

Tabela 4.4 – Parâmetros ajustados e monitorados nos experimentos com diferentes ângulos de ataque e velocidades de alimentação e gás de proteção Ar+8%CO₂ (DBCP = 24 mm)

Corpo de Prova (CP)	Parâmetros Ajustados			Parâmetros Obtidos							
	Tensão na Fonte	Valim líder/guiado	Ângulo ataque	Ief Mestre	Ief Esc.	Im Mestre	Im Esc.	Uef Mestre	Uef Esc.	Um Mestre	Um Esc.
5	32,8	11/11	0	284	288	284	287	32,67	31,46	32,65	31,45
6	32,8	11/11	0	282	286	282	285	32,65	31,18	32,64	31,17
23	35,6	11/11	+10	288	292	288	292	35,39	34,57	35,38	34,56
24	35,6	11/11	+10	267	271	267	270	34,84	34,21	34,81	34,19
25	32,8	12/10	0	282	284	281	284	32,69	32,48	32,67	32,47
26	32,8	12/10	0	278	280	278	280	32,68	32,42	32,67	32,42
27	35,6	12/10	+10	284	288	284	288	35,39	34,66	35,38	34,65
28	35,6	12/10	+10	273	276	272	275	35,43	34,78	35,39	34,75

Pode-se observar em todos os experimentos da Tabela 4.4 que as tensões foram maiores para o arame líder, tanto para valores médios quanto eficazes, o que evidencia um maior comprimento do arco no arame líder (como foi citado anteriormente). No caso onde somente elevou-se a velocidade de alimentação do arame líder (CP 25 e 26 em relação a CP 5 e 6) essa diferença foi reduzida, demonstrando a influência do aumento da velocidade sobre o comprimento do arco.

Em relação às correntes nos CP 25 a 28, que são diretamente afetadas pela mudança da velocidade de alimentação, esperava-se uma equiparação ou, até mesmo, um aumento no valor da corrente do arame líder em relação ao guiado (que se demonstrou maior ao longo de todos os outros experimentos), porém isso não ocorreu.

Na Figura 4.16, pode-se observar a transferência metálica para um ângulo de ataque da tocha de 10° empurrando, a qual se comportou de forma semelhante à transferência sem a imposição de um ângulo de ataque da tocha (CP 5 e 6), porém, aparentemente, com um pequeno aumento no comprimento do arco, o que diminuiu a formação de gotas da junção dos metais fundidos dos dois arames. Essa condição gerou quantidade de fumos metálicos maior que nos experimentos anteriores, o que dificultou um pouco a visualização da transferência através dos vídeos.

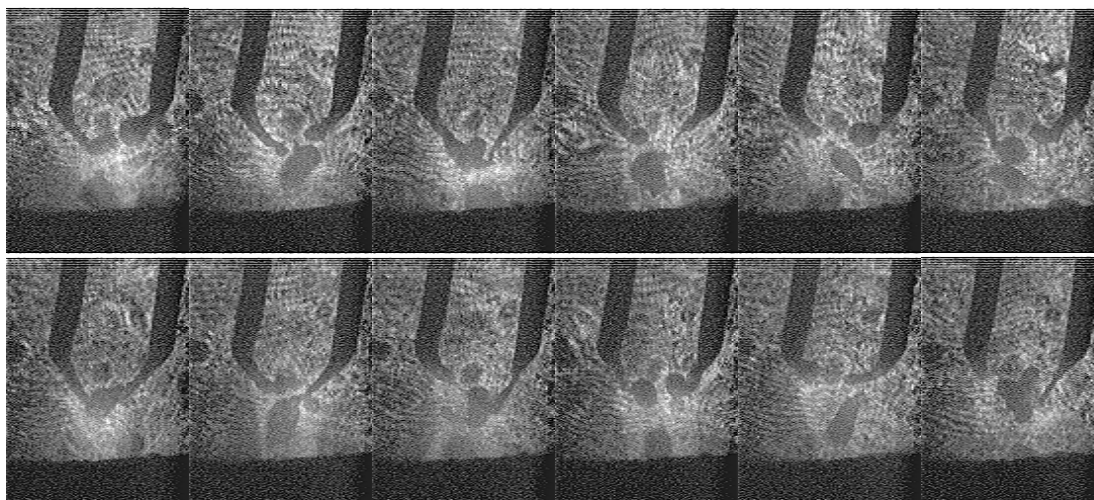
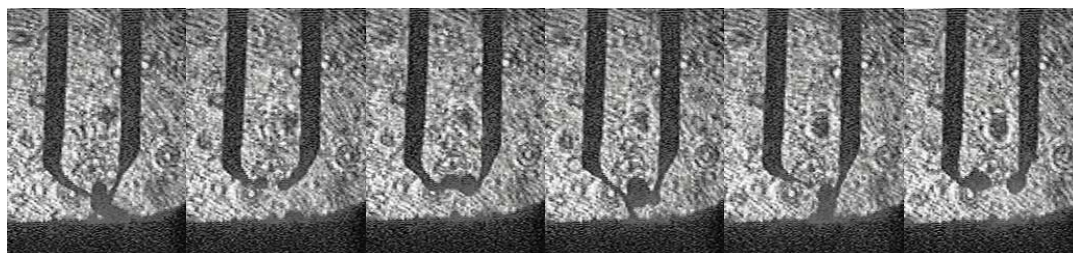


Figura 4.16 - Amostra seqüencial (tempo entre quadros não necessariamente constantes) da transferência metálica para ângulo de ataque da tocha de 10° empurrando, distância entre eletrodos de 4 mm e gás de proteção de Ar + 8% CO₂, CP 23 e 24

Já na Figura 4.17, onde é mostrada a transferência metálica para diferentes velocidades de alimentação entre os arames (mas mantendo-se a mesma média do CP 5 e 6), pode-se notar um aumento da extensão do arame líder (arame da esquerda) e uma diminuição do comprimento do arco, o que é ocasionado pela sua maior velocidade de alimentação. Conforme já visto e comentado por meio da Tabela 4.4, os valores obtidos das tensões em ambos os arames aproximaram-se bastante entre si. Este acréscimo na velocidade de alimentação do arame líder provavelmente compensou fatores que contribuíam para uma maior diferença nos valores de tensão: a existência de maiores desvios de comprimento de arco e uma maior DBCP real do arame líder. Fora este detalhe do aumento da extensão do arame líder, a transferência mostrou-se bem similar à situação de comparação (CP 5 e 6), porém com um pouco mais de dificuldade de junção dos metais fundidos de cada arame. A transferência goticular com alongamento foi a mais freqüente, mesmo ainda com a existência da atração entre as gotas de metal fundido, formando uma só linha de transferência.



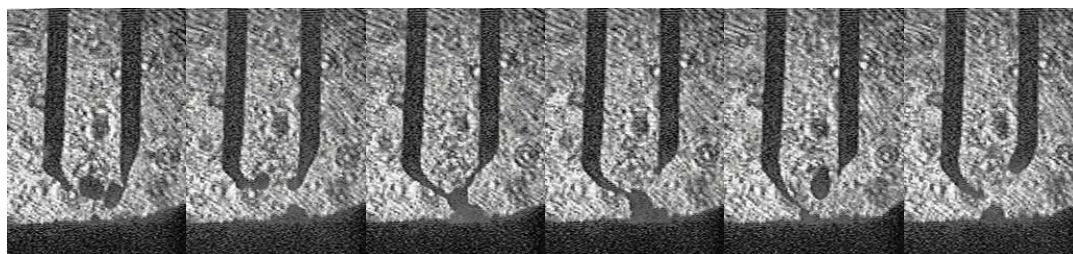


Figura 4.17 - Amostra sequencial da transferência metálica para diferentes velocidades de alimentação de cada arame (Valim líder =12 m/min e Valim guiado= 10 m/min), distância entre eletrodos de 4 mm e gás de proteção de Ar + 8% CO₂, CP 25 e 26

A última situação a ser avaliada é o comportamento da transferência metálica para diferentes velocidades de alimentação de cada arame com a existência de ângulo de ataque da tocha de 10° empurrando. A Figura 4.18 ilustra esta situação, que demonstra ser um misto entre os dois casos anteriores, porém visualmente sem muitas diferenças para o experimento inicial de comparação (CP 5 e 6). A angulação é evidente, mas o aumento da extensão do arame líder nem tanto. Talvez o aumento da extensão do arame líder não seja tão evidente devido à existência do ângulo de ataque da tocha, o que aumenta a DBCP real para esse arame. Esta condição, da mesma forma para a condição de imposição de somente ângulo de ataque da tocha, também gerou uma quantidade de fumos metálicos muito grande, dificultando a visualização da transferência, em boa parte dos vídeos gravados. Isto leva a pensar que a imposição de ângulo de ataque da tocha teve relação direta com a maior geração de fumos.

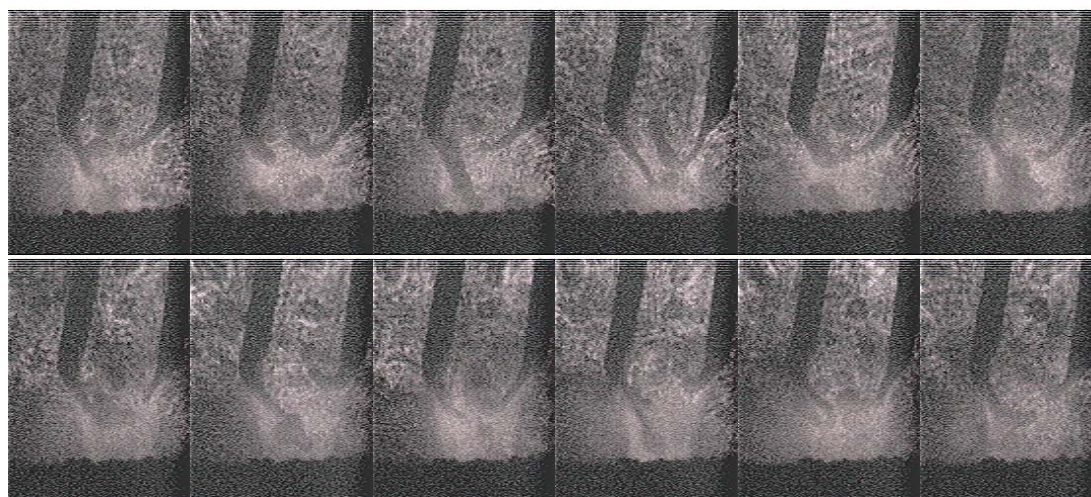


Figura 4.18 - Amostra sequencial da transferência metálica para diferentes velocidades de alimentação de cada arame (Valim líder =12 m/min e Valim guiado= 10 m/min), distância entre eletrodos de 4 mm e ângulo de ataque da tocha de 10° empurrando, com gás de proteção Ar + 8% CO₂, CP 27 e 28

4.2 - Análise do perfil soldado

4.2.1 - Perfil soldado para diferentes comprimentos de arco

Usando os mesmos experimentos da avaliação do efeito do comprimento do arco sobre a transferência metálica (item 4.1.1), resumido pela Tabela 4.1, avaliou-se a influência da transferência metálica sobre a geometria do cordão em cada situação proposta. Seções transversais representativas são mostradas nas Figuras 4.19 a 4.21.

Na Figura 4.19, pode-se observar os perfis de cada amostra e os parâmetros geométricos para o cordão de menor comprimento de arco, com transferência metálica exclusivamente por curto-circuito. Pode-se verificar que houve uma homogeneidade no formato dos cordões. O mesmo acontece para a transferência metálica com o comprimento de arco longo (Figura 4.20), mas observa-se um estreitamento do perfil no sentido da espessura da chapa, característica típica de uma transferência goticular de soldagem com gases ricos em argônio.

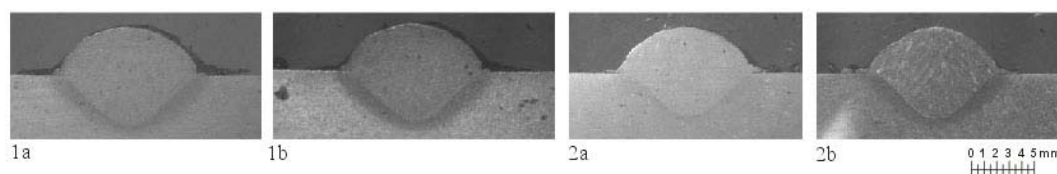


Figura 4.19 – Macrografias do perfil soldado com arco curto – DBCP 16 mm, CP 1 e 2 – duas seções por corpo de prova (a e b)

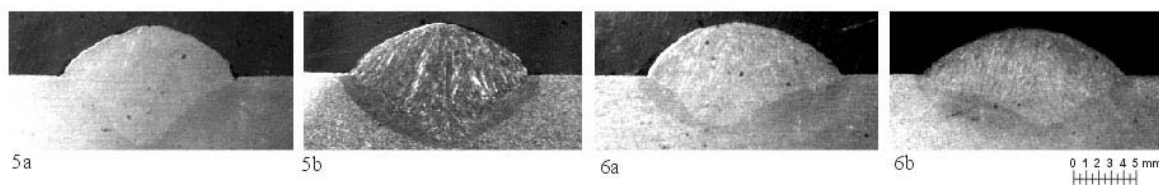


Figura 4.20 – Macrografias do perfil soldado com arco longo – DBCP 24 mm, CP 5 e 6 – duas seções por corpo de prova (a e b)

O perfil do cordão do comprimento de arco médio, com DCBP = 20 mm, comportou-se de forma mais inconstante, como se pode observar na Figura 4.21. Como a transferência metálica observada no CP 3 se deu de forma goticular, o perfil do cordão caracterizou-se como os da Figura 4.20, ou seja, apresentou um estreitamento da zona fundida no sentido da espessura da chapa, contribuindo assim para o aumento da penetração. No CP 4, o perfil assumiu um formato mais similar ao da transferência de arco curto.

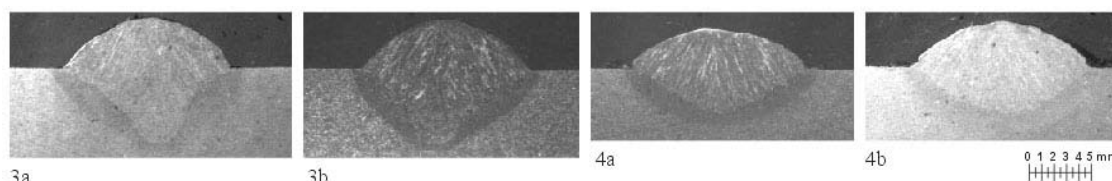


Figura 4.21 – Macrografias do perfil soldado com arco médio – DBCP 20 mm, CP 3 e 4 – duas seções por corpo de prova (a e b)

A Tabela 4.5 resume a quantificação dos parâmetros geométricos dos experimentos acima mencionados (ver detalhamento no Anexo VI). A variação dos parâmetros geométricos pode ser melhor analisada pelas Figuras 4.22 e 4.23, onde se percebe que os mesmos tiveram uma tendência de aumento em seus valores médios quando do aumento do comprimento do arco.

Tabela 4.5 - Parâmetros geométricos médios e desvios padrão para diferentes comprimentos de arco

CP	DPCP (mm)	Tensão (V)	Área Total (mm ²)	σ	Área Adic. (mm ²)	σ	Largura (mm)	σ	Penet. (mm)	σ
1 e 2	16	24,0	59,1	2,3	33,1	1,5	12,2	0,3	4,1	0,2
3 e 4	20	30,5	76,2	7,3	37,3	5,2	14,1	0,7	5,1	1,4
5 e 6	24	32,8	82,0	2,6	41,9	2,1	15,1	0,9	5,0	0,8

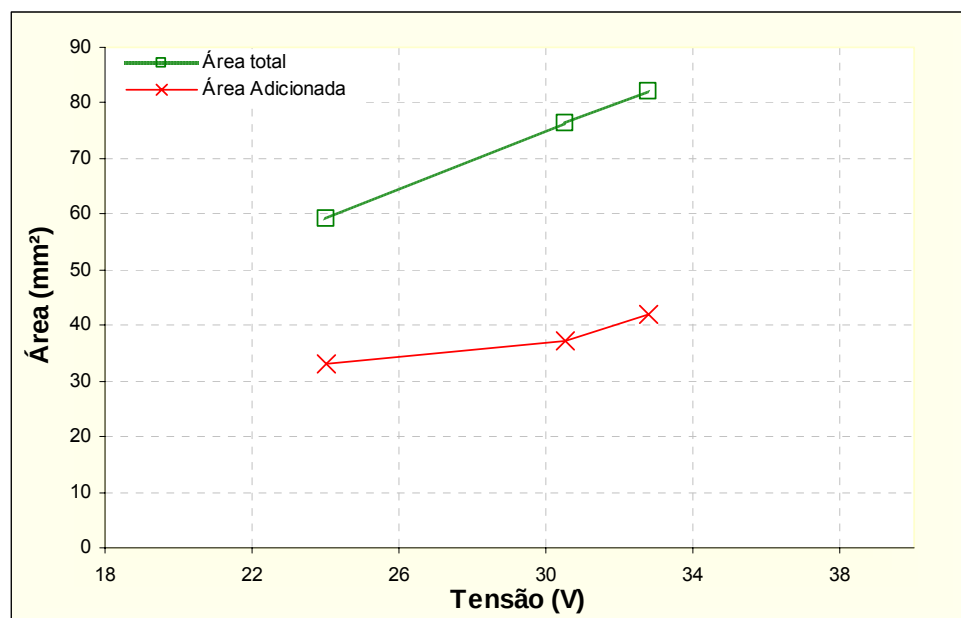


Figura 4.22 – Variação da Área Total e Adicionada *versus* Tensão para as diferentes DBCP's, onde quanto maior a Tensão, maior o arco.

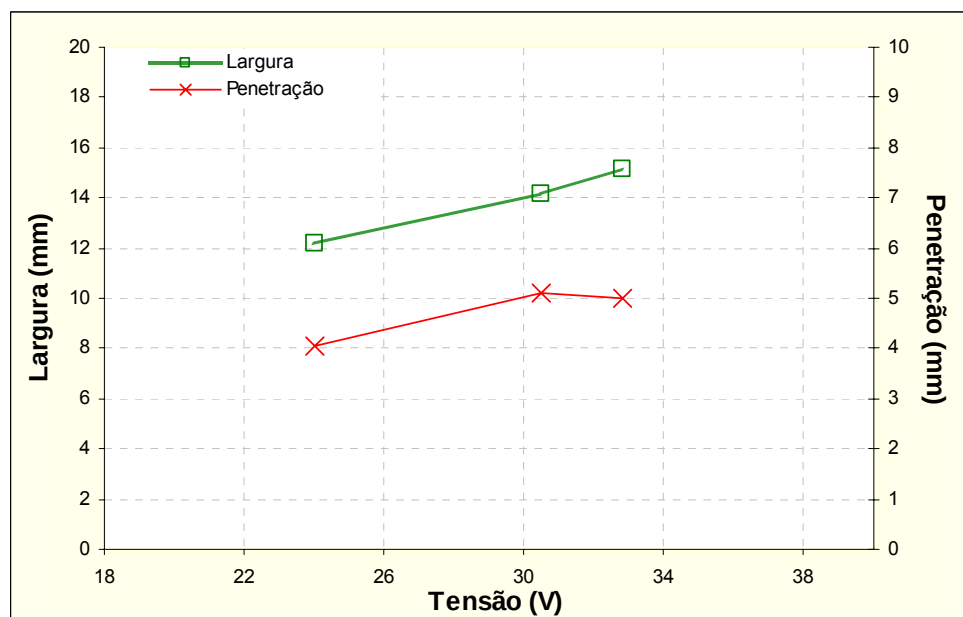


Figura 4.23 – Variação da Penetração e Largura *versus* Tensão para as diferentes DBCP's, onde quanto maior a Tensão, maior o arco.

A Figura 4.22 ilustra o comportamento das áreas total e adicionada, que se comportaram de forma semelhante, com uma tendência de crescimento em função dos maiores os arcos. Como a Valim era constante, não se deveria, à primeira vista, esperar variação da área adicionada. Entretanto, em transferências com arcos muito curtos há de se esperar mais respingos, menor rendimento de deposição. Em uma suposição de que todo material fornecido pelos arames fosse depositado no cordão de solda, encontrou-se, num cálculo estimado, um valor máximo de deposição (área adicionada) de 41,4 mm², o que representa uma perda por respingos de aproximadamente 30%, no caso mais crítico (CP 1), representado pela transferência por curto-circuito. Já os corpos de provas soldados com a transferência goticular quase não apresentaram visualmente perdas por respingos, o que é comprovado pelos valores próximos a 41,4 mm² obtidos pelas áreas adicionadas (Tabela 4.5). A explicação para a média dos valores de material depositado ter sido levemente superior ao valor calculado se deve à movimentação da poça de fusão no sentido do cordão de solda (reforço não regular), o que fez com que se tivessem, ao longo do cordão, pequenas diferenças no valor do reforço, nesse caso particular diferença para mais. Estes dados indicam vantagens importantes (econômicas) para o uso de arcos mais longos na soldagem MIG/MAG duplo arame, pelo menos para velocidades de soldagem baixas (cordões de grande volume).

Já o aumento da área total (área fundida + área adicionada) para arcos mais longos é justificável pelo aumento da penetração (Figura 4.20). É importante ressaltar que a corrente média foi aproximadamente a mesma, assim como se manteve constante a velocidade de

soldagem. Desta forma, era de se esperar uma mesma penetração (área fundida). Mas outros fatores devem ser considerados num possível contra-balanceamento de efeitos. Quando se passa de curto-circuito para goticular, o arco fica mais tempo aberto, adquire maior pressão de estagnação e as próprias gotas começam a contribuir com sua energia cinética. Um aumento maior do comprimento do arco, passando o modo da transferência de uma interface curto-circuito/goticular para goticular puro, poderia até passar a reduzir a penetração, uma vez que agora passaria a prevalecer o efeito da menor concentração de arco com o seu aumento. A pequena queda na penetração quando se passa de 30,5 V para 32,8 V (Figura 4.23) pode ser um indício desta hipótese.

