1.1 Descrição do calorímetro utilizado

Neste trabalho, o instrumento escolhido para realizar os testes foi o calorímetro de fluxo contínuo de água, representado na Figura 10, o qual é formado por componentes como: trocador de calor (calorímetro), reservatório de água, sistema de aquisição de dados e mangueiras.

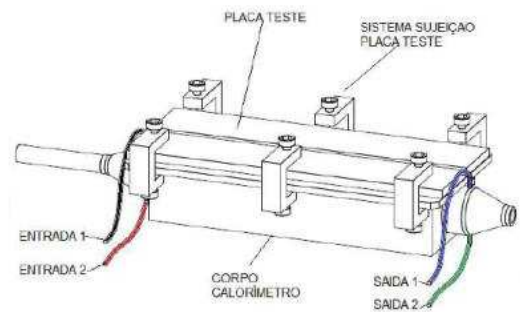


Figura 10: Calorímetro de água utilizado.

Fonte: adaptado de AREVALO, 2011

O calorímetro de possui o mesmo princípio de funcionamento de alguns trocadores de calor, em que a placa teste separa o fluido frio (água) e a superfície quente (ponta do eletrodo). Assim, quando a soldagem é iniciada, o calor absorvido pela placa teste, durante a movimentação da tocha é transferido para o fluido frio. Dentro do calorímetro o fluxo de água é responsável por levar parte do calor transferido para fora. Termopares instalados na entrada e na saída são encarregados de gerar sinais elétricos representantes da temperatura da água em diversos instantes. A partir disso, a diferença de temperatura entre a entrada e a saída é responsável por quantificar a energia imposta durante a soldagem.

Para alimentar o fluxo de água que circula no calorímetro, foi necessário utilizar um reservatório com capacidade de 30L. O sistema é composto pela alimentação principal de água, pela saída ladrão e pela saída para alimentação do calorímetro. O fornecimento de água para o reservatório foi feito por meio de uma fonte externa de água. A saída ladrão (Figura 11, seta amarela) ajuda a estabilizar o nível do reservatório ao retirar o excesso de água. Na saída de alimentação do calorímetro, uma válvula de esfera foi instalada para auxiliar no controle de vazão.

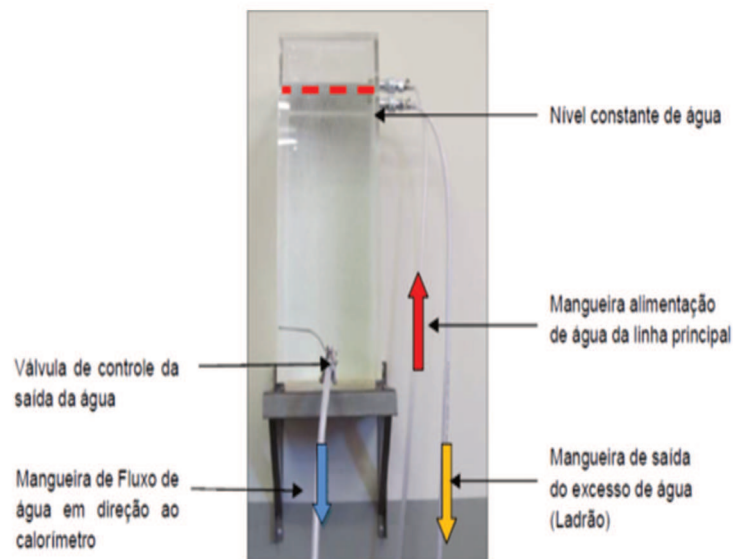


Figura 11: Reservatório de fluido frio (água)

[Fonte: AREVALO, 2011]

