



INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE SOLDAGEM NA VARIÇÃO DESORDENADA DA ALIMENTAÇÃO DE ARAME NO PROCESSO MIG/MAG

Uallas H. O. Brito¹, Junior B. Zanini²
Ramon F. Fagundes³, Arthur M. Santos¹,
Regis H. G. Silva⁴

Copyright 2018, Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na Rio Oil & Gas Expo and Conference 2018, realizada no período de 24 a 27 de setembro de 2018, na cidade do Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas no trabalho completo submetido pelo(s) autor(es). Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da Rio Oil & Gas Expo and Conference 2018.

Resumo

A soldagem MIG/MAG é largamente utilizada na montagem e manutenção de pipelines, sendo requerido alto grau de qualidade e boas características mecânico-metalúrgicas. A velocidade de alimentação do arame-eletrodo é um fator primordial na qualidade da solda, uma vez que o seu movimento desordenado pode gerar descontinuidades durante a soldagem tanto no arco elétrico quanto na poça de fusão. Quando observado fora da posição plana, esse movimento indesejado se torna ainda mais prejudicial a qualidade da solda, muitas vezes proporcionando a formação de defeitos tais como porosidade e falta de fusão. Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da posição de soldagem sobre a variação desordenada na alimentação do arame-eletrodo e sua influência no cordão de solda. Foram realizados testes com soldagem orbital (5G), em um tubo de 16", e avaliado em separado, as posições plana, vertical descendente e sobre-cabeça, com os processos MIG-P e MIG-CC. Notou-se que a configuração do sistema implica em fatores que aumentam o mecanismos causadores do efeitos *stick-slip* que ocasionam condições indesejadas durante a soldagem. Os resultados mostraram que as paradas do arame durante a alimentação causam irregularidades tanto na aparência como no perfil de penetração do cordão.

Palavras-chave: Soldagem MIG/MAG, Alimentabilidade, Stick-slip, VDA.

Abstract

The GMAW welding is widely used in the pipelines industry to assembly and maintenance the pipes, in which is required high quality and good metallurgic characteristics of the weld. The wire feed is a mandatory factor to determine the good quality of the weld, once its de-ordinated movement might generate discontinuities in the electric arc and in the weld pool during the welding. While out of the plan position, this de-ordinated movement of the wire may become even a stronger problem for the weld, may occurring lack of fusion and porosity. Taking this context, this work aims to evaluate the influence of the welding position in the de-ordinated wire feed speed, and its consequences to the weld. There were made experiments in a pipe of 16", welded circularly (within 5G position), and it was evaluated every position of weld in particular, top, vertical, and overhead with the procedures GMAW-short circuit, and GMAW-pulse. It was noticed that the variation of the welding position implicates in some factors that strengthen the stick slip effect, which is not desirable to the wire feed

¹ Engenheiro de Mecânica – LABSOLDA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

² Engenheiro de Materiais – LABSOLDA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

³ Mestre, Tecnólogo em Ciência e Eng. de Materiais – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

⁴ Doutor. Prof. Engenheiro Mecânico – LABSOLDA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

system, worsening the weld quality. The experiments showed that the increase of the stick slip effect caused by the variation of the weld position resulted in the wire feed variation, which caused turbulence in the electric parameters and variation on the weld bead profile.

Keywords: GMAW, wire feed speed, de-ordinated, stick slip

1. Introdução

O processo de soldagem MIG/MAG é caracterizado por possuir uma relativa alta taxa de fusão e grande facilidade de automação. Estes fatores atribuem ao processo grande relevância, sendo utilizado tanto na fabricação como na recuperação de pipelines na qual é exigido alta produtividade mantendo constante as propriedades mecânicas e metalúrgicas. No entanto, a qualidade do processo depende do grau de ajuste dos parâmetros de soldagem (corrente, tensão, velocidade de alimentação, entre outros), e como os mesmos se comportam durante o processo. É o caso da alimentação do arame/eletrodo, que ancora o arco elétrico e fornece material a ser fundido e depositado na poça de fusão, denominado nesse trabalho de alimentabilidade.

A alimentabilidade é um fator determinante no desempenho do processo MIG. Segundo Ashidh et al. (2015) variações repentinas na velocidade de alimentação podem causar instabilidade no processo, pois quando a velocidade de alimentação diminui rapidamente o comprimento do arco elétrico tende a aumentar, causando redução da corrente. Quando a velocidade de alimentação aumenta o comprimento do arco diminui e a corrente aumenta bruscamente, essas oscilações no arco além de gerar respingos, curtos circuitos indesejáveis e instabilidade do arco elétrico. A variação desordenada na alimentação (VDA) pode ser explicada por três principais fatores, que são: uso inadequado do sistema de tracionamento do eletrodo (Johnsen et al, 2016), microfusão entre o bico de contato e o arame eletrodo (Rabinowicz, 1982; Adam et al., 2000; Shimizu et al., 2006) e o efeito stick-slip (Ashidh et al. 2015; Bengisu et al., 1999; Riffel et al., 2016).

