

# MIG/MAG - Transferência Metálica por Curto-Circuito – Fontes de Soldagem versus Gases do Arco

## (GMAW – Short Circuit Metal Transfer – Welding Power Sources versus Gases of the Arc)

Jair Carlos Dutra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Soldagem, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, [jdutra@labsolda.ufsc.br](mailto:jdutra@labsolda.ufsc.br)

### Resumo

No processo MIG/MAG, as propriedades de um gás ou mistura gasosa normalmente não são consideradas de maneira associativa com as propriedades das fontes de energia utilizadas. Este trabalho procura mostrar esta falha científico-tecnológica que tem suas influências sobre aspectos comerciais, sejam relativos às fontes, sejam relativos aos gases. Por intermédio de ensaios de solda de filete com observação da aparência resultante, da verificação de sua geometria, da leitura oscilográfica e da elaboração de histogramas é mostrado que a influência do gás de proteção sobre a qualidade de uma solda não é uma consequência simples das propriedades do referido gás, mas interdependente das propriedades da fonte. O relacionamento entre as propriedades dos gases e as propriedades das fontes é realizado com base na possibilidade de uma regulação da dinâmica da fonte de uma forma específica e independente nas fases do curto-circuito e do restabelecimento do arco numa soldagem com transferência metálica por curto-circuito. Dois gases foram utilizados como comparação: o CO<sub>2</sub> puro e a mistura argônio e 25 % de CO<sub>2</sub>. É mostrado que a qualidade das soldas realizadas com os dois gases podem se equivaler, dependendo da dinâmica da fonte de soldagem.

**Palavras-chave:** Transferência metálica. Gases de Proteção. Fontes de Soldagem. Indutância.

**Abstract:** In the MIG/MAG process, the properties of a gas or gaseous mixture are not generally considered together with the properties of the welding power source used. This study seeks to show this scientific-technological shortcoming which affects commercial aspects, whether related to the welding power sources or to the gases. By way of fillet weld tests with observation of the resulting appearance of the welds, verification of their geometry, oscillographic data and the construction of histograms, it is shown that the influence of the shielding gas on the quality of a weld is not simply a consequence of the properties of the gas, but has an interdependency with the welding power source properties. The relationship between the properties of the gases and those of the welding power sources is determined based on the possibility of setting the dynamics of the welding power source in a specific and independent way in each of the two phases of the welding with short circuit metal transfer, short circuit and reestablishment of the arc. Two types of shielding gases were used for comparison: pure CO<sub>2</sub> and a mixture of 75% argon and 25% CO<sub>2</sub>. It is shown that welds of equivalent quality can be obtained with these different gases, depending on the welding power source dynamics.

**Key-words:** Metal transfer. Shielding Gases. Welding Power Sources. Inductance.

### 1. Introdução

O surgimento no mercado de várias receitas de gases para o processo MIG/MAG e a consequente utilização pelos usuários não são, em muitos casos, atos adequadamente criteriosos. Em muitas situações, como é o caso da transferência metálica por curto-circuito, um novo tipo de gás pode vir a produzir uma melhora de resultado, mas isto deve ser sempre analisado em conjunto com as características da fonte de

soldagem utilizada. Em outras palavras, um gás não pode ter sua validade julgada de maneira absoluta. A soldagem com CO<sub>2</sub> puro, por exemplo, é tida como de razoável dificuldade em termos de estabilidade do arco e pela produção de mais salpicagem. Entretanto, isto só é parcialmente verdadeiro e acontece quando a dinâmica da fonte de energia não atende as características físicas do arco e, por consequência, da formação e destacamento da gota com este gás. Esta questão da dinâmica se refere ao que é conhecido convencionalmente como indutância nas fontes de energia convencionais e por efeito indutivo nas fontes transistorizadas. Este trabalho trata deste tema, comparando o CO<sub>2</sub> puro com a mistura argônio com 25 % de CO<sub>2</sub>, aqui designada como C25.

