

# Fundamentos Científicos e Tecnológicos para o Desenvolvimento do Processo MIG/MAG por Curto-Circuito Controlado (CCC) – Uma Revisão da Literatura. Parte 1 de 3: Aspectos Históricos e dos Mecanismos de Fusão do Arame

## (Scientific and Technological Fundamentals for the Development of the Controlled Short Circuiting MIG/MAG Welding Process (CCC) – A Literature Review. Part 1 of 3: History and Wire-electrode Melting Aspects)

Régis Henrique Gonçalves e Silva<sup>1</sup>, Jair Carlos Dutra<sup>1</sup>, Raul Gohr Jr.<sup>1</sup>

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

### Resumo

*O presente trabalho consiste na revisão da literatura sobre a soldagem MIG/MAG em transferência metálica por curto-circuito. Embora este seja o modo mais largamente utilizado no ambiente industrial e apesar de se ter vários trabalhos experimentais e envolvendo modelamento e simulação relacionados, certos aspectos como mecanismos de penetração e aporte térmico não foram satisfatoriamente elucidados. O objetivo final é o desenvolvimento de uma nova variante do Processo MIG/MAG, chamado MIG/MAG por Curto-Circuito Controlado (CCC), dedicado à execução do passe de raiz e solda de chapas finas. Nesta primeira parte são apresentados aspectos históricos do desenvolvimento do processo MIG/MAG, seguindo-se, nas partes posteriores, abordagens acerca da transferência metálica, aspectos econômicos e tecnologias de controle de corrente na soldagem MIG/MAG por curto-circuito.*

**Palavras-chave:** Soldagem MIG/MAG. CCC. Curto-circuito controlado. Fusão do arame.

**Abstract:** *This work consists in literature review regarding short-circuiting MIG/MAG welding. Despite the fact that this is the most commonly used metal transfer mode in the industrial environment, and although there are several related experimental and modelling/simulation works, aspects like penetration mechanisms and heat input were not yet satisfactorily explained. The final goal is the development of a new variant of the MIG/MAG welding process, named Controlled Short-Circuiting MIG/MAG Welding (CCC), dedicated to root passes and thin sheet welding.*

**Key-words:** MIG/MAG Welding. CCC. Controlled Short-circuiting. Wire-electrode melting.

### 1. Introdução

A origem da soldagem a arco elétrico remonta ao século XIX, com a utilização de eletrodos permanentes de carvão. O processo seguiu evoluindo até a invenção do Eletrodo Revestido, já no início século XX, inaugurando a era moderna da soldagem elétrica [1]. O advento da soldagem a arco protegido por uma atmosfera gasosa, que não advinda de revestimento no material de adição, pode ser rastreado à década de 1920. A escassez de recursos tecnológicos e pesquisa na área, no entanto, limitou a viabilidade econômica e comercial deste processo até a década de 1940. A partir de então, tendo como impulso inicial a II Guerra Mundial, o processo começou a ser pesquisado com ênfase [1,2].

O processo MIG foi originalmente patenteado nos EUA, em 1949, para soldagem de alumínio em atmosfera

protetora de Hélio, mas teve sua introdução em escala industrial apenas na década de 1960 [3,4]. Sua evolução, que, devido às novas tecnologias de eletrônica de potência e/ou microprocessamento, bem exemplificadas pelas compactas fontes inversoras, tem sido cada vez mais vertiginosa, se baseia também na tendência a maior automatização dos processos, ao desenvolvimento e uso de novas ligas metálicas [1]. Esses fatores não atuam isoladamente, mas sim, em conjunto. O alcance e manutenção da competitividade no mercado demanda o maior grau possível de produtividade (automatização) das operações, as quais devem ter resultados satisfatórios, aplicando, para isso, materiais dotados de propriedades satisfatórias. Os processos de soldagem devem se adequar a esses materiais e alcançar a qualidade e características previstas em norma. Exemplos do exposto são as indústrias Aeronáutica e de Petróleo e Gás. No contexto dessa última se encaixa o presente trabalho, lançando mão de modernos equipamentos e técnicas de *software* dedicados

---

(Recebido em 07/04/2006; Texto Final em 05/05/2007).

à monitoração e ao controle da soldagem, com o intuito de se gerar resultados que satisfaçam as rígidas normas para a solda de raiz na construção de tubulações e com vistas futuras à automatização desta operação.

