



Associação Brasileira de Soldagem

**XLIV CONSOLDA – Congresso Nacional de Soldagem
Uberlândia, MG – de 10 a 13 de Setembro de 2018.**

**Desenvolvimento de um Método Experimental para Equacionamento do Processo MIG/MAG Pulsado para o arame AWS ER309LSi
(Development of an Experimental Method to Equate the GMAW Pulse Process to the AWS ER309LSi Wire)**

Junior Bonetti Zanini¹, Daniel Galeazzi¹, Regis Henrique Gonçalves e Silva¹, Ramon Fernandes Fagundes²

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. jr_bonetti@hotmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.

Resumo

A utilização do processo MIG/MAG pulsado permite a obtenção de uma soldagem com características intermediárias aos processos com transferência por curto circuito e spray. Nesse processo a transferência metálica ocorre gota a gota, por meio de um pulso de corrente por um determinado tempo, para que haja a formação e estricção da gota, seguido por uma corrente mais baixa, denominada corrente de base, onde ocorrerá o destacamento da gota formada. A fim de tentar equacionar o processo pulsado, alguns autores sugerem a existência da relação $D = I_p^x \cdot t_p$, onde, D é uma constante característica de destacamento, ou seja, ela representa os conjuntos de corrente de pulso (I_p) e tempo de pulso (t_p) no qual é fornecida energia suficiente para o destacamento da gota metálica, e x é um expoente que determina a relevância da I_p em relação ao t_p . Ao verificar o que alguns autores sugerem como expoente, é possível encontrar grande divergência, não sendo possível verificar apenas um expoente que melhor se adequa ao equacionamento do processo pulsado. Visto a divergência dos autores com relação a sugestão do expoente a ser utilizado, este trabalho busca desenvolver um método experimental para a determinação do mesmo, e testar sua aplicabilidade para a parametrização do processo pulsado. Para isso foi utilizado o arame de aço inoxidável ER309LSi, e fixados os valores de corrente média e diâmetro de gota. Em seguida foi determinado a velocidade de alimentação (V_a) a ser empregada, com base na Equação $V_a = K \cdot I_m$. Com o auxílio de um sistema de aquisição de dados portátil foram testados experimentalmente dois conjuntos I_p e t_p que gerassem um processo estável, sendo o mesmo caracterizado por apresentar o destacamento de uma gota por período localizado no início da base. A partir dos dois conjuntos de parâmetros verificados experimentalmente foi possível definir o expoente, sendo o mesmo de 3,17. Em seguida, foram testados uma série de parâmetros resultantes do expoente obtido, e os mesmos foram validados através das aquisições oscilográficas e de filmagens em alta velocidade. Provando assim que o método é válido para o equacionamento do processo pulsado, sendo possível a partir da determinação do expoente, definir uma faixa de operação na qual o processo é aplicável.

Palavras-chave: MIG/MAG Pulsado, Destacamento, Gota, Corrente de Pulso.

Abstract: The pulsed-GMAW process is known by showing intermediate characteristics between short-circuit and spray mode transfer. In this process, the metallic transfer occurs drop by drop, and its characterized by periodically oscillates between two stages of current: pulse (I_p) and base current (I_b). During I_p is supplied enough current so the droplet can be formed without detaching the wire, while during I_b the droplet is tighten by the Lorentz force until it detaches. Some Authors equated the pulsed process by suggesting the relation $D = I_p^x \cdot t_p$, where, D is a constant that represents the amount of I_p and t_p necessary to form and tighten a droplet, and x is an exponent that determines the relevance of I_p over t_p . Welding maven suggest different exponents under several situations, not being possible to verify a rule on which value fits better the equation. Due this paradox, this work seeks to develop an experimental method to evaluate the exponent number and to test its applicability under different current levels. In order to do this, it was used stainless steel wire and fixed droplet diameter desired and mean current level so it can be find the wire speed through the equation $V_a = K \cdot I_m$. Using the portable acquisition system (SAP) it was possible to, experimentally, find two sets of parameters (I_p and t_p) that presented a stable process and the droplet detachment in the beginning of the base current. Out of this data it was possible to find

the exponent of 3,17, which was applied into finding different parameters that the process can be worked through. The sets of parameters found from the exponent were validated through oscillograph acquisitions and high speed. Then, it was proved that the method is valid and can be used to determine a large range of operation in which the equation is applicable and the process remain stable.

Key-words: MIG/MAG Pulsed, Detachment, Droplet, Pulse Current.

