

DETERMINAÇÃO DOS MODOS DE TRANSFERÊNCIA METÁLICA NA SOLDAGEM MIG DE ALUMÍNIO

Kleber Mendes Figueiredo

Valtair Antonio Ferraresi

Universidade Federal de Uberlândia; Faculdade de Engenharia Mecânica; Campus Santa Mônica; Caixa Postal 593; 30400-902 – Uberlândia, MG

e-mail: valtairf@mecanica.ufu.br

Resumo

Este trabalho propõe um mapeamento dos modos de transferência metálica, no processo de soldagem MIG, utilizando chapa de liga de alumínio ABNT 5052, eletrodo ABNT 4043 de diâmetro 1,0 mm e gás argônio. A finalidade é obter conhecimentos sobre os modos de transferência visando melhorias de qualidade e produtividade nessa soldagem. Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se a metodologia de Shadowgrafia por laser e câmara de vídeo de alta velocidade, além de softwares de tratamento de imagem e aquisição de dados (tensão e corrente). Foram obtidos mapas de tensão de referência com a velocidade de alimentação do arame eletrodo e frequência de transferência com a corrente. Com isso determinou-se 4 modos de transferência (curto-circuito, globular, goticular e globular /curto-circuito) e a faixa de transição de corrente entre o modo globular e o goticular.

Palavras-chave: Soldagem MIG, Alumínio, Transferência Metálica, Corrente de transição.

1. INTRODUÇÃO

Com a utilização do alumínio crescendo em todos os setores de produção, tem-se demandado um aumento de estudos na área de fabricação, principalmente na soldagem, visto ser este um dos mais importantes processos de fabricação utilizado na união de peças. Historicamente, os pioneiros na soldagem do alumínio empregaram técnicas semelhantes às empregadas nos materiais ferrosos, gerando com isso soldas de baixa qualidade, portanto, sendo considerado um material de difícil soldabilidade.

Com a evolução tecnológica ocorrida nas últimas décadas, o alumínio e suas ligas passaram a ser soldados por vários processos. Os processos mais usuais são o MIG (*Metal Inert Gas*) e o TIG (*Tungsten Inert Gas*), sendo que cada um apresenta vantagens e limitações e são escolhidos de acordo com a qualidade e produtividade exigida para a junta a ser soldada.

Na maioria das aplicações estruturais o processo MIG é preferido em relação ao TIG, pois pode ser mecanizado com facilidade, podendo ser utilizado tanto num sistema semi-automático como automático. Ele destaca-se também por ser um processo de alta produtividade, pois possui uma elevada taxa de deposição e alto fator de trabalho do soldador, possui grande versatilidade quanto ao tipo e espessura dos materiais a serem aplicados e solda em todas as posições. Entretanto, o processo MIG apresenta algumas dificuldades, tal como maior sensibilidade à variação dos parâmetros elétricos de soldagem e exige um ajuste

rigoroso dos parâmetros para se obter um determinado conjunto de características a fim de se ter uma solda de qualidade (AWS, 1991).

A forma com que a gota é transferida do eletrodo para a poça de fusão (modos de transferência metálica) é importante, pois determina a estabilidade do processo de soldagem MIG. Como exemplos tem-se: a quantidade de gases (principalmente hidrogênio, nitrogênio e oxigênio) absorvidos pelo metal fundido, a estabilidade do arco, a aplicabilidade do processo em determinadas posições de soldagem e o nível de respingos gerados (Norrish & Richardson, 1988).

Na literatura corrente, os modos de transferência metálica na soldagem de alumínio são pouco estudados em função do desenvolvimento dos processos de soldagem aplicado para este material serem recentes. A maioria dos trabalhos existentes são para os aços, e seus campos de trabalhos são diferentes, tendo em vista que o ponto de fusão do alumínio é menor que o do aço e a suas condutividades térmica e elétrica são maiores.

Dessa forma, este trabalho propõe determinar os modos de transferência metálica que ocorrem na soldagem do alumínio, fazendo o seu mapeamento em função dos parâmetros de soldagem (regulagem da máquina de soldagem). Com isso objetiva-se obter conhecimentos na área deste elemento metálico de forma a obter melhorias de qualidade e produtividade de produtos soldados.

