

## EQUACIONAMENTO DO PROCESSO MIG/MAG PULSADO PARA O ARAME-ELETRODO ER70S-6 DE AÇO CARBONO COMO MATERIAL DE ADIÇÃO

Uallas Henrique de Oliveira de Brito, uallas.brito@posgrad.ufsc.com.br<sup>1</sup>

Arthur Gustavo Moreira Santos, arthur.gustavo.moreira.santos@posgrad.ufsc.br<sup>1</sup>

Hellinton Direne Filho, hellinton.direne@posgrad.ufsc.br<sup>1</sup>

Thaffarel Barcelos Machado Ribas dos Santos, thaffarel.bmrs@posgrad.ufsc.br<sup>1</sup>

Régis Henrique Gonçalves e Silva, regis.silva@labsolda.ufsc.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LABSOLDA – Instituto de Soldagem e Mecatrônica – Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário, Trindade – Florianópolis - SC,

**Resumo:** Este trabalho avaliou uma metodologia para o desenvolvimento de uma forma de onda para o processo MIG/MAG Pulsado. Esse processo consiste em uma técnica de controle e modulação da corrente de soldagem para obtenção de uma transferência por voo livre, com quantidade de calor e corrente média intermediária, entre o processo MIG/MAG convencional em transferência por Spray e por curto-circuito. Inicialmente foi utilizada a metodologia desenvolvida por Amim, onde foram moduladas formas de ondas com corrente média de 150 A, aplicada em um eletrodo de aço ER70s-6. A fim de encontrar um conjunto de parâmetros que garantisse um onda pulsada com transferência metálica na base, utilizou-se filmagem em alta velocidade sincronizada com os oscilogramas de corrente e tensão. Por fim, obteve-se uma metodologia de modulação alternativa e um expoente de 1,37 que é dissonante com os indicados na literatura, porém se mostrou eficaz, consolidando a metodologia proposta.

**Palavras-chave:** MIG/MAG Pulsado, Modulação da Corrente, Controle da Transferência Metálica

### 1. INTRODUÇÃO

A soldagem MIG/MAG é largamente utilizada na fabricação e manutenção de equipamentos, conferindo alto grau de qualidade e boas características mecânico-metalúrgicas. A versatilidade de sua aplicação está diretamente ligada ao grau de inovações que este processo vem recebendo, em especial no controle da sua transferência metálica.

A transferência metálica no processo MIG/MAG convencional, pode ocorrer por Spray, caracterizada pela utilização de altas correntes e tensões, permitindo a soldagem com alta taxa de deposição, no entanto apresenta algumas desvantagens, como a inviabilidade de soldar chapas finas, alto grau de distorções nas peças devido um maior aporte térmico e não é recomendado para a soldagem fora de posição. Já na transferência metálica por curto-circuito, utilizar-se de corrente e tensões baixas que permite a soldagem em todas as posições, no entanto, as dificuldades estão na baixa molhabilidade do cordão e na geração de respingos [1,2]. Um modo de transferência que apresenta resultados intermediários é a globular, entretanto nesta condição o processo não apresenta boa estabilidade, dado que, este tipo de transferência apresenta a formação de gotas com maiores diâmetros e respingos, além de intensificar a formação de descontinuidades do cordão de solda. Os processos supracitados são comandados por tensão e ditos naturais, ou seja, ocorrem espontaneamente, no entanto novos processos de soldagem MIG/MAG tem surgido com transferência metálica controlada.

Os grandes avanços na eletrônica de potência e nos sistemas de controle, permitiu o desenvolvimento de equipamentos de soldagem com maior domínio da transferência metálica [3]. Como o processo MIG/MAG pulsado, diferente do modo convencional, em que a tensão é controlada, a variável de controle é a corrente, portanto são utilizadas fontes de energia de características de corrente constante. Assim, a corrente de soldagem é modulada a fim de obter-se a transferência de uma gota por período. Segundo Scotti [4], o processo MIG/MAG Pulsado surgiu com o intuito de reunir as melhores características das versões por curto-circuito e goticular axial em um só processo, ou seja, obter-se uma transferência estável que proporcione baixo índice de respingo e bom acabamento do cordão, a um valor de corrente baixa e possibilidade de soldagem em qualquer posição e de chapas finas. Dutra [5] afirma que a corrente pulsada proporciona um aumento relativo da tensão elétrica para uma mesma velocidade de arame, e a obtenção de uma geometria do cordão de solda com maior molhabilidade.