O bico de contato serve como um contato elétrico deslizante, transmitindo a energia gerada na fonte para o eletrodo. Segundo Rabinowicz, (1982), ao transportar a corrente, este contato gera aquecimento entre as interfaces, se altas temperaturas forem atingidas, pode ocorrer a microfusão ou oxidação entre as superfícies. A microfusão ocorre por alguns milissegundos, porém causam grande danos durante a soldagem. Shimizu et al. (2006) realizou estudo em bico de contato com e sem revestimento de cobre, onde analisou a temperatura, queda de tensão e resistência de contato, o autor constatou a formação de pontes sólida com uma intensidade média de 4,5N podendo causar uma variação de até 43% na velocidade de alimentação do arame.

Já o stick-slip é um fenômeno tribológico que ocorre entre duas superfícies em contato que possuem movimentos relativos entre si (Bengisu et al., 1999). Esse efeito é observado na soldagem, entre o conduíte e o arame eletrodo. O conjunto funciona como um sistema massa-mola absorvendo energia e descarregando de forma aleatória, ocasionando variações na velocidade de alimentação durante a soldagem. Alguns autores estudaram a causa e os efeitos da parada do arame. Em seu estudo o Ashidh et al. (2015) testou algumas configurações de inclinação do mangote na soldagem plana e utilizou a regularidade dos curtos-circuitos para medir a estabilidade na alimentação, concluindo que quanto mais acentuada as curvas no mangote maior será a instabilidade gerada no processo. Riffel et al (2016) realizou um estudo sobre fatores que influenciam na alimentabilidade, analisando a influência do tipo de bico de contato, conduíte e velocidade de soldagem, para os processos MIG/MAG com corrente pulsada e com curto-circuito controlado. O autor chegou à conclusão que o efeito do stick-slip associados a outros fatores podem manter o arame eletrodo parado até 50,2% do tempo total de soldagem e que conduítes com menores coeficientes de atrito atenuam o efeito do stick-slip.

Este trabalho teve cunho exploratório, objetivando investigar a influência da variação desordenada da alimentação na soldagem orbital mecanizada, levando o estudo para uma situação próxima da vivenciada em campo na montagem e manutenção de pipelines. O estudo analisou os seguintes fatores: a posição de soldagem, que está diretamente ligada à configuração do mangote-tocha, tratando-se de soldagem orbital; o tipo de conduíte, que pode oferecer diferentes coeficientes de atrito para a passagem do arame; e os processos MIG/MAG Pulsado e Curto-circuito.

No contexto econômico-industrial, a melhor estabilidade no processo de soldagem pode reduzir significativamente os tempos secundários de preparação de junta e retrabalho das soldas, além de aumentar o tempo de vida útil dos consumíveis de soldagem, justificando o investimento de um equipamento mais robusto. Não obstante, a melhor qualidade obtida na soldagem prolongará o tempo no qual as tubulações possam precisar de reparo.

2. Metodologia

2.1 Materiais

O presente trabalho simulou uma condição real, encontrada em campo para soldagem de tubulações. Por esta razão os testes consistiram em soldagem orbital mecanizada no corpo de um tubo API 5L X 70 de 16" como é apresentado na Figura 1. Foi utilizada uma fonte de soldagem TransSynergic 4000 da empresa Magnatech e para movimentação da tocha o sistema de soldagem orbital Pipeliner II da mesma empresa. Foi utilizado dois tipos de conduítes ambos com 5 m de comprimento. Para análise de dados foram realizadas aquisições de velocidade de arame, corrente e tensão ambos sincronizados com filmagem em alta velocidade. Utilizou-se uma câmera IDT MotionPro Y4-S2 que possui um módulo para aquisição de dados com uma taxa de 25 kHz.

