

consideravelmente o volume do arco híbrido em relação ao arco MIG/MAG (Plasma = 0 A), a pressão exercida pelo jato de plasma é reduzida, já que a corrente está menos concentrada, resultando dessa forma em gotas com menores velocidades. Um indicativo para essa redução na concentração da corrente pode ser encontrado no trabalho de Ton (1975), que por meio de técnicas de espectroscopia óptica, verificou que a maior parte da corrente que passa pelo arame (Corrente MIG/MAG) flui através da periferia do arco híbrido. No entanto, avaliações definitivas quanto a influência da corrente Plasma na velocidade final da gota somente serão possíveis com a utilização de técnicas de filmagem à alta velocidade, ficando desta forma para investigações futuras.

Essers e Walter (1980) observaram o processo Plasma-MIG através de técnicas de fotografia à alta velocidade e verificaram que para valores altos de corrente no circuito MIG/MAG (acima de 170 A) e corrente Plasma de 150 A tende a rotacionar a ponta do eletrodo, não chegando a caracterizar uma transferência do tipo rotacional, mas que já é capaz de fazer com que as gotas sejam transferidas para a poça de fusão de maneira menos concentrada que, por consequência, reduz a penetração e aumenta a largura do cordão. Fato que pode também ter ocorrido neste trabalho, conforme Figura 5.7.

Na Figura 5.8 é apresentada a variação da área fundida do metal de base, em função da corrente MIG/MAG para as três condições de corrente Plasma. Observa-se que para uma corrente no circuito MIG/MAG de 200 A, a presença da corrente Plasma praticamente não afetou a área fundida do metal de base. No entanto, para as correntes no circuito MIG/MAG de 240 e 280 A, ocorreu uma redução na área fundida do metal de base ao inserir corrente no circuito Plasma. Os mecanismos que provocam a redução na área fundida do metal de base são os mesmos que reduzem a penetração, até mesmo porque são parâmetros geométricos que estão diretamente relacionados.

Na Figura 5.9 é apresentada a variação da largura do cordão de solda em função da corrente MIG/MAG para três condições de corrente Plasma. Verifica-se uma tendência de redução da largura do cordão com o aumento da corrente MIG/MAG. Como neste trabalho a relação Velocidade de Soldagem/Velocidade de Alimentação foi mantida constante, maiores correntes MIG/MAG implicam em maiores velocidades de soldagem, o que por consequência ocasiona em cordões com menores larguras, isto ocorre devido ao menor aquecimento do metal de base.

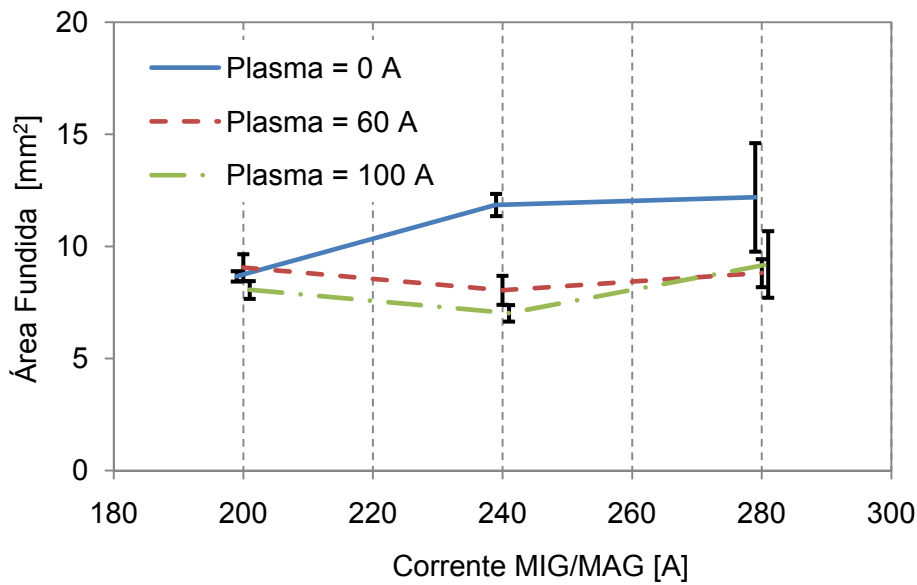


Figura 5.8 – Área Fundida do Metal de Base em Função da Corrente MIG/MAG para três condições de Corrente Plasma.

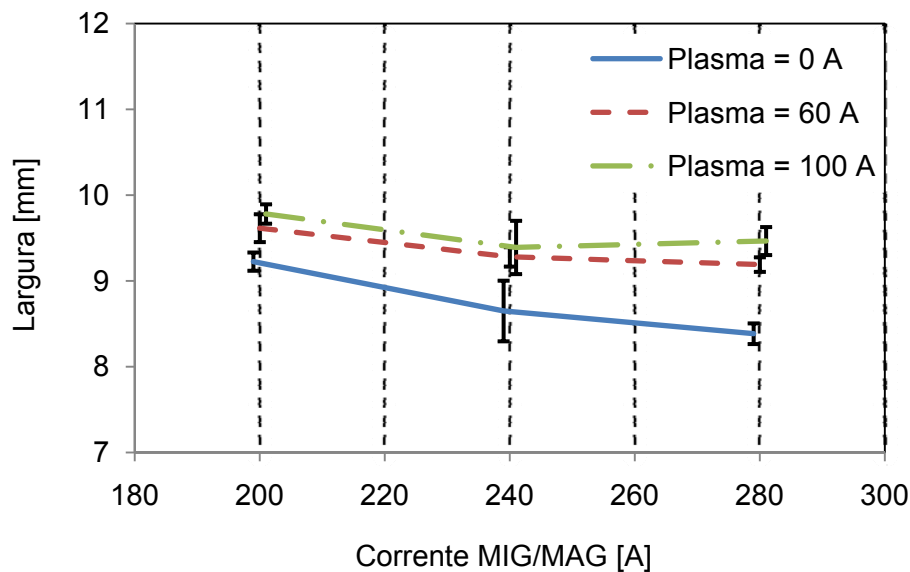


Figura 5.9 – Largura do Cordão de Solda em Função da Corrente MIG/MAG para três condições de Corrente Plasma.

Ainda na Figura 5.9, é verificada uma tendência de aumentar a largura do cordão de solda ao inserir corrente no circuito Plasma. Esse efeito pode ser atribuído ao aumento da área de contato do arco híbrido com a peça em comparação ao arco MIG/MAG, que por consequência, aumenta a área da superfície da chapa aquecida, aumentando a

molhabilidade da mesma, resultando em cordões mais largos. Por outro lado, um aumento na corrente Plasma de 60 A para 100 A, não provocou alteração significativa na largura. Provavelmente o efeito foi pequeno porque o volume de gás ionizado, correspondente ao arco híbrido, já é relativamente grande e um incremento de 40 A de corrente Plasma não é capaz de proporcionar um aumento significativo no volume do arco híbrido, e conseqüentemente na área de contato do mesmo com a peça.

A Figura 5.10 apresenta a variação do reforço do cordão de solda em função da corrente MIG/MAG para três condições de corrente Plasma. É observado um leve aumento no reforço com o aumento da corrente MIG/MAG, este efeito é consequência da redução de largura, já discutido anteriormente, ou seja, menor largura obtida com o aumento da corrente MIG/MAG resulta em maior reforço uma vez que a quantidade de material depositada é a mesma. Ocorre também, uma tendência de redução no reforço do cordão de solda ao inserir corrente no circuito Plasma. Essa é uma consequência direta do aumento da largura do cordão, se ela aumenta para um mesmo volume de material depositado, o reforço diminui.

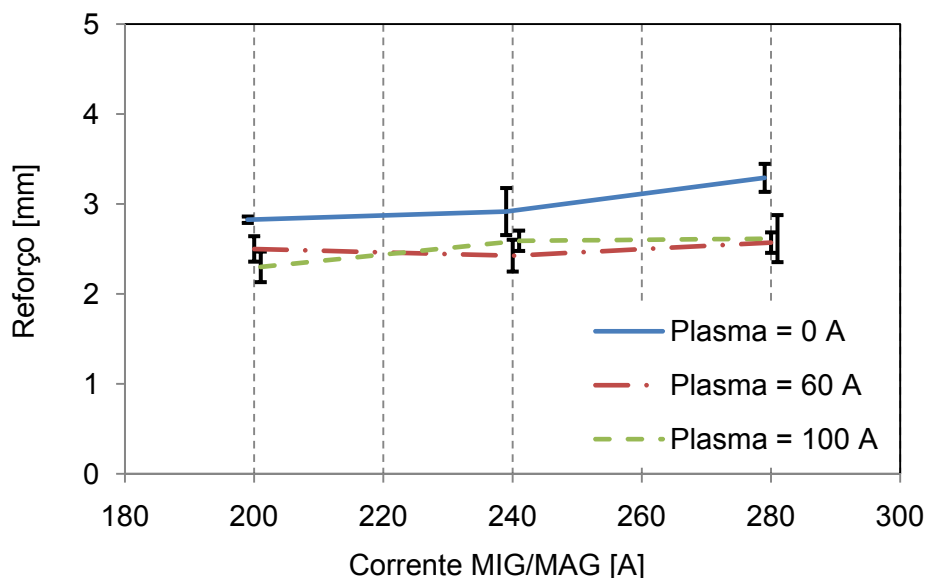


Figura 5.10 – Reforço do Cordão de Solda em Função da Corrente MIG/MAG para três condições de Corrente Plasma.

A Figura 5.11 apresenta a variação da área de metal depositado em função da corrente MIG/MAG para três condições de corrente Plasma. Como todos os experimentos foram realizados para uma relação Velocidade de Soldagem / Velocidade de Alimentação aproximadamente constante, era esperado que os mesmos apresentassem um único valor para este parâmetro geométrico.

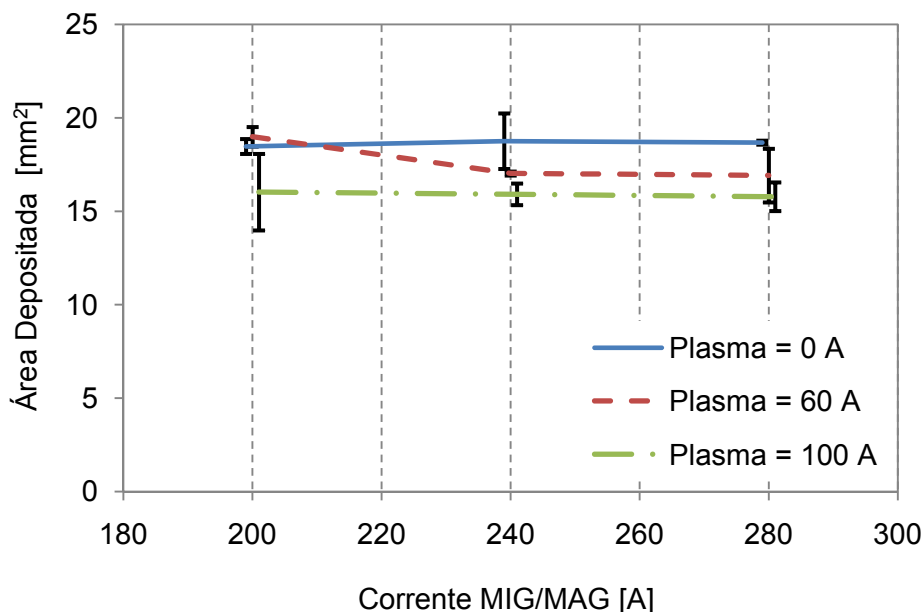


Figura 5.11 - Área de material depositado na chapa em Função da Corrente MIG/MAG para três condições de Corrente Plasma.

Fazendo o cálculo teórico para a área depositada, através da expressão $A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} * \frac{V_{alimentação}}{V_{soldagem}}$, e considerando que não existam variações nas velocidades de soldagem e alimentação, no diâmetro nominal do eletrodo e que as perdas de metal por respingos e evaporação sejam desprezíveis, para um arame eletrodo de 1,2 mm de diâmetro, uma velocidade de alimentação de 5 m/min e uma velocidade de soldagem de 0,3 m/min, tem-se que a mesma deve permanecer por volta de 18,8 mm². Como algumas medidas dispersaram deste valor, algumas questões devem ser observadas:

- Os experimentos foram executados com um comprimento de arco reduzido, na eminência de ocorrerem curtos circuitos, de tal forma que fosse inevitável a ocorrência de alguns curtos ao longo do cordão (mas como esse fenômeno, quando ocorria, não era em número superior a 4 ou 5 durante a execução do cordão de solda, o mesmo não contribuiu de forma significativa para tal variação);

- Os valores de velocidade apresentados no início do capítulo, correspondem a valores obtidos a partir da curva de calibração do cabeçote alimentador. Como foi realizado um ajuste linear da curva de calibração, a mesma pode ter apresentado oscilações na velocidade de alimentação de arame, que pode ter contribuído para a variação na área depositada. A curva de calibração é apresentada no Anexo C;

- Outra provável fonte de variação no volume de material depositado pode ter sido a perda de metal na forma de vapor. Ton (1975), utilizando o processo Plasma-MIG, com

arame de 1,2 mm de diâmetro, 100 A de corrente Plasma e 170 A de corrente MIG/MAG, que são condições próximas às deste trabalho, verificou a composição do arco interno (arco MIG/MAG) e observou que o mesmo apresentou grande quantidade de metais na forma de vapor (1,7% Fe; 0,5% Mn; 0,2 % Cu; 0,02% Ca), provenientes do eletrodo e da chapa.

A Figura 5.12 apresenta a variação da diluição em função da corrente MIG/MAG para três condições de corrente Plasma. Ocorre uma queda na diluição (que indica o quanto o material de base participa na formação do cordão de solda) com a passagem de corrente através do circuito Plasma. Este resultado somado ao aumento da molhabilidade do cordão, que foi apresentado anteriormente, aponta uma potencialidade do processo Plasma-MIG de ser aplicado em operações de revestimentos.

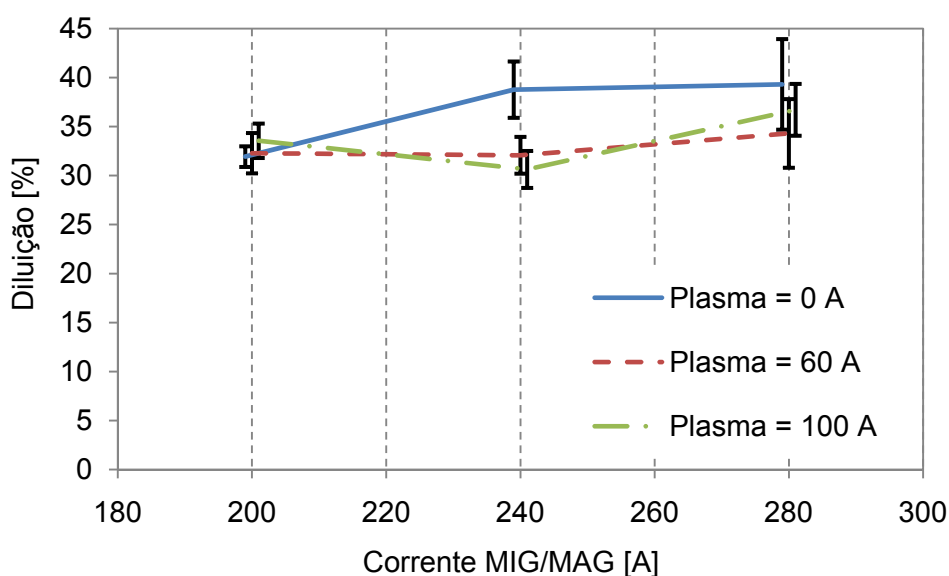


Figura 5.12 – Diluição em função da corrente MIG/MAG para três condições de corrente Plasma.

A Figura 5.13 apresenta a variação da velocidade de alimentação em função da corrente MIG/MAG para três condições de corrente Plasma. Observa-se uma contribuição significativa do arco Plasma na fusão do eletrodo. Quando uma corrente Plasma de 60 A foi adicionada, ocorreu um ganho de quase 3 m/min na velocidade de alimentação do arame. Este resultado foi similar ao obtido por Oliveira (2006) soldando com Plasma-MIG pulsado.

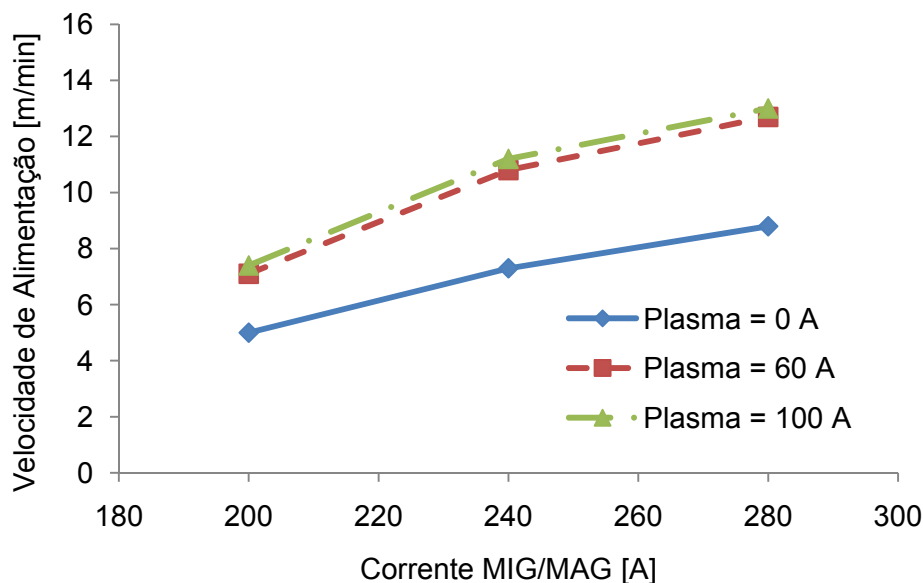


Figura 5.13 – Velocidade de alimentação de arame em Função da Corrente MIG/MAG para três condições de Corrente Plasma.

Por outro lado, o aumento da corrente Plasma de 60 A para 100 A não provocou um incremento significativo na velocidade de alimentação, assim como ocorreu ao adicionar 60 A na soldagem MIG/MAG. Essa tendência também coincide com a observada por Oliveira (2006), que afirma que o incremento na taxa de fusão do arame causada pelo arco Plasma depende, da capacidade do arame eletrodo absorver a energia disponibilizada pelo arco Plasma, e que essa absorção ocorre pelos três mecanismos de transferência de calor: radiação, convecção e condução. Como arames de aço carbono possuem condutividade térmica relativamente baixa, a utilização de altos valores de corrente no circuito Plasma pode não ser uma boa opção se o objetivo for aumentar a taxa de consumo de eletrodo.

5.5 Considerações finais do capítulo

Tendo em vista as condições experimentais empregadas neste capítulo, os resultados mostraram que:

- Para uma mesma relação entre a Velocidade de Soldagem e Velocidade de alimentação, *quando o valor da velocidade de alimentação (corrente) é aumentada a energia de soldagem diminui para depositar a mesma quantidade de material por unidade de comprimento*, tanto para o processo MIG/MAG, quanto para o Plasma-MIG;
- Existe uma independência entre a quantidade de material consumido e a quantidade de calor que é fornecido à peça;

- Para uma mesma energia de soldagem, a presença de corrente pelo circuito Plasma resulta em diferentes geometrias em relação ao processo MIG/MAG;
- É possível, para o processo Plasma-MIG, obter uma mesma penetração com uma menor energia de soldagem, se comparada ao processo MIG/MAG;
- Diferentes combinações entre as correntes Plasma e MIG/MAG produzem cordões com diferentes dimensões. Portanto, o processo pode ser adequado em operações que exijam um controle sobre a geometria do cordão;
- A presença da corrente Plasma foi capaz de reduzir a diluição, indicando que o processo possui potencialidades para ser aplicado em operações de revestimento;
- A presença da corrente Plasma contribui na taxa de consumo do eletrodo, mas se ela é utilizada com este objetivo, uma corrente mínima de 40 A já é suficiente e a utilização de correntes maiores no circuito Plasma não se justificam.

CAPÍTULO VI

TRANSFERÊNCIA METÁLICA E GEOMETRIA DE CORDÃO EM SOLDAGEM PLASMA-MIG COM PULSAÇÃO DA CORRENTE MIG/MAG

Este capítulo apresenta uma avaliação referente aos aspectos envolvidos na transferência metálica do processo Plasma-MIG com pulsação na corrente MIG/MAG. Em seguida, também é apresentada uma análise sobre os aspectos geométricos dos cordões de solda, tais como largura, reforço, penetração, área fundida e área depositada dos cordões de solda realizados com corrente MIG/MAG pulsada.

6.1 Procedimento Experimental

O conjunto de experimentos deste capítulo, objetiva verificar a influência da presença da corrente Plasma na soldagem Plasma-MIG, partindo de uma condição para o processo MIG/MAG, que proporcione uma transferência com UGPP (*Uma Gota Por Pulso*).

Neste contexto, partiu-se para a obtenção da condição de UGPP para o processo MIG/MAG. Para garantir que apenas uma gota era transferida no final do pulso, foi realizada a filmagem em alta velocidade (2000 quadros/s) da transferência metálica. Foram utilizadas como referência as condições encontradas por Miranda (2002), necessitando apenas de pequenos ajustes no tempo de base para compensar a variação na DBCP e nos gases do processo.

A condição ideal para o processo MIG/MAG transferindo uma gota no final de cada pulso, foi conseguida com os parâmetros de base e de pulso do ensaio 6.1, mostrado na Tabela 6.1. As velocidades de soldagem e de alimentação também estão mostradas na mesma tabela.

As condições gerais para os experimentos foram: distância da Tocha a Peça em 9 mm, DBCP de 26 mm, arame eletrodo de aço da classe AWS ER 70S-6 com 1,2 mm de diâmetro, Ar+4%CO₂ como gás MIG/MAG a 5 l/min, Ar como gás Plasma a 5 l/min e Ar como gás de Proteção a 15 l/min. As condições específicas para cada ensaio encontram-se na Tabela 6.1. Nesta tabela, $I_{MIG/MAG}$ e I_{PLASMA} , correspondem às correntes de referência ajustadas no software 'P-MIG' para ambas as fontes operando no modo corrente constante em polaridade positiva (ou polaridade inversa), I_b a corrente de base, t_b o tempo de base, I_p a corrente de pulso e t_p o tempo de pulso.

Tabela 6.1 - Condições de soldagem para os testes com corrente MIG/MAG Pulsada.

Ensaio	$I_{MIG/MAG}$ [A]				I_{PLASMA} [A]	Vsold [m/min]	Valim [m/min]
	I_b	t_b	I_p	t_p			
6.1	100	8,0	280	4,2	0	0,27	5,2
6.2	100	8,0	280	4,2	40	0,27	5,2
6.3	100	8,0	280	4,2	60	0,27	5,2
6.4	100	8,0	280	4,2	80	0,27	5,2
6.5	100	8,0	280	4,2	100	0,27	5,2

O ensaio 6.1 corresponde à soldagem MIG/MAG utilizando a tocha Plasma-MIG. Os parâmetros foram devidamente ajustados de tal forma que ocorresse a transferência de apenas uma gota por pulso no final do tempo de pico, com um diâmetro aproximadamente igual ao do eletrodo. A partir deste ensaio, os ajustes dos parâmetros para o circuito MIG/MAG foram mantidos constantes, variando desta forma, apenas as correntes do circuito Plasma. Este ensaio foi então tomado como ponto de referência para verificar a influência da corrente Plasma na condição de UGPP e na transferência metálica.

6.2 Análise da transferência metálica na soldagem Plasma-MIG com pulsação da corrente no circuito MIG/MAG

A Figura 6.1 apresenta os oscilogramas dos sinais de corrente e de tensão adquiridos para a soldagem MIG/MAG (ensaio 6.1) utilizando a tocha Plasma-MIG, com destaque aos quadros correspondentes ao instante da transferência da gota de metal

fundido. Nesta e nas outras figuras que apresentam imagens obtidas da câmera de alta velocidade, os quadros correspondentes ao ponto em que ocorre a transferência, estão identificados por uma moldura pontilhada.

Na mesma figura, fica evidenciado que o processo MIG/MAG, utilizando a tocha Plasma-MIG, opera na condição de UGPP, com a gota transferindo ao final de cada pulso, e com diâmetro da gota de aproximadamente igual ao diâmetro do eletrodo, que segundo autores como Kim e Eagar (1993) e Subramaniam et al. (1999), dentre outros, é a condição ideal para o processo MIG/MAG operando com corrente constante no modo Pulsado.