Na parametrização do processo MIG/MAG Pulsado, dois critérios fundamentais devem servir como premissa da seleção do conjunto de variáveis. Em primeira instância é que as variáveis elétricas selecionadas sejam tal que, a

velocidade do arame se equilibre com a velocidade de fusão do mesmo. O segundo critério é que a cada período corresponda uma gota transferida. [5,6,7]. Seguindo a metodologia desenvolvida por Amin [6] para a determinação de parâmetros para o MIG/MAG pulsado que garantem o destacamento de uma gota por pulso (UGPP), deve-se determinar a constante de destacamento (D). Para isto, tendo selecionado um diâmetro de gota desejado, aplica-se o valor da corrente de soldagem correspondente e o período médio entre destacamentos. A corrente de pico deve ser superior à corrente de transição do material e a corrente de base deve exceder um limite mínimo de forma a garantir que o arco não se extinguirá, além de manter a poça de fusão no estado líquido, gerando assim maior estabilidade.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O presente trabalho consistiu em desenvolver uma metodologia para o equacionamento e modulação de uma onda de corrente no processo MIG/MAG Pulsado. Consistindo em duas etapas: a primeira visou o equacionamento da onda; e a segunda etapa consistiu nos testes e validação dos parâmetros. A realização do presente estudo foi restrita à análise do comportamento do arame de aço carbono ER70S-6 de 1,2 mm de diâmetro. Os ensaios foram realizados com deposição sobre chapas SAE 1020 de 6,35mm de espessura na posição plana. Para o gás de proteção foi utilizada a mistura de 92% argônio e 8% de dióxido de carbono.

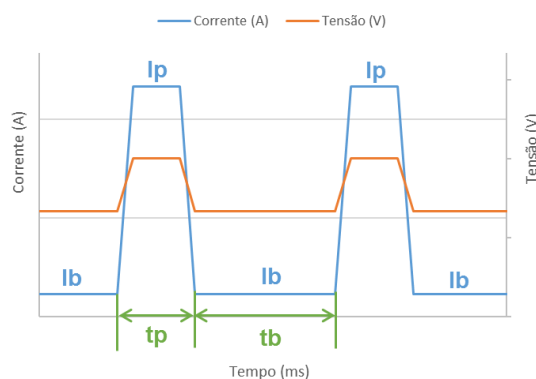
Utilizando-se da metodologia proposta por AMIN [6,7], realizando um mapeamento dos parâmetros elétricos, velocidade de alimentação via filmagem de alta velocidade sincronizada com os oscilogramas de corrente e tensão. Buscou-se um equacionamento que possibilitasse o destacamento de uma gota por período de transferência e que isto ocorresse no patamar de base da corrente de soldagem.

Inicialmente a corrente média foi fixada em 150 A, porém esta foi variada ao longo dos testes. Os demais parâmetros foram mantidos constantes para todos os ensaios realizados, e são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 – Parâmetros mantidos constantes durante a realização dos ensaios.**

| DBCP <sup>1</sup> | Vazão do Gás | Composição do Gás       | Ângulo da Tocha | Velocidade de Soldagem | Posição de Soldagem |
|-------------------|--------------|-------------------------|-----------------|------------------------|---------------------|
| 20 mm             | 18 l/min     | Ar + 8% CO <sub>2</sub> | 90°             | 40 cm/min              | Plana               |

Uma forma de onda genérica é apresentada na Figura 1. Neste trabalho a corrente será modulada para que a transferência metálica ocorra no início da fase de base, pois estudos indicam que o destacamento da gota com baixo valor de corrente promova uma transferência metálica com menor *momentum*, ou seja, a gota é lançada a poça com menor velocidade [8].



**Figura 1. Curva genérica demonstrando os parâmetros de pulso para o processo MIG/MAG.**

No processo MIG/MAG Pulsado a corrente média ( $I_m$ ) é determinada pelo Eq. (1).

$$I_m = \frac{I_p \times t_p + I_b \times t_b}{t_p + t_b} \quad (1)$$

Onde:  $I_p$  é a corrente de pulso,  $t_p$  é o tempo de pulso,  $I_b$  é a corrente de base e  $t_b$  é o tempo de base.

Baseado nos dois critérios fundamentais do equilíbrio da transferência metálica a serem tomados como premissa da seleção do conjunto de variáveis, que são a equivalência da velocidade de alimentação de arame com a velocidade de fusão do mesmo, e que em cada período apenas uma gota de metal fundido seja transferida. Para o cumprimento do primeiro critério não há dependência crucial de variável específica, já que todas influenciam. Para o cumprimento do

<sup>1</sup> DBCP = Distância do Bico de Contato à Peça

segundo critério, a corrente de pulso e seu respectivo tempo de pulso são variáveis determinísticas. Entretanto, a corrente de pulso é considerada ainda mais relevante uma vez que é uma variável exponencial. Desse modo é definida uma constante de destacamento de gota conforme a Eq. 2.

