

## Efeitos da Alimentabilidade de Arame no Processo Curto-Circuito Controlado

### (Effects of Wire Feedability on Controlled Short-Circuit (CCC) Process)

Kauê Correa Riffel<sup>1</sup>, Rafael Albino Bernardi<sup>1</sup>, Larissa Colares Maia<sup>1</sup>, Regis Henrique Gonçalves e Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. kaue.riffel@posgrad.ufsc.br

#### Resumo

Ao longo dos anos, o desenvolvimento de novas tecnologias tem requerido o aperfeiçoamento das técnicas de soldagem, visando aumento da qualidade e produtividade. Entretanto, problemas quanto à alimentabilidade de arame no processo GMAW e seus derivativos ainda se fazem presentes, conferindo por vezes instabilidades que são comumente atribuídas à outros fatores como os parâmetros elétricos. Isto torna a investigação da alimentação de arame no processo GMAW necessária, visando propor melhorias e aumento da qualidade. O objetivo deste trabalho é a avaliação das paradas na alimentação de arame durante o processo de soldagem CCC (Curto-Circuito Controlado), quanto à sua quantificação, características e identificação de possíveis fatores causadores. Ensaios foram realizados na posição plana, utilizando um condúite de 5 metros metálico e velocidade de alimentação de 3,3 e 5,4 m/min, referentes ao programa sinérgico da fonte de soldagem. Filmagens com câmera de alta velocidade à 1000 quadros por segundo permitiu a quantificação e análise das paradas. Os resultados mostraram que processos como o CCC são diretamente influenciados por tais eventos causando variações na frequência de destacamento. Conclui-se, portanto, que o número de paradas na alimentação de arame ocorre de forma heterogênea durante a soldagem e aumenta com a velocidade de alimentação do arame.

**Palavras-chave:** Alimentabilidade; Velocidade de arame; Paradas do arame; GMAW.

**Abstract:** Along the years, the development of new technologies has required an improvement of weld techniques aiming the increase in quality and productivity. However, issues regarding to wire feedability in the GMAW process are still presents, resulting in instabilities which can be wrongly attributed to other variables like electric parameters. This makes the wire feeding investigation very necessary in the GMAW process, in order to propose improvements and quality increase. The aim of this work is the evaluation of wire feed stoppage during the CCC (Curto-Circuito Controlado) welding process in terms of quantification, characteristics and stops causal factors. Tests were realized on flat position, using a 5 meters metallic conduit and wire feed speeds of 3,3 m/min and 5,4m/min, corresponding to the power source's synergic program. Filming with 1000 frames/s was made using a high speed camera, allowing stoppage quantification and analysis. The results showed that welding process like CCC are strongly affected by interruption events causing fluctuations in droplet detachment frequency. The paper concludes that the number of interruptions in the wire feeding occurs heterogeneously during the welding, and increases with wire feeding speed.

**Key-words:** Feedability; Wire speed; Wire stops; GMAW.

#### 1. Introdução

O desenvolvimento de novas técnicas e sistemas de controle para o processo de soldagem GMAW é uma realidade que vem sendo muito explorada nos últimos anos. Como exemplos, podem ser citados os processos CMT da Fronius, STT da Lincoln, CCC da IMC, entre outros que utilizam recursos eletromecânicos e sistemas em malha fechada para o controle minucioso do processo de soldagem. Com o avanço destas tecnologias tornou-se possível um maior domínio sobre os parâmetros do processo sendo que tal fato está intrinsecamente ligado à alimentação

adequada do metal de adição. Tais processos baseiam-se na constante leitura de variáveis como tensão e resistência elétrica para atuar e se autocorrigirem buscando a estabilidade do procedimento de soldagem [1-3].

Neste contexto, alguns trabalhos observaram fenômenos prejudiciais atrelados à alimentabilidade do metal de adição, como a breve interrupção na alimentação de arame durante o processo [4]. Tal interrupção do arame pode causar instabilidade no arco elétrico e variações significativas na altura do mesmo, comprometendo o funcionamento de sistemas de controle em processos com alta precisão. Uma das possíveis causas para a ocorrência da intermitência na alimentação é o fenômeno *stick-slip*, efeito decorrente do deslizamento relativo entre duas superfícies, no caso da soldagem arame/conduíte [5].