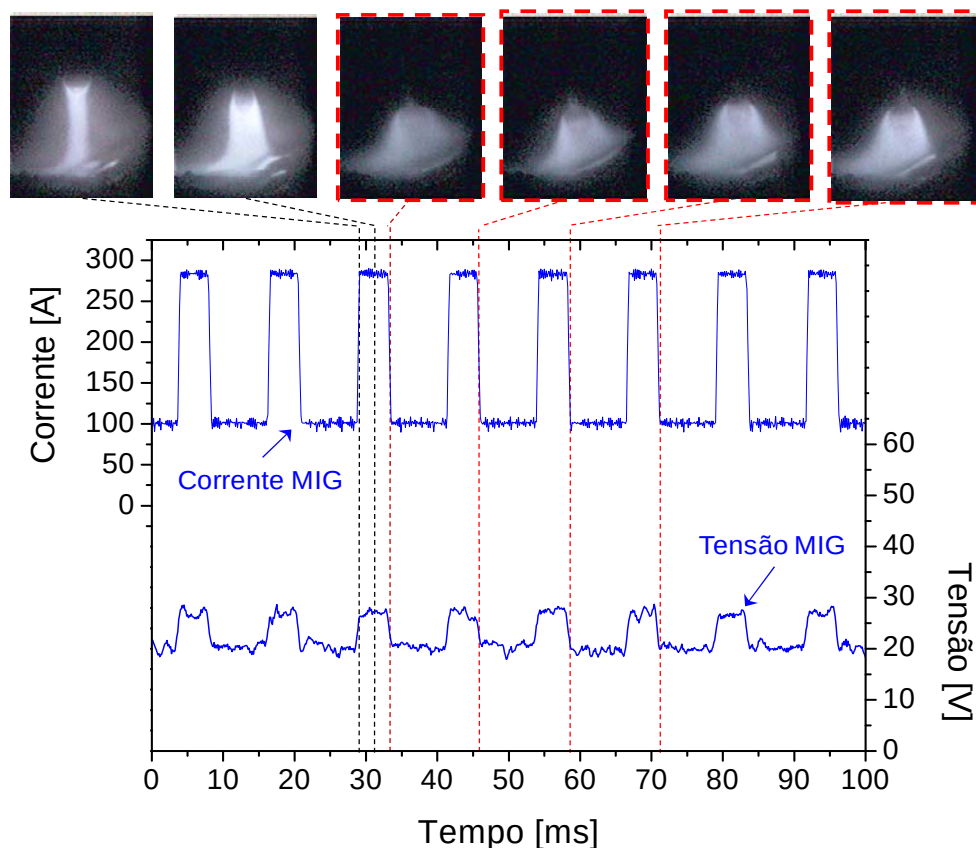


Figura 6.1 - Oscilogramas de corrente e tensão sincronizados com imagens da câmera de alta velocidade sem corrente pelo circuito Plasma. Correspondente ao ensaio 6.1.

Ainda na Figura 6.1, o arco formado entre a ponta do eletrodo e a peça possui um formato de “sino”, com um arco MIG/MAG que envolve a gota em formação, perfil similar ao observado por Souza; Resende; Scotti (2007) soldando com o processo MIG/MAG e utilizando misturas a base de Ar e CO₂. O processo opera com um comprimento de arco curto, numa condição que não ocorrem curtos-circuitos e a transferência de metal é bastante estável, resultando num cordão com acabamento satisfatório, característico do processo MIG/MAG com corrente pulsada na condição UGPP.

Pode também ser observado que a tensão relativa ao circuito MIG/MAG pulsa na frequência de pulsação da corrente. Isso ocorre porque numa fonte com característica estática de corrente constante a tensão é o resultado da carga, ou seja, das características elétricas do arco. Essa pulsação da tensão no circuito MIG/MAG também se repete para os demais ensaios.

Na Figura 6.2, iniciam as imagens sincronizadas com os oscilogramas de corrente e tensão da soldagem Plasma-MIG propriamente dita, com uma corrente de 40 A no circuito Plasma, correspondente ao ensaio 6.2. De acordo com Oliveira (2006), o arco formado entre a ponta do eletrodo e a peça recebe agora a denominação de arco híbrido e não mais arco MIG/MAG, como o da Figura 6.1.

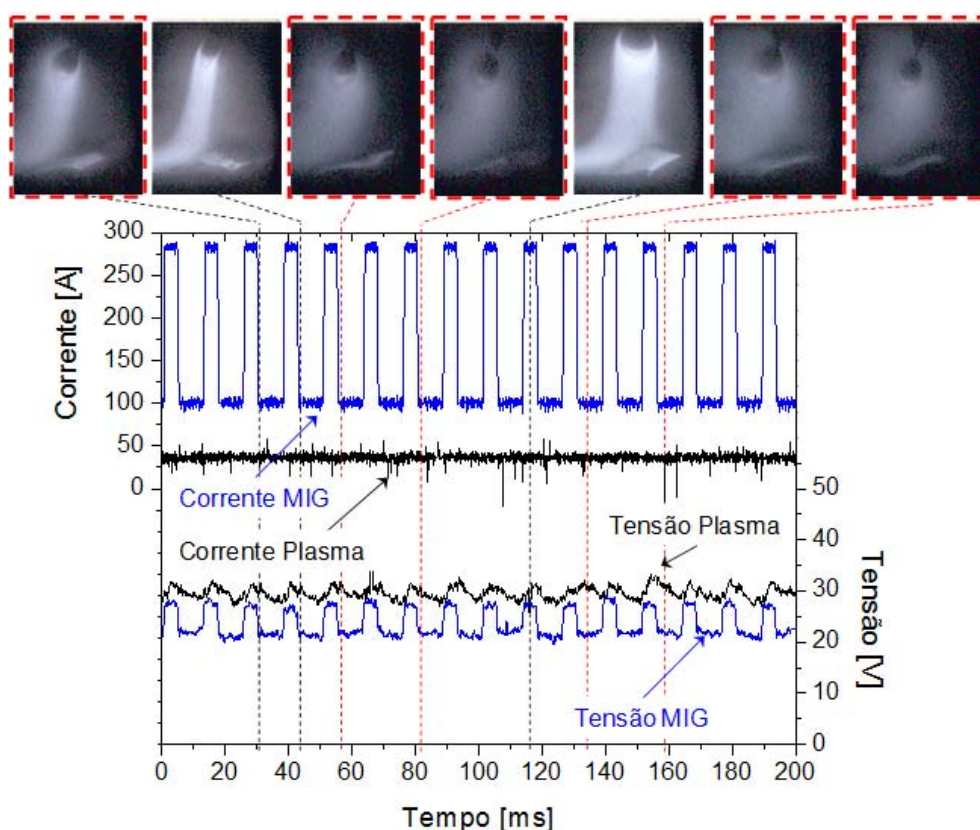


Figura 6.2 - Oscilogramas de corrente e tensão sincronizados com imagens da câmera de alta velocidade com 40 A de corrente pelo circuito Plasma. Correspondente ao ensaio 6.2.

Como os parâmetros para o circuito MIG/MAG da Figura 6.2 não foram alterados em relação à Figura 6.1, é possível observar que a presença da corrente Plasma altera as características do arco híbrido; o comprimento do arco híbrido é maior que o comprimento do arco MIG/MAG (Figura 6.1), que é influência direta da contribuição do arco Plasma na

fusão do eletrodo consumível, resultados que confirmam esta afirmação podem ser encontradas nos trabalhos de Cunha et al. (2007) e Oliveira (2006).

Para as mesmas condições utilizadas no processo MIG/MAG (Figura 6.1), é agora observado (Figura 6.2) que a gota de metal fundido é transferida em momentos distintos, ocorrem transferências no final do pulso, no início e no meio da base, e em frequência variável. Este fato mostra que a condição de UGPP do processo MIG/MAG é alterada com a introdução de corrente no circuito Plasma, uma vez que a mesma contribui na taxa de fusão do eletrodo, como mostrado anteriormente.

É verificado também na Figura 6.2 que a tensão do circuito Plasma apresenta oscilações na mesma frequência da pulsação da corrente MIG/MAG, o que é bastante razoável, uma vez que a tensão Plasma é medida entre o eletrodo de Plasma e a chapa, como variações da corrente no circuito MIG/MAG variam as características do arco híbrido que são refletidas na medida de tensão. O mesmo tipo de variação nos oscilogramas de corrente e tensão é também observado nas Figura 6.4 a Figura 6.6.

Matthes e Kohler (2002) propõem um modelo elétrico para o processo Plasma-MIG que inclui uma corrente transversal R11 (Figura 6.3). Segundo os autores, como existe uma diferença de potencial entre os circuitos Plasma e MIG/MAG em algum ponto do arco híbrido, flui uma corrente transversal entre os circuitos (R11) para equilibrar essa diferença de potencial. Dessa forma, o arco híbrido pode ser simplificado por resistências elétricas, sendo que R3 e R7 correspondem respectivamente às correntes MIG/MAG e Plasma acima da região de compensação e R4 e R8, abaixo.

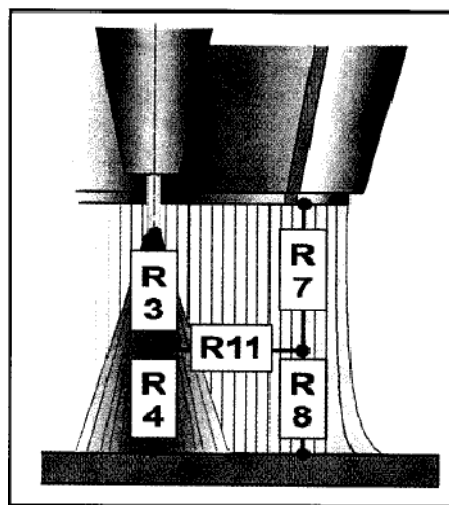


Figura 6.3 – Modelo elétrico para o processo Plasma-MIG na região do arco híbrido de acordo com Matthes e Kohler (2002).

Sendo assim, essa corrente transversal entre os circuitos Plasma e MIG/MAG justifica a oscilação na tensão do circuito Plasma com a pulsação da corrente no circuito MIG/MAG.

Observa-se ainda Figura 6.2 que o perfil do arco híbrido é alterado em relação ao arco MIG/MAG (Figura 6.1), saindo de um perfil de “sino” e partindo para um perfil estreito. Este perfil estreito também foi anteriormente observado por Essers (1972), soldando com o processo Plasma-MIG, com ambos os eletrodos na polaridade positiva e misturas gasosas a base de Ar e CO₂.

A Figura 6.4 apresenta os sinais de corrente e tensão dos circuitos Plasma e MIG sincronizados com os quadros da câmera de alta velocidade correspondes à soldagem Plasma-MIG com 60 A de corrente no circuito Plasma. Correspondente ao ensaio 6.3.

Fazendo uma comparação visual entre as Figura 6.4 e Figura 6.2, pode ser verificado que o comprimento do arco permaneceu praticamente inalterado, diferente do observado ao comparar as Figura 6.1 e Figura 6.2, confirmando mais uma vez o que já tinha sido observado no Capítulo 5, de que uma contribuição significativa do arco Plasma na taxa de consumo do eletrodo ocorre para valores menores de corrente pelo circuito Plasma.

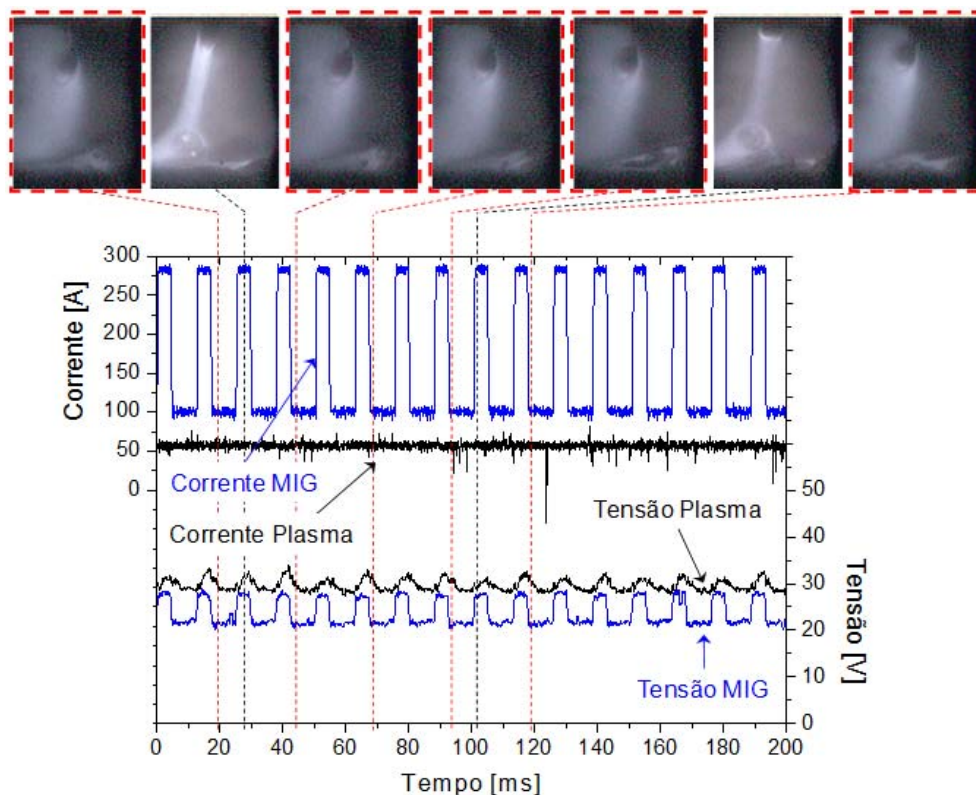


Figura 6.4 – Oscilogramas de corrente e tensão sincronizados com imagens da câmera de alta velocidade com 60 A de corrente pelo circuito Plasma. Correspondente ao ensaio 6.3.

Ainda comparando as Figura 6.4 e Figura 6.2, observa-se que o arco híbrido mantém o mesmo perfil estreito. Por outro lado, apesar de que a transferência das gotas não ter ocorrido na condição ideal de UGPP, ela ocorreu de forma regular, aproximadamente no final do pulso e a cada dois pulsos.

A Figura 6.5 apresenta os sinais de corrente e tensão dos circuitos Plasma e MIG/MAG sincronizados com os quadros da câmera de alta velocidade correspondes à soldagem Plasma-MIG com 80 A de corrente no circuito Plasma, correspondente ao ensaio 6.4. O comportamento dos sinais elétricos, principalmente a tensão do circuito Plasma, continua similar ao anteriormente observado nas figuras Figura 6.4 e Figura 6.2. Quanto ao aspecto da transferência metálica, no entanto, ocorreu uma queda na estabilidade, se comparado com a Figura 6.4. Ele voltou a ocorrer de forma não estável, com gotas sendo transferidas, tanto no final do pulso, quanto no meio da base com diâmetro maior.

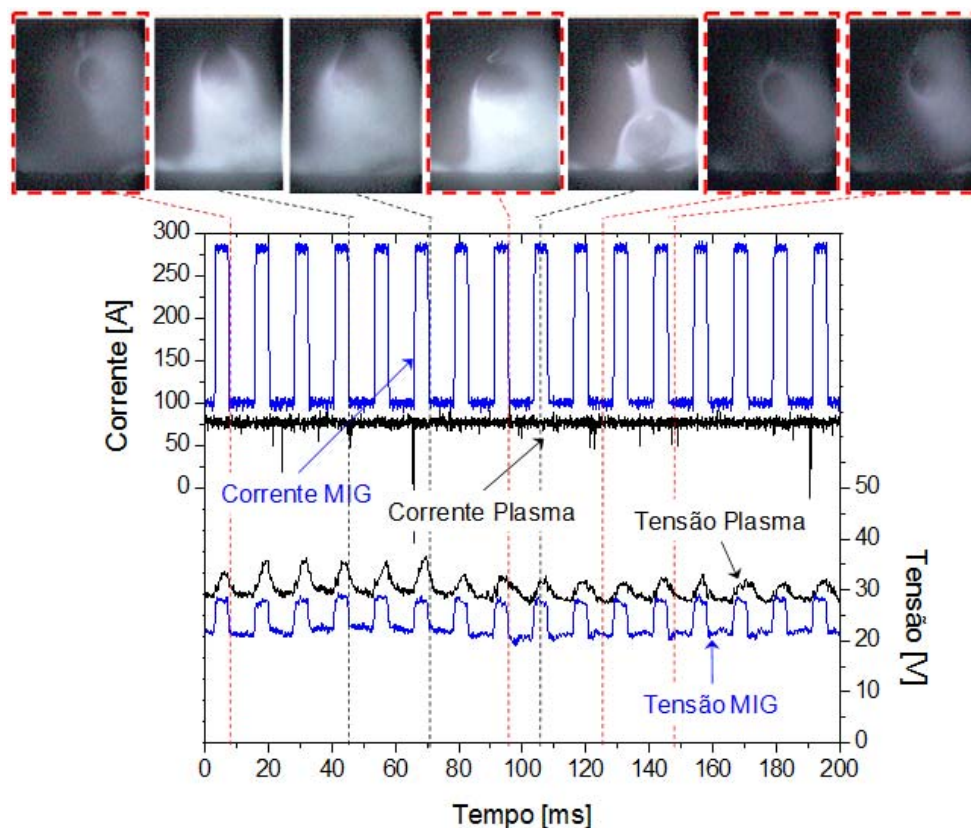


Figura 6.5 – Oscilogramas de corrente e tensão sincronizados com imagens da câmera de alta velocidade com 80 A de corrente pelo circuito Plasma. Correspondente ao ensaio 6.4.

A Figura 6.6 apresenta os sinais de corrente e tensão dos circuitos Plasma e MIG/MAG sincronizados com os quadros da câmera de alta velocidade correspondes à

soldagem Plasma-MIG com 100 A de corrente no circuito Plasma. O resultado deste ensaio foi similar ao ensaio com 80 A (Figura 6.5), portanto, os mesmos comentários são válidos.

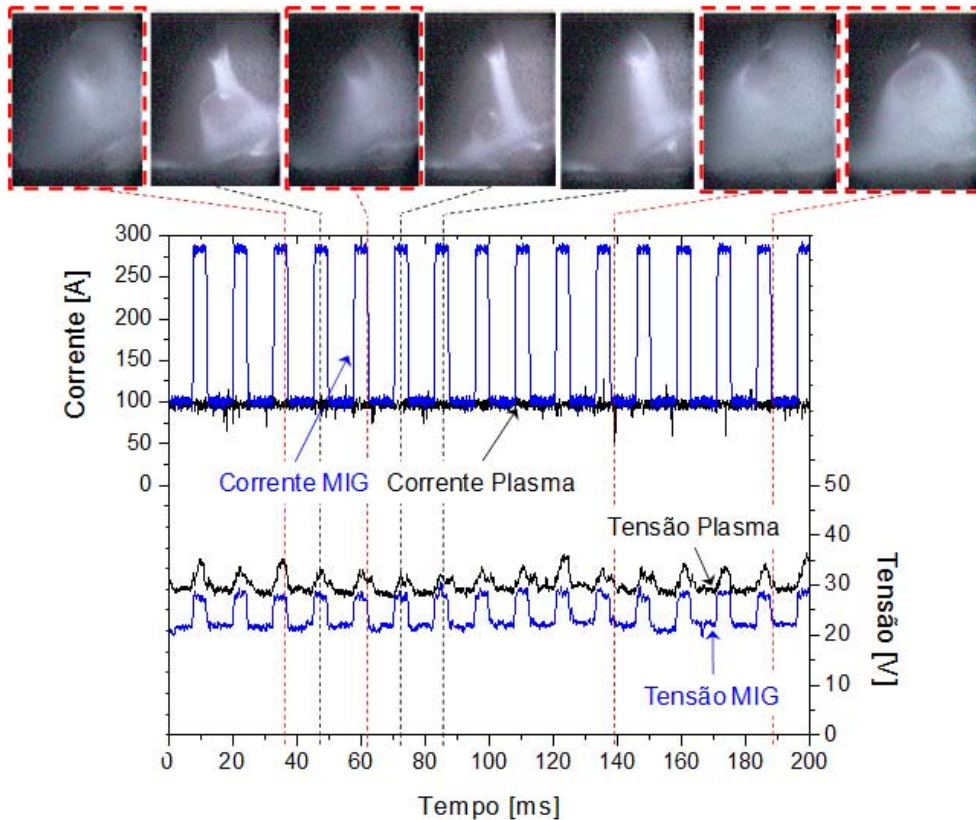


Figura 6.6 - Oscilogramas de corrente e tensão sincronizados com imagens da câmera de alta velocidade com 100 A de corrente pelo circuito Plasma. Correspondente ao ensaio 6.5.

Para uma melhor avaliação dos fenômenos ocorridos nesses ensaios, foram medidos os comprimentos de arco entre a ponta do eletrodo consumível e a peça (L_{arco}) dos quadros correspondentes aos primeiros 100 ms, que para uma filmagem a 2000 quadros por segundo, corresponde à 200 quadros. Para fazer a correspondência entre o número de “pixels” da imagem e a distância em milímetros da região focada, também foi filmada uma escala conhecida. As distâncias foram medidas de forma manual, uma vez que as imagens não tinham definição suficiente para utilizar um programa computacional. Para minimizar os erros, as imagens eram visualizadas em uma tela de 17 polegadas no modo de “tela cheia”, e as medidas feitas de acordo com o esquema da Figura 6.7.

Os resultados da medição de comprimentos de arco estão apresentados em forma de gráfico na Figura 6.8 em função da corrente Plasma. O ponto de corrente Plasma igual a 0 A corresponde à soldagem MIG/MAG. Para cada ponto é também mostrada uma barra de erros e um quadro representativo de cada ponto.

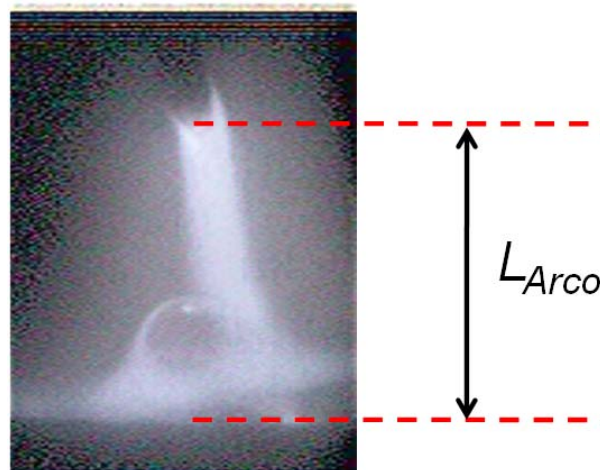


Figura 6.7 – Esquema para medição de comprimento de arco.

Na Figura 6.8 é verificada uma tendência de aumento do comprimento do arco híbrido com a presença da corrente Plasma, devido à contribuição que a mesma exerce sobre a taxa de fusão do arame eletrodo (fonte de corrente constante). Ainda é possível verificar que a contribuição é mais significativa para um valor de corrente Plasma de 40 A. Para maiores valores de corrente Plasma, a variação no comprimento do arco é menos sensível. Oliveira (2006) cita que o arco Plasma contribui na taxa de fusão por meio dos mecanismos de transferência de calor: radiação, convecção e condução.

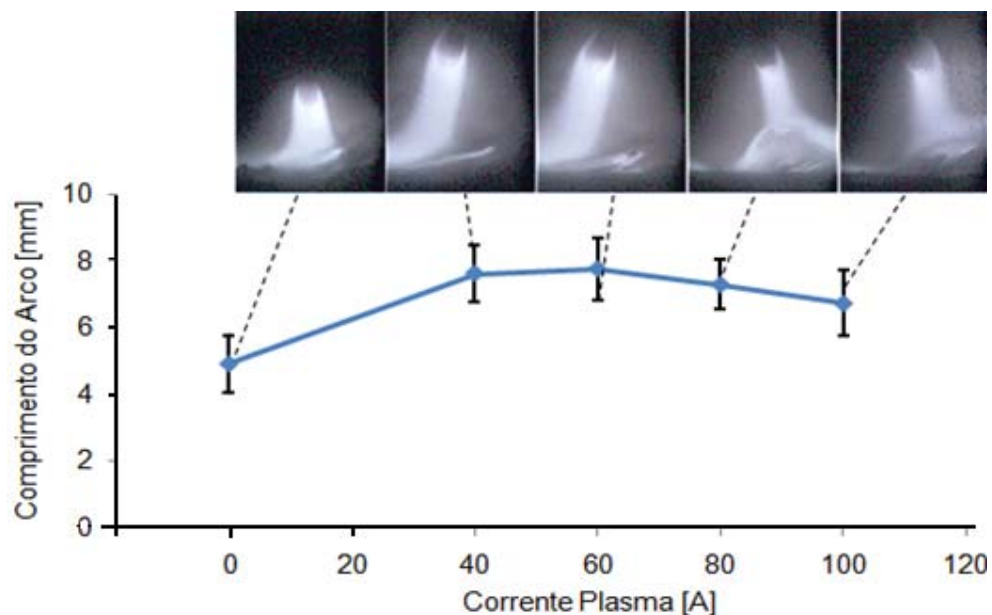


Figura 6.8 – Variação no comprimento do arco em função da corrente Plasma.