---

(Received in 04/19/2006; Final Text in 08/07/2007)

## 2. Fundamentação

As propriedades de uma fonte de energia que se relacionam com as propriedades dos gases são as relacionadas à sua dinâmica, as quais não são de mensurabilidade tão simples como as que se referem à dados estáticos. Enquanto estes últimos podem ser medidos com simples instrumentos, como amperímetros e voltímetros, as características dinâmicas necessitam de osciloscópios ou outros instrumentos de medição que relacionem a variável de estudo com o tempo. As características dinâmicas das fontes convencionais nem sempre são reguláveis e, quando são, a regulagem é realizada por intermédio de uma indutância, que é fisicamente uma bobina por onde circula toda a corrente de soldagem. Em fontes com tecnologia transistorizada, a resposta dinâmica é um atributo das características dos transistores e de seus sistemas de controle diante a uma determinada variação das características do circuito elétrico. Por isso, é possível, nestes últimos equipamentos, uma regulagem específica para eventos específicos durante a transferência metálica. Assim, neste trabalho, o relacionamento entre as propriedades dos gases com as propriedades das fontes é realizado com base na possibilidade de uma regulagem específica da dinâmica da fonte nas fases do curto-circuito e do restabelecimento do arco numa soldagem com transferência metálica por curto-circuito.

Nos anos 1980, o Laboratório de Soldagem da UFSC tomou contato pela primeira vez com fontes com estas possibilidades de regulagem. O fabricante e ao mesmo tempo pesquisador, Dr. Puschner [1,2], afirmava que uma maior taxa de decrescimento da corrente na fase do restabelecimento do arco é que de fato influenciava a estabilidade do arco e, por isso, os equipamentos fabricados por ele possuíam uma regulagem designada como “Speziel” (que em português significa Especial) que servia para a soldagem com CO<sub>2</sub> puro. Embora, o assunto não tenha até hoje sido adequadamente tratado, o LABSOLDA, ao desenvolver seus equipamentos, teve o cuidado de projetá-los de maneira a ter a regulagem das referidas dinâmicas de forma dissociada nas duas fases citadas. Além disso, tiveram uma inovação em relação aos equipamentos do Dr. Puschner: não se restringem à alteração de uma dinâmica normal para uma dinâmica “Speziel”, mas sim possuem regulagem contínua com a finalidade de se adequarem a quaisquer casos. Para análises com cunho científico sobre a estabilidade do arco foram desenvolvidas na tese de doutorado de Dutra [3] ferramentas estruturadas, que tiveram contribuição dos trabalhos de Gerike, Refehld e Amin [4, 5, 6]. Uma destas ferramentas é a confecção de histogramas de períodos de transferência metálica, a qual foi utilizada neste trabalho.

## 3. Experimentação

Os procedimentos de soldagem foram elaborados para soldagens na posição horizontal em filete, utilizando-se arame ER70S-6 de 1,2 mm, vazão de gás de 14 l/min, velocidade do arame-eletrodo (va) de 3,5 m/min, tensão regulada de 21 V para o CO<sub>2</sub> e de 20 V para o C25 e distância do bico de contato até a peça (DBCP) de 15 mm. As correntes médias resultantes foram de aproximadamente 130 A e as eficazes cerca de 145 A. As soldas foram executadas manualmente pela técnica empurrando, procurando-se respeitar a mesma DBCP já citada, medindo-se axialmente ao eletrodo. As velocidades de soldagem (vs) foram naturalmente administradas pelo soldador e medidas. A regulagem das dinâmicas das fases de curto-circuito (taxa de subida) e de restabelecimento do arco (taxa de decrescimento da corrente) é realizada no equipamento utilizado, modelo MINITEC 200 de fabricação IMC, por intermédio de um número adimensional, mas foram medidas diretamente nos oscilogramas por intermédio de ferramentas disponíveis no sistema de aquisição de dados, denominado de SAP, de fabricação da mesma empresa.