O aumento da largura com o comprimento do arco (Figura 4.23) é justificável pelo aumento da taxa de deposição (área adicionada) e, concomitantemente, pela redução da concentração do arco com o aumento do comprimento do arco.

4.2.2 - Perfil soldado para diferentes do teores de CO₂ no gás de proteção

Da mesma forma que no item anterior, utilizaram-se os mesmos experimentos da avaliação do efeito do teor de CO₂ sobre a transferência metálica (item 4.1.2), resumido pela Tabela 4.2, para avaliar-se a influência da transferência metálica sobre a geometria do cordão em cada situação proposta.

Através das Figuras 4.24 a 4.27, podem-se observar as macrografias dos corpos de provas (7 a 14), das quais foram tiradas as informações geométricas para a construção das Figuras 4.28 e 4.29. A Figura 4.24 mostra a situação de arco curto, que não se comportou de forma homogênea entre dois corpos de prova distintos. Visualmente se pode observar que o CP 8 teve maior penetração e altura de reforço em se comparando com CP 7 que, por sua vez, apresentou uma maior largura. Pode-se atribuir essa diferença à instabilidade da transferência por curto-circuito nessas condições, que proporcionou uma elevada quantidade de respingos, o que também influenciou para as diferenças nos perfis dos cordões. Porém o aumento da corrente também tem que ser considerado, neste caso a diferença foi de 13 A no valor médio.

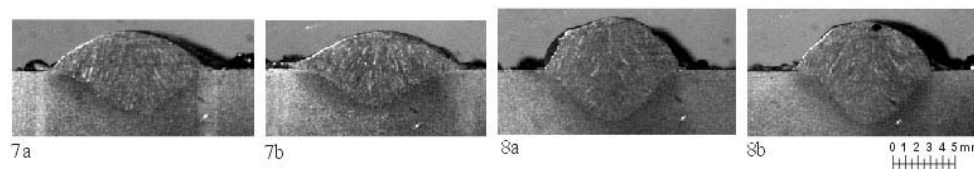


Figura 4.24 – Macrografias do perfil soldado com arco curto – DBCP 16 mm, CP 7 e 8 – duas seções por corpo de prova (a e b)

O caso do arco médio (Figura 4.25) mostrou-se similar à situação anterior, com uma grande diferença entre os corpos de prova, desta vez mais acentuada, porque uma maior

tensão leva a um comprimento de arco próximo ao da transição curto-circuito/globular, o que gerou muita instabilidade do arco. Neste caso também houve aumento da corrente na segunda soldagem, neste caso a diferença foi de 14 A no valor médio.

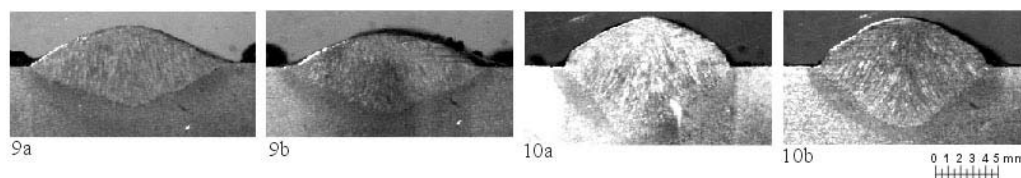


Figura 4.25 – Macrografias do perfil soldado com arco médio – DBCP 20 mm, CP 9 e 10 – duas seções por corpo de prova (a e b)

Os arcos longo e mais longo (Figuras 4.26 e 4.27) tiveram um comportamento mais homogêneo, o que deve ser atribuído às transferências metálicas globular (mais freqüente) e goticular. Pode-se observar que, com o aumento do comprimento do arco, o cordão teve uma tendência de aumentar a sua largura e, da mesma forma observada por Diltthey et al (1998), a sua penetração na lateral, reduzindo assim o efeito de penetração afunilada que aconteceu com o gás com menor teor de CO_2 .

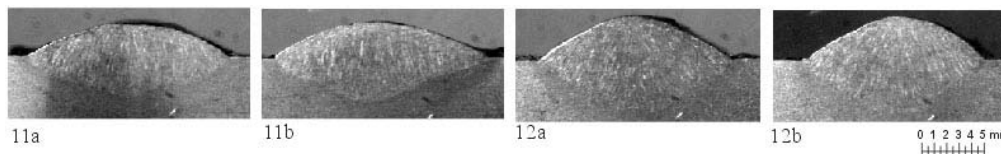


Figura 4.26 – Macrografias do perfil soldado com arco longo – DBCP 24 mm, CP 11 e 12 – duas seções por corpo de prova (a e b)

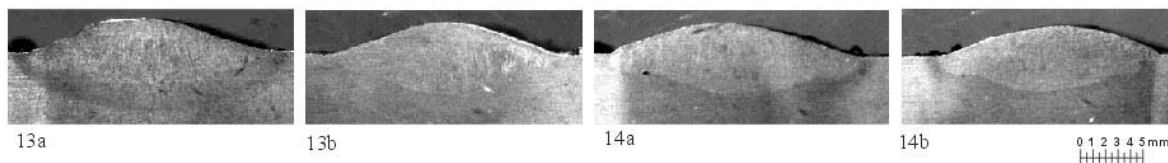


Figura 4.27 – Macrografias do perfil soldado com mais arco longo (37,6 V) – DBCP 24 mm, CP 13 e 14 – duas seções por corpo de prova (a e b)

A Tabela 4.6 resume a quantificação dos parâmetros geométricos dos experimentos 7 a 14 (ver detalhamento no Anexo VI) em comparação com a condição do uso do gás de 8% de CO_2 (CP 1 a 6). A variação dos parâmetros geométricos pode ser melhor analisada pelas Figuras 4.28 a 4.30, nas quais é importante lembrar que os três primeiros valores de tensão referem-se a soldas com valores de corrente menores do que sua contrapartes (mesmo tendo as mesmas tensões, os CP 1 e 2 têm corrente maior do que os CP 7 e 8, os CP 3 e 4 têm corrente maior do que os CP 9 e 10 e os CP 5 e 6 têm corrente maior do que os CP 11 e 12). A

comparação com a mesma corrente, contudo, com tensões diferentes, é dada entre os CP 5 e 6 e CP 13 e 14.

Tabela 4.6 - Parâmetros geométricos médios e desvios padrão para diferentes teores de CO₂

CP	Teor de CO ₂	DPCP (mm)	Tensão (V)	Área Total (mm ²)	σ	Área Adic. (mm ²)	σ	Larg. (mm)	σ	Penet. (mm)	σ
1 e 2	8%	16	24	59,1	2,3	33,1	1,5	12,2	0,3	4,1	0,2
7 e 8	20%	16	24	57,9	4,3	31,9	3,4	12,5	1,5	3,9	0,6
3 e 4	8%	20	30,5	76,2	7,3	37,3	5,3	14,1	0,7	5,1	1,4
9 e 10	20%	20	30,5	70,6	10,9	33,2	4,8	14,8	1,3	4,5	1,2
5 e 6	8%	24	32,8	82,0	2,6	41,9	2,1	15,1	0,9	5,0	0,8
11 e 12	20%	24	32,8	73,5	5,0	33,3	2,8	15,9	1,1	4,1	0,5
13 e 14	20%	24	37,6	70,6	3,7	29,9	1,3	19,6	1,1	3,3	0,1

Comparando-se inicialmente em mesma tensão, mas cientes da diferença de corrente, as variações da área total e adicionada podem ser observadas pela Figura 4.28. Percebe-se que não houve crescimento da área adicionada para o gás de 20% de CO₂, ao contrário do verificado para o gás de 8% de CO₂, que nitidamente reduziu a quantidade de respingos para maiores comprimentos de arco (curto a longo). A razão seria a presença de curtos-circuitos, e conseqüentemente, respingos nos três comprimentos de arco para o gás de 20% de CO₂, mesmo para o arco longo. Usando-se a suposição de que todo material fornecido pelos arames fosse depositado no cordão de solda (um valor máximo de deposição de 41,4 mm²), ou seja, sem respingos, verifica-se que para o gás com 20% de CO₂ e com o arco curto (24 V) obteve-se um rendimento de deposição de aproximadamente 65% (menor valor encontrado de área adicionada dentre todos os experimentos, CP 7), enquanto para o arco longo (32,8 V) o valor foi de 71% (menor valor CP 11), mantendo assim praticamente a mesma perda de material por respingo. Desta forma, comparando-se os dois tipos de gases no caso do arco longo, a diferença chega a aproximadamente 30 % .

A área total, por outro lado, cresce em relação ao comprimento de arco para os dois gases, mas sendo sempre menor para o gás de 20 % de CO₂, o que poderia ser creditado à menor área adicionada. Além disto, como não há crescimento da área adicionada com o gás de 20 % de CO₂ em função do comprimento do arco, apesar de haver o crescimento da área total, indica-se que a área fundida é que cresce com o aumento do comprimento do arco, por motivos explicados no item anterior para o gás de 4 % de CO₂.

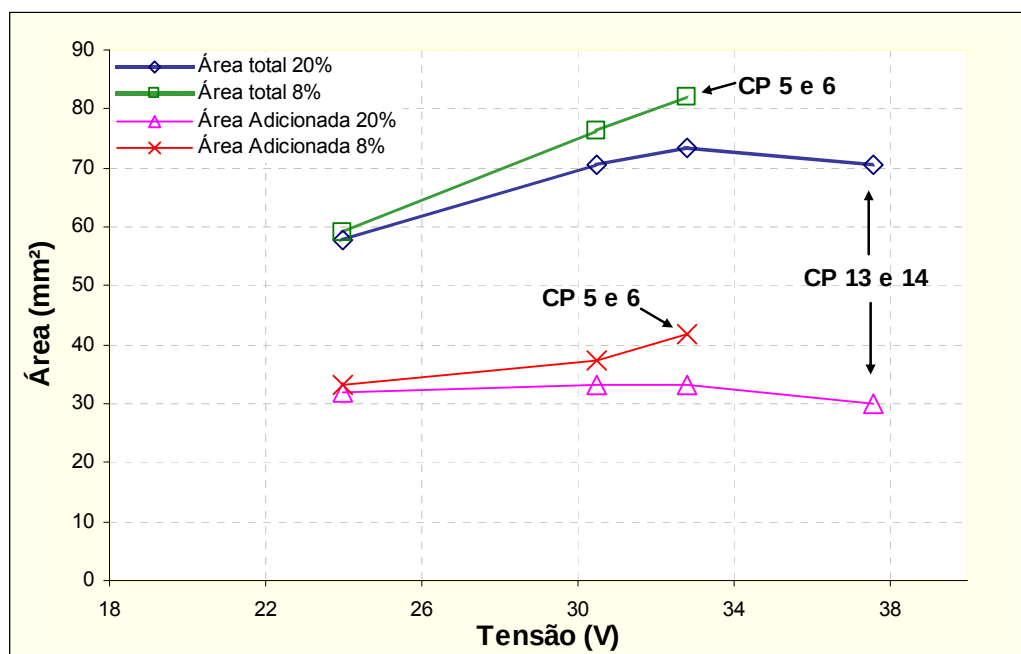


Figura 4.28 – Variação da Área Total e Adicionada *versus* Tensão para diferentes gases de proteção, onde quanto maior a tensão, maior o comprimento de arco

Subtraindo-se as áreas adicionadas das áreas totais na Tabela 4.6, verifica-se pela Figura 4.29, que a área fundida é quase a mesma para os dois gases, mesmo sabendo-se que a corrente é menor para o gás com maior teor de CO_2 . Este fato indica que o gás com 20% de CO_2 tem maior poder de fusão (popularmente chamado de “mais quente”). Nota-se também nesta figura que para ambos os gases, há um aumento de área fundida do arco curto para com o arco médio, permanecendo praticamente a mesma de arco médio para arco longo. A justificativa para estes casos é a mesma de que a transferência de calor é aumentada significativamente da condição arco enterrado para um arco um pouco maior (mesma explicação dada no item 4.2.1 para justificar o aumento da penetração com o comprimento de arco para proteção com 8% CO_2). Porém, sempre vale ressaltar que, no caso dos 20% de CO_2 , não houve mudança de curto-circuito para goticular quando se aumentou de arco médio para arco longo (como ocorreu para o caso do gás com 8% CO_2) enquanto outros fenômenos concorrentes devem estar agindo.

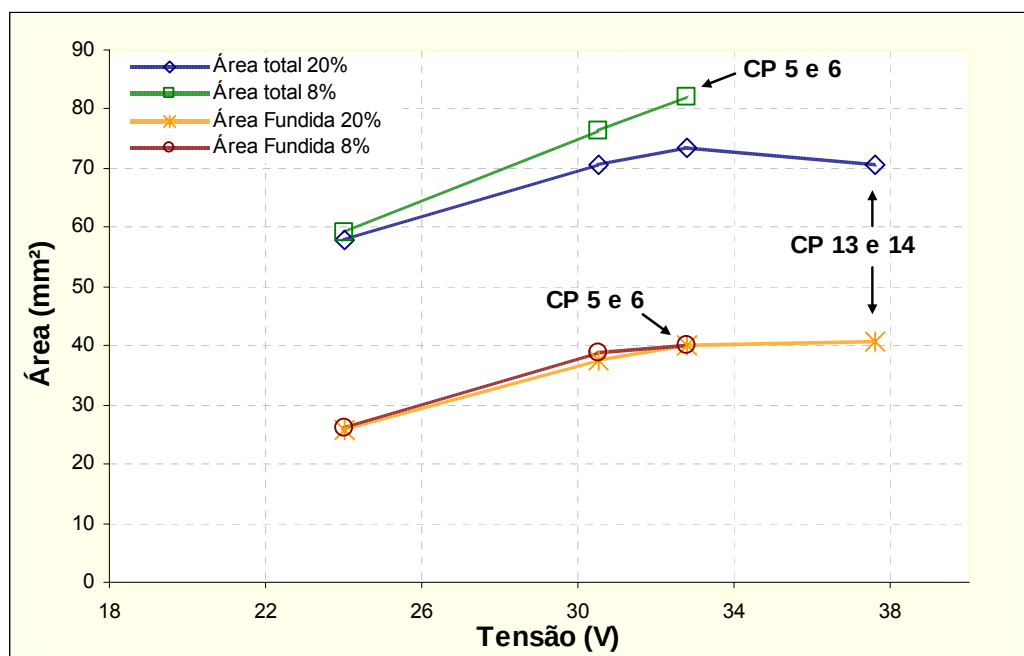


Figura 4.29 – Variação da Área Total e Fundida *versus* Tensão para diferentes gases de proteção, onde quanto maior a tensão maior o comprimento de arco

Já através da Figura 4.30, pode-se observar nas duas misturas de gases, que os parâmetros de largura tiveram a mesma tendência de aumento para maiores arcos (razão explicada no item anterior) e, comparativamente, com maior largura para as soldas com 20% de CO_2 . Como a área adicionada do gás de 20% de CO_2 fora menor, era de se esperar uma menor largura, a menos que viesse a prevalecer um efeito de maior molhabilidade causado por um arco “mais quente”, resultante do maior teor de CO_2 (cordões menos convexos, como se pode verificar comparando as Figuras 4.20 e 4.26).

Por ser mais “quente” do que o gás de 8% CO_2 , também era de se esperar uma maior penetração das soldas com 20% de CO_2 em relação a soldas com 8% CO_2 , o que não foi observado em todo o campo analisado (ver Figura 4.30). Estes menores valores de penetração com o gás de 20% de CO_2 poderia ser explicada pelas menores correntes. Já o crescimento da penetração com o aumento do comprimento de arco é mais nítido do arco curto para o arco médio, chegando a se reduzir quando se passa para o arco longo. A redução da penetração para o arco longo, foi explicado no item anterior.

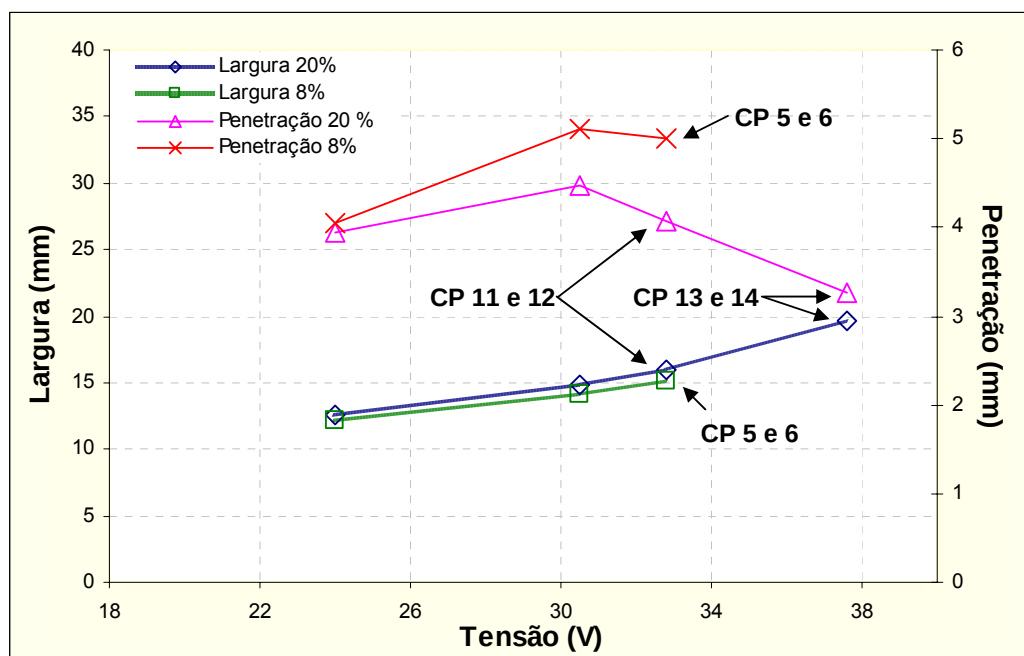


Figura 4.30 – Variação da Largura e Penetração *versus* Tensão para diferentes gases de proteção, onde quanto maior a tensão maior o comprimento de arco

A razão para se repetir o CP 11 e 12 com uma tensão maior (CP 13 e 14) e, assim, igualar a corrente com as do CP 5 e 6, foi tentar isolar o efeito da intensidade de corrente. Pode-se afirmar pela Figura 4.28 que mesmo com níveis de corrente similares, não houve crescimento da área adicionada, mas até uma queda na área total. Verificou-se que o aumento de tensão e, conseqüentemente, da corrente, não foi ainda suficiente para mudar o modo de transferência metálica de curto-circuito para goticular puro (ilustrado na Figura 4.11). Ao contrário, formaram-se grandes gotas entre os eletrodos. Essa particularidade é uma característica de gases com alto teor de CO_2 , que são mais apropriados para transferências por curto-circuito e globular para comprimento de arcos mais longos.

Já pela Figura 4.30, a largura do cordão com 20% de CO_2 apresentou-se ainda maior do que para a condição de mesma corrente para o gás de 8% de CO_2 , com justificativa ainda baseada no maior “calor” do arco de teor de 20% de CO_2 . Entretanto, causou estranheza o fato de a penetração do gás com 20% de CO_2 tornar-se bem menor do que para o com 8% de CO_2 . Este fato não é justificado pelo observado aumento da área fundida do gás com 20% de CO_2 em relação ao com 8% de CO_2 (Figura 29). Uma maior área fundida ao mesmo tempo de uma menor penetração significa que o formato da área fundida tem a relação largura/penetração aumentada (cordões bem menos convexos, como pode se verificar comparando as Figuras 4.20 e 4.27). Especula-se que uma possível causa para o aumento da relação largura/penetração seja o tipo de transferência (gotas ligadas entre si formando uma só de

grande volume – Figura 4.11). Este comportamento das gotas pode estar fazendo com que passe a agir apenas um arco no lugar dos dois arcos ou, até mesmo, a diminuição da energia cinemática no momento do destacamento.

4.2.3 - Perfil soldado para diferentes distâncias entre eletrodos no bico de contato (tocha DAPU versus DAPI)

Foram utilizados os experimentos da avaliação do efeito da mudança da distância entre arames-eletrodos (Tocha DAPU versus DAPI) sobre a transferência metálica (item 4.1.3), resumido pela Tabela 4.3, para avaliar-se a influência da transferência metálica sobre a geometria do cordão em cada situação proposta.

As macrografias obtidas com a tocha DAPI (distância entre arames de 10 mm e gás Ar+8%CO₂) podem ser encontradas abaixo, representadas pelas Figuras 4.31 a 4.34. O arco menor (Figura 4.31) foi o que demonstrou possuir maior variação no formato do cordão (novamente, isso deve ser atribuído à instabilidade da transferência por curto-circuito e principalmente à diferença de corrente entre as soldagens dos CP 15 e 16, essa última provavelmente devido à diferença nos ajustes finos dos parâmetros de soldagem). As macrografias referentes aos outros comprimentos de arco (Figura 4.32 a 4.34) tiveram a tendência de aumento de área e de zona fundida um pouco mais bem distribuída, ou seja, com presença menos nítida do afunilamento do perfil de penetração na parte central do cordão (comparar com as Figuras 4.21 e 4.20, referente aos CP 3 e 4 e CP 5 e 6, respectivamente, com DAPU, 4 mm de distância entre eletrodos e gás Ar+8%CO₂). A razão para este fenômeno poderia ser uma maior agitação observada na poça com o crescimento da distância entre eletrodos que, apesar de maior em arcos curtos, permitia uma ação cinemática mais efetiva da gota transferida goticularmente nas condições de arcos mais longos (sem possibilidade de se unirem antes da transferência). Acredita-se que a agitação, mesmo que provocada no eixo longitudinal do cordão, faça uma melhor distribuição do calor para as bordas.