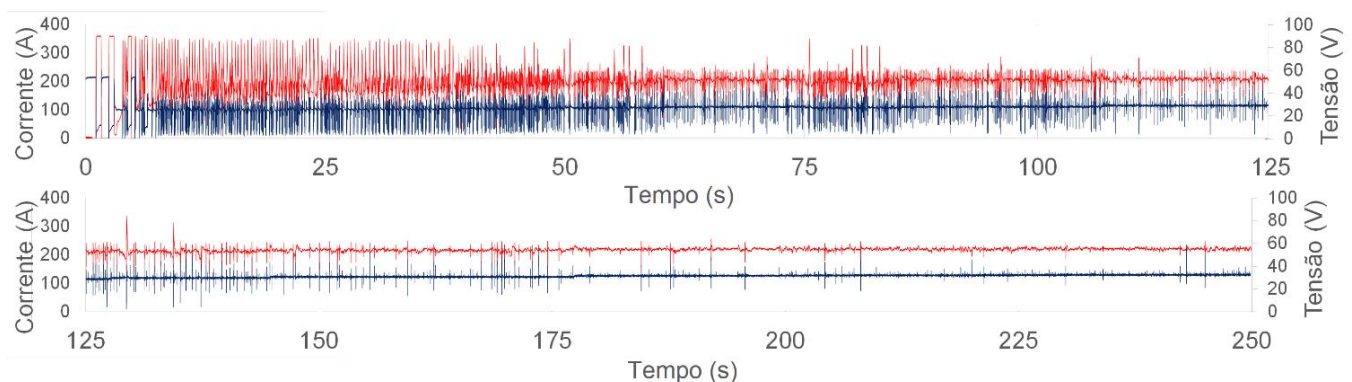
$$D = I_p^x \cdot t_p \quad (2)$$

Para a qual  $D$  corresponde à constante de destacamento. O valor de  $I_p$  possui uma restrição, devendo ter um valor mínimo de corrente média, que deve ser superior ao limite superior da faixa de transição entre o curto-circuito convencional e a transferência Spray. Entretanto, para que esse conjunto de variáveis possa atender ao requisito de uma gota por período, obedecendo a constante de destacamento, há aspectos muitos específicos, como o instante temporal em que as gotas são transferidas. Existem proposições de que o destacamento ocorra no final do pulso e proposições no início da fase de base.

O expoente  $x$  para o material empregado não é conhecido, porém a constante de destacamento  $D$  pode-se considerar constante para o mesmo material e mesma velocidade de alimentação [4,5]. Desse modo, obtendo dois conjuntos de parâmetros de pulso estáveis para o processo MIG/MAG pulsado é possível calcular o valor do expoente através da relação de igualdade descrita pela Eq. 3.

$$I_{p1}^x \cdot t_{p1} = I_{p2}^x \cdot t_{p2} \quad (3)$$

No entanto, a velocidade de alimentação de arame e a velocidade de fusão do mesmo deve ser equivalente. Para satisfazer essa relação, deve-se determinar um valor de velocidade de alimentação de arame que atenda uma corrente média estabelecida. Para determinação da velocidade de alimentação de arame para o processo pulsado foram realizados 6 ensaios com velocidades de arame entre 5,8 e 10,8 m/min, com processo MIG/MAG convencional e transferência Spray objetivando realizar um mapeamento de velocidade de arame versus corrente média com o intuito de estimar um valor de velocidade de arame que atendesse o requisito inicial de corrente média igual a 150 A. Iniciou-se os ensaios com uma tensão de baixa intensidade o que acarretava em curtos-circuitos e, mantendo a velocidade de alimentação, aumentou-se a intensidade da tensão até que a transferência ocorresse puramente por voo livre, obtendo, assim, a corrente de transição. A Figura 2 demonstra um dos ensaios realizados, para uma velocidade de alimentação de arame de 8,8 m/min.



**Figura 2. Oscilogramas de tensão e corrente para obtenção da corrente de transição.  $va = 8,8\text{m/min}$ .**

■ Corrente (A). ■ Tensão (V).

Desta maneira, definiu-se um valor de velocidade de alimentação de arame segundo a Eq. 4.

$$va = k \cdot I_m \quad (4)$$

Para a qual,  $Va$  corresponde à velocidade de alimentação de arame (m/min),  $k$  ao coeficiente angular (m/min.A) e  $I_m$  à corrente média (A). A partir da Equação 3 e dos dados obtidos dos ensaios, foi possível determinar a velocidade de alimentação e consequentemente o período total de transferência.

Como critério do estudo foi definido que o diâmetro do arame deve ser igual ao diâmetro da gota ( $\varnothing = 1,2\text{ mm}$ ). E uma vez determinado o período de transferência para o processo no qual o diâmetro de gota fosse igual ao diâmetro do arame, foi possível calcular os parâmetros teóricos do pulsado. Segundo [4], o tempo de pulso deve equivaler a 43% do período total de transferência. Esse valor foi tomado como ponto de partida para os cálculos e caracterização do formato da onda e realização dos ensaios.

Deve-se definir um valor de corrente e tempo de base que permita a manutenção do arco, garantindo que o mesmo não se extinga, a literatura sugere que este valor esteja acima de 7,4 A [5,6,]. 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 150 A de corrente média e diâmetro da gota de 1,2 mm.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Determinação dos parâmetros do processo MIG/MAG Pulsado

Substituindo o valor de  $k$  obtido na Equação 4, determinou-se a velocidade de alimentação, obtendo a valor de 3,42 m/min. O período total de transferência foi determinado com o valor de 14,04 ms, para os parâmetros da Tabela 1.

Com a velocidade de soldagem determinada foi possível calcular os parâmetros do pulsado, que estão apresentados na Tabela 2. A corrente de pulso ( $I_p$ ) foi determinada por um valor superior ao valor da corrente de transição, que para o material utilizado foi determinado em 220A, a literatura sugere que este valor seja de aproximadamente 350A.

