

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE ENGENHARIAS DA MOBILIDADE  
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

VANESSA GUIMARÃES SOARES DE MENEZES

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE TÉCNICAS DE ALIMENTAÇÃO DE ARAME  
NO PROCESSO TIG**

Joinville

2016

VANESSA GUIMARÃES SOARES DE MENEZES

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE TÉCNICAS DE ALIMENTAÇÃO DE ARAME  
NO PROCESSO TIG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial obtenção do título de bacharel em Engenharia Naval no curso de Engenharia Naval, da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Vieira da Cunha

Joinville

2016

## **AGRADECIMENTOS**

A minha mãe, Ana Lúcia e ao meu pai, Antônio por tudo que sempre fizeram por mim, devo a eles toda a minha formação como pessoa.

Ao meu amado Luiz Fernando que me apoiou durante todo o meu percurso e nunca deixou de acreditar em meus sonhos.

A minha amiga, Viviane Lilian Soethe, que desde o início de minha carreira acadêmica nunca me deixou duvidar do meu potencial.

A professora Carolina Brandão pela oportunidade do intercâmbio na França.

Ao meu orientador Tiago Vieira da Cunha pela paciência e dedicação na realização deste trabalho.

Aos professores e servidores da UFSC/CEM. A disposição e dedicação destes profissionais durante o período de graduação foram essenciais no processo de formação de um profissional completo, o qual contempla conhecimento técnico e aspectos de responsabilidade social.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

## RESUMO

A indústria de petróleo e gás brasileira tem, cada vez mais, intensificado a busca por processos mais eficientes e produtivos a fim de evitar os danos devido à corrosão em superfícies metálicas. Uma das alternativas de minimização deste problema consiste no revestimento dessas superfícies com um material de propriedades anticorrosivas superiores, em relação ao material de base, utilizando um processo de soldagem. Assim, com o intuito de realizar o revestimento de forma adequada é esperado que os cordões de solda possuam características específicas. De modo geral, são esperados cordões de solda mais largos, com baixo reforço, baixa penetração e, sobretudo, baixos percentuais de diluição. Isto, com o intuito de garantir a produtividade exigida pela aplicação e, ao mesmo tempo, que sejam preservadas as características do material do revestimento. Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo analisar duas técnicas de alimentação de arame no processo de soldagem TIG, a saber: TIG convencional e TOP TIG. Essas técnicas diferem entre si, basicamente, pelo ângulo no qual é realizada a adição de material. Enquanto na primeira, o arame é direcionado para o arco voltaico com ângulos de cerca de  $75^\circ$  em relação ao eixo axial do eletrodo de tungstênio, na segunda este ângulo é em torno de  $20^\circ$ . Para execução dos experimentos foram realizados três grupos de ensaios, o primeiro com a técnica TIG convencional e os demais com a técnica TOP TIG. Como resultado, verificou-se que a energia de soldagem influenciou fortemente as características dos cordões de solda. Na técnica convencional obtiveram-se, em média, cordões de menor reforço e penetração e maior largura e diluição que a técnica TOP TIG. A diluição na técnica TOP TIG foi em média de 13%, cerca de 16% menor que na convencional, o que favorece sua aplicação em revestimento metálico. Os resultados indicam que embora os cordões de solda para técnica TOP TIG tenham apresentado valores de diluição promissores, os parâmetros de soldagem ainda precisam ser trabalhados de forma que resultem em cordões de solda de geometria menos convexa.

**Palavras-Chave:** TIG. Técnicas de alimentação de material. Convencional. TOP TIG.

## ABSTRACT

The Brazilian gas and oil industry is increasingly intensified the search for more efficient and productive processes in order to avoid damage due to corrosion on metal surfaces. One approach to minimize this problem is the coating of these surfaces with material superior anticorrosive properties with respect to the base material using a welding process. Thus, in order to carry out coating properly it is expected that the weld beads have some specific features. In general, they are expected wider weld beads with low reinforcement, low penetration and, above all, low dilution percentage. These, in order to ensure productivity required for the application and at the same time, are preserved to the characteristics of the coating material. In this context, this study aims to analyze two wire feeding techniques in the TIG welding process, namely: conventional TIG and TIG TOP. These techniques differ mainly by the angle at which the filler material is held. While at first the wire is directed to the arc at angles of about  $75^\circ$  to the axial length of the tungsten electrode in this second angle is about  $20^\circ$ . It was used a methodology in order to investigate the influence of both TIG techniques on the geometry of the weld bead where to perform the experiments were performed three sets of tests, the first with conventional TIG technique and the other with TIG TOP technique. As a result, it was found that the welding energy strongly influence the characteristics of the weld bead. In the conventional technique is obtained, on average, less reinforcement wires and penetration and wider and dilution TIG TOP technique. Dilution TIG TOP technique was on average 13%, about 16% smaller than conventional, which favors their application to metal plating. These results indicate that although the TIG welds have shown promising technique TOP dilution values, the welding parameters have yet to be worked so as to result in less convex weld beads.

**Key words:** TIG. Technical feed material. Conventional. TOP TIG.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema da diluição em uma solda de revestimento com um único passe .....	14
Figura 2 - Comparação entre o ângulo de alimentação de arame em relação ao eletrodo nas técnicas TOP TIG e TIG Convencional .....	18
Figura 3 - Bancada de ensaios utilizada para a realização dos ensaios. Tocha de soldagem (1), sistema de deslocamento da tocha de soldagem (2), bancada de ensaios (3), sistema de refrigeração (4), fonte de soldagem (5) e sistema tracionador de arame (6). .....	20
Figura 4 - Dispositivo de alimentação de arame desenvolvido para a técnica TOP-TIG .....	21
Figura 5 - Dispositivo de Teflon utilizado para evitar aquecimento demasiado do Conduíte .	22
Figura 6 - Dispositivo utilizado nos ensaios TIG Convencional.....	22
Figura 7 - Grupos de ensaios realizados .....	23
Figura 8 - Aspecto do cordão de solda considerado uniforme que definiu a velocidade de soldagem do primeiro ensaio C1 ( $I_s = 100A$ , $V_a = 0,6\text{mmmin}$ , $V_s = 6\text{cmmin}$ ).....	24
Figura 9 - Corpo de prova cortado transversalmente para obtenção das amostras.....	26
Figura 10 - Medidas geométricas da face do cordão da amostra C3 com o software SolidWorks após ser lixada e atacada com Nital 2% .....	27
Figura 11 - Imagem das faces e cordões de solda das amostras obtidas no primeiro grupo de ensaios .....	28
Figura 12 - Comportamento da velocidade de alimentação de arame em função da corrente de soldagem no primeiro grupo de ensaios .....	29
Figura 13 - Imagem das faces e cordões de solda das amostras obtidas no segundo grupo de ensaios .....	30
Figura 14 - Comportamento da velocidade de alimentação de arame em função da corrente de soldagem no segundo grupo de ensaios.....	30
Figura 15 - Imagem das faces e cordões de solda das amostras obtidas no terceiro grupo de ensaios .....	31
Figura 16 - Comportamento da velocidade de alimentação de arame em função da corrente de soldagem no segundo grupo de ensaios.....	31
Figura 17 – Diluição dos grupos 1, 2 e 3.....	32

Figura 18 – Largura dos grupos 1, 2 e 3.....	33
Figura 19 – Reforço dos grupos 1, 2 e 3.....	34
Figura 20 – Penetração dos grupos 1, 2 e 3.....	34
Figura 21 - Imagem do eletrodo de tungstênio contaminado pelo arame durante ensaios da técnica TOP TIG.....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros fixos de soldagem utilizados nos ensaios .....	23
Tabela 2 - Parâmetros de soldagem do primeiro grupo de ensaios .....	25
Tabela 3 - Parâmetros de soldagem utilizados no segundo grupo de ensaios .....	25
Tabela 4 - Parâmetros de soldagem do terceiro grupo de ensaios.....	25
Tabela 5 - Dimensões geométricas dos cordões de solda das amostras no primeiro grupo de ensaio .....	29
Tabela 6 - Dimensões geométricas dos cordões de solda das amostras do segundo grupo de ensaio.....	30
Tabela 7 - Dimensões geométricas dos cordões de solda das amostras do terceiro grupo de ensaio.....	32



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

- DEP = Distância eletrodo-peça  
Es = Energia estimada de soldagem  
Is = Corrente de soldagem  
L = Largura do cordão de solda  
MAG = Metal Active Gas  
MIG = Metal Inert Gas  
P = Penetração do cordão de solda  
R = Reforço do cordão de solda  
TIG = Tungsten Inert Gas  
Va = Velocidade de alimentação do arame  
Vs = Velocidade de soldagem

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	13
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
4.1 Resultados dos Grupos de Ensaios 1, 2 e 3 .....	28
4.2 Discussão dos resultados .....	32
4.3 Observações dos ensaios em laboratório .....	35
5 CONCLUSÃO.....	37
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	38

## 1 INTRODUÇÃO

O petróleo é a principal fonte de energia no mundo, além de ser uma fonte de matéria prima para as indústrias química e petroquímica. Para o transporte deste fluido é comumente utilizado dutos metálico, que podem alcançar uma longa extensão de até centenas de quilômetros.

Para garantir a manutenção e confiabilidade dessas tubulações, permitindo que elas operem com total segurança ao longo do tempo, torna-se necessário protegê-las contra a corrosão. Os dutos enterrados e submersos, durante seu projeto, construção e operação, ficam sujeitos a problemas que necessitam ser estudados, diagnosticados e resolvidos em curto espaço de tempo para evitar maiores perdas que acarretarão em custos diretos ou indiretos. Esse grande problema diz respeito à corrosão da parede metálica do duto, devido às propriedades do solo e da água (corrosão externa) e a agressividade do fluido transportado (corrosão interna). Por esse motivo torna-se necessário uma série de cuidados para evitar que problemas de corrosão interfiram nas operações de transporte de fluidos por dutos.

