

## **INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DA PONTA DO ARAME E DA CORRENTE NA ABERTURA DO ARCO MIG NO ALUMÍNIO**

(1) Túlio Fernandes dos Santos

(2) Jair Carlos Dutra

### **RESUMO**

Na soldagem MIG do alumínio, com corrente imposta e pulsada, a abertura do arco é influenciada pela geometria da ponta do arame e pela corrente da abertura. Diferentes combinações destes fatores foram ensaiadas para o arame ER4043 com 1,2 mm de diâmetro. Com base nos oscilogramas de tensão e corrente, e filmagens, foram investigados os aspectos: tempo, energia e tensão. Os resultados indicam que, comparando as geometrias de ponta do arame, cortada e arredondada, esta resulta em maior tempo e energia demandada até a abertura do arco, além de mais elevada tensão após a abertura. Supondo a aleatoriedade da geometria da ponta, a influência desta na tensão do arco sugere a necessidade de um sistema de controle de altura de arco após a abertura. O efeito da corrente de abertura é significativo para condições de ponta arredondada, sendo que, correntes mais elevadas demandam menor tempo até a abertura do arco.

**Palavras-chave:** MIG; alumínio; corrente pulsada; abertura do arco; comprimento do arco.

### **ABSTRACT**

In aluminum pulsed GMAW the arc striking can be related with wire tip geometry and short-circuit-current level. Different combinations from these factors were experimented using wire ER 4043 with 1,2 mm diameter. Based in voltage, current graphics and films, the time and energy to arc striking and the voltage arc after de arc striking were studied. Comparing wire tip geometry, rounded or sharpen, the results indicate that, the rounded point demand more time and energy to arc striking. This condition produces higher voltage after the arc striking. If the random wire tip geometry is taking in account is necessary a system to control de arc length. The short-circuit-current level effect is important with rounded tip. In this case, higher short-circuit-current level demanded lower time to arc striking.

**Key words:** GMAW; aluminum; pulsed current; arc striking; arc length

---

(1) Eng. Mecânico, Professor da PUCPR  
Dep. Eng. Mec., Rua Imaculada conceição 1155, CEP 80215-901, Curitiba-PR

(2) Dr. Eng. Jair Carlos Dutra, Professor da UFSC  
Dep. Eng. Mec., Campus Universitário. CP 476. CEP 88040-900. Trindade. Florianópolis-SC

## 1. INTRODUÇÃO

Para a soldagem do alumínio o processo MIG, tido como o mais produtivo, se apresenta como tecnicamente viável e aceito universalmente, porém diversos aspectos devem ser considerados. O artigo escrito por B. Altshuller <sup>(1)</sup>, resume os principais aspectos relativos à soldagem do alumínio pelo processo MIG, entre os quais se destacam as fontes de soldagem e a relação destas com a estabilidade do arco e a geometria da junta.

Altshuller destaca a importância da característica da fonte para a soldagem MIG do alumínio mostrando as diferenças entre fontes de tensão constante e de corrente constante. Segundo Altshuller a principal vantagem das fontes de tensão constante é a estabilidade do comprimento do arco, sendo mantida, mesmo quando há variações na velocidade de alimentação do arame. Isto evita a fusão do arame-eletrodo com o bico de contato. A principal desvantagem destas fontes é que qualquer variação na velocidade do arame causa mudança na corrente e assim na penetração, o que não é percebido pelo soldador.

Altshuller coloca como principal vantagem das fontes de corrente constante, que a corrente é mantida constante, mesmo com oscilações na velocidade do arame, resultando em uma penetração uniforme. As desvantagens destas fontes, são que a velocidade do arame não deve variar e que a abertura do arco é mais difícil, quando comparada às fontes de tensão constante.

O trabalho de Carlos W. P. Azevedo e outros <sup>(2)</sup>, confirma através de experimentos, que a fonte de corrente constante mostrou-se mais adequada que a fonte de tensão constante para a soldagem MIG do alumínio, quando considerados os fatores penetração, e uniformidade do cordão.

O uso da corrente imposta e pulsada é viável, porém de difícil operacionalização. Para torná-la mais popular, deve-se buscar soluções para os problemas específicos: a dificuldade de abertura do arco, a estabilização de seu comprimento e a metodologia para seleção de parâmetros e variáveis.