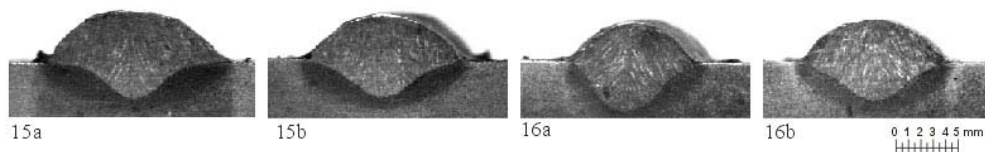


Figura 4.31 – Macrografias do perfil soldado com arco curto (24,0 V) – DBCP 16 mm, CP 15 e 16 – duas seções por corpo de prova (a e b)

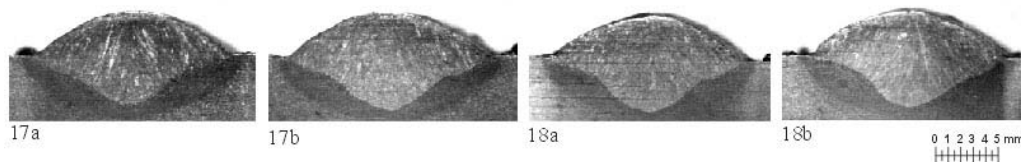


Figura 4.32 – Macrografias do perfil soldado com arco médio (30,5 V) – DBCP 20 mm, CP 17 e 18 – duas seções por corpo de prova (a e b)

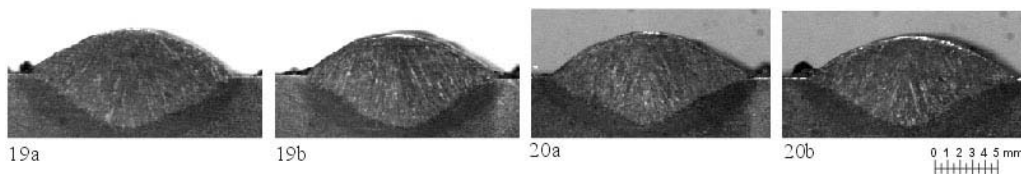


Figura 4.33 – Macrografias do perfil soldado com arco longo (32,8 V) – DBCP 24 mm, CP 19 e 20 – duas seções por corpo de prova (a e b)

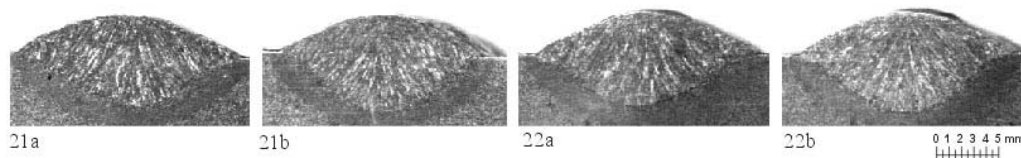


Figura 4.34 – Macrografias do perfil soldado com mais arco longo (37,6 V) – DBCP 24 mm, CP 21 e 22 – duas seções por corpo de prova (a e b)

A Tabela 4.7 resume a quantificação dos parâmetros geométricos dos experimentos 15 a 22 (ver detalhamento no Anexo VI) em comparação à condição do uso da tocha DAPU (CP 1 a 6). De outro lado a variação dos parâmetros geométricos pode ser melhor analisada pelas Figuras 4.35 e 4.36. Estas figuras mostram que todos os parâmetros geométricos tiveram uma tendência de aumento em função do aumento do comprimento do arco (CP15 a 20).

Tabela 4.7 - Parâmetros geométricos médios e desvios padrão para distâncias entre eletrodos no bico de contato (Tocha DAPU versus DAPI)

CP	Tocha	DPCP (mm)	Tensão (V)	Area Total (mm ²)	σ	Área Adic. (mm ²)	σ	Larg. (mm)	σ	Penet. (mm)	σ
1 e 2	DAPU	16	24	59,1	2,3	33,1	1,5	12,2	0,3	4,1	0,2
15 e 16	DAPI	16	24	55,9	3,7	33,2	7,6	13,0	1,6	3,5	0,6
3 e 4	DAPU	20	30,5	76,2	7,3	37,3	5,3	14,1	0,7	5,1	1,4
17 e 18	DAPI	20	30,5	73,3	2,4	37,5	1,3	16,0	0,3	4,1	0,1
5 e 6	DAPU	24	32,8	82,0	2,6	41,9	2,1	15,1	0,9	5,0	0,8
19 e 20	DAPI	24	32,8	75,7	3,8	37,2	1,7	16,2	0,5	4,1	0,3
21 e 22	DAPI	24	37,6	85,8	4,7	38,1	1,7	17,5	0,8	4,5	0,3

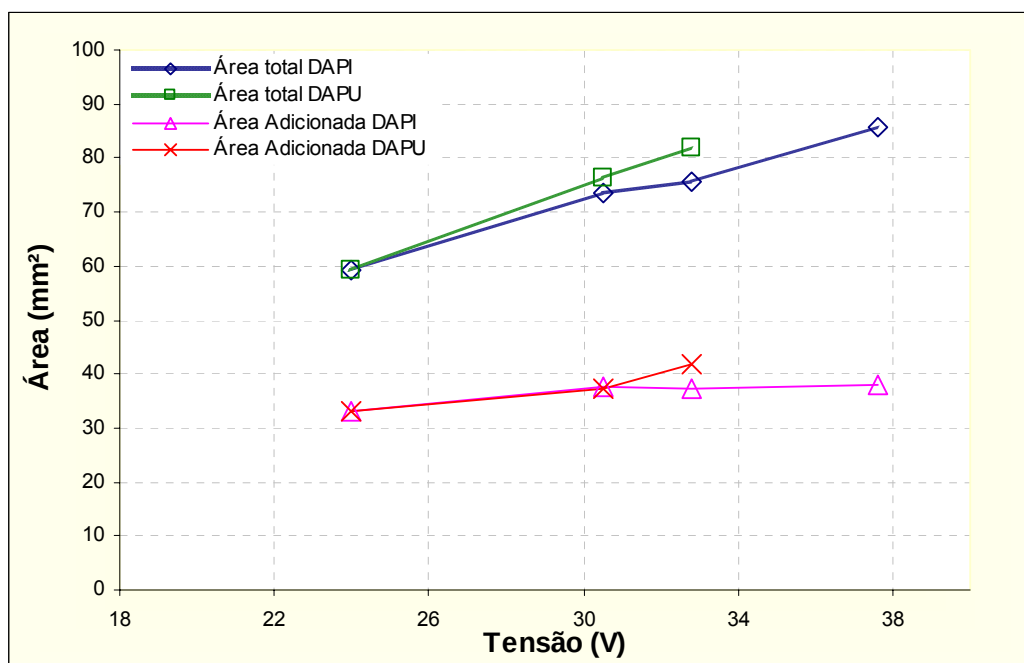


Figura 4.35 – Variação das áreas total e adicionada *versus* Tensão para diferentes distâncias entre eletrodos (DAPU versus DAPI), quanto maior a Tensão maior o comprimento de arco

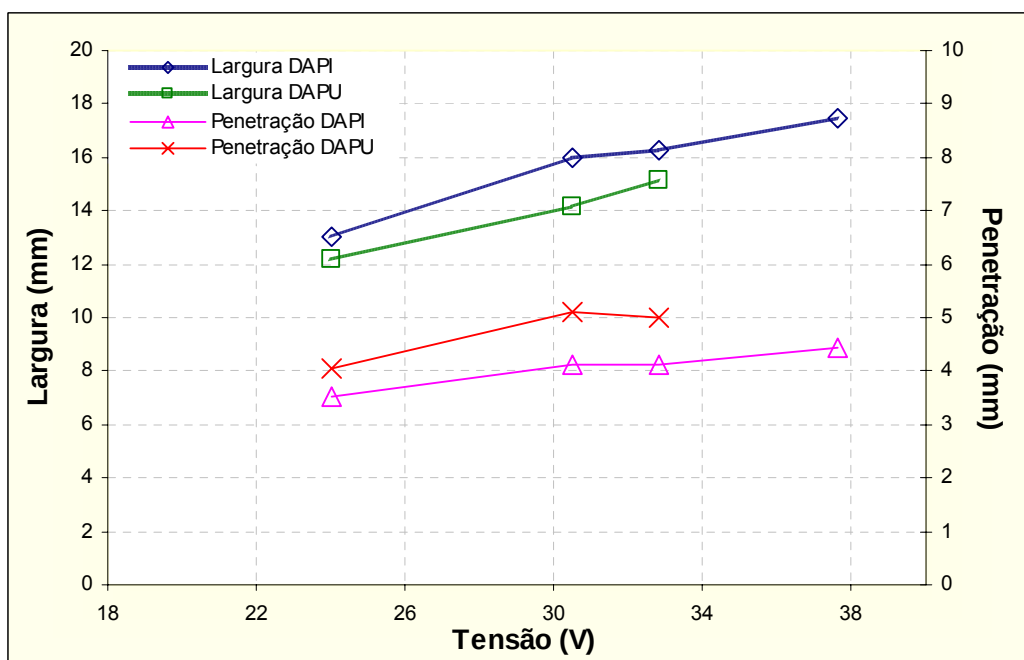


Figura 4.36 – Variação da Largura e Penetração *versus* Tensão para diferentes distâncias entre eletrodos (DAPU versus DAPI), quanto maior a Tensão, maior o comprimento de arco

Em relação às curvas de variação das áreas total e adicionada (Figura 4.35) para a distância entre arames de 10 mm (tocha DAPI), essas se mostraram praticamente iguais a da situação para a distância de 4 mm (tocha DAPU). Isto mostra que a distância entre arames,

pelo menos para este gás, não influencia o efeito da transferência metálica sobre as áreas mencionadas.

No entanto ao observar-se através da Figura 4.36, a variação da largura e penetração para as duas tochas, a penetração com a tocha DAPI (distância entre arames de 10 mm) mostrou-se inferior em todos os comprimentos de arco, o que é de estranhar-se pois, como observado na Tabela 4.7, os valores de corrente da tocha DAPI foram em média um pouco maiores do que os da DAPU (4mm de distância entre eletrodos). Pode se atribuir essa menor penetração à maior agitação da poça de fusão, como já fora comentado anteriormente. De outro lado, a largura, após todos os testes realizados com a tocha DAPI, foi o único parâmetro que superou os valores obtidos com a tocha de DAPU, ainda resultado particular da maior movimentação da poça e conseqüentemente, melhor molhabilidade.

Falando-se agora dos pontos extrapolados (CP 21 e 22, com maiores comprimento de arco e corrente do que os CP 5 e 6), esses demonstraram a mesma tendência de crescimento em todos os parâmetros geométricos, principalmente nos que são mais afetados pela corrente (penetração, por exemplo). Deve-se lembrar que a corrente, nesse caso esteve acima da média proposta e, portanto, não se deve comparar seus resultados com os dos outros experimentos. Essas soldagens foram feitas somente com o intuito de se obter um arco mais longo (visando uma visualização da transferência goticular pura).

4.2.4 - Perfis soldados para diferentes ângulos de soldagem e velocidade de alimentação em cada arame

A última avaliação proposta foi a comparação dos perfis soldados para diferentes ângulos de soldagem e velocidade de alimentação em cada arame para uma dada condição de corrente e comprimento de arco. A Tabela 4.8 ilustra os valores obtidos nas quatro comparações propostas: velocidades de alimentação iguais em ambos os arames líder e guiado ($V_{lim} = 11$ m/min) sem ângulo de ataque da tocha (CP 5 e 6), velocidades de alimentação iguais ($V_{lim} = 11$ m/min) com ângulo de ataque da tocha de 10° (CP 23 e 24), velocidades de alimentação diferentes (V_{lim} líder = 12m/min e V_{lim} guiado = 10 m/min) e sem ângulo de ataque da tocha (CP 25 e 26) e, por último, variações em conjunto de ângulo de ataque da tocha e velocidades diferentes de alimentação (CP 27 e 28). As Figuras 4.37 a 4.39 ilustram as geometrias resultantes dos testes propostos.

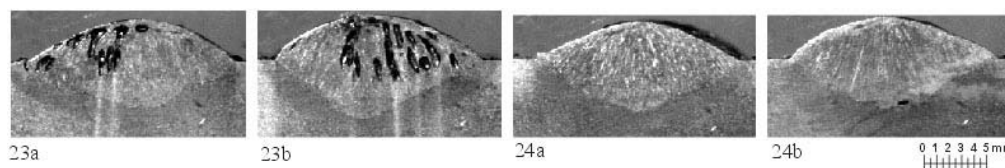


Figura 4.37 – Macrografias do perfil soldado com ângulo de ataque da tocha de 10° e velocidades de alimentação líder=guiado= 11 m/min, CP 23 e 24 – duas seções por corpo de prova (a e b)

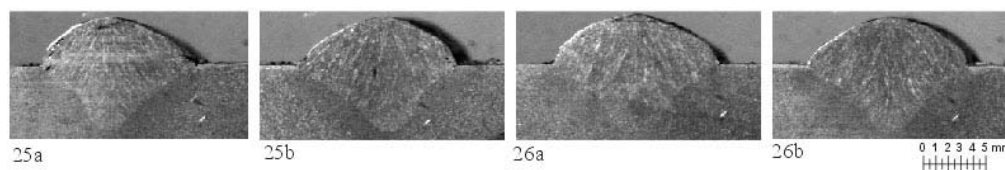


Figura 4.38 – Macrografias do perfil soldado sem ângulo de ataque da tocha e velocidades de alimentação líder= 12 m/min e guiado= 10 m/min, CP 25 e 26 – duas seções por corpo de prova (a e b)

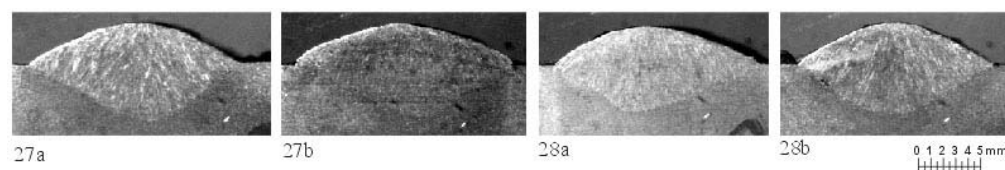


Figura 4.39 – Macrografias do perfil soldado com ângulo de ataque da tocha de 10° e velocidades de alimentação líder= 12 m/min e guiado= 10 m/min, CP 27 e 28 – duas seções por corpo de prova (a e b)

Duas situações se destacam. A primeira, na Figura 4.37 (CP 23 a e b), referente à angulação da tocha de soldagem sem a alteração das velocidades de alimentação, que apresentou porosidade generalizada no perfil, o que contradiz o que afirmam Diltthey et al (1998) em relação à utilização de ângulo na estabilidade do arco e Michie et al (1999) em relação à diminuição da suscetibilidade à porosidade (vantagens do processo duplo-arame). Talvez tenha sido uma situação isolada, uma vez que a outra soldagem com os mesmos parâmetros comportou-se de forma diferente. Porém, deve-se lembrar que a transferência metálica com a existência de ângulo de ataque apresentou uma quantidade considerável de fumos metálicos, o que talvez seja reflexo de uma alteração da distribuição da proteção gasosa. Para se ter certeza de um possível mau ajuste ou de algo que afetasse uma comparação entre os perfis, dever-se-ia ser feito uma quantidade maior de experimentos.

Um outro caso que chama a atenção, é o da variação de somente a velocidade de alimentação (Figura 4.38), o qual demonstra claramente uma maior penetração em detrimento

de uma menor largura (relativamente aos demais casos, Figuras 4.20, 4.37 e 4.39), com o formato do cordão comportando-se de forma bem mais constante nos dois corpos de prova.

A situação final, com a variação tanto das velocidades de alimentação quanto do ângulo de ataque da tocha, mostrou-se mais influenciada pela mudança do ângulo de ataque da tocha, pois pode-se comprovar pela Figura 4.39 a semelhança dos perfis soldados.

A Tabela 4.8 resume a quantificação dos parâmetros geométricos dos experimentos 23 a 28 (ver detalhamento no Anexo VI) em comparação com a condição padrão (CP 5 e 6). De outro lado a variação dos parâmetros geométricos pode ser melhor analisada pelas Figuras 4.40 e 4.41 (agora apresentado em gráfico de barra por não haver variação proposital de comprimento de arco, que nos demais casos fora referenciada pela tensão).

Tabela 4.8 - Parâmetros geométricos médios e desvios padrão para diferentes ângulos de ataque e velocidade de alimentação em cada arame

CP	DPCP (mm)	Tensão (V)	Área Total (mm ²)	σ	Área Adic. (mm ²)	σ	Largura (mm)	σ	Penet. (mm)	σ
5 e 6	24	32,8	82,0	2,6	41,9	2,1	15,1	0,9	5,0	0,8
23 e 24	24	35,6	81,1	5,6	38,4	5,3	17,0	0,7	4,4	0,4
25 e 26	24	32,8	73,5	3,2	35,8	1,5	13,0	0,3	5,7	0,2
27 e 28	24	35,6	78,6	3,6	36,4	3,2	16,8	0,8	4,3	0,2

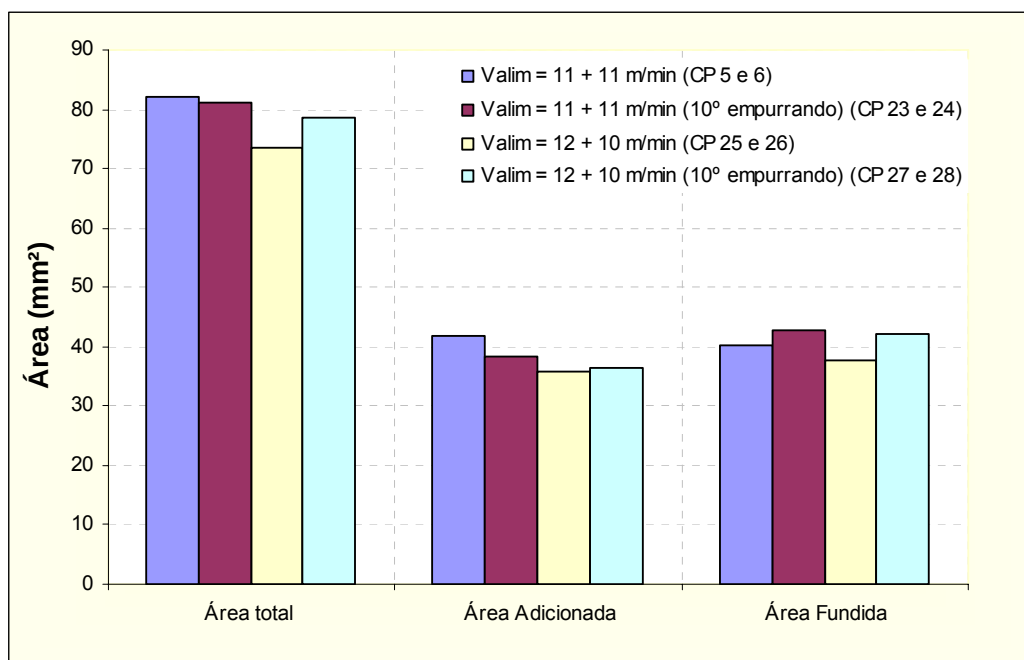


Figura 4.40 - Representação gráfica de área total e adicionada para diferentes ângulos de ataque e velocidade de alimentação em cada arame

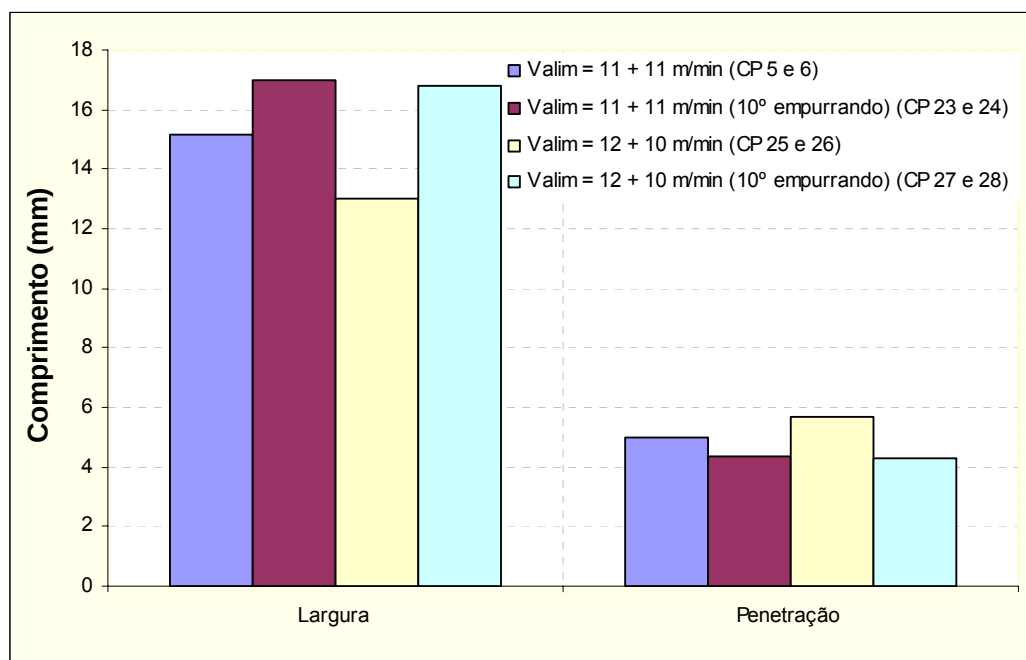


Figura 4.41 – Representação gráfica de penetração e largura para diferentes ângulos de ataque e velocidade de alimentação em cada arame

Quando se compara apenas o efeito do ângulo em condições similares (CP 5/6 x CP 23/24 e CP 25/26 x CP 27/28), este parece influenciar com significância a área total apenas na relação CP 25/26 x CP 27/28 (aumentando), e a área adicionada apenas na relação CP 5/6 x CP 23/24 (diminuindo). Percebe-se uma interação dos efeitos devido ao ângulo e às diferenças de velocidade entre os dois arames, ou seja, quando se aumenta somente o ângulo (ficando as velocidades dos arames iguais) o rendimento de deposição cai (medido pela área adicionada), fato não verificado quando também se varia a velocidade de alimentação entre os arames. A área total só foi aumentada quando as velocidades de arames eram diferentes - CP 25/26 x CP 27/28 (caso em que não foi afetada a área adicionada). Isto sugere que o efeito sobre a área total é maior devido à influência da área fundida do que devido ao rendimento de deposição.