1. Introdução

A incessante busca por novas tecnologias relacionadas a soldagem que visa o máximo de produtividade sem que prejudiquem as propriedades mecânicas e metalúrgicas dos constituintes, comina em um número crescente de pesquisas aplicadas ao desenvolvimento e/ou aperfeiçoamento de processos de soldagem. Atualmente existem mais de 50 diferentes processos de soldagem que são utilizados em escala industrial devido o mesmo ser o meio mais aplicado na união permanente de metais [1,2].

O MIG/MAG (Metal Inert/Active Gas) apesar de estar inserido na indústria há mais de sessenta anos, ainda vem sendo alvo de estudo por diversos centros tecnológicos. Isso está atrelado ao surgimento de fontes eletrônicas que possibilitam a moldagem dos parâmetros elétricos aumentando o controle do operador sobre o processo. Seguindo essa temática, surgiu o processo MIG/MAG pulsado, onde através da moldagem de uma corrente pulsada é possível obter transferência metálica por voo livre operando na faixa de corrente do curto circuito, obtendo características intermediárias aos dois processos.

A parametrização do processo MIG/MAG pulsado, por sua vez, pode ser um procedimento que consome muito tempo. É necessário identificar os valores de correntes de pulso e base (I_p , I_b), tempos de pulso e base (t_p , t_b) e velocidade de alimentação (V_a) na qual seja possível obter um processo mais estável. Devido a maior variedade de parâmetros comparado ao processo convencional, este método é mais suscetível a mudanças nos parâmetros.

Diante disso, alguns fatores devem ser levados em consideração na determinação dos parâmetros do MIG/MAG pulsado. AMIN [3] diz que a velocidade de fusão do material deve estar em equilíbrio com a velocidade de alimentação, sendo a mesma dependente do aquecimento anódico e do aquecimento por efeito Joule, o que está condicionado aos parâmetros do processo tais como stick-out, gás de proteção e corrente de soldagem. Outros fatores preconizados são a transferência de uma gota por período e a corrente de base que deve ser minimamente suficiente para manutenção do arco elétrico [4]. O diâmetro da gota e região de destacamento da gota ainda são questões de estudo, alguns autores dizem que o diâmetro maior da gota e destacamento durante o pulso ocasionam maior penetração, porém com maior ocorrência de turbulência na poça de fusão o que pode gerar instabilidade no processo [4,6].

A fim de desmitificar o processo pulsado, uma série de estudos foram desenvolvidos tentando equacionar o formato de onda e energia necessária para que o destacamento ocorra de acordo com o desejado. Uma teoria aceita para determinar o destacamento é representada pela Equação $D = I_p^x \cdot t_p$, onde D é uma constante de destacamento característica, e x é um expoente que relaciona a relevância da corrente sobre o tempo de pulso necessário para culminar o destacamento da gota, o mesmo podendo variar de acordo com materiais e técnicas utilizadas [7,8].

Visto isso, este trabalho tem como objetivo equacionar o processo pulsado e desenvolver um método experimental que possa ser utilizado para determinação do expoente de acordo com a situação desejada. Após isso também será buscado determinar uma faixa de aplicação na qual a Equação encontrada é aplicável, além de uma breve verificação da implicação dos parâmetros no cordão de solda.

2. Materiais e Métodos

2.1. Materiais

Os ensaios foram realizados com uma fonte de soldagem eletrônica modelo Digiplus A7 450 com faixa de operação entre 5 e 450 A, fabricada pela empresa IMC Soldagem, que permite a regulação das correntes de base e pulso, assim como os tempos relativos através do controle por valores extremos. Mangote de 3 m de comprimento e cabo terra de 2 m de comprimento, suficientes para suportar a carga aplicada.

Para aquisição de dados foi utilizado o Sistema de Aquisição de Dados Portátil – SAP, do fabricante SPS – Sistemas e Processos de Soldagem, 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 permitindo uma análise detalhada das variáveis no processo, e a alta frequência de aquisição permite a visualização dos fenômenos elétricos que ocorrem durante a transferência metálica.

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 experimentos foram conduzidos em chapas de aço inoxidável SAE 1020 com dimensão de 400x50x6,3 mm, suficientes para se atingir a estabilidade do processo e ainda se obter margem para a alteração dinâmica dos parâmetros durante a soldagem. O arame utilizado foi o de aço inoxidável AWS ER309LSi com diâmetro de 1,2 mm. Para todos os ensaios realizados foi utilizado como gás de processo Ar 95% - CO₂ 3% - N₂ 2%, que é comumente utilizado para soldagem de aços inoxidáveis.