Quanto aos aspectos envolvidos na abertura do arco, o artigo de D. Farson e outros <sup>(3)</sup>, apresenta um estudo sobre a abertura do arco, analisando a influência da geometria da ponta do arame-eletrodo.

Em seu trabalho Farson, realiza simulações, utilizando modelos matemáticos, que consideram algumas geometrias de contato. Estes modelos permitem identificar a região provável do arame onde ocorreria o início da fusão para cada geometria.

O resultado de cada simulação foi comprovado por Farson, experimentalmente através de filmagem, que mostrou que o arame com a ponta cortada, afinada, produz uma abertura no ponto de contato do arame-eletrodo com o metal de base, e que o arco cresce progressivamente a partir deste ponto. O arame com a ponta cega permite um melhor contato, provocando uma maior dissipação de calor no ponto de contato e fazendo com que a região provável para início do arco seja o ponto médio do comprimento do arame-eletrodo.

Os experimentos de Farson foram realizados com aço e usada uma fonte de tensão constante. Com base nos oscilogramas de tensão e corrente, Farson conclui que a abertura a partir do ponto de contato do arame-eletrodo com o metal de base demanda uma menor potência, sendo a abertura suave e que é mais provável de

ocorrer quando a ponta do arame é cortada, usando-se uma baixa velocidade de aproximação do arame e condições de soldagem, tensão e velocidade de arame, compatíveis com um regime de transferência por curto-circuito.

A abertura ocorrida no ponto médio do comprimento do arame-eletrodo demandou uma potência maior, sendo considerada brusca, tendo sido seguida de extinção do arco e nova abertura.

As considerações de Farson são de fundamental importância para a compreensão do processo de abertura do arco na soldagem MIG, porém os estudos ficaram restritos a sistemas de alimentação que fornecem rampas de velocidade de aproximação de arame e a fontes de tensão constante que não apresentam problemas na abertura do arco.

Visando reduzir os problemas da abertura do arco na soldagem MIG do alumínio com corrente imposta e pulsada, este trabalho, envolvendo especificamente a soldagem do alumínio liga 1200 H14 com metal de adição ER4043 com 1,2 mm de diâmetro, apresenta o estudo da influência da geometria da ponta do arame, velocidade de aproximação do arame e corrente de abertura do arco, no tempo demandado até a abertura do arco, na energia demandada até a abertura e na tensão do arco após a abertura.

## **2. MÉTODOS E MATERIAIS**

Nos experimentos foram utilizadas chapas de alumínio 1200 H14, com espessura de 3 mm e dimensões de 100 x 180 mm, arame ER 4043 de 1,2 mm de diâmetro e gás de proteção Argônio, com vazão de 15 l/min.

A máquina de solda utilizada foi uma fonte de soldagem multiprocesso transistorizada, modelo Inversal 300, dotada de conexão para interface com microcomputador. O sistema de alimentação foi composto por cabeçote de alimentação, modelo STA20, equipado com roletes em V e tocha refrigerada, com 2 m de comprimento, com guia de teflon e bocal de 15 mm.

Para controle da fonte de soldagem, Inversal 300, foi utilizado microcomputador Pentium II, com 200 MHz, equipado com placa para aquisição e controle, dotada de saídas e entradas, tanto digitais, como analógicas.

Para efetuar o controle sinérgico da máquina de solda, Inversal 300, foi utilizado um software especificamente desenvolvido e calibrado para esta função. No software, foram inseridas rotinas específicas para abertura do arco.

Para monitoração da soldagem, utilizou-se o sistema de aquisição portátil, equipado com sensores de corrente, tensão, velocidade de arame e vazão de gás.

O sistema de aquisição, operando com microcomputador Pentium 100 MHz, efetua aquisições de sinais, a uma velocidade de 5 kHz, utilizando software, para gerar oscilogramas das variáveis medidas e possibilitar medições através de cursores.

A vazão de gás foi medida através do sistema de aquisição portátil, sendo ajustada através do regulador de pressão.

Foram realizadas diversas aberturas de arco em cada corpo de prova, sendo mantido o espaçamento de 40 mm entre os pontos de abertura e 30 mm destes para a borda da chapa mais próxima, como apresentados na Fig. 1.

Os experimentos realizados consistiram na preparação da ponta do arame, seguida de abertura do arco sem deslocamento da tocha, esta, posicionada de forma a incidir perpendicularmente o arame sobre a chapa.