O efeito do ângulo sobre a área fundida, por outro lado, mostra que favorece o seu aumento nos dois casos, mas há um comportamento inverso quando se verifica a influência sobre a penetração. Finalmente, a angulação da tocha mostra aumentar também a largura nas duas condições. Resumindo, o ângulo da tocha faz aumentar a relação largura do cordão/profundidade do cordão, tornando o cordão menos convexas, mas com menor penetração.

Dentre os experimentos pode-se destacar que a condição dos CP 5 e 6 foi a que obteve os maiores valores de área total e adicionada, ao contrário da condição dos CP 25 e 26 que atingiu os menores valores. Mesmo não se observando nenhuma grande variação na

instabilidade através dos vídeos de transferência, supõe-se que essa diferença se deu devido à instabilidade encontrada ao se aumentar a diferença entre as velocidades de alimentação. Como já foi comentado, através do aumento da velocidade de alimentação do arame líder, observou-se uma diminuição do seu comprimento de arco, o que influenciou numa diminuição do arco resultante da junção das duas transferências metálicas. Provavelmente essa diminuição do arco seja a resposta para essa maior instabilidade.

A Figura 4.41 ilustra graficamente os dados de penetração e de largura expostos na Tabela 4.8. Pode-se observar que somente a variação da velocidade de alimentação (CP 25 e 26) acarretou num aumento de penetração, garantindo o maior valor entre as situações propostas, mesmo em detrimento da obtenção da menor largura entre os experimentos. Esse aumento da penetração pode ser explicado pelo maior aquecimento da chapa devido à elevação do comprimento de arco do arame guiado, que se deu pela diminuição da velocidade de alimentação do mesmo. A existência de um ângulo de ataque da tocha colaborou para um aumento de largura, porém em detrimento de uma diminuição na penetração, o que era de se esperar, pois a existência desse ângulo no sentido empurrando melhora o acabamento do cordão soldado, ocasionando cordões com maiores larguras e menos convexas.

Capítulo V - Análise geral dos resultados

O modo de transferência afeta diretamente o perfil do cordão e condições econômicas e de operação. Por isso, uma discussão geral tem o modo de transferência como causa e não efeito. Assim, a análise global será feita baseada principalmente no efeito das variáveis sobre a geometria do cordão e sobre a eficiência de deposição.

Do ponto de vista prático, o que se deseja é um processo que proporcione cordões com pouco respingo e também pouco convexos. Quanto à penetração e perfil do cordão (afunilado ou não) vai depender da aplicação.

Uma análise geral dos perfis soldados obtidos pode ser observada através da Tabela 4.9, que possui todos os dados dos parâmetros geométricos das variações propostas (itens 4.2.1 até 4.2.4) e também por gráficos representados pelas Figuras 4.33 a 4.36.

Tabela 4.9 - Parâmetros geométricos médios e desvios padrão gerais para todos os experimentos

CP's	Tocha	Gás de proteção	Ângulo de soldagem	Velocidades Mestre/Esc (m/min)	DPCP (mm)	Tensão (V)	Área Total (mm ²)	±	Área Adic.	±	Largura (mm)	±	Penet. (mm)	±
1 e 2	DAPU	4%	0°	11 11	16	24	59,1	2,3	33,1	1,5	12,2	0,3	4,1	0,2
3 e 4	DAPU	4%	0°	11 11	20	30,5	76,2	7,3	37,3	5,2	14,1	0,7	5,1	1,4
5 e 6	DAPU	4%	0°	11 11	24	32,8	82	2,6	41,9	2,1	15,1	0,9	5	0,8
7 e 8	DAPU	20%	0°	11 11	16	24	57,9	4,3	31,9	3,4	12,5	1,5	3,9	0,6
9 e 10	DAPU	20%	0°	11 11	20	30,5	70,6	11	33,2	4,8	14,8	1,3	4,5	1,2
11 e 12	DAPU	20%	0°	11 11	24	32,8	73,5	5	33,3	2,8	15,9	1,1	4,1	0,5
13 e 14	DAPU	20%	0°	11 11	24	37,6	70,6	3,7	29,9	1,3	19,6	1,1	3,3	0,1
15 e 16	DAPI	4%	0°	11 11	16	24	55,9	3,7	33,2	7,6	13	1,6	3,5	0,6
17 e 18	DAPI	4%	0°	11 11	20	30,5	73,3	2,4	37,5	1,3	16	0,3	4,1	0,1
19 e 20	DAPI	4%	0°	11 11	24	32,8	75,7	3,8	37,2	1,7	16,2	0,5	4,1	0,3
21 e 22	DAPI	4%	0°	11 11	24	37,6	85,8	4,7	38,1	1,7	17,5	0,8	4,5	0,3
23 e 24	DAPU	4%	10°	11 11	24	35,6	81,1	5,6	38,4	5,3	17	0,7	4,4	0,4
25 e 26	DAPU	4%	0°	12 10	24	32,8	73,5	3,2	35,8	1,5	13	0,3	5,7	0,2
27 e 28	DAPU	4%	10°	12 10	24	35,6	78,6	3,6	36,4	3,2	16,8	0,8	4,3	0,2

Para se avaliar o potencial em gerar respingos, pode-se usar como referência a área adicionada, já que a velocidade de alimentação total foi a mesma para todos os casos. A Figura 4.42 mostra uma tendência de melhores resultados com arcos longos (CP 5 e 6 vs CP 3 e 4 vs CP 1 e 2) ou (CP 11 e 12 vs CP 9 e 10 vs CP 7 e 8) ou (CP 21 e 22 vs CP 19 e 20 vs CP 17 e 18 vs CP 15 e 16), protegidos com Ar + 8% de CO₂ (CP 5 e 6 vs 13 e 14), com mesma velocidade de alimentação (CP 5 e 6 vs CP 25 e 26) ou (CP 23 e 24 vs CP 27 e 28), menores distâncias entre eletrodos se o arco for longo (CP 5 e 6 vs CP 19 e 20). Além disso, para os maiores comprimentos de arco (37,6 V), com 20% CO₂ e 4 mm de distância entre eletrodos, mostrou-se um aumento da quantidade de respingos (CP 11 e 12 vs CP 13 e 14),

mas não parece aumentar o respingo quando se usa 8% CO_2 e 10 mm (CP 19 e 20 vs CP 21 e 22).

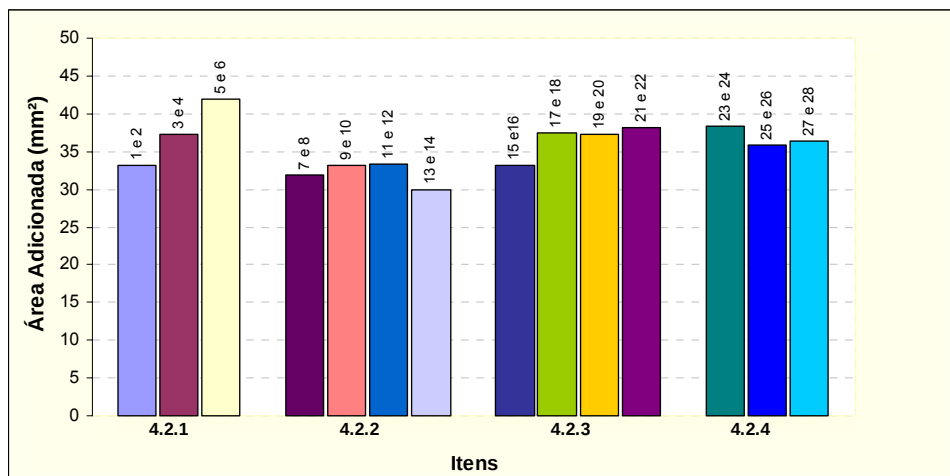


Figura 4.42 - Representação gráfica da área adicionada para todos os experimentos

A Figura 4.43 mostra o parâmetro de largura para todos os experimentos. Caso se deseje um alto valor de largura sem considerar a convexidade do cordão, deve-se inicialmente não ter arco curto (CP 5 e 6 vs CP 3 e 4 vs CP 1 e 2) ou (CP 11 e 12 vs CP 9 e 10 vs CP 7 e 8) ou (CP 19 e 20 vs CP 17 e 18 vs CP 15 e 16), deve-se usar Ar + 20% de CO_2 (CP 5 e 6 vs CP 13 e 14), usar correntes mais altas (CP 13 e 14 vs CP 11 e 12) ou (CP 21 e 22 vs CP 19 e 20), ter maiores distâncias entre arames (4.2.1 vs 4.2.3), utilizar ângulo de ataque (CP 5 e 6 vs CP 23 e 24) ou (CP 25 e 26 vs CP 27 e 28), não utilizar velocidade de alimentação diferentes para cada arame (CP 5 e 6 vs CP 25 e 26) ou (CP 23 e 24 vs CP 27 e 28).

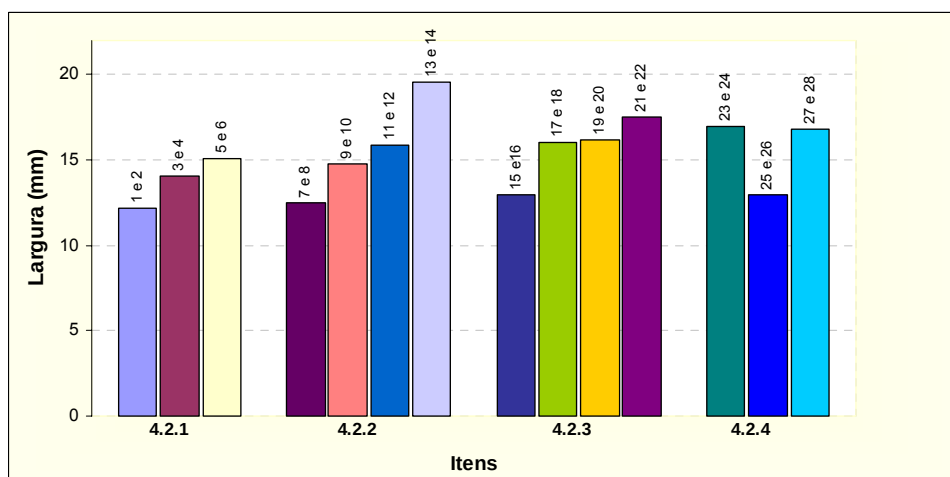


Figura 4.43 - Representação gráfica da Largura para todos os experimentos

A convexidade pode ser avaliada pela relação da Área Adicionada pela Largura. Quanto maior essa relação, mais convexo é o cordão, o que é indesejado. A Figura 4.44

mostra uma tendência de melhores resultados com arcos longos (CP 5 e 6 (exceto) vs CP 3 e 4 vs CP 1 e 2) ou (CP 13 e 14 vs CP 11 e 12 vs CP 9 e 10 vs CP 7 e 8) ou (CP 21 e 22 vs CP 19 e 20 vs CP 17 e 18 vs CP 15 e 16), protegidos com Ar + 20% de CO₂ (CP 5 e 6 vs CP 13 e 14), com mesma velocidade de alimentação – pequena diferença (CP 5 e 6 vs CP 25 e 26) ou (CP 23 e 24 vs CP 27 e 28), maiores distâncias entre eletrodos se o arco for longo (CP 5 e 6 vs CP 19 e 20) e utilização de ângulo de ataque (CP 5 e 6 vs CP 23 e 24) ou (CP 25 e 26 vs CP 27 e 28).

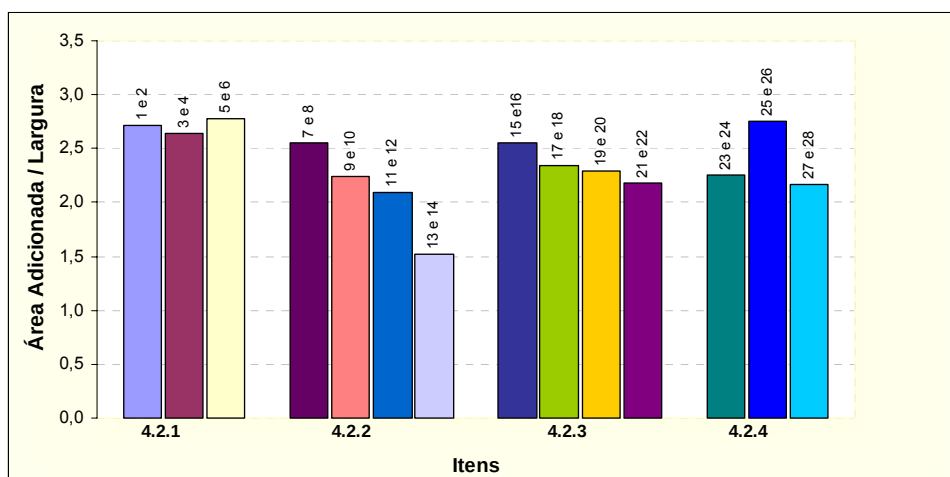


Figura 4.44 - Representação gráfica da convexidade para todos os experimentos

A Figura 4.45 mostra a reação das diferentes combinações com a penetração. Caso se deseje um alto valor de penetração, sem se considerar o grau de afunilamento do cordão deve-se inicialmente não ter arco curto (CP 5 e 6 vs CP 3 e 4 vs CP 1 e 2) ou (CP 11 e 12 vs CP 9 e 10 vs CP 7 e 8) ou (CP 19 e 20 vs CP 17 e 18 vs CP 15 e 16), deve-se usar Ar + 8% de CO₂ (CP 5 e 6 vs CP 13 e 14), não usar altos teores de CO₂ para comprimentos de arco bem longos (CP 13 e 14 vs CP 11 e 12), usar correntes mais altas para DAPI (CP 21 e 22 vs CP 19 e 20), ter menores distâncias entre arames (4.2.1 vs 4.2.3), não utilização de ângulo de ataque (CP 5 e 6 vs CP 23 e 24) ou (CP 25 e 26 vs CP 27 e 28), utilização de velocidade de alimentação diferente para cada arame (CP 5 e 6 vs CP 25 e 26) desde que não se utilize ângulo de ataque (CP 23 e 24 vs CP 27 e 28).

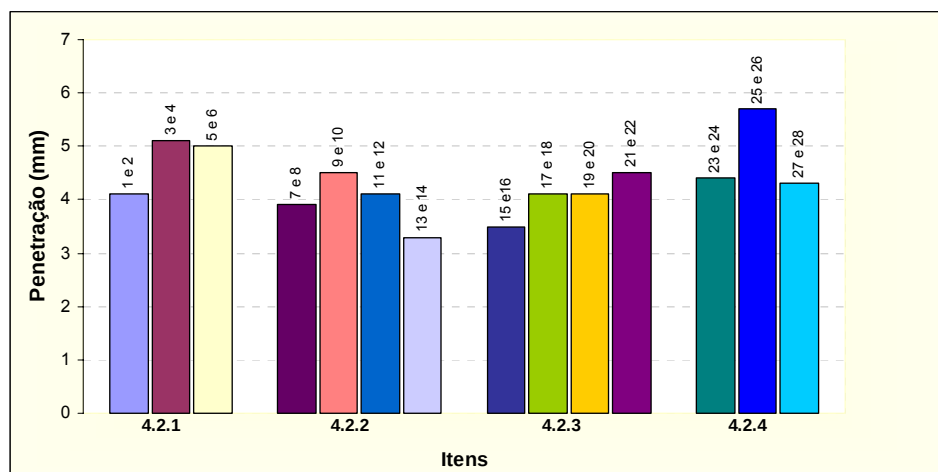


Figura 4.45 - Representação gráfica da penetração para todos os experimentos

O grau de afunilamento do perfil do cordão pode ser representado pela relação entre a área fundida e a penetração (Figura 4.46). Quanto menor essa relação, maior o afunilamento. Dependendo da aplicação, deseja-se um maior afunilamento, como por exemplo, na soldagem de juntas de topo e penetração total. Deve-se atentar para o fato de que o grau de afunilamento não garante um bom parâmetro de penetração, mas somente se limita ao formato geométrico do cordão. Pela Figura 4.45 pode-se afirmar que as condições que favorecem um maior afunilamento são ter arcos curtos (CP 5 e 6 vs CP 3 e 4 vs CP 1 e 2) ou (CP 11 e 12 vs CP 9 e 10 vs CP 7 e 8) ou (CP 19 e 20 vs CP 17 e 18 vs CP 15 e 16), deve-se usar Ar + 4 de CO₂ (CP 5 e 6 vs CP 13 e 14), ter menores distâncias entre arames (4.2.1 vs 4.2.3), não utilização de ângulo de ataque (CP 5 e 6 vs CP 23 e 24) ou (CP 25 e 26 vs CP 27 e 28), utilização de velocidade de alimentação diferentes para cada arame (CP 5 e 6 vs CP 25 e 26) desde que não se utiliza ângulo de ataque (CP 23 e 24 vs CP 27 e 28).

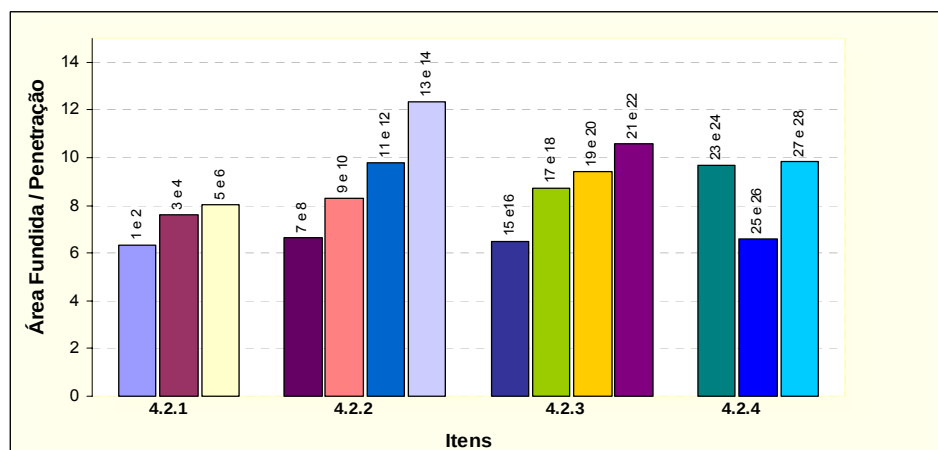


Figura 4.46 - Representação gráfica do grau de afunilamento para todos os experimentos

Capítulo VI – Conclusão

Nas condições deste trabalho, considerando a soldagem na posição plana, com corpo de prova e arames de aço carbono, fonte de tensão constante sem pulsação numa dada velocidade de soldagem e taxa de alimentação, soldagem com simples deposição sobre chapa, indutância fixa, e tomando sempre como base a condição de solda com a proteção por uma mistura de Ar + 8% CO₂, pode-se concluir que:

- A transferência metálica no processo MIG/MAG duplo arame comporta-se de forma diferenciada em relação ao processo convencional, principalmente devido à interação eletromagnética entre os arames-eletrodo nos comprimentos de arco mais elevados, a qual foi verificada em todas as condições;

- Para um gás de proteção de baixo teor de CO₂ (8%), o aumento do comprimento de arco para uma mesma corrente acarreta numa tendência de mudança de modo de transferência por curto-circuito (arcos curtos) para goticular com alongamento (arcos longos), aumentando a estabilidade do arco e reduzindo a geração de respingos. Porém, o efeito de atração magnética e a pequena distância entre os arames fazem com que as gotas tendam a se juntar antes de atingirem a poça de fusão;

- Com um aumento no teor de CO₂ de 8% para 20% numa mistura com Argônio, e com uma distância entre eletrodos de 4 mm, a corrente média total (dos dois arames) diminui para um dado ajuste de velocidade de alimentação e tensão. Em relação ao comportamento da transferência metálica, esse se dá de forma bem particular, com a formação de gotas de grande volume originada da junção do metal fundido dos dois arames antes de destacar. Mesmo aumentando-se bastante o comprimento do arco, não se consegue com este gás de proteção fazer uma transferência que seja exclusivamente globular ou goticular (sempre há presença de curtos-circuitos). Essa forma particular de transferência acarreta em uma maior instabilidade do arco e em grande produção de respingos (chegando a perdas de 30% em média);

- Um aumento da distância entre eletrodos (10 mm vs 4 mm), usando-se um gás com 8% de CO₂, leva a uma maior oscilação da poça. Esta oscilação é maior para quanto menores forem os comprimentos de arco. Por outro lado, o aumento dessa distância não evita que haja uma atração entre os arcos, porém é suficiente para impedir a junção das gotas antes de atingirem a poça;

- O ângulo de ataque da tocha ao passar de 0 ° para 10° no sentido empurrando, não afeta o modo de transferência;

- O uso de velocidade de alimentação do arame líder maior do que a do guiado, mesmo mantendo a mesma taxa total de deposição, também não interfere no modo de transferência metálica;

- A penetração é maior quando a transferência metálica é goticular (arcos mais longos), a velocidade de alimentação do arame líder é maior do que a do guiado, a tocha não é posicionada empurrando, o gás de proteção contém menor teor de CO₂ e a distância entre os arames é menor;

- A largura torna-se maior quando a transferência metálica tende a goticular e/ou globular, as velocidades de alimentação entre arames líder e guiado são as mesmas, a tocha é posicionada com um ângulo de ataque de 10° no sentido empurrando, o gás de proteção tenha maior percentagem de CO₂ e a distância entre eletrodos é maior;

- Uma menor convexidade também é conseguida quando a transferência metálica tende a goticular, as velocidades de alimentação entre arames líder e guiado são as mesmas, a tocha é posicionada na posição empurrando, o gás de proteção tenha maior percentagem de CO₂ e a distância entre eletrodos é maior;

- A geração de respingos fica menor quando a transferência metálica tende a goticular, as velocidades de alimentação entre arames líder e guiado são as mesmas, a tocha é posicionada verticalmente, o gás de proteção tem menor conteúdo de CO₂ e a distância entre eletrodos é menor.