Para minimização deste problema, uma das alternativas é a deposição de um material mais nobre sobre essas estruturas metálicas, atuando como uma camada protetora contra o processo corrosivo. Isto porque estruturas compostas inteiramente por materiais resistentes à corrosão são inviáveis para esse tipo de aplicação devido ao seu alto custo.

Para a formação do revestimento sobre essas estruturas, normalmente se faz uso de um processo de soldagem, o que se deve principalmente ao baixo custo envolvido. Existem diversos processos de soldagem que são utilizados para formação do revestimento metálico, buscando-se sempre aquele que traga qualidade aliada à alta produtividade. Um dos processos que vem sendo empregado com sucesso nas aplicações de revestimento é o TIG, em função da alta qualidade de cordão obtida. Contudo, a maior dificuldade no uso desses processos é impedir a mistura do material base com o material do revestimento (diluição), de forma que a proteção contra a corrosão não seja prejudicada. Ao mesmo tempo, deve-se garantir a boa adesão entre o material base e o material do revestimento, impedindo o desprendimento do material adicionado.

Com base no que foi apresentado, fica evidente a necessidade de condução de estudos relacionados à aplicação de revestimentos por soldagem. Isto é de grande interesse, principalmente, para os setores de óleo e gás, onde as instalações estão expostas ao ambiente marinho e ao óleo, substância extremamente corrosiva.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo Geral**

Realizar um estudo comparativo entre as técnicas de alimentação de arame frio no processo TIG Convencional e TOP-TIG quanto às características geométricas dos cordões de solda resultantes com foco nas aplicações de revestimento.

### **Objetivos Específicos**

- ✓ Propor uma metodologia para determinação das variáveis de soldagem envolvidas na soldagem TIG com alimentação de arame a frio empregando duas técnicas distintas;
- ✓ Estruturar uma bancada de ensaios de forma a proporcionar a execução dos ensaios envolvendo as técnicas TOP TIG e TIG convencional;
- ✓ Comparar as técnicas de alimentação de arame frio na soldagem TIG convencional e TOP-TIG quanto à geometria dos cordões obtidos e sua diluição.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para extração, geralmente, o petróleo é escoado dos poços perfurados no solo oceânico por tubulações e enviado diretamente para uma unidade estacionária de produção (plataforma), ou pode ser concentrado em unidades intermediárias e localizadas em solo submarino, denominadas manifold. As ligações entre poços, manifolds e plataformas são denominadas pipes (tubos e conexões). O manifold recolhe o petróleo de vários poços e manda-o para superfície através dos risers. Na superfície é tratado, ocorrendo a separação da água, gás e óleo. Após o tratamento o produto é encaminhado para a terra por gasoduto, oleoduto, ou navios aliviadores (GOLDBARG, 2002).

Conhecendo o caminho percorrido pelo petróleo até a chegada em terra, nota-se que vários são os equipamentos que precisam de proteção contra corrosão, sendo a soldagem de revestimento comumente utilizada para esse fim.

A soldagem de revestimento, segundo Linnert (1995), pode ser definida como a deposição de um material de adição dissimilar sobre uma superfície metálica para se obter propriedades distintas do material de base. Essa soldagem pode ter diversas aplicações como a reconstrução do material de base para reparar a forma e ajustar as dimensões de uma peça (BARRA et al., 1998), endurecimento superficial para aumento de sua resistência ao desgaste (LIMA, 2008), amantecimento de uma superfície de um metal de base (ELIAS, 2013), ou ainda a modificação química da camada superficial do material base para oferecer propriedades dissimilares (SILVA, 2010), foco do presente trabalho. Com relação ao último, o principal objetivo do revestimento é proporcionar ao metal base resistência à corrosão, o que proporciona o aumento da vida útil do equipamento, gerando como resultado uma redução substancial de custo.

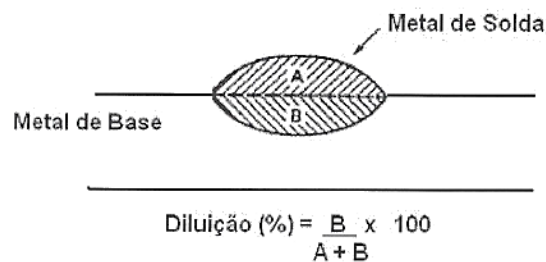
Nestas aplicações, embora seja importante uma quantidade de penetração de forma a garantir a aderência do metal depositado, o perfil geométrico do cordão de solda desejado se resume a grandes larguras, baixos reforços, baixas penetrações e baixos percentuais de diluição (ASME IX, 2007). Estas características de cordão de solda tem como objetivo a obtenção de um revestimento com aspecto uniforme, facilitando a aplicação de cordões sobrepostos, além de proporcionar menor número de passes necessários para preencher

determinada área superficial. Das características de cordão, a diluição é a mais importante em revestimento metálico.

A diluição é definida como a quantidade percentual de metal de base que entra na composição do metal de solda, ou seja, quanto menor a diluição menor a variação da composição química do cordão. A importância da diluição está na preservação das propriedades do material adicionado. Quanto maior a diluição, maior a mistura do material base com o material adicionado, o que não é interessante para aplicações de revestimento (WAINER, 1992).

O cálculo da diluição está ilustrado na Figura 1, onde 'B' é a área da seção transversal correspondente à zona fundida, localizada abaixo da linha de suporte do metal de base e 'A' representa a área da seção transversal da zona fundida acima da linha da superfície do metal de base. A diluição pode variar desde valores muito baixos, na ordem de 5% até 100% no caso de soldagem autógena (SILVA FILHO, 2007)

Figura 1 – Esquema da diluição em uma solda de revestimento com um único passe



Fonte : Dupont, 1996.

Conforme visto no trabalho de Santos (2014), superfícies com menor percentual de diluição e teor de ferro, são menos susceptível à corrosão, sendo o teor de ferro o principal responsável para início da corrosão. Além disso, em seu trabalho, observa-se que maiores percentuais de Fe foram encontrados na superfície dos revestimentos aplicados com maior energia de soldagem, que depende da corrente, tensão e velocidade de soldagem, além da eficiência do processo, o que demonstra a necessidade do controle dos parâmetros de soldagem para esse fim.

Para compensar o alto nível de diluição dos revestimentos, a Norma Petrobras N1707 que regulamenta o projeto e a construção de equipamentos com revestimento metálico interno de aços inoxidáveis, níquel e ligas de níquel, recomenda uma espessura mínima de 3 mm para revestimentos depositados por soldagem. A norma exige ainda que a deposição seja realizada

em mais de uma camada para evitar a contaminação por ferro. Essa contaminação se refere à quantidade de ferro encontrada à superfície. Normas Internacionais para construção de equipamentos voltados para o setor petróleo e gás especificam os teores máximos de ferro em revestimentos depositados por solda. Na norma International Organization for Standardization (ISO) 10423 (2003) os teores de ferro são classificados em duas categorias: FE 5, para teores de ferro (% em massa) igual ou inferiores a 5%; FE 10, para revestimentos que apresentam teores de ferro igual ou inferior a 10% e superior à 5%. Estas considerações são referentes a revestimentos com a liga NiCrMo, medidos a 3 mm da superfície original do metal de base (SILVA, 2010).

Para o controle da diluição, uma prática muito comum é a restrição do elemento prejudicial ao desempenho do revestimento. Um teor máximo de 5% de ferro nas camadas superficiais tem sido consideradas desejáveis para as ligas NiCrMo como material de revestimento, por esse motivo consumíveis de soldagem desta liga com teores de ferro abaixo de 2%, têm sido propostos como vantajosos na obtenção de depósitos de solda com teores menores de 5% de ferro na superfície (GITTO, 1996).

Segundo Alcântara et al., (2002), quando o objetivo é a proteção contra a corrosão, a soldagem de revestimento pode ser realizada utilizando como material de adição as ligas de Níquel depositadas por processo de soldagem. Este material de revestimento tem sido largamente estudado em diversos trabalhos recentes, como Silva (2010), Silva et al (2012), Santos (2014) e Miranda et al (2015).

As superligas de Níquel são uma importante classe de materiais de engenharia. Essas superligas foram desenvolvidas com o intuito de promover elevada resistência mecânica e à corrosão em altas temperaturas. A liga AWS ER Ni-Cr-Mo 3, comercialmente conhecida como Inconel 625, é classificada como uma superliga a base de níquel, tendo como principal aplicação o segmento de exploração e refino de petróleo, indicada pela própria norma American Petroleum Institute (API) 6A.

O Inconel 625 é uma liga Níquel-Cromo-Molibdênio com adição de Nióbio e Titânio, sendo tipicamente aplicada quando a presença de impurezas no sistema causam corrosão localizada (pite) em classes menores. A resistência do material à corrosão por pite pode ser medida através do Pitting Resistance Equivalent number (PREn), que depende da porcentagem de Cromo e Molibdênio do material. Quanto maior o número de PREn, maior a resistência à corrosão por pite deste material.

A liga ER Ni-Cr-Mo 3 apresenta valores de PREn na faixa de 51, isto graças a seu teor de cromo na faixa de 20 a 23%, além dos teores de molibdênio na ordem de 8 a 10%. Seu

PREn é bastante elevado quando comparado com ligas inoxidáveis duplex e super duplex que apresentam valores na ordem de 34 e 42 respectivamente (GITTO, 1996; SILVA FILHO, 2007).

Sua resistência à corrosão é significativamente maior que aços inoxidáveis sob a alta temperatura aplicada em diversos equipamentos da indústria. A alta resistência à corrosão é atingida pela formação de uma camada passivadora de óxido de cromo sobre a superfície da liga, protegendo o material contra o meio corrosivo. Sua temperatura de trabalho varia desde valores negativos (para meios criogênicos) até 982 °C. (HODGE, 2006; SILVA, 2012).

A fabricação de componentes compostos inteiramente por essas ligas se torna inviável, devido ao seu alto custo, como alternativa, essa liga é depositada por soldagem em materiais de base de aço carbono ou baixa-liga, reduzindo o custo da matéria prima ao mesmo tempo em que são garantidas as propriedades de resistência à corrosão requerida (PESSOA et. Al, 2010, SILVA FILHO, 2007).