**Tabela 2. Parâmetros experimentais para equacionamento do processo MIG/MAG Pulsado.**

| Cód . | Velocidade de Arame (Va) [m/min] | Diâmetro de Gota [mm] | Período (T) [ms] | Corrente de Pulso ( $I_p$ ) [A] | Tempo de Pulso (tp) [ms] | Tempo de Base (tb) [ms] | Corrente de Base ( $I_b$ ) [A] | Corrente Média ( $I_m$ ) [A] |
|-------|----------------------------------|-----------------------|------------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 1     | 3,4                              | 1,2                   | 14,04            | 350                             | 6,0                      | 8,0                     | -1                             | 150                          |
| 2     | 3,4                              | 1,2                   | 14,04            | 350                             | 4,2                      | 9,8                     | 64                             | 150                          |
| 3     | 4,2                              | 1,2                   | 12,20            | 350                             | 4,2                      | 8,0                     | 45                             | 150                          |

Ainda, seguindo a metodologia proposta pela literatura [5,6] buscou-se determinar o tempo de pulso pela observação de picos de tensão nos oscilogramas para uma soldagem em corrente constante, assim, utilizando uma fonte com controle de corrente (ELMA ANALOG C 400 P AS) e ajustando o valor de corrente para 350A, obteve-se o gráfico da Figura 3.

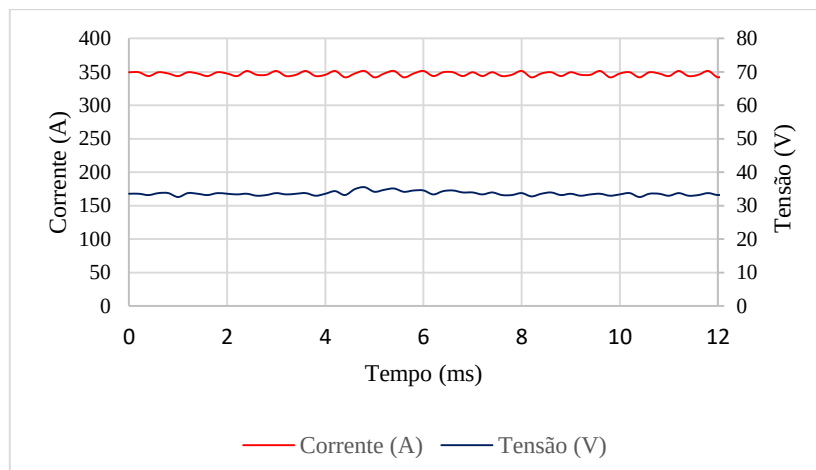


Figura 3. Oscilogramas para corrente constante de 350A.

É possível observar que existem picos com períodos característicos nas variáveis plotadas, que segundo Amin [6,7], são característicos do destacamento de gotas. Utilizando a Transformada Discreta de Fourier para analisar uma possível frequência de transferência foi obtido o gráfico da Figura 4.a com uma frequência de transferência de 25 Hz, o que retomaria para um período de destacamento de 40 ms, um valor espúrio. Ainda foi buscado avaliar o período de destacamento via filmagem de alta velocidade Figura 4.b, mas mesmo assim não foi possível observar um tempo constante de destacamento de gotas para o ER70S-6, o que invalida o método proposto por Amin.

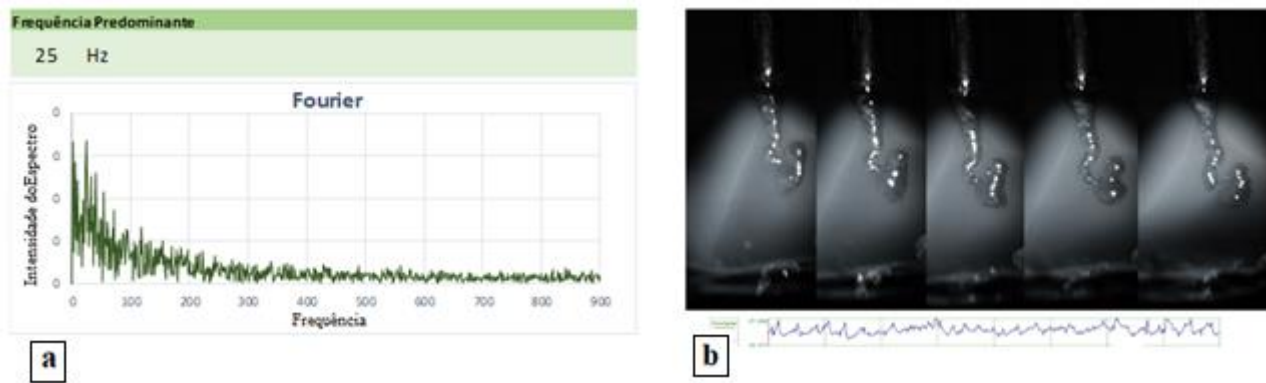


Figura 4 (a) Transformada Discreta de Fourier para o ensaio com corrente constante em 350A, (b) Filmagem de alta velocidade para corrente constante de 350A.