2. Transferência Metálica

De uma forma simplificada, a literatura corrente considera a existência de quatro formas básicas de transferência metálica: curto-circuito, globular, goticular (também conhecida por *spray* ou aerossol) e controlada (AWS, 1991).

De acordo com a literatura (Norrish & Richardson, 1988, Biloni et al., 1981, entre outros) a transferência por curto-circuito é possível de ser usada em todas as posições de soldagem e sendo adequada para soldagem de chapas finas. Esse modo de transferência ocorre para baixos valores de tensão e moderada corrente de soldagem e é caracterizada pelo contato periódico da gota na poça de fusão, causando flutuações relevantes na tensão e na corrente de soldagem, podendo apresentar a formação intensa de respingos. Entretanto, a quantidade de respingos pode ser limitada pela seleção adequada de parâmetros de soldagem e ajuste da fonte de energia, de forma que os curtos ocorram de forma suave. Biloni et al. (1981) citam que em soldagem de alumínio a transferência por curto-circuito produz distorções e má aparência e, também, é difícil o ajuste dos parâmetros de soldagem para se ter uma boa fusão.

A literatura (Póvoa, 1988, Norrish & Richardson, 1988, Biloni et al., 1981, entre outros) cita que a transferência globular ocorre para valores intermediários de corrente e elevada tensão de soldagem. Durante a soldagem o glóbulo de metal fundido na ponta do eletrodo aumenta de tamanho com o tempo, até se separar sob efeito da ação da gravidade. Isso causa, como efeito, a deposição de gotas grandes, bem maiores que o diâmetro do eletrodo. A transferência globular é caracterizada por um nível de respingos relativamente elevado e sua utilização é limitada à posição plana.

O modo de transferência goticular ocorre para tensões e correntes elevadas, acima de uma corrente limite denominada de transição. As gotas são pequenas, com tamanho próximo ao diâmetro do eletrodo, que são lançadas em alta frequência em direção à poça de fusão. Esse modo acarreta em boa estabilidade do processo, bom aspecto do cordão de solda e gera pouco respingo. Não é adequado para soldagem fora da posição plana e de peças de pequenas espessuras (Norrish & Richardson, 1988).

Sob a denominação de transferência controlada estão agrupados outros modos de transferência que podem ser obtidos pela introdução de perturbações controladas na corrente

de soldagem (pulsção da corrente) e/ou na alimentação de arame. Essas perturbações têm como objetivo obter uma transferência de metal de adição com as características desejáveis da transferência goticular, mas com níveis de corrente média abaixo da corrente de transição, de forma a permitir sua utilização na soldagem de chapas finas ou fora da posição plana (Stenbacka & Persson, 1989, Norrish e Richardson, 1988).

3. Procedimento Experimental

As soldagens foram realizadas na posição plana, utilizando uma fonte no modo de tensão constante. Foram realizados testes variando a tensão de referência da máquina e a velocidade de alimentação do arame eletrodo (conseqüentemente a corrente), mantendo-se constante a relação entre velocidade de soldagem e a velocidade de alimentação do arame eletrodo em aproximadamente 4,57 (determinado empiricamente). Essa relação foi utilizada com o intuito de se ter a quantidade de metal depositado por comprimento de solda constante, obtendo assim um referencial em comum entre os testes durante as análises. Foram mantidos constantes para todos os testes a vazão de gás (argônio comercialmente puro) em 15 l/min, distância bico de contato peça igual a 15 mm e inclinação da tocha em 10^0 na posição empurrando o cordão de solda.

Um sistema de Shadowgrafia por laser e uma câmara de vídeo de alta velocidade (2000 quadros/s) foram utilizados com o intuito de se determinar o comprimento do arco e o diâmetro e freqüência de transferência das gotas através da análise dos filmes em software de tratamento de dados. Durante a soldagem foi também feita aquisição de tensão e corrente.

4. Resultados e Discussões

Os resultados dos testes realizados estão apresentados na Tabela 1. Com as análises realizadas nas imagens e nos valores de tensão e corrente adquiridos durante a soldagem, foi possível detectar 4 (quatro) modos de transferência metálica, indicados também na Tabela 1: Curto-circuito (CC), Globular (GL), Goticular (GT) e Globular/Curto-circuito (GL-CC).