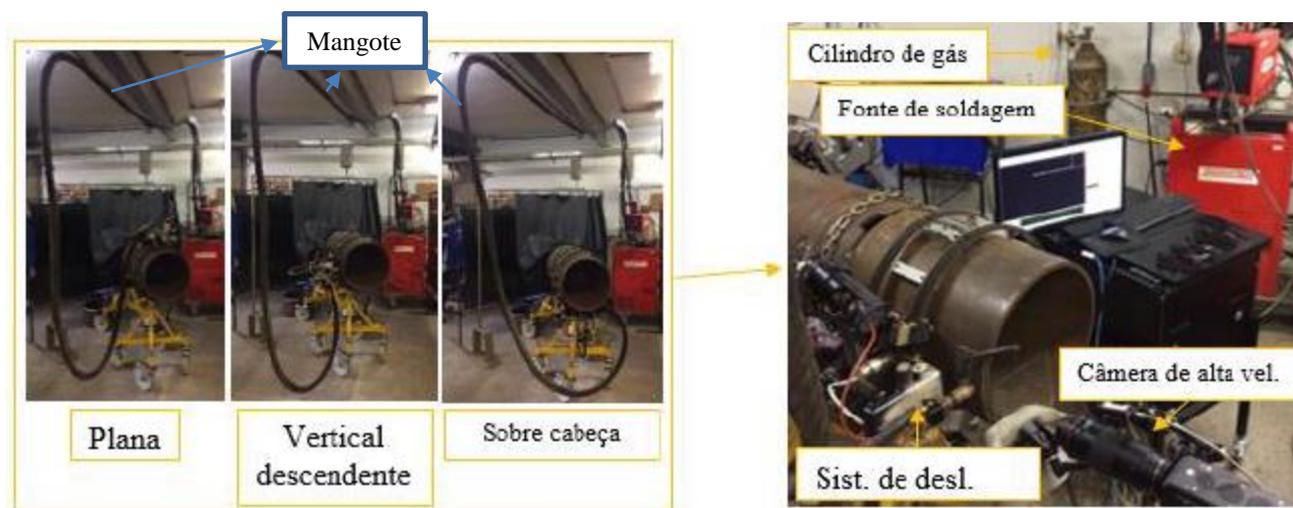


Figura 1. Bancada de ensaios ilustrando equipamentos utilizados e disposição do mangote

O material de adição foi utilizado o arame-eletrodo ER70S-6 com um diâmetro de 1,2mm. O gás de proteção utilizado nos ensaios foi uma mistura constituída por 8% de CO₂ e 92% de Ar. Os demais parâmetros utilizados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 Parâmetros de Soldagem utilizado para realização dos testes

Corrente	TRIM	Vazão de Gás	Vel. de Soldagem	DBCP	Ângulo da Tocha
110	-5	15 l/minl	90 cm/min	15 mm	90°

2.2 Método

Para analisar os fatores que exercem influência sobre a variação desordenada na alimentação de arame, os testes consistiram em variar três condições: a posição de soldagem, o tipo de processo e o conduíte com diferentes coeficientes de atrito (conduíte A, $\mu=0,20$ e conduíte B, $\mu=0,08$), como mostrado na Figura 2. Cada condição foi filmada com taxa de aquisição de 500 quadros/s, a partir das imagens foi possível verificar a variação ou não da alimentação do arame, determinando a faixa de quadros em que o arame se encontrava parado entre os quadros aquisitados.

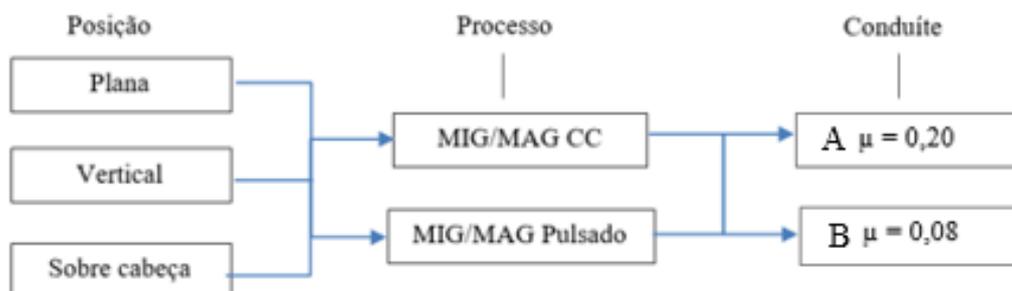


Figura 2. Matriz de testes realizada

Visto que o um dos objetivos do presente trabalho foi avaliar a influência das posições na soldagem orbital de dutos, analisando a variação desordenada na alimentabilidade (VDA) e seus efeitos durante a soldagem. A Figura 3 mostra a posição da tocha de soldagem e a disposição do mangote para cada posição.



Figura 3. Posições de Soldagem

Embora a posição de soldagem exerça influência sobre a resultante das forças que atuam tanto sobre o transferência metálica como na sustentação da poça de fusão (Lancaster, 1993), visto que a força gravitacional atua sempre em função da massa de metal fundido ela pode ser favorável ou não durante a soldagem, ao variar a posição a geometria da poça líquida muda bruscamente como pode ser visto na Figura 4, no entanto neste trabalho só foi abordado as questões referentes a VDA.