De fato, para se obter alta produtividade, redução de custos e qualidade dos revestimentos resistentes à corrosão aplicados por processo de soldagem é importante adquirir, além da alta taxa de deposição, baixa diluição e penetração uniforme (DUPONT, 1996; GITTO, 1996), portanto, a escolha do processo de soldagem mais adequado para aplicações de revestimento metálico depende de vários fatores, tal como versatilidade, custo, tempo operacional, energia de soldagem e taxa de deposição (WAINER, 1992).

Os processos de soldagem a arco, tais como eletrodos revestidos, MIG/MAG, arco submerso e TIG são largamente utilizados para operações de revestimento por soldagem. Os processos de soldagem TIG e Plasma apresentam uma qualidade superior de revestimento se comparado aos demais processos citados, devido principalmente à alta estabilidade do arco, ausência de respingos e controle preciso das variáveis de soldagem e do gás de proteção. Dessa forma os processos de soldagem TIG e Plasma podem produzir revestimentos com excelente qualidade, porém com baixas taxas de deposição se comparado aos processos MIG/MAG e de arco submerso, o que limita sua aplicação na indústria (LUCCAS, 1994).

O processo de soldagem Plasma, por exemplo, é utilizado em operações de revestimento através de adição de metal fundido e de pulverização térmica (adição de pó). (OLIVEIRA, 2001). Santos (2014), em seu trabalho, utilizou os processos de soldagem de Plasma Pó e MIG de forma automatizada, com o intuito de encontrar os melhores parâmetros de soldagem para se obter o perfil geométrico dos cordões de solda mais adequados para aplicação de revestimento metálico. Comparando os dois processos verificou que o reforço, a



penetração e a diluição dos revestimentos depositados pelo processo Plasma Pó foram menores do que aqueles obtidos pelo processo MIG.

Além do processo de soldagem Plasma e MIG, existe diversos trabalhos que tratam sobre a variação dos parâmetros de soldagem TIG na aplicação de revestimentos metálicos (JUANG, 2002; CHEN, 2009; SILVA FILHO, 2007; SILVA, 2010).

Silva Filho (2007), por exemplo, em sua pesquisa utilizou o processo de soldagem TIG com alimentação automática de arame a quente. Neste estudo verificou que, com a diminuição da diluição, menores teores de ferro na superfície do revestimento foram obtidos. Além disso percebeu que a corrente de soldagem foi diretamente proporcional à diluição, enquanto que a velocidade de alimentação teve um comportamento inversamente proporcional.

O trabalho de Silva (2010), ao avaliar os principais parâmetros de soldagem de revestimentos de ligas de níquel, depositados pelo processo TIG com alimentação de arame frio, verificou que este processo demonstrou ser uma opção interessante para a soldagem de revestimento, conseguindo depositar em apenas uma camada, níveis de diluição inferiores ou muito próximos de 5%, característica favorável para garantir boas propriedades aos revestimentos.

Já o trabalho de Miranda et al (2015), abordou o uso do tecimento na técnica TIG com arame a frio. Neste trabalho a energia foi variada em três níveis na condição com e sem tecimento. Seus resultados demonstraram que o tecimento favoreceu uma combinação de baixa razão R/L (reforço/largura) com baixa penetração e diluição.

De forma geral, o processo de soldagem TIG apresenta baixa velocidade de soldagem e também por isso é classificada como de baixa produtividade. Nesse processo, quando se busca velocidades de soldagem mais elevadas, na ordem de 1 m/min, aumenta-se a corrente de soldagem. Porém com corrente de soldagem maior do que 250 A, ocorre uma mudança na poça de fusão, e o resultado na maioria das vezes é um cordão descontínuo. Essa descontinuidade, comumente é composta de regiões de crateras e regiões de protuberâncias, de maneira alternada. Neste contexto, este tipo de falta de continuidade do cordão de solda é chamado de defeito em forma de costas de dragão, também denominado humping. Assim, a falta de continuidade do cordão é o principal problema que restringe o uso do processo TIG em situações de elevada velocidade de soldagem (SCHWEDERSKY et al., 2010).

O processo de soldagem TIG faz uso de gás de proteção inerte, sendo comumente utilizado gás argônio, porém esse processo teve sua produtividade reavaliada devido ao

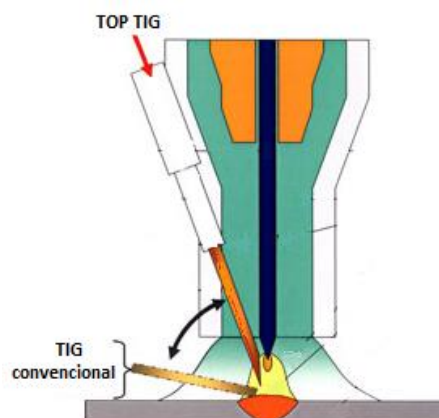
emprego do gás argônio com 5% de hidrogênio, cujo custo é bem inferior ao gás hélio, o que possibilitou comparações de produtividade com MIG/MAG e LASER (LABSOLDA, 2008).

Além do incremento do hidrogênio no argônio como gás de proteção, diversas outras alternativas foram buscadas como forma de aumentar a produtividade do processo TIG. A utilização da técnica A-TIG, por exemplo, a qual consiste em se depositar uma fina camada de um fluxo a base de óxidos na forma de pó sobre a superfície da peça antes da soldagem, o trabalho Richetti et al (2003) indicou um aumento de até 3 vezes de produtividade em relação à técnica convencional.

Além disso, foi desenvolvida a modalidade arame quente em contrapartida ao arame frio, elevando-se a taxa de deposição, o que proporcionou valores comparáveis às taxas de deposição dos processos MIG e Arco Submerso (LUCCAS, 1994; SUN et al., 1999; FRANZ, 2006).

Outra alternativa, esta foco do presente trabalho, é a utilização da técnica TOP TIG que em comparação à técnica convencional, também proporciona aumento na taxa de deposição. As técnicas TOP-TIG e TIG convencional se diferenciam entre si pelo ângulo, em relação ao eixo axial do eletrodo, com o qual o arame é inserido no arco voltaico. Na técnica convencional o arame é alimentado com um ângulo aproximado de  $75^\circ$ , já o processo TOP-TIG esse ângulo é aproximadamente  $20^\circ$  (Figura 2) (FORTAIN, 2008).

Figura 2 - Comparação entre o ângulo de alimentação de arame em relação ao eletrodo nas técnicas TOP TIG e TIG Convencional



Fonte: The Belgian Welding Institute NPO (2016).

A técnica TOP TIG tem como objetivo atingir a região mais quente do arco com o intuito de fundir o arame mais rapidamente, elevando a taxa de deposição. Dentre suas vantagens pode-se destacar a redução das dimensões globais da tocha, aumento da

acessibilidade de juntas de geometrias complexas, aumento da possibilidade de movimento e aumento da taxa de deposição, comparáveis ao processo MIG/MAG, mas com qualidade TIG. Ambas permitem dois modos de transferência do metal de adição, a transferência por gota e a ponte ininterrupta (ou fluxo de metal fundido) (FORTAIN, 2008).

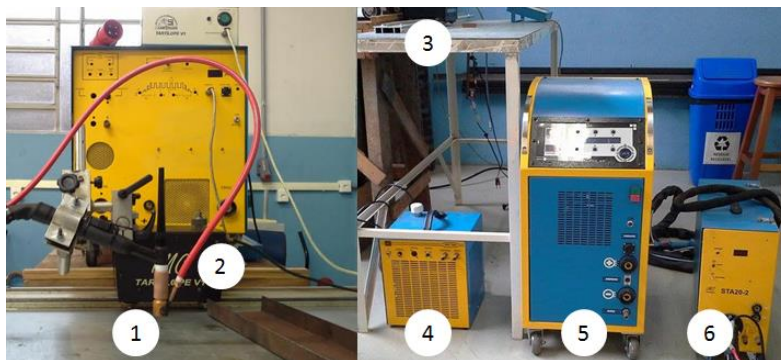
O primeiro modo de transferência é caracterizado por uma repetitiva sequência de formação de gotas de metal fundido, que crescem até serem destacadas da ponta da vareta pela atuação da força da gravidade. Já o segundo modo de transferência, é obtido através de um equilíbrio entre a velocidade de alimentação do arame e a energia de fusão do arco, assim um contínuo contato é estabelecido entre a peça de trabalho e o metal fundido. Este modo tem como vantagem a estabilidade do arco e alta taxa de deposição com máxima velocidade de soldagem. Outra vantagem é a obtenção de um cordão de solda estreito e liso e o pequeno risco de contaminação do eletrodo (FORTAIN, 2008).

Isto posto, podemos passar à descrição dos materiais e métodos utilizados para execução dos ensaios com as técnicas TIG convencional e TOP TIG.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização dos ensaios, foi montada uma bancada no Laboratório de Tecnologia da Soldagem da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) (Figura 3).

Figura 3 - Bancada de ensaios utilizada para a realização dos ensaios. Tocha de soldagem (1), sistema de deslocamento da tocha de soldagem (2), bancada de ensaios (3), sistema de refrigeração (4), fonte de soldagem (5) e sistema tracionador de arame (6).



Fonte: Autora (2016).

A fonte de soldagem utilizada nos ensaios foi a DigiPlus A7 da empresa IMC Soldagem. Foi utilizada uma unidade de refrigeração UPR-7500, também de fabricação da empresa IMC Soldagem. (IMC SOLDAGEM, 2016).