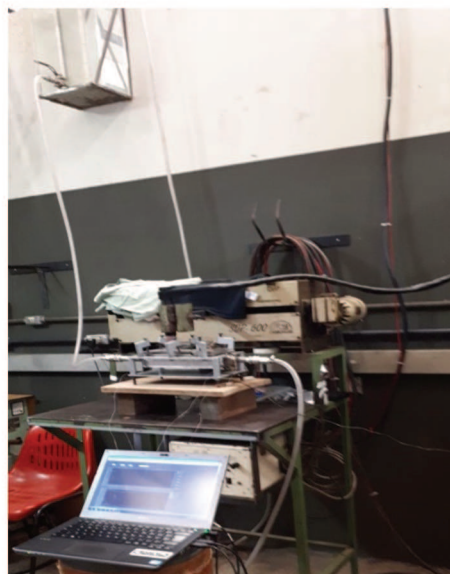


Figura 12: Montagem do sistema

3.1.2 Fontes de Erro no Calorímetro de Água

Sabe-se que a quantidade de calor introduzido durante os processos de soldagem é de fundamental importância para analisar as propriedades mecânicas da junta soldada. Sendo assim, ressaltar e discutir erros sobre os testes realizados para mensuração do calor introduzido também se torna igualmente importante em virtude dos desvios que esses erros podem introduzir nas medições. Os erros encontram-se distribuídos em intrínsecos, aleatórios e sistemáticos. Erros intrínsecos estão relacionados ao sistema experimental em geral, tais como: disposição espacial do instrumento de medição, material que compõe o instrumento e dimensão dos componentes do instrumento. Erros aleatórios apontam para uma variabilidade não esperada durante a experimentação, e estão relacionados à repetitividade do experimento. Erros sistemáticos são erros que ocorrem devido às limitações humanas, físicas ou do instrumento. Assim, erros de medição estarão sempre presentes, e o estudo de tais erros é relevante, devendo ser levado em consideração nos resultados finais de qualquer trabalho.

O calorímetro de fluxo de água apresenta erros intrínsecos relacionados ao comprimento do cordão de solda, tendo em vista que os cordões de solda maiores transferem mais energia, mas também possibilitam que haja tempo para uma maior perda de calor para o ambiente. Erros intrínsecos também estão ligados à posição do cordão de solda na chapa, em relação às arestas de início e fim da chapa. Cordões de solda realizados mais próximos a quinas podem alterar significativamente a quantidade de calor absorvido, isso ocorre em virtude da proximidade do cordão com o final da chapa, ou seja, o calor possui menos “espaço” e, conseqüentemente, menos tempo para se difundir no material.

Os erros aleatórios estão relacionados à repetitividade do sistema de aquisição e às condições ambientais do experimento. Fica evidente que se torna difícil repetir as condições ambientais em todos os testes realizados, principalmente a temperatura ambiente, pois alguns testes foram concretizados em dias e horários diferentes. Outra variável importante trata-se da temperatura da água que entra no calorímetro. A água é coletada direto do sistema hídrico da cidade e não passa por nenhum tratamento térmico para a homogeneização da temperatura. Sendo assim, a temperatura da água varia muito e pode ocasionar erros.

Os erros sistemáticos encontram-se presentes e estão relacionados, principalmente, as medições de temperatura efetuada pelos termopares, pois os mesmos são muito sensíveis a variações de temperatura do ambiente, isso pode causar picos ou vales indesejáveis nas

medições. Outro fator importante, cabe ao fato de que pode haver pequenos vazamentos de água durante a experimentação, isso ocorre devido à dificuldade em se isolar o compartimento com água. O problema com vazamento é grave, pois a água quando vaza do compartimento, leva consigo parte do calor obtido pelo processo de solda.

3.2 Procedimentos Experimentais

Para montagem da bancada experimental, o primeiro passo foi colocar o calorímetro em cima de uma mesa metálica plana e lisa. Em seguida, os termopares foram fixados com silicone nos dutos do calorímetro, para depois serem conectados à placa de aquisição de sinais. Com o auxílio de um notebook, a placa de aquisição de sinais, representada pela Figura 13, foi instalada e testada utilizando o software LabView.



Figura 13: Placa de aquisição de sinais

Foram empregadas, a seguir, mangueiras comuns, com o intuito de realizar a conexão entre o reservatório com água e o calorímetro. O mesmo tipo de mangueira foi utilizado para conectar a saída dreno e a alimentação do reservatório.

Para realizar testes nas conexões, após atingir um bom nível de água no reservatório, a válvula de esfera foi aberta e a água passou a circular no calorímetro. Foram notados alguns vazamentos nos locais onde a pressão exercida pelos parafusos para fixar a placa era menor,

sabendo disso, a solução encontrada foi fazer a troca da borracha de vedação do calorímetro e reapertar os parafusos de fixação.