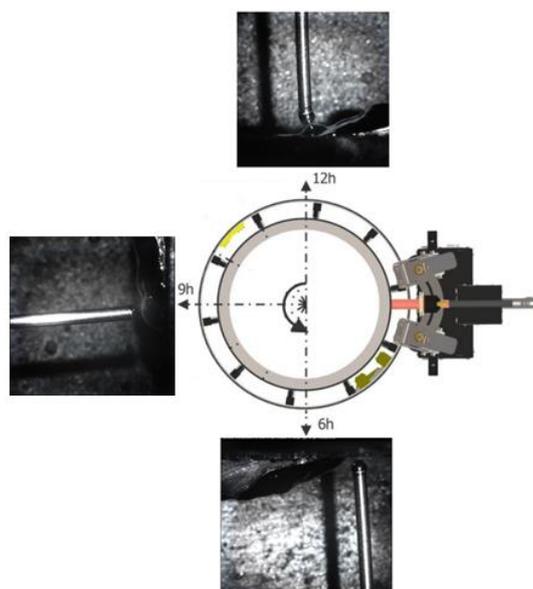


Figura 4. Poça de Fusão para diferentes posições

Uma das condições que se alteram na soldagem orbital ao longo das posições é mudança no nível de inclinação do conduíte que conduz o arame-eletrodo até o bico de contato. O conduíte tende a se flexionar de forma diferente para cada posição. Quanto maiores os ângulos de inclinação, mais acentuados serão seus efeitos sobre a VDA. Na Tabela 2 é mostrado o grau de inclinação para cada posição de soldagem analisada no trabalho. Foi utilizado um mangote de 7 metros de comprimento, os ângulos foram medidos considerando as inclinações do conduíte a partir da saída do cabeçote alimentador até a entrada da tocha como mostrado na Figura 5.

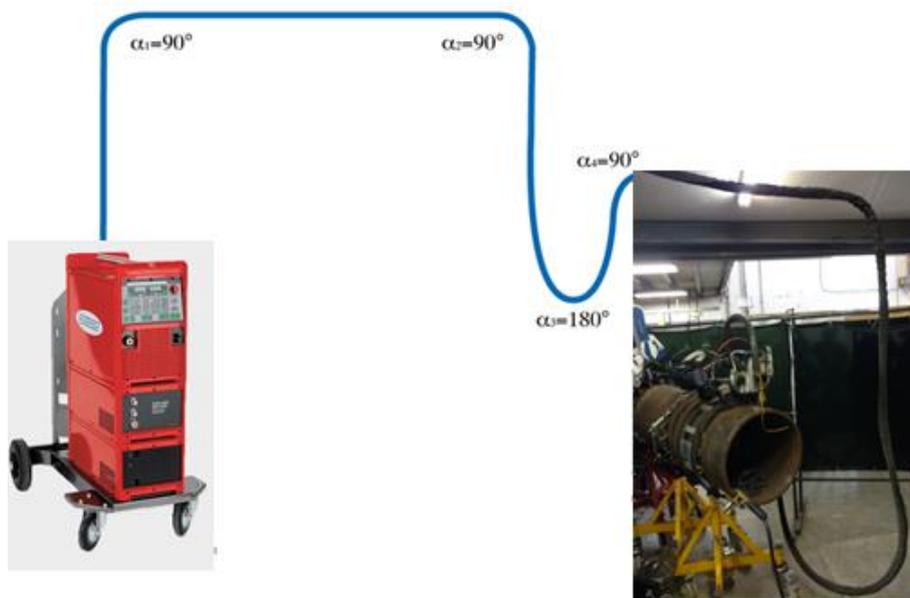


Figura 5. Metodologia utilizada para medir Ângulo de inclinação do conduíte

Tabela 2. Medida do somatório dos ângulos de inclinação ao longo do conduíte para as posições de soldagem.

Plana	Vertical	Sobre-cabeça
450°	400°	630°

3. Resultados e Discussões

3.1 Avaliação do Travamento do Arame

A partir dessa seção serão apresentados os resultados da análise da VDA. A Figura 6 mostra uma ocorrência do fenômeno. A linha vermelha superior indica uma altura constante com relação a poça de fusão enquanto que a linha vermelha inferior indica a posição da linha de fusão do arame. O arame-eletrodo trava por alguns milissegundos, neste momento a altura do arco aumenta, enquanto isso o arame vindo da bobina se acumula como uma mola dentro do conduíte, até que em determinado momento a energia acumulada consegue vencer a inércia e acelera o arame-eletrodo com alta velocidade, reduzindo bruscamente a altura do arco.