2.2. Metodologia

Este trabalho busca definir um conjunto de parâmetros estáveis para o processo pulsado e devido a vasta gama de possibilidades para o processo, alguns parâmetros tiveram que ser arbitrariamente pré-definidos para partir na busca do equacionamento. Logo, foi estabelecido que o objetivo seria obter uma gota por período, a mesma destacando no início da base para se obter uma transferência mais suave, e corrente média de 150 A, por ser abaixo da corrente de transição para o modo spray [4]. Outros parâmetros básicos de soldagem foram utilizados parâmetros usuais: distância bico-peça 15 mm, vazão de gás 15 L/min, ângulo da tocha 90°, posição de soldagem plana, velocidade de soldagem 30 cm/min.

A metodologia sugerida por [4] para definir os parâmetros do pulsado baseia-se em sete passos e de forma geral é a mesma adotada por [3]. Porém, este, utilizou uma abordagem sistemática, seguindo uma espécie de roteiro, portanto para se definir os parâmetros do pulsado três critérios foram sugeridos, estes são: Critério da taxa de fusão; Critério de Transferência metálica; Critério de estabilidade do arco.

O critério de taxa de fusão é baseado na estabilidade entre a velocidade de alimentação e a taxa de fusão. Define-se relação de estabilidade quando se tem uma igualdade entre velocidade de alimentação e a taxa de fusão, essa relação afeta diretamente as características morfológicas do arco elétrico.

Ainda dentro dos critérios citados, é desejado um arco estável e sem variações de altura. Se nessa relação a velocidade de alimentação for maior que a taxa de fusão, o arame não irá fundir o suficiente e acontecerá o fenômeno chamado de curto-circuito forçado. Se a relação for inversa ao citado anteriormente e a taxa de fusão for maior que a velocidade de alimentação, o arco irá se manter alto e poderá ocasionar na fusão do bico de contato.

2.2.1. Critério da Taxa de fusão

Para satisfazer o critério da taxa de fusão, deve-se determinar um valor de velocidade de alimentação que atenda a corrente média estabelecida [4]. O mesmo pode ser estabelecido pela Equação (1).

$$V_a = \alpha \cdot I_m + \beta \cdot L \cdot I_{ef}^2 \quad (1)$$

Onde:

V_a é a velocidade de alimentação [m.min⁻¹]

α é o coeficiente de aquecimento pelo efeito do arco elétrico [m.A⁻¹.min⁻¹]

β é o coeficiente do aquecimento por efeito Joule [A⁻².min⁻²]

I_{ef} é a corrente eficaz [A]

L é a distância eletrodo-peça

Uma abreviação da Equação (1) é sugerida por Scotti [4], pois apesar de a Equação não ser matematicamente complexa, ela dificulta a realização dos experimentos, obtendo-se a Equação (2). O comportamento linear da V_a em função de I_m é reforçado por [3], contanto que as características do processo sejam mantidas constantes.

$$V_a = K \cdot I_m + m \quad (2)$$

Onde:

K é o coeficiente angular da reta [m.A⁻¹.min⁻¹]

m é o coeficiente linear da reta [m.min⁻¹]

Foram executados ensaios com o MIG convencional fixando quatro valores de velocidade de alimentação, sendo eles, 6, 7,5, 9 e 10,5 m/min. Para cada valor de velocidade de alimentação, obteve-se seus respectivos valores de corrente média mínima para transferência por voo livre. A partir destes pontos, foi traçada uma linha de tendência e identificado um comportamento linear verificado na Equação (3), corroborando com o que propõe [4], conforme Figura 1.

Visto que a corrente média desejada para o ensaio está abaixo da corrente de transferência por voo livre, a reta gerada pela Equação (2) terá que ser extrapolada para o valor de I_m desejado, para então ser obtido a V_a adequada, indicado por um círculo vermelho na Figura 1.

A corrente média desejada para o experimento com o MIG pulsado é de 150 A. Substituindo esse valor na Equação (7) é possível encontrar o valor de V_a de 3,7 m/min.