As experiências anteriores já tinham revelado que a dinâmica da fonte para a fase de curto-circuito praticamente não influi na qualidade de soldas com um ou outro gás e que o valor que satisfaz genericamente é de aproximadamente 60 A/ms. Entretanto, na regulagem da fase de recuperação do arco (taxa de decrescimento da corrente) é que estava realmente a verdadeira influência sobre a adaptabilidade a cada tipo de gás. Por isso, todas as soldas aqui apresentadas são com dinâmica da fase de curto-circuito de 60 A/ms. A busca por situações de maior estabilidade foi baseada, então, na regulagem da dinâmica da fase de recuperação do arco (taxa de decrescimento da corrente) e o critério de avaliação inicial foi prático, mas posteriormente com base científica por intermédio da elaboração de histogramas. O critério prático era baseado na regularidade da aparência das soldas, o que tinha correlação direta com a suavidade do arco e da transferência metálica. Como para o C25 a melhor condição foi de aproximadamente 20 A/ms, foi também realizada uma soldagem para o CO<sub>2</sub> puro nesta condição. Os respectivos oscilogramas de corrente e tensão são apresentados na Figura 1 e a aparência da solda na Figura 2. Nesta condição, o resultado é sofrível, equivalente ao que é encontrado normalmente em máquinas normais de soldagem quando utilizadas com CO<sub>2</sub>. Na tentativa de encontrar regulagens mais adequadas, foi atingido o valor de 44 A/ms, cerca do dobro da adequada para o C25. Os oscilogramas de corrente e tensão são apresentados na Figura 3. Foi obtida uma solda (Figura 4) com acabamento superficial e com produção de salpicos (muito finos) no mesmo padrão da mistura C25. Na Figura 5 é apresentada uma macrografia típica da seção transversal da respectiva solda. As figuras equivalentes às apresentadas para o CO<sub>2</sub> puro são para o C25 apresentadas nas Figuras 6, 7 e 8.

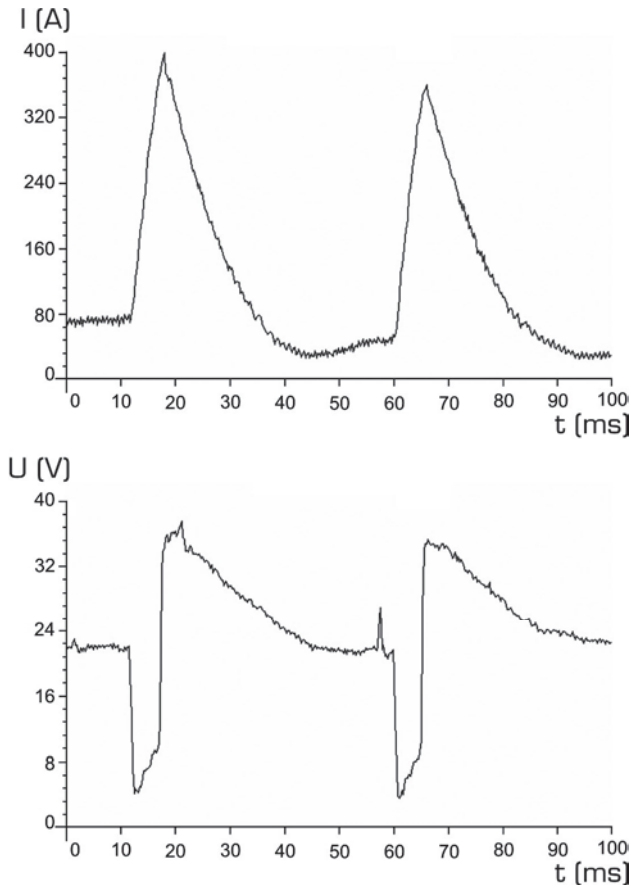


Figura 1 - Oscilogramas de corrente (superior) e tensão (inferior) representativos da transferência metálica com CO<sub>2</sub> com taxa de decrescimento da corrente de 20 A/ ms, tensão regulada de 21 V e va de 3,5 m/min