### 3.2. Determinação do equacionamento para o processo MIG/MAG Pulsado

Dado o exposto, ainda sobre a Tabela 2, o conjunto de variáveis do cód. 1 foram propostos utilizando 43% do período para o tempo de pulso. Entretanto, esse conjunto de variáveis resulta em uma impossibilidade física de execução, dada a corrente de base negativa. Assim, determinou-se o conjunto cód. 2, com tempo de pulso reduzido para 30% do valor do período, o que se mostrou estável e resultou nos oscilogramas da Figura 5.

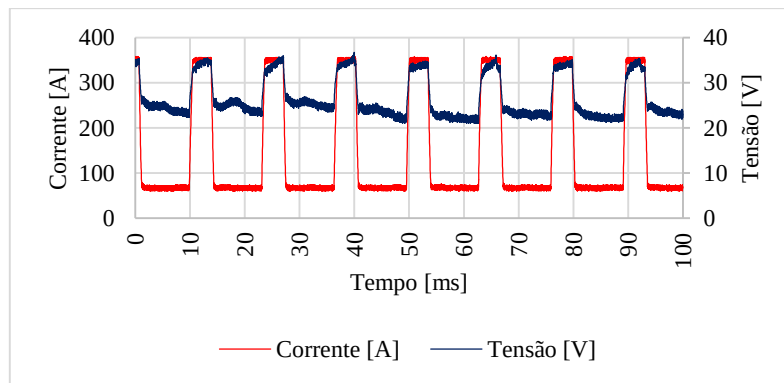


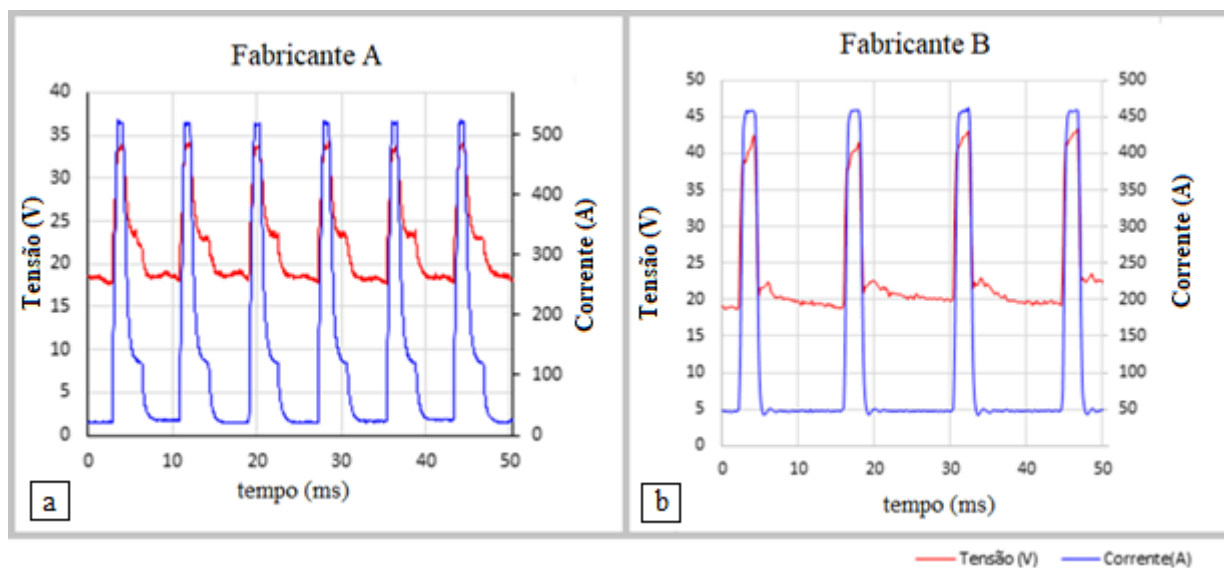
Figura 5. Oscilogramas obtidos para o conjunto de parâmetros cód. 2.

Pode-se observar uma oscilação da tensão ora no pulso ora na base, o que pode ser entendido como um destacamento de gota, mas devido ao *ripple* da fonte e das características metalúrgicas do metal de adição, não se pode afirmar com certeza com base nessas aquisições. A variação da tensão pode ser entendida como um possível empescoamento ou estriccionamento do metal líquido presente na ponta do arame, resultante das forças de Lorentz exercidas pelo efeito do campo magnético que estão atuando sobre a gota em formação. Devido a esta estricção a seção transversal do arame diminui, e causa a variação na tensão. No entanto, para estes conjuntos de parâmetros, o comprimento do arco ficou alto, sendo necessário aumentar a velocidade de alimentação para 4,2 m/min, para manter o comprimento de arco em torno de 5 mm de altura (cód. 3) e ajustou-se  $t_p$  e  $I_b$  para obter o mesmo diâmetro de gota e a mesma corrente média. Porém, da mesma forma, não se pôde determinar os pontos de destacamento de gota.