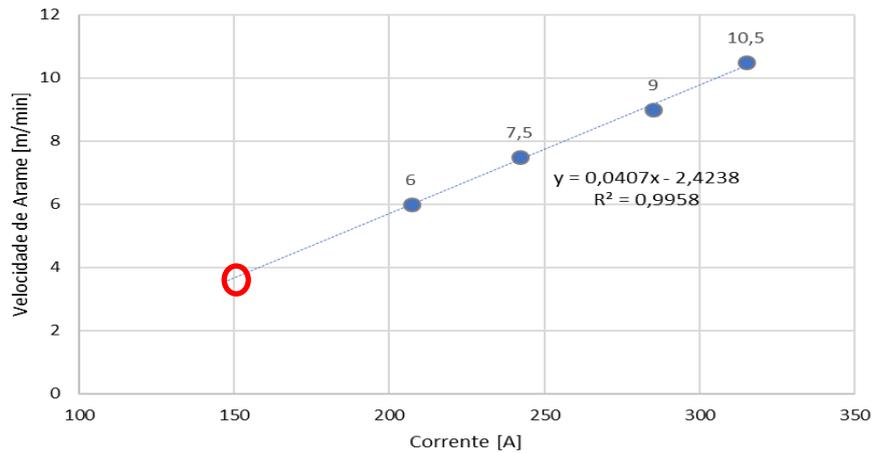


Figura 1. Corrente mínima para transferência por voo livre para cada velocidade de alimentação definida

$$V_a = 0,0407I_m + 2,4238 \quad (3)$$

2.2.2. Critério da Estabilidade do Arco e Transferência Metálica

Devido a extrema interrelação entre a estabilidade do arco elétrico e a transferência metálica, ambos serão abordados no mesmo tópico.

O diâmetro da gota foi definido como 1,2 mm, o que concorda com [4], na qual sugere que o diâmetro da gota próximo ao valor do diâmetro do eletrodo proporciona maior estabilidade ao arco elétrico. Para se obter tal valor, adotou-se a metodologia utilizada por Amin [3], onde deve-se determinar um período de destacamento que relaciona o volume da gota, diâmetro do eletrodo e velocidade de alimentação, conforme a Equação (4).

$$T = \frac{240V}{\pi d e^2 v_a} \quad (3)$$

Onde:

T é o período teórico [ms]

V é o volume desejado da gota [mm³]

d é o diâmetro do eletrodo [mm]

V_a é a velocidade de alimentação [m.min⁻¹]

A partir da velocidade de alimentação, diâmetro desejado de gota (1,2 mm) e diâmetro do eletrodo (1,2 mm), é possível definir período total de destacamento como de 13 ms.

Quanto a determinação dos parâmetros de corrente, existirão dois patamares, o pulso e a base. Scotti [4], sugere que os tempos de pulso não sejam muito longos em relação ao período total, pois tempos de pulso longos causam instabilidade na transferência ou destacamentos de gotas secundárias. O tempo de pulso será o responsável pela maior parte da fusão do eletrodo, logo determinará o número de gotas resultantes. Se o mesmo for muito elevado é provável que se destaque gotas secundárias denominado +UGPP (mais de uma gota por pulso), e se o tempo for muito pequeno é denominado de -UGPP (menos de uma gota por pulso).

Deve-se definir um valor de corrente e tempo de base que permita a manutenção do arco, garantindo que o mesmo não se extinga e forneça energia suficiente para destacar a gota conforme descreve Scotti e Dutra [4,8]. Estes parâmetros estão relacionados com os valores de pulso, pois a corrente e o tempo de pulso devem ser suficientes para que as forças de Lorentz atuem na estricção da gota e quando houver a queda de corrente do pulso para a base a força exercida pela mesma seja suficiente para destaca-la de forma suave, mantendo o valor de 150 A de corrente média e diâmetro da gota de 1,2 mm. Esse fenômeno pode ser observado através da análise do oscilograma de tensão e corrente, identificando um pico de tensão no início base, como ilustra a Figura 2.

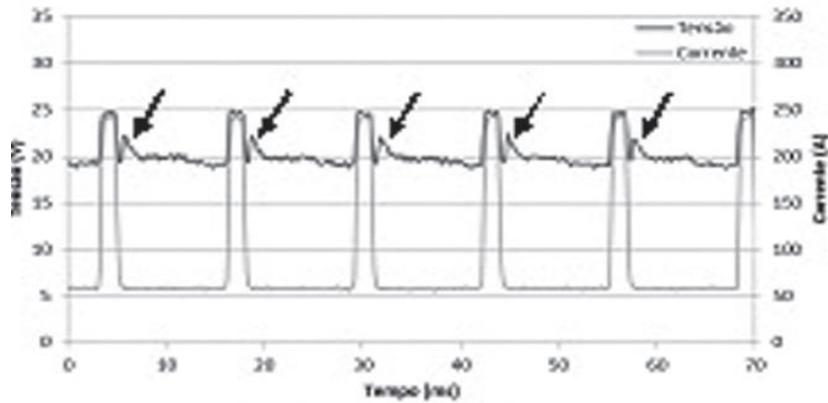


Figura 2. Oscilograma de tensão e corrente de um processo MIG pulsado [8]