Porém, no campo da soldagem não existe um consenso das reais causas das paradas na alimentação de arame, sendo que tal acontecimento também é muitas vezes atribuído à ocorrência de microsoldas na interface entre o bico de contato e o arame e até mesmo o acúmulo de material nesta região criando uma barreira para o avanço do eletrodo [6,7].

Tais problemas podem ser magnificados pelas variáveis de soldagem sendo uma delas a velocidade de arame empregada no processo, a qual influencia diretamente sobre o desgaste dos componentes atrelados à alimentabilidade do processo como o conduíte e o bico de contato [8,9].

Este trabalho tem como objetivo investigar e quantificar as paradas recorrentes no arame devido à velocidade de alimentação empregada durante o processo de soldagem com CCC. Tratando-se de uma investigação minuciosa por meio de filmagens em alta velocidade e tendo como principal variável a velocidade de alimentação do processo. Deste modo, aplicou-se o conduíte metálico comumente utilizado nos processos de soldagem.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1 Bancada e Equipamentos

Para realização deste trabalho utilizou-se uma bancada rígida fixada na posição plana de soldagem. Uma fonte de soldagem multiprocessos Digiplus A7 da marca IMC, a qual opera na faixa de 5A a 450A. Para o processo GMAW tem-se a possibilidade de trabalhar no modo convencional com controle de tensão, além de corrente pulsada e corrente alternada. Para a alimentação de arame, empregou-se um cabeçote alimentador STA do mesmo fabricante (IMC). O STA trabalha com faixa de alimentação de 1 a 20 m/min.

Para esta etapa, utilizou-se o conduíte de aço, comumente aplicado na indústria em processos de soldagem onde utiliza-se o aço carbono como metal de adição.

Para aquisição de dados foi utilizado o Sistema de Aquisição de Dados Portátil – SAP, do fabricante IMC, que permite a aquisição de sinais de tensão, corrente e velocidade de alimentação de arame em uma frequência de 5 kHz. Os dados aquisitados são apresentados em forma de gráficos e histogramas, permitindo uma análise detalhada das variáveis no processo.

Para a filmagem em alta velocidade, utilizou-se uma câmera IDT MotionPro Y4-S2 que possui um módulo para aquisição de dados de tensão e corrente similar ao sistema de aquisição de dados utilizado, porém com uma taxa de 25 kHz. Os vídeos em alta velocidade foram aquisitados a uma taxa de 1000 quadros/s. Como metal de base, foram utilizadas chapas de aço carbono SAE 1020 e, como metal de adição, o arame de aço carbono AWS ER70S-6 com diâmetro de 1,2 mm. Para todos os ensaios foi utilizada a mesma bobina de arame assim como o gás de processo 8%CO<sub>2</sub>-92%Ar. A bancada e equipamentos são mostrados na Figura 1.



Figura 1. Bancada de ensaios utilizada para todas as condições de soldagem analisadas.

- (1) Mangote disposto com angulação 90°; (2) Câmera IDT MotionPro Y4-S2; (3) Cilindro de Gás de Proteção; (4) Fonte de Soldagem IMC; (5) SAP - Sistema de Aquisição de Dados Portátil.

## 2.2 Metodologia

Para identificar as variações na alimentação de arame durante a soldagem utilizou-se a técnica de filmagem em alta velocidade, sendo para tal, escolhido o processo de soldagem CCC (Curto-Circuito Controlado) com comando sinérgico. Deste modo, empregou-se duas velocidades de alimentação de 3,3 m/min e 5,4 m/min. A escolha deste processo deu-se devido ao constante desenvolvimento e aperfeiçoamento do LABSOLDA sobre o CCC em aplicações de passe de raiz.

Os parâmetros de soldagem utilizados para as duas configurações de soldagem são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros utilizados nos ensaios.