Assim, buscou-se nos processos consolidados na indústria a obtenção de parâmetros otimizados para a utilização. Foram avaliados os sinérgicos dos fabricantes A e B, apesar da mistura gasosa para o processo que estes utilizam serem diferentes da que está sendo utilizada neste estudo, seria possível obter uma aproximação dos valores. A forma de onda do Fabricante A apresentada na Figura 6.a, indica que a forma de onda de corrente apresenta algumas peculiaridades, como um patamar intermediário, para garantir que o destacamento ocorra na base. A forma de onda do Fabricante B é apresentada na Figura 6.b este por sua vez possui um frequência de destacamento menor. Os valores médios das variáveis do processo que estes fabricantes utilizam são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros obtidos para os Fabricantes A e B.

| Fabricante | va (m/min) | Dgota (mm) | D.arame (mm) | T (ms) | Ip (A) | tp (ms) | tb (ms) | Ib (A) | Im (A) |
|------------|------------|------------|--------------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|
| A          | 4,10       | 1,1        | 1,2          | 8,15   | 521,50 | 1,20    | 6,95    | 21,00  | 94,69  |
| B          | 4,10       | 1,4        | 1,2          | 19,20  | 460,00 | 2,20    | 17,00   | 48,00  | 95,21  |



**Figura 6. Oscilogramas para os programas sinérgicos dos Fabricante A e Fabricante B com  $V_a = 4,1 \text{ m/min}$  e gás de proteção  $\text{Ar-18\%CO}_2$ .**

É possível observar que o período de destacamento e consequentemente o diâmetro de gota aplicado pelos fabricantes são diferentes do proposto neste estudo, bem como os valores de  $I_p$  são mais elevados. Mas, em ambos os casos, é possível identificar um pico característico de tensão para o destacamento de gotas no período de base. Como o fabricante B utiliza uma forma de onda similar a proposta neste trabalho, esta forma de onda foi tomada como base, para ajustar o valor inicial da constante  $D$ .

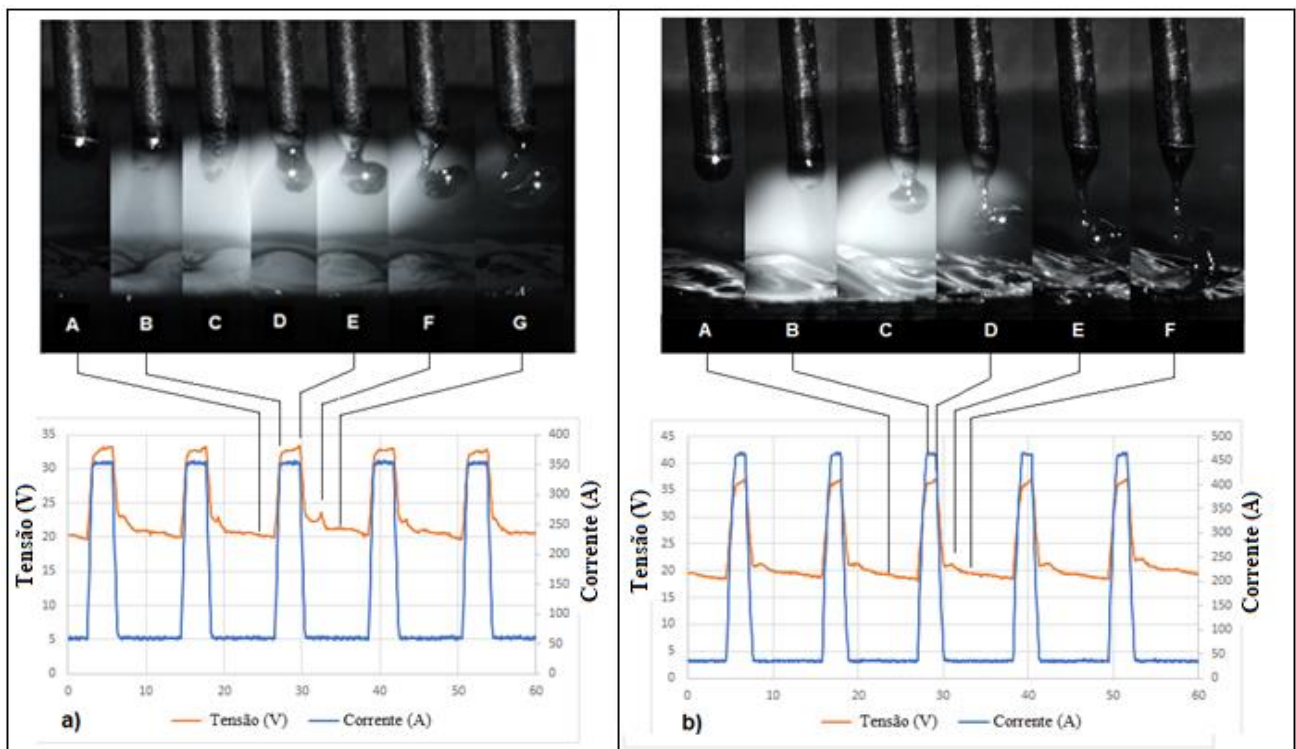
Encontrada a constante  $D_{\text{Fabricante B}}$  para a corrente de pulso de 350A e utilizando como expoente o valor de 2,3 proposto por Amin, obteve-se o valor de 4,2 ms para o tempo de pulso. Este parâmetros serviram como valores de partidas para encontrar o parâmetro 1.1 apresentados na Tabela 4. Os demais parâmetros foram encontrados realizando ajustes no parâmetro 1.1, a fim de conseguir uma transferência metálica estável.