3.2.1 Bolha de Ar

Durante os testes realizados sem solda, verificou-se que em alguns uma bolha de ar se formava logo em baixo da placa teste, dentro do recipiente de água do calorímetro, podendo comprometer a transferência de calor. Com isso, a solução encontrada foi inclinar o calorímetro de água durante o enchimento do recipiente. Para favorecer a troca de calor entre a placa e a água durante a soldagem e ajudar na eliminação das bolhas, uma cantoneira foi colocada dentro do recipiente de água do calorímetro, pois o fluxo de água, ao passar pela cantoneira, gera turbulência.

3.2.2 Vazão de Água

No presente trabalho, a vazão de água que passa pelo calorímetro de fluxo contínuo é estimada por meio da vazão da mangueira de saída do equipamento. Para realizar a estimativa, foi utilizado um béquer com capacidade de 1 litro e um cronômetro digital.

O ajuste da vazão ocorreu através da válvula de esfera instalada na saída do reservatório de água, como mostra a Figura 14. Vale ressaltar que o reservatório teve seu nível de água mantido constante durante os experimentos, em virtude do bom ajuste realizado pela válvula e também em função do equilíbrio encontrado entre a vazão de fornecimento e a de saída no ladrão.

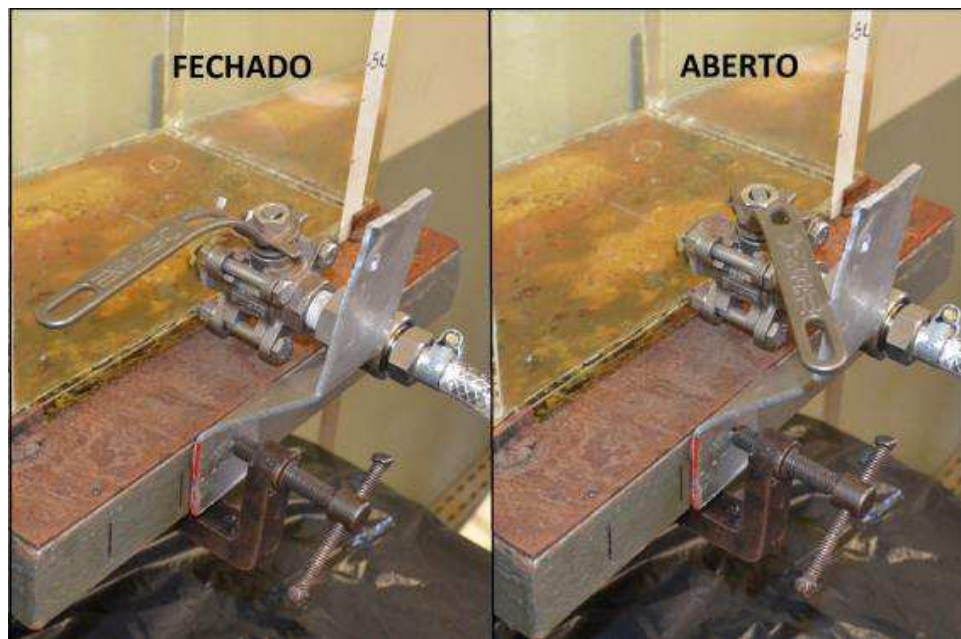


Figura 14: Válvula de esfera no reservatório.

4. RESULTADOS

Para se estudar o efeito da carga térmica sobre a área fundida e sobre a área afetada pelo calor (ZAC), utilizou-se o processo TIG. As soldas foram realizadas sem metais de adição. A escolha desse processo deu-se devido ao fato de que poucos estudos foram realizados a respeito do fluxo térmico em chapas soldadas por essa técnica. Assim, para avaliar o impacto da espessura da placa sobre o fluxo térmico, duas chapas foram usadas na mesma faixa de corrente e de tensão. As dimensões das placas de teste (aço comum) foram de 200x100x6,35 mm e 200x100x9 mm, sendo a de 6,35 mm exposta ao calorímetro e a de 9 mm não. Foram utilizadas duas distâncias eletrodo peça (DEP), 2 mm e 4 mm, porém os parâmetros elétricos foram ajustados de forma a gerar a mesma potência em ambos os casos.