Conforme Norrish & Richardson (1988), no modo de transferência por curto-circuito as forças de tensão superficial atuam no sentido de sugar a gota para a poça de solda no momento de contato da gota com a poça. Isso não ocorreu de uma forma clara para os testes realizados neste trabalho, sendo verificado, na maioria das vezes, uma repulsão da gota antes da transferência definitiva, ocasionando grandes oscilações na corrente e tensão de soldagem. A Figura 1 mostra oscilogramas de corrente e tensão com o tempo onde se observam estas oscilações e a Figura 2 apresenta uma seqüência de fotos de uma transferência por curto-circuito, mostrando a repulsão da gota no momento da transferência. Os testes que apresentaram essa característica foram os testes 3, 6, 8, 9, 21, 22, 23, 24, 29, 31 e 32.

No modo de transferência globular o diâmetro das gotas são maiores que o diâmetro do eletrodo. Como na literatura não especifica um tamanho mínimo de gota para determinar a transição entre o modo globular e goticular, as observações dos filmes e dos oscilogramas dos testes realizados nesse experimento mostraram que é possível adotar, para os testes realizados neste trabalho, que o modo globular ocorre para gotas com diâmetro médio acima de 15% do diâmetro do eletrodo.

Nesse modo de transferência foi também possível observar a formação de uma estrição (pescoço) entre a gota e o eletrodo antes do destacamento da mesma. A Figura 3 mostra oscilogramas de tensão e corrente com o tempo, onde é possível verificar que as oscilações são menores que no caso de transferência por curto-circuito. Os testes 10, 15 e 25 da Tabela 1

foram considerados neste modo de transferência. A Figura 4 mostra uma seqüência de fotos de uma transferência no modo globular.

De acordo com a literatura (Scotti et. al., 1999, Alcan, 1993, AWS, 1991 e Norrish & Richardson, 1988), na transferência goticular as gotas são destacadas antes que o seu diâmetro alcance o diâmetro do eletrodo. Neste trabalho isso não ocorreu, sendo então considerado neste modo de transferência os testes que apresentaram gotas com diâmetro médio aproximadamente até 15% acima do diâmetro do eletrodo e possuíam um desvio padrão baixo (abaixo de 0,08). Os testes 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20 e 26 da Tabela 1 apresentaram esse modo de transferência. A Figura 5 mostra oscilogramas de tensão e corrente, onde são verificadas oscilações mínima de tensão e corrente. A Figura 6 mostra uma seqüência de fotos de uma transferência goticular.

Tabela 1 – Resultado geral dos testes realizados

N ^o	Ur [V]	Valim (m/s)	Im [A]	Um [V]	Diam [mm]	Desvio Padrão	Freq. [Hz]	Modo Transf.
1	16	7,0	69	15,96	2,16	0,38	16	GL-CC
2	16	9,0	114	15,84	1,59	0,19	56	GL-CC
3	16	11,0	141	15,98	1,39	0,16	129	CC
4	18	7,0	93	17,70	2,12	0,18	21	GL-CC
5	18	9,0	125	17,51	1,60	0,13	43	GL-CC
6	18	11,0	126	17,97	1,70	0,18	50	CC
7	20	8,0	117	19,32	1,59	0,18	62	GL e GL-CC
8	20	12,0	169	19,01	1,07	0,20	196	CC
9	20	14,0	182	18,97	1,21	0,12	154	CC
10	22	8,0	128	21,20	1,43	0,16	68	GL
11	22	10,0	146	21,27	1,15	0,04	189	GL e GT
12	24	13,0	200	22,15	1,08	0,05	257	GT
13	24	11,0	174	22,69	1,07	0,04	234	GT
14	24	10,0	153	22,87	1,12	0,04	182	GT
15	24	8,0	128	23,04	1,28	0,16	76	GL
16	26	14,0	209	24,41	1,09	0,08	327	GT
17	26	12,0	179	24,59	1,07	0,04	257	GT
18	26	16,0	231	24,31	1,00	0,04	429	GT
19	28	16,0	235	26,04	1,07	0,05	450	GT
20	28	18,0	254	26,00	1,03	0,06	563	GT
21	20	10,0	143	19,65	1,51	0,27	119	CC
22	22	12,0	168	21,19	1,37	0,16	161	CC
23	22	13,0	178	21,10	1,37	0,20	191	CC
24	24	14,0	193	22,50	1,22	0,07	290	CC
25	24	9,0	144	22,81	1,28	0,14	148	GL
26	25	14,0	216	23,23	1,12	0,07	360	GT
27	18	8,0	112	17,74	1,74	0,46	45	GL-CC
28	20	9,0	132	19,29	1,44	0,29	105	GL e GL-CC
29	20	11,0	154	19,68	1,23	0,17	231	CC
30	21	9,0	134	20,34	1,53	0,28	86	GL e GL-CC
31	22	11,0	161	21,32	1,34	0,11	188	CC
32	23	13,0	182	21,86	1,19	0,10	281	CC