De acordo com [4] o valor de corrente de base é apresentado em função do material e o mesmo descreve alguns valores, mas sugere que o valor mínimo para manutenção do arco seja maior que 30 A. Amin [3] apresenta a Equação (4) que determina o cálculo para o valor da corrente de base.

$$I_b = \frac{I_m \cdot T - I_p \cdot t_p}{t_b} \quad (4)$$

Onde:

I_m é a corrente média [A]

T é o período teórico [ms]

I_b é a corrente de base [A]

I_p é a corrente de pulso [A]

t_p é o tempo de pulso [ms]

t_b é o tempo de base [ms]

A energia necessária para a formação da gota dependerá principalmente dos parâmetros de pulso, e obedecerá a Equação (5). Onde, a partir do tempo de pulso vezes a corrente de pulso elevado a um expoente “x”, é possível encontrar a constante de destacamento para o material testado [3, 4].

$$D \geq I_p^x \cdot t_p \quad (5)$$

Onde:

D é a constante de destacamento

x é o expoente

I_p é a corrente de pulso [A]

t_p é o tempo de pulso [ms]

O expoente x para o material empregado não é conhecido, porém “ D ” é constante para o mesmo material e velocidade de alimentação. Logo, obtendo-se dois conjuntos de parâmetros de pulso estáveis para o método MIG pulsado, é possível calcular o expoente através de uma relação de igualdade descrita pela Equação (6) [3,4], isolando o x através da aplicação dos logaritmos.

$$I_{p_1}^x \cdot t_{p_1} = I_{p_2}^x \cdot t_{p_2} \quad (6)$$

A partir da definição do expoente, é possível calcular a constante de destacamento “ D ” utilizando a Equação (5). Através deste expoente e da constante de destacamento é possível encontrar uma faixa de parâmetros de pulso na qual a Equação (5) é válida.

3. Resultados e Discussão

Visto que o expoente x para esse caso não é conhecido, buscou-se calculá-lo através da relação de igualdade descrita em (6). Conforme a sequência de parâmetros fixos já citados, ao determinar um conjunto I_p/t_p é possível definir automaticamente os demais parâmetros do processo, estabelecendo uma relação mútua de igualdade entre as equações (3) e (4). Logo, resta encontrar para quais valores de I_p/t_p o processo apresenta as características desejadas.

Para isso, foi fixado um valor inicial de I_p arbitrado em 300 A e variado t_p , simultaneamente ajustando os demais parâmetros durante a soldagem. Neste caso, se houvesse a indicação de mais de uma gota por pulso se diminuiria t_p , e caso houvesse indicação de menos de uma gota por pulso se aumentaria t_p , até encontrar o t_p ideal na qual há o destacamento de apenas uma gota, no início da base. O mesmo ensaio foi repetido para a corrente de 350 A até encontrar um comportamento oscilográfico semelhante. Ambos os resultados podem ser verificados na Figura 3.