Depois de finalizadas as soldagens, foram feitos cortes transversais nas placas ao longo de cada cordão. Em seguida, as amostras foram lixadas e atacadas. Sobre as macrografias foram feitas medidas da penetração linear do cordão, da largura, da área fundida e da zona afetada pelo calor (ZAC).

As Figuras 15 e 16 ilustram os perfis em cada caso. Conforme a Tabela 2, houve uma queda de penetração com o aumento da DEP. Dois pontos podem justificar esse resultado. O primeiro ocorre em virtude do maior afastamento gerado entre o eletrodo e a peça, resultando assim, em um menor comprimento de influência do arco sobre a fusão do metal na direção vertical. Já o segundo seria a diminuição da corrente. Isso sugere que a tensão não possui grande influência sobre a região fundida.

Comparando os resultados obtidos para largura do cordão, pode-se observar um aumento desse valor para as duas placas (6,35 mm e 9 mm). Isso pode ser justificado, devido ao maior alcance horizontal do arco na superfície de fusão gerado em virtude do maior afastamento entre o eletrodo e a peça (aumento da DEP). Outro fator que pode provocar variações na largura do cordão é a instabilidade do arco elétrico. Esta faz com que exista deslocamentos laterais do arco e, conseqüentemente, maiores larguras são fundidas na zona de fusão.

A respeito da área fundida, pode-se considerar que os valores são os mesmos para as 4 chapas, com ou sem a presença do calorímetro, demonstrando que as condições de resfriamento ou espessura da chapa não influenciam na região fundida. Esse comportamento pode ser

explicado, pois o calor gerado em uma área pequena faz com que a fusão aconteça com maior velocidade e, assim, fatores externos como a água, a espessura do material e o ambiente não influenciem na zona fundida. Resultados concordantes foram encontrados por Américo Scotti [1].

Seria de se esperar uma grande diferença relacionada a zona afetada pelo calor (ZAC) entre os testes realizados, no entanto, os valores encontrados também ficaram próximos, como mostra a Tabela 2. Pode-se considerar que, para essa região da solda, os fatores como a água e a espessura da chapa começam a ter uma pequena influência sobre a zona afetada, mas de maneira ínfima.

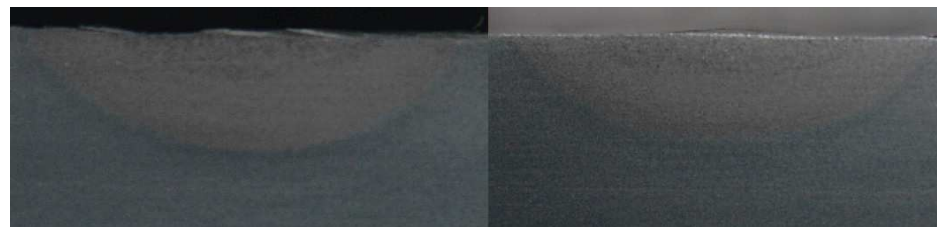


Figura 15: Placa de 6,35 mm

DEP de 2 mm

DEP de 4 mm

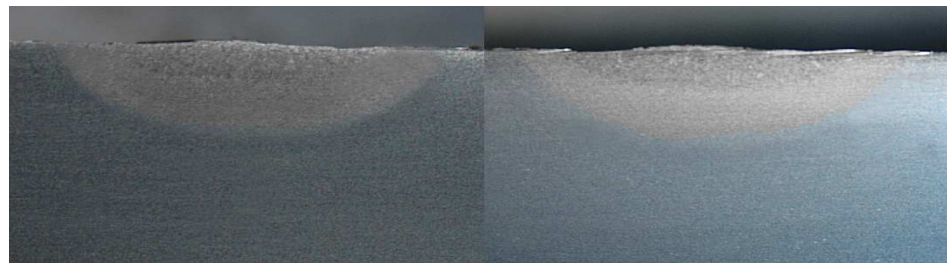


Figura 16: Placa de 9 m

DEP de 2 mm

DEP de 4 mm

Placa (mm)	DEP (mm)	U (V)	I (A)	Potência (W)
6,35	2	12	212	2544
	4	14	180	2520
9	2	12	213	2556
	4	14	180	2520

Tabela 1: Parâmetros elétricos.