Onde: N° = número do teste; U_r = tensão de referência; V_{alim} = velocidade de alimentação do arame; I_m = corrente média; U_m = tensão média; $Diam$ = diâmetro médio da gota; $Freq$ = frequência de transferência da gota; Modo Transf = modo de transferência metálica; CC = curto-circuito, GL = globular, GT = goticular e GL-CC = globular/curto-circuito.

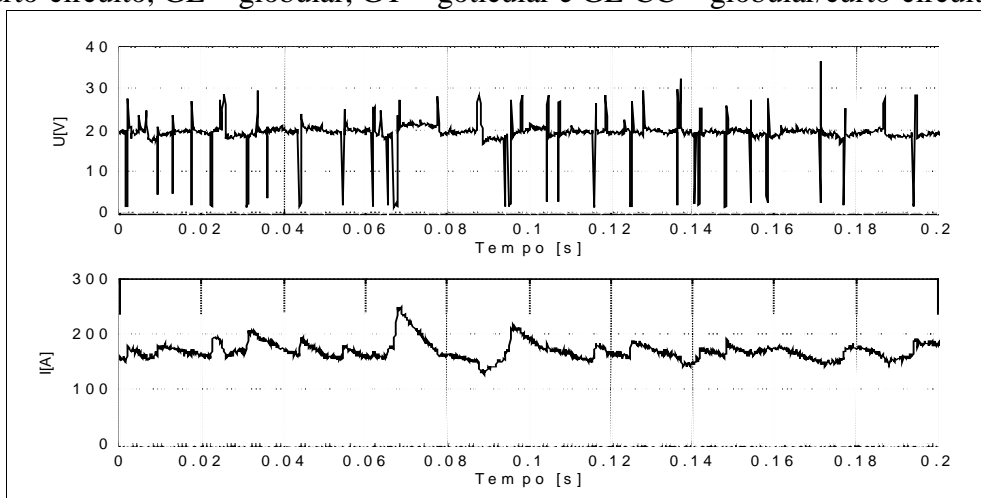


Figura 1 - Oscilograma de tensão e corrente de uma transferência por curto-circuito.

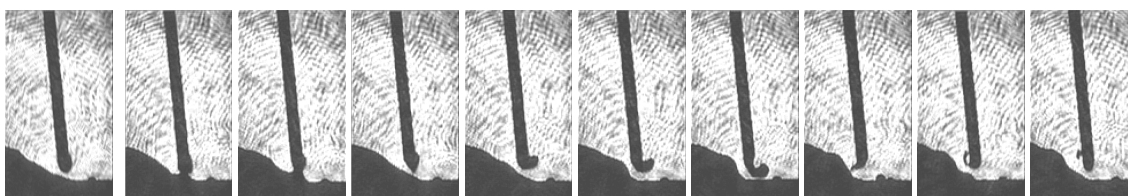


Figura 2 - Seqüência de fotos de uma transferência por curto-circuito.