Parâmetro	CCC 1	CCC 2
Va (m/min)	3,3	5,4
Vs (cm/min)	30	30
Im (A)	120	250
Um (V)	17,3	19
DBCP (mm)	15	15
Vazão (l/min)	15	15
Pm (W)	2076	4680

A escolha de duas velocidades de alimentação foi analisada para justamente comparar as influências da maior energia cinética sobre as paradas no arame. É importante salientar que procurou-se manter a disposição do condúite semelhante para as duas condições. Portanto, o condúite utilizado durante os ensaios possui 5 metros de comprimento com uma dobra predominante de 90° entre o cabeçote alimentador e a tocha.

Com as filmagens em alta velocidade analisou-se 300 ms de cada condição de soldagem, com a obtenção de informações, tais como o número de paradas da alimentação, o tempo médio das paradas, o tempo total que o arame permaneceu estático, além de uma correlação entre as pausas e a onda de tensão para o CCC.

Utilizou-se os valores de tensão para o processo CCC por proporcionar uma melhor visualização do período total de formação e destacamento das gotas. Neste caso, o objetivo de tal análise é avaliar a influência das paradas de alimentação no tempo destacamento das gotas a qual é uma informação muito importante para a estabilidade do Curto-Circuito Controlado.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 CCC com Va= 3,3 m/min

A partir desta seção apresentam-se as análises detalhadas das filmagens com o processo CCC. A investigação desta condição utilizando o bico de contato circular foi baseada em vídeo representado neste trabalho pela Figura 2.

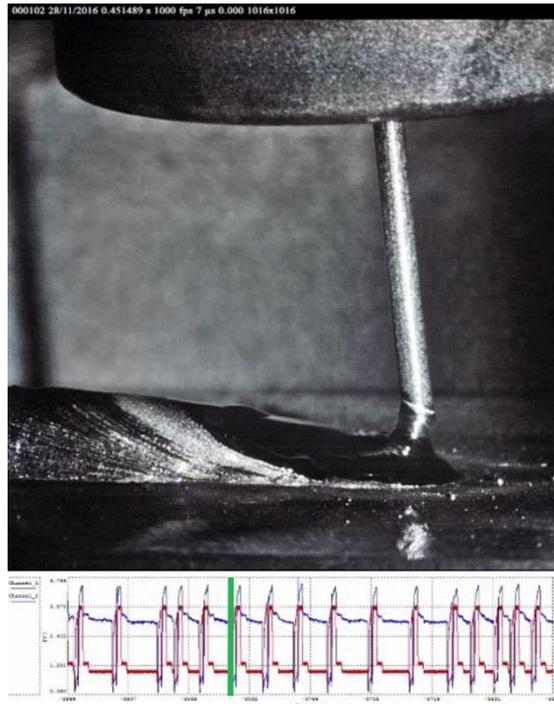


Figura 2. Processo CCC com velocidade de arame de 3,3 m/min.

Para análise, criaram-se dois gráficos mostrados nas Figuras 3 e 4. O primeiro representa o tempo de parada para cada evento de parada detectado a partir da filmagem. O segundo representa flutuação na velocidade de alimentação de arame ao longo do tempo bem como os níveis de tensão correspondentes (sinais mostrados na Figura 2).

