

# INFLUÊNCIA DO TIPO DE MATERIAL NO RENDIMENTO DE FUSÃO EM SOLDAGEM A ARCO

## Ruham Pablo Reis

Universidade Federal de Uberlândia, 38400-902, Uberlândia, MG - ruhamreis@yahoo.com

## André Luis Gonçalves da Costa

Universidade Federal de Uberlândia, 38400-902, Uberlândia, MG - algcosta@mecanica.ufu.br

## Fernanda Mendonça Silveira

Universidade Federal de Uberlândia, 38400-902, Uberlândia, MG - fmendonca@mecanica.ufu.br

## Paulo Rosa da Mota

Universidade Federal de Uberlândia, 38400-902, Uberlândia, MG - prmota@mecanica.ufu.br

## Robson José de Souza

Universidade Federal de Uberlândia, 38400-902, Uberlândia, MG - rjsouza@mecanica.ufu.br

**Resumo.** O objetivo deste trabalho é propor e avaliar uma metodologia para determinação do rendimento de fusão baseada na energia elétrica utilizada, em parâmetros geométricos da poça de fusão e em propriedades físicas do metal de base. Como extensão, objetivou-se também estimar o rendimento térmico e tentar correlacionar a eficiência de fusão com o comportamento da tensão de arco. A metodologia foi aplicada sobre três materiais (aço ao carbono, aço inoxidável e liga de alumínio) em 2 níveis de corrente, utilizando-se o processo TIG. Foi verificado que o rendimento de fusão é muito baixo (< 10%) e depende significativamente das propriedades do metal de base e tende a aumentar com o aumento do nível de corrente de soldagem. O alumínio apresentou a menor eficiência de fusão, tendo o aço inoxidável apresentado o melhor aproveitamento do calor imposto. Em relação a eficiência térmica, a metodologia só se aplica quando os cordões formados se assemelham a um semicírculo.

**Palavras-chave:** soldagem, eficiência de fusão, eficiência térmica, TIG CA.

## 1. INTRODUÇÃO

Em soldagem de uma forma geral, existe uma grande tendência em se dar importância ao rendimento térmico dos processos de soldagem ( $\eta_t$ ), que é razão entre o calor transferido para o material a ser soldado ( $Q_{imp}$ ) e a energia elétrica fornecida pela fonte de soldagem ( $E$ ). A Tabela 1 apresenta dados de  $\eta_t$  de diversos processos, compilados por Sandia<sup>(1)</sup>. Como se vê, cada processo apresenta valores ou faixas de  $\eta_t$ , com os quais diversos pesquisadores fazem previsão do ciclo térmico sob a qual a solda estará sujeita e das possíveis alterações metalúrgicas e respectivas propriedades mecânicas decorrentes.

Tabela 1. Rendimentos térmicos para processos de soldagem por fusão

	Processo de Soldagem					
	MIG	Laser CO <sub>2</sub>	TIG	Plasma	Arco Submerso	Eletrodo Revestido
$\eta_t$	85%	20-90%	67-80%	47-75%	90%	75%

Apesar da importância deste parâmetro do ponto de vista da soldabilidade, o rendimento de fusão ( $\eta_f$ ), que relaciona o calor que realmente foi utilizado para promover a fusão de material ( $Q_f$ ) com a energia elétrica fornecida pela fonte de soldagem ( $E$ ), é pouco mencionado na literatura, mas torna-se o parâmetro que realmente interessa quando se quer aumentar a produtividade de uma operação de soldagem, ou seja, obter a maior relação taxa de fusão por energia imposta. Além disso, soldas com baixo rendimento de fusão resultam num aquecimento excessivo do metal de base e aumentam as chances de danos térmicos e distorções. Fuerschbach and Eisler<sup>(2)</sup>, mostraram que para Laser CO<sub>2</sub> o rendimento de fusão variou de 30 a 50% e é função da velocidade de soldagem. Já segundo Karkhin et al.<sup>(3)</sup>, este valor é de cerca de 48%. Infelizmente, resultados referentes a processos a arco não foram encontrados.

A razão para se usar apenas o  $\eta_f$ , entre outras, está na tradição metalúrgica das pesquisas em soldagem, mesmo que a determinação do  $\eta_f$  possa ser até mais simples do que a determinação de  $\eta_r$ . Desta forma, o objetivo deste trabalho é propor e avaliar uma metodologia prática de determinação para o rendimento de fusão. Porém, para comparar os resultados com os encontrados na literatura, propõe-se também a usar uma metodologia para determinar o rendimento térmico.