Figura 6. Filmagem em alta velocidade do processo MIG/MAG com curto-circuito controlado, na posição sobre-cabeça ilustrando a parada do arame e oscilação na altura do arco.

Analisando as filmagens em alta velocidade, quadro a quadro, foi possível quantificar para cada configuração a quantidade de quadros parados em relação a quantidade de quadros totais analisados, e extrair o número de vezes que o arame-eletrodo parou no tempo analisado, tempo médio de cada parada, e tempo total parado. Os dados são apresentados comparando as três posições de soldagem.

Na Figura 7 foi analisado o número de ocorrências para os processos MIG/MAG-CC e MIG/MAG-P, utilizando dois tipos de conduíte com diferentes coeficientes de atrito. Foi possível verificar que o conduíte com menor coeficiente de atrito proporcionou menores índices de ocorrências. Na posição sobre-cabeça, em que os ângulos de inclinação do conduíte eram maiores, foi verificado os piores resultados.

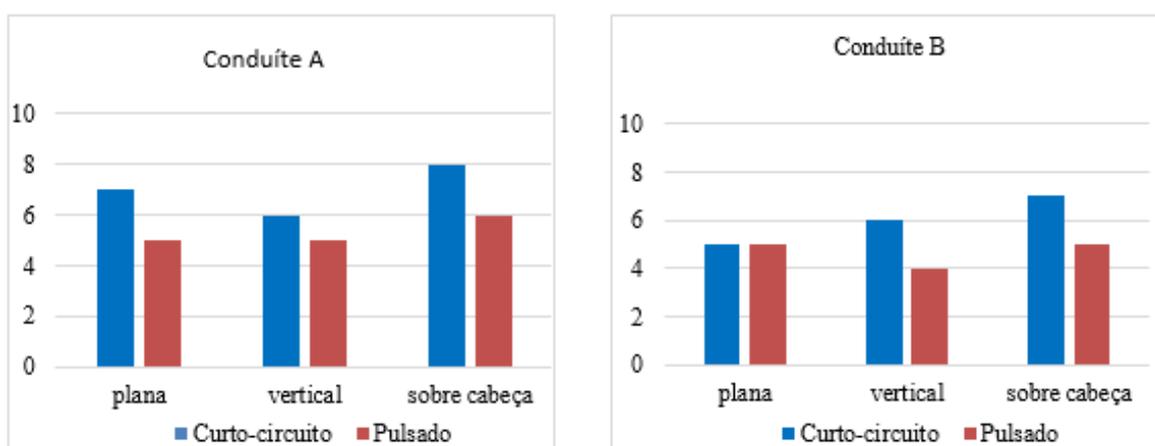


Figura 7. Número de ocorrências do travamento do arame-eletro em função do tipo de conduíte, processo e posição de soldagem.

Outro fator determinante é a quantidade de tempo que o arame-eletro permanece parado, pois quanto maior o este tempo mais instável será o processo. Na Figura 8 é mostrado o tempo médio de parada para cada situação analisada. O Conduíte B com menor coeficiente de atrito teve tempos de paradas menores que o Conduíte A em todas as situações analisadas.

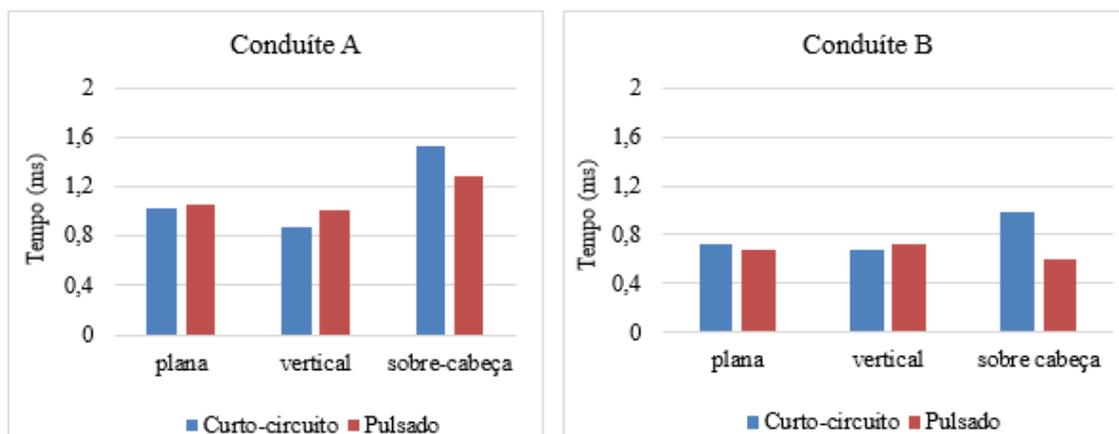


Figura 8. Tempo médio de ocorrência do travamento do arame-eletro em função do tipo de conduíte, processo e posição de soldagem.