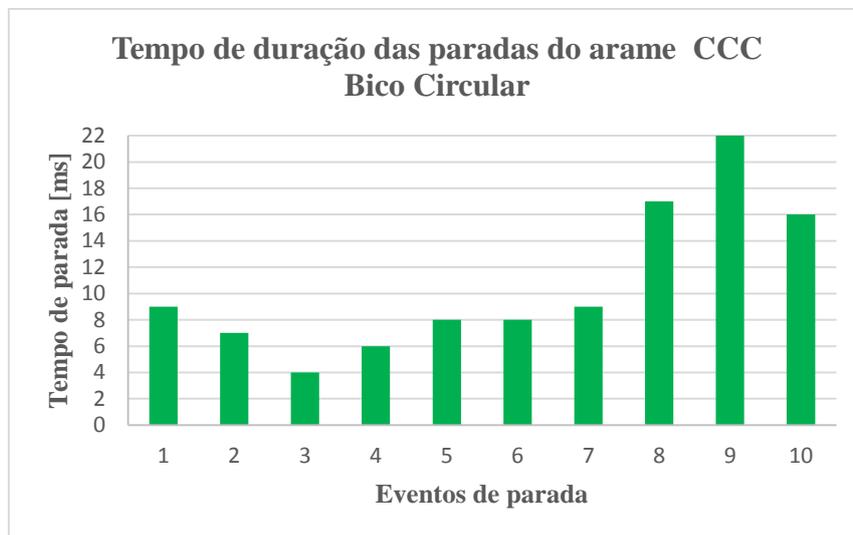


Figura 3. Eventos de parada e tempo de duração correspondente. CCC Bico Circular e  $V_a = 3,3$  m/min.

Para o processo com  $V_a$  de 3,3 m/min observou-se 10 eventos de parada no arame em 300 ms, conforme o gráfico de barras da Figura 3. Porém sua periodicidade não é um fenômeno cíclico e sistemático, sendo ocorrências aleatórias de uma forma heterogênea. Por exemplo, o evento 3 teve uma pequena duração quando comparado ao evento 9, havendo uma diferença de 18 ms entre ambos.

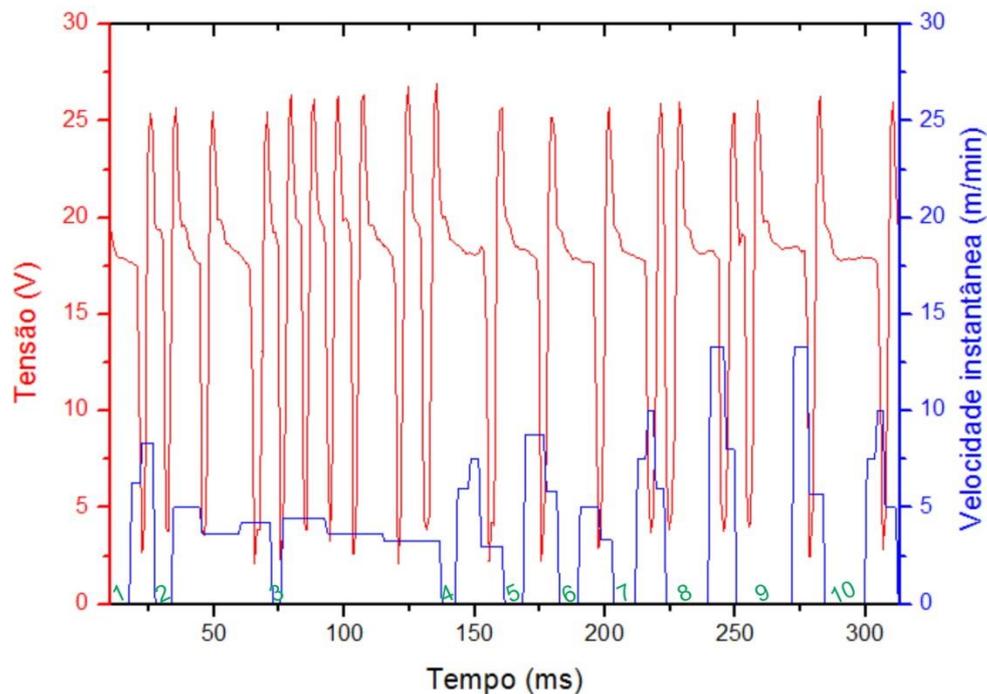


Figura 4. Velocidade instantânea do arame entre paradas e níveis de tensão durante tais eventos. CCC Bico Circular e  $V_a = 3,3$  m/min.

Na Figura 4, mostra-se as velocidades médias (linha azul) antes e após cada parada do arame (instante que a linha azul tem valor 0). Com tal informação nota-se que nos eventos onde o arame permanece estático por mais tempo (parada 8 e 9), há uma tendência a apresentar uma velocidade instantânea maior após a retomada do movimento se comparada com eventos de parada de menor duração (parada 3).