## 2. METODOLOGIA E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Na execução dos experimentos, foi utilizada uma mesma condição de soldagem para três materiais diferentes, a saber: aço carbono ABNT 1020, aço inoxidável ABNT 304L e uma liga de alumínio ABNT 6060. As dimensões dos corpos de prova (47 mm x 195 mm x 6,4 mm) foram mantidas constantes para todos os materiais. Para a execução das soldagens utilizou-se o processo TIG automático em CA com onda quadrada (de forma a se conseguir soldar os três tipos de materiais com a mesma condição), com eletrodo torinado (diâmetro de 2,4 mm), em posição plana e sem material de adição. O gás de proteção utilizado foi argônio puro (comercial). Além disso, a distância eletrodo-peça foi sempre mantida em 2 mm como forma de minimizar possíveis perturbações no arco. Os parâmetros de soldagem, tensão e corrente, foram monitorados por um sistema de aquisição e visualização de dados a uma taxa de 10 kHz por canal e a 12 bits.

Para a realização da soldagem, foram tomados os devidos cuidados com relação à preparação e fixação dos corpos de prova. Estes foram limpos por meio de escovas apropriadas conforme as características de cada material para remoção de óxidos e impurezas presentes em suas superfícies. A fixação foi feita por meio de um suporte de aço carbono, sendo que as chapas foram devidamente apoiadas em 3 roletes que foram posicionados de maneira a minimizar a distorção das chapas e a perda de calor por condução para o suporte. A Figura 1 mostra o sistema de fixação utilizado.

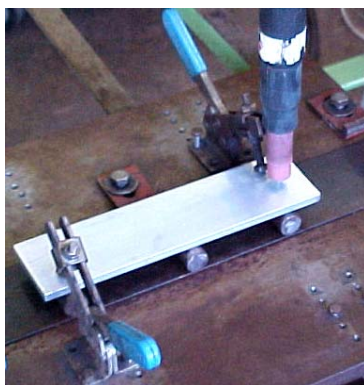


Figura 1. Suporte utilizado para fixação dos corpos de prova

Antes de proceder à soldagem, utilizou-se o modelo baseado na teoria de Rosenthal<sup>(4)</sup> para assegurar que se trabalharia sempre na condição de chapa espessa (fluxo de calor tridimensional). De acordo com o modelo proposto, para a dissipação de calor ser tridimensional, a chapa deve possuir uma espessura mínima. Através da Equação 1, pode-se estimar a energia máxima que pode ser imposta sobre a chapa (corpo de prova) para que esta ainda seja considerada espessa.

$$\tau = h \sqrt{\frac{\rho c (T_f - T_o)}{\frac{\eta_t UI}{V_{sol}}}} \quad (1)$$

onde  $h$  é a espessura da chapa,  $\rho$  é a densidade,  $c$  é o calor específico,  $T_f$  é a temperatura de fusão do metal de base,  $T_o$  é a temperatura de preaquecimento (neste caso a ambiente),  $\eta_t$  é o rendimento térmico do processo,  $V_{sol}$  a velocidade de soldagem e o produto  $UI$  (tensão pela corrente de soldagem) é a potência elétrica fornecida. Para que a chapa seja considerada grossa,  $\tau$  deve ser maior que 0,9.

Aplicando os dados para o Alumínio, que se acreditava ser a situação crítica, pelo mesmo possuir a maior condutividade térmica e menor temperatura de fusão ( $h = 0,64$  cm,  $\rho = 2,8$  g/cm<sup>3</sup>,  $c = 0,9$  J/g°C,  $T = 649$  °C,  $T_o = 25$  °C) e considerando uma velocidade de soldagem de 20 cm/min e um rendimento térmico do processo de soldagem TIG CA, que segundo Christensen et al<sup>(5)</sup> é de 43 %, da Equação 1 pode-se, então, estimar que a máxima energia de soldagem de que pode ser imposta sobre o corpo de prova de alumínio para que o fluxo de calor seja tridimensional é de cerca de 616 W. Como a tensão eficaz resultante do processo TIG gira em torno de 12 V, pode-se dizer que a corrente máxima de soldagem que pode ser aplicada para assegurar as condições requeridas é de cerca de 50 A.

A partir deste resultado, efetuou-se a soldagem em um corpo de prova de alumínio e verificou-se, após análise macrográfica, que o objetivo de se conseguir um fluxo tridimensional havia sido obtido, mas a área fundida obtida tinha dimensões tão reduzidas que não haveria sensibilidade suficiente para execução das medições geométricas, que seriam posteriormente usadas na determinação do rendimento de fusão.