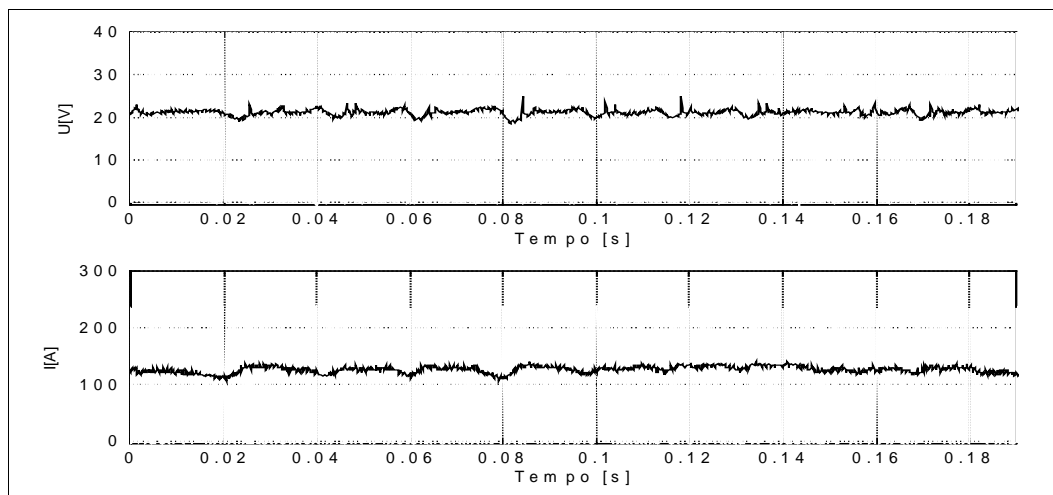


Figura 3 - Oscilograma de tensão e corrente de uma transferência globular.

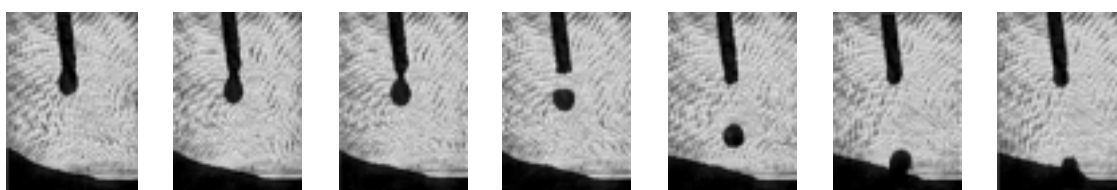


Figura 4 - Seqüência de fotos de uma transferência globular.

No modo de transferência globular/curto-circuito, a gota tem formação globular

concluindo a sua transferência com curto-circuito. Observa-se o crescimento da gota, culminando com o toque da mesma na poça da solda e a sua transferência do eletrodo para a poça através da atuação da tensão superficial. A Tabela 1 apresenta os testes 1, 2, 4, 5 e 27, que têm as características de uma transferência globular/curto-circuito. A Figura 7 apresenta oscilogramas e a Figura 8 uma seqüência de fotos com este modo de transferência.

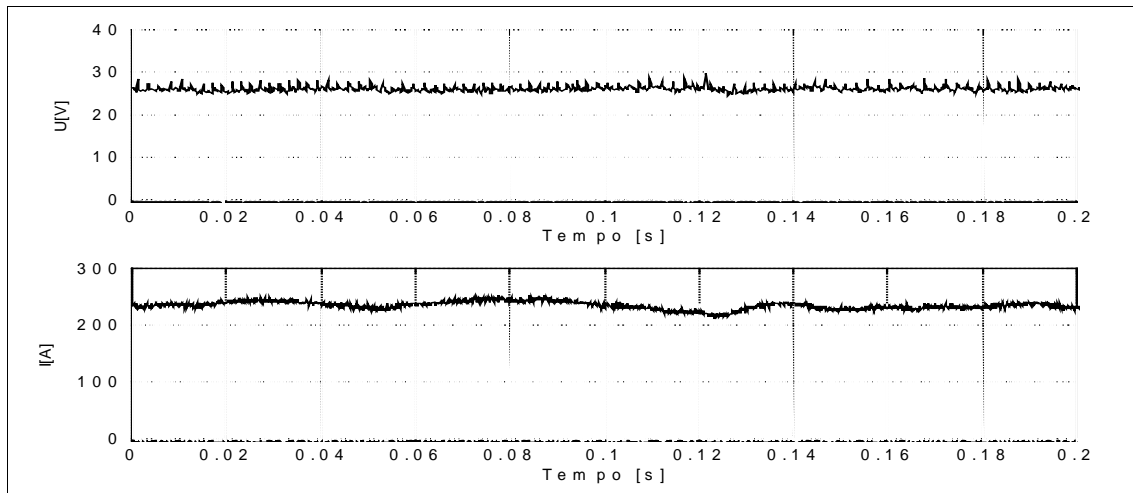


Figura 5 - Oscilograma de tensão e corrente de uma transferência goticular.