Observando o gráfico de tensão, é possível notar que enquanto o arame apresenta-se em movimento (logo após a parada 3) as transferências metálicas ocorrem rapidamente. Além disto, períodos maiores decorrem para o destacamento das gotas em eventos maiores de parada (como os eventos 8 a 10).

### 3.2 CCC com $V_a = 5,4$ m/min

Esta seção apresenta as análises detalhadas das filmagens com o processo CCC e  $V_a$  de 5,4 m/min, representada pela Figura 5.

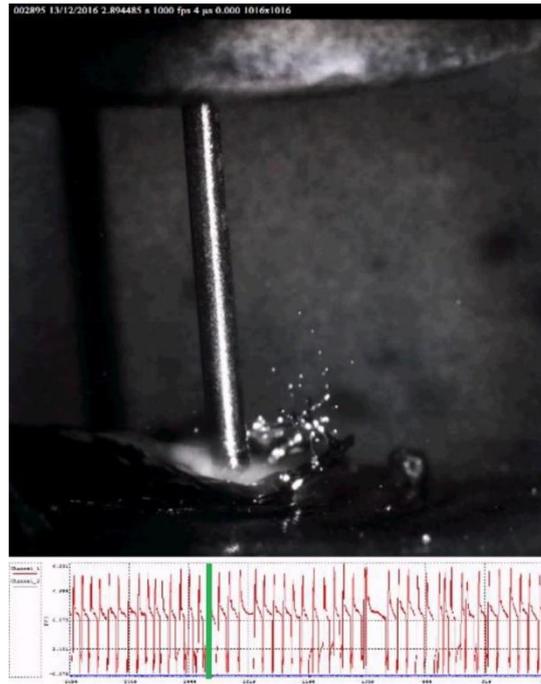


Figura 5. Processo CCC com velocidade de arame de 5,4 m/min.

A Figura 5 mostra um instante de instabilidade no processo, onde devido a uma parada no arame o mesmo permaneceu em curto-circuito por um tempo maior, gerando uma transferência instável com respingos.

Para o processo CCC com velocidade de alimentação de 5,4 m/min, observou-se uma variação semelhante a encontrada no CCC com velocidade de 3,3 m/min. Os eventos de parada não ocorrem de forma sistemática.

As Figuras 6 e 7 mostram, respectivamente, a relação entre o tempo de parada e os eventos ocorridos e a flutuação na velocidade de alimentação de arame ao longo do tempo.

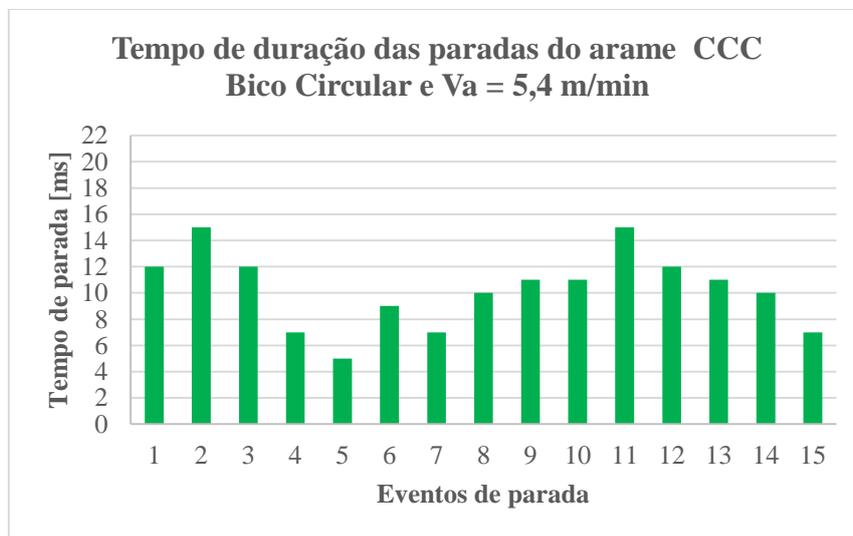


Figura 6. Eventos de parada e tempo de duração correspondente. CCC Bico Circular e  $V_a = 5,4$  m/min.