A preparação da ponta do arame foi feita por dois processos, um cortando-se a ponta com alicate de corte diagonal, estabelecendo, entre o gume de corte do alicate e o eixo longitudinal do arame, ângulos de 15, 45 e 90°, outro deixando a ponta arredondada como resultado aleatório após outra soldagem (formada por gota não destacada ao final da soldagem), não sendo fixado o diâmetro da ponta arredondada, de modo a simular as condições normais entre uma soldagem e outra.

A aquisição realizada pelo sistema foi feita automaticamente após ser detectada a elevação da corrente acima de 5 A, o que identificou o início do processo.

O comando da fonte de soldagem foi efetuado via microcomputador, através do programa, que alimentado com as informações de velocidade de aproximação do arame, corrente a ser imposta no momento do curto-circuito, e tensão de identificação da condição de abertura do arco, comandava a fonte com base na monitoração constante da corrente e da tensão, seguindo a rotina abaixo:

1. Avançar arame com a velocidade de aproximação especificada (1, 2 e 3 m/min);
2. Interromper a alimentação do arame após detectar corrente superior a 5 A;
3. Impor corrente de abertura especificada (utilizou-se 140, 240, 340 e 440 A);
4. Após identificar nível de tensão superior a 30 V, passar para a fase de regime, com corrente pulsada e velocidade de arame de regime.

O comando de interrupção da alimentação do arame objetiva evitar que o arame se embole, após tocar o metal base, caso não ocorra a abertura do arco, possibilitando a realização de experimentos com correntes de abertura relativamente baixas e geometrias de ponta do arame desfavoráveis à abertura.

Conforme Farson <sup>(3)</sup>, a abertura seria mais suave quando aplicadas baixas velocidades de aproximação do arame e com a ponta do arame mais afiada. A elevada condutibilidade térmica e elétrica do alumínio, sugere que seja necessário a aplicação de correntes mais elevadas para promover a abertura.

Com base nestas considerações foi elaborado o projeto de experimentos estabelecendo-se:

- Dois níveis de corrente nominal ( $I_{nom}$ ), 340 e 440 A;
- Duas geometrias de ponta do arame, cortado a 15° e ponta redonda;
- Duas velocidades de aproximação do arame ( $V_a$ ), (1 e 3 m/min).

As combinações de variáveis possíveis estão apresentadas na tabela 1 – Conjunto principal de experimentos de abertura, abaixo, tendo sido efetuados seis ensaios (A,B,C,D,E,F) para cada combinação, de forma a possibilitar a exclusão de casos anormais e ser assegurada amostra de quatro elementos:

Apesar do projeto de experimentos abranger os principais fatores envolvidos na faixa considerada como adequada, foram realizados ainda alguns ensaios exploratórios.

Foi considerado importante o estudo da abertura em correntes inferiores às estabelecidas, devido ao fato de ser possível a utilização de correntes mais baixas no processo de soldagem, uma vez que a corrente de transição para o material de adição empregado é inferior a 150 A.

Para analisar a possibilidade de aberturas em corrente menores, foi estabelecido um conjunto complementar de experimentos, com uma replicação, estabelecidas correntes nominais ( $I_{nom}$ ) de 140 e 240 A, fixada a velocidade de aproximação do arame ( $V_a$ ) em 1 m/min, esta, considerada a princípio como a mais adequada a uma abertura suave, acrescentando assim os experimentos da tabela 2 – Conjunto de experimentos de abertura, com correntes de 140 e 240 A, abaixo:

Outra consideração importante foi a influência do ângulo de corte da ponta do arame, pois nos experimentos anteriores foram considerados os casos extremos, a ponta bem fina, cortada a  $15^\circ$  e a ponta arredondada, mas considerou-se importante a verificação da influência de outros ângulos de corte da ponta,  $45^\circ$  e  $90^\circ$ .

Estabeleceu-se experimentos acompanhados de filmagem, fixando-se a corrente nominal ( $I_{nom}$ ) em 440 A e a velocidade de aproximação ( $V_a$ ) 1 m/min, consideradas a princípio condições mais adequadas. Acresceu-se assim o conjunto de experimentos abaixo, tabela 3 – Conjunto de experimentos de abertura, variando a geometria de ponta do arame, sendo realizados dois ensaios para cada condição, com ponta cortada a  $45^\circ$  e  $90^\circ$  e mais um para cada uma das condições de ponta,  $15^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  e redonda para filmagem.