A característica mais atraente inerente ao processo MIG/MAG é a produtividade que pode ser alcançada, advinda de seu cunho semi-automático e alta densidade de corrente, resultando em altas taxas de deposição e elevado fator de trabalho, flexibilidade e facilidade de automatização, mantendo-se a qualidade requerida em diversas aplicações. De fato, o processo MIG/MAG veio continuamente aumentando sua fatia do mercado de soldagem, tendo esta subido de 30% em 1974 para mais de 50% em 1984 (dados relativos a metal depositado), mantendo-se neste patamar até pelo menos 1995, dados, estes, referentes à Europa, EUA e Japão [3][5]. Contudo, encontra-se na literatura especializada informações que elevam este índice para cerca de 70 % [4]. Atualmente, o mercado da soldagem a arco nestas regiões, no entanto, apresenta certa estagnação, tendo atingido sua maturidade [6][7][8]. Este fato é agravado pelo surgimento de novas técnicas de união e revestimento, como os adesivos. No citado período, de 1974 a 1984, inclusive, houve uma retração no mercado de soldagem de 10% a 15%, para as mesmas regiões.

Surge, então, o desafio de se manter atuante e competitivo sob estas condições. Para isso, variantes inovadoras de processos clássicos têm sido introduzidas, assim como antigos projetos têm sido reinventados e reintroduzidos. Isto se viabiliza através dos crescentes avanços tecnológicos em diversas áreas: materiais, eletrônica, robótica, laser, *software*... Pode-se citar a integração de processos, gerando os chamados processos híbridos, como o MIG/Laser, o Plasma/MIG e o Plasma/Laser. E, compreendendo o tema deste trabalho, cita-se, também, a geração de novas técnicas e estratégias de controle do arco elétrico e da transferência metálica.

O mercado brasileiro da soldagem, porém, não apresenta o mesmo comportamento, pois não se trata de um país que desenvolva ou aplique a alta tecnologia da soldagem, ainda, em larga escala [9,10], como os países citados acima, que são grandes centros de desenvolvimento tecnológico. De fato, no Brasil, estudos revelam tendências de redução anual de 2% a 3% no mercado do Eletrodo Revestido e de incremento anual de 15% a 20% para tecnologias mais atuais, como o MIG/MAG [11]. Os países em desenvolvimento são objetivos importantes das grandes companhias mundiais de soldagem devido a este cenário [7], no que tange a novos processos de soldagem.

Um dos setores que mais se beneficia com inovações tecnológicas em soldagem é o de Petróleo e Gás. O LABSOLDA vem, ao longo do tempo, atuando nesta área, que é crucial para qualquer país produtor. Atualmente, cerca de 9% do PIB brasileiro provém desse setor (6% somente da PETROBRAS, segundo autoridades da ANP – Agência Nacional do Petróleo), contribuição esta que vem crescendo continuamente: em 1997, representava 2,7% do total, 3,1%

em 98, 4,2% em 99, 5,3% em 2000, 5,9% em 2001, 6,8% em 2002 [12].

Uma das aplicações inicialmente vislumbradas do CCC consiste no passe de raiz em soldas de topo de dutos chanfrados para construção de *pipelines*. A eficiência na execução deste passe é considerada um fator chave, que determina a velocidade na qual a linha dutoviária é construída. Uma vez que a soldagem e a inspeção de juntas em dutos exercem influência significativa sobre o cronograma físico e, como decorrência, no custo das obras, que incluem alugueis de equipamentos da ordem de dezenas de milhares de dólares por dia, otimizações nesta operação se tornam deveras atrativas para as empresas contratantes e executoras de serviços [13,14]. Não obstante a inerente menor produtividade, o ER (eletrodo revestido) vem sendo o processo de escolha para o passe de raiz. As razões para isso são, principalmente, a tradição, o desconhecimento em relação à possibilidade de aplicação do MIG/MAG e a falta de uma interação eficiente entre o soldador e o engenheiro que tenta introduzir um novo processo [13,15,16]. E, neste caso, a sinergia entre o conhecimento do engenheiro sobre o processo e a habilidade do soldador é fundamental para um bom resultado, dada a relativa complexidade do processo. Trata-se de um passe de raiz, com processo MIG/MAG em curto-circuito e diversas posições de soldagem (além do balanço da embarcação em soldas *offshore*). Essa e outras características da operação específica, discutidas adiante, proibem o uso do MIG/MAG em outras de suas variantes, seja pela inviabilidade técnica, seja pela econômica, que não a transferência metálica por curto-circuito com controle de corrente, como no CCC.

Ressalta-se que a produtividade tem grande importância, também, no caso de recuperação de tubulações danificadas, restaurando o abastecimento para os clientes da maneira mais rápida possível, reduzindo prejuízos com desperdício e multas, além de danos ambientais.

Outras aplicações consideradas são aquelas onde o controle da corrente, encontrado no CCC e não no MIG/MAG convencional, viabiliza ou, pelo menos otimiza o uso deste processo semi-automático em conjunto com misturas gasosas com alto teor de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), por exemplo na fabricação de auto-peças, de motores elétricos, na indústria naval, ou na solda de chapas finas.