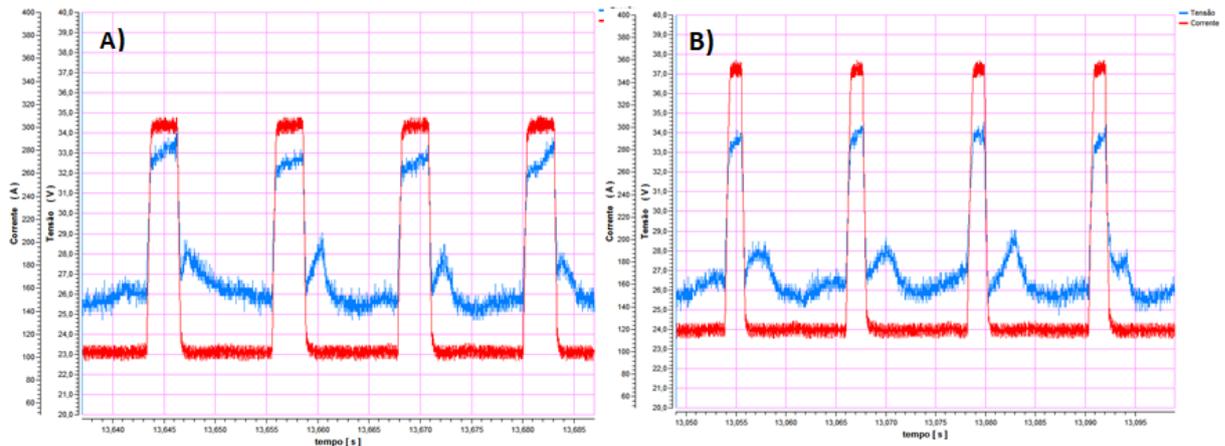


Figura 3. Oscilogramas de tensão e corrente do processo pulsado obtidos através das simulações de t_p

Após a definição dos dois conjuntos de parâmetros estáveis para o pulsado, aplicando-se a Equação (5) e isolando o expoente “x” através de logaritmos, foi possível obter o valor de 3,17. Os parâmetros encontrados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Tabela de parâmetros dos ensaios A e B, incluindo o expoente e D calculados

ENSAIO	VA (m/min)	I_m (A)	I_p (A)	t_p (ms)	I_b (A)	t_b (ms)	T (ms)	X	D
A	3,7	150	300	3,1	103	9,9	13	3,17	2,21E+08
B	3,7	150	350	1,9	116	11,1	13	3,17	2,21E+08

A partir do expoente e coeficiente de destacamento encontrados, facilmente é possível definir outros parâmetros de pulso, onde teoricamente o processo funcionará. Decidiu-se então determinar uma faixa de operação para velocidade de alimentação de 3,7 m/min na qual esse expoente se aplica mantendo as características do processo. Experimentos práticos foram conduzidos variando a corrente de pulso em 20 A para cada ensaio, obteve-se assim o conjunto de parâmetros representado pela Tabela 2, onde o processo se comportou eletricamente estável e com as características pré-estabelecidas.

Tabela 2. Tabela de parâmetros na qual o expoente encontrado funcionou conforme metodologia proposta

ENSAIO	VA (m/min)	I_m (A)	I_p (A)	t_p (ms)	I_b (A)	t_b (ms)	T (ms)	X	D
1	3,7	150	270	4,3	90	8,7	13	3,17	2,21E+08
2	3,7	150	290	3,4	99	9,6	13	3,17	2,21E+08
3	3,7	150	310	2,8	106	10,2	13	3,17	2,21E+08
4	3,7	150	330	2,3	112	10,7	13	3,17	2,21E+08
5	3,7	150	350	1,9	116	11,1	13	3,17	2,21E+08
6	3,7	150	370	1,6	119	11,4	13	3,17	2,21E+08

A Tabela 2 ilustra os valores do limite superior (LS) e inferior (LI) e o parâmetro ótimo de operação (PO) para as condições apresentadas inicialmente, tendo em vista que este possibilitou melhor estabilidade durante a soldagem.

A Figura 4 exibe os oscilogramas dos parâmetros para menor e maior corrente de pulso, mostrando que mesmo variando em 100 A na I_p , as características elétricas se mantiveram as mesmas.

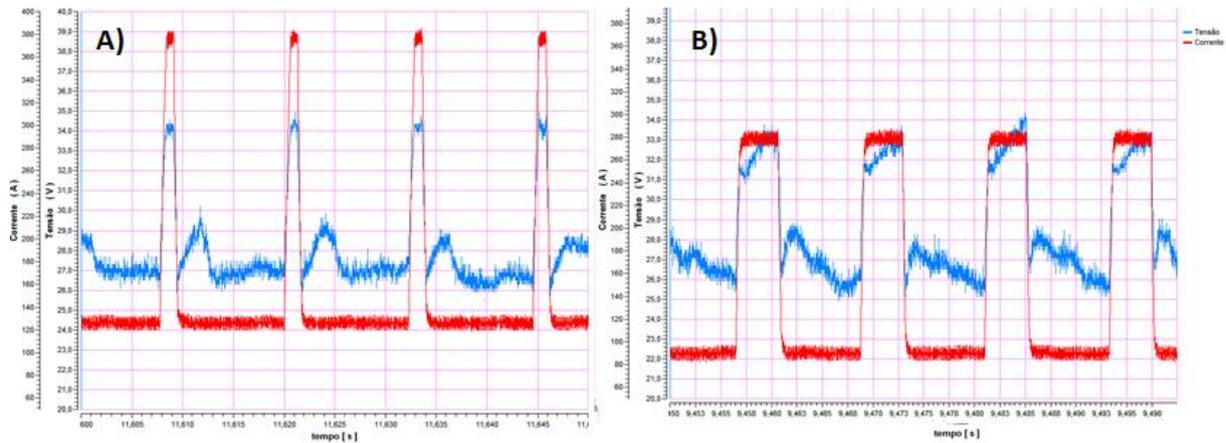


Figura 4. Limites superior (A) e inferior (B) de I_p para aplicação do expoente na determinação dos parâmetros.