Placa (mm)	DEP (mm)	Penetração (mm)	Largura (mm)	Área fundida (mm ²)	Área ZAC (mm ²)
6,35	2	1,29	6,31	14,1	19,14
	4	1,06	6,59	13,9	17,85
9	2	1,27	6,27	14,11	18,87
	4	1,05	6,52	13,42	17,91

Tabela 2: Resultados macrográficos.

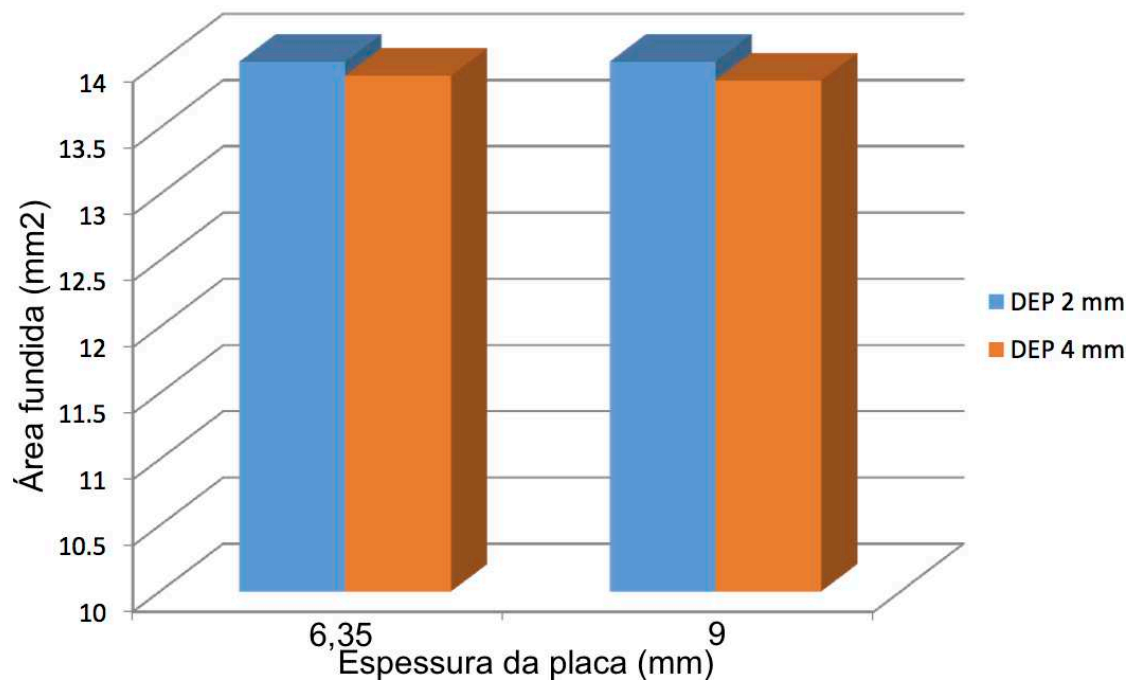


Figura17: Gráfico da área fundida.