Técnicas, métodos e equipamentos para o controle da corrente na soldagem MIG/MAG em modo de transferência metálica por curto-circuito não constituem uma novidade, pois há referências acerca desse tema que datam de 1983 [17]. Inclusive, o tema já foi estudado neste laboratório, no âmbito de duas teses de doutorado, de onde surgiram as bases para o presente trabalho. Os objetivos, porém, permanecem, basicamente, os mesmos para as diversas abordagens: obtenção de maior regularidade na transferência metálica, redução de respingos e fumos e obtenção de características geométricas e metalúrgicas homogêneas. Também as formas de onda adotadas são similares: manutenção da corrente em baixo nível no momento do contato entre a gota fundida e a poça de fusão, com a finalidade de se

reduzir o nível de respingos e se formar uma ponte líquida estável, seguindo-se um pulso de corrente que causa o estreitamento desta ponte, propiciando a transferência definitiva da gota e, novamente visando-se um baixo nível de respingos e fumos, reduz-se a corrente na iminência do desprendimento. Algumas dessas teorias preconizam, então, um segundo surto de corrente, o qual tem como função a fusão da ponta do arame-eletrodo para formação da próxima gota metálica. A partir daí, e, aproveitando-se das possibilidades de controle hoje disponíveis, os sistemas se tornam mais eficientes e surgem novas funções, como o controle da penetração e controle do aporte térmico.

Este trabalho visa, então, a obtenção do conhecimento necessário para o desenvolvimento de um sistema CCC completo. Isto se torna possível a partir do estudo da teoria do fenômeno da transferência metálica e das diversas técnicas e estratégias de controle da mesma através do controle da corrente (ou outras variáveis) na soldagem MIG/MAG em curto-circuito. A meta futura é disponibilizar essa tecnologia, de maneira otimizada e a baixo custo, ao mercado nacional nos setores produtivos e de pesquisa e desenvolvimento.

## 2. Processos de Soldagem por Fusão

Os processos de soldagem que se baseiam na fusão das partes a serem trabalhadas requerem, naturalmente, uma fonte calorífica que proveja a energia necessária para o aumento da temperatura até a mudança de estado físico e manutenção do material em estado líquido, até que a união se materialize. Nestes casos, a energia pode provir de uma reação química (ex.: combustão), de fenômenos físicos num gás (ex.: plasma e arco voltaico) ou de radiação (ex.: laser). Existem, também, os processos nos quais a fusão não está envolvida, como, por exemplo, na soldagem por fricção, também chamada soldagem por atrito, na moderna soldagem *stir welding*.

A soldagem MIG/MAG pertence ao primeiro grupo e, como citado anteriormente, vem passando por inovações que otimizam o processo de fusão (cuja fonte de energia calorífica é um arco voltaico num plasma) e a transferência metálica. Neste sentido, o entendimento dos fenômenos envolvidos é necessário, quando o intuito é obter um grau satisfatório de domínio sobre os mesmos, como é o caso desse trabalho.

## 3. O Arco Voltaico e sua Contribuição para a Fusão do Arame-eletrodo

Apesar de inúmeros estudos acerca do arco elétrico no campo da Física, não existe uma congruência quanto a aspectos como sua formação, seu comportamento, características térmicas e influência no processo, principalmente no que tange à soldagem com eletrodo consumível. Por exemplo, temperaturas de 6727° C, 9726° C, e uma faixa de 6000° C a 12000° C são citadas por diferentes autores para o plasma formado [18,19,20].

Quanto à formação do arco, a região catódica assume grande importância no processo MIG/MAG, pois é dela que emergem os elétrons que fluem pelo arco, responsáveis por grande parte da condução da corrente de soldagem, dependendo dessa relação, porém, da polaridade utilizada [20]. A capacidade de emissão de elétrons pelo cátodo, geralmente constituído pela peça no processo MIG/MAG, depende da função de trabalho e da temperatura do mesmo [19,20,21]. Surgem diferentes teorias sobre os mecanismos de liberação de elétrons para o arco e aquecimento desse eletrodo.