Foi determinado o limite superior de 370 A, pois através dos experimentos realizados foi possível notar que para correntes superiores a essa e o respectivo tempo de pulso a ser aplicado ($<1,6$ ms) seriam limitados pelas características dinâmicas da fonte, uma vez que o tempo de resposta da fonte para chegar a corrente de 370 A seria superior ao tempo de pulso determinado. Na Figura 4-A é possível perceber que o pulso é muito agudo, pois já está perto do limite dinâmico de subida de corrente da fonte. No que tudo indica, se o equipamento permitisse, faixas maiores de corrente poderiam ser alcançadas.

É possível também visualizar na Figura 4-B uma rampa de subida na tensão durante o pulso. Notou-se que quanto menor a corrente de pulso, maior a variação dessa rampa. Devido a diminuição da corrente de pulso e o aumento do tempo de pulso, o efeito de estrição dura mais tempo e causa uma variação maior na tensão, até o momento que o pulso sessa e a gota é transferida na base. Acredita-se nessa hipótese pois se fosse uma gota secundária, haveria uma variação brusca no pulso, o que não ocorre. E também o limite inferior foi atingido devido a corrente de pulso se aproximar da corrente de transição.

Para corrente menores que o limite inferior, notou-se uma variação maior e formação de picos de tensão durante o pulso (Figura 5) que caracteriza o experimento com 250 A de I_p e 5,5 ms de t_p , com 76 A de I_b e 7,5 ms de t_b . É perceptível que possa haver um destacamento de uma gota no pulso e uma na base. Acredita-se que em função do tempo de pulso maior, a hipótese de mais de uma gota por pulso acontece, corroborando com [4].

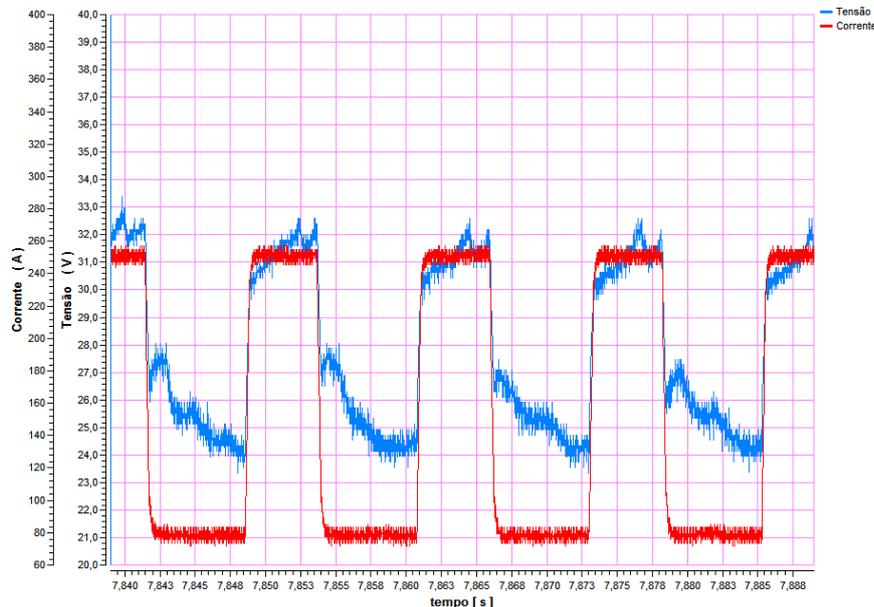


Figura 5. Experimento com corrente de pulso abaixo do limite inferior [I_p : 250A, t_p : 5,5ms, I_b : 76A, t_b : 8,7ms]

Para validar se o que é sugerido, como sendo o destacamento de uma gota realmente acontecendo, foram realizadas filmagens em alta velocidade para verificação. A Figura 6 mostra que o comportamento estimado de fato ocorre, validando a teoria.