Com base nos oscilogramas obtidos em cada ensaio, foram identificados alguns aspectos a serem investigados, pretendendo-se esclarecer o efeito da geometria da ponta do arame, da velocidade de aproximação do arame e do nível de corrente sobre o comportamento da abertura do arco.

Os aspectos a serem investigados, foram subdivididos nos itens relacionados abaixo, sendo que os principais estão apresentados na Fig. 2.

$t_{iab}$  - tempo até o início da abertura, caracterizado pela elevação da tensão;

$E_{aa}$  - energia demandada antes da abertura do arco;

$U_{bi}$  - tensão de base inicial, imediatamente após a abertura;

$I_r$  - corrente real medida na abertura, apenas para verificação da resposta do equipamento à condição comandada.

Para verificar a possibilidade de eliminar o sistema de interrupção da velocidade de arame na abertura, de modo a simplificar o sistema de controle, foram realizados ensaios complementares sem interrupção da alimentação após o contato.

Estes ensaios foram realizados com corrente de 440 A, geometria de ponta do arame arredondada e velocidades de aproximação de: 1, 2, 3, 4, 5 e 6 m/min, sendo identificadas as condições de abertura de arco bem sucedidas.

### 3. RESULTADOS

Os experimentos forneceram os resultados conforme tabela 4 – Resultados dos experimentos de abertura.

Verifica-se, que a geometria da ponta do arame, a corrente e a interação destes fatores exercem influência sobre: o tempo até o início da abertura ( $t_{iab}$ ) (Fig. 3). A geometria da ponta exerce também influência na energia demandada antes da abertura do arco ( $E_{aa}$ ) e na tensão de base inicial ( $U_b$ ) (Fig. 4), porém não houve diferença significativa entre os efeitos resultantes dos diferentes ângulos de corte da ponta do arame ( $15^\circ$ ,  $45^\circ$  e  $90^\circ$ ) (Fig. 5), podendo ser a geometria categorizada em ponta cortada ou arredondada.

As influências da velocidade de aproximação do arame e das combinações desta com os outros fatores não são expressivas. A pequena influência verificada pode ser atribuída ao fato da dinâmica de interrupção da velocidade de alimentação do arame ser diferente para cada velocidade, sendo afetada pela inércia do sistema de alimentação.

O tempo para a abertura do arco é um aspecto crítico para o processo de soldagem, principalmente considerando a possibilidade do arame se embolar no mecanismo alimentador. Em condições de soldagem automatizada, a extinção involuntária do arco pode provocar descontinuidades no cordão de solda, caso o tempo para uma nova abertura seja excessivo.

Considerando como mais adequada a situação que produz um menor tempo para obtenção da abertura, deve-se optar por uma geometria de ponta afiada e uma corrente de abertura elevada, porém, como a extinção acidental do arco ao longo da soldagem produz uma condição de reabertura do arco com geometria de ponta arredondada, esta condição, embora indesejável, deve ser assumida como condição normal, sendo de grande relevância o uso de maiores níveis de corrente de abertura.

A influência da geometria da ponta do arame na tensão de base após a abertura, reflete a situação da altura do arco decorrente da abertura. Verifica-se que esta altura está relacionada à posição onde ocorre a fragmentação do arame na abertura.

A fragmentação do arame pode ocorrer, ou na região de contato do arame-eletrodo com o metal de base, quando a ponta está afiada, resultando em menor altura de arco, ou no comprimento médio do arame-eletrodo, quando a ponta deste está arredondada, resultando em maior altura de arco. Isto confirma os estudos de D. Farson, apresentados anteriormente.

A aleatoriedade da altura do arco, decorrente da geometria da ponta do arame, torna necessário o uso de mecanismos que promovam a adequação desta altura após a abertura, de forma a evitar defeitos, principalmente de porosidade.

Aparentemente, a influência da velocidade de alimentação verificada não condiz com o estudo apresentado por D. Farson, porém, deve-se destacar que em seus ensaios não houve a interrupção da alimentação do arame por ocasião do contato deste com o metal de base, por ser um controle não disponível nos equipamentos convencionais.

Os ensaios para verificar a possibilidade de eliminar o sistema de interrupção da alimentação do arame na abertura, visando simplificar o sistema de controle, foram realizados com corrente de 440 A, por favorecer uma abertura mais rápida e com geometria de ponta arredondada, assumida como condição normal do processo.