Aços estruturais se vaporizam antes de chegar a uma temperatura suficientemente elevada, que ocasionaria liberação de elétrons pelo efeito de emissão termiônica. Dessa maneira, a camada óxida presente na superfície do cátodo alimenta o arco com os elétrons necessários a sua subsistência, pois esta exige menos energia para a liberação de elétrons [20]. Lesnewich [19] também cita essa explicação. Além disso, esse mesmo autor estratifica a corrente total de soldagem em corrente conduzida por íons positivos, provindos de metal vaporizado e dissociação do gás de proteção, e corrente conduzida por elétrons, provindos do cátodo. Essers [22] também aborda este tema, considerando a liberação de elétrons para o arco por emissão termiônica do metal puro e emissão de campo, esta última também mencionada por Lesnewich. Já Kou [23] considera apenas a emissão de campo, fenômeno que não causa resfriamento do cátodo, descartando a emissão termiônica.

O aquecimento da região catódica se dá, principalmente, pela ação dos íons incidentes. Estes são acelerados ao atravessar o campo elétrico que se forma e se mantém sobre o cátodo, e essa energia cinética é entregue na colisão dos íons com o cátodo. Esses íons também entregam energia quando são neutralizados na superfície catódica. Energia é perdida pelo cátodo pela liberação dos elétrons que mantém o arco e pela neutralização dos íons positivos por elétrons.

Energia também é trocada por outros mecanismos, como convecção, radiação e reações químicas de oxidação [19,22]. Questões acerca do aporte térmico serão analisadas posteriormente.

Em relação ao ânodo, comumente o arame eletrodo do processo MIG/MAG, Baixo [20] cita a formação da Barreira de Langmuir, que é a concentração de elétrons que se forma nas proximidades da superfície do eletrodo. Elétrons provenientes da peça com maior energia cinética conseguem atravessar a barreira, e são, então acelerados (pela repulsão da barreira de mesma carga) e entregam sua energia cinética e de condensação ao ânodo. Já Lesnewich [19] afirma que, devido a sua alta temperatura, o ânodo acaba fornecendo elétrons para o arco, os quais não têm energia suficiente para vencer as forças atrativas do próprio eletrodo. Forma-se, com isso, uma nuvem eletrônica nas proximidades da superfície anódica, desenvolvendo-se entre ambas um alto gradiente de tensão, acelerando os elétrons provindos do arco, e que atravessam a barreira eletrônica, em direção ao ânodo. A forma de transferência

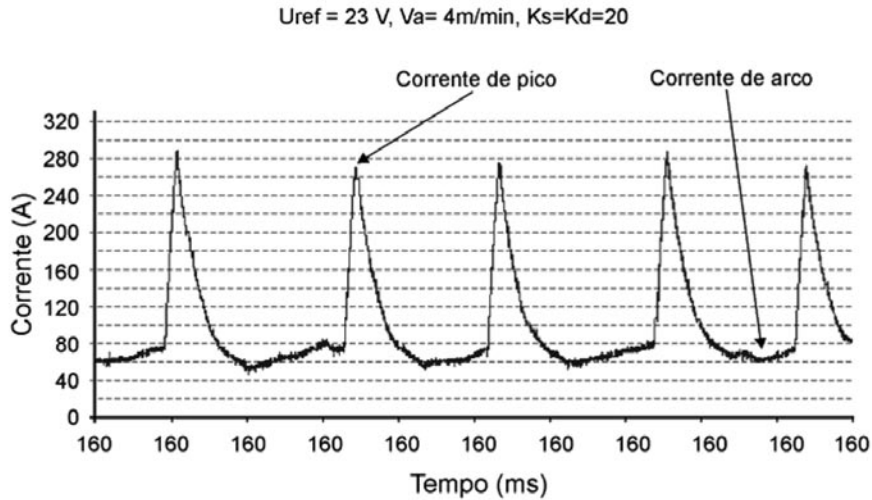


Figura 1 - Oscilograma de uma solda MIG/MAG convencional, em transferência por curto-circuito (Uref=23 V, Va=4 m/min, Ks=Kd=20, De=1,0 mm).[24]

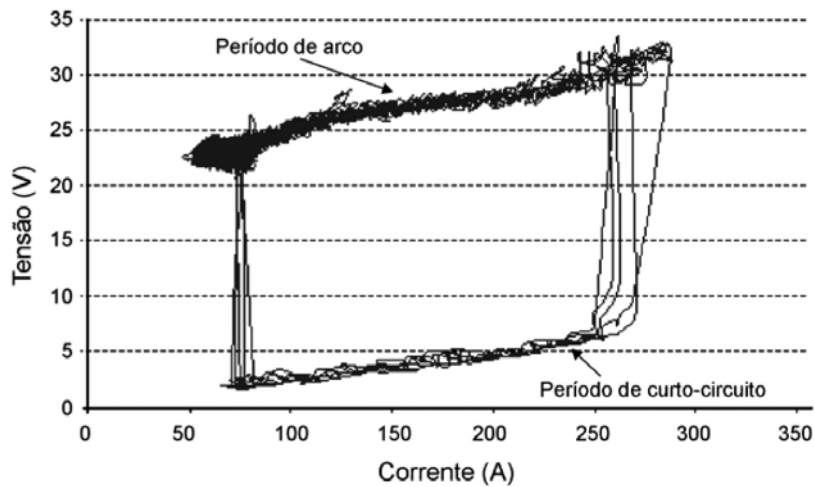


Figura 2 - Relação entre tensão e corrente construída a partir da seqüência de períodos de transferência da Figura 1. [24].