Um ponto interessante observado na Figura 6.8 é que o aumento da corrente Plasma contribui para diminuir o comprimento do arco em valores médios. Este fato está

provavelmente ligado a mudanças na condição de UGPP, quanto maior a corrente plasma menor foi a frequência de transferência (vide Figuras 6.2, 6.4 a 6.6), tendo como consequência um maior tamanho de gota e menor comprimento médio do arco.

6.3 Análise das características elétricas

Uma vez que variações na corrente através do circuito Plasma variam as características elétricas dos arcos Plasma e MIG/MAG, são apresentados na Figura 6.9, a variação de tensão dos arcos Plasma e MIG/MAG em função da variação da corrente no circuito Plasma. A curva referente ao circuito Plasma é similar às curvas de característica estática para arcos de eletrodos não consumíveis e variou num intervalo de 27 a 30 V. A curva de tensão do circuito MIG/MAG em função da corrente Plasma, permaneceu praticamente constante, apenas o primeiro ponto apresentou um valor médio inferior, que é resultado de um arco mais curto, como mostrado também na Figura 6.8.

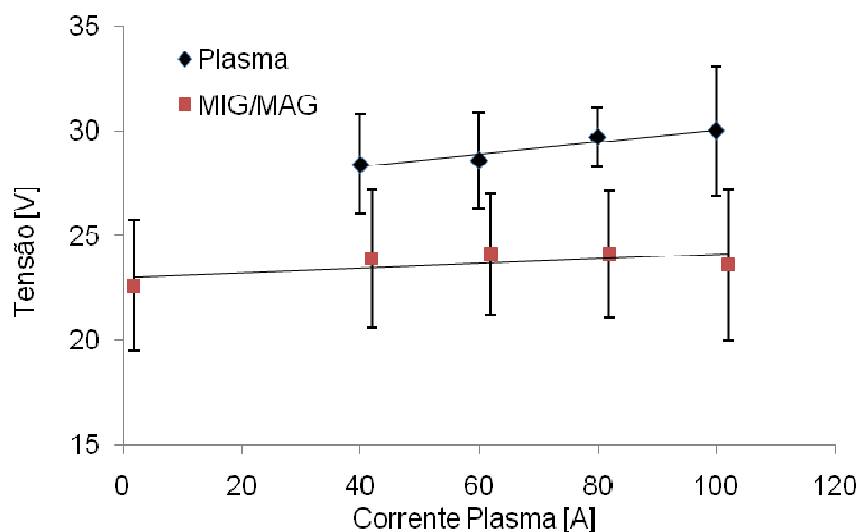


Figura 6.9 – Tensão nos circuitos Plasma e MIG/MAG em função da corrente Plasma.

Também foram calculadas as médias das tensões de pulso e as médias das tensões de base, uma vez que a corrente pelo circuito MIG/MAG opera para um valor acima e outro abaixo da corrente de transição Globular-Goticular. Para tal procedimento, foi utilizado o software OriginLab®, onde valores acima da tensão média foram considerados de pulso e valores abaixo, de base. Os resultados estão apresentados na Figura 6.10 em função da corrente no circuito Plasma.

Na Figura 6.10 é possível observar que tanto a tensão de pulso quanto a de base, variam na mesma proporção da corrente média, sendo que a tensão de base está na faixa de 20 a 22 V e a tensão de pulso na faixa de 26 a 28 V. Uma particularidade das curvas, é que a amplitude da barra de erros para a tensão de pulso é maior do que a tensão de base, isso ocorre porque durante o pulso a gota de metal fundido está em período de formação e destacamento o que provoca uma maior variação da queda de tensão no circuito MIG/MAG.

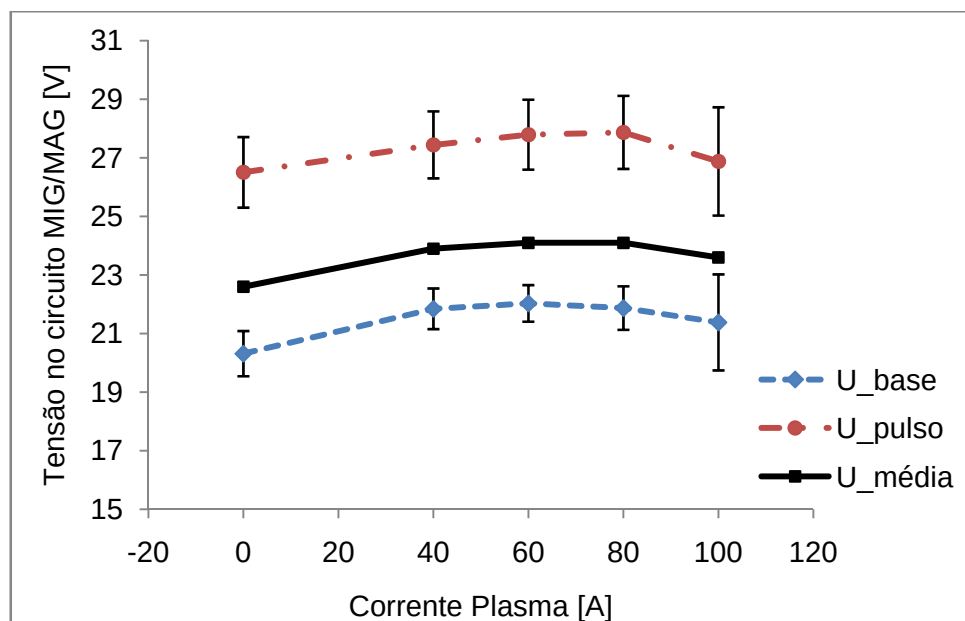


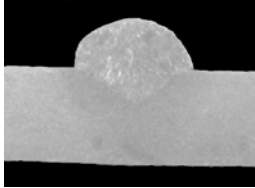
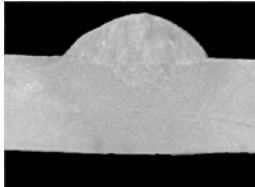
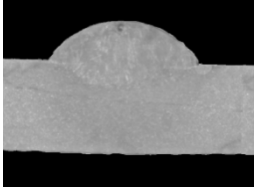
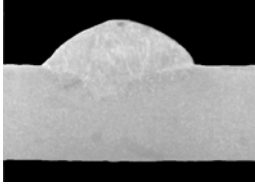
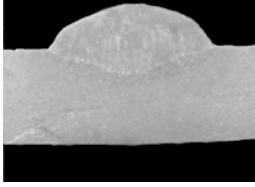
Figura 6.10 – Tensões de pulso, de base e média do circuito MIG/MAG em função da corrente Plasma.

6.4 Geometria do cordão de solda na soldagem Plasma-MIG com pulsação da corrente no circuito MIG/MAG

Na Tabela 6.2 estão apresentadas as fotografias dos corpos de provas correspondentes aos ensaios apresentados na Tabela 6.1. Para cada cordão de solda foi realizado num comprimento de aproximadamente 150 mm, as seções transversais foram realizadas uma no meio e uma a aproximadamente 30 mm do final do cordão, como indicado no capítulo de procedimentos. Os valores médios com os respectivos desvios padrões estão apresentados na Tabela 6.3. Para melhorar a apresentação dos resultados e facilitar a análise do comportamento do processo, esses parâmetros foram dispostos na forma de gráficos, que correspondem às Figura 6.11, Figura 6.12 e Figura 6.13. Na seqüência de cada gráfico seguem as discussões e comentários pertinentes. Vale ressaltar

que diferentemente do apresentado no Capítulo V, que avaliou em conjunto as influências das correntes Plasma e MIG/MAG, neste capítulo os parâmetros geométricos do cordão de solda são avaliados apenas em função da corrente Plasma.

Tabela 6.2 – Imagens dos corpos de prova com suas respectivas secções transversais.

Ensaio	Corrente Plasma [A]	Imagem da superfície do cordão	Imagem da seção transversal
6.1	0		
6.2	40		
6.3	60		
6.4	80		
6.5	100		

Comparando o aspecto dos corpos de prova apresentados na Tabela 6.2, pode ser observado que o cordão de solda relativo ao ensaio 6.2, com 40 A de corrente no circuito Plasma, apresenta o melhor aspecto visual em relação ao ensaio 6.1 (MIG/MAG) e aos

ensaios 6.3 ao 6.5 (Plasma-MIG). Provavelmente a piora na qualidade do cordão, provocada pelo aumento da corrente Plasma, está associada aos comprimentos excessivos do arco híbrido, que permaneceram entre 6 e 8 mm, para os testes com corrente Plasma.

Tabela 6.3 – Parâmetros geométricos medidos para os cordões de solda.

	Corrente Plasma [A]				
	0	40	60	80	100
Largura [mm]	7,9 ^{±0,10}	9,7 ^{±0,10}	10,1 ^{±0,40}	10,4 ^{±0,40}	10,9 ^{±0,20}
Reforço [mm]	3,4 ^{±0,10}	3,0 ^{±0,10}	2,8 ^{±0,10}	2,9 ^{±0,10}	2,8 ^{±0,15}
Penetração [mm]	2,3 ^{±0,10}	2,0 ^{±0,10}	1,8 ^{±0,20}	2,2 ^{±0,10}	2,0 ^{±0,15}
Área Depositada [mm ²]	21,0 ^{±0,50}	20,3 ^{±1,0}	20,5 ^{±1,40}	21,6 ^{±1,40}	22,1 ^{±0,95}
Área Fundida [mm ²]	9,2 ^{±0,15}	8,2 ^{±0,10}	9,6 ^{±1,50}	11,2 ^{±1,50}	12,1 ^{±0,45}
Diluição [%]	30,5 ^{±0,85}	28,9 ^{±1,3}	30,8 ^{±4,00}	34,0 ^{±1,50}	35,4 ^{±1,80}

Na Tabela 6.4 estão apresentados os níveis de significância “p” obtidos pelo teste de variância ANOVA, a análise foi feita a partir dos resultados de todas as medidas de geometria para uma confiabilidade de 95%. Pelos valores obtidos, pode-se afirmar que a corrente Plasma influencia, nas condições destes experimentos, a largura, reforço e área fundida. Por outro lado, do ponto de vista estatístico, a penetração não foi afetada pela corrente Plasma.

Tabela 6.4 - Níveis de significância “p” obtidos pela ANOVA.

Largura	Reforço	Penetração	Área Fundida
<u><0,01</u>	<u>0,01</u>	0,06	<u>0,02</u>

Na Figura 6.11 são apresentados os parâmetros geométricos lineares de largura, reforço e penetração em função da corrente Plasma. Observa-se uma tendência de aumento da largura em função da corrente Plasma. Assim como discutido no Capítulo V, este aumento ocorre em função da maior área de contato do arco Híbrido com a peça. Este acréscimo na área de contato e, conseqüentemente, na molhabilidade é proporcional ao acréscimo na corrente Plasma.

Ainda na Figura 6.11 é observada uma redução no reforço, que é uma consequência direta do aumento da largura, uma vez que a quantidade de material depositado é a mesma, já que os valores de velocidade de soldagem e de alimentação não

foram modificados. Quanto a penetração, ela não foi influenciada, do ponto de vista estatístico, pela corrente Plasma.

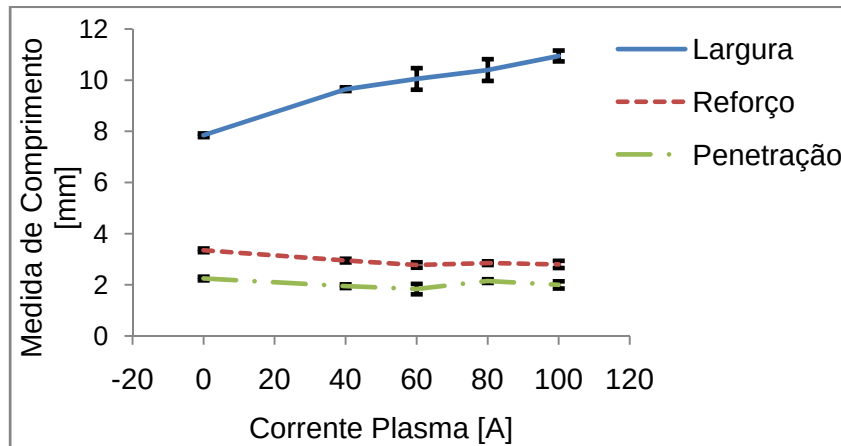


Figura 6.11 – Parâmetros geométricos lineares para a soldagem Plasma-MIG, com corrente MIG/MAG pulsada em função da corrente Plasma.

A Figura 6.12 apresenta os parâmetros geométricos quadráticos de área depositada e área fundida em função da corrente Plasma.

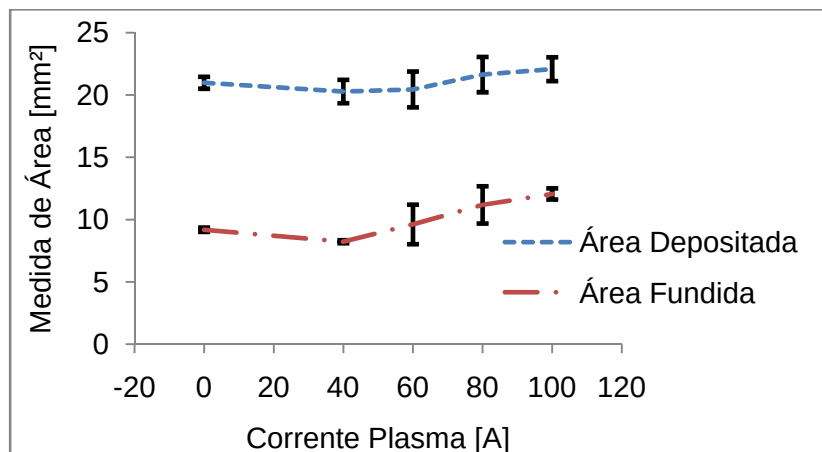


Figura 6.12 – Parâmetros geométricos quadráticos para a soldagem Plasma-MIG, com corrente MIG/MAG pulsada em função da corrente Plasma.

A curva correspondente à área depositada (Figura 6.12) apresentou alguma variação, mas do ponto de vista estatístico, pode ser considerada constante, já que uma reta com coeficiente angular nulo pode passar entre as barras de desvio padrão. Como o volume de material depositado por unidade de comprimento foi constante, variações não eram esperadas, mas podem ter ocorrido por motivos como variações na velocidade de

alimentação, perdas por evaporação, ou até mesmo por variações na seção transversal ao longo do comprimento do cordão, já previamente comentadas no Capítulo V. Pode também ser verificada uma redução na área fundida para um valor mínimo de corrente Plasma (40 A), e a partir deste ponto, ocorre um acréscimo da área fundida com o acréscimo da corrente Plasma.

Na Figura 6.13 é apresentada a variação da diluição em função da corrente Plasma. Assim como ocorreu para a área fundida, ocorreu uma redução na diluição para um valor mínimo de corrente Plasma (40 A), e a partir deste ponto, um aumento na diluição com o acréscimo da corrente Plasma.

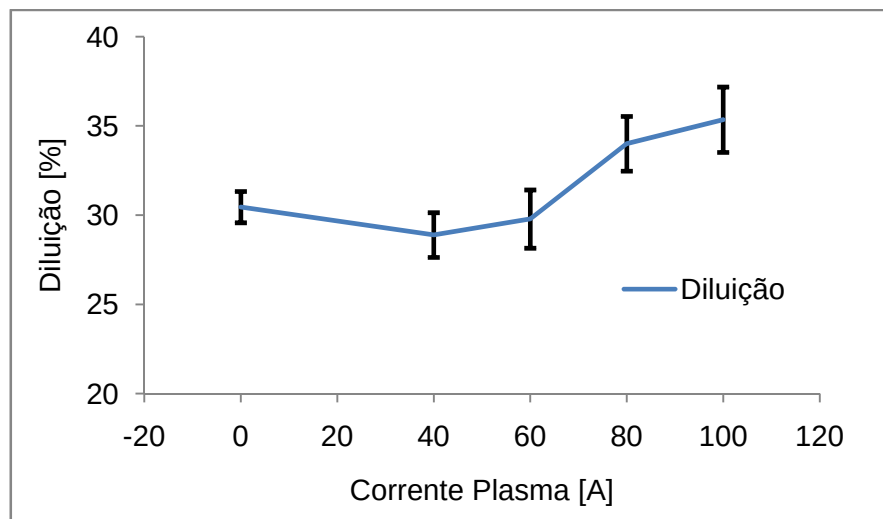


Figura 6.13 – Diluição para a soldagem Plasma-MIG, com corrente MIG/MAG pulsada em função da corrente Plasma.

6.5 Considerações finais do capítulo

Tendo em vista as condições experimentais empregadas neste capítulo, os resultados e observações mostraram que:

- A presença de corrente Plasma altera os parâmetros de UGPP do processo MIG/MAG;
- Uma corrente de 60 A no circuito Plasma proporciona a melhor estabilidade da transferência metálica;
- A corrente Plasma auxilia no consumo do eletrodo, e conseqüentemente provoca uma variação no comprimento do arco híbrido;

- Um aumento na corrente Plasma provoca um aumento nas tensões dos circuitos Plasma e MIG/MAG;
- Parâmetros geométricos lineares e de área são alterados pela corrente Plasma;
- A diluição é reduzida para um valor mínimo de corrente Plasma, e aumentada para valores maiores.

CAPÍTULO VII

ALGUNS ASPECTOS OPERACIONAIS DO PROCESSO PLASMA-MIG

Neste capítulo, são apresentados alguns dos aspectos operacionais do processo Plasma-MIG aplicados a diferentes situações, utilizando os conhecimentos desenvolvidos durante a realização dos capítulos anteriores. É avaliada a influência da corrente Plasma na máxima velocidade em que foi possível soldar sem a formação de “Humping” (velocidade crítica). São também avaliados o comportamento do processo na soldagem de chanfros estreitos, e na utilização de arame tubular auto-protegido utilizado para revestimentos duros.

7.1 Influência da corrente Plasma na velocidade máxima de soldagem

A motivação para esta avaliação partiu da observação de alguns resultados de Oliveira (2006), que conseguiu soldar chapas de 2 mm de aço ao carbono em juntas de aresta com velocidades da ordem de 3 m/min, soldou chapas de alumínio de espessura de 2 mm com juntas de topo em velocidades de 2,7 m/min, e chegou a atingir velocidades da ordem de 4 m/min na brasagem de chapas de aço galvanizado de 1 mm de espessura.

No entanto, ainda falta uma comparação para verificar como a presença de corrente no circuito Plasma afeta o valor da maior velocidade de soldagem possível sem que seja formado o “Humping” (Figura 7.1). Bradstreet (1968 *apud* HYUN CHO; FARSON, 2007), definiu “Humping” para o processo MIG/MAG, como sendo uma série de ondulações na superfície do cordão de solda e que normalmente está associado a mordeduras ao longo do contorno do cordão.

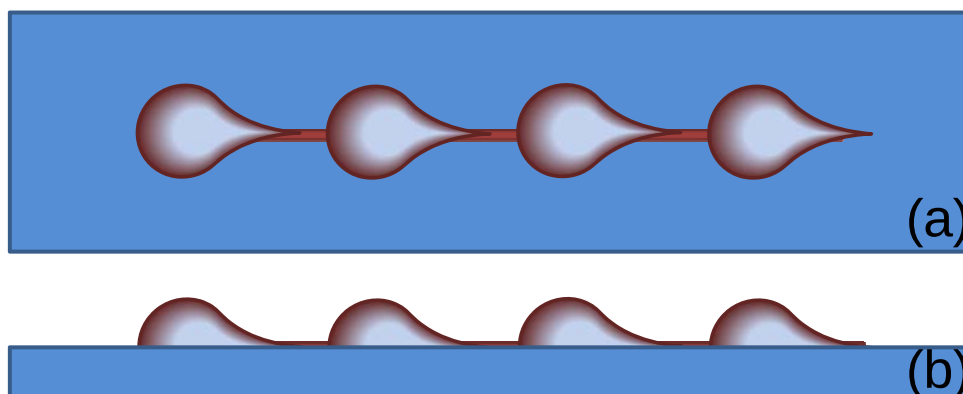


Figura 7.1 – Vista esquemática superior (a) e lateral (b) de um cordão de solda com formação de “Humping”.

Hyun Cho e Farson (2007) identificaram dois requisitos responsáveis pela formação do “Humping” na soldagem MIG/MAG pulsada a altas velocidades de deslocamento da tocha. O primeiro requisito é a formação de um estreito canal de metal fundido no metal de base. A elevada convexidade, associados ao canal estreito, provoca uma forte tensão superficial que impede a acumulação de metal no fundo da poça. O último requisito para a formação do “Humping” é o estrangulamento e a rápida solidificação desse estreito canal de metal fundido dividindo o cordão solidificado em seções. De acordo com Lancaster (1987 *apud* SCOTTI, 2001), a formação do “Humping” começa a ocorrer acima de uma velocidade crítica de soldagem (abaixo dessa velocidade, o “Humping” não ocorre). Esta velocidade crítica aumenta para comprimentos de arcos mais curtos e pela inclinação do eletrodo no sentido empurrando.

Para avaliar a influência da corrente passando pelo circuito Plasma sobre a velocidade crítica de soldagem (antes da formação do “Humping”), foram realizadas soldagens de simples deposição sobre chapa (“bead on plate”) de aço comercial com baixo teor de carbono, de dimensões 200x50x6 mm. Optou-se por trabalhar com valores de corrente MIG/MAG no modo pulsado, na condição de UGPP encontrada no Capítulo VI. Para o circuito MIG/MAG, foram reguladas as condições do teste 6.1 (Tabela 6.1), onde $I_b = 100$ A, $I_p = 280$ A, $t_b = 8$ ms, $t_p = 4,2$ ms. Para a corrente Plasma, foram avaliados quatro níveis (0, 40, 60 e 100 A).

As condições gerais para a realização destas soldagens foram: Distância da Tocha a Peça em 8 mm, DBCP de 26 mm, arame eletrodo de aço ao carbono ER 70S-6 com 1,2 mm de diâmetro, Ar como gás MIG/MAG a 5 l/min, Ar como gás Plasma a 5 l/min e Ar+8%CO₂ como gás de Proteção a 15 l/min. As condições específicas para a realização dos experimentos encontram-se na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Ajustes das condições de soldagem para os testes.

Ensaio	I_{PLASMA} [A]	V_{sold} [m/min]	V_{lim} [m/min]
7.1	0	1,5	5,2
7.2	0	1,8	5,2
7.3	0	2,0	5,2
7.4	40	1,8	5,2
7.5	40	1,0	5,2
7.6	40	0,8	5,2
7.7	60	0,8	5,2
7.8	60	0,7	5,2
7.9	40	1,1	5,6
7.10	40	1,0	5,6
7.11	60	1,2	5,7
7.12	60	1,1	5,7
7.13	100	1,1	5,8
7.14	100	1,0	5,8

Para identificar a velocidade crítica de soldagem, foram realizados para cada condição de soldagem, pelo menos dois cordões de solda com diferentes velocidades de soldagem. Se para uma determinada velocidade o “Humping” era formado, o próximo cordão era realizado com uma velocidade menor. Se não, a uma velocidade maior, até obter uma velocidade no qual ocorreu a formação do “Humping” e uma menor, na qual não ocorreu (velocidade crítica). O valor com que a velocidade de soldagem era aumentada ou diminuída foi definido no momento do ensaio, de acordo com o aspecto visual do último cordão, de tal forma que a diferença entre as velocidades de um cordão bom para um que ocorreu a formação do “Humping” não fosse maior que 0,2 m/min.

Os ensaios 7.1, 7.2 e 7.3, correspondem à soldagem MIG/MAG utilizando a tocha Plasma-MIG, para estes ensaios, os parâmetros foram regulados nas condições de UGPP do teste 6.1 do Capítulo VI. Para os ensaios 7.1 a 7.8, os ajustes dos parâmetros para o circuito MIG/MAG foram mantidos constantes, variando desta forma, a corrente do circuito Plasma e a velocidade de soldagem. Como já foi previamente apresentado nos capítulos anteriores, a corrente Plasma contribui na taxa de consumo do eletrodo e o comprimento do arco híbrido aumenta em função da corrente Plasma se a velocidade de alimentação não for compensada. Como consequência, o ensaio com corrente de 100 A no circuito Plasma,

resultou em um arco híbrido muito longo e de menor rigidez, não sendo, portanto, apresentado.