Nestes experimentos, velocidades de aproximação de 1, 2, 3, 4 e 5 m/min, sem interrupção da alimentação após o contato, resultaram em aberturas bem sucedidas, porém com velocidade de 6 m/min o arame embolou-se no mecanismo alimentador, provocando a elevação do arco e a fusão do arame-eletrodo no bico de contato, interrompendo o processo.

Na figura 6, observa-se que não há formação de depósito para a condição de velocidade de arame de 6 m/min. Isto se deve ao fato do arame ter embolado no mecanismo de alimentação antes de ocorrer a abertura, interrompendo alimentação.

#### **4. CONCLUSÕES**

Considerando-se a geometria da ponta como o principal fator determinante das condições de abertura do arco, e que a ponta do arame arredondada foi identificada como a condição crítica, correntes mais elevadas favorecem uma rápida e segura abertura.

Pode ser dispensado o sistema de interrupção da alimentação do arame para soldagem do alumínio liga 1200 H14 com arame ER4043 de 1,2 mm de diâmetro, utilizando-se corrente de abertura de 440 A e baixas velocidades de aproximação, até 5 m/min.

A altura do arco após a abertura é influenciada pela geometria da ponta, sendo maior para abertura quando o arame está com a ponta arredondada. Para executar a soldagem com comprimento de arco adequado faz-se necessário estabelecer um mecanismo que promova o controle de altura do arco após a abertura, eliminando, assim, o efeito da aleatoriedade da geometria da ponta do arame.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

À PUCPR, que possibilitou a realização dos experimentos em seus laboratórios.  
À IMC de Florianópolis e ao LABSOLDA da UFSC, que forneceram a orientação e o apoio técnico para adequação de experimentos, máquinas, equipamentos e softwares

#### **6. REFERÊNCIAS**

- <sup>1</sup> ALTSHULLER, B. **A Guide to GMA Welding of Aluminum**, Welding Journal, June 1998, p. 49-55.
- <sup>2</sup> AZEVEDO, C.W. P.; Macedo, W. A.; Paula, D. A.; Faria, R. V. **Soldagem MIG do alumínio – uma análise da adequação de diferentes fontes de energia sob o ponto de vista qualidade e produtividade – parte 1 (a)**. XV ENTS, ABS 1988, 549-559.
- <sup>3</sup> FARSON, D. , Conrardy, C. , Talkington, J. , Baker, K. , Kerschbaumer, T. and Edwards, P. **Arc Initiation in Gas Metal Arc Welding**, Welding Journal, August 1998, p. 315-321.

**Tabela 1 – Conjunto principal de experimentos de abertura**

EXPERIMENTOS	$I_{nom}$ (A)	$V_a$ (m/min)	GEOMETRIA
(A,B,C,D,E,F) 3410	340	1	redonda
(A,B,C,D,E,F) 3411	340	1	15°
(A,B,C,D,E,F) 3430	340	3	redonda
(A,B,C,D,E,F) 3431	340	3	15°
(A,B,C,D,E,F) 4410	440	1	redonda
(A,B,C,D,E,F) 4411	440	1	15°
(A,B,C,D,E,F) 4430	440	3	redonda
(A,B,C,D,E,F) 4431	440	3	15°

**Tabela 2 – Conjunto de experimentos de abertura, com correntes de 140 e 240 A**

EXPERIMENTOS	$I_{nom}$ (A)	$V_a$ (m/min)	GEOMETRIA
(A,B) 1410	140	1	redonda
(A,B) 1411	140	1	15°
(A,B) 2410	240	1	redonda
(A,B) 2411	240	1	15°

**Tabela 3 – Conjunto de experimentos de abertura, variando a geometria de ponta do arame**

EXPERIMENTOS	$I_{nom}$ (A)	$V_a$ (m/min)	GEOMETRIA
(A,B) 45GR	440	1	45°
(A,B) 0GR	440	1	90°
FILME 8	440	1	15°
FILME 4	440	1	45°
FILME 5	440	1	90°
FILME 3	440	1	redonda