Como se necessitava de uma área fundida de maiores dimensões, promoveu-se um aumento na energia de soldagem utilizada, mas mudando o critério de dissipação de calor nos três materiais para uma condição em que a penetração resultante não superasse 1/3 da espessura da chapa, ou seja, penetração máxima de 2,1 mm. Foram, então, feitos testes em dois níveis de corrente de soldagem, 150 e 175 A, para cada tipo de material. A Tabela 2 mostra os parâmetros de soldagem utilizados em ambos os níveis de corrente.

Tabela 2. Parâmetros de soldagem

Corrente (A)	Vazão (l/min)	V <sub>sol</sub> (cm/min)	DEP (mm)	t + (ms)	t – (ms)
150	10	20	2	2	20
175	10	20	2	2	20

DEP = distância eletrodo-peça, V<sub>sol</sub> = velocidade de soldagem e t = tempo em cada polaridade.

As soldagens foram realizadas no centro de cada corpo de prova, sendo que cada cordão foi iniciado e finalizado a 10 mm da extremidade das chapas, sendo retiradas em seguida, para análise geométrica, três seções transversais de cada corpo de prova. Estas amostras foram retiradas sempre com o mesmo espaçamento e descartando as extremidades dos cordões. Os corpos de prova, após a soldagem, foram cortados com Discoton e lixados com lixas de granulação 220, 320, 400 e 600, sendo em seguida atacados quimicamente para a revelação da zona fundida para posterior medição dos parâmetros geométricos (largura, penetração e área fundida), através de aquisição digital de imagens e tratamento por softwares comerciais.

A Tabela 3 mostra os parâmetros geométricos obtidos para cada material nos dois níveis de corrente utilizados e as Figuras 2 e 3 ilustram as seções transversais típicas de cada condição de soldagem, nas quais a área fundida foi sombreada para facilitar sua diferenciação. Pode-se observar que, utilizando o nível de corrente de 150 A, a maior área fundida ocorreu no corpo de prova de aço carbono, seguido pelo de aço inoxidável e finalmente pelo de alumínio. No entanto, com a elevação do nível da corrente de soldagem para 175 A, o alumínio passou a apresentar a área fundida mais relevante, vindo a seguir o aço carbono e aço inoxidável. Esta inversão na ordem de grandeza das

áreas fundidas pode ter ocorrido devido à possibilidade do fluxo de calor, presumidamente tridimensional a 150 para todos os materiais, ter passado a ser bidimensional (chapa fina) no corpo de prova de alumínio para o nível de corrente de 175 A (para os outros continuaria tridimensional, já que as suas propriedades pesariam menos na Equação 1).

Tabela 3. Parâmetros geométricos obtidos (penetração e largura em mm e área fundida em mm<sup>2</sup>)

Corrente de soldagem (A)	Parâmetro geométrico	Material					
		Aço carbono		Aço inoxidável		Alumínio	
		Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
150	Penetração	1,70	0,04	1,29	0,05	1,12	0,03
	Largura	4,49	0,39	5,20	0,05	4,55	0,12
	Área fundida	5,08	0,51	4,73	0,20	3,64	0,29
175	Penetração	1,84	0,02	1,66	0,01	1,80	0,13
	Largura	5,46	0,21	5,95	0,46	6,37	0,23
	Área fundida	6,77	0,22	6,40	0,59	8,14	0,81

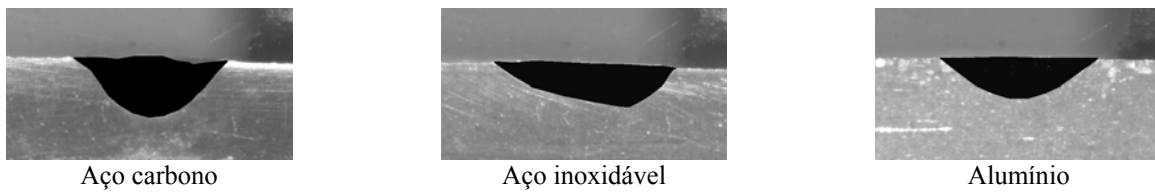


Figura 2. Seções transversais dos cordões realizados com 150 A

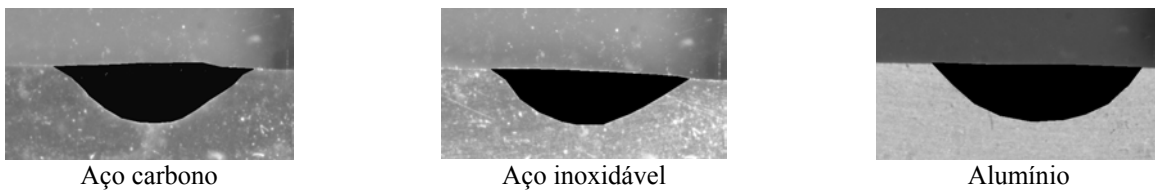


Figura 3. Seções transversais dos cordões realizados com 175 A

Em seguida, a partir das áreas fundidas, das propriedades físicas dos materiais e com o auxílio de parâmetros termodinâmicos, as energias necessárias para fundir os volumes dos cordões foram calculadas e usadas para determinar os rendimentos de fusão. Partindo-se da idéia que a fusão da poça é um processo térmico regido pelo aquecimento até a temperatura de fusão, pelo calor latente de fusão e pelo calor latente de vaporização, procurou-se, de forma simplificada, descrever o calor consumido para a fusão da poça ( $Q_f$ ). Das leis da termodinâmica sabe-se que:

$$Q_f = m_{poça} C_p \Delta T + m_{poça} L_f + (m_{inicial} - m_{final}) L_v \quad (2)$$

onde  $C_p$  é o calor específico do material de base,  $L_f$  é o calor latente de fusão,  $L_v$  é o calor latente de vaporização,  $m$  é a massa da poça,  $\Delta T$  é a variação de temperatura e  $m_{final}$  e  $m_{inicial}$  são, respectivamente, a massa da poça após e antes da vaporização. A massa da poça pode ser representada em termos de sua densidade ( $\rho$ ) e do seu volume ( $V_{poça}$ ). Assim a equação 2 torna-se:

$$Q_f = \rho V_{poça} C_p (T_f - T_0) + \rho V_{poça} L_f + (m_{inicial} - m_{final}) L_v \quad (3)$$

Considerando um comprimento unitário de cordão, o volume da poça assume a forma da área fundida ( $A_f$ ). Então:

$$Q_f = \rho A_f C_p (T_f - T_0) + \rho A_f L_f + (m_{inicial} - m_{final}) L_v \quad (4)$$

Desprezando a variação das propriedades com a mudança de temperatura e considerando a poça de fusão como uma substância pura, a equação acima se torna capaz de representar o fenômeno em estudo. Além dessas considerações, para esse estudo, assume-se que é desprezível a parcela referente à vaporização. Dessa forma, é possível estimar o calor efetivamente utilizado para a fusão dos materiais como:

$$Q_f = \rho A_f C_p (T_f - T_0) + \rho A_f L_f \quad (5)$$

A Tabela 4 apresenta as principais propriedades físicas dos materiais, muitas delas necessárias ao cálculo do calor efetivamente utilizado para a fusão.

Tabela 4. Propriedades físicas dos materiais<sup>(6)</sup>

Propriedades	Material		
	Aço carbono	Aço Inoxidável	Alumínio
Condutividade Térmica (W/m·K)	51,90	16,30	137,00
Calor específico (J/g·°C)	0,45	0,58	0,9
Temperatura de fusão (°C)	1550	1410	649
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	7,87	7,90	2,88
Calor latente de fusão (J/g)	247	265	396

Já de posse de todos os dados necessários, é possível estimar o calor efetivamente utilizado para a fusão para os diferentes materiais em ambos os níveis de corrente. A Tabela 5 apresenta o resultado deste cálculo, ou seja, o calor que foi efetivamente consumido durante a fusão. Observa-se que a quantidade de calor consumida para a fusão do alumínio foi bem menor se comparada à quantidade necessária para os dois tipos de aço.

Tabela 5. Calor efetivamente consumido durante a fusão

Material	Corrente de Soldagem (A)	Calor (J/cm)
Aço Carbono		372
Aço Inoxidável	150	399
Alumínio		97
Aço Carbono		496
Aço Inoxidável	175	539
Alumínio		217

A Tabela 6 mostra os valores de potência elétrica utilizada. Foram utilizados dois métodos de cálculo. Pelo simples produto da corrente eficaz pela tensão eficaz e efetuando a média do sinal de potência obtido através do produto instantâneo de cada valor dos parâmetros elétricos medidos durante a realização dos experimentos. Adotou-se o segundo método, pois segundo Joseph<sup>(7)</sup>, este é mais adequado, pois se forem apenas multiplicados os valores de corrente e tensão eficazes, a tendência é que o calor teoricamente transferido para a chapa seja até 10% mais elevado que o real.