Para garantir uma maior precisão na velocidade de soldagem durante a realização dos ensaios foi utilizado um sistema de deslocamento automático de tocha com um grau de liberdade (Tartílope V1). Esse sistema permite a realização de soldas e cortes em qualquer posição numa faixa de velocidade de deslocamento de até 160 cm/min. Esse sistema é composto por:

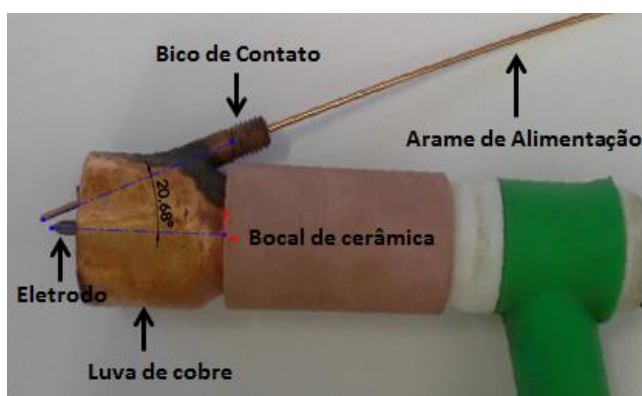
- ✓ Unidade de controle: unidade de processamento de dados com interface para o usuário, onde é ajustada a velocidade de soldagem, posicionamento horizontal e controlado o comprimento do cordão de solda;
- ✓ Dispositivo mecânico: esse dispositivo movimenta-se por um trilho para permitir o avanço da tocha;

- ✓ Suporte de tocha: permite a regulagem manual da posição lateral, vertical e em ângulo, permitindo diversas configurações de posicionamento.

Para viabilizar a alimentação de arame, foi utilizado o sistema tracionador de arame STA20-2.

Para realização dos ensaios com a técnica TOP-TIG foi necessário providenciar meios que permitissem a alimentação do arame com ângulo próximo de  $20^\circ$  em relação ao eixo axial do eletrodo de tungstênio. Assim, foi projetado e construído um dispositivo constituído por uma luva de cobre  $7/8'' \times 5/8''$  e um bico de contato utilizado em soldagem MIG/MAG. Estas dimensões foram definidas de modo que esta peça de cobre encaixasse por interferência no bocal de cerâmica nº 12. A fim de promover a correta alimentação do arame no ângulo desejado, foi fixado a esta luva o bico de contato para arame de 1,2 mm de diâmetro. O dispositivo já construído pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 - Dispositivo de alimentação de arame desenvolvido para a técnica TOP-TIG



Fonte: Autora (2016).

Ainda em se tratando deste dispositivo, verificou-se a necessidade de inserir um elemento entre o conduíte, responsável por conduzir o arame, e o bico de contato.

Tal se fez necessário, uma vez que, durante a execução de ensaios preliminares, verificou-se que o aquecimento provocado pelo arco se estenderia até o conduíte, o que poderia fundi-lo, comprometendo a realização dos ensaios. Dessa forma, foi fabricado um dispositivo intermediário a partir de um tarugo maciço de teflon de 10 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento, o qual foi usinado, para acoplar o conduíte no bico de contato, e perfurado, a fim de permitir a passagem do arame (Figura 5).

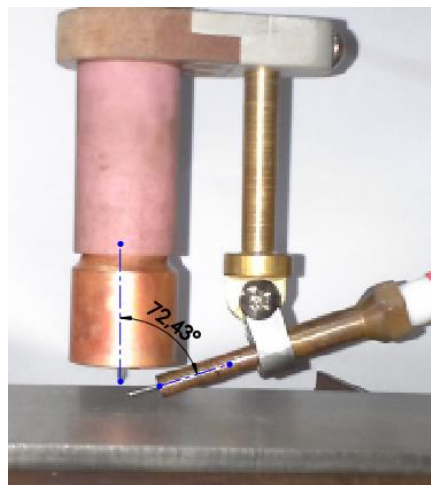
Figura 5 - Dispositivo de Teflon utilizado para evitar aquecimento demasiado do Conduíte



Fonte: Autora (2016).

Para a realização dos ensaios com a técnica TIG convencional foi empregado um dispositivo de modo que o arame fosse alimentado com ângulo próximo de  $75^\circ$ . Para tanto, foi utilizada a luva de cobre  $7/8'' \times 5/8''$ , a fim de evitar variações entre as técnicas devido à mudança de bocal. Os demais componentes, mostrados na Figura 6, fazem parte da fixação do posicionamento do arame para técnica do TIG convencional.

Figura 6 - Dispositivo utilizado nos ensaios TIG Convencional



Fonte: Autora (2016).

Os corpos de prova com dimensões  $100 \times 200 \times 4$  mm de espessura de aço SAE 1020 foram previamente lixados para retirada da camada de oxidação. Em todos os ensaios realizados foram utilizados os parâmetros constantes na Tabela 1.

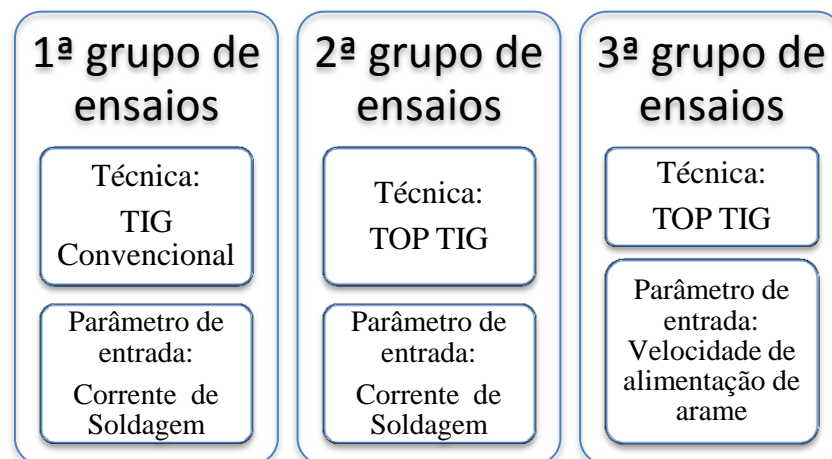
Tabela 1 - Parâmetros fixos de soldagem utilizados nos ensaios

Item	valor	unidade
Gás de proteção	Argônio puro	
Vazão do gás de proteção	12	[l/min]
Eletrodo	EWTh-2	
Diâmetro do eletrodo	2,4	[mm]
Ângulo de afiação do eletrodo	60°	
Metal de adição (arame)	AWS ER NiCrMo-03	
Diâmetro do arame	1,2	[mm]
Distância eletrodo-peça (DEP)	3	[mm]
Comprimento livre do eletrodo (técnica TOP TIG)	45	[mm]
Comprimento livre do eletrodo (técnica TIG Conv.)	47	[mm]

Fonte: Autora (2016).

Com o objetivo comparar as duas técnicas de alimentação de material na soldagem TIG, a TIG convencional e a TOP TIG, foi concebida uma metodologia de execução dos ensaios tal que permitisse realizar esta comparação de forma adequada. Assim, foram realizados três grupos de ensaios, conforme mostra a Figura 7. O primeiro grupo com a técnica TIG Convencional e os seguintes com a técnica TOP-TIG.

Figura 7 - Grupos de ensaios realizados

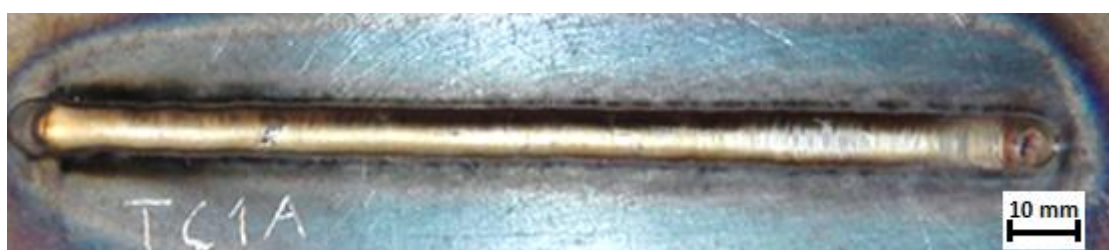


Fonte: Autora (2016).

Primeiramente foram realizados os ensaios de soldagem TIG com a técnica convencional empregando três diferentes níveis de corrente de soldagem (100A, 150A e

200A). Inicialmente foi definida a velocidade de alimentação de arame para a corrente de soldagem de 100A. Esta velocidade foi definida como aquela onde, visualmente, obteve-se uma condição de transição de transferência de material do arame para peça de trabalho de forma goticular para ponte metálica, cujo valor obtido foi de 0,6 m/min. A determinação da velocidade de soldagem foi realizada de modo que resultasse num cordão com aspecto uniforme, conforme a Figura 8.

Figura 8 - Aspecto do cordão de solda considerado uniforme que definiu a velocidade de soldagem do primeiro ensaio C1 ( $I_s = 100A$ ,  $V_a = 0,6$  m/min,  $V_s = 6$  cm/min)



Fonte: Autora (2016).

A velocidade de alimentação de arame nos demais ensaios com a técnica convencional (com correntes de soldagem de 150A e 200A), foi definida seguindo o mesmo critério de transferência metálica estabelecido. Para a determinação da velocidade de soldagem a ser empregada foi o critério de que todos os ensaios teriam o mesmo aporte de material depositado por unidade de comprimento do cordão. Isto, dado pela razão entre a velocidade de alimentação do arame e a velocidade de soldagem, conforme Equação 1.

$$\frac{V_a}{V_s} = cte = 0,1 \quad (1)$$

Para obtenção da constante da Equação 1 foi utilizado como referência o ensaio realizado com a técnica convencional em 100A. Através dos parâmetros de C1 foi possível calcular a constante relacionada com o aporte de material, sendo este igual a 0,1.

Com a constante calculada juntamente com a velocidade de alimentação para cada uma das correntes de soldagem foi possível definir a velocidade de soldagem para cada ensaio, cujos resultados são apresentados na Tabela 2.



Tabela 2 - Parâmetros de soldagem do primeiro grupo de ensaios

Corpo de prova [unidade]	Corrente [A]	Velocidade de alimentação [m/min]	Velocidade de soldagem [cm/min]	Energia de soldagem estimada [J/mm]
C1	100	0,6	6	1200
C2	150	1,2	12	900
C3	200	1,8	18	800

Fonte: Autora (2016).