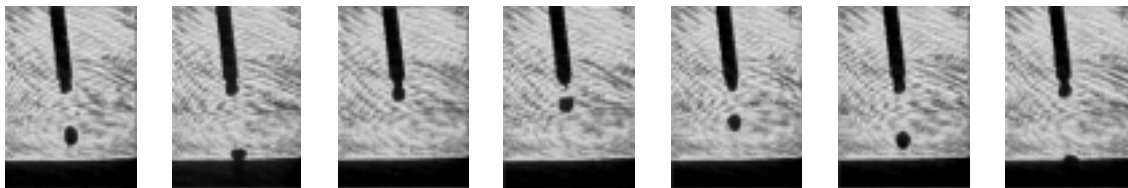


Figura 6 - Seqüência de fotos de uma transferência goticular.

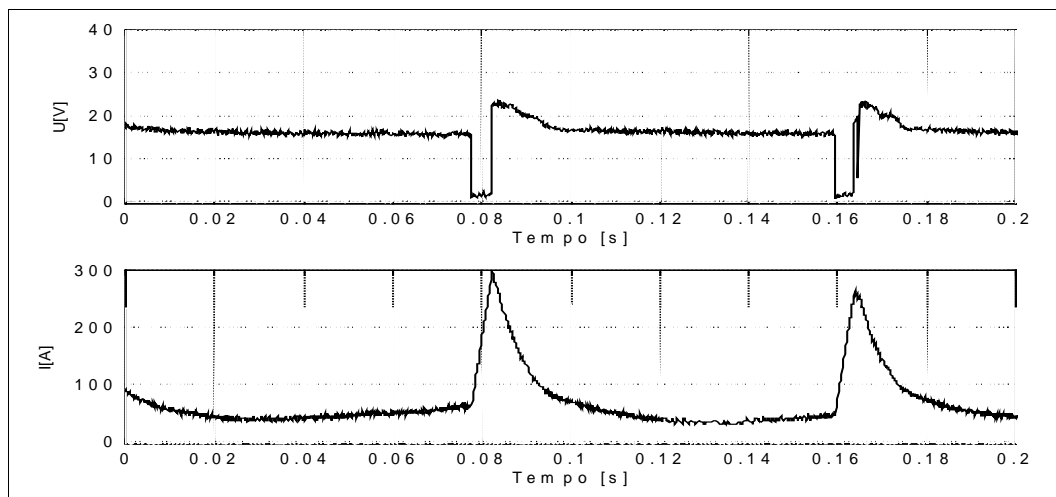


Figura 7 - Oscilograma de tensão e corrente de uma transferência globular/curto-circuito.o

Além dos modos de transferência já citados, foram encontradas soldagens onde ocorreram transferências com esses modos combinando entre si de forma aleatória, ou seja, havia uma combinação entre os modos de transferência tendo uma alternância aleatória entre os mesmos, não sendo estáveis. Essas transferências são apresentadas na Tabela 1 com os testes 7, 11, 28 e 30.

A Figura 9 mostra o gráfico com os pares de tensão de referência e velocidade de alimentação do arame utilizados nos testes. As regiões I e II são regiões onde não foi possível realizar testes. Na região I o comprimento do arco crescia muito chegando inclusive a queimar o bico e, na região II, ocorreram condições instáveis de soldagem, chegando inclusive a apagar o arco e enrolando o arame eletrodo na ponta do bico de contato.

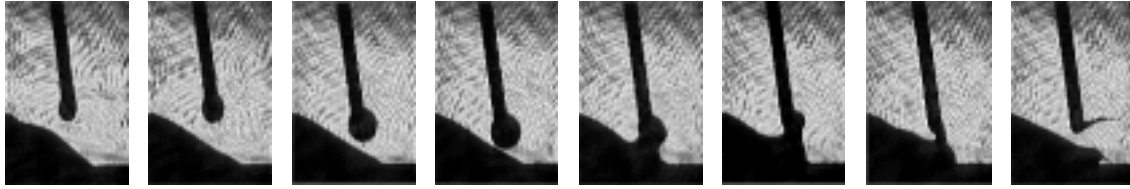


Figura 8 - Sequência de fotos de uma transferência globular/curto-circuito.