de energia é a mesma citada por Baixo [20], ou seja, energia cinética e de condensação, quando os elétrons são absorvidos pela superfície metálica. Há, também, a teoria de que agentes do meio de proteção (gás ou revestimento) anulam a barreira eletrônica, permitindo que os elétrons do cátodo bombardeiem o ânodo.

Considerando-se o arco de soldagem MIG/MAG, este apresenta comportamento análogo a um condutor metálico, ou seja, a queda de tensão que nele ocorre aumenta em proporção constante com a corrente de soldagem. Investigações realizadas no LABSOLDA com o processo MIG/MAG convencional por curto-circuito mostraram este fato, como visto na Figura 2, relativa ao oscilograma real da Figura 1.

Apartir desse comportamento, pode-se tirar também uma conclusão em relação a relação entre o aquecimento gerado e a velocidade de arame ( $V_a$ ) na soldagem MIG/MAG:

$$V_a = C_1 \times I_{ef}^2 + C_2 \quad (1)$$

(determinada, estatisticamente, por Baixo [20]).  $C_1$  é uma

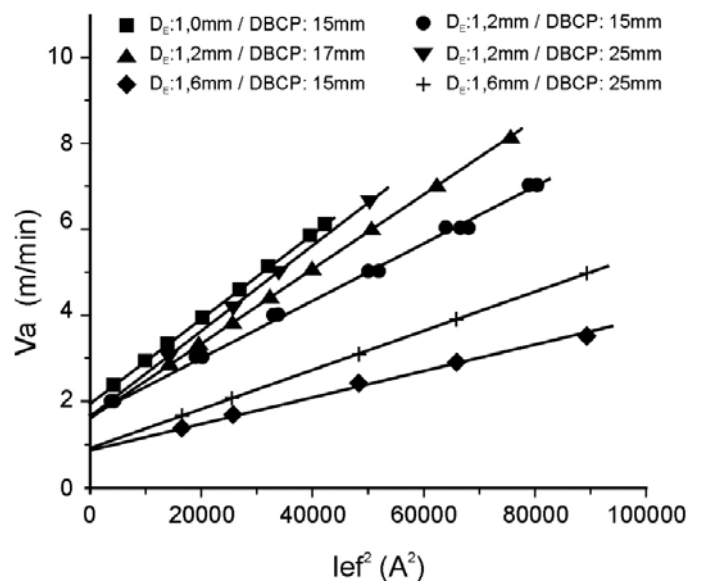


Figura 3 - Efeito da Distância Bico de Contato-Peça (DBCP) e do diâmetro do eletrodo  $\{D_e\}$  sobre o posicionamento da curva  $\{V_a = C_1 \cdot I_{ef}^2 + C_2\}$ . [20]

constante está relacionado com a resistência elétrica imposta pela extensão de eletrodo,  $C2$  depende da área transversal do arame e  $I_{ef}$  é a corrente eficaz. Na verdade,  $C1$  embute o calor gerado por efeito Joule e também o gerado na interface arco gota, ou seja, ainda que, numa situação hipotética, a extensão do eletrodo fosse 0,0 mm,  $C1$  não assumiria valor nulo [20]. A Figura 3 mostra curvas encontradas para algumas configurações de soldagem.

Uma outra contribuição para a fusão do eletrodo que poderia ser considerada é a radiação do arco. Esta é citada por Lesnewich [22]. No entanto, suas experiências [19] indicam que a contribuição desta componente não é significativa.

#### 4. A Contribuição do Efeito Joule na Extensão Sólida de Arame-eletrodo (*stick out*) para o Aquecimento

O entendimento deste aspecto é de fundamental importância para o desenvolvimento do presente trabalho, uma vez que um dos objetivos do sistema de controle da forma de onda de corrente de soldagem é a homogeneização da energia fornecida ao arame pelo arco e pelo efeito Joule no arame, de modo a manter a regularidade da transferência metálica.

A potência ôhmica gerada ao longo da extensão sólida do arame-eletrodo ( $L$ , na Figura 4) não é suficiente para a fusão do arame eletrodo. Também a componente de calor transmitida por condução da frente de fusão ( $Q_{cond}$ ) (Figura 4) para o arame sólido pode ser desprezada [21]. Assim,

o calor para a fusão provém de outras fontes.