Capítulo VII - Trabalhos Futuros

O desenvolvimento deste trabalho mostrou o comportamento da transferência metálica e do perfil do cordão para uma série de variações de parâmetros de soldagem. Entretanto, muitas outras variações poderiam ser estudadas e também uma quantidade maior de experimentos realizada. Trabalhos futuros poderiam ser feitos com intuito de aumentar a abrangência dos resultados e com isso ter possibilidade de otimizar parâmetros. Entre esses novos trabalhos, estariam os seguintes:

- Avaliar as condições propostas neste trabalho para velocidades de soldagem superiores, uma vez que esta variável foi limitada nos experimentos propostos devido à limitação da capacidade da mesa de soldagem utilizada;
- Estudar a influência da indutância (ajustada nas fontes de soldagem) sobre a estabilidade da transferência metálica, principalmente para o gás de proteção Ar + 20% de CO₂, onde o modo de transferência por curto-circuito persiste para arcos médios e longos;
- Avaliar a influência da vazão de gás de proteção sobre a transferência metálica e sobre a oscilação da poça, uma vez que esta é maior do que a do processo convencional; principalmente em tochas com maior distância entre eletrodos;
- Verificar o porquê da angulação diferenciada para a transferência em cada arame, aparentemente semelhante ao encontrado por Motta (2004) (maior ângulo no arame líder que no guiado) para transferências em comprimentos de arco longos no modo goticular. Com isso, estudar como se poderia modificar essa angulação na transferência em cada arame no intuito de aumentar a estabilidade e/ou melhorar o aspecto do cordão;
- Avaliar por que a imposição de ângulo de ataque em 10° empurrando aparentemente aumenta a geração de fumos metálicos, o que eleva a suscetibilidade ao aparecimento de porosidade;
- Estudar a eficiência na deposição em juntas preparadas (ângulo ou topo) e/ou juntas de filete (em “T”), pois estas refletem melhor a aplicação desse processo na indústria;
- Avaliar o comportamento da transferência metálica para outras composições de gases de proteção para uma melhor compreensão da influência desses nos modos de transferência para o duplo arame;
- Fazer um mapeamento da transferência metálica para as melhores condições encontradas, possibilitando um ajuste fino de parâmetros, o que é fundamental para uma aplicação automatizada;

- Utilizar combinações possíveis (químicas e dimensionais) de arames tubulares e/ou arames sólidos para avaliar a influência sobre a transferência metálica e perfil do cordão;
- Avaliar o processo para enchimento de chanfro de juntas soldadas.

Capítulo VIII - Referências Bibliográficas

Akulov, A. I., Spitsyn, V. V. & Chernyshov, G. G., 1996, “Characteristics of Automatic Twin Arc CO₂ welding”, Svar. Proiz, Vol.14, June 1996, pp31-33

American Welding Society – AWS, 1991, Welding Handbook, Welding Processes, Vol. 1, 8ª edição, USA, 638p

American Welding Society – AWS, 1991, Welding Handbook, Welding Processes, Vol. 2, 8ª edição, USA, 955 p

Baixo, C. E. I., 1998, “Aplicação do processo MAG com Duplo arame na soldagem hiperbárico a seco”, Relatório Técnico LABSOLDA/ UFSC, Florianópolis, SC, maio de 1998, 19p

Bálsamo, P. S. S., Vilarinho, L. O., Vilela, M. & Scotti, A., 2000a, “Development of an Experimental Technique for Studying Metal Transfer in Welding: Synchronized Shadowgraphy”, The Int. Journal for the Joining of Materials, vol 12, no. 1, The European Institute for Joining of Materials (JOM), Denmark, pp 1-12

Bálsamo, P. S. S., Vilarinho, L.O. & Scotti, A., 2000b, “Determinação Criteriosa dos Parâmetros de Pulso para Soldagem MIG Pulsada em Alumínio e Aço Inoxidável, Soldagem e Inspeção”, ano 6, no.2, ABS/ABENDE/SENAI-RJ, pp ST1-ST9 - ISSN: 0104-9224

Bennett, B., 1989, “Effects of Shielding Gas in Pulsed MIG Welding”, Joining & Materials, June 1989, pp 38-40

Berge, J., 2001, “The Welding Wire - Using the Tandem Welding Process to Your Advantage”. Disponível em: < http://www.thefabricator.com/Articles/Welding_Exclusive.cfm?ID=162 >. Acesso em: 20 fev. 2005

Blackman S. A., Liratzis T., Howard R. D., Hudson M. G. & Dorling D.V., 2004, “Recent Tandem Welding Developments For Pipeline Girth Welds”, Pipeline Conference, Belgium

Bohme D., Nentwig R. & Knoch R., 1996, “A High Efficiency Welding Process – The Double Wire Welding”, Proc Conf IIW Asian Welding Congress (Productivity beyond 1996), Auckland, New Zealand, February 1996, pp 867-881

Dillenbeck, V. R. & Castagno, L., 1987, “The Effects of Various Shielding Gases and Associated Mixtures in GMA Welding of Mild Steel”, Welding Journal, setembro de 1987, vol. 66, n.9, pp 45- 49.

Dilthey U., Reisgen U. & Bachem H., 1998, “Increased Productivity as a Result of Higher Welding Speed by Using Two-Wire-GMAW Process”, Third European Conference on Joining Technology -Eurojoin 3, April, 1998, pp 219-231

González A. M. R., 1999, “Análise e Desenvolvimento do Processo MIG/MAG Duplo Arame com Potencial Único”, 1999, 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC

Heald, P. R., Madigan, R. B., Siewert, T. A. & Liu, S., 1994, “Mapping the Droplet Transfer Modes for an ER100S-1 GMAW Electrode”, Welding Research Supplement - Welding Journal, fevereiro de 1994, pp 38 - 44

Hedegård, J., Andersson J., Tolf E., Weman K. & Lundin, M., 2004, “Enhanced Prospects for Tandem-MIG/MAG Welding”, IIW, Doc. XII-1808-04

Hilton, D., 1990, “Shielding Gases for Gas Metal Arc Welding”, Welding & Metal Fabrication, julho de 1990, pp 332 - 334

Jönsson, P. G., Murphy, A. B. & Szekely, J., 1995, “Oxygen Additions on Argon-Shielded Gas Metal Arc Welding Processes”, Welding Research Supplement – Welding Journal, fevereiro de 1995, pp 48 - 58

Ketron D. L., Longenecker R. E. & Brown S.B, 2002, “Evaluation of Two-Wire GMAW Technology for Problematic Steel Welding Applications”, EWI, Project n. 42630IRP, Report n. MR0213, June 2002, USA, 28p

Kodama M., Kawano Y., & Iwabuchi H., 1997, “Development of High Speed Horizontal Fillet Welding Process in GMAW Process”, IIW Doc. XII-1489-97, Proc Annual Assembly of IIW Commission XII, San Francisco

Lassaline, B., Zajackowski, B & Nort, T. H., 1989, “Narrow Groove Twin-Wire MIG/MAG of High-Strength Steel”, Welding Journal, September 1989, pp 53-58

Lincoln Electric Product Literature , 1999, “Tandem MIG Process”, E10.60 4/99, 1999

Liu, S. & Siewert, T. A., 1989, “Metal Transfer In Gas Metal Arc Welding: Droplet Rate”, Welding Research Supplement - Welding Journal, fevereiro de 1989, pp 52 - 58

Lucas, W., 1992, “Choosing a Shielding Gas - Part 2”, Welding & Metal Fabrication, julho de 1992, pp 269 - 276

Lucas W., 1997, “FCAW, Multiwire and Gas Selection – Techniques to Enhance MIG Productivity”, Welding and Metal Fabrication, Vol. 65, n.5, pp 10-12

Lyttle, K. A. & Stapon, F. G., 1990, “Select the Best Shielding Gas Blend for the Application”, Welding Journal, novembro de 1990, pp 21 - 28

Machado, I. G., 1996, “Soldagem & Técnicas Conexas: Processos”, editado pelo autor, Porto Alegre, Brasil, pp 27-29

Meyer M., & Lahnsteiner R., 1998, “GMAW – High Deposition Welding in Automotive Applications”, Proc conf WTIA 46th Annual Conference(“Planning, Production and Productivity”), Paper 9, Perth, Australia, pp 1-9

Michie. K., Blackman S. & Ogunbiyi T. E. B., 1999, “Twin-Wire GMAW: Process Characteristics and Applications”, Welding Journal, AWS, Vol.78, n.5, pp 31-34

Modenesi P.J & Avelar R.C. de, 1999, “The influence of small variations of wire characteristics on gas metal arc welding process stability”, Journal of Materials Processing Technology, 1999, pp 226 -232

Modenesi, P. J. & Nixon, J. H. ,1994, “Arc Instability Phenomena in GMA Welding”, Welding Research Supplement - Welding Journal, setembro de 1994, pp 219 - 224

Motta M. F., 2002, “Aplicação do Processo MIG/MAG Pulsado com Duplo Arame e Potenciais Isolados em Soldagens de Revestimento”, 2002, 174 f., Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC

Motta, M. F., Dutra, J. C., Gohr Jr, R. & Scotti, A, 2005, “A study on out-of-phase current pulses of the double-wire MIG/MAG process with insulated potentials on coating applications”, Jan 2005, Welding & Cutting, Vol 4, n.1, DVS-VERLAG, Germany, pp 26-32

Mulligan S. J. & Melton G. B., 2002, “An assessment of the tandem MIG/MAG welding process”, May 2002, TWI – The Welding Institute, United Kingdom, 21p

Neto, A. O; Motta, M. F. & Dutra, J. C., 2002, Influence of Variations of the Electrode-wire Manufacturing Characteristics, with the same Nominal diameter, on Fusion Rate, 57° ABM ANNUAL CONGRESS, ABM, São Paulo, Brazil, 22-25 Jul 2002, pp 2204–2212 (in Portuguese)

Norrish, J. & Richardson, I. F., 1988, “Metal Transfer Mechanisms”, Welding & Metal Fabrication, janeiro e fevereiro de 1988, pp 17 – 22

Norrish, J., 1992, “Advanced Welding Process”, IOP Publishing Ltd., Londres, 1992, 325p.

Obnawa T., Uezono, T., Ueyanna T., Yamazaki K., Nakata K. & Ushio M., 2003, “High-Speed Welding of Steel Sheets by the Tandem Pulsed Gas Metal Arc Welding System”, IIW, July, 2003, Romania, pp 47-55

Okui, N., Susumu O., Saitoh T., Suzuki T., Maki S., & Homma H., 1989, “Study of High Speed Filler Welding by Tandem Arc MAG Process”, Proceedings of EVALMAT 89, ISIJ, pp 803-810

Palma, J. A. & Timerman, R., 1983, “Ciencia y Técnica de la Soldadura”, v1, Conarco, Buenos Aires, 128p

Pandey, S., Rao, U. R. K. & Aghakhani, M., 1995, “Metal Transfer and V-I Transients in GMAW of Aluminium”, Trends in Welding Research, Proceedings of the 4th International Conference, Gatlinburg, Tennessee, 5 a 8 de junho de 1995, pp 385 - 397

Pereira, W. A., 2001, “Estudo da Formação Irregular do Cordão em Soldagem GMAW Pulsada com Chanfro Estreito”, 2001, 176 f., Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Uberlândia, Uberlândia -MG

Pierre, E. R., 1987, “Shielding Gases for Welding”, *Welding Design & Fabrication*, março de 1987, pp 63 - 65

Platz J., 1996, “Two Wire technique increase the speed in MAG welding Zvaranie/Svarovarni, Vol.45, n.6, pp 124-126 (English translation of text and captions pp 4-5)

Ponomarev, V., Miranda, H.C., Ferraresi, V.A. & Scotti, A., 2004, “Optimisation of MAG-CO2 Welding Metal Short-circuiting Metal Transfer”, *Journal for the Joining of Materials*, vol 16, no. 2, Jun 2004, Institute for Joining of Materials (JOM), Denmark, pp 43-48

Sadler H., 1999, “A Look at The Fundamentals of GMAW”, *Welding Journal*, may 1999, pp 45-47

Scotti, A., 1991, “Process Modelling to Establish Control Algorithms for Automated GMAW”, PhD Thesis, Cranfield Institute of Technology, UK, Setembro de 1991, 273p

Scotti, A., 1988, “A Review on Special Metal Transfer Modes in GMAW”, *Rev. Bras. de Ciências Mecânicas - RBCM, ABCM*, Vol. XX, no. 3, Setembro de 1988, pp 465-478

Scotti, A., 2000, “Mapping the Transfer Modes for Stainless Steel GMAW”, *J. of Science and Technology of Welding and Joining*, Institute of Materials Publ, UK, Vol. 5, No.4, 2000, pp 227-234

Silva, C.R., 1995, Confecção de um Manual de Utilização dos Softwares 'GLOBAL LAB Acquire' e 'GLOBAL LAB Image' V 3.0 Aplicados à Soldagem, *Relatório Interno Laprosolda/UFU no. 02/95*, UFU, Uberlândia, MG, Agosto de 1995, 33p

Silva, C.L. M., Vanderley, J. S. & Sobrinho, R. R. L., 2000, “Calibração de Mecanismos Cinéticos Empregados em Processos de Soldagem do Laprosolda”, *Relatório Interno LAPROSOLDA/UFU no. 10/2000*, Uberlândia, MG, Outubro de 2000, 10p

Stenbacka, N. & Persson, K. A., 1989, "Shielding Gases For Gas Metal Arc Welding", Welding Journal, novembro de 1989, pp 41 - 48

Unosson, P. & Persson, H., 2003, "Tandem MIG/MAG Welding with ESAB, Svetsaren – The ESAB welding and Cutting Journal", Vol. 58, n.2, The Netherlands, pp 28-29

Vilarinho, L. O. & Scotti, A., 2000, "An Alternative Algorithm for Synergic Pulsed GMAW of Aluminum", In: Australasian Welding Journal, vol 45, 2nd Quarter , 2000, pp 36-44

Vilarinho, L. O. & Scotti A., 2002, "Effect of electrode metal drop on arc voltage in shielded-gas welding", Patton Welding Journal, no. 4 (589), April 2002, pp 7- 11

Volodin, V. S. & Sluchanko, N. A., Automatic Welding with Two Electrodes, Svar., Proiz., vol 3, 1955

ANEXO I

ROTINA “CONVERTE1” NO AMBIENTE DO MATLAB® PARA TRATAMENTO DE DADOS DOS SINAIS DE TENSÃO E CORRENTE

```

clc;
clear all;
close all;

[filename, pathname] = uigetfile('*.t');

arquivo_tempo = strcat(pathname,filename);
nome = strtok(arquivo_tempo, '.');
arquivo_I1 = strcat(nome, '.I1');
arquivo_I2 = strcat(nome, '.I2');
arquivo_U1 = strcat(nome, '.U1');
arquivo_U2 = strcat(nome, '.U2');
tempo = load(arquivo_tempo);
I1 = load(arquivo_I1);
I2 = load(arquivo_I2);
U1 = load(arquivo_U1);
U2 = load(arquivo_U2);
RMS_I1 = sqrt(mean(I1.^2))
RMS_I2 = sqrt(mean(I2.^2))
RMS_U1 = sqrt(mean(U1.^2))
RMS_U2 = sqrt(mean(U2.^2))
Media_I1 = mean(I1)
Media_I2 = mean(I2)
Media_U1 = mean(U1)
Media_U2 = mean(U2)
arquivo = strtok(filename, '.');
figure;plot(tempo,I1);title(strcat('I1:',arquivo,'/RMS= ',num2str(RMS_I1),'/Media= ',num2str(Media_I1)));
figure;plot(tempo,I2);title(strcat('I2:',arquivo,'/RMS= ',num2str(RMS_I2),'/Media= ',num2str(Media_I2)));
figure;plot(tempo,U1);title(strcat('U1:',arquivo,'/RMS= ',num2str(RMS_U1),'/Media= ',num2str(Media_U1)));
figure;plot(tempo,U2);title(strcat('U2:',arquivo,'/RMS= ',num2str(RMS_U2),'/Media= ',num2str(Media_U2)));
subplot(2,2,1);
plot(tempo,I1);
title(strcat('I1media= ',num2str(Media_I1,'%6.2f'),'A'),'FontSize',8);
xlabel('Tempo(ms)','FontSize',8);
ylabel('Corrente Fonte 1 (A)','FontSize',8);
axis([0 1000 0 600]);
set(gca,'ytick',0:100:600,'FontSize',8);
set(gca,'xtick',0:200:1000,'FontSize',8);
subplot(2,2,2);
plot(tempo,I2);
title(strcat('I2media= ',num2str(Media_I2,'%6.2f'),'A'),'FontSize',8);
xlabel('Tempo(ms)','FontSize',8);
ylabel('Corrente Fonte 2 (A)','FontSize',8);
axis([0 1000 0 600]);

```

```

        set(gca, 'ytick', 0:100:600, 'FontSize', 8);
        set(gca, 'xtick', 0:200:1000, 'FontSize', 8);
subplot(2,2,3);
    plot(tempo,U1);
    title(strcat('U1media= ', num2str(Media_U1, '%6.2f'), 'V'), 'FontSize', 8);
    xlabel('Tempo(ms)', 'FontSize', 8);
    ylabel('Tensao Fonte 1 (V)', 'FontSize', 8);
    axis([0 1000 0 60]);
    set(gca, 'ytick', 0:10:60, 'FontSize', 8);
    set(gca, 'xtick', 0:200:1000, 'FontSize', 8);
subplot(2,2,4);
    plot(tempo,U2);
    title(strcat('U2media= ', num2str(Media_U2, '%6.2f'), 'V'), 'FontSize', 8);
    xlabel('Tempo(ms)', 'FontSize', 8);
    ylabel('Tensao Fonte 2 (V)', 'FontSize', 8);
    axis([0 1000 0 60]);
    set(gca, 'ytick', 0:10:60, 'FontSize', 8);
    set(gca, 'xtick', 0:200:1000, 'FontSize', 8);

```

ANEXO II

**TABELA DE CALIBRAÇÃO DA VELOCIDADE DE ALIMENTAÇÃO PARA OS CABEÇOTES
DAS FONTES MESTRE E ESCRAVA**

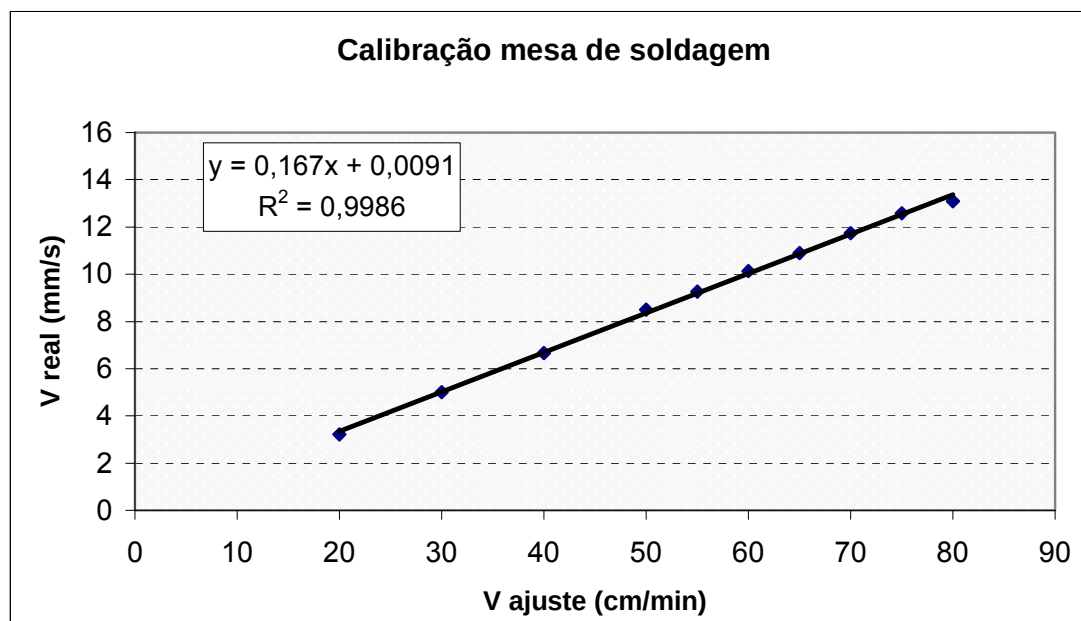
Tabela de Calibração da Valim para Fontes Digitec 600		
Valim Real (m/min)	Valim Mestre (m/min)	Valim Escrava (m/min)
5	4,8	4,6
6	5,7	5,6
7	6,5	6,6
8	7,4	7,5
9	8,3	8,5
10	9,2	9,5
11	10,0	10,4
12	10,9	11,4
13	11,8	12,4
14	12,7	13,3
15	13,6	14,3
16	14,4	15,3
17	15,3	16,2
18	16,2	17,2
19	17,1	18,2
20	17,9	19,1

Equação

$$\text{Mestre: ValimFonte} = 0,8761 * \text{Valim Real} + 0,4091$$

ANEXO III

CURVA DE CALIBRAÇÃO DA MESA DE SOLDAGEM



Vel ajustada (cm/min)	Vel Real (mm/s)
17,9	3
23,9	4
29,9	5
35,9	6
41,9	7
47,8	8
53,8	9
59,8	10
65,8	11
71,8	12
77,8	13

ANEXO IV

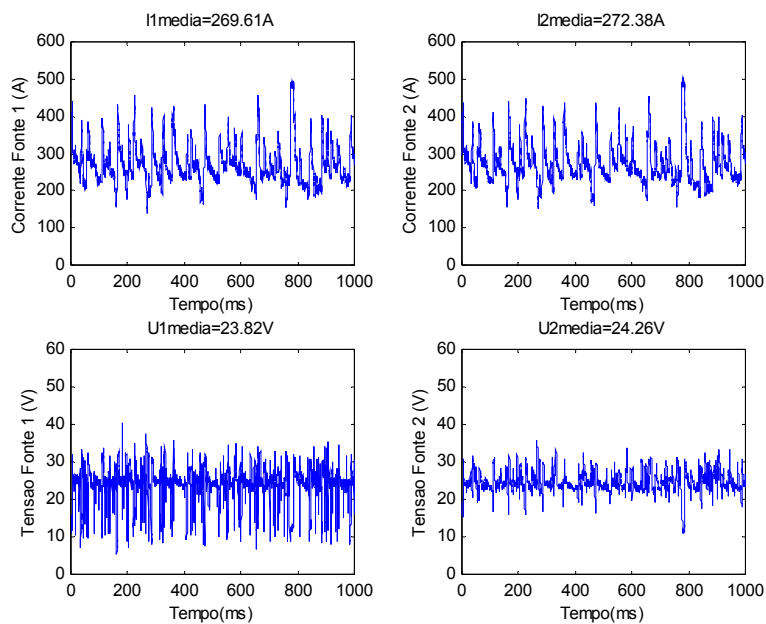
TABELA DE CALIBRAÇÃO DA VAZÃO DE GÁS PARA TOCHAS DUPLO ARAME