**Tabela 4 – Resultados dos experimentos de abertura**

ARQUIVO	$V_a$ (m/min)	PONTA	$I_{nom}$ (A)	tiab (ms)	Eaa (J)	Ubi (V)
A3410	1	REDONDA	340	317	412	18
B3410	1	REDONDA	340	322.4	377	18.8
C3410	1	REDONDA	340	297.6	236	19.5
D3410	1	REDONDA	340	292.6	266	17
A3411	1	15 °	340	0.5	0	16.8
B3411	1	15 °	340	0.8	0	16.3
C3411	1	15 °	340	1	0	17
D3411	1	15 °	340	1.3	0	15.8
A3430	3	REDONDA	340	263.6	286	18
B3430	3	REDONDA	340	276.8	416	19
C3430	3	REDONDA	340	300.5	518	17
D3430	3	REDONDA	340	286.8	266	20
A3431	3	15 °	340	0.8	0	16
B3431	3	15 °	340	3	3	16.8
C3431	3	15 °	340	0.6	0	17.3
D3431	3	15 °	340	1.4	1	16.8
A4410	1	REDONDA	440	201	589	19.8
B4410	1	REDONDA	440	183.4	471	17.5
C4410	1	REDONDA	440	196.8	317	18

D4410	1	REDONDA	440	188.8	459	18.3
A4411	1	15 °	440	0.9	1	15.5
B4411	1	15 °	440	0.6	0	16
C4411	1	15 °	440	0.4	0	16.8
D4411	1	15 °	440	1.2	1	17
A4430	3	REDONDA	440	198.2	397	16.5
B4430	3	REDONDA	440	189.6	458	18
C4430	3	REDONDA	440	182.6	183	17.3
D4430	3	REDONDA	440	181	210	16.8
A4431	3	15 °	440	0.8	0	15.5
D4431	3	15 °	440	2.4	0	16.5
E4431	3	15 °	440	2.4	1	16.3
F4431	3	15 °	440	1	1	16.6
A1410	1	REDONDA	140	3357	606	23
B1410	1	REDONDA	140	3466	984	19
A1411	1	15 °	140	3.2	2	20.8
B1411	1	15 °	140	3.2	2	19.3
A2410	1	REDONDA	240	604	403	20.3
B2410	1	REDONDA	240	684.3	435	17.3
A2411	1	15 °	240	0.8	0	16.3
B2411	1	15 °	240	1	1	17.3
A45GR	1	45 °	440	0.8	0	16.5
B45GR	1	45 °	440	0.5	0	17.3
A0GR	1	90 °	440	1	0	15.8
B0GR	1	90 °	440	1	0	15.8
FILME 8	1	15 °	440	0.6	0	16.3
FILME 4	1	45 °	440	0.6	0	15.8
FILME 5	1	90 °	440	0.6	0	16.5
FILME 3	1	REDONDA	440	22.6	35	16