Na sequência deu-se início ao segundo grupo de ensaios. Neste, utilizou-se a técnica TOP TIG empregando as correntes de soldagem de 100A, 150A e 200A. Através do critério de transferência metálica obteve-se a velocidade de alimentação e pela constante 0,1 calculada, obteve-se a velocidade de soldagem (Equação 1). Os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros de soldagem utilizados no segundo grupo de ensaios

Corpo de prova [unidade]	Corrente [A]	Velocidade de alimentação [m/min]	Velocidade de soldagem [cm/min]	Energia de soldagem estimada [J/mm]
Tc1	100	0,9	9	800
Tc2	150	1,8	18	600
Tc3	200	2,7	27	533

Fonte: Autora (2016).

No terceiro grupo de ensaios, foi mais uma vez utilizada a técnica TOP-TIG. Neste, contudo, foi fixado a velocidade de alimentação do arame e a constante 0,1 calculada. A velocidade de soldagem foi igualmente definida pela Equação 1. Por fim, pelo critério de transição de transferência de material de goticular para ponte metálica foi encontrada a corrente necessária para atender essa condição. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 4.

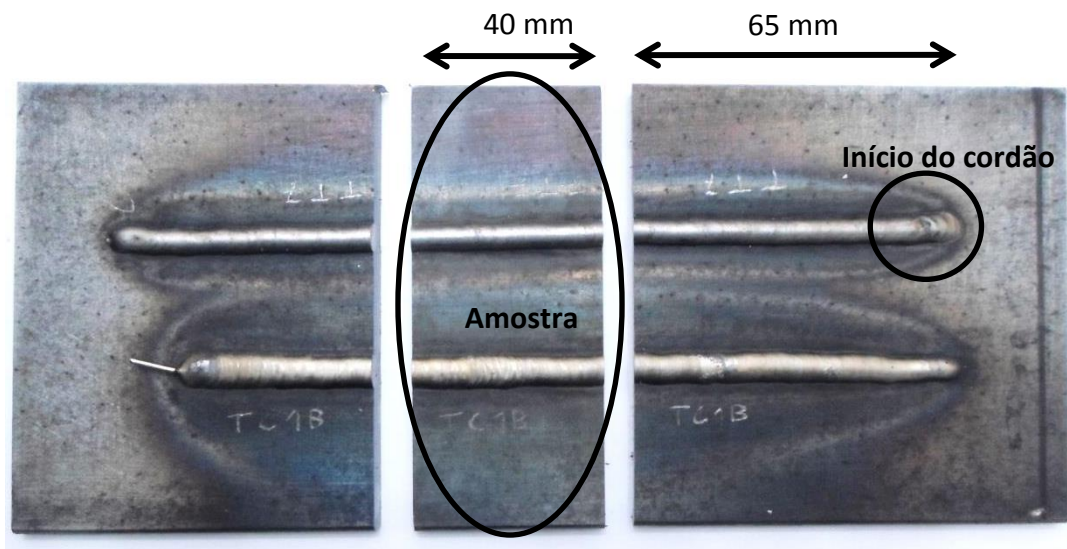
Tabela 4 - Parâmetros de soldagem do terceiro grupo de ensaios

Corpo de prova [unidade]	Corrente [A]	Velocidade de alimentação [m/min]	Velocidade de soldagem [cm/min]	Energia de soldagem estimada [J/mm]
Tv1	70	0,6	6	840
Tv2	120	1,2	12	720
Tv3	170	1,8	18	680

Fonte: Autora (2016).

As amostras para análise foram obtidas a partir de dois cortes transversais dos corpos de prova. O primeiro 65 mm a partir do início do cordão e o segundo 40 mm após o primeiro corte, conforme mostra a Figura 9. Após o corte as faces foram lixadas, seguindo a seguinte sequência de gramatura: 80, 120, 200, 320 e 400. A cada mudança de lixa foi modificada a direção do corpo de prova em 90 graus.

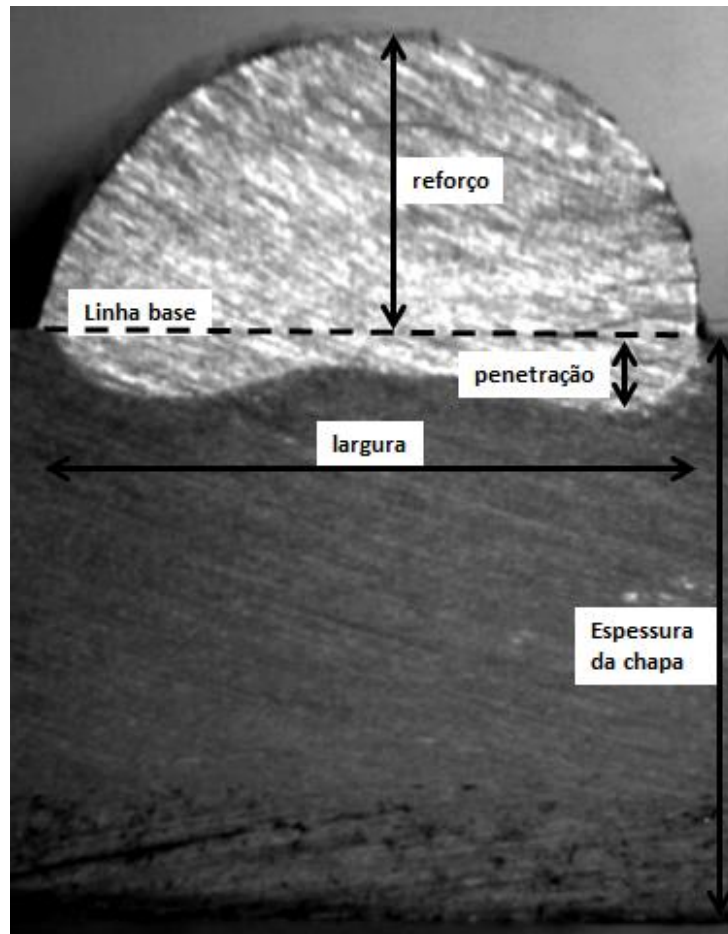
Figura 9 - Corpo de prova cortado transversalmente para obtenção das amostras



Fonte: Autora (2016).

Após o lixamento, as amostras foram atacadas quimicamente com Nital 2%. Com isso, foi possível ter melhor revelação do perfil geométrico do cordão de solda. Foram capturadas imagens das faces das amostras e realizada a medição das dimensões do cordão (largura, reforço, penetração, área total e área de penetração) com auxílio do software SolidWorks (Figura 10). As medições obtidas no software foram convertidas para as dimensões reais. Essa conversão se deu com base na espessura da chapa, que era a única dimensão real conhecida na imagem.

Figura 10 - Medidas geométricas da face do cordão da amostra C3 com o software SolidWorks após ser lixada e atacada com Nital 2%



Fonte: Autora (2016).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

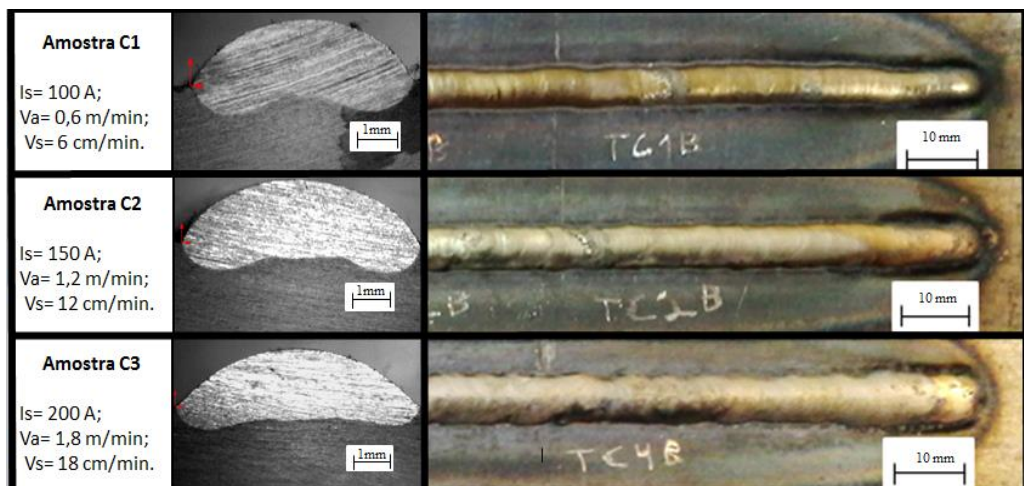
Nesse tópico os resultados do efeito das técnicas TIG Convencional e TOP TIG sobre as características geométricas e diluição dos cordões de solda são apresentados e discutidos.

### 4.1 Resultados dos Grupos de Ensaio 1, 2 e 3

Na Figura 11, são apresentadas as imagens dos cortes transversais de cada cordão de solda obtido no primeiro grupo de ensaios (C1, C2 e C3).

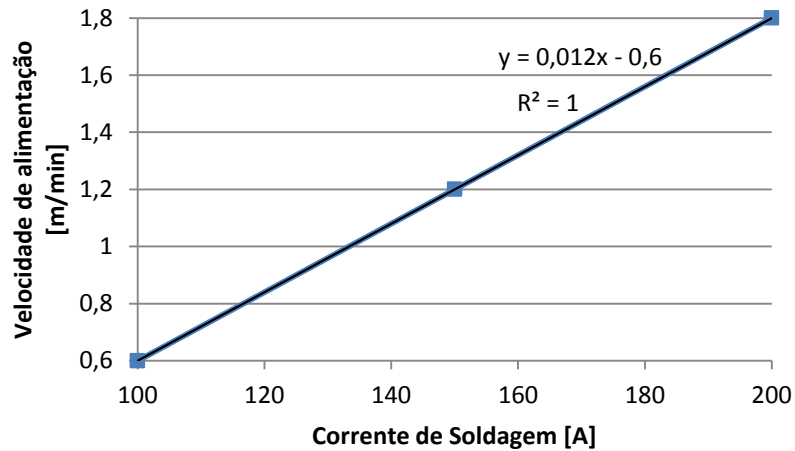
Nesse grupo de ensaios, observa-se um crescimento linear da velocidade de alimentação do arame e de soldagem com a corrente de soldagem. A cada 50 A de aumento de corrente, obteve-se um acréscimo de 0,6 m/min na velocidade de alimentação (Figura 12). Os resultados das medições de diluição, largura, reforço e penetração desse primeiro grupo de ensaios são apresentados na Tabela 5.