Fazendo um comparativo entre as três posições de soldagem analisadas, verificou-se que a posição sobre-cabeça apresentou os piores resultados em todos os quesitos analisados quando mantidos os outros parâmetros constantes, corroborando com o fato de que a configuração utilizada na soldagem sobre-cabeça, o conduíte tem as maiores angulações, enquanto que na posição vertical e plana as angulações são menores. Evidenciando que a configuração do mangote tem forte influência na alimentabilidade do arame.

Quando comparado os processos de soldagem quanto a ocorrência da VDA, uma informação que pôde ser extraída ao analisar os quadros em conjunto com os oscilogramas foi que o evento da parada do arame se dá quando há significativas elevações da corrente, seja na corrente de curto ou de pulso. Acredita-se que, como alguns autores dizem que o fenômeno de stick-slip não é o único responsável pela oscilação da velocidade do arame durante a soldagem, mas também há a presença de uma microfusão por resistência entre o bico de contato e arame (Shimizu et al., 2006). Na Figura 9 é ilustrando a parada do arame e oscilação da altura do arco elétrico para a soldagem MIG/MAG com curto-circuito. É evidenciado o momento que ocorre a instabilidade do processo.

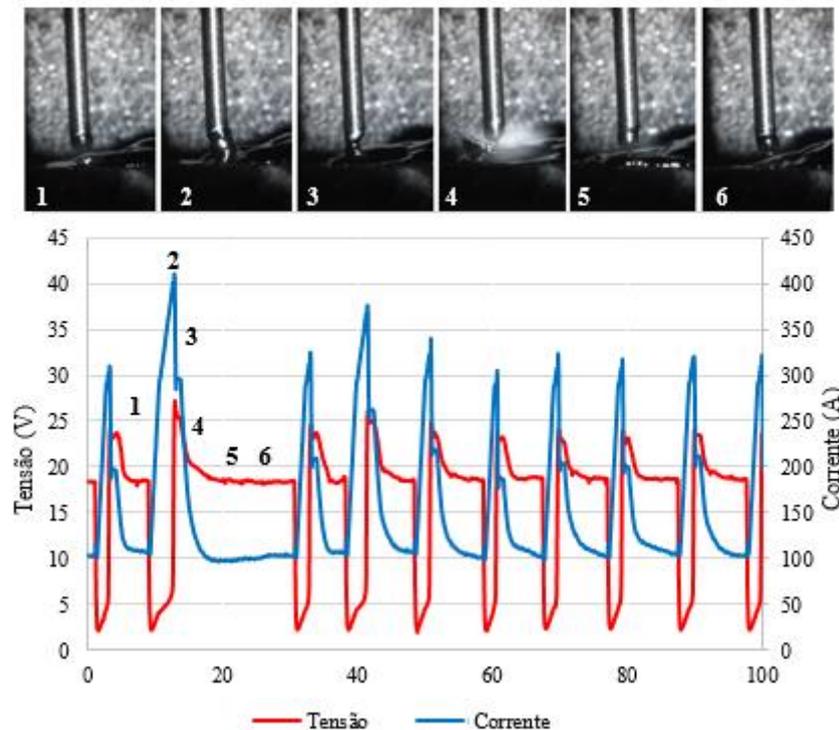


Figura 9. Filmagem em alta velocidade sincronizado com oscilogramas de corrente e tensão para soldagem MIG/MAG-na posição plana

Apesar de não ser possível verificar um padrão na diferença entre os tempos médios de parada quando analisando a diferença entre os processos, é possível verificar que, de uma forma geral, o número de ocorrências é maior para o processo convencional. Esse evento corrobora com o fato de que as ocorrências estão ligadas à elevações na corrente, pois o processo convencional normalmente teve maior número de transferências metálicas do que o processo pulsado, automaticamente o mesmo apresentará também um maior número de vezes que a corrente será elevada, esse é um dos gatilhos para a parada do arame através da microfusão. Conseqüentemente, devido ao maior número de ocorrências, o tempo total de arame parado também foi maior no processo convencional. Na Figura 10 é mostrado o processo Pulsado, mesmo com o travamento do arame eletrodo, não verificou-se mudança significativa nos oscilogramas de corrente e tensão.