Tabela 6. Valores de tensão e corrente eficazes e potência elétrica

Material	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência – UxI (W)	Potência Instantânea (W)
Aço Carbono	12,5	150	1875	1654
Aço Inoxidável	11,9	150	1785	1528
Alumínio	10,6	151	1601	1477
Aço Carbono	13,7	174	2384	2079
Aço Inoxidável	12,2	174	2123	1813
Alumínio	10,7	175	1873	1709

### 3. RENDIMENTO BRUTO DE FUSÃO: RESULTADO E DISCUSSÃO

Como já se conhece a potência fornecida pelo processo de soldagem para cada combinação de material e corrente, pode-se calcular a energia gasta para cada uma dessas combinações:

$$E = \frac{I \times U}{v_{sol}} = \frac{W}{v_{sol}} \quad (6)$$

onde  $E$  é a energia de soldagem fornecida pela fonte,  $I$  é a corrente de soldagem,  $U$  é tensão de arco,  $v_{sol}$  é a velocidade soldagem e  $W$  é a potência fornecida pelo processo. A Tabela 7 mostra os rendimentos de fusão para cada uma das condições testadas. É importante se destacar que, a rigor, o rendimento efetivo de fusão deveria ser calculado usando-se a energia imposta pelo processo de soldagem à chapa, o que corresponderia a eliminar o calor perdido para o meio ambiente, representado pelo rendimento térmico de soldagem (relação entre a energia do processo de soldagem e o calor transferido para a chapa, seja para fundir ou só para aquecer). Porém, dada a dificuldade de se determinar este valor com precisão, neste trabalho estará se falando de rendimento bruto de fusão, que engloba o rendimento térmico e o rendimento efetivo de fusão.

Tabela 7. Rendimento bruto de fusão para as condições testadas

Material	Corrente (A)	Energia (J/cm)	Calor (J/cm)	Rendimento bruto de fusão (%)
Aço Carbono	150	4962	372	7,51
Aço Inoxidável		4584	399	8,69
Alumínio		4431	97	2,19
Aço Carbono	175	6237	496	7,95
Aço Inoxidável		5439	539	9,90
Alumínio		5127	217	4,24

A Figura 4 ilustra a relação entre o material e o rendimento de fusão. Pode-se perceber que uma parcela bem pequena da energia do arco é transformada em trabalho útil (fundir a chapa). Entretanto, é importante ressaltar que seria esperado com o uso de TIG CC-, aplicável somente para o aço carbono e aço inoxidável, um maior rendimento bruto de fusão (mesmo que no presente caso em CA, somente 9% do tempo de arco estava em t+).

É bem provável que o alumínio tenha apresentado o menor rendimento bruto de fusão por possuir a maior condutividade térmica dentre os materiais testados, apesar de possuir, no entanto, a menor temperatura de fusão. Essa característica faria com que o alumínio dissipasse rapidamente grande parte do calor imposto pelo processo de soldagem, ao invés de aproveitá-lo para promover a sua fusão. Já com o aço inoxidável provavelmente ocorre fenômeno inverso. Como esse material possui uma condutividade térmica bem menor se comparado ao alumínio, o calor imposto é mais bem aproveitado para a fusão, apesar de possuir um ponto de fusão superior ao do alumínio. Pode-se dizer que com o aço carbono ocorre uma condição intermediária com relação às suas propriedades, resultando assim em um rendimento de fusão também intermediário. Dessa forma comprova-se que a soldagem TIG CA tem um rendimento de fusão bem inferior a processos tradicionalmente mais eficientes como, por exemplo, a soldagem a laser<sup>(2 e 3)</sup>.

Nota-se também na Figura 4, com mais destaque na Figura 5, que há uma influência do valor da corrente (ou da energia de soldagem) sobre o rendimento bruto de fusão. Quanto maior a corrente, maior o rendimento. Possivelmente, a razão para tal é que os corpos de prova não trabalharam com a mesma capacidade de dissipação de calor nos dois níveis de energia de soldagem, apesar de cálculos, baseados na equação geral de Rosenthal<sup>(8)</sup>, demonstrarem que a temperatura à 23,5 mm do centro do cordão (extremidade do corpo de prova) foi, para ambos os níveis de corrente, de 25°C, 25°C e 32°C para o aço ao carbono, aço inoxidável e alumínio, respectivamente, isso considerando um rendimento térmico de 43% já referenciado anteriormente. Esta suposição se confirma pela

inclinação das curvas, onde para o alumínio o efeito foi maior, seguido pelo aço inoxidável e pelo aço ao carbono.