Na sequência foram executados os ensaios 7.9 a 7.14, com o diferencial de que a velocidade de alimentação foi corrigida para compensar o ganho na taxa de fusão do eletrodo consumível promovido pela corrente Plasma, mantendo o comprimento do arco constante e curto.

Na Tabela 7.2 estão apresentados os valores médios, dos sinais de corrente e tensão monitorados para os circuitos Plasma e MIG/MAG. Para cada um dos experimentos apresentados na Tabela 7.1, também é apresentada uma coluna, na qual, os ensaios identificados como “não aceitáveis” são os que ocorreram à formação de “Humping” e os identificados como “aceitáveis” são os que não ocorreram a formação do “Humping”.

Tabela 7.2 – Valores médios dos sinais de corrente e tensão monitorados para os circuitos Plasma e MIG/MAG e aceitabilidade dos cordões.

Ensaio	$I_{MIG/MAG} [A]$	$U_{MIG/MAG} [V]$	$I_{PLASMA} [A]$	$U_{PLASMA} [V]$	Aceitabilidade do cordão
7.1	164,3	22,7	*	*	Aceitável
7.2	163,8	24,5	*	*	Aceitável (**)
7.3	163,9	24,4	*	*	Não Aceitável
7.4	163,6	25,6	36,1	30,4	Não Aceitável
7.5	163,7	24,8	36,1	29,6	Não Aceitável
7.6	163,6	25,3	36,1	30,5	Aceitável (**)
7.7	163,9	22,8	56,2	27,6	Não Aceitável
7.8	164,0	22,9	56,2	27,7	Aceitável (**)
7.9	164,5	22,2	36,6	30,6	Não Aceitável
7.10	164,8	20,9	36,7	29,6	Aceitável (**)
7.11	164,0	22,9	56,2	27,7	Não Aceitável
7.12	164,6	22,0	56,8	29,2	Aceitável (**)
7.13	164,7	22,1	96,8	28,5	Não Aceitável
7.14	164,6	22,3	96,7	28,4	Aceitável (**)

Nota: (*) indica que os experimentos foram realizados com a fonte Plasma desligada.

Experimentos marcados com (**) correspondem à velocidade crítica para a ocorrência do “Humping”.

Na figura 7.2 está apresentada de forma esquemática, a primeira sequência de soldas que foram realizadas para verificar a influência da corrente Plasma na velocidade

máxima de soldagem, sem que a velocidade de alimentação fosse corrigida para compensar o aumento no comprimento de arco. Nesta figura, são mostrados os corpos de prova correspondentes aos ensaios 7.1 a 7.8, em suas vistas superiores e laterais com suas correspondentes velocidades de soldagem, com o detalhe de que os corpos de prova correspondentes às velocidades críticas estão destacados por meio de uma moldura na imagem correspondente.

Para as condições da realização desses experimentos, pode ser observado que a presença da corrente no circuito Plasma reduziu a velocidade máxima em que era possível soldar sem que ocorresse a formação de “Humping”. Mas como já relatado por Lancaster (1987 *apud* SCOTTI, 2001), a velocidade crítica de soldagem diminui com o aumento do comprimento do arco. Então persiste a dúvida se a diminuição da velocidade máxima de soldagem é consequência da presença da corrente Plasma, ou do aumento do comprimento do arco, ou ainda, de ambos.

Na Figura 7.3 é apresentada uma segunda sequência de soldas correspondentes aos testes 7.1 a 7.3 e 7.9 a 7.14, agora com o diferencial de que a velocidade de alimentação foi corrigida para compensar o aumento do comprimento do arco provocado pela presença da corrente Plasma. Pode ser observado que a corrente Plasma continuou a influenciar a velocidade máxima de soldagem no sentido de reduzi-la, agora de maneira menos significativa que na condição anterior. Esse resultado também reforça o observado por Lancaster (1987, *apud* SCOTTI, 2001), de que menores comprimentos de arco resultam em maiores velocidades críticas de soldagem.

Diferente do esperado, para as condições desse trabalho, a presença da corrente Plasma influenciou a velocidade crítica de soldagem no sentido de reduzi-la. A máxima velocidade que foi possível obter um cordão sem a formação de “Humping” (velocidade crítica) foi de 1,1 m/min, bem abaixo das obtidas por Oliveira (2000). No entanto, neste trabalho foram utilizadas chapas de maior espessura (6,35 mm), o que provavelmente auxilia na redução dessa velocidade crítica. Outro fator que também deve ser considerado é que a tocha não foi inclinada no sentido de empurrar a poça, que de acordo com Lancaster (1987, *apud* SCOTTI, 2001) aumentaria a velocidade crítica de soldagem.

No entanto, deve ser destacado que para as condições deste trabalho, o processo Plasma-MIG atingiu velocidades críticas inferiores às obtidas pelo processo MIG/MAG.

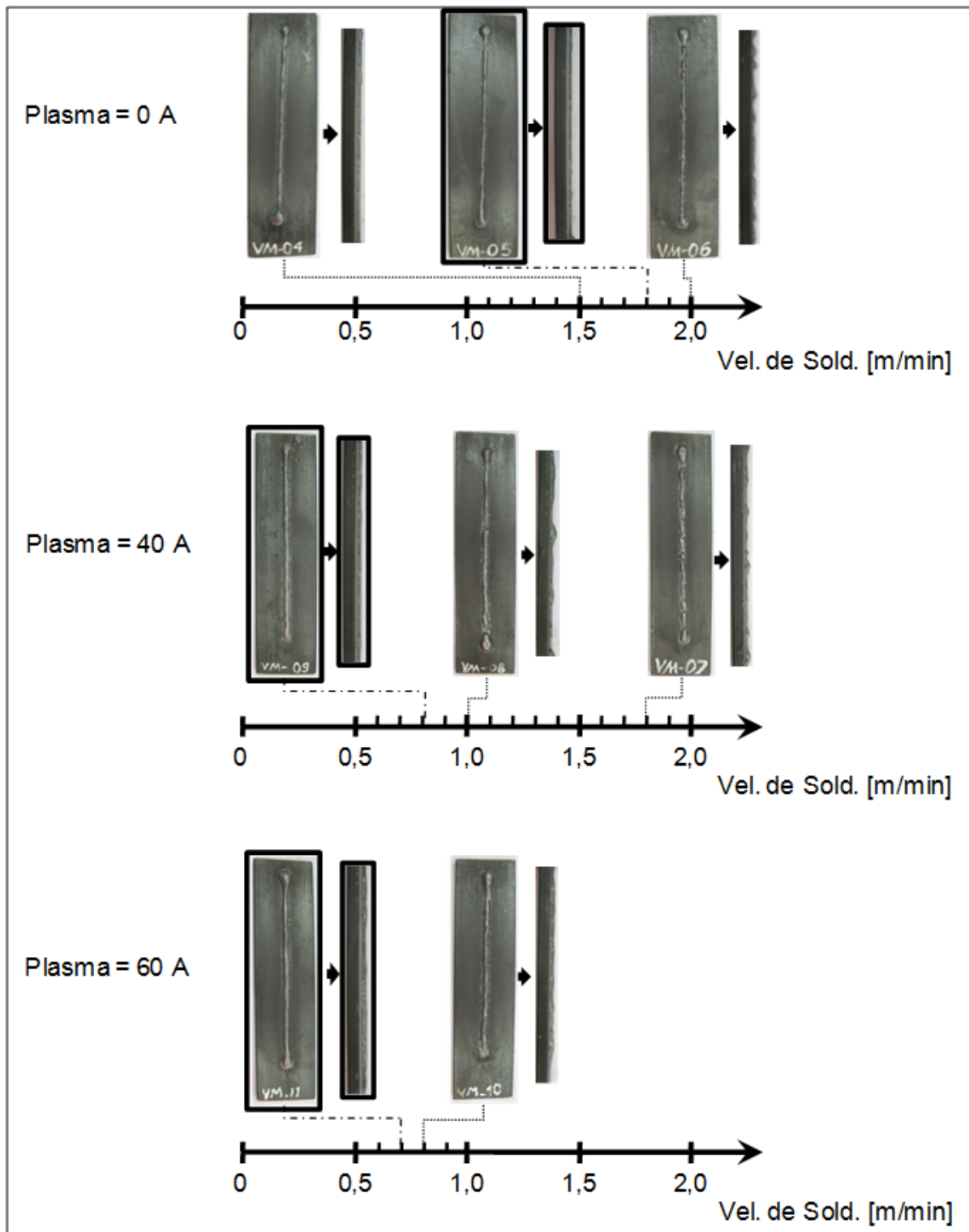


Figura 7.2 – Representação esquemática da velocidade crítica de soldagem para comprimentos de arcos variáveis em função da corrente Plasma. Correspondentes aos testes 7.1 a 7.8.

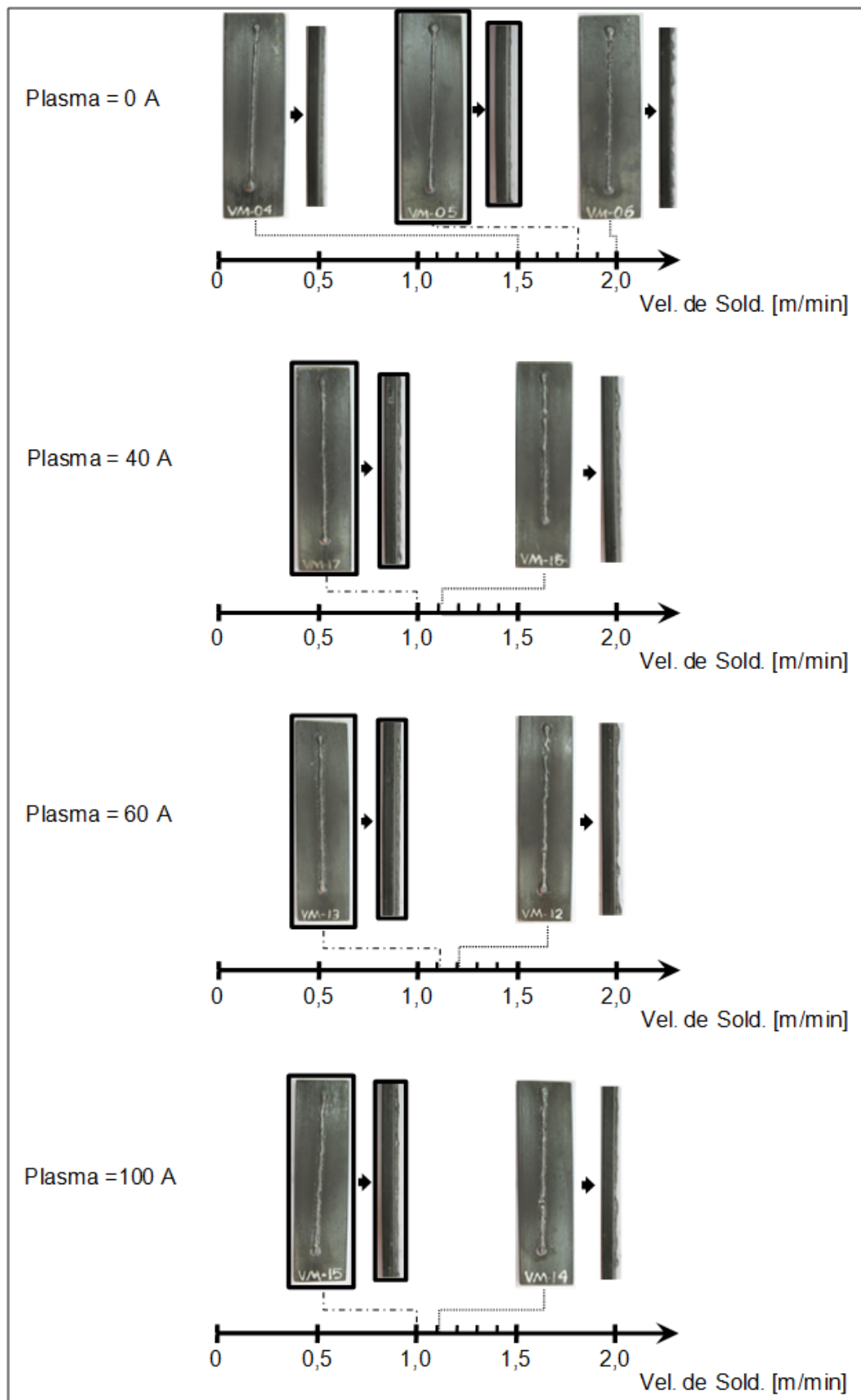


Figura 7.3 – Representação esquemática da velocidade crítica de soldagem para comprimentos de arcos curtos. Correspondentes aos testes 7.1 a 7.3 e 7.9 a 7.14.

7.2 Comportamento do cordão na soldagem Plasma-MIG em chanfros estreitos

A motivação para investigar o comportamento do cordão de solda em chanfros estreitos utilizando o processo Plasma-MIG partiu da observação do trabalho de Pereira (2000), que estudou o comportamento do cordão nesse tipo de chanfro utilizando o processo MIG/MAG Pulsado. Na soldagem de chanfros estreitos, freqüentemente ocorrem irregularidades na formação do cordão, que de acordo com o autor, são causadas principalmente pelo desvio do cordão para as paredes do chanfro em função do baixo volume de material depositado.

Como foi observado nas filmagens do Capítulo VI, o arco Plasma é capaz de promover uma melhor estabilidade na transferência do metal fundido. Portanto, ficou a dúvida se a presença do arco Plasma era capaz de evitar com que o cordão de solda desviasse para as paredes do chanfro assim como ocorre para o processo MIG/MAG.

Para fazer essa verificação, foi escolhida uma das condições trabalhadas por Pereira (2000), na qual foram soldadas chapas de aço comercial com baixo teor de 9,53 mm de espessura, com ângulo de chanfro de 60°, abertura de raiz de 3 mm e cobre junta permanente de 3,17 mm. O autor avaliou os limites para a relação Velocidade de Soldagem / Velocidade de Alimentação, na qual valores abaixo de determinados limites inferiores são regulares e acima de limites superiores são irregulares, e a região entre os limites inferiores e superiores formam uma região de transição.

Assim como Pereira (2000), optou-se por trabalhar com valores de corrente MIG/MAG no modo pulsado, na condição de UGPP. Para o circuito MIG/MAG, foram ajustadas as condições onde $I_b = 100$ A, $I_p = 280$ A, $t_b = 9$ ms, $t_p = 3,5$ ms, que resulta numa corrente média de 150 A. O comprimento do arco foi mantido o mais curto possível sem que o arame tocasse na poça.

As condições gerais para a realização destas soldagens foram: Distância da Tocha a Peça em 12 mm (medida até o cobre junta, ou seja, até o fundo da junta), DBCP de 30 mm, arame eletrodo de aço ao carbono ER 70S-6 com 1,2 mm de diâmetro, Ar como gás MIG a 5 l/min, Ar como gás Plasma a 5 l/min e Ar+8%CO₂ como gás de Proteção a 15 l/min. As condições para a realização dos experimentos encontram-se na Tabela 7.3.

Os ensaios 7.15 e 7.19, correspondentes relativamente às figuras 7.4(a) e 7.4(b) foram realizados nas condições de Pereira (2000) confirmando o que foi relatado pelo autor, de que o primeiro cordão estava numa região irregular e o segundo numa região regular.

Tabela 7.3 – Condições de soldagem para os testes.

Ensaio	I_{PLASMA} [A]	V_{sold} [m/min]	V_{lim} [m/min]	$(V_{sold}/V_{lim}) \cdot 10^2$
7.15	0	0,27	4,6	5,8
7.16	60	0,30	5,2	5,8
7.17	100	0,30	5,3	5,7
7.18	140	0,31	5,5	5,7
7.19	0	0,23	4,6	5,0
7.20	60	0,26	5,2	5,0
7.21	100	0,28	5,3	5,0
7.22	140	0,28	5,3	5,0
7.23	60	0,20	5,2	3,8
7.24	140	0,21	5,4	3,8
7.25	60	0,15	5,1	3,0
7.26	140	0,16	5,3	3,0



Figura 7.4 – Cordões com aspecto regular (a) e irregular (b) nas condições de MIG/MAG pulsado de Pereira (2000). Testes 7.15 e 7.19 respectivamente.

A princípio, era esperado que o cordão com o aspecto da Figura 7.4(a) resultado do desvio do cordão de solda para as paredes do chanfro assumisse um aspecto regular para a mesma relação entre Velocidade de Soldagem e Alimentação quando utilizado o processo Plasma-MIG. No entanto, o que ocorreu foi a formação de cordões com convexidade excessiva para os testes 7.16 ao 7.18. O aspecto visual foi similar para os três ensaios e uma fotografia do ensaio 7.17 é mostrado na Figura 7.5.

Scotti (1991) que utilizou o processo MIG/MAG pulsado em chanfros estreitos cita que durante a formação do cordão ocorre o chamado “efeito ponte”, que o autor definiu

como sendo a resultante das forças que permitem que o metal fundido molhe as paredes do chanfro. Se o efeito não ocorre, a poça pode se acumular na base da junta. Quando o efeito é reduzido, existe a tendência da poça se deslocar para um dos lados. Pode ainda ser assumido que a principal força que governa esse fenômeno é a tensão superficial. Para um mesmo volume de material, é tão maior quanto maior for a área em contato com o ar, sendo assim uma condição mais estável é obtida para menores áreas superficiais.

Scotti (1991) considera que em um cordão com o aspecto da Figura 7.5, não ocorreu a formação da ponte. Pereira (2000) associou o defeito ao fato do cordão solidificar antes que haja tempo suficiente para que ele escorra para os lados do chanfro devido a uma alta taxa de resfriamento. O último autor associou a alta taxa de resfriamento à dificuldade que o arco tem de aquecer o fundo do chanfro. Desta forma, o cobre-junta retira mais rapidamente o calor do cordão, acelerando a solidificação e reduzindo a capacidade de molhamento do cordão nas paredes do chanfro.



Figura 7.5 – Aspecto do cordão relativo ao ensaio 7.17 com destaque a excessiva convexidade.

Na figura 7.6, são apresentadas as imagens das seções transversais relativas aos ensaios 7.16 ao 7.18. Vale ressaltar que a presença da corrente Plasma foi capaz de eliminar as irregularidades provenientes do desvio do cordão para as paredes do chanfro, assim como na Figura 7.4(a). No entanto, o cordão resultante apresentou convexidade excessiva e o valor da corrente Plasma parece não exercer influência significativa sobre o aspecto final do cordão, ou seja, a presença de uma corrente mínima de 60 A muda drasticamente o aspecto do cordão, mas uma corrente de 140 A praticamente não exerce efeito em relação à corrente de 60 A.

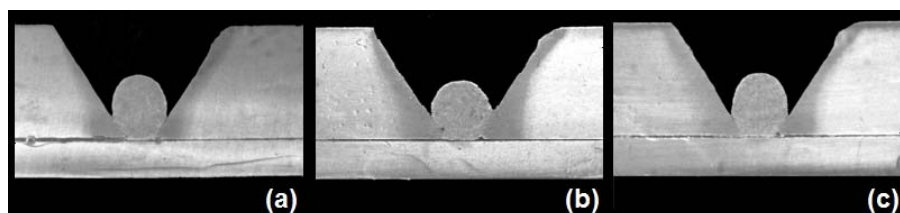


Figura 7.6 - Seções transversais relativas aos ensaios 7.16 ao 7.18, na ordem.

Mesmo sendo as explicações de Scotti (1991) e Pereira (2000) para o processo MIG/MAG pulsado plausíveis, quando são aplicadas ao processo Plasma-MIG, elas parecem insuficientes devido à complexidade introduzida ao processo pela presença da corrente Plasma. Quando o processo Plasma-MIG foi utilizado para juntas estreitas, era esperado que o arco Plasma provocasse um aquecimento das paredes do chanfro e facilitasse o espalhamento do cordão e, por consequência, maiores velocidades seriam possíveis.

Durante a realização dos experimentos, foi observada de forma visual, uma particularidade importante e que merece investigação futura com a utilização da câmera de alta velocidade. O desvio do cordão, assim como descrito por Pereira (2000), parece ter reduzido de forma considerável com o processo Plasma-MIG. Para os testes investigados nesse trabalho, as gotas de metal fundido eram transferidas diretamente para o fundo da junta e os desvios observados no ensaio 7.15 praticamente eliminados.

Esse efeito pode estar ocorrendo por uma espécie de formação de um “melhor caminho” para as gotas, já que o arco híbrido apresenta uma maior rigidez em relação ao arco do processo MIG/MAG. Ao entrar no chanfro, parte do arco é direcionado para o centro do chanfro, é formada uma região de maior pressão próxima as paredes e uma de menor pressão próxima ao arco híbrido, que por consequência, direciona as gotas para o centro do chanfro, assim como esquematizado na Figura 7.7. Outra fonte de estabilização pode ser proveniente dos campos magnéticos gerados, mas como essa discussão foge ao escopo deste trabalho, fica como sugestão para uma investigação futura.

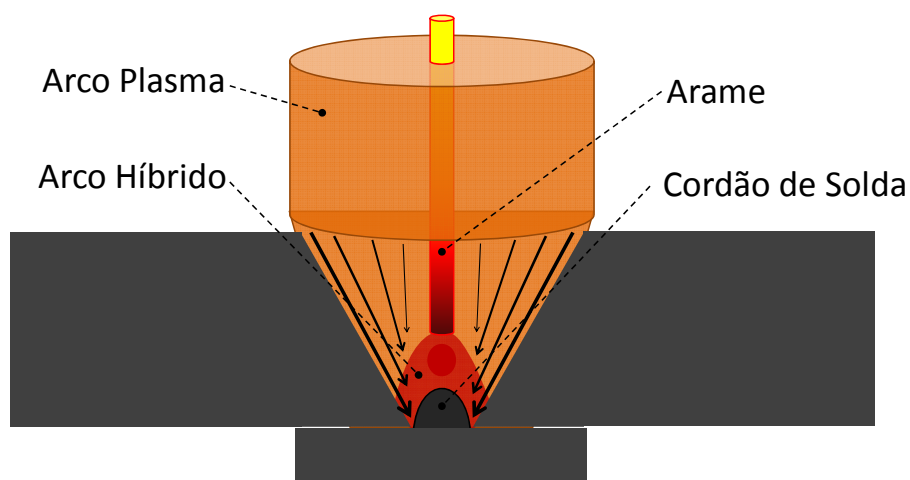


Figura 7.7 – Esquema de direcionamento das gotas pelo arco Plasma.

Uma vez que a expectativa de obter um cordão regular com o processo Plasma-MIG nas condições de cordão irregular obtidas por Pereira (2000) para o processo

MIG/MAG não foi contemplada, também foram realizados experimentos para a condição regular de Pereira (2000), ensaios 7.19 a 7.22. Como resultado, os cordões passaram da condição regular (ensaio 7.19) para cordões convexos (ensaios 7.20 a 7.22), similares ao da Figura 7.5. Como conclusão parcial, a presença da corrente Plasma reduz o valor da máxima relação entre Velocidade de Soldagem e Alimentação em que é possível soldar e obter um cordão regular, pelo menos para as condições deste trabalho.

Foram conduzidos os testes 7.23 a 7.26, para encontrar, para o processo Plasma-MIG, a região acima da qual os cordões são irregulares e/ou apresentam convexidade excessiva, e abaixo da qual os cordões são regulares. Para uma melhor visualização, os resultados foram apresentados na Figura 7.8 junto com os resultados de Pereira (2000).

Na figura 7.8, foram reproduzidos os pontos obtidos por Pereira (2000) para a influência do ângulo de abertura do chanfro sobre a irregularidade do cordão, e posteriormente plotados os pontos correspondentes ao processo Plasma-MIG para um ângulo de abertura do chanfro de 60°. O que foi observado é que a presença da corrente Plasma (processo Plasma-MIG), deslocou os pontos referentes a abertura de chanfro de 60° para baixo, o que provavelmente também ocorre para os pontos referentes as aberturas de 45° e 90° e a curva deve assumir um formato próximo ao das linhas pontilhadas.