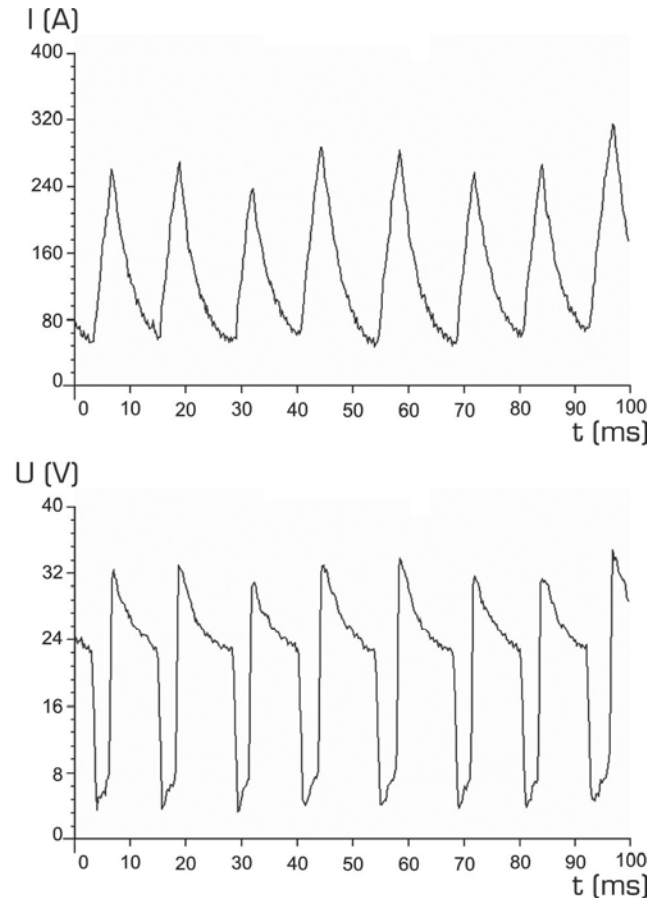


Figura 3 - Oscilogramas de corrente (superior) e tensão (inferior) representativo da transferência metálica com CO<sub>2</sub> com taxa de decrescimento da corrente de 44 A/ ms, tensão regulada de 21 V e va de 3,5 m/min

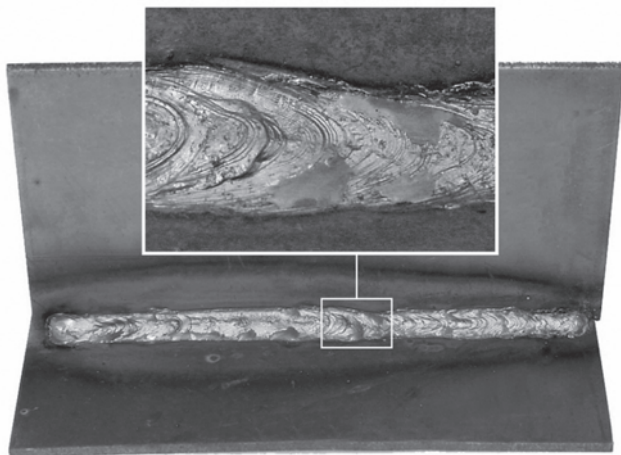


Figura 2 - Solda de filete realizada manualmente com CO<sub>2</sub> nas condições da Figura 1 e vs de 5 mm/s (30 cm/min)

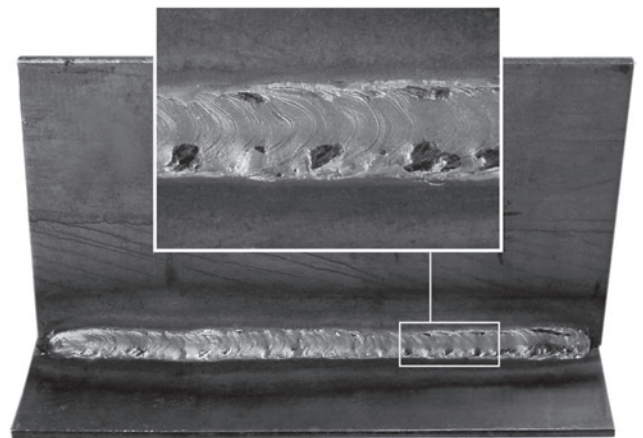


Figura 4 - Solda de filete realizada manualmente com CO<sub>2</sub> nas condições da Figura 3, tensão regulada de 21 V, va de 3,5 m/min e vs de 5 mm/s (30 cm/min)