Figura 11 - Imagem das faces e cordões de solda das amostras obtidas no primeiro grupo de ensaios



Fonte: Autora (2016).

Figura 12 - Comportamento da velocidade de alimentação de arame em função da corrente de soldagem no primeiro grupo de ensaios



Fonte: Autora (2016).

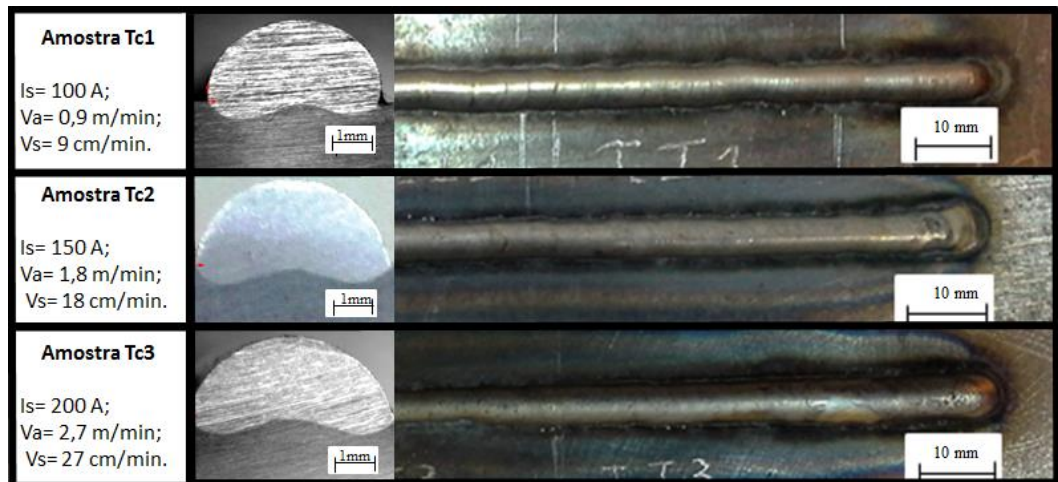
Tabela 5 - Dimensões geométricas dos cordões de solda das amostras no primeiro grupo de ensaio

Amostra	Diluição [%]	Largura [mm]	Reforço [mm]	Penetração máxima [mm]
C1	29	5,7	1,6	0,68
C2	27	6,5	1,6	0,70
C3	31	7,0	1,6	0,67

Fonte: Autora (2016).

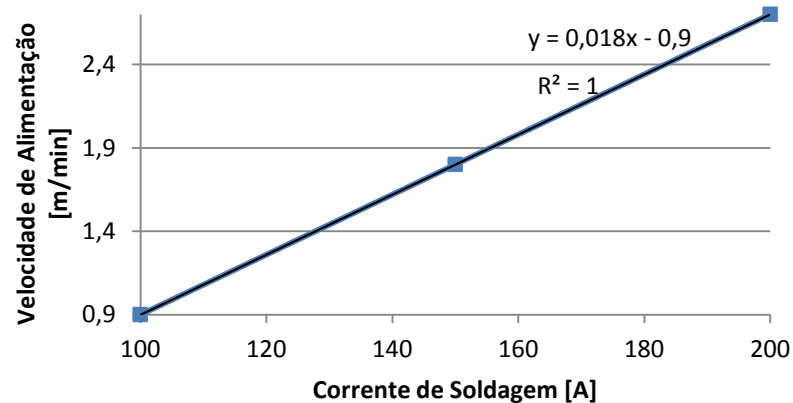
A Figura 13 refere-se ao segundo grupo de ensaios (com a técnica TOP TIG). Como no caso anterior, observa-se um crescimento linear das velocidades de alimentação do arame e de soldagem com o aumento da corrente de soldagem. A cada 50 A de aumento na corrente de soldagem obteve-se um aumento de 0,9 m/min na velocidade de alimentação (Figura 14). Os resultados das medições de diluição, largura, reforço e penetração desse segundo grupo de ensaios estão expostos na Tabela 6.

Figura 13 - Imagem das faces e cordões de solda das amostras obtidas no segundo grupo de ensaios



Fonte: Autora (2016).

Figura 14 - Comportamento da velocidade de alimentação de arame em função da corrente de soldagem no segundo grupo de ensaios



Fonte: Autora (2016).

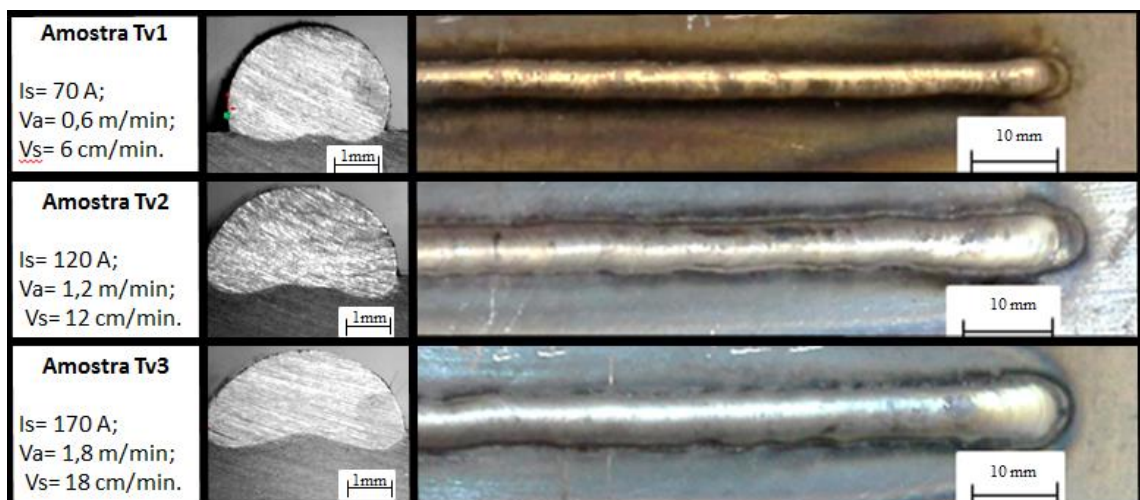
Tabela 6 - Dimensões geométricas dos cordões de solda das amostras do segundo grupo de ensaio

Amostra	Diluição [%]	Largura [mm]	Reforço [mm]	Penetração máxima [mm]
Tc1	13	4,5	2,3	0,46
Tc2	16	4,9	2,1	0,52
Tc3	14	5,1	2,1	0,43

Fonte: Autora (2016).

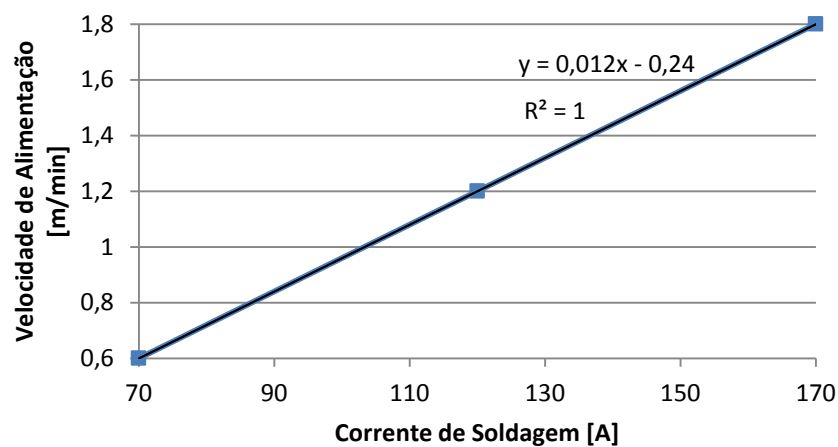
Conforme a Figura 15, referente ao terceiro grupo de ensaios realizado com a técnica TOP TIG, verifica-se que embora se utilize valores de correntes distintas dos ensaios dos grupos 1 e 2, o aumento das velocidades também seguiu um crescimento linear. A cada 50 A de aumento de corrente, obteve-se um acréscimo de 0,6 m/min na velocidade de alimentação (Figura 16). Os resultados das medições de diluição, largura, reforço e penetração desse terceiro grupo de ensaios são apresentados na Tabela 7.

Figura 15 - Imagem das faces e cordões de solda das amostras obtidas no terceiro grupo de ensaios



Fonte: Autora (2016).

Figura 16 - Comportamento da velocidade de alimentação de arame em função da corrente de soldagem no segundo grupo de ensaios



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 7 - Dimensões geométricas dos cordões de solda das amostras do terceiro grupo de ensaio

Amostra	Diluição [%]	Largura [mm]	Reforço [mm]	Penetração máxima [mm]
Tv1	10	3,8	2,5	0,29
Tv2	20	4,5	2,0	0,48
Tv3	20	5,5	2,1	0,55

Fonte: Autora (2016).

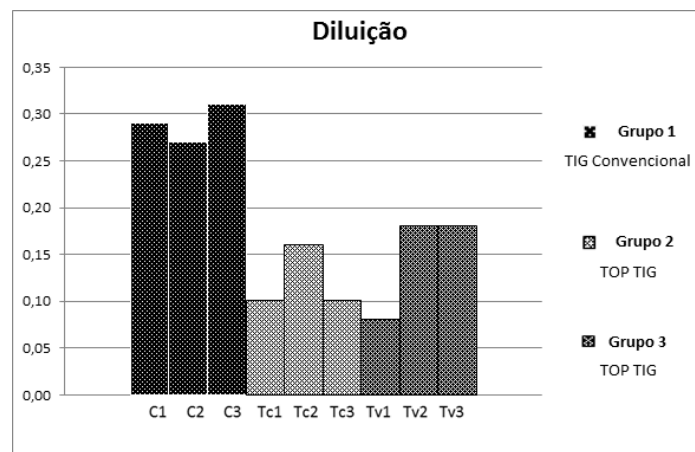
#### 4.2 Discussão dos resultados

Nesse tópico são discutidos os resultados obtidos. Para tanto, a fim de facilitar as análises foram gerados gráficos a partir dos dados constados nas Tabelas 6, 7 e 8.