Tabela de calibração da vazão de gás para a tocha Duplo Arame		
Vazão desejada (l/min)	Vazão Manômetro (l/min)	
	Manômetro 1	Manômetro 2
12,0	8,1	9,0
13,0	8,7	9,7
14,0	9,4	10,4
15,0	10,0	11,1
16,0	10,6	11,8
17,0	11,2	12,4
18,0	11,9	13,1
19,0	12,5	13,8
20,0	13,1	14,5
21,0	13,7	15,2
22,0	14,4	15,8
23,0	15,0	16,5
24,0	15,6	17,2
25,0	16,2	17,9
26,0	16,8	18,6
27,0	17,5	19,2
28,0	18,1	19,9
29,0	18,7	20,6
30,0	19,3	21,3
31,0	20,0	22,0
32,0	20,6	22,6
33,0	21,2	23,3
34,0	21,8	24,0

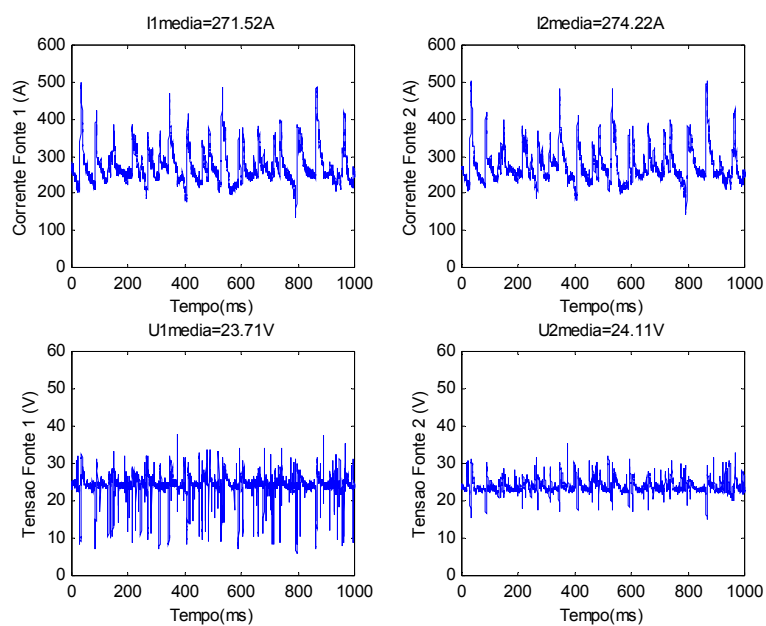
ANEXO V

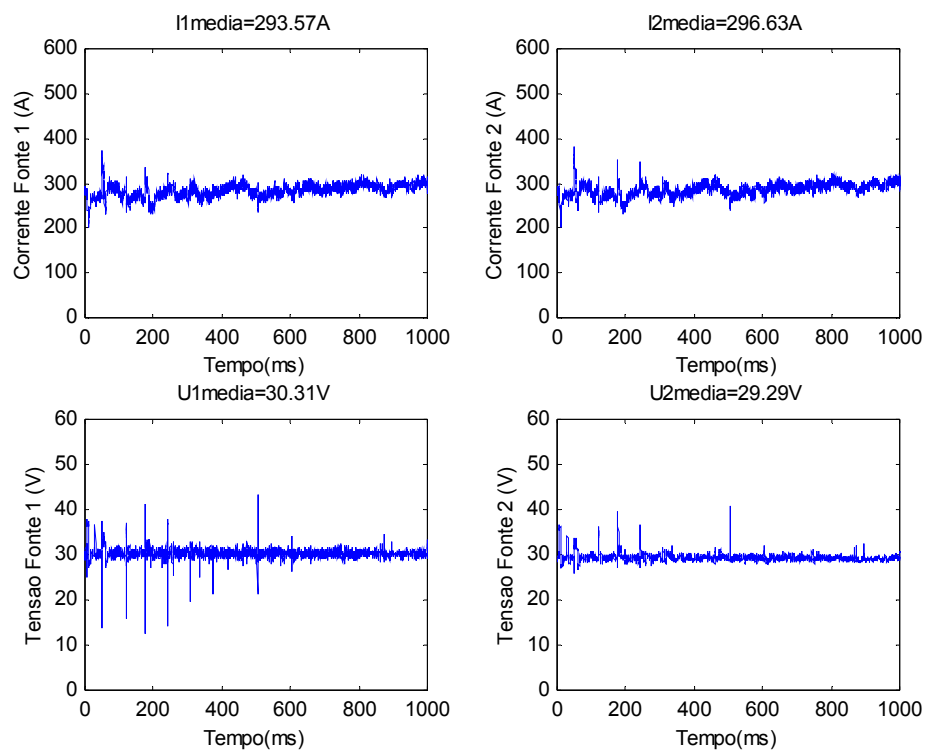
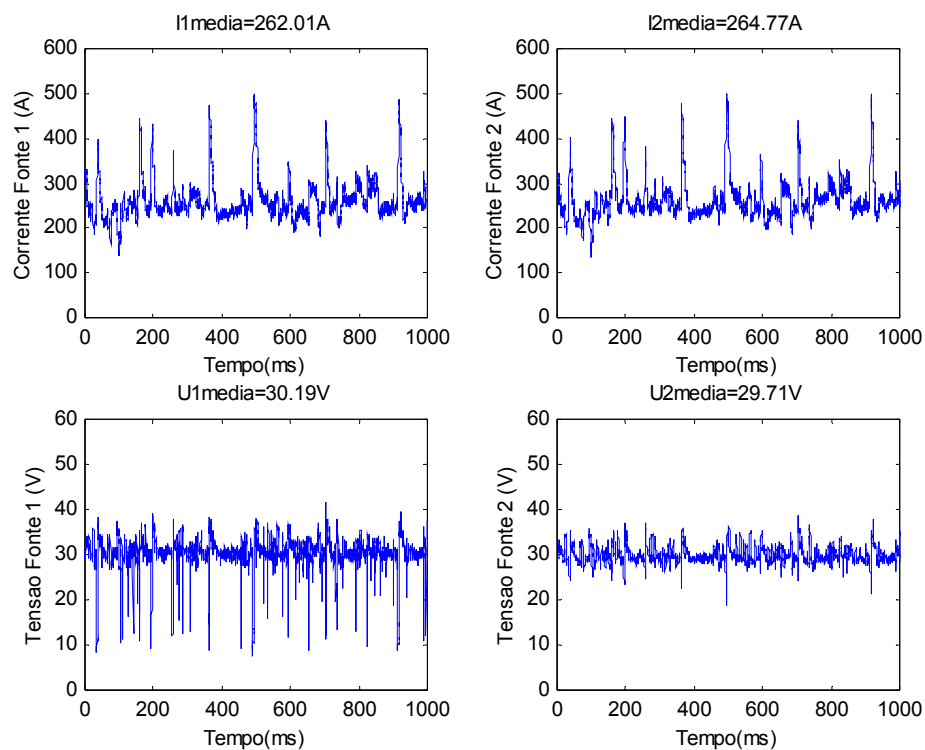
OSCILOGRAMAS DE TENSÃO E CORRENTE PARA TODOS EXPERIMENTOS