A heterogeneidade nas paradas fica evidente visualizando a Figura 6, onde observa-se uma grande discrepância entre os tempos da parada 5 e 11 com 4 ms e 14 ms, respectivamente.

Nesta condição também observa-se um número maior de paradas quando comparado ao processo com  $V_a$  de 3,3 m/min, havendo um aumento na frequência de paradas.

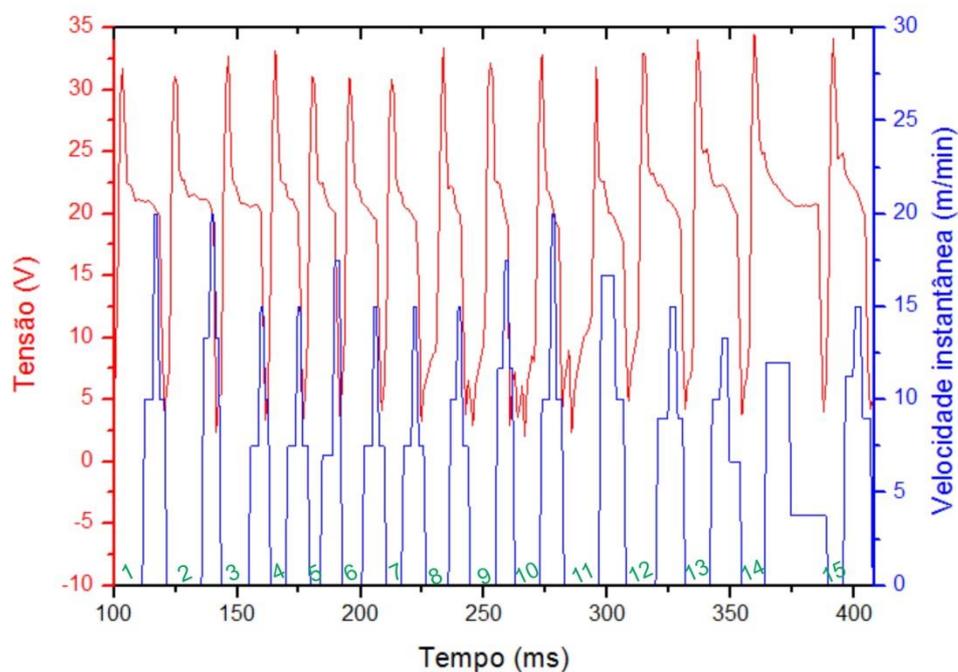


Figura 7. Velocidade instantânea do arame entre paradas e níveis de tensão durante tais eventos. CCC Bico Circular e  $V_a = 5,4$  m/min.

Nesta condição também nota-se uma relação entre o tempo de parada e uma demora no destacamento das gotas. No início do gráfico, entre 150 e 250 ms, nota-se paradas mais curtas bem como ciclos da onda menores. Com o aumento do tempo de parada, entre 300 e 375 ms, nota-se o conseqüente aumento nos ciclos da onda.

Com isto mostra-se a influência direta das paradas no arame na frequência de destacamento.

### 3.3 Análise dos resultados

Nesta etapa criou-se a Tabela 2 com os resultados observados até então. Com isto é possível comparar o tempo total de arame estático durante a soldagem para cada condição ensaiada nesta etapa do trabalho.

Tabela 2. Análise quantitativa dos processos ensaiados.

Resultados das análises dos vídeos		
Processo	CCC 3,3 m/min	CCC 5,4 m/min
Tempo total analisado (ms)	303	307
Número de ocorrências	10	15
Frequência de parada (Hz)	33,0	39,1
Tempo médio de parada (ms)	10,6	10,3
Tempo total arame estático (ms)	106	154
Porcentagem de tempo parado (%)	35,0	50,2

Os diferentes tempos de análise entre os vídeos devem-se ao fato das paradas não ocorrerem de forma igual para as condições ensaiadas neste trabalho. Desta forma, se ao alcançar o quadro 300 uma parada estivesse acontecendo, o vídeo era seguido até o fim desta. Por isto, ultrapassa-se 300 ms analisados. Se no quadro 300 o arame estivesse em movimento a análise era interrompida.