Como citado acima, parte do calor necessário para a fusão do arame eletrodo ( $Q_t$ ) é fornecida pelo arco elétrico, sendo esta distribuição entre ambas as fontes (arco elétrico e Efeito Joule) dependente da corrente e da extensão do eletrodo. O aumento em um desses valores acarreta aumento da contribuição do outro, reciprocamente [19,20,21]. Isto é demonstrado nas Figuras 3, 5 e 6.

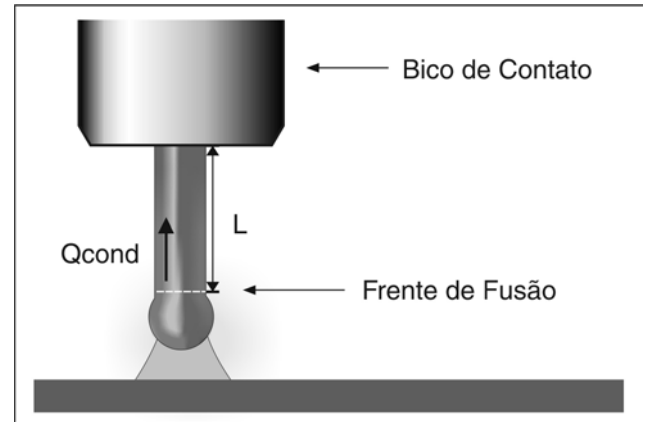


Figura 4 - Aquecimento da extensão sólida do arame-eletrodo (*stick out*).

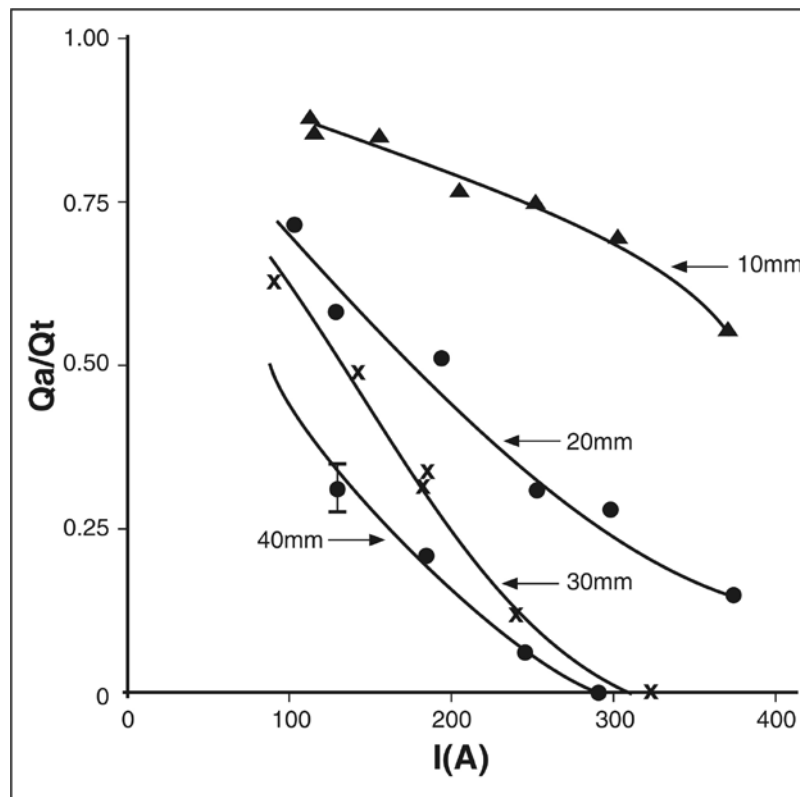


Figura 5 - Contribuição do calor através da gota (originado na interface gota/arco) ao calor total para a frente de fusão, para diferentes  $L$  ( $D_e=1,2$  mm). [21]