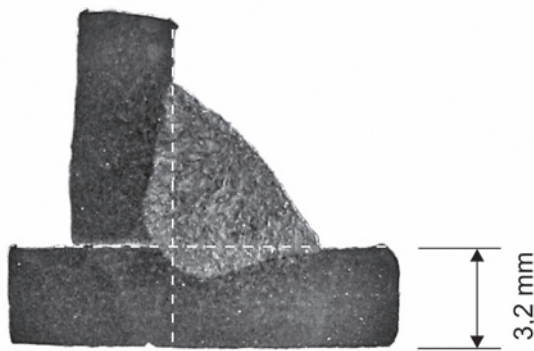


Figura 5 - Macrografia da solda apresentada na Figura 4

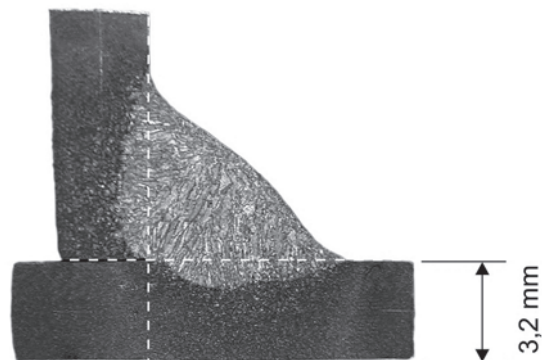


Figura 8 - Macrografia da solda apresentada na Figura 7

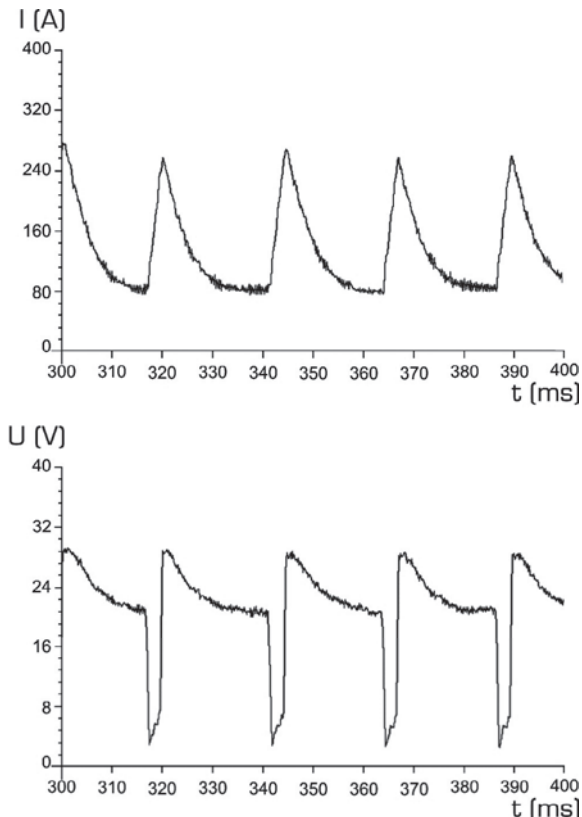


Figura 6 - Oscilogramas de corrente (superior) e tensão (inferior) representativo da transferência metálica com C25, taxa de decrescimento de 24 A/ms, tensão regulada de 20 V e va de 3,5 m/min

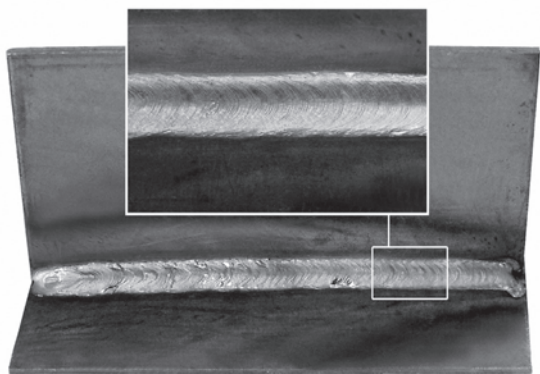


Figura 7 - Solda de filete realizada manualmente com C25 com as variáveis apresentadas na Figura 6 e vs de 4,2 mm/s (25 cm/min)