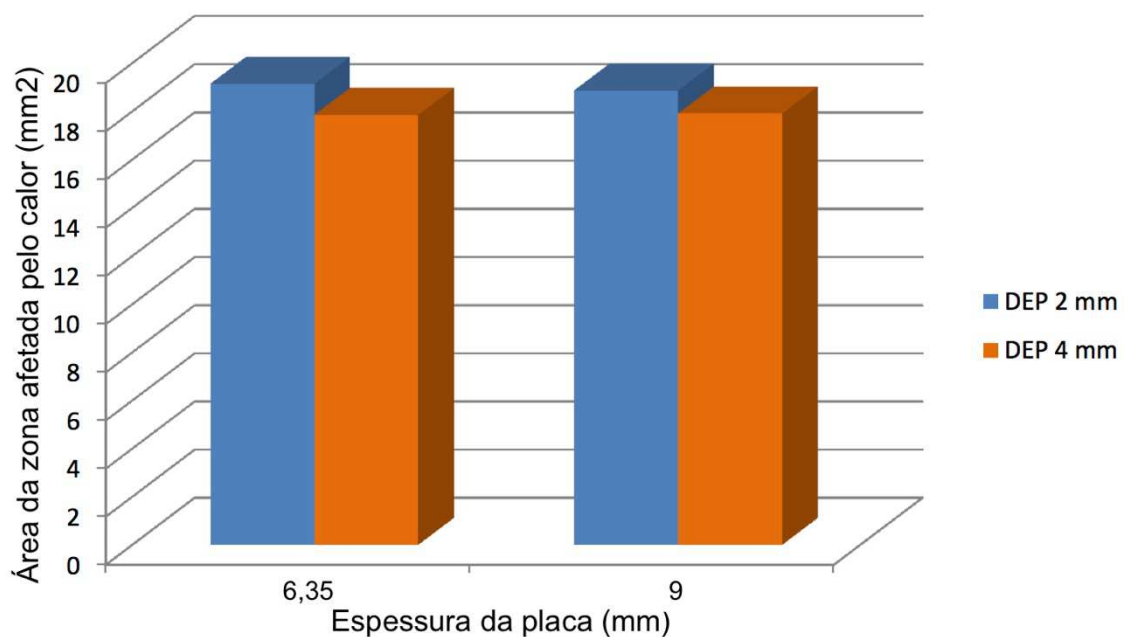


Figura 18: Gráfico da ZAC.

Em resumo, pode-se dizer que não houve alteração significativa para os resultados de área fundida e de zona afetada pelo calor, mostrando que o calorímetro e a espessura da placa não alteram, de forma primordial, as propriedades da solda. Além disso, pode-se considerar que a corrente de trabalho foi a principal causadora das alterações na penetração da solda. Isso pode ser explicado, devido ao fato de que, na soldagem, diferentemente do comportamento elétrico em uma resistência, a tensão e a corrente não possuem o mesmo “peso”. Na soldagem, não existe resistência elétrica, existe um arco composto por três zonas: área catódica, coluna e área anódica. As regiões catódicas e anódicas formam duas películas, mas, apenas uma contribui para a fusão do material, sendo essa, alterada pela corrente e não pela tensão. A tensão, assim como a corrente, também se divide nas três zonas do arco, no entanto, a tensão na película anódica não muda. Sabendo-se disso, gerar um aumento de tensão pode causar apenas um aumento das perdas de calor na coluna e na região catódica.

5.CONCLUSÕES

As principais conclusões sobre a influência do calorímetro e da espessura da placa em soldas TIG apontadas ao longo do presente trabalho são:

- O trabalho desenvolvido mostrou que a propriedade elétrica de maior influencia sobre a penetração da solda é a corrente.
- O calorímetro de água e a espessura da placa não demonstraram influencia sobre a zona fundida.
- Pequenas alterações na zona afetada pelo calor foram observadas, demonstrando que a água e a espessura da placa podem influenciar essa região.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] EDSON Kazuo Hirata, Luiz Felipe Beltzac, Paulo César Okimoto & Américo Scotti (2016) Influence of current on the gross fusion efficiency in MIG/MAG welding, *Welding International*, 30:7, 504-511, DOI: 10.1080/09507116.2015.1096504

[2]SCOTTI A, Rodrigues CEAL. Determination of momentum as a mean of quantifying the mechanical energy delivered by droplets during MIG/MAG welding. *Eur. Phys. J. Appl. Phys.* **2009**;45:p1–p8, 11201. doi:10.1051/epjap:2008196 (ISSN 1286-0042; e-ISSN 1286-0050).

Menezes P. Adição de hidrogênio em gases de proteção convencionais na soldagem GMAW. 2016.Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense.

AREVALO, H. H. **Desenvolvimento e Avaliação de Bancada Experimental para Calorimetria via Nitrogênio Líquido e Fluxo Contínuo (Água) em Processos de Soldagem**. 2011. 145p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia – MG, Brasil

<http://guias.oxigenio.com/guia-de-soldagem-do-processo-tig-acdc-e-dc>

<http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/fundamentos/111-gases-de-protecao.html>

<http://asmtreinamentos.com.br/downloads/soldador/arquivo40.pdf>

<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfaikAH/ivan-guerra-machado-soldagem-tecnicas-conexas-processos>

<http://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/fontes.pdf>