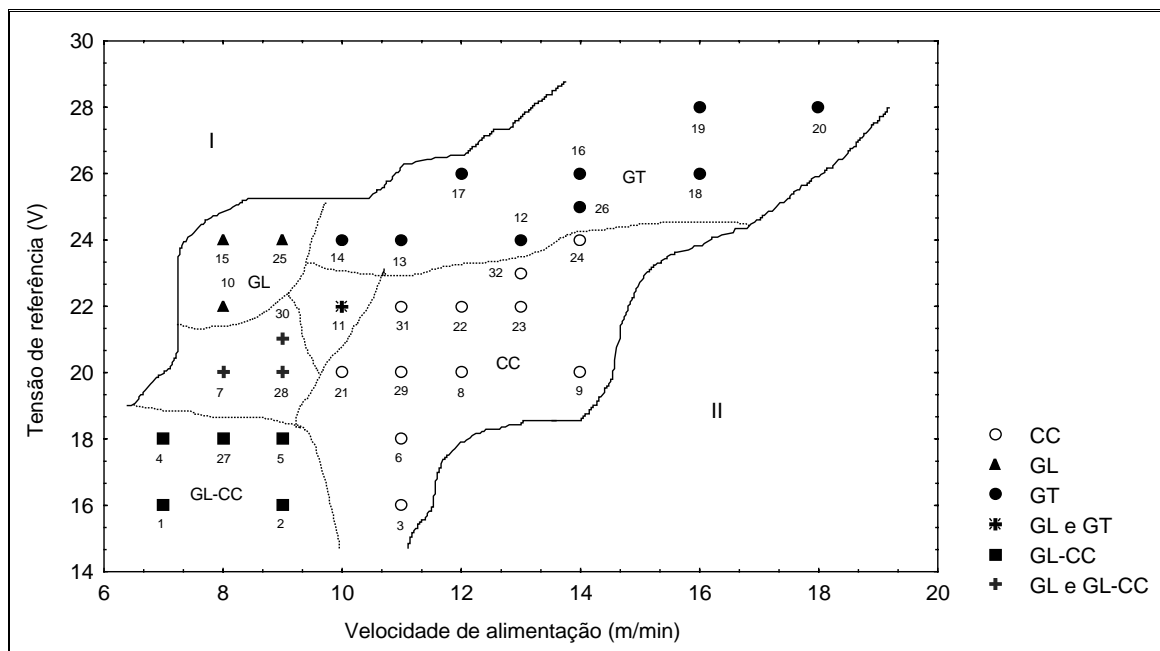


Figura 9 – Gráfico mostrando os pares tensão de referência com a velocidade de alimentação do arame.

A Figura 10 mostra o gráfico de frequência de transferência metálica dos modos globular e goticular com a corrente média de soldagem. Com esse mapa é possível verificar que a frequência de transição globular/goticular está entre 155 e 177 Hz a corrente de transição está entre 146 e 152 A. A importância da obtenção da corrente de transição entre globular e goticular está no fato de sua utilização na aplicação da transferência pulsada onde se tem uma transferência goticular com uma energia média mais baixa, conseguida pela pulsação da corrente de soldagem em dois patamares, ou seja, a corrente de pico está acima, e a corrente de base abaixo da corrente de transição.

5. Conclusões

Para as condições de teste realizadas neste trabalho foram encontrados 4 modos de transferência metálica na soldagem MIG de alumínio, que são: curto-circuito, globular, goticular e globular/curto-circuito.

Foram encontradas regiões onde não foi possível realizar soldagens, ou porque o arco crescia muito, chegando a queimar o bico, ou a soldagem era altamente instável, chegando inclusive a apagar o arco.

Foram encontradas, também, regiões e pontos de soldagem onde ocorreram modos de transição de transferência metálica, isto é, uma mistura de transferência ocorrendo de forma aleatória para a mesma condição de soldagem.

No modo de transferência goticular não se conseguiu gotas com diâmetro médio menor do que o diâmetro do eletrodo, para as condições de teste analisada neste trabalho.

O modo de transferência por curto-circuito foi altamente instável, ocorrendo repulsão da gota e sendo verificado uma grande quantidade de respingos.