**Tabela 4. Parâmetros para avaliação do expoente.**

| Código | $V_a$<br>(m/min) | $D_g$<br>(mm) | $T$<br>(s) | $I_p$<br>(A) | $t_p$<br>(s) | $t_b$<br>(s) | $I_b$<br>(A) | $I_m$<br>(A) |
|--------|------------------|---------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1.1    | 4,2              | 1,2           | 12,00      | 350,00       | 4,20         | 7,80         | 27,00        | 140,05       |
| 1.2    | 4,2              | 1,2           | 12,00      | 350,00       | 4,00         | 8,00         | 27,00        | 134,67       |
| 1.3    | 4,2              | 1,2           | 12,00      | 350,00       | 3,90         | 8,10         | 27,00        | 131,98       |
| 1.4    | 4,2              | 1,2           | 12,00      | 350,00       | 3,60         | 8,40         | 27,00        | 123,90       |
| 1.5    | 4,2              | 1,2           | 12,00      | 350,00       | 3,40         | 8,60         | 35,00        | 124,25       |
| 1.6    | 4,2              | 1,2           | 12,00      | 350,00       | 3,20         | 8,80         | 54,00        | 132,93       |
| 2.1    | 4,2              | 1,2           | 11,20      | 460,00       | 2,20         | 9,00         | 30,00        | 114,46       |

Os parâmetros foram avaliados via filmagem de alta velocidade. Embora apresentassem baixíssimo índice de curto-circuito e boa rigidez do arco elétrico, só foi possível obter o destacamento na base com os parâmetros 1.6 e 2.1, como demonstrado na Figura 7. Neste momento foi negligenciada a manutenção da corrente média em 150A, pois foi necessário atuar na corrente de base para manter um baixo comprimento de arco ou evitar curtos-circuitos.





**Figura 7. Filmagem em alta velocidade para ensaio da Tabela 4 a) cod.1.6 b) cod. 2.1.**

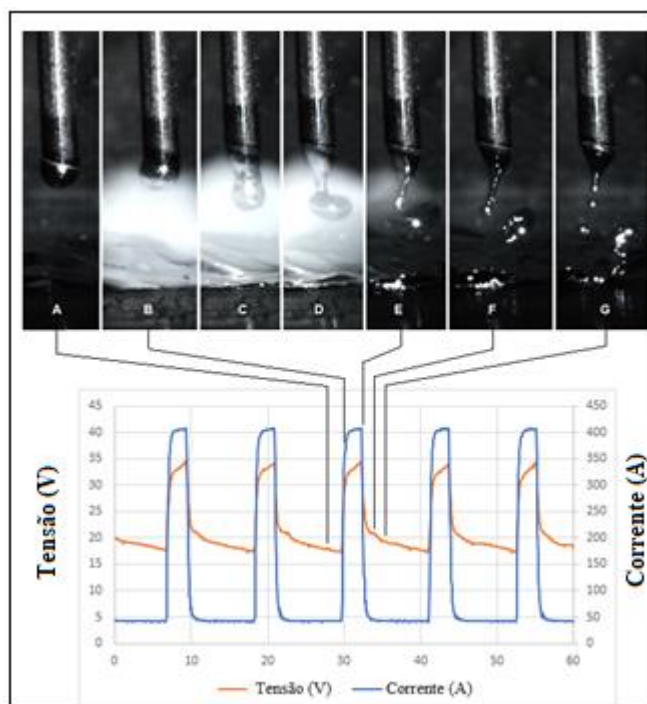
Assumiu-se que a constante D era a mesma para os dois parâmetros (cod. 1.6 e 2.1) e assim ambos foram combinados. Como resultado obteve-se o expoente para destacamento na base 1,37 (Eq. 5). Embora o expoente encontrado tenha sido diferente do proposto na literatura. O mesmo foi aplicado e os resultados satisfatórios tanto a estabilidade do processo (rigidez do arco e ausência de curtos-circuitos) quanto a geometria do cordão.

$$D = I_p^{1,37} \times t_p \quad (5)$$

Finalmente para sua validação o expoente obtido foi aplicado a uma corrente de pico de 400 A. O  $t_p$  encontrado foi de 2,6 ms e as demais variáveis são mostradas na Tabela 5 onde foi proposta a forma de onda segundo os parâmetros 3.1. Os resultados obtidos foram bons, como mostrado na Figura 8, com destacamento no início da base, validando a Eq. 5, como um bom equacionamento para obtenção de destacamento na base para processo MIG/MAG Pulsado utilizando como metal de adição AWS ER70S-6 e gás de processo com 8% de  $\text{CO}_2$ .

**Tabela 5. Parâmetros para validação do expoente.**

| Código | Va<br>(m/min) | Dg<br>(mm) | T<br>(s) | Ip<br>(A) | tp<br>(s) | tb<br>(s) | Ib<br>(A) | Im<br>(A) |
|--------|---------------|------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 3.1    | 4,2           | 1,2        | 11,40    | 400,00    | 2,6       | 8,80      | 40,00     | 122,11    |



**Figura 8. Validação do expoente de 1,37 via filmagem de alta velocidade. Ensaio 3.1 da Tabela 5.**

Em praticamente todos os casos avaliados ocorreu o destacamento de uma pequena gota secundária, porém esta foi atribuída às características metalúrgicas do material de adição, formando um alongamento do metal fundido na ponta do arame devido à ação das forças eletromagnéticas.