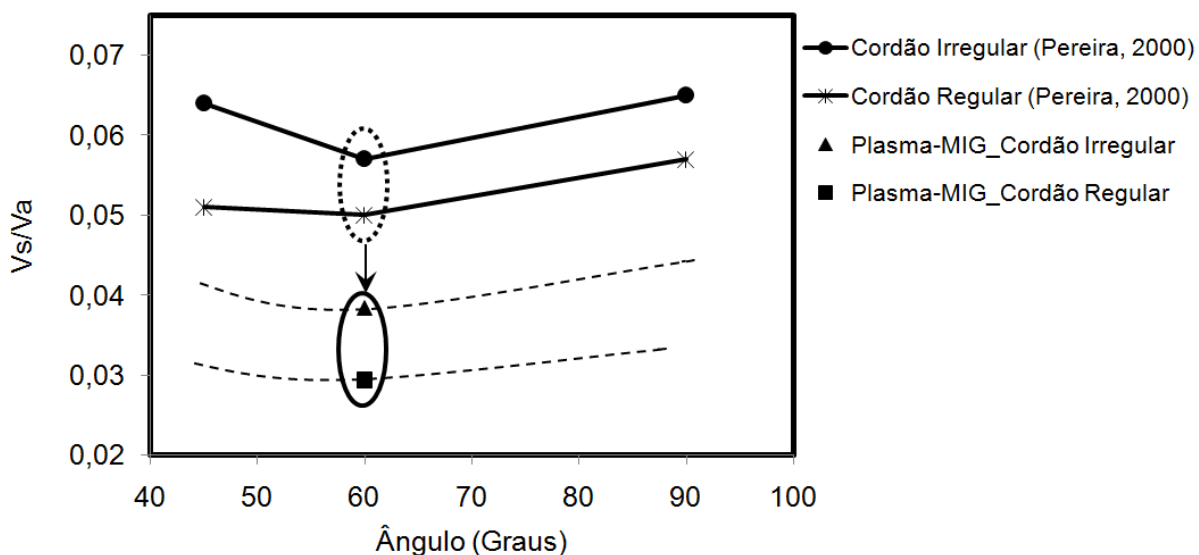


Figura 7.8 – Influência do ângulo de abertura do chanfro sobre a irregularidade do cordão. Uma comparação entre resultados de Pereira (2000) soldando com o processo MIG/MAG e o processo Plasma-MIG.

Na Figura 7.9 estão apresentadas as seções transversais relativas aos ensaios 7.25 e 7.26. Mesmo o Processo Plasma-MIG tendo atingido menores velocidades de

soldagem, ele apresentou algumas características satisfatórias, como uma penetração muito pequena para 60 A e inexistente para 140 A, o que indica que podem ser utilizados cobre-juntas de menores espessuras, o que vai depender de investigações futuras mais detalhadas. Outro ponto satisfatório foi uma boa molhabilidade do cordão com as paredes da junta. Na figura, as linhas pontilhadas indicam a posição da junta antes da soldagem e pode ser observado, principalmente para a Figura 7.9(a), é que a penetração no sentido das paredes do chanfro foram bastante reduzidas. Como pontos negativos podem ser observados a presença de poros na Figura 7.9(a) e falta de fusão na raiz na Figura 7.9(b), e também a fusão parcial da aresta do chanfro na Figura 7.9(b), provocada pelo uso da corrente Plasma.

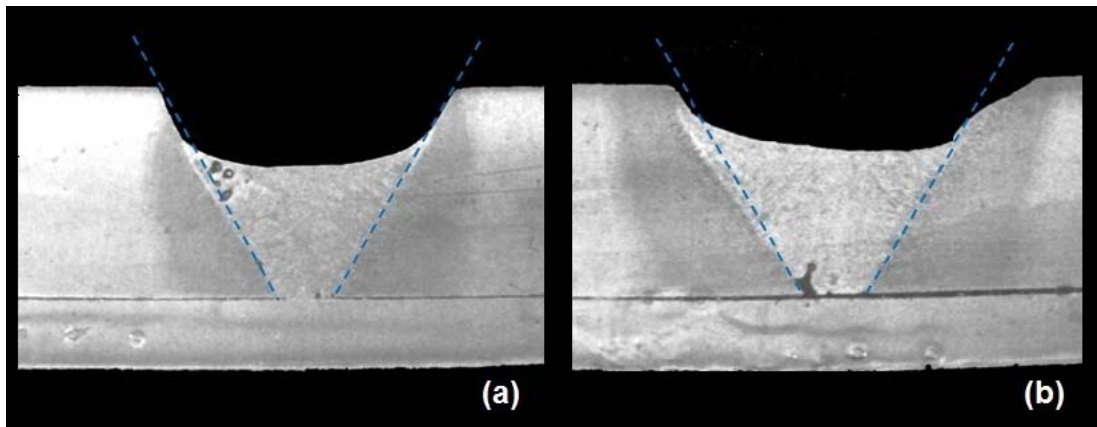


Figura 7.9 - Seção transversal dos ensaios 7.25 e 7.26. (a) 60 A de corrente Plasma e (b) 140 A. Escala: cobre-junta com espessura de 3,17mm.

7.3 Comparação entre a utilização do arame tubular auto-protégido na tocha MIG/MAG convencional e Plasma-MIG

A motivação para utilizar arame tubular auto protegido na tocha para o processo Plasma-MIG, partiu da observação de que ocorre um auto índice de trincas transversais quando o mesmo é utilizado em aplicações de revestimento, utilizando uma tocha para soldagem MIG/MAG convencional. Então, este arame foi avaliado no processo Plasma-MIG com o intuito de verificar se o arco Plasma é capaz de reduzir ou até mesmo eliminar a quantidade de trincas, e também, comparar o efeito sobre os parâmetros geométricos e diluição.

Para fazer tal verificação, foram investigadas três condições de soldagem, com duas repetições cada, resultando em seis cordões. Dois cordões de solda, em condições

iguais, com arame tubular auto-protegido utilizando uma tocha para o processo MIG/MAG convencional, sem a adição de gás de proteção, já que o fluxo presente no núcleo do arame fornece elementos que protegem a atmosfera do arco e do metal fundido. Como no processo Plasma-MIG, os gases de proteção externo, MIG/MAG e Plasma não podem ser suprimidos, já que são necessários para a formação do arco Plasma, também foram realizados, com a tocha MIG/MAG convencional, dois cordões de solda, nas mesmas condições dos anteriores, com o diferencial de que foi utilizada como proteção extra, um fluxo de gás, com o objetivo de eliminar a possibilidade do fluxo de gás estar interferindo na formação de trincas. Por final, foram realizados dois cordões de solda utilizando a tocha Plasma-MIG, com o circuito MIG/MAG nas mesmas condições do processo MIG/MAG convencional e uma corrente Plasma adicional. As combinações estão identificadas na Tabela 7.4.

Para o processo MIG/MAG convencional, a fonte foi regulada para trabalhar com característica estática do tipo corrente constante, com uma corrente de 270 A, e uma velocidade de alimentação de 5,6 m/min e velocidade de soldagem de 0,28 m/min, para os testes com gás de proteção, foi utilizado Ar+8%CO₂ a uma vazão de 14 l/min, estas condições de soldagem resultam num arco curto para uma DBCP de 28 mm. Para o processo Plasma-MIG, também foi utilizado para o circuito MIG/MAG, uma corrente de 270 A e para o circuito Plasma, uma corrente de 120 A. Como a corrente Plasma auxilia na taxa de fusão do eletrodo, a velocidade de alimentação teve que ser compensada para continuar numa condição de arco curto, a velocidade de alimentação utilizada foi de 6,3 m/min, para continuar com um mesmo volume de material depositado, a velocidade de soldagem também foi regulada para 0,32 m/min. A Distância da Tocha a Peça foi regulada em 12 mm, DBCP de 28 mm, Ar como gás MIG a 5 l/min, Ar como gás Plasma a 5 l/min e Ar+8%CO₂ como gás de Proteção a 15 l/min.

As soldas foram realizadas como simples deposição sobre chapa de aço comercial com baixo teor de carbono de dimensões 200x50,8x12,7 mm. Como metal de adição, foi utilizado o arame eletrodo para revestimento duro DIN 32522 – BFB 1 66 AC MPH 10, com 1,6 mm de diâmetro.

Após 48 horas da realização das soldagens dos corpos de prova, foram realizados nos corpos de prova, ensaio não destrutivo por Líquido Penetrante (LP), com o objetivo de identificar trincas transversais na superfície dos corpos de prova. Fotografias das superfícies das chapas após a realização do ensaio por LP estão apresentadas nas Figuras 7.10 a 7.12, nas quais trincas transversais estão identificadas por meio de “setas”.

Tabela 7.4 – Identificação de tocha e gás de proteção para os testes.

Ensaio	Tocha	Gás de proteção
7.27	MIG/MAG	Não
7.28	MIG/MAG	Não
7.29	MIG/MAG	Sim
7.30	MIG/MAG	Sim
7.31	Plasma-MIG	Padrão
7.32	Plasma-MIG	Padrão

A Figura 7.10 corresponde à soldagem com arame tubular auto-protegido utilizando a tocha convencional para o processo MIG/MAG, pode ser observado, que apesar dos dois testes terem sido realizados com os mesmos parâmetros, a quantidade de trincas transversais foram bastante diferentes, 4 no primeiro cordão e 8 no segundo cordão.

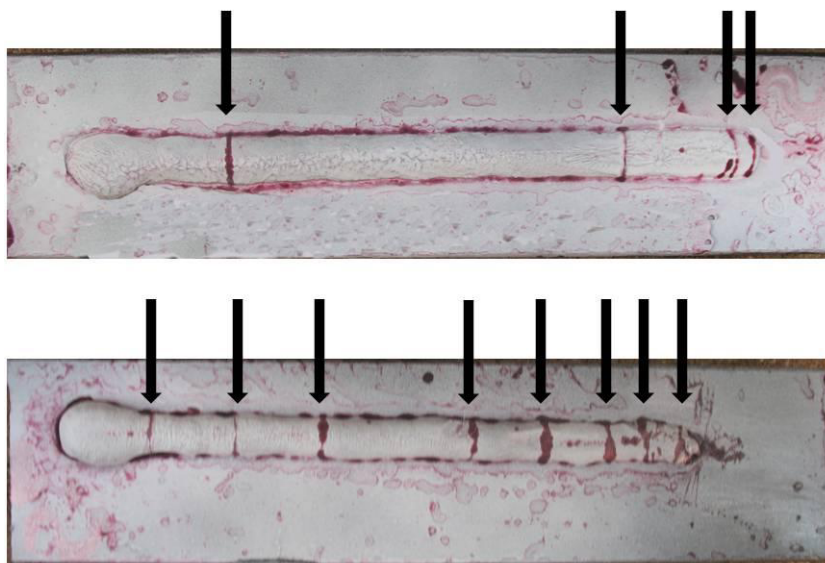


Figura 7.10 – Imagem da superfície das chapas soldadas com arame tubular auto-protegido utilizando tocha MIG/MAG convencional sem fornecimento de fluxo de gás adicional. As setas indicam a presença de trincas transversais. Testes 7.27 e 7.28.

A Figura 7.11 corresponde à soldagem com arame tubular auto-protegido utilizando a tocha convencional para o processo MIG/MAG e com a utilização de uma proteção gasosa extra. Neste caso, ocorreram 9 trincas no primeiro cordão e 8 trincas no segundo cordão.

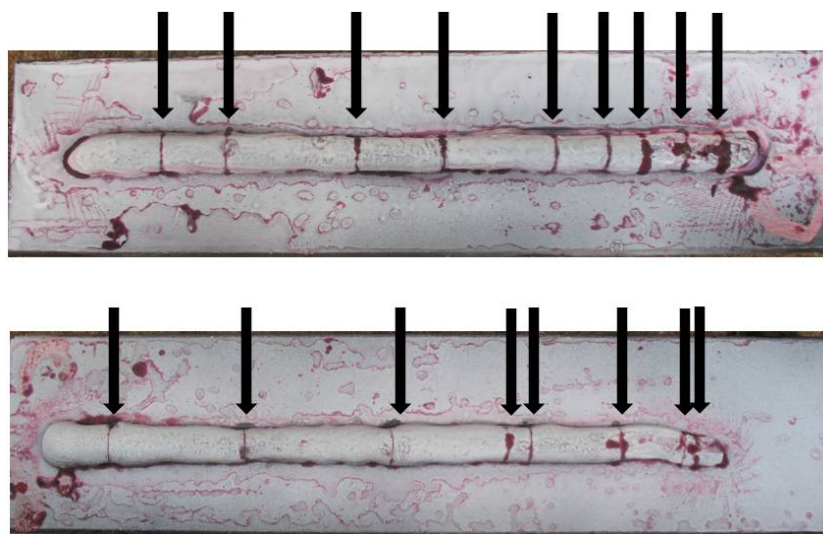


Figura 7.11 – Imagem da superfície das chapas soldadas com arame tubular auto-protegido utilizando tocha MIG/MAG convencional com fornecimento de fluxo de gás adicional. As setas indicam a presença de trincas transversais. Testes 7.29 e 7.30.

A Figura 7.12 corresponde à soldagem com arame tubular auto-protegido utilizando a tocha para o processo Plasma-MIG e 120 A de corrente no circuito Plasma. Neste caso, foram localizadas 5 trincas no primeiro cordão e 8 trincas no segundo cordão. Quando estes experimentos foram realizados, era esperado que a corrente Plasma adicional, promovesse um aquecimento adicional a chapa o que aumentaria o tempo de resfriamento do cordão e o tempo para a acomodação das tensões residuais. No entanto, não foi observada redução na quantidade de trincas na superfície do cordão.

Na Figura 7.13 estão apresentadas fotografias do bocal da tocha Plasma-MIG e do eletrodo Plasma, após a realização dos dois testes deste capítulo, vale ressaltar que o bocal estava isento de respingos e o eletrodo Plasma estava em sua primeira utilização. Foi então observado que a utilização desse tipo de arame no processo Plasma-MIG, acelera o desgaste de partes vitais da tocha (mesmo com o uso da refrigeração), além de aumentar o número de paradas para manutenção (remoção de respingos, aplicação de anti-respingo, substituição do eletrodo Plasma, se necessário).

Mesmo o processo Plasma-MIG não tendo reduzido a quantidade de trincas e acelerado o processo de desgaste da tocha, ainda fica a possibilidade da corrente Plasma reduzir a diluição do cordão de solda na chapa, o que poderia justificar sua aplicação. Para tanto, foram realizadas as medidas dos parâmetros geométricos dos cordões em duas seções de cada uma das chapas. Os resultados estão apresentados nas Figuras 7.14 e 7.15, cada ponto no gráfico corresponde à média de quatro medidas (duas seções

transversais para cada um dos dois corpos de prova). Na Figura 7.16, é apresentada a variação da diluição do cordão de solda no metal de base.

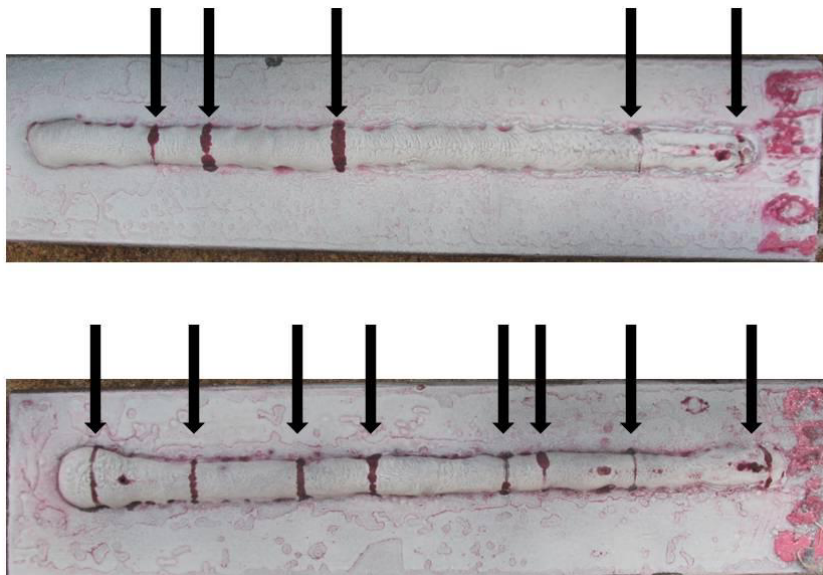


Figura 7.12 - Imagem da superfície das chapas soldadas com arame tubular auto-protegido utilizando tocha Plasma-MIG e corrente no circuito Plasma de 120 A. As setas indicam a presença de trincas transversais. Testes 7.31 e 7.32.

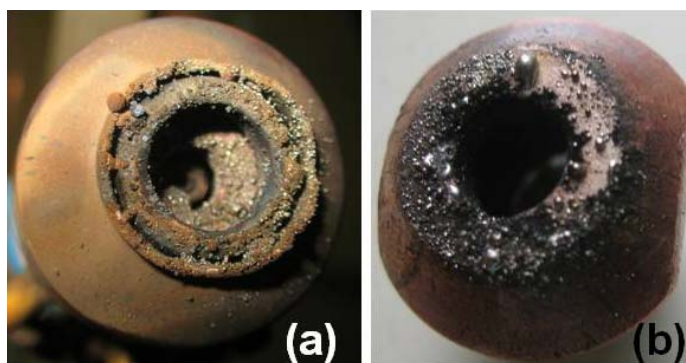


Figura 7.13 – Aspecto do bocal da tocha Plasma-MIG (a) e do eletrodo Plasma (b), após a realização dos dois testes com arame tubular auto-protegido.

Comparando o processo Plasma-MIG com o MIG/MAG convencional, não ocorreu mudança significativa, nem nos parâmetros lineares, nem nos quadráticos. No entanto, a surpresa aconteceu para os testes realizados com uma proteção de gás adicional no MIG/MAG, apesar de ter reduzido a largura e aumentado o reforço, a penetração e diluição diminuíram, o que merece uma investigação futura para uma condição mais ampla de parâmetros de soldagem.

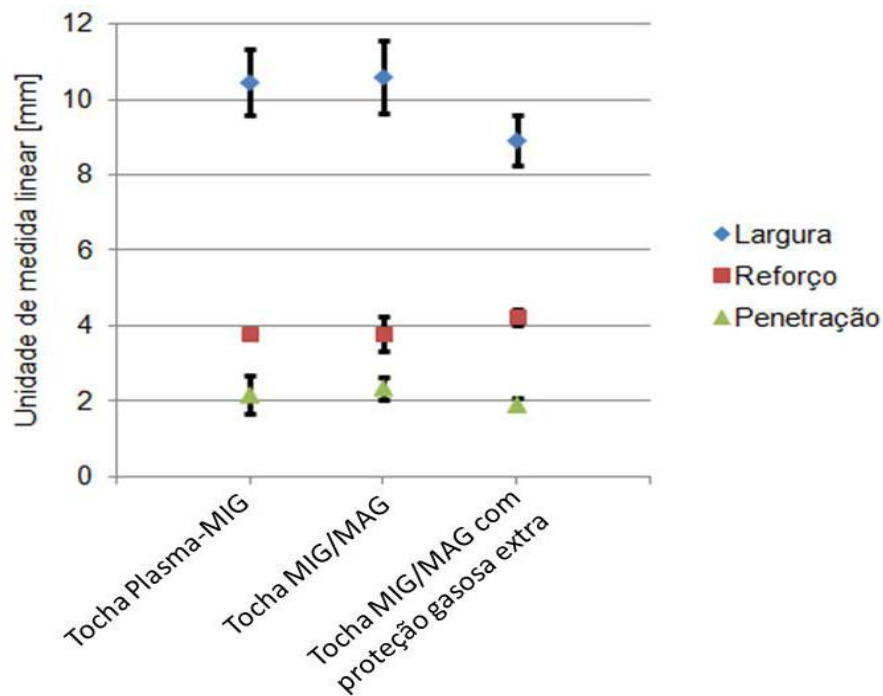


Figura 7.14 – Medidas lineares para as seções transversais dos cordões de solda obtidos para arame tubular auto-protegido utilizando a tocha Plasma-MIG, MIG/MAG convencional e MIG/MAG convencional com proteção gasosa extra.

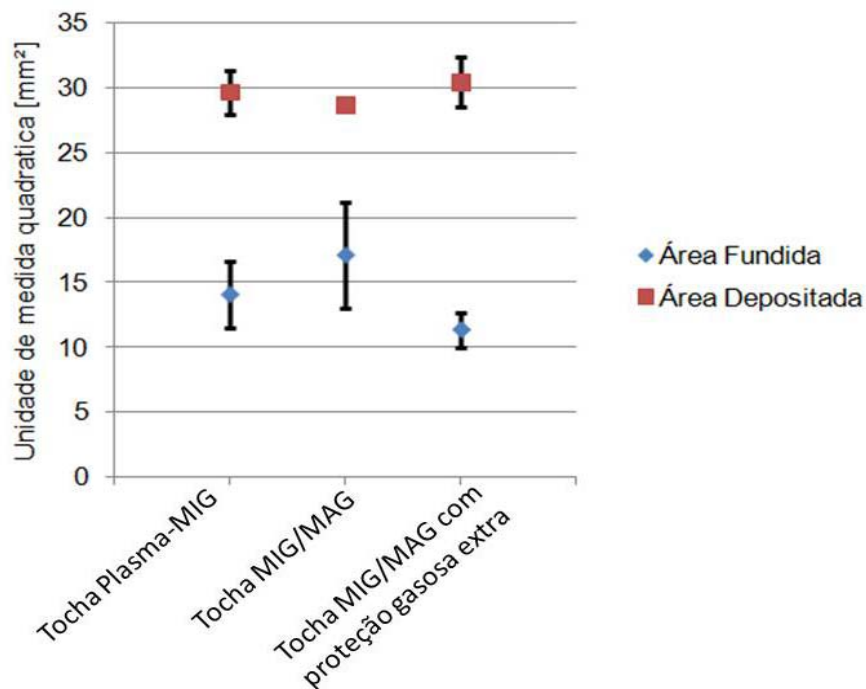


Figura 7.15 - Medidas quadráticas para as seções transversais dos cordões de solda obtidos para arame tubular auto-protegido utilizando a tocha Plasma-MIG, MIG/MAG convencional e MIG/MAG convencional com proteção gasosa extra.

Quanto à diluição (Figura 7.16), o arame tubular auto-protegido, apresentou valor máximo para a tocha MIG/MAG sem proteção gasosa adicional, diluição mínima com a presença de proteção gasosa adicional e um valor intermediário quando utilizado no processo Plasma-MIG.

Quanto à utilização de arame tubular auto-protegido na tocha Plasma-MIG, pelo menos para as condições aqui testadas, não mostrou resultados satisfatórios quanto ao resultado final do cordão de solda, além de ter acelerado de forma bastante significativa o desgaste dos componentes da tocha.

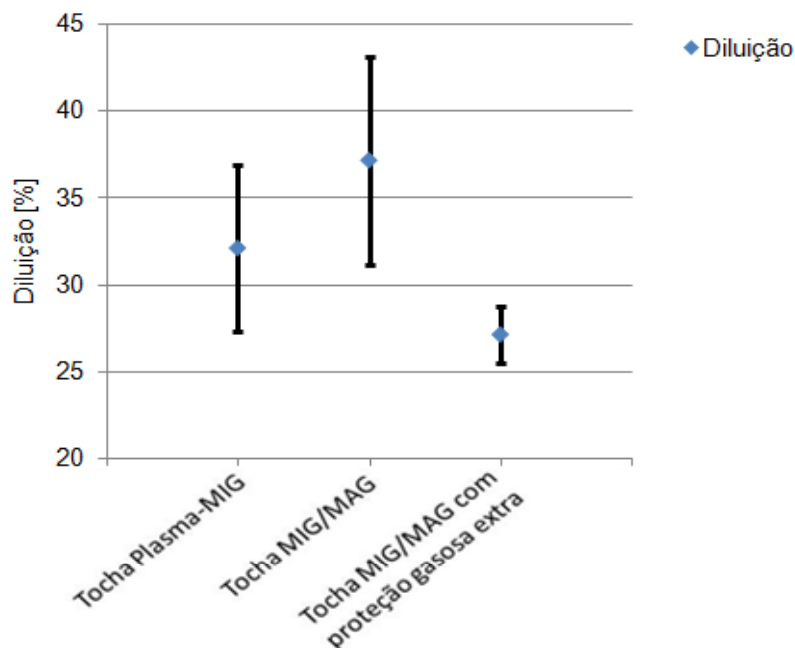


Figura 7.16 - Medidas de diluição do cordão de solda no metal de base para as seções transversais obtidas para arame tubular auto-protegido utilizando a tocha Plasma-MIG, MIG/MAG convencional e MIG/MAG convencional com proteção gasosa extra.

7.4 Considerações finais do capítulo

→ Influência da corrente Plasma na velocidade máxima de soldagem

- A presença da corrente Plasma reduz o valor da máxima relação entre Velocidade de Soldagem e Alimentação em que é possível soldar e obter um cordão regular, pelo menos para as condições deste trabalho;
- A máxima velocidade que foi possível obter um cordão sem a formação de “Humping” (velocidade crítica) foi de 1,1 m/min;
- A velocidade crítica de soldagem diminui com o aumento do comprimento do arco;

→ Comportamento do cordão na soldagem Plasma-MIG em chanfros estreitos

- A presença da corrente Plasma tende a aumentar a convexidade dos cordões de solda;
- O valor da corrente Plasma parece não exercer influência significativa sobre o aspecto final do cordão, ou seja, a presença de uma corrente mínima de 60 A muda drasticamente o aspecto do cordão, mas uma corrente de 140 A praticamente não exerce efeito em relação à corrente de 60 A;
- O desvio do cordão parece ter reduzido de forma considerável, com o processo Plasma-MIG, para os testes investigados nesse trabalho. As gotas de metal fundido eram transferidas diretamente para o fundo da junta e os desvios praticamente eliminados;
- A presença da corrente Plasma reduz o valor da máxima relação entre Velocidade de Soldagem e Alimentação em que é possível soldar e obter um cordão regular, pelo menos para as condições deste trabalho.