#### 4. Discussão dos Resultados

Com os experimentos realizados, ressaltando-se o pequeno número de ensaios, mas sustentado em experiências de muito tempo no LABSOLDA, foi constatado que a taxa de subida da corrente no estabelecimento dos curtos-circuitos não influencia determinadamente a transferência com um ou outro tipo de gás. Neste sentido, deve-se atentar para o fato de que o pico máximo da corrente não é uma função simples da taxa de subida, como pode ser a expectativa de alguns estudiosos do assunto. Em vez disso, o referido pico de corrente é fundamentalmente governado pela taxa de decrescimento da corrente. Isto pode ser observado numa comparação entre as Figuras 1 e 3 que retratam situações com a mesma taxa de subida, o mesmo gás, mas com distintas taxas de decrescimento. Apesar de não se constituir num parâmetro de dependência do gás de proteção, a taxa de subida para qualquer situação não deve ser inferior a 50 A/ms. Assim, a taxa de decrescimento da corrente é que é altamente determinante na estabilidade da transferência sob a dependência do tipo de gás do arco. Se para o caso da subida da corrente mais de uma dezena de A/ms não causam uma influência marcante sobre a transferência, para o decrescimento da corrente uma diferença de 10 A/ms determina, por vezes, o sucesso ou insucesso de um procedimento de soldagem. Neste sentido, deve-se atentar para o fato de que a taxa de subida é normalmente de duas a quatro vezes maior que a taxa de decrescimento. Uma taxa grande de decrescimento da corrente induz uma maior frequência de destacamento, o que obviamente significa gotas pequenas. No caso 1 do  $\text{CO}_2$  foi obtida uma frequência de 22 Hz, o que resultou em gotas com diâmetro modal estimado de 1,8 mm. No caso 2, onde se obteve muito boa estabilidade, a frequência de transferência foi de 88 Hz, o que resultou em um diâmetro modal de gota de 1,1 mm, próximo do diâmetro do eletrodo, que é de 1,2 mm. Para o caso do C25, a frequência foi de 65 Hz, o que resultou em diâmetro modal de gota de 1,24 mm.

Os dados citados são os fornecidos pelos histogramas que permitem obter de maneira mais científica e matemática a estabilidade da transferência metálica. Estes histogramas refletem os oscilogramas de forma estatística, os quais são obtidos pelo agrupamento em intervalos (faixas) das grande-

zas: picos de corrente, períodos de transferência, tempos de arco estabelecido e tempos de curto-circuito [3]. Com isto, é possível obter informações sobre o caráter de repetibilidade dos fenômenos da transferência metálica. Entretanto, na presente verificação, a análise do comportamento dos períodos de transferência foi a que revelou a maior coerência com os resultados práticos. Assim, apresenta-se nas Figuras 9, 10 e 11 os respectivos histogramas para um tempo de aquisição total de 8 s e uma frequência de aquisição de 5 kHz. Como pode ser visto, o menor desvio padrão dos períodos de transferência (6,1 ms) apresentado na Figura 9, contra o que mostra a Figura 10 (37,4 ms), confirma matematicamente, do ponto de vista deste trabalho, a maior estabilidade no caso do CO<sub>2</sub> para a soldagem com taxa de decrescimento da corrente maior (44 A/ms). A legenda das figuras apresenta os dados NI para número de ocorrências, PMP para período modal de transferência, DPPT para desvio padrão dos períodos de transferência, VM para volume modal de gota e DM para diâmetro modal de gota.