Assim, o primeiro gráfico apresentado é referente à diluição, sendo a característica mais importante para aplicações de revestimento metálico. Através da Figura 17 verificou-se que a diluição média na técnica TIG convencional foi de 29% enquanto na técnica TOP TIG ficou em 13%, cerca de 16% abaixo da convencional. Este resultado pode ser explicado pelo fato de que na técnica convencional foi utilizada maior energia de soldagem que na técnica TOP TIG, sendo a energia uma variável diretamente proporcional à diluição.

Os grupos de ensaios 2 e 3, referentes à técnica TOP TIG, apresentaram médias em torno de 12 e 14% de diluição. Neste caso, a energia de soldagem utilizada nos ensaios dos dois grupos foi mais próxima, acarretando em valores de diluição semelhantes.

Figura 17 – Diluição dos grupos 1, 2 e 3



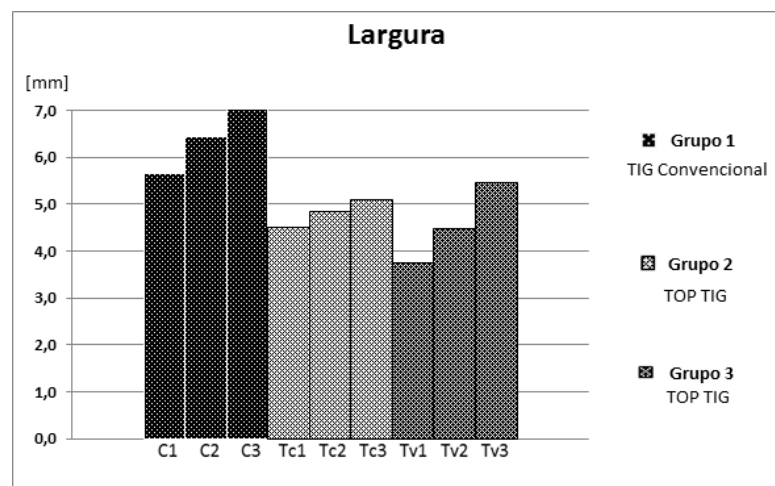
Fonte: Autora (2016).



Outra característica importante em aplicações de revestimento é a largura de cordão. Um cordão de solda mais largo indica menor número de passes necessários para cobrir uma superfície. Conforme a Figura 18 observa-se que a técnica convencional produziu cordões com média de 6,4 mm de largura, enquanto que na TOP TIG a média foi de 4,7 mm, aproximadamente 26% menor que a primeira. Este resultado pode ser explicado pelo fato de que uma maior quantidade de energia estar na peça de trabalho na técnica convencional, o que proporcionou maior aquecimento da mesma e, por consequência, favoreceu o espalhamento do material adicionado.

Os grupos 2 e 3 ficaram com médias 4,8 mm e 4,6 mm respectivamente, uma diferença menor que 5% entre as médias, resultado novamente explicado pela proximidade das energias de soldagem utilizadas.

Figura 18 – Largura dos grupos 1, 2 e 3

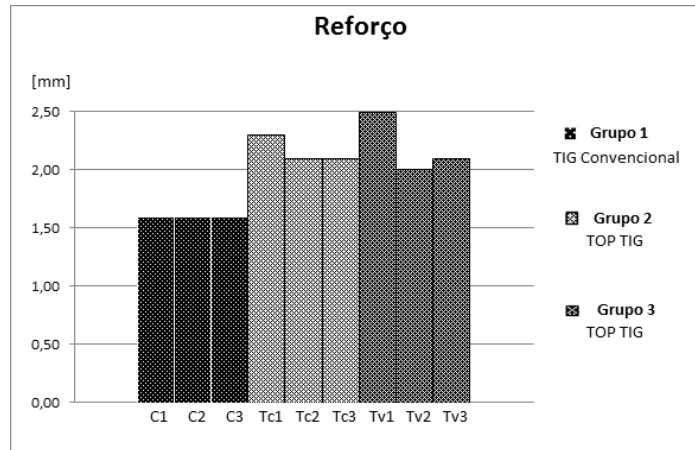


Fonte: Autora (2016).

A terceira característica a ser discutida é o reforço. Quanto maior o reforço, mais côncavo é o cordão, dificultando a sobreposição de passes e aumentando os gastos com material de revestimento. A Figura 19 apresenta que na técnica convencional o reforço médio foi de 1,6 mm enquanto que na TOP TIG este valor foi de 2,2 mm, quase 30% superior ao primeiro. Isto porque com uma maior energia na peça de trabalho na técnica convencional a tendência é o material depositado se espalhar e o reforço diminuir, o inverso aconteceu com a técnica TOP TIG.

Para os grupos 2 e 3 as médias foram de 2,1mm e 2,2 mm respectivamente, diferenciando-se novamente menos de 5% entre si.

Figura 19 – Reforço dos grupos 1, 2 e 3



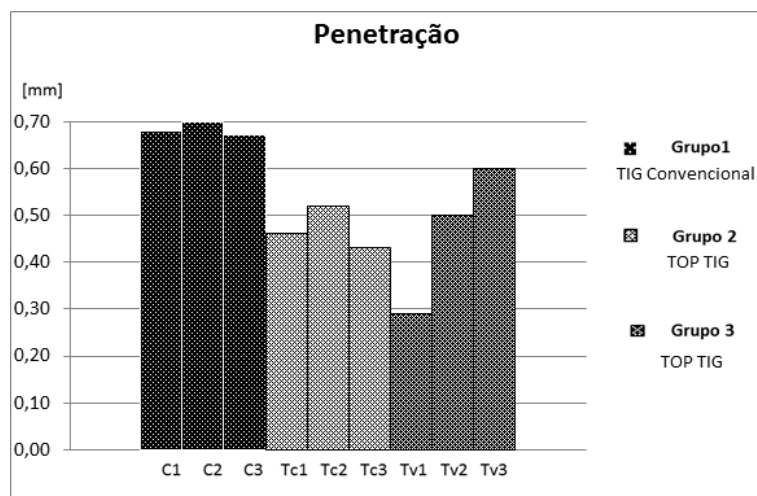
Fonte: Autora (2016).

Por fim, a penetração do cordão de solda foi analisada. A penetração está diretamente relacionada com a diluição, assim como está relacionada com a adesão do reforço ao material base. De acordo com a Figura 20, a penetração obtida com a técnica convencional foi em média de 0,7 mm, enquanto que na técnica TOP TIG esse valor ficou em 0,5 mm, quase 30% menor que o primeiro.

De forma análoga com as outras características de cordão encontradas, a maior energia de soldagem da técnica convencional resultou em uma maior penetração pelo fato do material base estar mais aquecido que na técnica TOP TIG.

A média de penetração obtida para os grupos 2 e 3 foi de 0,46 mm para ambos.

Figura 20 – Penetração dos grupos 1, 2 e 3



Fonte: Autora (2016).

Comparando as duas técnicas TIG, verificou-se que a técnica convencional ofereceu, de forma geral, maior largura de cordão, menor reforço, maior penetração e diluição.

Apesar de a técnica TOP TIG apresentar um valor médio de diluição 16% inferior à técnica convencional, ainda é preciso trabalhar com os parâmetros de soldagem para resultar em cordões menos convexos, favorecendo as aplicações de revestimento metálico.

Verificou-se que as amostras do grupo 2 e 3 apresentaram resultados muito próximos, diferenciando-se de forma geral em menos de 5% entre si. Embora sejam semelhantes, o grupo 2 obteve valores médios inferiores para diluição e reforço e superiores para largura.

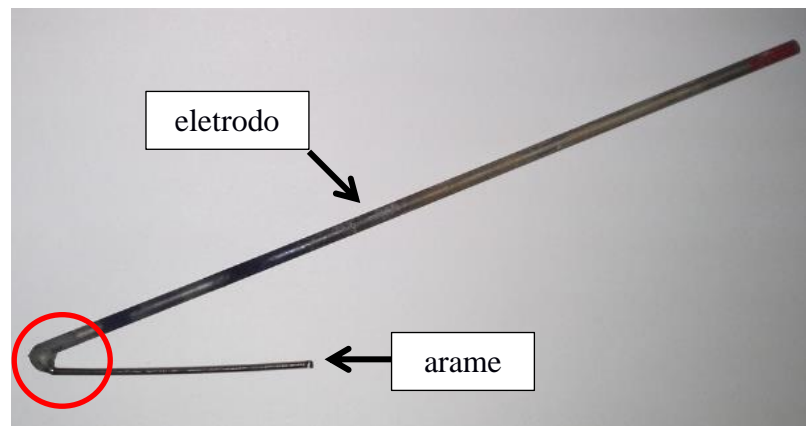
De forma geral observou-se que uma maior energia de soldagem contribui para o aumento da diluição. Assim, presume-se que aplicações de revestimento metálico podem ser favorecidas por menores energias de soldagem.

#### **4.3 Observações dos ensaios em laboratório**

A partir dos ensaios realizados já é possível perceber que em comparação com a técnica Convencional, o TOP TIG apresenta uma maior produtividade em termos de velocidade de soldagem, uma vez que permitiu depositar a mesma quantidade de material por unidade de comprimento do cordão de solda com maiores velocidades de soldagem e corrente de soldagem. Já quando fixamos os valores de velocidade de soldagem e velocidade de alimentação na técnica TOP TIG, como foi feito no terceiro ciclo de ensaios (Tabela 4), esta apresentou correntes menores que as obtidas no TIG Convencional (Tabela 2). Ou seja, para se obter a mesma produtividade que o TIG Convencional, a técnica TOP TIG pode disponibilizar valores de corrente menores, o que infere no custo final do processo de soldagem.