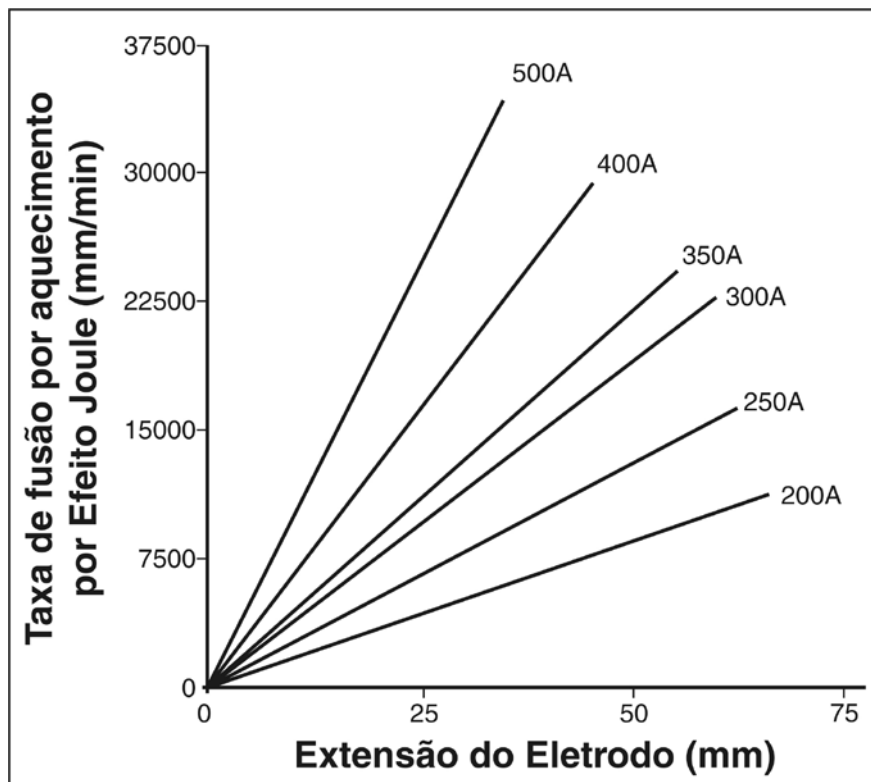


Figura 6 - Efeito da corrente e da extensão de arame-eletrodo ( $L$ ) na taxa de fusão (velocidade de arame,  $V_a$ )( $DE=1,2mm$ ). [19]

O aquecimento por efeito Joule ( $Hr$ ) é dado por:

$$Hr=r \times (L/A) \times I^2 \quad (2).$$

Ou seja, esperar-se-ia detectar um aumento progressivo na taxa de fusão com o aumento da extensão do eletrodo, e não uma relação linear desta com aumento de  $L$ , pois  $\rho$  (resistividade do material do arame) é dependente da temperatura do eletrodo. Todavia, na verdade, a temperatura do arame eletrodo ao longo de  $L$  pode ser considerada constante, e um incremento na velocidade de arame é necessário para se manter o processo, fazendo que cada unidade de volume de arame eletrodo seja submetida àquela corrente por um tempo menor, equalizando a quantidade de calor gerada [19,21]. O caso do MIG/MAG convencional, no qual a corrente é livre, será abordado na terceira parte desta série de artigos.

O aquecimento por efeito Joule da extensão do eletrodo ( $L$ ) acaba sofrendo variações devidas à não garantia da retenção do ponto de contato elétrico entre o bico de contato e o arame, o que modifica sua real extensão. Alguns autores recomendam técnicas para minimizar esse efeito, como o uso de um anel de alumínio interno ao bico de contato, ou o uso de um bico de contato especial, dotado de uma curvatura, levando a um contato forçado [25,26]. Para as aplicações de até agora abordadas pelo LABSOLDA, no entanto, a correta montagem da tocha, o uso de bicos de contato adequados e não desgastados e arames não excessivamente oxidados têm se mostrado suficientes.

## 5. Conclusão

Esta nova tecnologia (MIG/MAG em transferência metálica por curto-circuito com controle de corrente) vem sendo abordada com grande ênfase por desenvolvedores da soldagem no mundo, com diferentes filosofias de monitoração e controle da soldagem. Trata-se, então, da concepção de novos métodos de controle da soldagem MIG/MAG em transferência metálica por curto-circuito, envolvendo estudo das filosofias existentes e verificação de novas. Para isso, naturalmente, são necessários conhecimentos científicos das bases do processo MIG/MAG, principalmente nesse modo de transferência metálica, como os apresentados neste trabalho, assim como conhecimentos tecnológicos das ferramentas de hardware e software passíveis de serem aplicadas. Estes fatores, juntamente com o vislumbrado incremento em produtividade e qualidade, e conseqüente aumento de competitividade de empresas do setor, justificam a presente revisão do estado da arte do processo MIG/MAG, com ênfase na transferência metálica por curto-circuito.

## 6. Referências Bibliográficas

- [1] QUITES, Almir M.; DUTRA, Jair C. Tecnologia da Soldagem a Arco Voltaico. Florianópolis: EDEME, 1979, 248 p.
- [2] MOYER, N. The Evolution of Shielding Gas. Welding Journal, Miami, v. 81, n. 9, p. 51-52, Sep. 2002.
- [3] TWI WORLD CENTRE FOR MATERIALS JOINING

TECHNOLOGY. Solid wire MIG welding. Disponível em [www.twi.co.uk](http://www.twi.co.uk). Acesso em 20/01/2004.