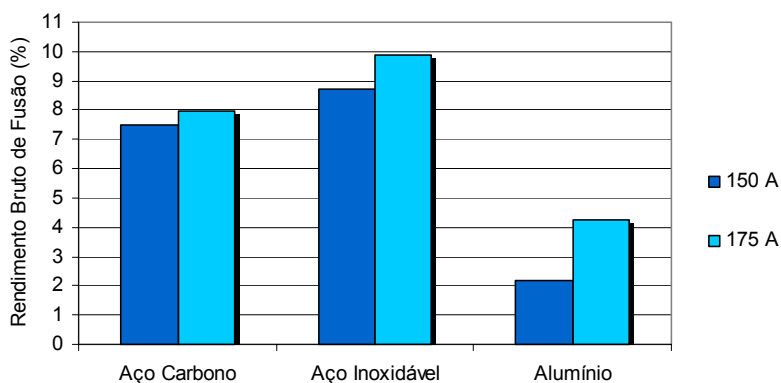


Figura 4. Influência do tipo de material sobre o rendimento bruto de fusão

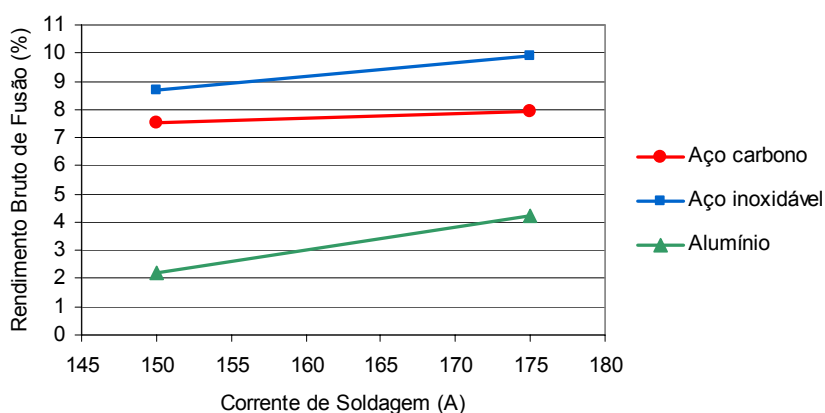


Figura 5. Influência da corrente de soldagem sobre o rendimento bruto de fusão

#### 4. RENDIMENTO TÉRMICO DO PROCESSO: RESULTADO E DISCUSSÃO

A partir das áreas fundidas encontradas para cada uma das combinações (tipo de material e nível da corrente de soldagem), é possível determinar um raio equivalente para cada uma dessas áreas e, através do modelo proposto por Rosenthal<sup>(8)</sup>, estimar o rendimento térmico do processo de soldagem para cada condição testada. A Tabela 8 mostra os valores das áreas médias e dos raios equivalentes determinados para cada condição.

Tabela 8. Áreas médias e respectivos raios equivalentes para cada condição

Material	Corrente (A)	Área da seção (cm <sup>2</sup> )	Raio equivalente (cm)
Aço carbono	150	0,0508	0,180
Aço Inoxidável		0,0473	0,174
Alumínio		0,0364	0,152
Aço carbono	175	0,0677	0,208
Aço Inoxidável		0,0640	0,202
Alumínio		0,0814	0,228

Efetuiu-se o cálculo do rendimento térmico para os três materiais nas duas condições de corrente. Para a corrente de 150 A encontrou-se um rendimento térmico de 63,8%, 44,6% e 86,7% e, para a corrente de 175 A, obteve-se 61,4%, 48,3% e 114,2%, sempre respectivamente para aço carbono, aço inoxidável e alumínio. Acredita-se que para que essa aproximação seja válida, faz-se necessário que a forma da área fundida se assemelhe a um semicírculo. Como pode se verificar através das Figuras 2 e 3, somente as áreas fundidas nos corpos de prova de aço carbono apresentam

forma mais próxima à semicircular, o que acarretaria um erro significativo ao cálculo dos rendimentos térmicos para os outros materiais. Não foi do escopo do trabalho procurar a verdadeira causa, fato que será pesquisado em trabalhos futuros. Dessa forma assume-se como correto apenas o cálculo do rendimento térmico para o aço carbono (63,8% para a corrente de soldagem 150 A e 61,4% para 175 A), que corresponde ao referenciado na literatura corrente.

## 5. AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS SINAIS ELÉTRICOS

Na tentativa de entender a razão da ocorrência de variações nos rendimentos de fusão, procurou-se estudar o comportamento dos arcos, baseando-se nos oscilogramas de tensão. As Figuras 6 e 7 apresentam o comportamento dinâmico da tensão dos arcos nos experimentos realizados, tanto para o nível de corrente de 150 A bem como para 175 A. De uma forma geral, com relação às tensões no período em que o eletrodo está no pólo negativo ou no positivo, as tensões são menores para o alumínio, seguido pelo aço inoxidável. Ou seja, na soldagem do aço carbono uma maior tensão de soldagem é requerida para manter o arco aberto.