CP 1

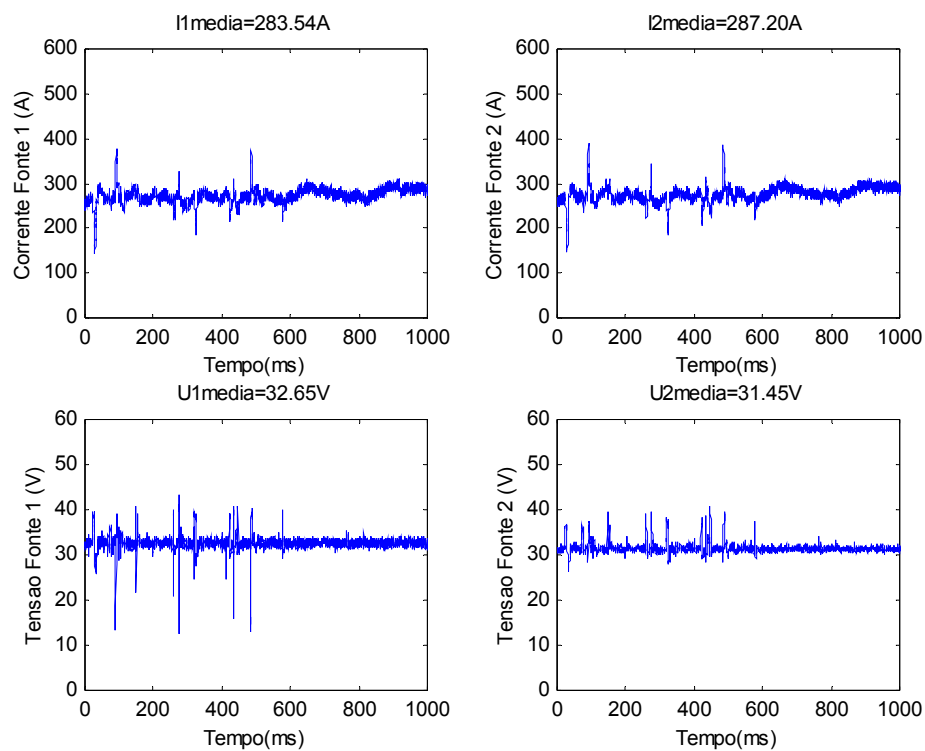


CP 2

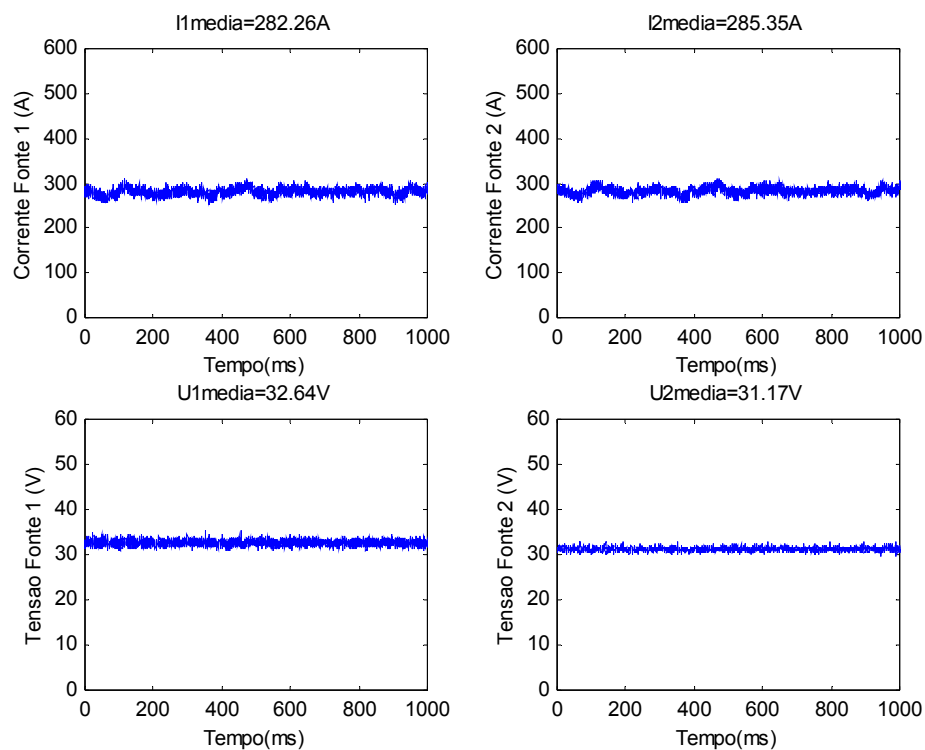


CP 3**CP 4**

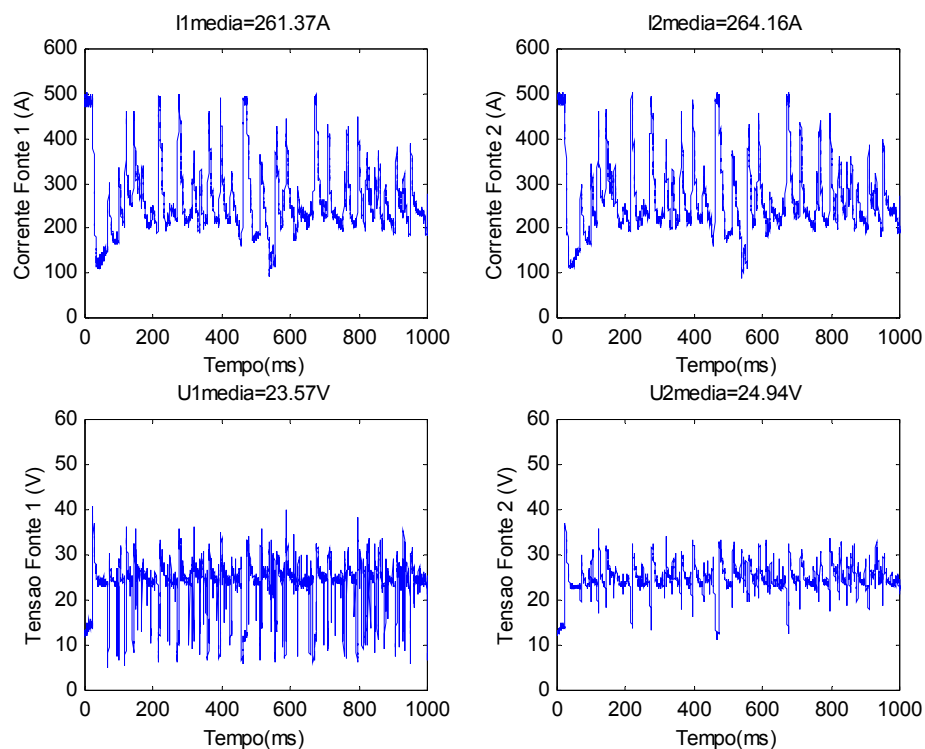
CP 5



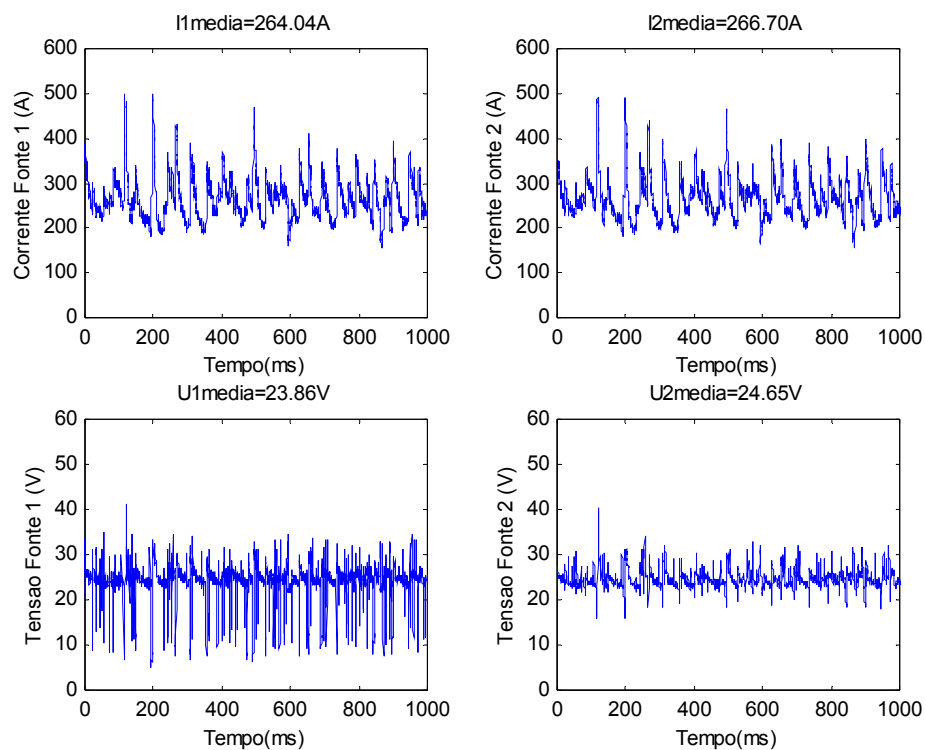
CP 6



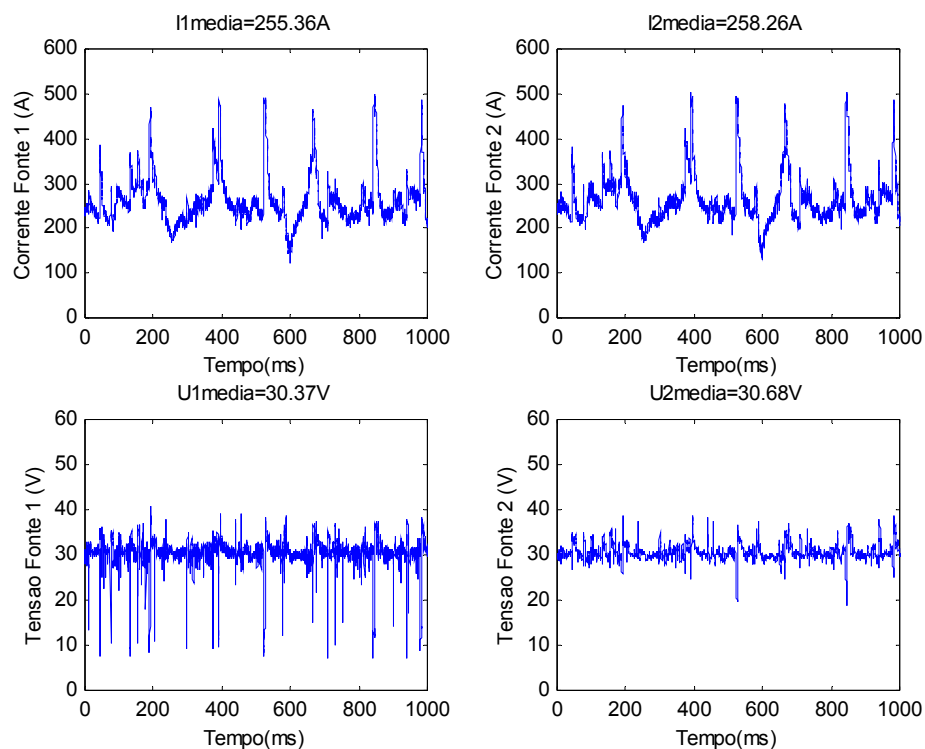
CP 7



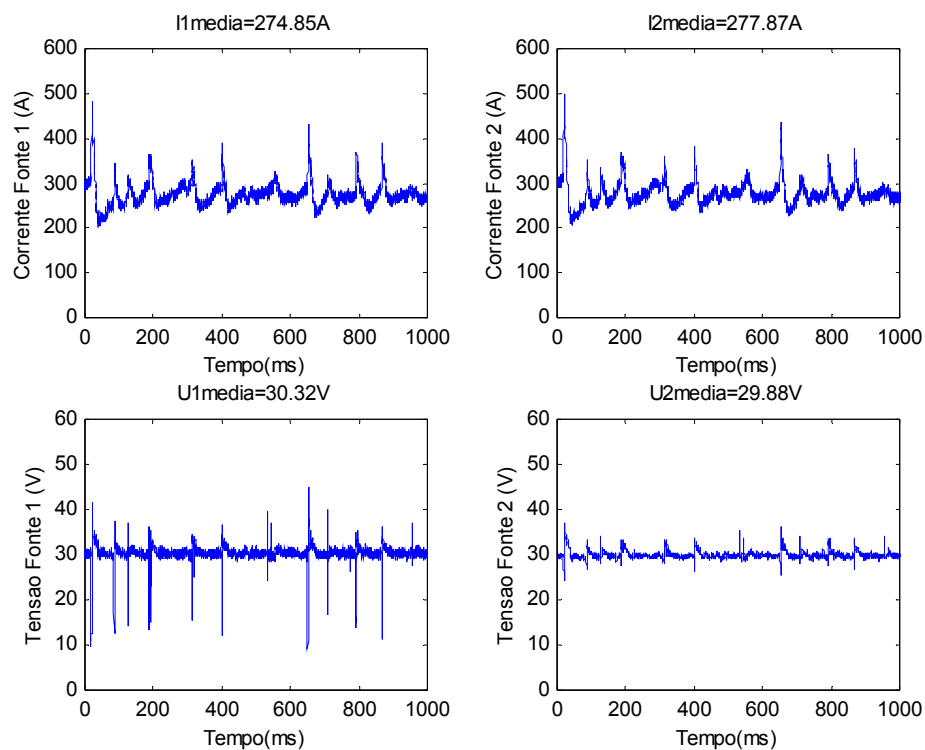
CP 8



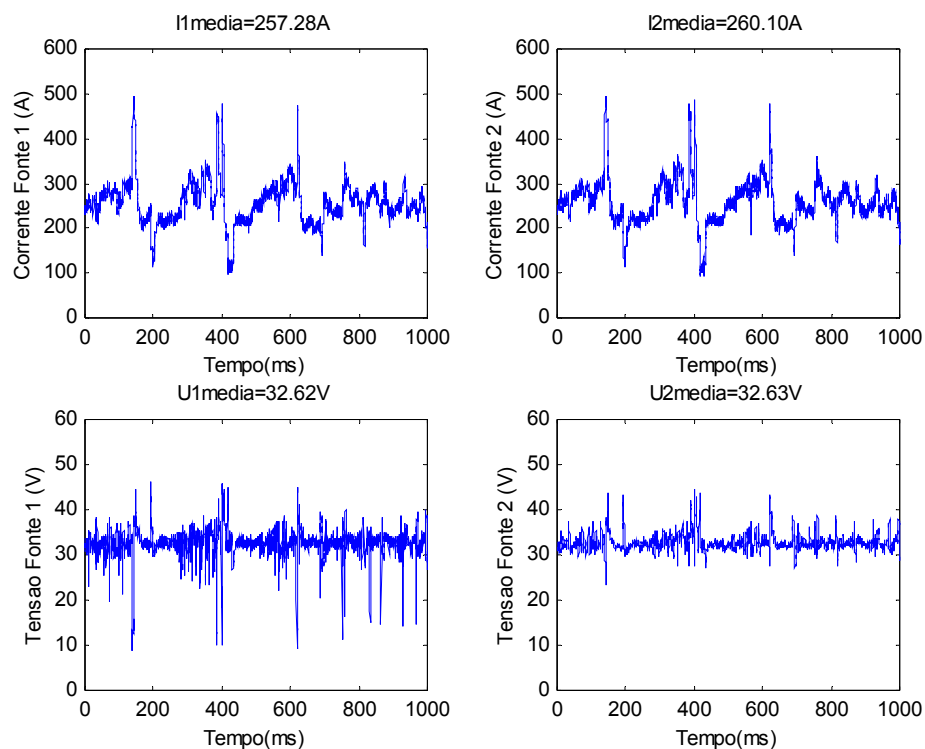
CP 9



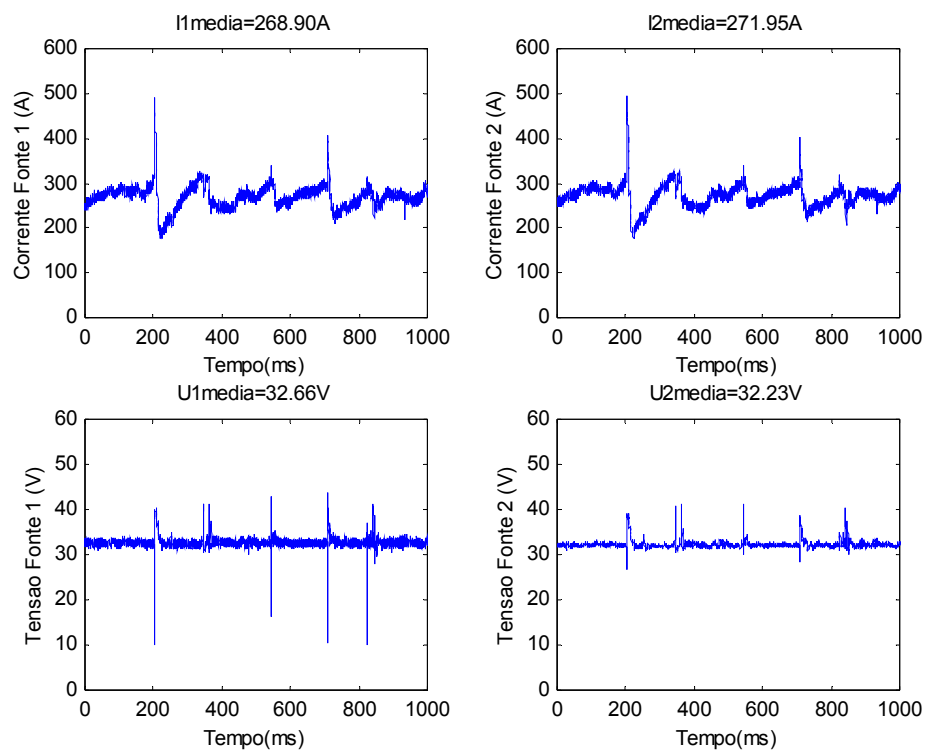
CP 10



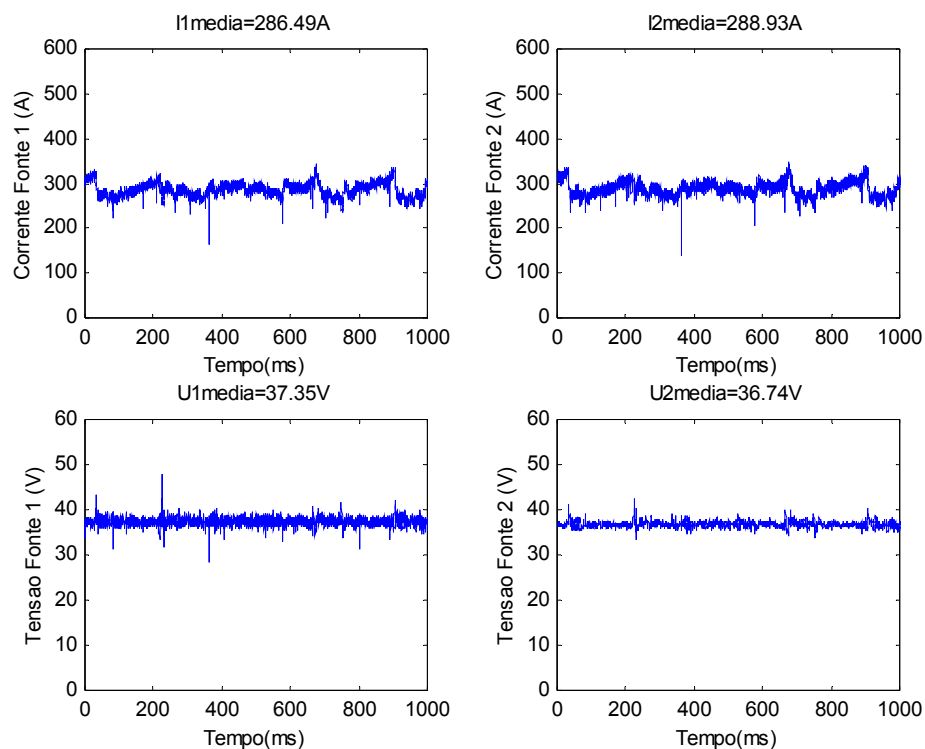
CP 11



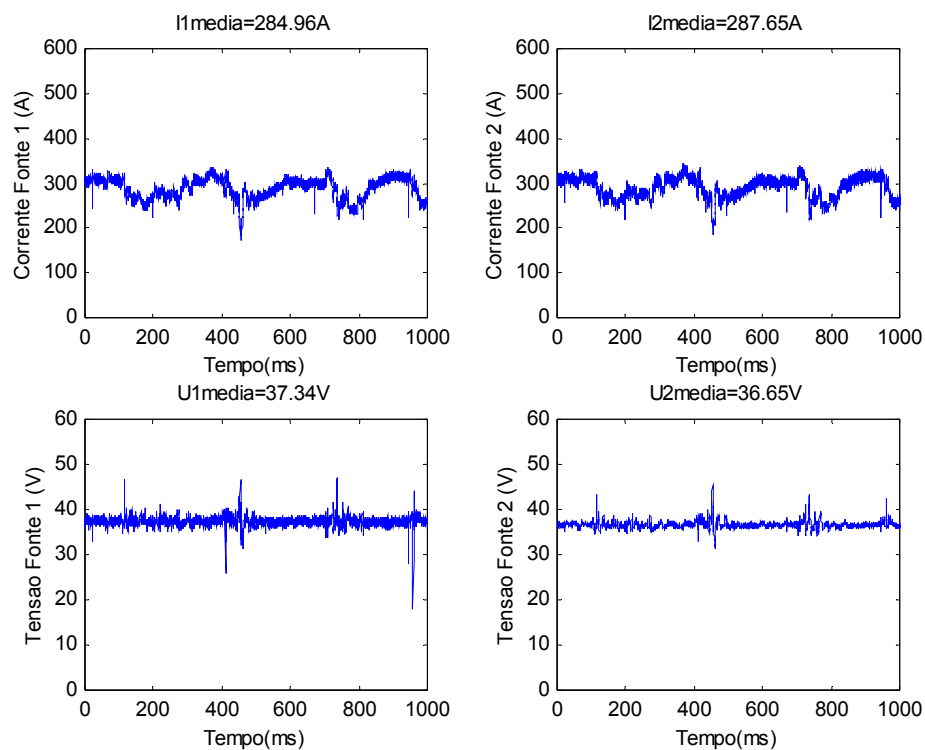
CP 12



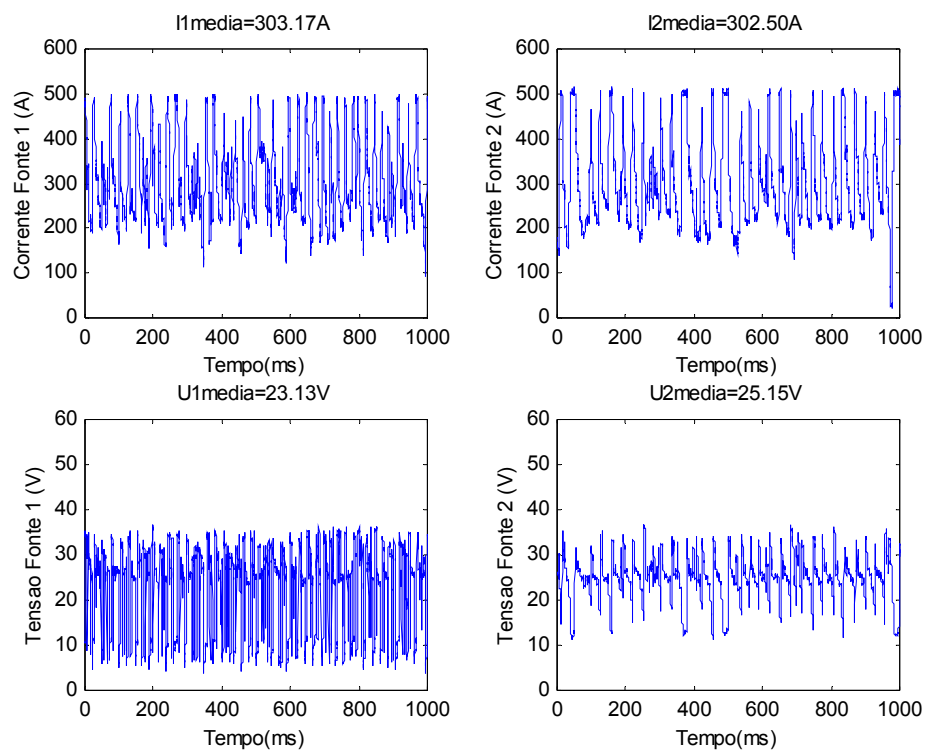
CP 13



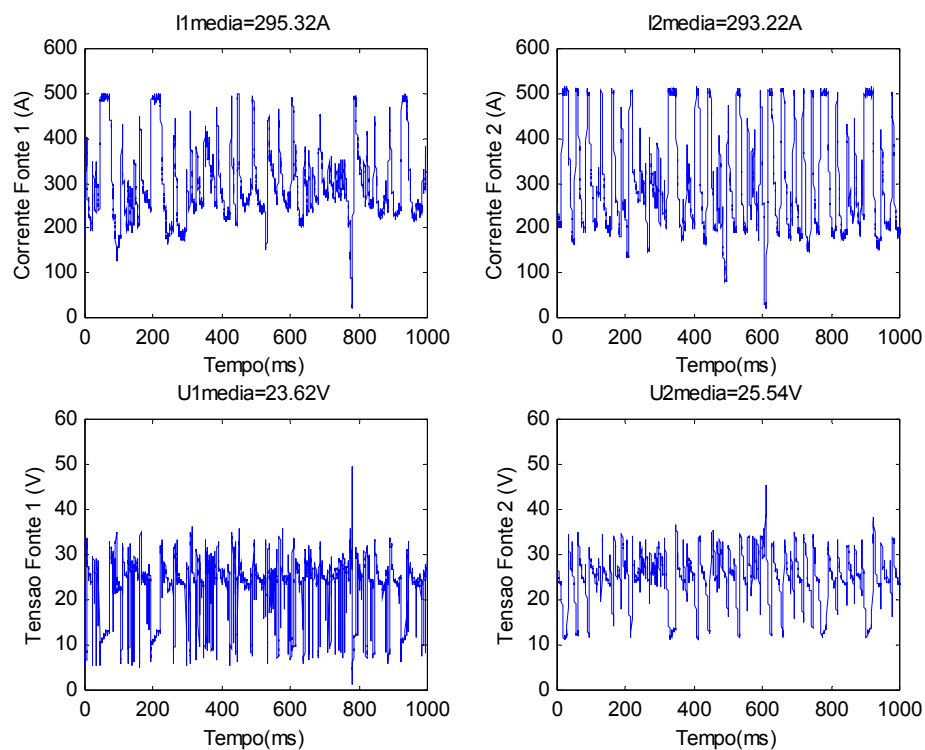
CP 14



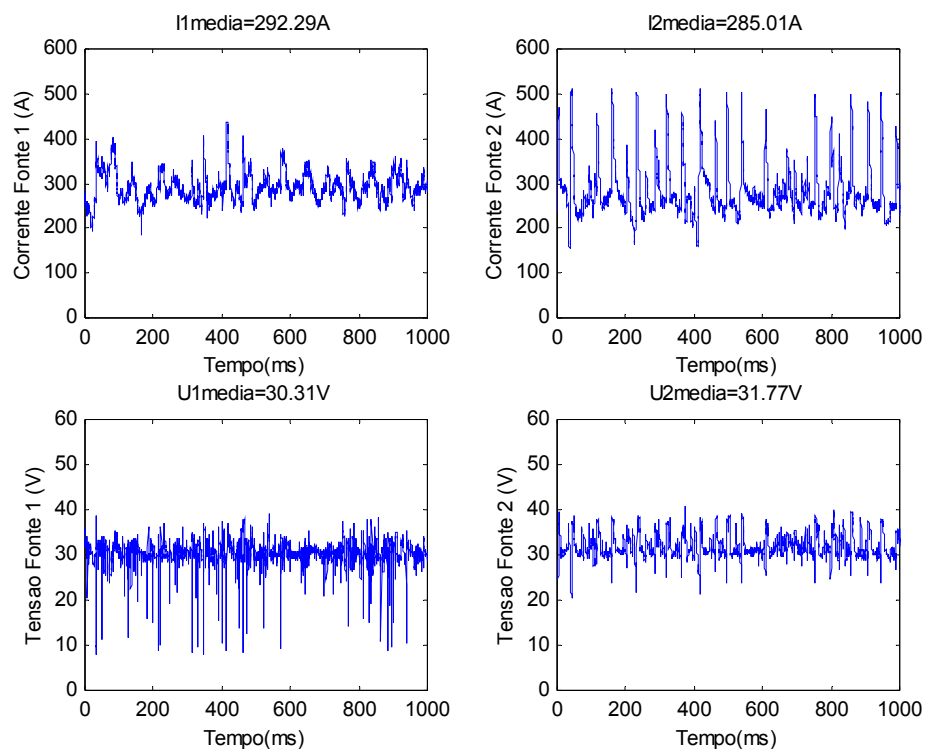
CP 15



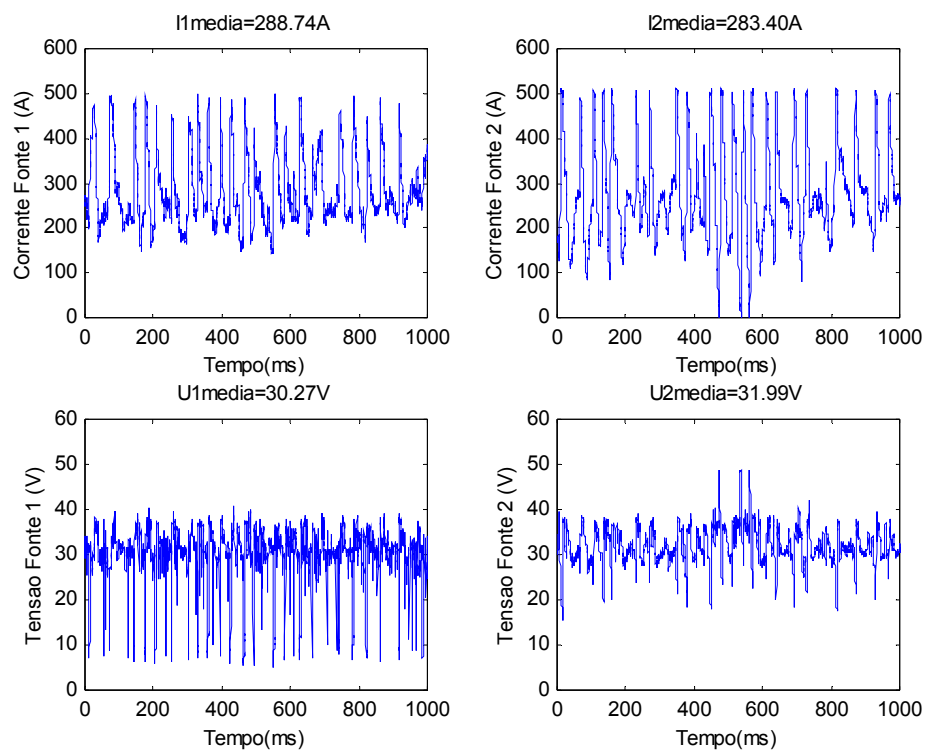
CP 16



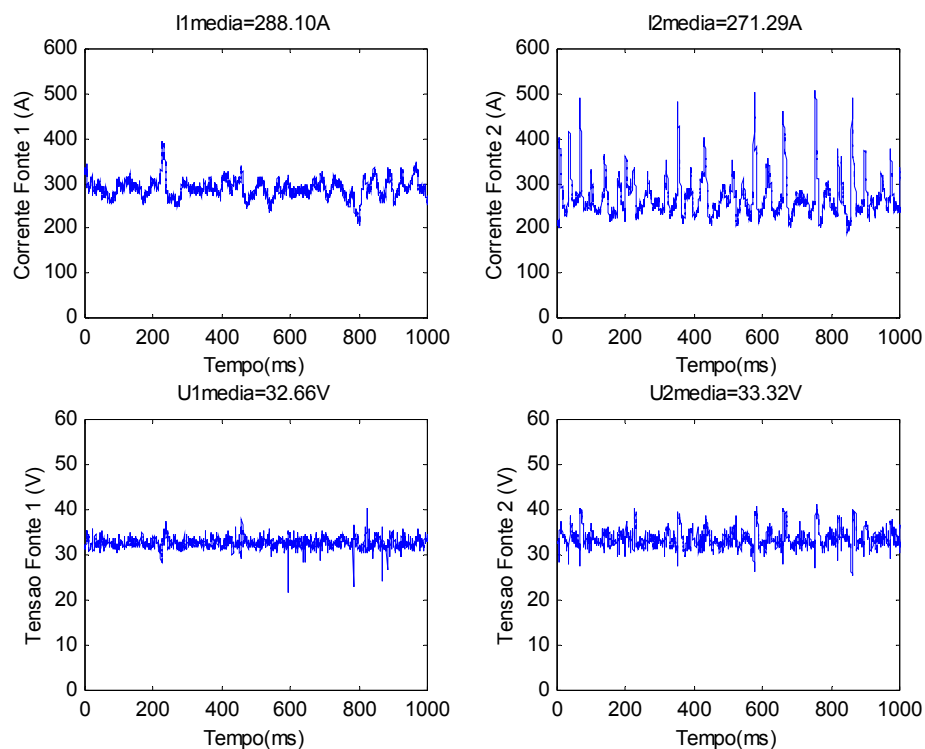
CP 17



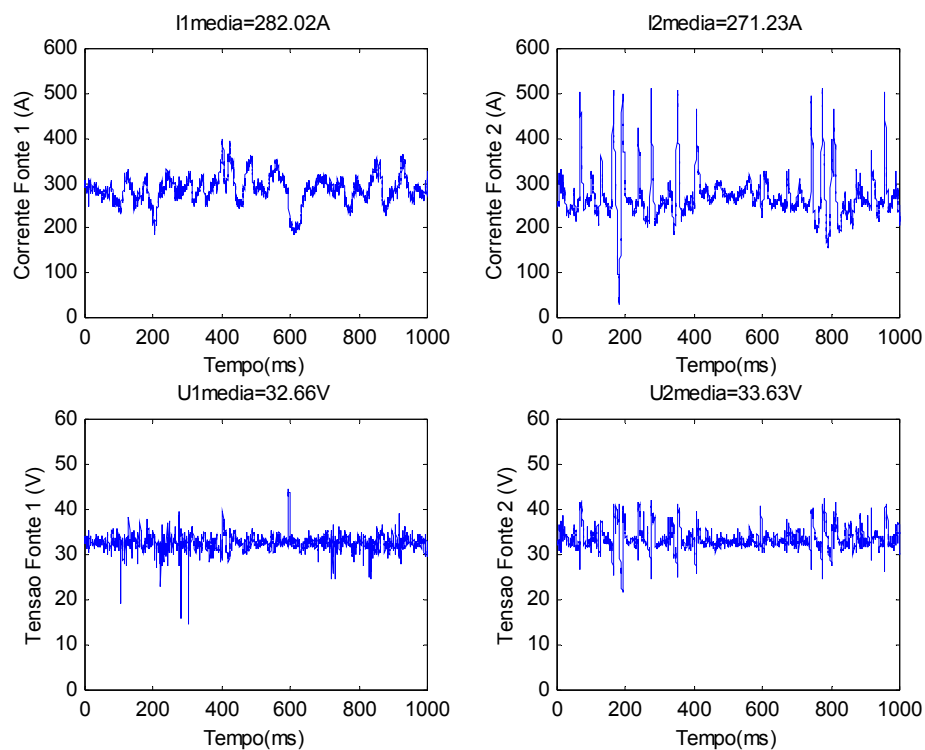
CP 18



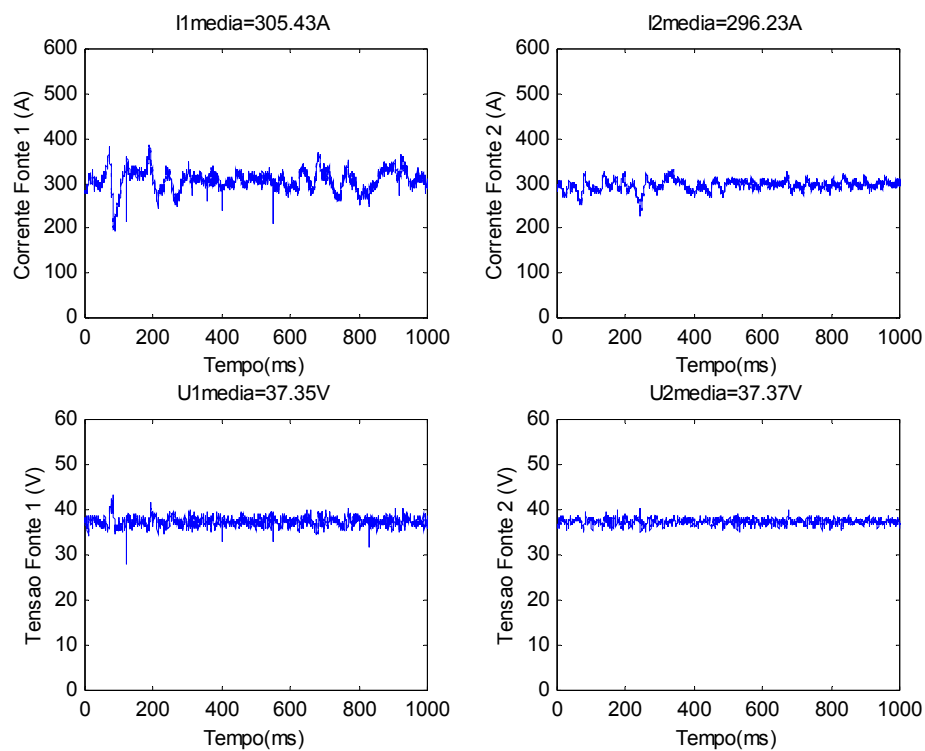
CP 19



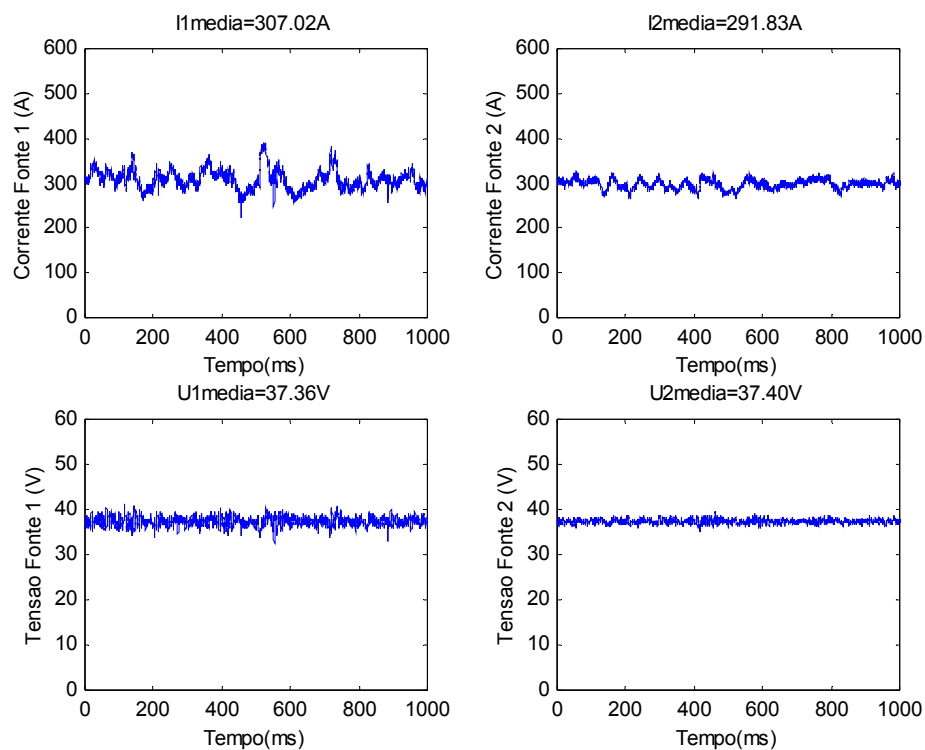
CP 20



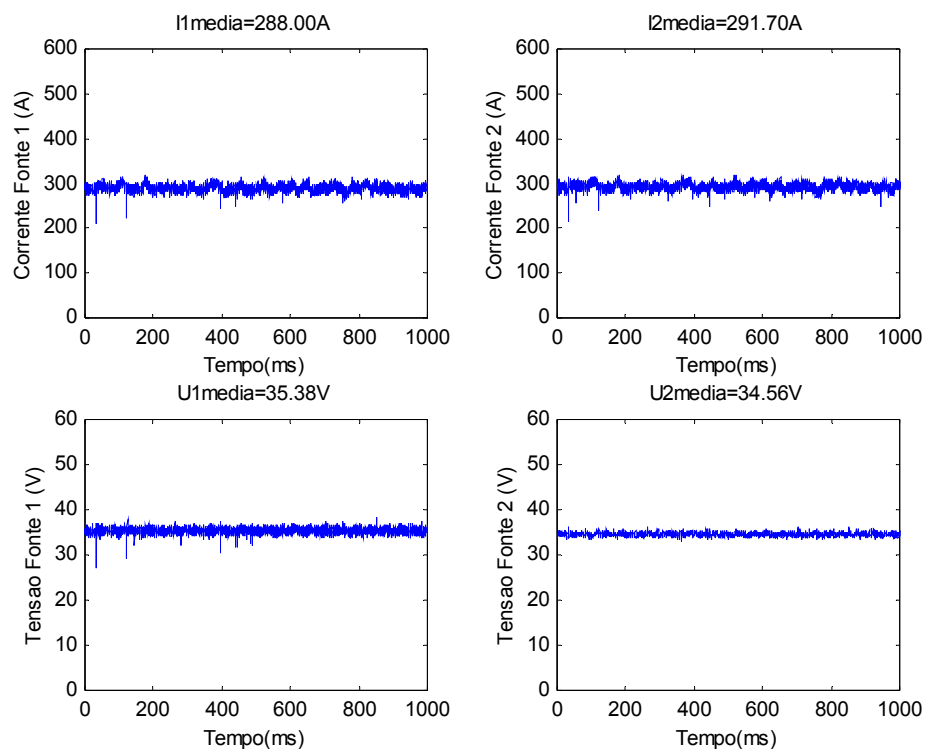
CP 21



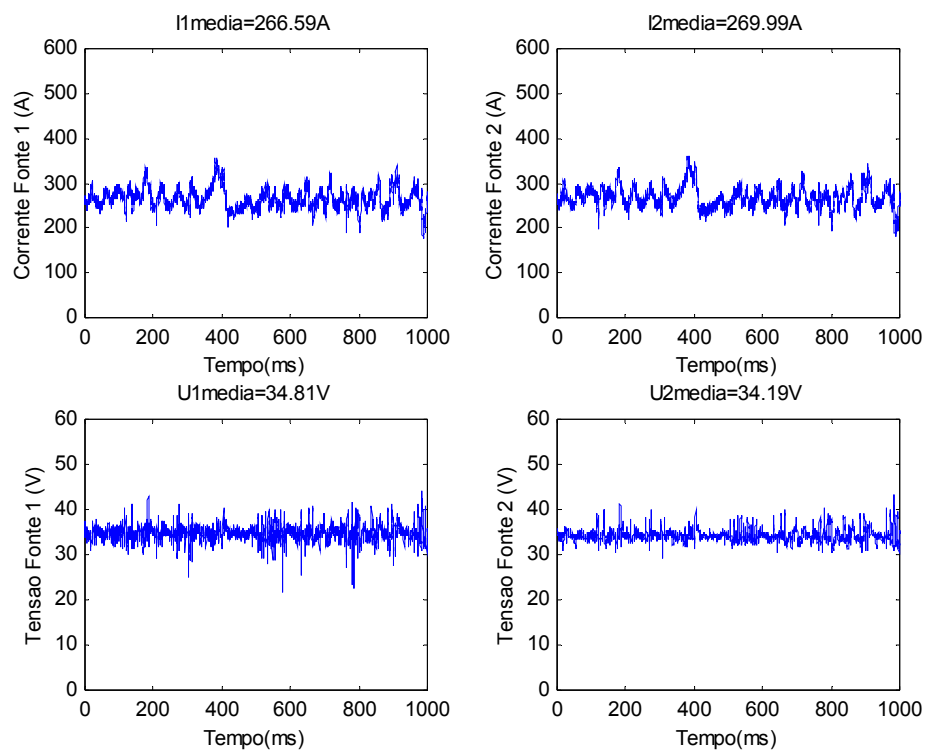
CP 22



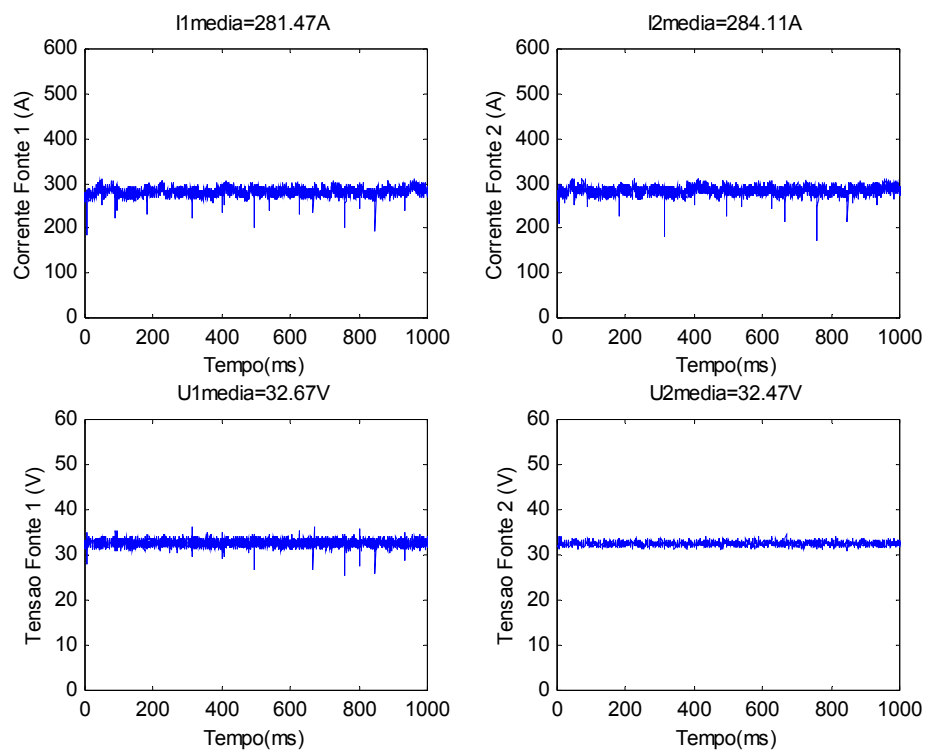
CP 23



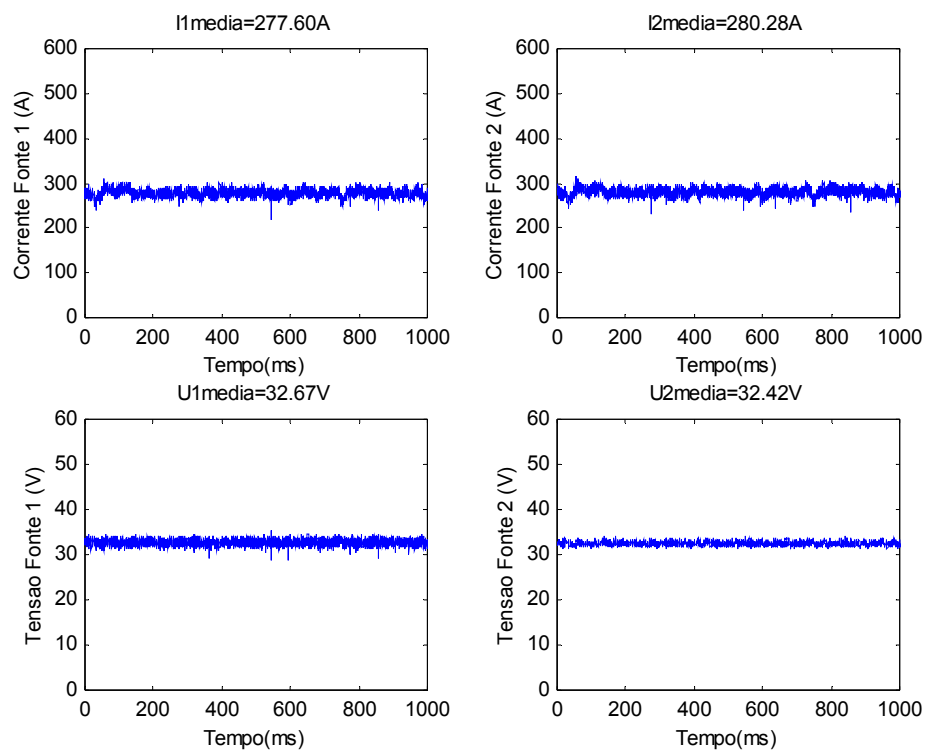
CP 24



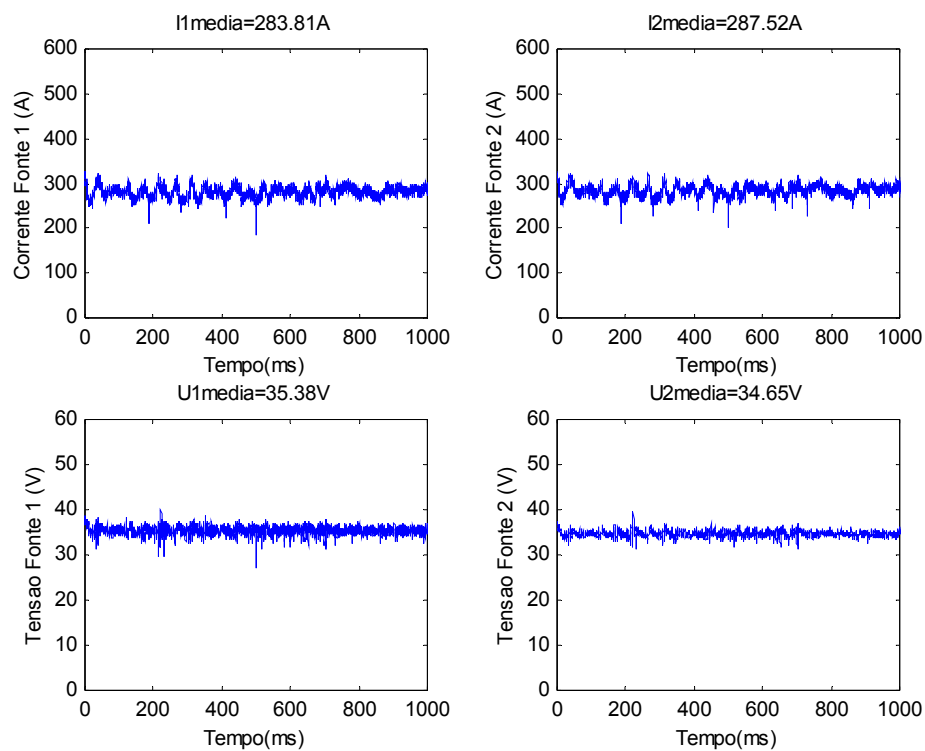
CP 25



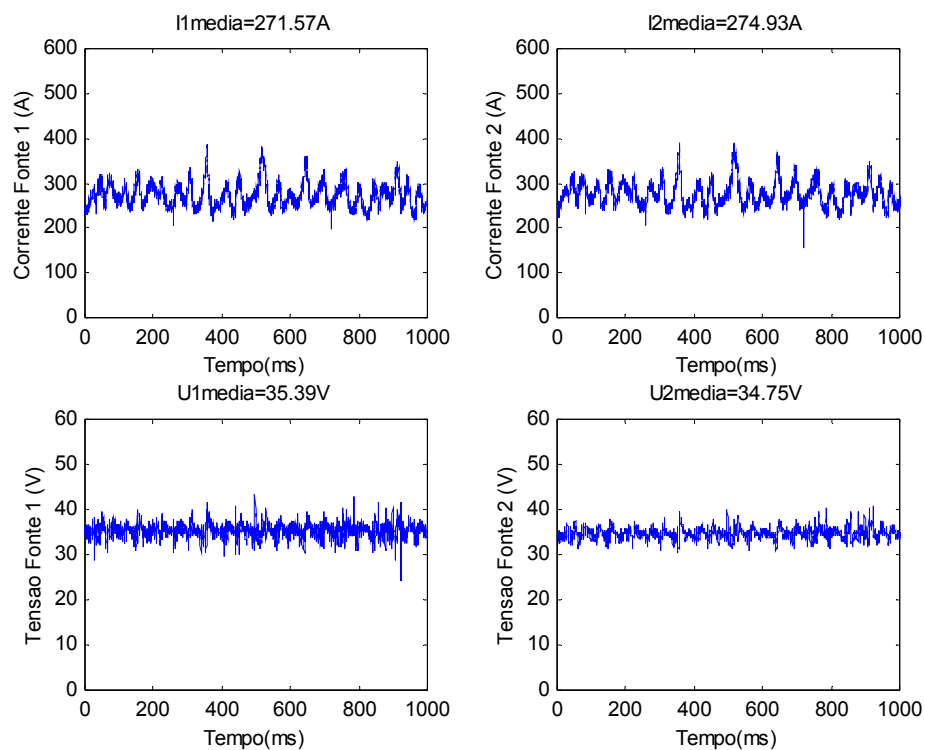
CP 26



CP 27



CP 28



ANEXO VI

**Tabela com valores gerais dos parâmetros geométricos para todos os experimentos
(lados a e b de cada CP)**

CP	Área (mm²)	Média	σ	Área Depositada (mm²)	Média	σ	Área Fundida (mm²)	Média	σ	Largura (mm)	Média	σ	Penetração (mm)	Média	σ
1	58,6	59,1	2,3	32,1	33,1	1,4	26,5	26,0	1,5	12,1	12,2	0,3	4,2	4,1	0,2
	58,2			32,0			26,2			12,1			4,1		
2	57,1			33,2			23,9			12,6			3,8		
	62,5	76,2	7,3	35,1	37,3	2,4	27,4	38,9	5,3	11,9	14,1	0,7	4,2	5,1	1,4
3	80,8			37,5			43,3			13,5			6,2		
	83,6			39,9			43,7			13,8			6,4		
4	67,8			34,2			33,6			14,3			3,9		
	72,7	82,0	2,6	37,7	41,9	4,1	35,0	40,2	2,1	15,0	15,1	0,9	3,9	5,0	0,8
5	78,6			37,3			41,3			14,3			5,7		
	83,2			41,0			42,2			14,4			5,7		
6	84,6			47,1			37,5			15,7			4,3		