→ Comparação entre a utilização do arame tubular auto-protegido para aplicações em revestimentos duro DIN 32522 – BFB 1 66 AC MPH 10, na tocha MIG/MAG convencional e Plasma-MIG

- A utilização desse tipo de arame no processo Plasma-MIG não reduziu a formação de trincas transversais;
- A utilização desse tipo de arame no processo Plasma-MIG não influenciou os parâmetros geométricos do cordão de solda, tampouco, reduziu a diluição;
- A utilização desse tipo de arame no processo Plasma-MIG acelera o desgaste de partes vitais da tocha, além de aumentar o número de paradas para manutenção;
- A utilização de arame tubular auto protegido com uma proteção gasosa extra na tocha MIG/MAG convencional modificou os parâmetros geométricos do cordão de solda, além de reduzir a diluição em relação a utilização do mesmo arame, na mesma tocha e sem a proteção gasosa extra.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, com as condições de realização desse trabalho, foi possível chegar às seguintes conclusões:

- ✓ A bancada experimental para o processo Plasma-MIG instalada no Laprosolda/UFU atende aos requisitos para a execução de soldagens utilizando o processo. As principais dificuldades foram identificadas e soluções propostas;
- ✓ O aumento do *valor da velocidade de alimentação (corrente)* diminui a *energia de soldagem para depositar a mesma quantidade de material por unidade de comprimento*;
- ✓ O processo Plasma-MIG oferece uma maior facilidade, em relação ao MIG/MAG, em produzir cordões de solda com diferentes geometrias, utilizando diferentes combinações de corrente nos circuitos Plasma e MIG/MAG;
- ✓ Aumentando a corrente no circuito Plasma, o processo Plasma-MIG reduz a diluição do cordão de solda, indicando que o processo possui potencialidades para ser aplicado em operações de revestimento;
- ✓ A corrente no circuito Plasma contribui na taxa de fusão do eletrodo consumível, devendo ser considerada no ajuste dos parâmetros de soldagem;

- ✓ A corrente no circuito Plasma influencia a característica elétrica do circuito MIG/MAG, o que significa que existem interações entre os circuitos Plasma e MIG/MAG;
- ✓ A corrente no circuito Plasma altera as condições de UGPP do circuito MIG/MAG;
- ✓ A velocidade crítica de soldagem em deposição sobre chapa (sem que ocorra a formação de "Humping"), diminui com o aumento do comprimento do arco;
- ✓ Na soldagem de chanfros estreitos com o processo Plasma-MIG as gotas são transferidas diretamente para o fundo da junta, eliminando o desvio do cordão para as paredes do chanfro;
- ✓ A soldagem com arame tubular auto-protegido aplicado a revestimentos duros DIN 32522 – BFB 1 66 AC MPH 10, utilizando o processo Plasma-MIG não obteve resultados satisfatórios, quando comparado com o MIG/MAG.

CAPÍTULO IX

PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Como forma de complementar os estudos realizados neste trabalho, sugerem-se os seguintes temas:

- ✓ Avaliar o rendimento energético total do processo Plasma-MIG por meio de técnicas de calorimetria;
- ✓ Comparar as energias necessárias para depositar a mesma quantidade de material entre os processos Plasma-MIG e MIG/MAG, assim como realizadas neste trabalho, porém, considerando os rendimentos (ver páginas 66 e 67);
- ✓ Avaliar, por meio da técnica perfilográfica, a influência do processo Plasma-MIG na velocidade final da gota e associar com a variação no perfil do cordão de solda (ver página 71);
- ✓ Estudar a contribuição da corrente Plasma na taxa de fusão do arame, não só para o mesmo comprimento de eletrodo energizado, como realizado neste trabalho, mas com o máximo comprimento do eletrodo que o processo permite operar de forma estável para cada corrente. Esta proposta é justificada por trabalhos encontrados na literatura que indicam que o arco plasma é capaz de estabilizar a transferência metálica para maiores comprimentos de arco e também, para maiores comprimentos livres de eletrodo. (detalhes nas páginas 26 e 28);

- ✓ Estudar o efeito das vazões de gases na geometria do cordão de solda, principalmente relacionada à pressão da coluna de Plasma. Esta avaliação justifica-se no fato de que no processo de soldagem a Plasma, a vazão de gás de Plasma é a principal responsável pelos efeitos mecânicos que atuam sobre a poça de fusão. (ver página 10);
- ✓ Avaliar o processo para as condições em que a transferência metálica ocorra no modo globular, inclusive verificar se o processo é capaz de reduzir o efeito da gota repelida, quando são usadas misturas gasosas com alto teor de CO₂;
- ✓ Verificar a influência a corrente Plasma na região de UGPP do processo MIG/MAG, a fim de concluir as investigações apresentadas no Capítulo VI;
- ✓ Avaliar a possibilidade de utilizar comprimentos de arcos longos em chanfros estreitos;
- ✓ Avaliar a influência da corrente Plasma na faixa de transição globular-goticular do circuito MIG/MAG, para verificar a possibilidade de soldar no modo de transferência goticular com baixos valores de corrente no circuito MIG/MAG;
- ✓ Estudar a estabilidade do processo com a fonte MIG/MAG operando com característica estática de tensão constante;
- ✓ Utilizar espectrometria a fim de avaliar a intensidade de radiação emitida pelo arco híbrido e identificar a composição química do mesmo;
- ✓ Utilizar outros tipos de gases, como por exemplo, H₂ como gás de plasma, uma vez que tem mostrado melhorar o desempenho do processo Plasma, como redução do nível de porosidade, melhoria no aspecto visual do cordão, aumento na velocidade possível de soldar sem a formação do humping;
- ✓ Avaliar o processo Plasma-MIG operando na polaridade negativa (CC⁻) utilizando eletrodo Plasma com insertos de tungstênio;
- ✓ Verificar se a corrente Plasma realmente aumenta a rigidez do arco híbrido (ver pagina 104).

CAPÍTULO X

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AWS - AMERICAN WELDING SOCIETY **Plasma arc welding**. In: Welding Handbook, 8th ed., vol. 2, 1991. p. 329 - 350.

CHIGAREV, N. A. et al. Features of electrode wire melting in surfacing by Plasma-MIG process. **The Paton Welding Journal**. Vol. 8. 2001. p. 10-12.

CUNHA, T. V. et al. Processo Plasma-MIG – Contribuição do arco plasma na capacidade de fusão do arame. In: XXXII CONSOLDA, 02 a 05 de Out. de 2006, Belo Horizonte-MG. **Anais...** Belo Horizonte: ABS, 2006. 1 CD-ROM.

DYKHNO, I.; DAVIS, R. Joining GMAW and GTAW. **The FABRICATOR**. Nov. 2006. p. 60-62.

ESSERS, W. G; JELMORINI, G; TICHELAAR, G. W. Arc characteristics and metal transfer with Plasma-MIG welding. **Metal Construction and British Welding Journal**. Dec. 1972. p. 439 - 447.

ESSERS, W. G. **Method of and device for plasma mig welding**. United States Patent nº: 4,233,489. Apr. 10 1978, Nov. 11, 1980.

ESSERS, W. G.; WALTER, R. Some Aspects of the penetration mechanisms in metal-inert-gas (MIG) weldind. **Arc Physics and Weld Pool Behavior**. The Weld Institute - Cambridge. 1980.

ESSERS, W.G. et al. Plasma-MIG welding – a new torch and arc starting method. **Metal Construction**. jan. 1981. p 36-42.

ESSERS, W. G.; WALTER, R. Heat Transfer and Penetration Mechanisms with GMA and Plasma-GMA Welding. **Welding Journal**, vol. 60, pp. 37-42, 1981.

FERREIRA, A. B. H. **Novo dicionário eletrônico aurélio**. Versão 5.0. 3ª. edição, 1ª. Impressão. 2004. CD-ROM.

HARRIS, I. D. Plasma-MIG Welding. In: ASM Metals HandBook Volume 6 - Welding, Brazing, and Soldering. 1994a.

HARRIS, I. D. Plasma Arc Welding. In: ASM Metals HandBook Volume 6 - Welding, Brazing, and Soldering. 1994b.

Hyun Cho, M; Farson, D. F. Understanding Bead Hump Formation in Gas Metal Arc Welding Using a Numerical Simulation. **Metallurgical and Materials Transactions B**. Volume 38, Number 2. ISSN1073-5615 (Print) 1543-1916 (Online). April, 2007. p 305-319.

JELMORINI, G et al. Welding characteristics of the Plasma-MIG process. **Metal Construction**, nov. 1975. p. 568 – 572.

KEOCHEGUERIAN, F.; RESENDE, A. A.; VILARINHO, L. O. Influência dos teores de CO₂ e O₂ na corrente de transição Globular-Goticular utilizando misturas a base de argônio durante a soldagem GMAW de arame ER70S-6. In: XXXIII CONSOLDA - Congresso Nacional de Soldagem, 27-30 de Agosto, 2007, Caxias do Sul - RS. **Anais...** CD-ROM do XXXIII CONSOLDA, 2007. p. 1-3.

KIM, Y. S.; EAGAR, T.W. Metal transfer in pulsed current gas metal arc welding. **Welding Journal**, Jul. 1993. p. 279-287.

LYTTLE, K. A.; STAPON, F. G. Select the best shielding gas blend for the application. **Welding Journal**. nov. 1990. p 21-27.

LUCAS, W.; IORDACHESCU, D.; PONOMAREV, V. Classification of metal transfer modes In GMAW, **IIW Doc.** No XII-1859-05, 2005, 9p.

MAKARENKO, N. A.; GRANOVSKY, A. V.; KONDRASHOV, K.A. Improvement of technological characteristics of Plasma-MIG surfacing using flux-cored wire. **The Paton Welding Journal**, vol. 6. 2001. p. 43-45.

MATTHES, K; KOHLER, T. Electrical effects and influencing quantities in the case of the hybrid plasma-MIG welding process. **Welding and Cutting**, Feb. 2002. p. 87 – 90.

MESSLER, R. W. Jr. What's next for hybrid welding. **Welding Journal** 83 (3). Mar 2004. p 30-34.

MIRANDA, H. C. **Reconhecimento e controle da transferência metálica no processo MIG/MAG pulsado**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG. 2002.

NASCIMENTO et al. Avaliação dos métodos de cálculo de potência elétrica em soldagem a arco e as conseqüências sobre as previsões geométricas, térmicas e metalúrgicas da junta. **Revista Soldagem e Inspeção**. São Paulo, Vol. 12, Nº. 2, p.97-106. Abr/Jun. 2007.

NORRISH, J. **Advanced welding process**. IOP Publishing Ltd, 1992. 375 p. ISBN:0-85274-325-4.

OLIVEIRA, M. A. **Desenvolvimento do processo de soldagem híbrido Plasma-MIG para operações de soldagem e brasagem**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2006. 148f.

OLIVEIRA, M. A.; DUTRA, J. C. Electrical Model for the Plasma-MIG Hybrid Weld Process. **Welding and Cutting**. nº6. 2007. p 324-328.

OKUMURA, T.; TANIGUCHI, C. **Engenharia de Soldagem e Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC. 1982. 461 p.

PEREIRA, W. A. **Estudo da formação irregular do cordão em soldagem GMAW pulsada com chanfro estreito**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG. 2000.

PINFOLD, B. E.; JUBB, J. E. M. Plasma Arc Welding: Part 2. **Welding and Metal Fabrication**, Dec. 1973. p. 422 – 424.

PINFOLD, B. E.; JUBB, J. E. M. Plasma Arc Welding: Part 3. **Welding and Metal Fabrication**, Feb. 1974. p. 65 - 67.

REIS, R.; SCOTTI, A. **Fundamentos e prática da soldagem a plasma**, Artliber Editora, 1^a ed., 2007. ISBN 978-85-88098-39-8. 147p.

RODRIGUES, C. E. A. L. **Avaliação cinemática e dinâmica da transferência metálica na soldagem MIG/MAG**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2007. 150 f.

RICHETTI, A. **Análise e modelagem empírica do processo de soldagem a plasma com keyhole em aço inoxidável**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG. 2003. 278f.

SCOTTI, A. **Process modelling to establish control algorithms for automated GMAW**. PhD Thesis. Cranfield Institute of Technology, UK. 270f. 1991.

SILVA, C. L. M. **Avaliação da técnica de pulsação térmica na soldagem de alumínio**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG. 2003.

SOUZA, D.; RESENDE, A. A.; SCOTTI, A. Um modelo qualitativo para explicar a influência da polaridade na taxa de fusão no processo MIG/MAG. In: 4^o COBEF - Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Estância de São Pedro – SP. **Anais...** Estância de São Pedro – SP. 2007. 10p.

SLV. Plasma MSG Schweißen. Disponível em:< <http://www.slv-muenchen.de/data/alle-Geraeteflyer-Schutzgas.pdf>> Acesso em: 28 out 2008. 5 p.

SUBRAMANIAM, S et al. Experimental approach to selection of pulsing parameters in pulsed GMAW. **Welding Journal**, May. 1999. p 166-172.

TANAKA, M.; et al. Characteristics of ionized gas metal arc processing. **Surface & Coatings Technology**. Vol. 202. Jun. 2008. p 5251-5254.

TON, H. Physical properties of the Plasma-MIG welding arc. **Applied Physics**, vol 8 (4). 1975. p. 922-933.

VILARINHO, L. O. Modos Fundamentais de Transferência Metálica: Naturais e Controlados. **Revista da Soldagem**, 10 maio 2007. p. 14 – 19.

YENNI, D. M.; WILLIAMSVILLE, N. Y. **High pressure arc procces and aparratus** United States Patents Office. Patent nº:2,847,555. Oct 11, 1955, Aug. 12, 1958.

ANEXO A

GUIA DE OPERAÇÃO DO PROCESSO PLASMA-MIG NO LAPROSOLDA/UFU

A.1 Objetivo

O objetivo deste guia é apenas o de fornecer as informações básicas e essenciais para a operação do processo Plasma-MIG instalado no Laprosolda/UFU. Portanto, as informações aqui presentes devem ser utilizadas apenas como um suporte para o usuário, o que não substitui sua experiência prévia.

A ordem de apresentação dos itens deste anexo segue a uma seqüência lógica para a montagem do equipamento e execução de uma solda, o que não proíbe, para algumas etapas, que o usuário a faça em outra ordem, desde que tenha consciência da ação.

Este anexo pode ser considerado tanto de forma individual, já que contém informações suficientes para montar e executar o processo, ou também em conjunto com o restante do texto desta dissertação. O último caso é o mais recomendado, já que inclui a experiência prévia do autor.

A.2 Equipamentos Essenciais

Na sua forma mais simples, o processo Plasma-MIG pode ser executado apenas com os equipamentos básicos mostrados de forma genérica e esquemática na Figura A.1. Na seqüência da figura, são listados os equipamentos através dos correspondentes números.

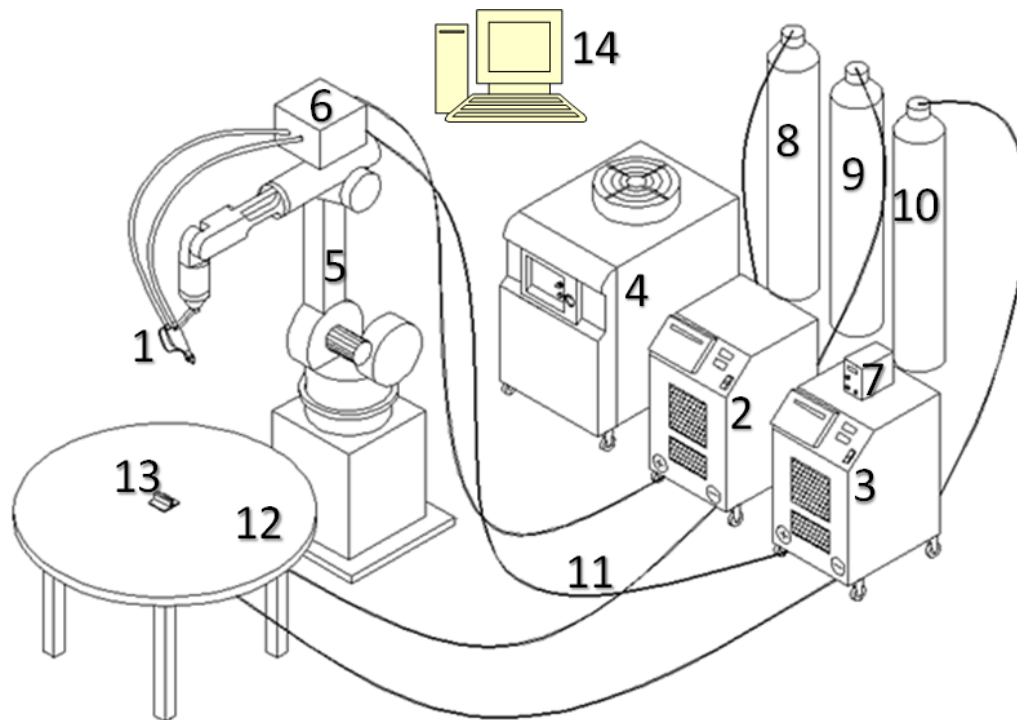


Figura A.1 – Bancada experimental esquemática.

- 1 - Tocha Plasma-MIG;
- 2 - Fonte MIG/MAG;
- 3 - Fonte Plasma;
- 4 - Unidade de refrigeração de água;
- 5 - Robô;
- 6 - Cabeçote alimentador;
- 7 - Interface responsável pelo controle do cabeçote alimentador;
- 8 - Gás Plasma;
- 9 - Gás MIG/MAG;
- 10 - Gás de Proteção Externa;
- 11 - Cabos de corrente;
- 12 - Mesa para os corpos de prova;
- 13 - Junta a ser soldada;
- 14 - Computador de controle.

Na seqüência, é mostrada uma fotografia do “lay out” da bancada experimental utilizada no Laprosolda/UFU. Na seqüência da figura, são listados os equipamentos através dos correspondentes números.



Figura A.2 – Fotografia da bancada experimental utilizada.

- 1 - Tocha Plasma-MIG fabricação da empresa TBi;
- 2 - Fonte MIG/MAG, modelo Digitec 300;
- 3 - Fonte Plasma, modelo Inversal 400;
- 4 - Unidade de água gelada UMAG;
- 5 - Gases para o processo;
- 6 - Sistema de controle para o processo, no qual é executado o programa “P-MIG”;
- 7 - Sistema de aquisição de sinais elétricos, no qual é executado o programa “Aquisicao_PM.vi”;
- 8 - Medidores de vazão para os gases Plasma e MIG/MAG;
- 9 - Interface responsável pelo controle do cabeçote alimentador;
- 10 - Cabeçote alimentador com capacidade de fazer o retrocesso do arame;
- 11 – Robô Motomam, modelo HP 20.

Com todos os equipamentos e acessórios posicionados de acordo com o esquema da Figura A.1 e fotografia da Figura A.2., os mesmos já podem ser conectados e ligados.

A.3. Tocha Plasma-MIG

A tocha Plasma-MIG, deve ser fixada ao punho do robô, através de um sensor de impacto e de um suporte, todos de fabricação da empresa TBi, de acordo com a Figura A.3. NÃO SE ESQUECER DE CONECTAR O SENSOR DE IMPACTO A TOCHA.

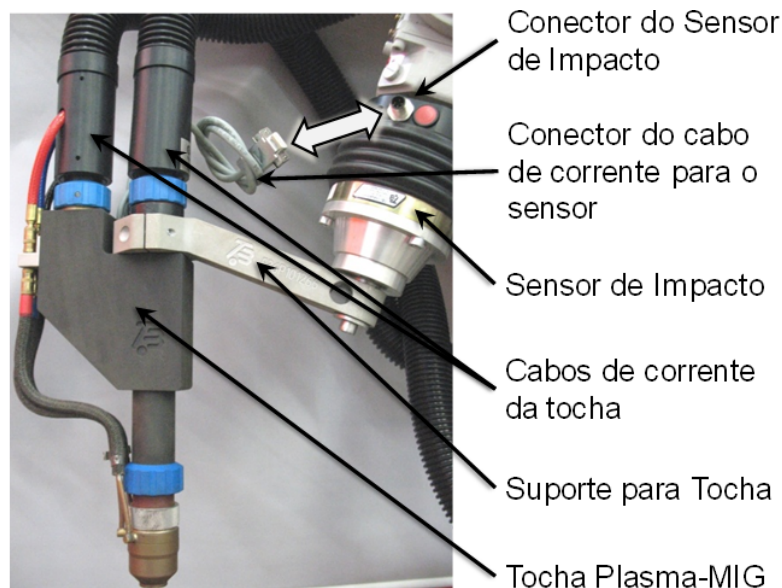


Figura A.3 – Esquema de montagem da tocha Plasma-MIG no punho do robô.

Feita a fixação da tocha no punho do robô, os cabos de corrente, mangueiras de gases e de água de refrigeração devem ser conectados ao cabeçote alimentador. Na Figura A.4 é mostrado à esquerda o cabeçote sem nada conectado e a direita com todos os cabos já conectados. Na sequência segue a descrição de como devem ser conectados cada item da Figura A.4.

1 - Corresponde ao conector engate rápido 9 mm fêmea, no qual deve ser conectado o cabo de corrente referente a parte Plasma da tocha Plasma-MIG;

2 - Corresponde ao “Euro Conector” fêmea, onde deve ser conectado o cabo MIG/MAG da tocha Plasma-MIG;

3 - Correspondem aos engates rápidos para as mangueiras de refrigeração, que deve ser conectada respeitando a respectiva correspondência entre as marcações localizadas nas próprias mangueiras e as cores indicadas na placa (5) localizada junto aos conectores;

4 - Correspondem aos engates rápidos para as mangueiras de gases Plasma e proteção externo;

5 – Corresponde à placa com identificação por cores dos engates rápidos.

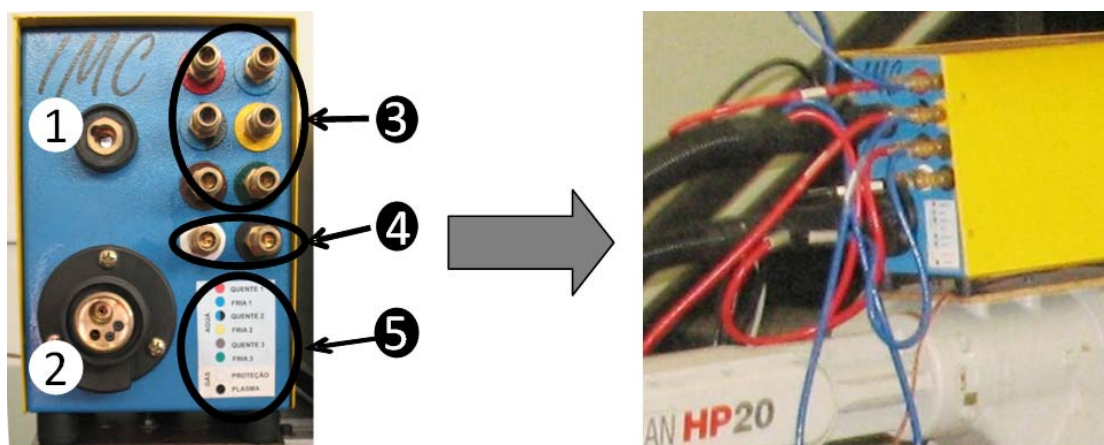


Figura A. 4 – Esquema de montagem dos cabos de corrente, gases e de refrigeração no painel do alimentador.

Feita a montagem da tocha e seu conjunto de cabos até o cabeçote alimentados, eles devem ser agora conectados ao computador de controle, a interface de controle do cabeçote alimentador às duas fontes de soldagem e aos cilindros de gases. Os procedimentos estão na seqüência.

A.4 Fontes de Soldagem

A.4.1 Cabos de corrente

As fontes utilizadas para o processo são a Digitec 400 e Inversal 300, o que não impede a utilização de outros modelos, desde que sejam compatíveis. Na parte traseira das fontes, devem ser conectados os cabos da tocha na polaridade positiva e os cabos terra na polaridade negativa, o que não impede de serem utilizadas outras polaridades.

A.4.2 Mangueiras para gases

Devem também ser conectadas as entradas e saídas de gases, com a particularidade que a fonte responsável pela parte Plasma do processo possui uma entrada e uma saída adicional para gases, que neste caso deve ser utilizada para conectar as mangueiras referentes ao gás de proteção externo.