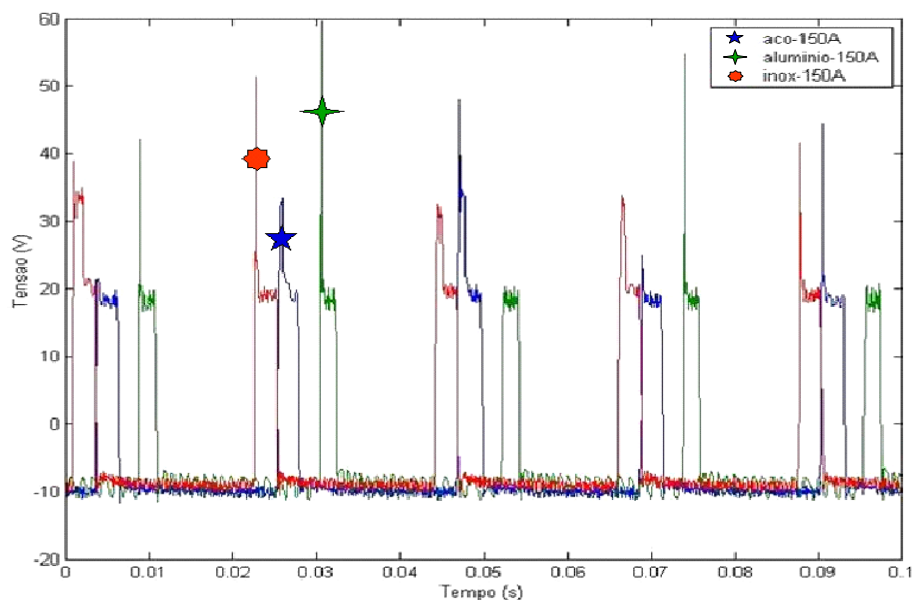


Figura 6. Comportamento dinâmico da tensão na soldagem com 150 A (as curvas para cada material estão defasadas apenas para facilitar a visualização)

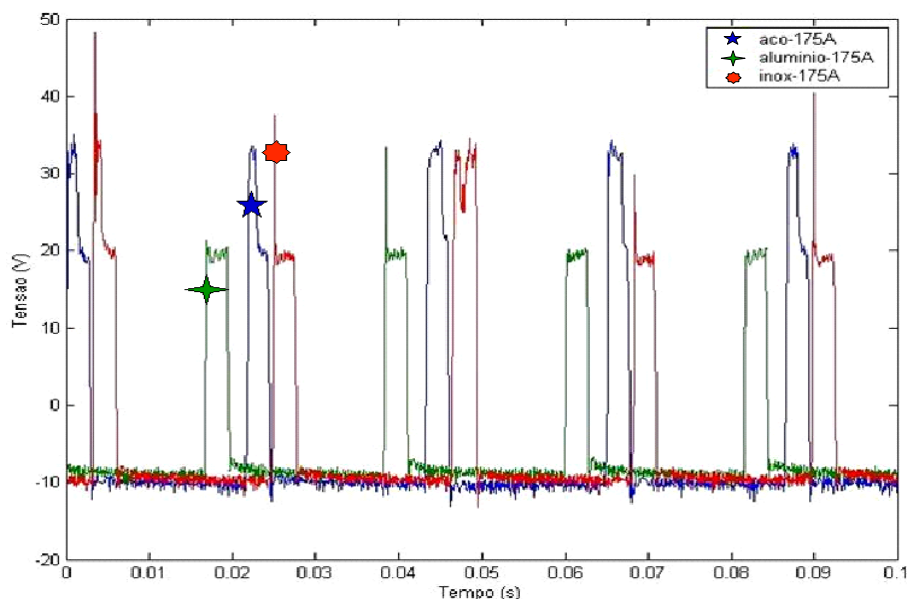


Figura 7. Comportamento dinâmico da tensão na soldagem com 175 A (as curvas para cada material estão defasadas apenas para facilitar a visualização)



Como tentativa de verificar de forma mais apurada o comportamento de cada material quando submetido a um determinado nível de corrente de soldagem, efetuou-se o cálculo do desvio padrão do sinal da tensão em toda a sua extensão. Os resultados para este cálculo são apresentados na Tabela 9 a seguir.

Tabela 9. Desvio padrão da tensão de arco nas condições testadas

Material	Corrente (A)	Desvio padrão da tensão (V)
Aço Carbono	150	10,35
Aço Inoxidável		10,69
Alumínio		8,60
Aço Carbono	175	12,59
Aço Inoxidável		10,93
Alumínio		9,41

Através do desvio padrão é possível verificar que os maiores picos de reignição (que pode representar dificuldade de acendimento e manutenção do arco no pólo positivo) ocorreram nas soldagens de aço carbono e aço inoxidável em ambos os níveis de corrente. O alumínio apresentou a menor amplitude para os picos (corrente alternada em TIG só é recomendada para alumínio). Desta forma, não há nenhuma relação aparente entre a tensão média de arco ou as tensões em cada polaridade (positivo ou negativa) e o rendimento de fusão.