Sob o ponto de vista operacional, a utilização da técnica TOP TIG foi crítica em relação à questão de contaminação do eletrodo de tungstênio. Isso porque, nesta técnica, a ponta do arame se encontra mais próximo ao eletrodo do que na técnica convencional. Assim, as gotas de arame fundido, ao aumentarem de volume, tocam no eletrodo, contaminando-o (Figura 21). Por esse motivo foi preciso reduzir o quanto o eletrodo de tungstênio estava projetado para fora do bocal de gás (de 7 para 5 mm).

Figura 21 - Imagem do eletrodo de tungstênio contaminado pelo arame durante ensaios da técnica TOP TIG



Fonte: Autora (2016).

Este problema foi frequentemente observado em baixas velocidades de alimentação de arame. Neste caso, o arame sofre um aquecimento lento no período inicial em que adentra no arco, o que causa a formação de uma gota de metal fundido de grande volume. Com o espaço reduzido entre arame e eletrodo, essa gota passa a contaminar o eletrodo antes de cair na poça de fusão.

## 5 CONCLUSÃO

Com esse trabalho podemos concluir que:

- ✓ A bancada para a execução de ensaios de soldagem TIG empregando as técnicas TIG convencional e TOP TIG atendeu as necessidades relacionadas à execução dos experimentos do presente trabalho;
- ✓ A técnica convencional ofereceu, de forma geral, maior largura de cordão, menor reforço e maior penetração quando comparado com a técnica TOP TIG.
- ✓ A energia de soldagem apresentou forte influência sobre a diluição dos cordões de solda, sendo que na técnica TOP TIG a diluição apresentou valor médio de 13%, cerca de 16% menor que a diluição obtida na técnica TIG convencional.
- ✓ Além disso, durante os ensaios, notou-se que a técnica TOP TIG foi crítica com relação à contaminação do eletrodo em baixas velocidades de alimentação de arame.

Dessa forma o presente trabalho alcançou seus principais objetivos, que partiram desde a elaboração da metodologia até a análise dos resultados. Além disso o presente estudo abre portas para futuras pesquisas referentes ao uso do TOP TIG para aplicação de revestimento metálico.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o conhecimento adquirido na realização deste trabalho, sugerem-se os seguintes temas para trabalhos futuros:

- ✓ Realizar ensaios com a técnica TOP TIG utilizando tecimento para verificar se a geometria de cordão seria mais favorável para revestimento metálico;
- ✓ Fazer análises microestruturais para se conhecer a região de união entre cordão e metal base;
- ✓ Realizar ensaios adicionais modificando outros parâmetros de soldagem, como distância eletrodo-peça;
- ✓ Realizar comparações com outros tipos de processos de soldagem.
- ✓ Realizar análises sob a ótica de corrosão de revestimentos produzidos com as duas técnicas abordadas neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, N. G. **Tecnologia de soldagem**. I Workshop de Grupos de Pesquisa do DEMA, 2002. Disponível em: <[http://www.dema.ufscar.br/dema/pdf/tecnologia\\_soldagem.pdf](http://www.dema.ufscar.br/dema/pdf/tecnologia_soldagem.pdf)>. Acesso em: 07/01/16 às 14:30h.
- ASME IX. **Qualification standard for welding and brazing procedures**, Welders, Brazers and Welding and Brazing Operator., Jul, 2007.
- BARRA, Sérgio Rodrigues; DUTRA, Jair Carlos; RIBAS, Fernando A. C. Avaliação dos efeitos da variação dos parâmetros/procedimentos de soldagem e automação sobre a planicidade e aspecto superficial dos revestimentos empregados em turbinas hidráulicas. XXIV Encontro nacional de tecnologia da soldagem,: xi congresso latino-americano e v íbero-americano de soldagem, Fortaleza. set., 1998.
- CHEN JH et al. **Characterization of multi-element alloy claddings manufactured by the tungsten inert gas process**. Surface and Coatings Technology. 2009
- DUPONT J.N. MARDER, AR. **Dilution in single pass arc welds**. Metallurgical and Material Transaction B. 1996.
- ELIAS, Márcio de Souza. **Avaliação metalúrgica da soldagem de revestimento inox austenítico sobre aço SAE 4130**. 2013. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- FRANZ, J., Heuser, B. H. **TIG hot wire surfacing**. Fronius Disponível em : [http://www.fronius.com/worldwide/usa/products/paper\\_tig\\_hotwire\\_surfacing\\_bochum\\_germany\\_gb.pdf](http://www.fronius.com/worldwide/usa/products/paper_tig_hotwire_surfacing_bochum_germany_gb.pdf). Acesso em 20/05/16 as 22 :00h.
- FORTAIN, J.; RIMANO, L.; VAIDYA, V. Innovative process improves welding of sheet metal parts. **Welding Journal**, p. 38-46, 2008.
- GITTOS, M.F ; GOOCH T. G. **Effect of iron dilution on corrosion resistance of N-Cr-Mo alloy cladding**. British Corrosion Journal, Vol. 31, n°4, p. 309-314, 1996.
- GOLDBARG, Marco César; GOUVÊA, Elizabeth Ferreira; SOUZA, César Miranda P. de. Uma Abordagem Evolucionária para a Solução do Problema de Localização de Poços e Manifolds em Campos Submarinos de Petróleo. **XXXIV Sbpo**. Rio de Janeiro, p. 1-11. nov. 2012. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2002/pdf/arq0030.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2016.

HODGE, F.G. **The History of Solid-Solution-Strengthened Ni Alloys for Aqueous Corrosion Service**. JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials Society, USA, v. 58, n. 9, p. 28-31, sep. 2006

IMC SOLDAGEM. **Manual de instruções**. Disponível em: <[http://www.imc-soldagem.com.br/manuais/manual\\_Digiplus\\_3aEd.pdf](http://www.imc-soldagem.com.br/manuais/manual_Digiplus_3aEd.pdf)>. Acesso em: 28 mar. 2016

IMC SOLDAGEM. **Manual de instruções**. Disponível em: <[http://www.imc-soldagem.com.br/upr\\_7500.html](http://www.imc-soldagem.com.br/upr_7500.html)>. Acesso em: 28 mar. 2016.

IMC SOLDAGEM. **Manual de instruções**. Disponível em: <[http://www.sps-soldagem.com.br/catalogo/02\\_Tartilope\\_V1.pdf](http://www.sps-soldagem.com.br/catalogo/02_Tartilope_V1.pdf)>. Acesso em: 28 mar. 2016

IMC SOLDAGEM. **Manual de instruções**. Disponível em: <[http://www.imc-soldagem.com.br/sta\\_20.html](http://www.imc-soldagem.com.br/sta_20.html)>. Acesso em: 28 mar. 2016.

JUANG SC, TARNG YS. Process parameter selection for optimizing the weld pool geometry in the tungsten inert gas welding of stainless steel. **Journal of Materials Processing Technology**. 2002

LABSOLDA. Ensaios com Diferentes Gases e Tipos de Corrente com o Processo TIG. Florianópolis : Relatório Interno, 2008.

LIMA, Aldemi Coelho. **Estudo da aplicação de revestimento duro por soldagem com arames tubulares quanto à resistência ao desgaste de facas picadoras de cana-de-açúcar**. 2008. 184 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

LINNERT, G. E. **Welding Metallurgy** – Carbon e Alloy Steels. Miami: American Welding Society, ed. 4, p. 628, 1995.

LUCCAS, W. **Arc Surfacing and Cladding Process**. Welding & Metal Fabrication. P.55-62. Fevereiro. 1994.

MIRANDA, Edvan Cordeiro de et al. Avaliação do uso do tecimento sobre o nível de diluição e geometria do cordão de solda na soldagem TIG com alimentação automática de arame frio. Scielo, Fortaleza, jun. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0104-9224/SI2002.06>>. Acesso em: 28 out. 2015.

OLIVEIRA, M. A. **Estudo do processo de soldagem plasma com alimentação automática de arame visando sua utilização em revestimentos metálicos**. 2001. Dissertação de Mestrado do Centro Tecnológico, UFSC, Florianópolis.

PESSOA, A. R. P. et al. Seleção de parâmetros Através do método taguchi para soldagem de revestimento com ligas de níquel pelo processo MIG/MAG. Revista **Soldagem & Inspeção**. São Paulo, Vol. 15, No. 4, p.317-324, out./dez. 2010.



RICHETTI, André et al. Soldagem a-tig: efeito da composição do fluxo e desenvolvimento de uma nova metodologia para a aplicação da camada de fluxo ativo. **13° Posmec - Simpósio do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Uberlândia, 2003.**

SANTOS, Aureliano Xavier. **Avaliação Da Resistência À Corrosão De Revestimento À Base De Inconel 625 Utilizando Os Processos De Soldagem Mig E Plasma Pó.** 2014. 151 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2014

SCHWEDERSKY, Mateus Barancelli et al. **Soldagem TIG de Elevada Produtividade: Influência dos Gases de Proteção na Velocidade Limite para Formação de Defeitos.** XXXVI Consolda - Congresso Nacional de Soldagem. Recife. 12 p. 2010

SILVA, Cleiton Carvalho. **Revestimentos de ligas de níquel depositados pelo processo tig com alimentação de arame frio – aspectos operacionais e metalúrgicos.** 2010. 355 p. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e ciência de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

SILVA, R. H. G. ; DUTRA, J. C. **Processo PTA-P – Uma revisão da literatura com base para inovações.** Parte 1 de 2 : Elementos Construtivos. Revista soldagem & inspeção. São Paulo/SP, v.17, n.1, p.076-085, Jan/Fev 2012.

SILVA FILHO, Irineu Gomes da. **Estudo da influência dos parâmetros de soldagem de revestimento resistente à corrosão pelo processo TIG modalidade arame quente na diluição.** 2007. 117 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SUN, Z.; KUO, M; PAN, D. **Twin-Wire Gás Tungsten Arc Claddind Offers Increased Deposition Rates.** Welding Jornal p.61-64. Outubro. 1999.

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