[4] SOLDAGEM MIG/MAG. Prospecto AGA, mai. 2002.

[5] STENBAKCA, N.; PERSSON, K. Shielding gases for Gas Metal Arc Welding. *Welding Journal*, Miami, v. 8, n. 11, p. 41-47, nov. 1989.

[6] MANUFACTURINGTALK. UK welding market confidence underlined. Disponível em [www.manufacturingtalk.com](http://www.manufacturingtalk.com) Acesso em 02/03/2004.

[7] INFOSHOP. Metal Welding Equipment and Supplies. Disponível em [www.the-infoshop.com](http://www.the-infoshop.com) Acesso em 15/02/2004.

[8] BUSINESS Wire. Welding market still holds select opportunities, but targeted strategies and competitive edge remain real key to growth and expansion. *Business Wire Articles*. Londres, jan. 2004. Disponível em [www.findarticles.com](http://www.findarticles.com). Acesso em 15/08/2004.

[9] GOHR JR., R. Projeto e realização de uma fonte de energia para soldagem multiprocesso. Projeto submetido à FUNCITEC. Nov 2004.

[10] MORAES, J. inovações tecnológicas abrem novas perspectivas para fabricantes de gás, equipamentos e consumíveis. *Metalurgia & Materiais*. ed. 527. Disponível em [www.revistametalurgia.com.br](http://www.revistametalurgia.com.br). Acesso em 27/09/2004

[11] AUTOMAÇÃO: Há uma revolução acontecendo. Solução. *Periódico Institucional da ESAB Brasil*. mai. 2003. p. 6-7

[12] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Superintendência de Estudos Estratégicos. Estimativa da contribuição do setor Petróleo ao Produto Interno Bruto do Brasil: 1997-2002. Rio de Janeiro, jul. 2004. Nota Técnica ANP n. 19

[13] SHIELDED Metal Arc Welding in Transportation Pipelines. *KOBELCO Welding Today*. Technical Report, 2001. 5 p.

[14] BAIXO, C. E. I. Relatório de Atividades. Florianópolis, 02/06/2002. Relatório 42 p.

[15] FIELD Pipe Welding – Is stick stuck ? *Miller Technical Articles*. Appletown. Disponível em [www.millerwelds.com](http://www.millerwelds.com). Acesso em mar. 2004

[16] SILVA, R. H. G. et al. Desenvolvimento do processo MIG/MAG com curto-circuito controlado para a soldagem de reparo e união de dutos. In: 2. Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. 2003. Rio de Janeiro. Anais. 2003. CD. Adobe Acrobat Reader.

[17] EASSA, H. E. et al. A High Performance Welding Power Source and its Application. *IEEE*. p. 1241-1244. 1983.

[18] ESSERS, W. G. et al. Heat Transfer and Penetration Mechanisms with GMA and Plasma-GMA Welding. *Welding Journal*, Miami, v. 60, n. 2, p. 37-42, Feb. 1981.

[19] LESNEWICH, A. Control of Melting Rate and Metal Transfer in Gas-Shielded Metal-Arc Welding Part I – Control of electrode Melting Rate. *Welding Research Supplement*, p. 343-353, Aug. 1958.

[20] BAIXO, C. E. I. Estudo da soldagem MIG/MAG pela técnica hiperbárica a seco. 1999.169 f. Tese (Doutorado

em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

[21] WASZINK, J. H. et al. Heat Generation and Heat Flow in the Filler Metal in GMA Welding. *Welding Journal*, Miami, v. 61, n. 8, p. 269-280, Aug. 1982.

[22] ESSERS, W. G.; WALTER, R. Some aspects of the penetration mechanisms in metal inert gas (MIG) welding. In: *ARC PHYSICS AND WELD POOL BEHAVIOUR INTERNATIONAL CONFERENCE*, 1979, Londres, PAPERS. Londres: The Welding Institute, 1980, v. 1. p. 289-295

[23] KOU, S. *Welding Metallurgy*. 2.ed. Hoboken: John Wiley and Sons, 2003, 461p.

[24] SILVA, R. H. G. Influência das variáveis e parâmetro da soldagem MIG/MAG por curto-circuito. Florianópolis, 2003. Relatório interno. 27 p.

[25] KIM, Y. S. EAGAR, T. W. Analysis of Metal Transfer in Gas Metal Arc Welding. *Welding Research Supplement*. p. 269-278, Jun. 1993.

[26] AICHELE, G. The contact tube distance in gas shielded metal arc welding – How does it work ? *Welding & Cutting*. Duesseldorf, fev. 2002. p. 80-83.