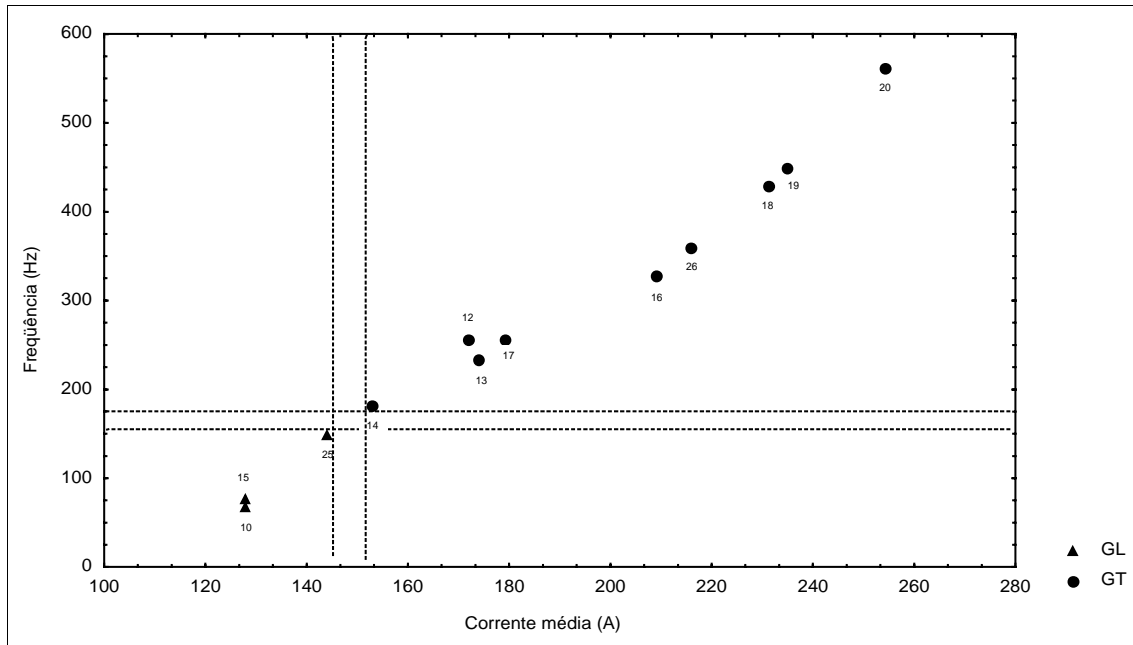


Figura 10 - Diagrama de frequências de deposição das gotas com as correntes médias.

6. Agradecimentos

Agradecemos à FAPEMIG e ao programa PADCT III - CEMAT pelo suporte financeiro e ao LAPROSOLDA-UFU pelo fornecimento da estrutura física.

7. Referências Bibliográficas

- Alcan, 1993, “Manual de Soldagem”, Alcan Alumínio do Brasil S/A, 1ª Edição.
- AWS, 1991, Welding Handbook, Welding Processes, American Welding Society, vol. 2, 8th Ed., USA.
- Biloni, H; Pérez, T.E.; Saggese, M.E. & Solari, M.J.A., 1981, “Manual de Soldadura de Alumínio, Proyecto Especial de Alumínio”, OEA – CNEA, Gerencia de Investigacion y Desarrollo, Aluar Alumínio Argentino, Buenos Aires, Argentina.
- Norrish, J. & Richardson, I. F., 1988, “Back to Basics: Metal Transfer Mechanisms”, Welding & Metal Fabrication, jan.-fev., pp. 17-22.
- Póvoa, A.A., 1988, “Seminário Técnico de Soldagem do Alumínio e suas Ligas”, Associação Brasileira do Alumínio, 26/10 a 17/11.
- Scotti, A.; Clark, D.E. & Kenney, K., 1999, “Mapeamento da Transferência Metálica em MIG com Aço Inoxidável”, Anais do VI Seminário Brasileiro do Aço Inoxidável, 04 e 05 de maio, São Paulo, Brasil.
- Stenbacka, N. & Persson, K.A., 1989, “Shielding Gases for Gas Metal Arc Welding”, Welding Journal, AWS, pp 41-47, November.