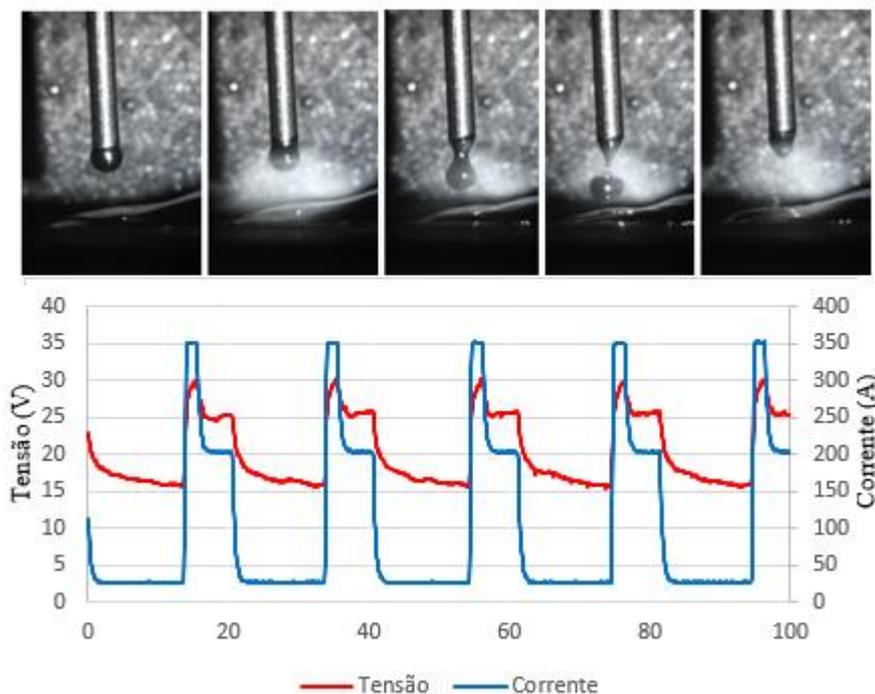


Figura 10. Filmagem em alta velocidade sincronizado com oscilogramas de corrente e tensão para soldagem MIG/MAG Pulsado na posição plana

Embora a literatura descreva o processo com controle de corrente, mais susceptíveis a instabilidade com a variação na alimentabilidade, nos casos observados os travamentos do eletrodo foram mais prejudiciais na soldagem convencional por curto-circuito. Como visto na Figura 10 mesmo o fenômeno ocorrendo durante a base durou apenas alguns milissegundos e não chegou a afetar com severidade o processo.

3.2 Efeitos no Cordão de Solda

Foi verificado que a corrente e tensão do arco elétrico não mantém um padrão ao longo da solda nos casos onde a VDA é elevada. Por esta razão, os cordões foram cortados longitudinal e transversalmente para verificar a influência da VDA sobre a geometria do cordão. Na Figura 11 é mostrada a seção transversal da soldagem com curto-circuito na posição plana. Na Figura 11.A foi utilizado o condúite A, verifica-se uma cordão simétrico bem centralizado, resultado da grande estabilidade do arco elétrico. Já Figura 11.B o caso onde foi utilizado o condúite B, a solda possui uma geometria disforme, e o molhamento do metal de adição é um pouco prejudicado.

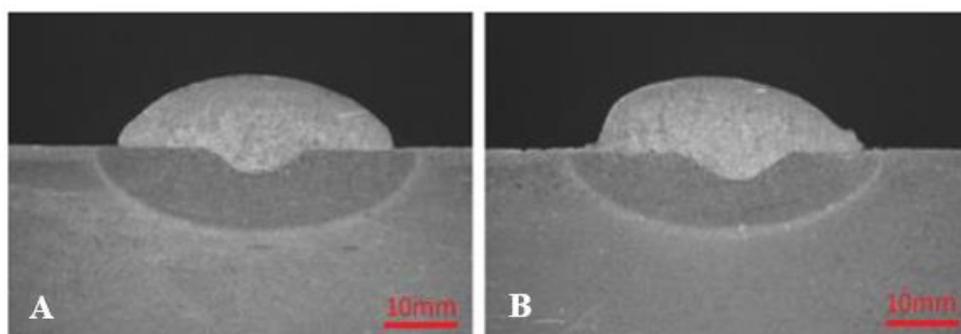


Figura 11. Seção transversal do cordão de solda realizado pelo processo MIG/MAG Curto-circuito na posição plana, em A) condúite A em B) condúite B. Ataque químico com em Nital 2%

Já no corte longitudinal destes mesmos cordões, apresentados na Figura 12 é possível aferir que no caso registrou o menor índice de VDA (Figura 12.A) a solda apresentou penetração de profundidade muito estável ao longo do cordão enquanto que no caso onde a VDA foi mais severa (Figura 12.B) a penetração da solda apresentou significativa oscilação.