#### 4. CONCLUSÃO

A metodologia proposta pela literatura, mostrou-se limitada quando pretende-se parametrizar o processo MIG/MAG Pulsado utilizando como material de adição o arame-eletrodo AWS ER70S-6 e gás de proteção a mistura de Argônio com 8% de dióxido de carbono.

Houve dificuldade para identificar com clareza o momento exato de destacamento da gota em oscilogramas de corrente e tensão, pois as características do metal de adição (formação de gotas é disforme) somadas ao tipo construtivo das fontes de soldagem chaveadas mascaram o comportamento da tensão, sendo necessária a utilização de filmagem em alta velocidade.

Foi possível propor uma metodologia alternativa para o equacionamento do processo MIG/MAG Pulsado, que embora tenha sido desenvolvida para o aço carbono, acredita-se que, com os devidos ajustes possa ser aplicada para outros materiais.

Foi encontrado um expoente de 1,37 para determinação da constante de destacamento. Embora o expoente encontrado tenha um valor dissonante com o proposto pela literatura, o mesmo foi testado e foram obtidos resultados satisfatórios, sendo sugerido para utilização com eletrodo AWS ER70S-6.

#### 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 possível este trabalho.

#### 6. REFERÊNCIAS

- [1] SILVA, R. H. G. “Soldagem MIG/MAG em Transferência Metálica por Curto-Circuito Controlado Aplicada ao Passe de Raiz”, Florianópolis: Dissertação de Mestrado- Universidade Federal de Santa Catarina, 2005
- [2] H. DIRENE FILHO, “MIG/MAG CCC - Avanços na Tecnologia de Controle Da Transferência Metálica como Solução para o Passe de Raiz”, Florianópolis: Dissertação de Mestrado: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.
- [3] S. R. M. J. Kah P., “Advanced gas metal arc welding processes,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 67, nº 1-4, pp. 655-674, Jul 2013.



- [4] A. P. V. SCOTTI, “Soldagem MIG/MAG: Melhor Entendimento, Melhor Desenpenho”, 1ª ed., M. A. M. Eckersdorff, Ed., São Paulo: Artliber, 2008.
- [5] J. M. C. S. R. DUTRA, “Consonâncias e Dissonâncias Interpretativas no Inter-relacionamento das Variáveis da Corrente Pulsada Aplicada,” *Soldagem e Inspeção*, vol. 17, nº Jul/Set, pp. 201-209, 2012.
- [6] M. AMIN, “Pulse current parameters for arc stability and controlled metal transfer in arc welding,” *Metal Construction*, vol. 15, nº 5, pp. 272-278, 1983.
- [7] M. AMIN, “Synergic pulse MIG welding”, *Metal Construction*, 13 (6), June 1981. 349-353.
- [8] A.SOTTI, C.E.A. RODRIGUES, “Determination of the Momentum of Droplets Impinging on the Pool during Aluminium GMAW”, *Soldagem Insp.* São Paulo, Vol. 14, No. 4, p.336-343, Out/Dez 2009

## 7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

# EQUATION OF THE PULSED MIG/MAG PROCESS FOR THE ER70S-6 ELECTRODE WIRE OF CARBON STEEL AS ADDITION MATERIAL

Uallas Henrique de Oliveira de Brito, uallas.brito@posgrad.ufsc.com.br<sup>1</sup>

Arthur Gustavo Moreira Santos, arthur.gustavo.moreira.santos@posgrad.ufsc.br<sup>1</sup>

Thaffarel Barcelos Machado Ribas dos Santos, thaffarel.bmrs@posgrad.ufsc.br<sup>1</sup>

Hellinton Direne Filho, hellinton.direne@posgrad.ufsc.br<sup>1</sup>

Régis Henrique Gonçalves e Silva, regis.silva@labsolda.ufsc.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LABSOLDA – Welding and Mechatronics Institute - Department of Mechanical Engineering - Federal University of Santa Catarina, Campus Universitário, Trindade - Florianópolis – SC.

**Abstract:** This work evaluated an electric waveform design methodology for Gas Metal Arc Welding Pulsed process application. This process consists in the control and modulation of the welding current in order to obtain a free-flow metal transfer with regular heat input to the workpiece. At the same time it kept an intermediate mean current between the conventional GMAW-P process in Spray transfer and in the short-circuit. Initially, the methodology developed by Amim was used, in which modulated waveforms with a mean current of 150 A, applied to an ER70s-6 steel wire electrode were modulated. In order to find a set of parameters that would guarantee a pulsed wave with metallic transfer in the base, a high speed camera synchronized with the current and voltage oscillograms was used. As result, we obtained an alternative modulation methodology and an droplet equation exponent of 1.37 that is dissonant with those indicated in the literature. The new proposed exponent yet dissonant from literature, showed to be effective, consolidating the proposed methodology.

**Key-words:** GMA Welding Pulsed, Current Modulation, Control of the Metallic Transfer