A.4.3 Refrigeração para o processo

Como deverá ser utilizado um sistema de refrigeração externo, e não os das fontes, AS ENTRADAS E SAÍDAS DE ÁGUA DEVEM SE “CURTO-CIRCUITADAS” por uma mangueira para água como na Figura A.5. Esse procedimento é importante para evitar avarias no funcionamento das bombas para circulação de água.



Figura A.5 – Esquema para “curto-circuitar” o sistema de refrigeração das fontes

A.4.4 Modos de operação

→ Fonte MIG/MAG: Na parte traseira da fonte MIG/MAG (Digitec 300) deve ser conectado o cabo de controle, de acordo com a Figura A.6-A, posteriormente, com a fonte ligada, selecionar no painel de controle da fonte o modo Remoto.

Início > Configurar > Modo Remoto.

→ Fonte Plasma: Na parte frontal da fonte Plasma (Inversal 400), deve ser conectado o cabo de controle, de acordo com a Figura A.6-B, e a chave seletora deve estar posicionada para operar no modo remoto.

Mesma estando a fonte selecionada para operar no modo remoto, deve ser selecionado no painel de controle a opção TIG/Plasma - CC/CC Pulsada e a rampa de efeito indutivo posicionada em 1.

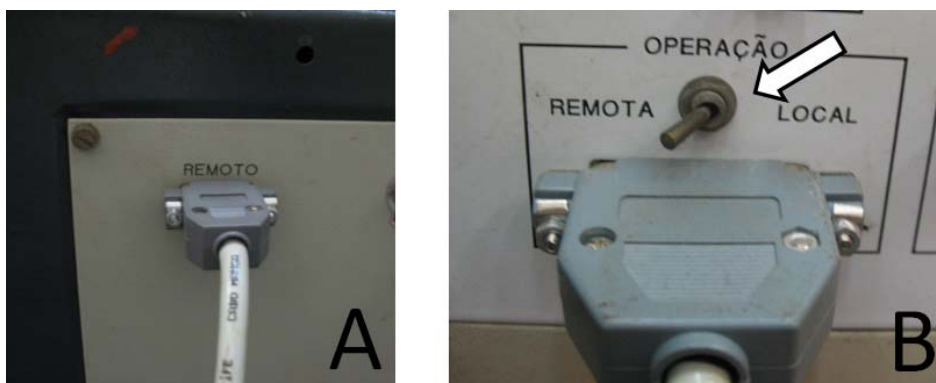


Figura A.6 – Cabos de controle conectados às fontes MIG/MAG (A) e Plasma (B).

A.5 Medidores de Vazão

Como o processo Plasma-MIG opera com vazões baixas para os gases Plasma e MIG/MAG, é conveniente utilizar medidores com faixa de operação de 3 a 8 l/min (Figura A.7-A) em substituição aos indicadores de vazão dos reguladores de pressão (Figura A.7-B) instalados nos cilindros de gases. Para o gás externo, a indicação de vazão do regulador de pressão, é suficiente.

Ambos os sistemas de medição de vazão, devem ser calibrados para o conjunto de mangueiras e fontes utilizadas. No caso de substituição, supressão ou adição de mangueiras ou quaisquer outros equipamentos nos circuitos de gases, uma nova calibração deve ser feita.

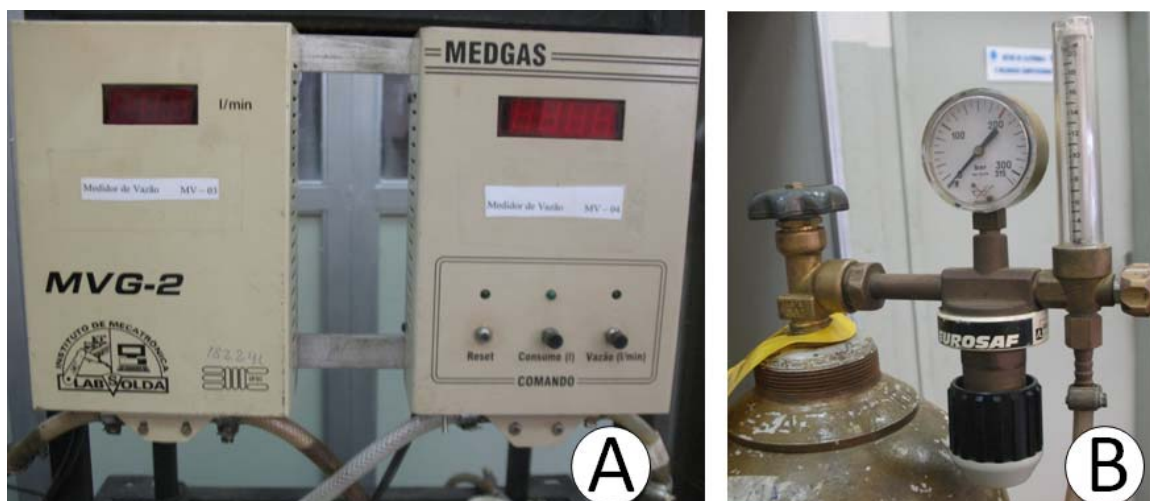


Figura A.7 – Medidores de vazão (A) e reguladores de pressão (B).

A.6 Sistema de Refrigeração de Água

Para reduzir o desgaste dos componentes da tocha provocados pelas altas temperaturas geradas na região do arco de solda, deve ser utilizado um sistema independente de água gelada, mostrado na Figura A.8.

Antes de realizar a partida, devem ser conectadas as mangueiras de circulação de água nos correspondentes engates rápidos. Conectar as mangueiras identificadas como “Água Fria” no lado correspondente à saída de água do equipamento que está identificado pela cor azul. Conectar também as mangueiras identificadas como “Água Quente” no lado correspondente ao retorno de água para o equipamento, que está identificado pela cor vermelha.



Figura A.8 – Sistema de refrigeração de água.

Estando as mangueiras conectadas, a válvula de gaveta (Figura A.9-A) deve ser totalmente aberta. Do mesmo modo, a válvula de esfera (Figura A.9-B) deve ser aberta para garantir a reposição da água do reservatório da unidade, mesmo o sistema sendo fechado, ocorrem perdas, portanto, esta válvula deve sempre estar aberta quando o equipamento estiver em operação.

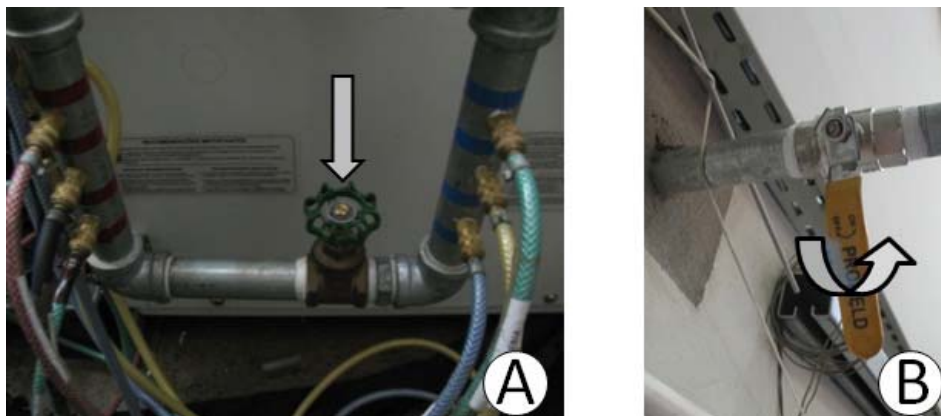


Figura A.9 – Sistema de distribuição de água gelada com válvula de gaveta para controle de vazão (A) e válvula para fornecimento de água de reposição (B).

Todas as providências tomadas, o equipamento pode então ser ligado, de acordo com a seqüência indicada na Figura A.10:

1º - Gire o botão de **Comando** para a posição **Liga** (1);

- 2º - Pressione as teclas de incremento (▲) e decremento (▼) para realizar o “**Teste de Lâmpadas**” e certificar se os leds e o sinal sonoro estão funcionando (2). O sinal sonoro tem a função de avisar o usuário de qualquer problema na operação do equipamento, como por exemplo, falta de água no reservatório;
- 3º - Ajuste a temperatura de trabalho pressionando simultaneamente as teclas “*Set Point*” e incremento (▲) ou decremento (▼). A temperatura de 17 °C apresenta resultados satisfatórios;



Figura A.10 – Painel do sistema de água gelada.

Agora que a bomba está em funcionamento e a temperatura da água ajustada, a válvula de gaveta (Figura A.9-A) deve ser fechada gradativamente até o manômetro (Figura A.10) indicar uma pressão na faixa de 3,5 a 4,5 Kg/cm².

A.7 Sistema de controle

A.7.1 Instalação

Nas fontes, o sistema de controle deve ser conectado como anteriormente mostrado no item A.4.4. Também devem ser conectados os sensores de vazão que estão afixados na lateral do sistema de refrigeração de água (Figura A.11).

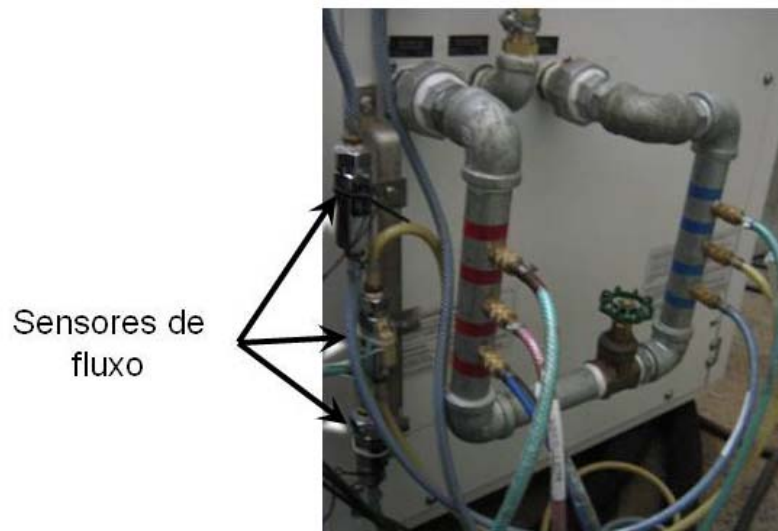


Figura A.11 – Sensores de fluxo.

Na Figura A.12 é apresentada a interface entre o cabeçote alimentador e o usuário e/ou PC. Se a fonte estiver selecionada para operar no modo *Local*, a velocidade de alimentação pode ser regulada no potenciômetro localizado no painel (1), e os cabos de interface com o cabeçote (5) e fonte MIG/MAG (7) devem estar necessariamente conectadas.

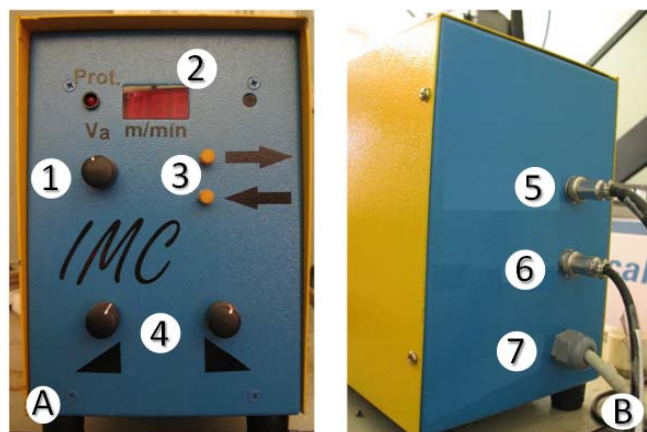


Figura A.12 – Vista frontal (A) e traseira (B) da interface do cabeçote alimentador.

- 1 – Potenciômetro de ajuste da velocidade de alimentação;
- 2 – Display indicativo da velocidade de alimentação, em m/min;
- 3 – Botões de avanço e retrocesso rápido do arame;
- 4 – Rampas de subida e descida do arame;
- 5 – Interface com o cabeçote;
- 6 – Interface com o sistema de controle (PC);
- 7 – Interface com a fonte MIG/MAG.

Para que seja possível executar o programa “P-MIG”, também deve ser conectada a interface com o computador (7) e a fonte deve estar selecionada para operar no modo Remoto.

No computador, os conectores devem ser conectados de acordo com as indicações da Figura A.13. Todos os cabos e conectores no computador estão devidamente identificados.

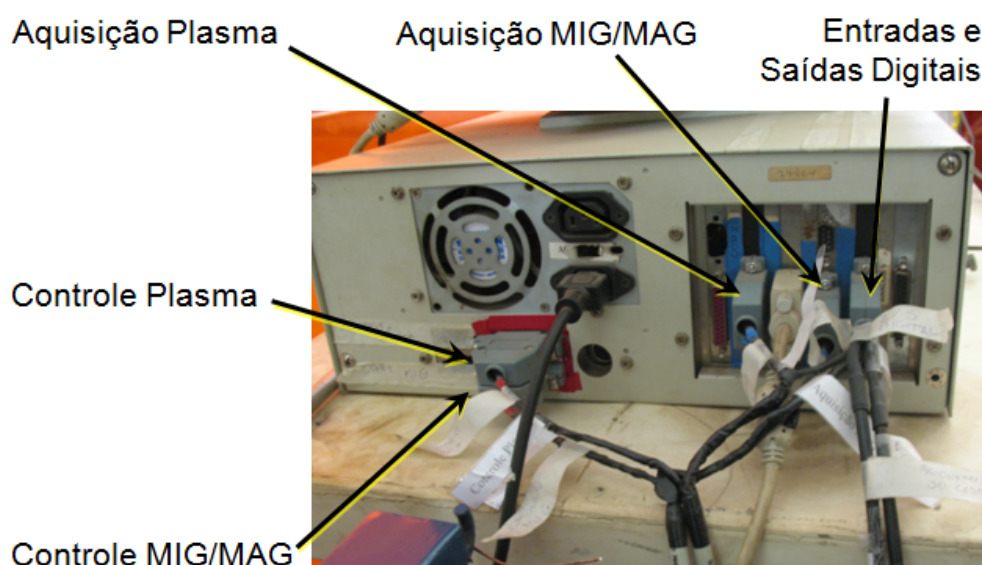


Figura A.13 – Posicionamento dos conectores no computador de controle.

Com todo o sistema ligado, já é possível ajustar os parâmetros de solda no programa “P-MIG”.

A.7.2 Operação

Primeiramente o computador deve ser ligado em ambiente DOS. Em seguida, deve ser executado o arquivo ‘*pmigv221.exe*’, na sequência será apresentada a tela do programa P-MIG versão v2.21 (Figura A.14).

Neste programa, é possível realizar a regulação dos parâmetros listados na sequência, que permitem que as fontes operem apenas com característica estática de corrente constante. Quando o usuário desejar soldar com corrente contínua e constante, é necessário atribuir valores iguais para os parâmetros de base e de pulso, exceto para os tempos, que neste caso não necessitam de regulações:

- Parâmetros MIG/MAG:
 - Corrente MIG/MAG de Pulso;
 - Corrente MIG/MAG de Base;
 - Tempo do Pulso MIG/MAG;
 - Tempo da Base MIG/MAG;
 - Velocidade do Arame;
- Parâmetros Plasma:
 - Corrente Plasma de Pulso;
 - Corrente Plasma de Base;
 - Tempo do Pulso Plasma;
 - Tempo da Base Plasma;
 - Tempo da rampa de descida.
- Parâmetros do 'Soft Start':
 - Corrente Plasma de Pré-Aquecimento;
 - Tempo de Pré-Aquecimento;
 - Tempo de defasagem entre os pulsos de corrente Plasma e MIG/MAG;
 - Corrente de abertura;
 - Velocidade de aproximação e retrocesso do arame.

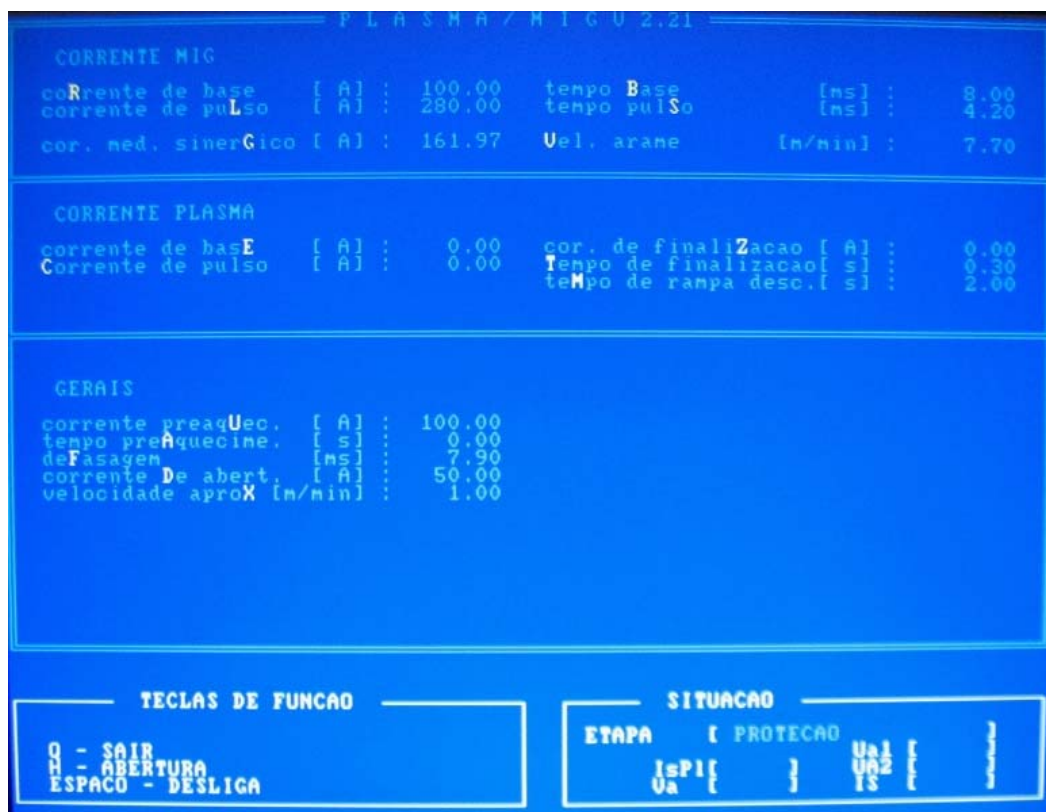


Figura A.14 – Tela de apresentação do programa P-MIG, versão 2.21.

O operador deve lembrar que quando a fonte está operando com característica estática de corrente constante, a taxa de fusão do eletrodo deve ser bem conhecida. Se a velocidade de alimentação for regulada para um valor muito baixo, o arco fica muito longo e pode atingir o bico de contato MIG/MAG. Por outro lado, se a velocidade de alimentação for regulada para um valor muito alto, o arco pode ficar muito curto e gerar curtos-circuitos, ou até mesmo não ser fundido e formar o chamado “*ninho de passarinho*”.

Portanto, é recomendado partir de valores de velocidade de alimentação e corrente de soldagem (Plasma e MIG/MAG, ou somente MIG/MAG) já conhecidos da literatura e ajustar gradativamente os valores até chegar a uma condição de operação desejável.

→ Para abrir o arco, aperte a tecla “H”;

→ Para desligar o arco, aperte a tecla “ESPAÇO”;

→ Se o sensor de fluxo estiver desconectado, ou a unidade de água gelada desligada, um sinal sonoro é acionado e o programa “P-MIG” não pode ser executado.

Quando o arco estiver aberto e estabilizado, o movimento de deslocamento da tocha através do robô deve ser acionado pelo controlador NX-100. Se necessário, o usuário pode consultar o manual de programação básica do controlador NX100 (versão impressa) ou o manual de programação completo (versão em CD).

ANEXO B

GUIA PARA MEDIÇÃO DE PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DE CORDÃO DE SOLDA UTILIZANDO O PROGRAMA IMAJEJ

B.1 Introdução

Para as medidas dos parâmetros geométricos da seção transversal dos corpos de prova foi utilizado o programa gratuito ImageJ, que permite a realização de medidas lineares e de área, dentre outras funções. É importante ressaltar, que o objetivo é de apenas apresentar as funções necessárias para medir os parâmetros do cordão de solda, e não de explorar toda as funções e potencialidade do programa.

O download está disponível no endereço eletrônico <http://rsb.info.nih.gov/ij/download/>, após a instalação, o programa estará disponível no menu *Iniciar* de seu computador.

B.2 Utilizando o Programa ImageJ

Para utilizar o programa ImageJ, é necessário primeiramente obter as imagens digitais das seções transversais, juntamente com uma escala ou uma distância conhecida, que servirá como padrão para a calibração do programa.

Ao abrir o programa ImageJ, aparecerá uma barra de ferramentas, conforme Figura B.1.

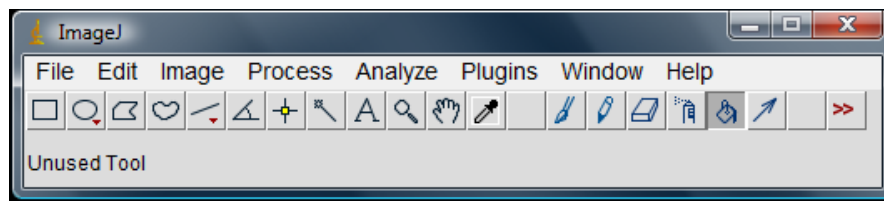


Figura B.1 – Barra de Ferramentas do programa ImageJ.

B.2.1 Calibração

Existem duas possibilidades:

- Uma calibração para cada imagem. Neste caso toda imagem deve conter uma escala ou uma distância conhecida. É viável para poucas imagens.
- Uma calibração para um conjunto de imagens (Calibração Global). Neste caso, para todas as imagens, uma determinada quantidade de pixels deve corresponder a uma mesma distância na imagem. É necessária apenas uma imagem com uma escala ou distância conhecida. É viável para pequenas e grandes quantidades de imagens.

Portanto, para fazer uma calibração do tipo Global, proceda da seguinte maneira.

1º - Com o programa aberto, clique em *File* e na seqüência em *Open* e selecione a imagem com o arquivo de calibração;

2º - com o arquivo de calibração aberto, clique no ícone . Na imagem, clique e arraste sobre uma distância conhecida na figura. Por exemplo, na Figura B.2, cada divisão da escala corresponde a 2 mm, portanto a distância selecionada, possui 8 mm.

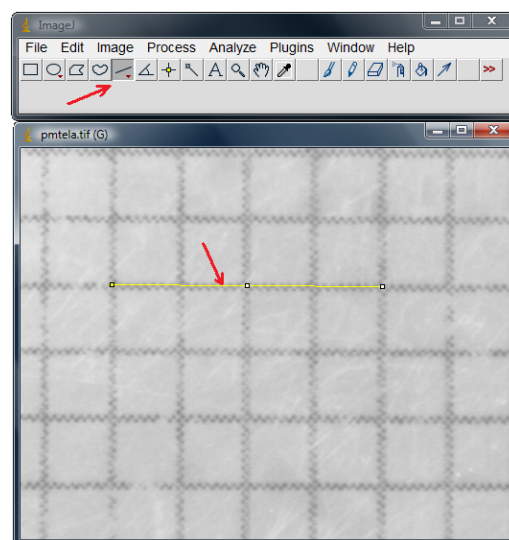


Figura B.2 – Programa ImageJ com imagem de calibração aberta.

3º - Clique em “Analyze”, e em seguida em “Set Scale...”. Será apresentada uma janela como a mostrada na Figura B.3, o usuário deve informar no campo “*Know Distance*” a distância correspondente na figura, no nosso exemplo, 8 mm. Em seguida marcar o campo “*Global*”, desta forma, esta calibração será válida até que seja utilizada a opção “*Reset*” ou o programa finalizado. Nesta janela ainda é possível visualizar o fator de conversão, no exemplo, cada 35,251 pixels na imagem corresponde a 1 mm.

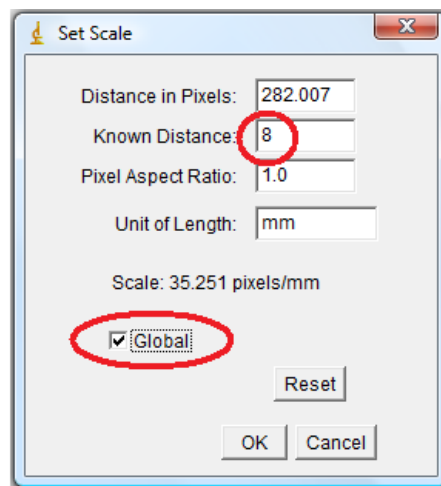


Figura B.3 – Janela de Calibração.