	81,8	57,8	4,3	42,1	31,9	3,4	39,6	25,9	1,6	16,2	12,5	1,5	4,4	3,9	0,6
7	52,7			27,2			25,5			13,1			3,7		
	55,7			31,8			23,9			14,3			3,2		
8	62,1			34,5			27,6			11,2			4,3		
	60,6	70,6	10,9	34,2	33,2	4,8	26,4	37,4	6,5	11,4	14,8	1,3	4,5	4,5	1,2
9	61,4			31,0			30,4			15,8			3,4		
	61,2			27,5			33,7			16,1			3,7		
10	82,0			37,3			44,6			13,5			5,8		
	77,7	73,5	5,0	36,8	33,3	2,8	40,9	40,2	2,4	13,9	15,9	1,1	5,0	4,1	0,5
11	67,1			29,5			37,6			16,2			3,5		
	72,0			33,0			39,0			17,3			3,7		
12	77,1			34,3			42,8			15,5			4,4		
	77,8	70,6	3,7	36,3	29,9	1,3	41,5	40,8	3,5	14,8	19,6	1,1	4,6	3,3	0,1
13	72,4			31,8			40,6			20,7			3,3		
	69,0			29,1			39,9			19,5			3,3		
14	74,8			29,3			45,5			20,2			3,4		
	66,3	55,9	3,7	29,2	33,2	7,6	37,1	22,7	4,2	18,1	13,0	1,6	3,1	3,5	0,6
15	52,1			24,6			27,5			11,2			4,3		
	55,7			31,0			24,7			12,5			3,6		
16	61,0			43,0			18,0			14,9			3,1		
	54,6	73,3	2,4	33,9	37,5	1,3	20,7	35,9	2,2	13,4	16,0	0,3	3,1	4,1	0,1
17	73,4			38,8			34,7			16,0			4,0		
	76,3			38,2			38,1			16,4			4,1		
18	73,2			35,9			37,3			16,0			4,3		
	70,4	75,7	3,8	37,0	37,2	1,7	33,5	38,5	3,1	15,5	16,2	0,5	4,1	4,1	0,3
19	76,1			39,4			36,7			16,5			4,1		
	71,8			35,8			35,9			16,7			3,8		
20	80,7			37,7			43,0			16,3			4,3		
	74,1	85,8	4,7	35,8	38,1	1,7	38,3	47,7	5,2	15,5	17,5	0,8	4,3	4,5	0,3
21	79,6			38,6			41,0			17,8			4,1		
	86,2			39,9			46,2			17,2			4,8		
22	91,1			38,2			52,9			18,4			4,3		
	86,4	81,1	5,6	35,7	38,4	5,3	50,7	42,7	2,6	16,4	17,0	0,7	4,6	4,4	0,4
23	83,2			42,8			40,4			18,0			3,9		
	88,0			42,2			45,8			16,6			4,9		
24	75,2			31,3			43,9			16,5			4,5		
	78,2	73,5	3,2	37,5	35,8	1,5	40,6	37,6	1,8	16,8	13,0	0,3	4,2	5,7	0,2
25	71,3			35,3			36,0			12,7			5,7		
	70,8			34,3			36,5			12,9			5,6		
26	77,9			37,8			40,1			13,4			5,6		
	73,9	78,6	3,6	35,9	36,4	3,2	38,0	42,2	1,9	13,0	16,8	0,8	6,0	4,3	0,2
27	79,0			39,1			40,0			17,1			4,2		
	82,0			37,4			44,6			17,7			4,0		
28	79,9			37,5			42,4			16,6			4,4		
	73,5			31,7			41,8			15,9			4,6		