## 6. CONCLUSÃO

O rendimento bruto de fusão depende significativamente das propriedades do material de base e tende a ser muito baixo para o processo de soldagem TIG CA, mas aumenta com o aumento do nível de corrente de soldagem utilizado. O alumínio apresenta o menor rendimento bruto de fusão, o que faz com que o calor imposto pelo processo de soldagem tenda a somente aquecer o material ao invés de fundi-lo. Com o aço inoxidável pode-se dizer que ocorre fenômeno inverso. Já com relação ao rendimento térmico fica clara a dificuldade de efetuar seu cálculo partindo-se da metodologia utilizada (modelo de Rosenthal), que requer que a geometria da poça de fusão se assemelhe ao máximo a um semicírculo, o que não acontece tão facilmente. Com relação à tensão de arco requerida em função do material a ser soldado, o aço carbono e o aço inoxidável mostraram-se mais instáveis para se soldar com TIG CA, em contraste com a liga de alumínio.

## 7. AGRADECIMENTOS

Aos alunos de pós-graduação em engenharia mecânica Carlos Eduardo, Alessandra, Temístocles, Peter Jan e Otávio pelas idéias e sugestões. Aos professores Américo Scotti, Valtair Ferraresi e Louriel Vilarinho pelas orientações. Ao Laboratório de Tribologia e Materiais da Universidade Federal de Uberlândia pelo auxílio prestado. Ao Laboratório de Soldagem da UFU pelo suporte financeiro e de infraestrutura.

## 8. REFERÊNCIAS

1. Sandia. Sandia Optimization & Analysis Routines for Automated Welding. Disponível em: <[http://www.sandia.gov/soar/Pdf\\_docs/Ener\\_trans\\_effic.pdf](http://www.sandia.gov/soar/Pdf_docs/Ener_trans_effic.pdf)>. Acesso em 10 setembro 2004.
2. Fuerschbach, P. W. and Eisler, G. R. Effect of very high travel speeds on melting efficiency in laser beam welding. SAE Transactions: Journal of Materials and Manufacturing, v. 108, 1999.
3. Karkhin, V. A. et al. Effect of latent heat on thermal efficiency of base metal fusing. In: IIW/CRIST Workshop, 2003, St Petersburg, Russia. p. 318-327.
4. Modenesi, P. J. et al. Introdução à metalurgia da soldagem. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, UFMG, Belo Horizonte, 2004.

5. Christensen, N. et al. Distribution of temperatures in arc welding. *British Welding Journal*, 12(2), p. 54-75. 1965.
6. MatWeb - Material Property Data. Disponível em: <<http://www.matweb.com>>. Acesso em: 28 agosto 2004.
7. Joseph, A. P. Assessing the effects of GMAW-pulse parameters on arc power and weld heat input. Master of Science Thesis - Graduate School of The Ohio State University, Columbus, 2001.
8. Rosenthal, D. Mathematical theory of heat distribution during welding and cutting. *Welding Journal*, May, p. 220s-234-s. 1941.

## **INFLUENCE OF THE MATERIAL ON THE MELTING EFFICIENCY IN ARC WELDING**

### **Ruham Pablo Reis**

Federal University of Uberlândia, 38400-902, Uberlândia, MG - ruhamreis@yahoo.com

### **André Luis Gonçalves da Costa**

Federal University of Uberlândia, 38400-902, Uberlândia, MG - algcosta@mecanica.ufu.br

### **Fernanda Mendonça Silveira**

Federal University of Uberlândia, 38400-902, Uberlândia, MG - fmendonca@mecanica.ufu.br

### **Paulo Rosa da Mota**

Federal University of Uberlândia, 38400-902, Uberlândia, MG - prmota@mecanica.ufu.br

### **Robson José de Souza**

Federal University of Uberlândia, 38400-902, Uberlândia, MG - rjsouza@mecanica.ufu.br

***Abstract.** The aim of this work is to propose and evaluate a methodology for melting efficiency determination. This methodology would be supported on the spent electrical energy, on the weld pool geometrical parameters and on the base metal physical properties. In addition, it was also looked for estimating the thermal efficiency, trying to correlate the melting efficiency with the arc voltage behavior. This methodology was applied upon three materials (carbon steel, stainless steel and aluminum alloy) at two current levels, using the GTAW process. It was verified that melting efficiency is very low (< 10%) and it depends significantly on the base metal properties, yet it rises with increasing current level. The aluminum alloy presented the lowest melting efficiency in contrast to the highest heat yield of the stainless steel. With respect to thermal efficiency, the methodology can be applied only when the weld profiles resemble a semicircle.*

***Keywords:** welding, melting efficiency, thermal efficiency, AC GTAW.*