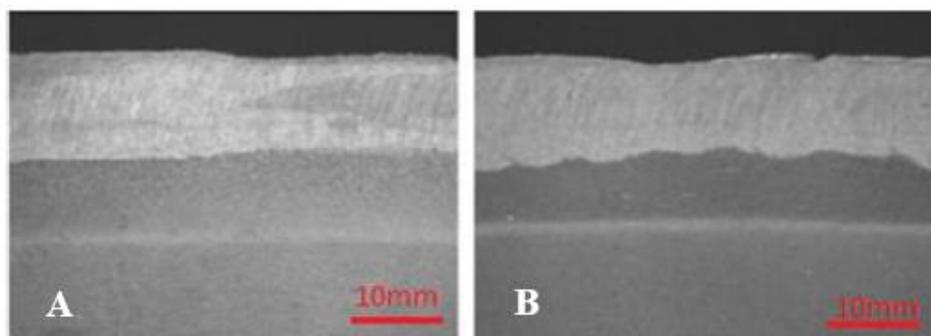


Figura 12. Seção longitudinal do cordão de solda realizado pelo processo MIG/MAG Curto-circuito na posição plana, em A) conduíte A em B) conduíte B. Ataque químico com em Nital 2%

O resultado apontado acima pode ser explicado pelo fato de que as oscilações do arco elétrico e os curtos circuitos indesejáveis apresentados geram uma variação na corrente média fornecida pelo sistema nos curtos períodos de tempo, fazendo com que a cada milímetro que a solda percorra, apresenta uma corrente uma quantidade de corrente fornecida diferente.

4. Conclusões

As análises dos resultados mostram que a variação desordenada na alimentabilidade é um efeito indesejado na soldagem causada por uma soma de fatores como: o efeito do stick-slip, microfusão e a configuração do sistema soldagem, podendo afirmar que:

- Seu efeito se agrava com o aumento do coeficiente de atrito e com o somatório dos ângulos no conduíte;
- Quanto as posições de soldagem, o maior efeito sobre a alimentabilidade está relacionado à disposição do mangote durante a soldagem, visto que para cada posição de soldagem se configura angulações diferentes do mangote, sendo que a sobre cabeça ofereceu curvas mais acentuadas;
- O processo de soldagem MIG/MAG-CC apresentou mais susceptibilidade a ser afetado, tanto na instabilidade do processo como na geometria do cordão de solda;
- Foi verificado que a variação na alimentação do arame influenciou na estabilidade e no perfil de penetração da soldagem, mesmo para deposições sobre chapa. Acredita-se que na soldagem multipasse de chanfros e de geometrias mais complexas esse efeito seja mais acentuado.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à toda equipe do LABSOLDA, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC (POSMEC) e ao CNPq por tornarem este trabalho possível.

6. Referências

- ASHIDH K; A. SANTHA KUMARI; A. SUMESH; N. RAJASEKARAN. **Influence of stick-slip effect on gas metal arc welding**. Applied Mechanics and Materials. 2015 Trans Tech Publications, Switzerland.
- ADAM. G, T. A. SIEWERT, T. P. QUINN, D. V. VIGLIOTTI. **Contact-Tube Temperature During GMAW**. NIST.
- BENGISU, M. T; AKAY, A; **Stick-Slip Oscillations: Dynamics of Friction and Surface roughness**. J. Acoust. Soc. Am., Vol. 105, No. 1, January 1999.
- JOHNSEN, M.R; CULLISON, A.; WOODWARD, H. M.; **What's Up with Wire Feeders?**. Welding Journal. April 2016.
- LANCASTER.J.F. **Physical Aspects of Arc Welding**. 1993.
- RABINOWICZ, E., 1982. **The Temperature Rise at Sliding Electrical Contacts**. Wear 78, 29-37.
- RIFFEL, K. C.; BERNARDI, R. A.; MAIA, L. C.; SILVA, R. H. G.. **Efeitos da Alimentabilidade de Arame no Processo Curto-Circuito Controlado**. XLIII CONSOLDA – Congresso Nacional de Soldagem, Novembro de 2017, Joinville-SC, Brasil.
- SHIMIZU H.; K. ITOH; N. MASAIE; T. KUROKAWA; M. USHIO: **Feedability of wires during metal active gas welding**. Science and Technology of Welding and Joing. Vol 11, No. 1 2006.