Ao comparar-se os testes com CCC 3,3 m/min com o CCC 5,4 m/min é visto que o fator velocidade de alimentação, influencia na frequência de paradas do arame, tornando o processo mais susceptível à instabilidades.

De um modo geral, portanto, infere-se que os eventos de parada exercem forte influência nos processos de soldagem. A parada do arame alterou a homogeneidade na forma de onda da corrente, gerando instabilidades cuja causa pode ser erroneamente conferida a outros fatores como os parâmetros elétricos do mesmo.

As causas para a parada na alimentação podem ser diversas, e as mais notáveis a se considerar são: o comprimento do condute, sua integridade e disposição; desgaste e perfil do bico de contato; forma de onda e níveis de corrente empregados no processo; aquecimento dos componentes em contato com o arame; velocidade de soldagem.

#### 4. Conclusões

Dos ensaios realizados é possível retirar as seguintes conclusões:

- As recorrentes paradas na alimentação de arame ocorrem de forma aleatória e podem trazer efeitos nocivos para processos com controle em malha fechada, tal como o CCC. Tais pausas contribuem para a ocorrência de atrasos no destacamento das gotas modificando sua frequência e impactando na onda de corrente e tensão do processo.
- A correta seleção dos componentes físicos empregados na soldagem são de suma importância para a manutenção e desempenho do processo de soldagem, principalmente modalidades que empregam controles adaptativos em malha fechada, como o CCC. Conduítes mais longos e componentes degradados podem influenciar diretamente a ocorrência das paradas na alimentação, conferindo instabilidades para o processo.
- Embora o tempo de cada parada seja pequeno em torno de 10 ms de média, o tempo total é algo relevante podendo chegar a metade do tempo de soldagem, como no caso do CCC com 5,4 m/min.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem à UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina e o Posmec – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica pela oportunidade, e em especial ao LABSOLDA – Laboratório de Soldagem e sua Equipe de Projetos Mecânicos por tornarem possível este trabalho.

#### 6. Referências Bibliográficas

- [1] FILHO, H. D; SILVA, R. H. G; DUTRA, J. C. Comparação do Processo MIG/MAG em Transferência por Curto-Circuito com Controle de Corrente (CCC) com o Processo STT na Soldagem de Passes de Raiz em Dutos. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Informe Conjuntura & Informação. Dezembro de 2013, N 63
- [2] SILVA, R. H. G. Soldagem MIG/MAG em Transferência Metálica por Curto-Circuito Controlado Aplicada ao Passe de Raiz. 2005. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- [3] SARTORI, F. Tecnologias e Técnicas Modernas do Processo MIG/MAG para o Passe de Raiz em Soldagem Orbital de Tubos. 2016. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- [4] 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.
- [5] BENGISU, M. T; AKAY, A; Stick-Slip Oscillations: Dynamics of Friction and Surface roughness. J. Acoust. Soc. Am., Vol. 105, No. 1, January 1999.
- [6] G. ADAM, T. A. SIEWERT, T. P. QUINN, D. V. VIGLIOTTI. Contact-Tube Temperature During GMAW. NIST.
- [7] Catálogo Fronius Powerliner/Powerdriver. Disponível em: [http://www.pronius.fi/uploads/Esite\\_PowerLiner\\_ENG.pdf](http://www.pronius.fi/uploads/Esite_PowerLiner_ENG.pdf); Acesso em Jan. 2017.
- [8] DUTRA, J. C; SILVA, R. H. G; MARQUES. C; VIVIANI. A. B. A New Approach for MIG/MAG Cladding with Inconel 625. Weld World, 2016, vol. 60, p 1201-1209.
- [9] MARQUES, C. Prospecções da Natureza Física da Soldagem MIG Automática de Ligas de Alumínio Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013