B.2.2 Medição de parâmetros geométricos

→ Utilizando a ferramenta , passe uma linha de referência na superfície da chapa, como na Figura B.4.

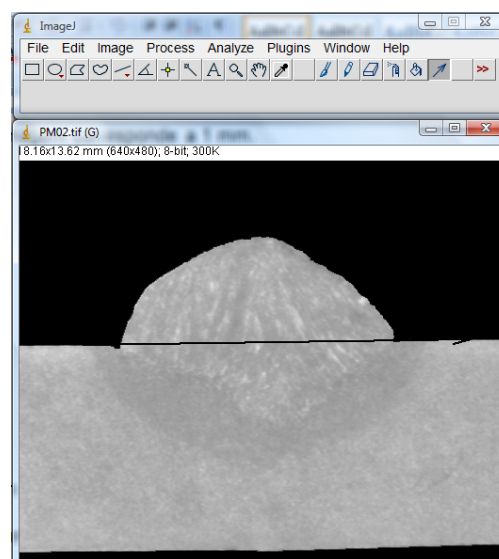


Figura B.4 – Referenciamento da superfície da chapa.

→ Para medir o reforço, clique na ferramenta . Clique no ponto mais alto do reforço e arraste até a linha de referencia, automaticamente, abaixo da barra de ferramentas será mostrado o ângulo em que a medida esta sendo realizada (se a chapa estiver na horizontal, como no exemplo, para medir o reforço, deve estar o mais próximo possível de 90°), e o mais importante, o comprimento ("*length*"), no exemplo, 3,12 mm, como mostrado na Figura B.5. Para as outras medidas lineares, repetir o mesmo procedimento.

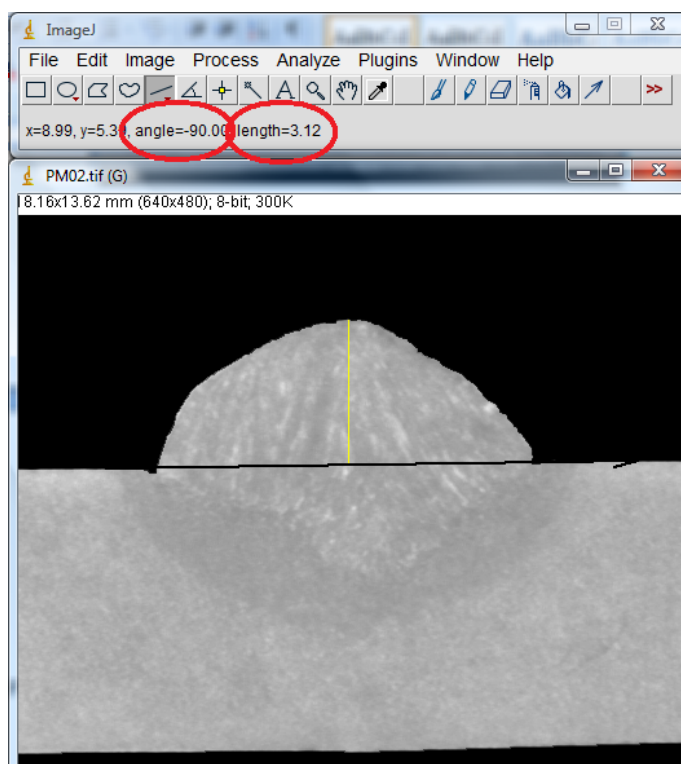


Figura B.5 – Janela com resultados de medidas lineares.

→ Para medir a área Fundida, clique na ferramenta . Faça o contorno da região de interesse. Clique em "Analyze" e na sequência "*Measure*", ou utilize o atalho Ctrl+M, será então apresentada uma janela com os resultados, como na Figura B.6. No exemplo, a área fundida corresponde a 10,397 mm². Para outras medidas quadráticas, repetir o mesmo procedimento.

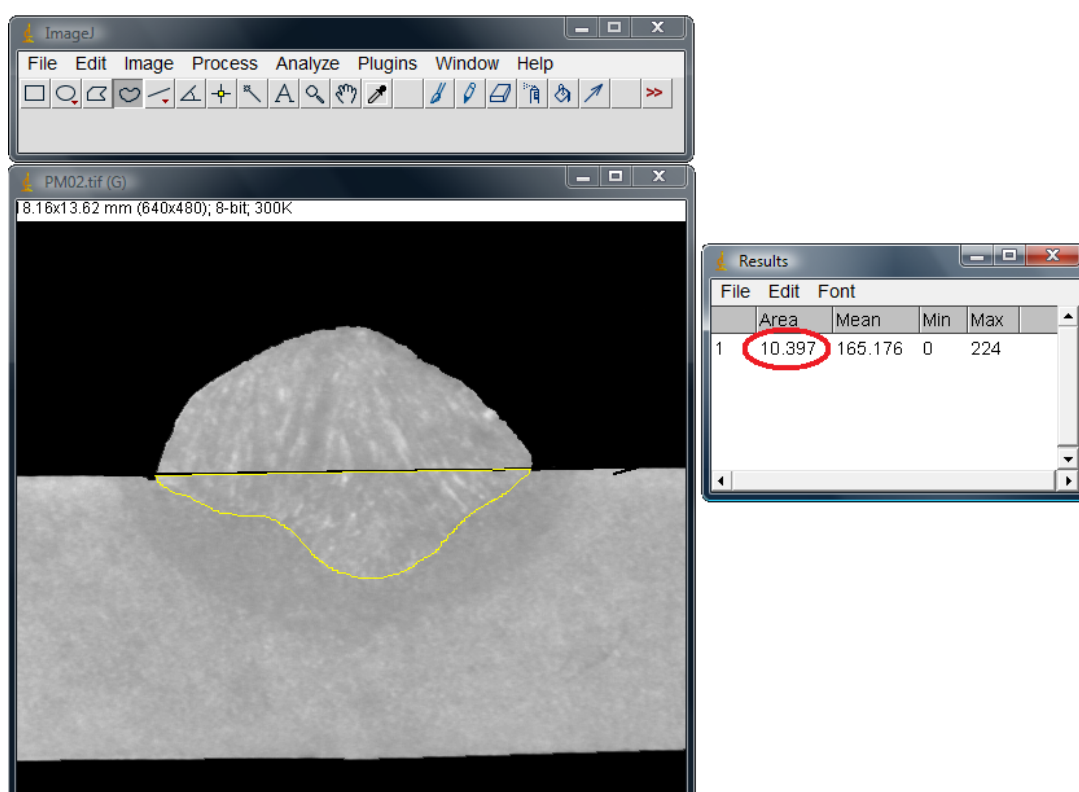


Figura B.6 – Janela com resultados de medidas quadráticas.

ANEXO C

CURVAS DE CALIBRAÇÃO

C.1 Curva de calibração do cabeçote alimentador

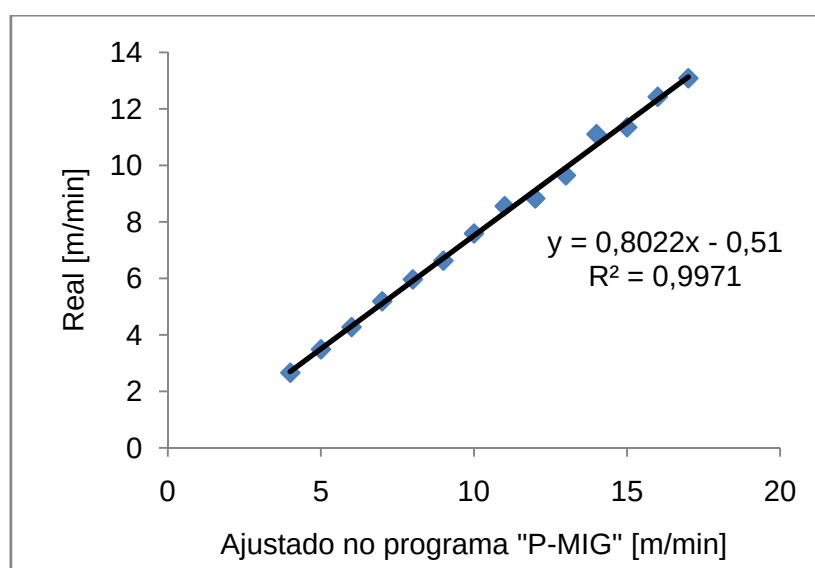


Figura C.1 - Curva de calibração do cabeçote alimentador.

C.2 Curva de calibração dos medidores de vazão de gases

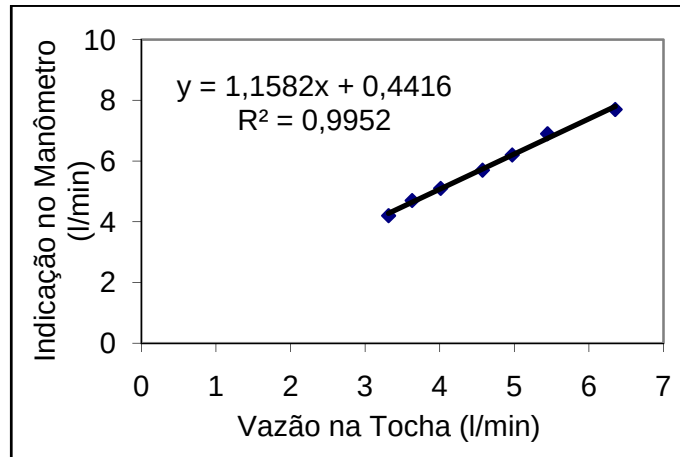


Figura C.2 - Curva de calibração do medidor de vazão MV-04.

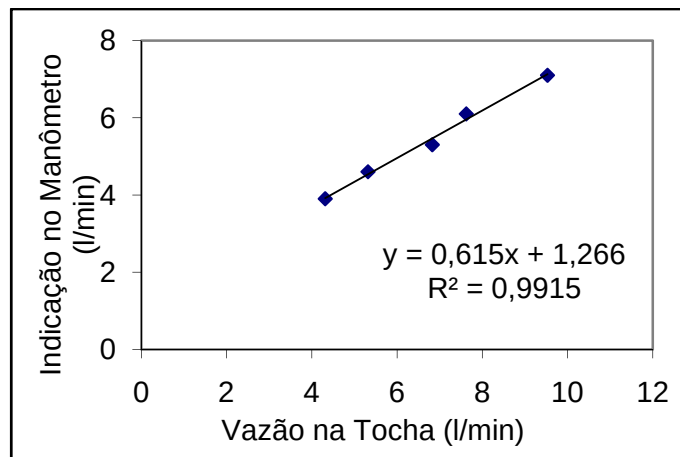


Figura C.3 - Curva de calibração do medidor de vazão MV-03.

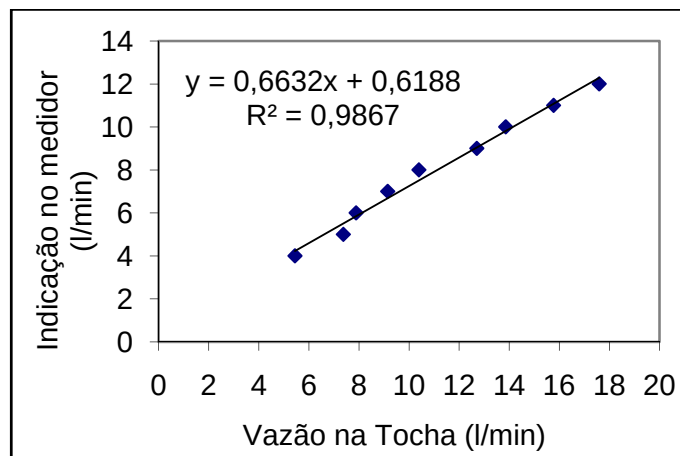


Figura C.4 - Curva de calibração do indicador de vazão do regulador de pressão.

C.3 Curvas de calibração dos sensores Hall (EH)

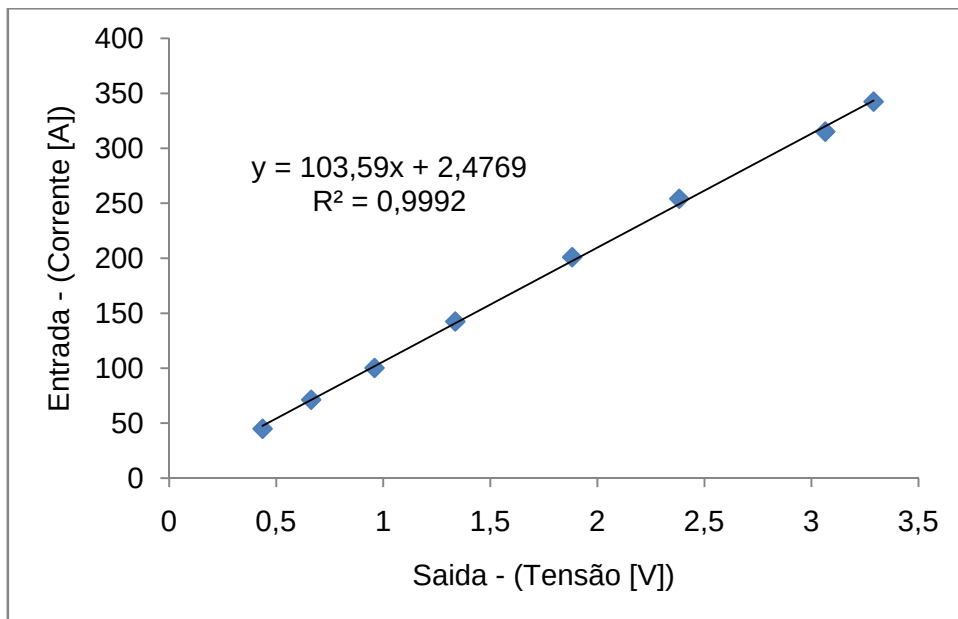


Figura C.5 – Curva de calibração do Sensor Hall - EH 3.

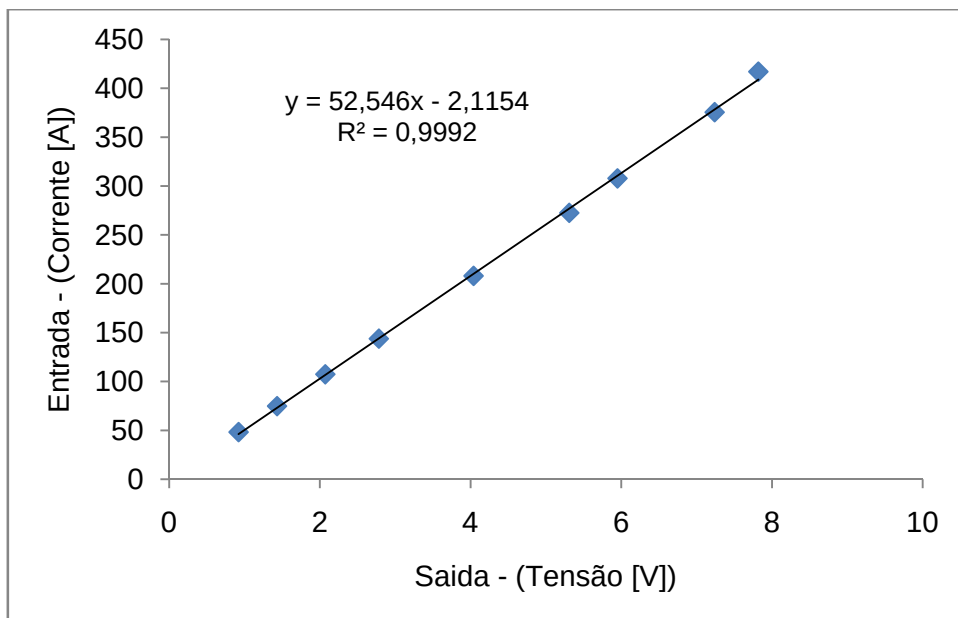


Figura C.6 – Curva de calibração do Sensor Hall - EH 1.

C.4 Curvas de calibração dos divisores de tensão (DTS)

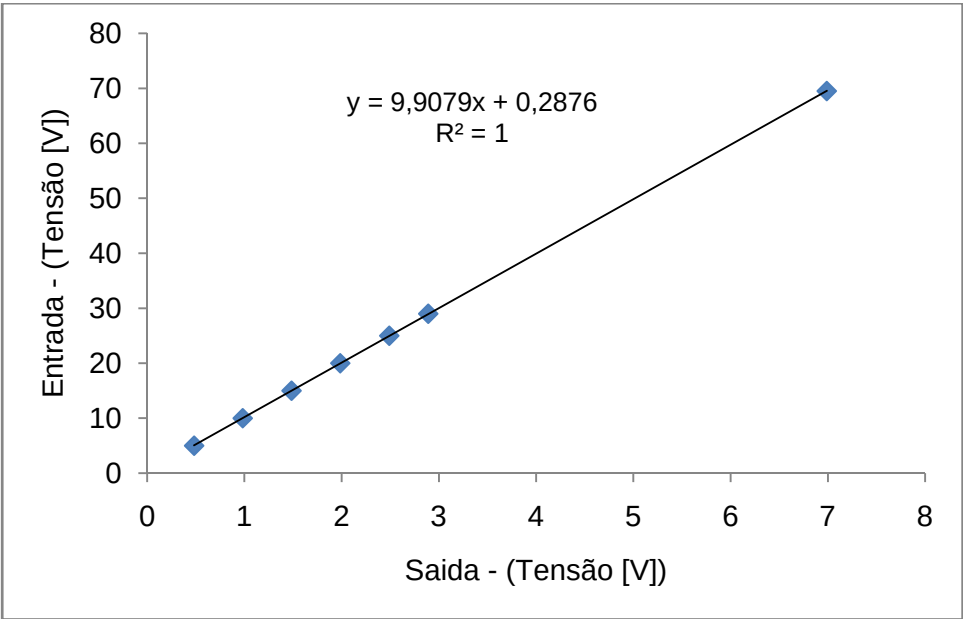


Figura C.7 – Curva de calibração do Divisor de Tensão - DTS 3.

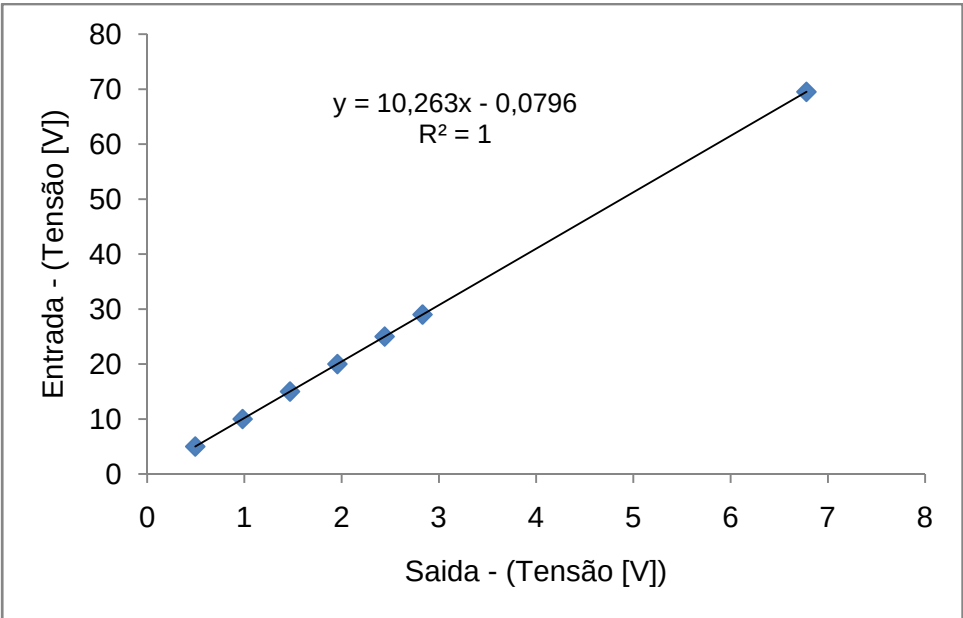


Figura C.8 – Curva de calibração do Divisor de Tensão - DTS 2.

ANEXO D

MEDIDAS GEOMÉTRICAS REFERENTES AOS TESTES DO CAPÍTULO V

Tabela D.1 - Medidas geométricas referentes aos testes do capítulo V

Ensaio	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9
<i>Corrente Plasma [A]</i>	0	60	100	0	60	100	0	60	100
<i>Corrente MIG/MAG [A]</i>	200	200	200	240	240	240	280	280	280
Largura (Medida 1) [mm]	9,3	9,5	9,7	8,4	9,2	9,2	8,3	9,3	9,4
Largura (Medida 2) [mm]	9,2	9,7	9,9	8,9	9,4	9,6	8,5	9,1	9,6
Reforço (Medida 1) [mm]	2,9	2,4	2,4	3,1	2,3	2,7	3,4	2,7	2,8
Reforço (Medida 2) [mm]	2,8	2,6	2,2	2,7	2,6	2,5	3,2	2,5	2,4
Penetração (Medida 1) [mm]	1,8	1,5	1,1	2,5	1,8	1,7	3,2	2,2	2,1
Penetração (Medida 2) [mm]	1,6	1,3	1,2	2,7	1,7	1,3	2,8	2,25	2,3
Área Fundida (Medida 1) [mm]	8,5	8,6	7,8	11,5	7,6	7,3	13,9	9,25	10,3
Área Fundida (Medida 2) [mm]	8,8	9,5	8,4	12,2	8,5	6,8	10,5	8,37	8,2
Área Depositada (Medida 1) [mm]	18,8	19,4	14,6	19,8	17,1	15,5	18,8	15,9	16,3
Área Depositada (Medida 2) [mm]	18,2	18,6	17,5	17,7	16,9	16,3	18,6	17,9	15,2
Diluição (Medida 1) [mm]	31,2	30,8	34,8	36,7	30,7	31,9	42,6	36,8	38,6
Diluição (Medida 2) [mm]	32,7	33,7	32,3	40,8	33,4	29,3	36,0	31,8	34,8

ANEXO E

DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROGRAMA “Aquisicao PM.vi”

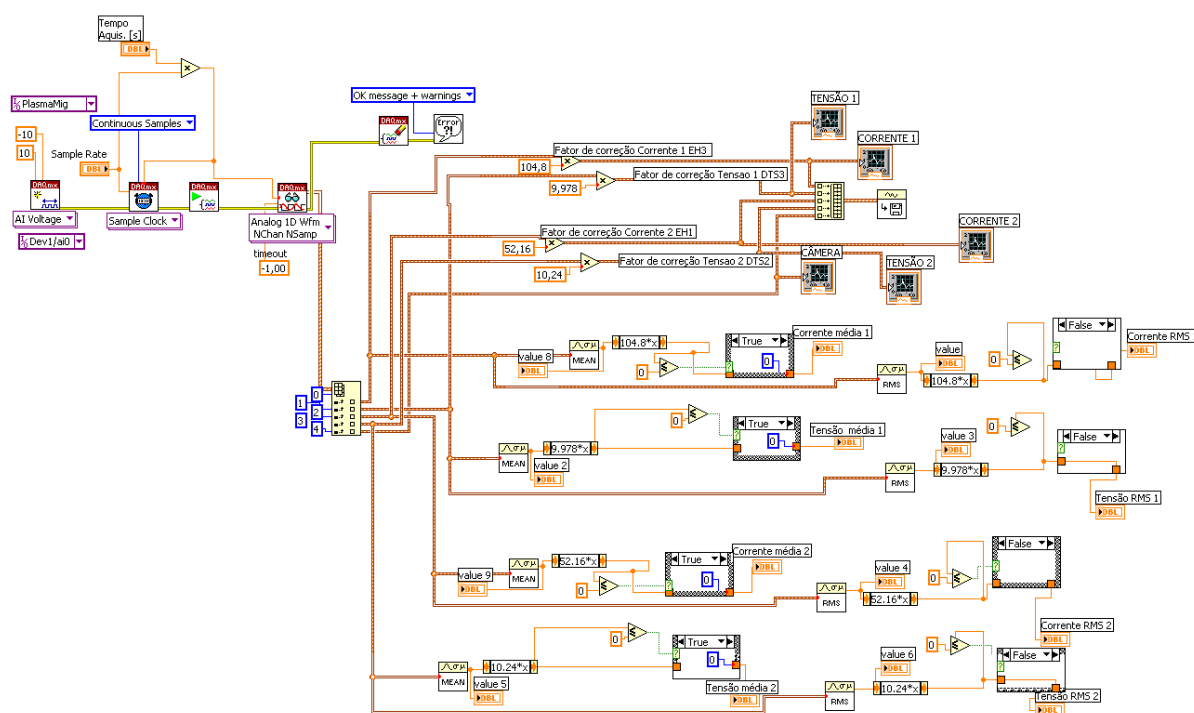


Figura E.1 – Diagrama de Blocos do Programa “Aquisicao PM.vi”. Em colaboração com M.Sc Eng. Vinicius Castanheira.