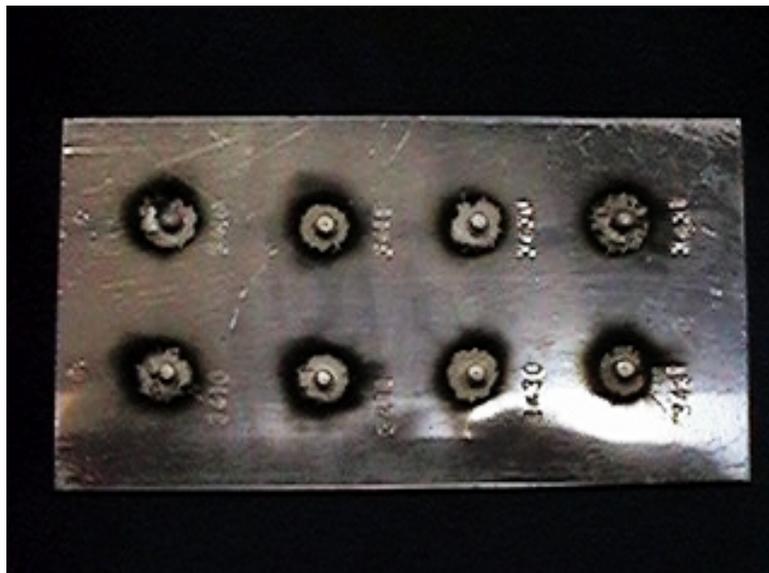


Fig. 1 Corpo de prova de ensaio de abertura de arco

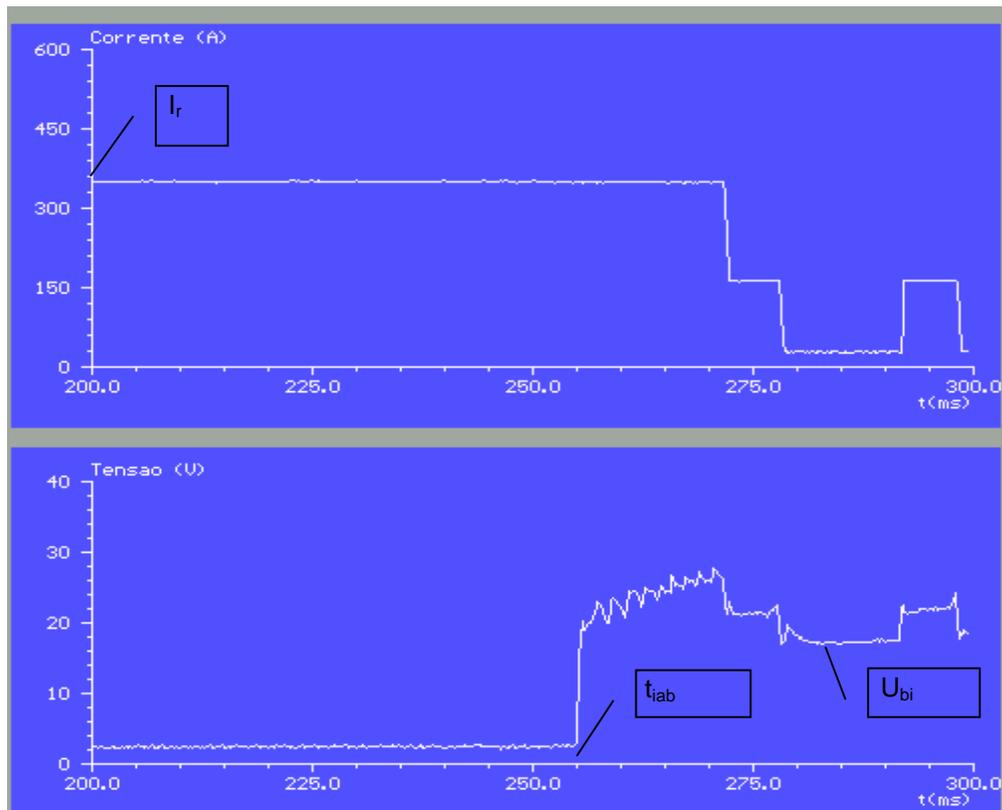


Fig. 2 Oscilogramas de corrente e tensão

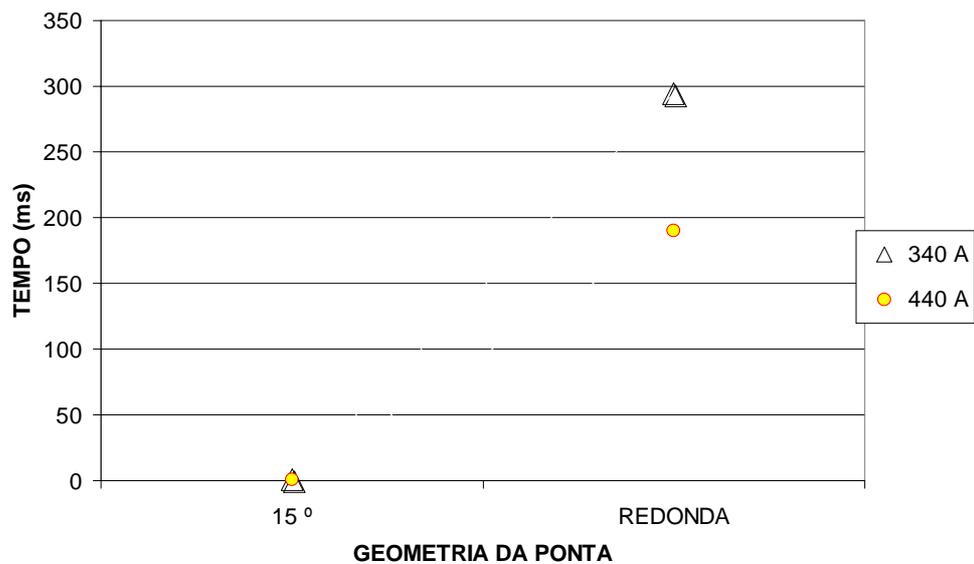
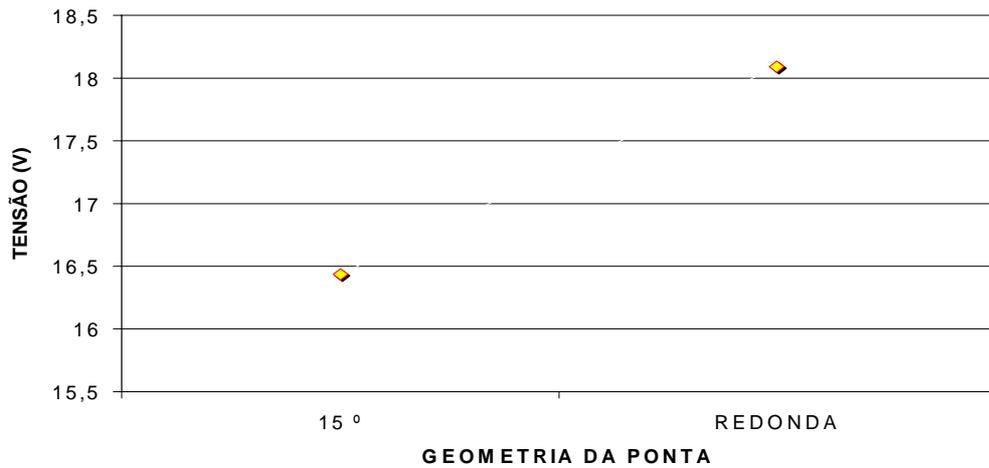
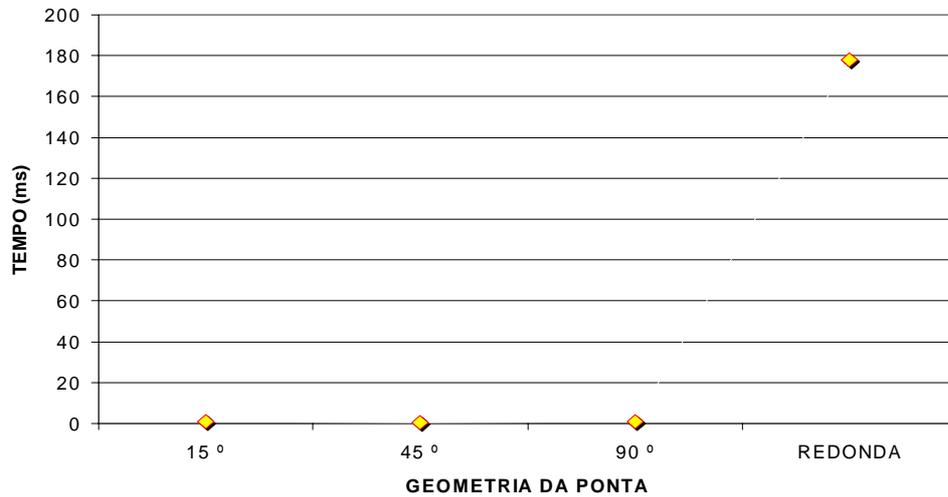


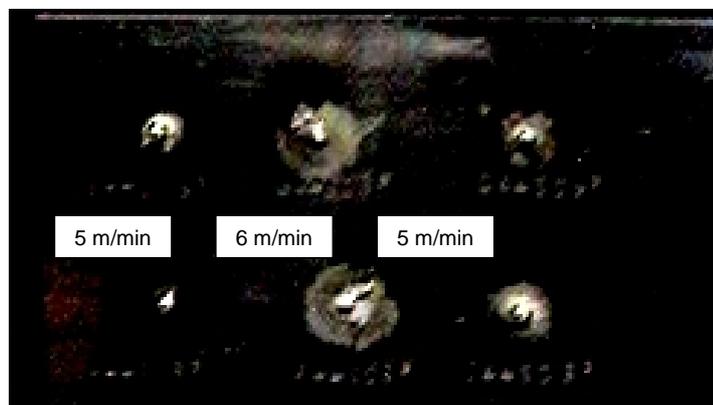
Fig. 3 Influência da geometria da ponta e da corrente no tempo demandado até o início da abertura do arco



**Fig. 4** Influência da geometria da ponta na tensão de base após a abertura do arco



**Fig. 5** Influência da geometria da ponta no tempo demandado até o início da abertura do arco (todos os ensaios com corrente de 440 A)



**Fig. 6** Corpo de prova com abertura do arco sem parada do arame