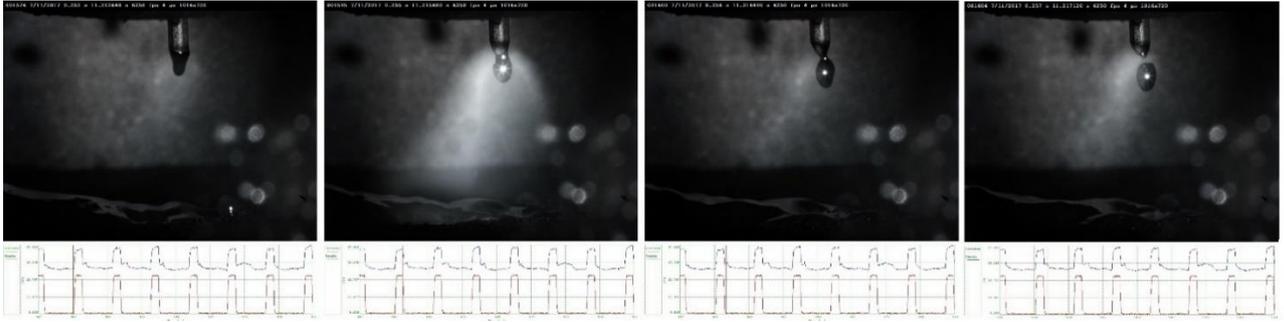


Figura 6. Experimento com melhor resultado para o expoente de 3,17. [Ip: 310A, tp: 2,8ms, Ib: 106A, tb: 10,2ms]

No que diz respeito ao aspecto visual dos cordões de solda obtidos foi possível observar a quase ausência de respingos e boa molhabilidade, característica de um processo pulsado desejável, conforme Figura 7.



Figura 7. Aspecto visual do cordão de solda com os parâmetros definidos a partir do expoente 1,79 [Ip: 370A, tp: 2,4ms, Ib: 100A, tb: 10,4ms]

4. Conclusões

Pode-se concluir que a metodologia proposta é válida para o equacionamento do processo pulsado, e os passos definidos levam a obtenção dos parâmetros de soldagem adequados. Além disso, pode-se aferir que:

- Aplicando a metodologia, foi verificado que para um conjunto de dois parâmetros de pulso (Ip e tp) adequados é possível obter um expoente que se adequa a Equação, que poderá servir para determinar uma faixa de parâmetros para o processo, nesse caso foi encontrado o expoente de 3,17 para o arame AWS ER309LSi;
- Usando correntes de pulso menores que o limite inferior apresentado não foi possível obter o destacamento de apenas uma gota por pulso, o processo se mostrou instável destacando gotas secundárias durante o pulso, resultado provável da corrente mais baixa estar próximo da corrente de transição e do elevado tempo necessário para o pulso;
- O aspecto do cordão de solda resultante dessa metodologia foi satisfatório, obtendo-se boa molhabilidade e baixa incidência de respingos;

5. Referências

- [1] MARQUES P. Soldagem. Fundamentos e tecnologia. Ed.3. Editora UFMG. 2002.
- [2] Simon, F. C.; Ioris, M.; Perin, T.; Alves, V. J. – Análise Prática de Penetração de Solda em Aço 1045. (2012).
- [3] AMIN, M. Pulse current parameters for arc stability and controlled metal transfer in arc welding. Metal Construction, 1983. 15: p. 272-8.
- [4] SCOTTI, A. and V. PONOMAREV, Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho. 2008: Artliber.

- [5]LESNEWICH, A., Control of melting rate and metal transfer in gas shielded metalarc welding: Part II—control of metal transfer. *Welding journal*, 1958. 37(9): p. 418s- 425s.
- [6]SANTOS, T.F. Influência dos parâmetros de pulsação e do sentido de soldagem sobre o acabamento superficial do cordão na soldagem MIG do alumínio. COBEF. Paraná. 2001
- [7]AMIN, M. Synergic pulse MIG welding. *Metal Construction*,13 (6), June 1981. 349-353.
- [8]DUTRA, J. C.; MARQUES, C.; SILVA, R. H. G. Consonâncias e Dissonâncias Interpretativas no Inter-relacionamento das Variáveis da Corrente Pulsada Aplicada à Soldagem com arame de Alumínio 4043. *Soldagem & Inspeção*. São Paulo, Vol.17, Nº. 3, p.201-209, Jul/Set 2012