O histograma para o caso do C25 mostra que a repetibilidade da transferência é um pouco menor que para o melhor caso do CO<sub>2</sub>, pois apresentou um desvio padrão dos períodos de transferência de 7,3 ms contra 6,1 ms do CO<sub>2</sub>. Entretanto, do ponto de vista de uma aparência superficial, a solda com C25 se apresenta levemente melhor, como pode ser visto nas Figuras 4 e 7. Esta pequena desvantagem do CO<sub>2</sub> é compensada pelo melhor perfil de penetração que o mesmo apresenta em relação ao C25. Como pode ser observado na comparação das Figuras 5 e 8, o CO<sub>2</sub> garante com sobra a formação da raiz da solda, enquanto que o C25 produz uma penetração escassa. Além disso, a soldagem com CO<sub>2</sub> pôde ser realizada com velocidade de soldagem um pouco maior, 5 mm/s (30 cm/min) contra 4,2 mm/s (25 cm/min) do C25.

Os resultados obtidos não são em âmbito apenas teórico, mas sim são de importância prática direta e plenamente aproveitável atualmente. Entretanto, é necessária uma maior atenção na seleção das fontes de energia. As fontes de energia que atendem a estas necessidades não são as convencionais (eletromagnéticas), mas também não são de concepção excepcional. Elas apenas têm de ser transistorizadas e há mais de duas décadas já são disponíveis no mercado. Entretanto, a especificação e seleção de uma fonte de energia adequada é ainda, na maioria dos casos, uma tarefa mal conduzida. A maior problemática que envolve o tema é sua consideração de forma cartesiana, típica de especialistas em áreas ultra-específicas, não sendo tratado de uma forma sistêmica. Com um conhecimento mais amplo a tendência da super valorização do tipo de gás de proteção pode vir a ser redirecionada para a valorização das propriedades das fontes de soldagem. Isto pode contribuir também, por outro lado, para uma não super valorização de tecnologias de fontes de soldagem que prometem soluções miraculosas, como as anunciadas de controle da tensão superficial das gotas em transferência (STT, RMD, CMT, etc). Em muitas situações, equipamentos que permitem a regulagem de sua dinâmica na forma aqui apresentada podem oferecer tão bons resultados como os relacionados nas siglas anteriores.

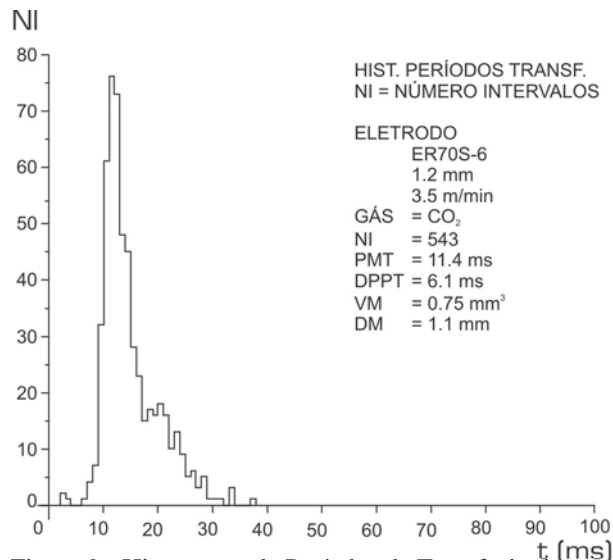


Figura 9 - Histograma de Períodos de Transferência para CO<sub>2</sub> com taxa de decrescimento da corrente de 44 A/ms

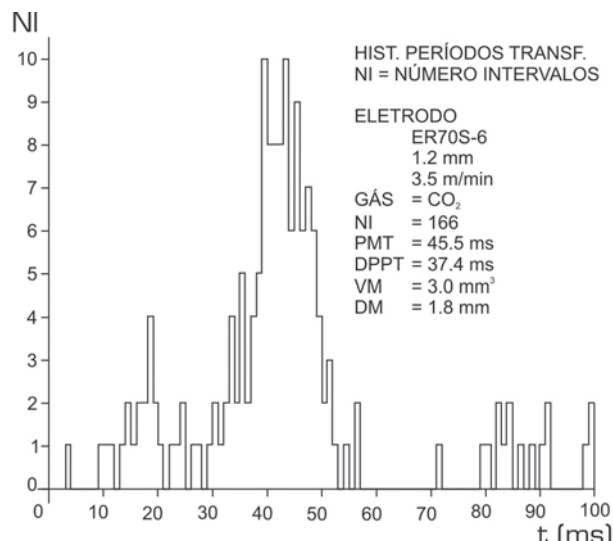


Figura 10 - Histograma de Períodos de Transferência para CO<sub>2</sub> com taxa de decrescimento da corrente de 20 A/ms

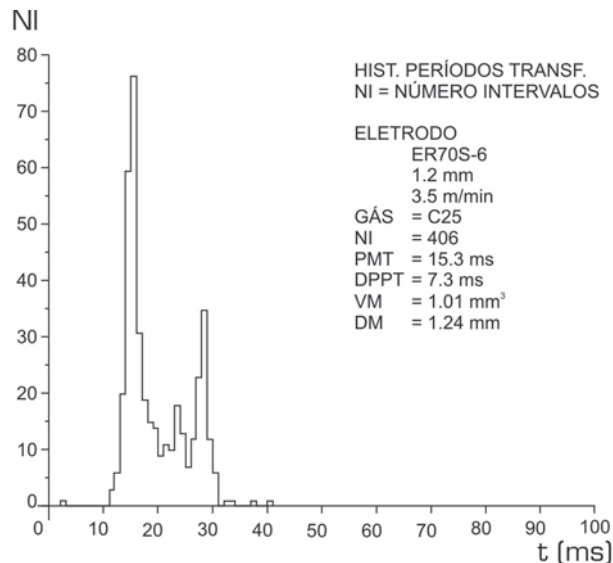


Figura 11 - Histograma de Períodos de Transferência para C25 com taxa de decrescimento da corrente de 20 A/ms

## 5. Conclusões

Os resultados obtidos em soldagem com transferência metálica por curto-circuito, os quais são sinteticamente apresentados neste trabalho, relatam experiências de confrontação e associação das características dinâmicas das fontes de soldagem com o tipo de gás do arco e atestam que nunca este último deve ser julgado isoladamente. A estabilidade do arco e a facilidade de soldagem com  $\text{CO}_2$  podem ser idênticas às obtidas com misturas gasosas que, no presente caso, foi a mistura de argônio com 25 % de  $\text{CO}_2$ . Do ponto de vista de geometria em solda de filete, o  $\text{CO}_2$  apresenta melhor performance. Para obtenção destas características a regulação da taxa de decrescimento da corrente mostrou ser o fator determinante na estabilidade da soldagem MAG, devendo ser regulada em função do tipo de gás. Para o  $\text{CO}_2$  puro a regulação deve ser bem maior do que para a mistura C25. Já a taxa de crescimento da corrente não mostrou ser dependente do tipo de gás. Ela pode ser a mesma, mas em um valor próximo a 60 A/ms.

Dentro da metodologia matemática para a avaliação da estabilidade do processo, a que mais se adequou foi a que utiliza histogramas de períodos de transferência, tanto na confrontação com o sentimento do soldador, como na confrontação visual dos cordões de solda.

## 6. Referências Bibliográficas

- [1] PUSCHNER, P. Entwicklungstendenzen bei elektronischen Schweißstromquellen. Schweissen und Schneiden, 02/86.
- [2] PUSCHNER, P. Prozessrückführung zum Verringern der Spritzerbildung beim MAG-Schweissen, Sonderdruck aus DVS- Berichte Band 65.
- [3] DUTRA, J. C. Procedimento Computadorizado de Determinação, Seleção e Controle de Variáveis na Soldagem MIG / MAG. Tese de doutorado – UFSC 08/1989.
- [4] GERIKE, H. Neue Labororien für Forschung und Lehre zur Schweißprozessautomatisierung an der TH Magdeburg. Schweistechnik 35, 85.
- [5] REHFELDT, D. Untersuchungen zum Metall-Schutzgas schweissen mittels Ultrahochgeschwindigkeitkinematografie und schneller Erfassung elektrischer Schweißparameter. Kurzberichte Schweissen und Schneiden, 03/89.
- [6] AMIN, M Prediction of Pulse Parameter for MIG Welding, Welding Institute Research Bulletin, Vol. 24, 02/83.