

# UTILIZAÇÃO DE UM SENSOR DE LUMINOSIDADE NA SOLDAGEM DE ALUMÍNIO PELO PROCESSO TIG CA

**Tiago Veríssimo de Campos**

Universidade Federal de Uberlândia – UFU – FEMEC, Campus Santa Mônica, Bloco M, Caixa Postal 593. CEP 38.400-902, Uberlândia-MG, e-mail: tiago\_vcamos@yahoo.com.br

**Valtair Antonio Ferraresi.**

Universidade Federal de Uberlândia – UFU – FEMEC, Campus Santa Mônica, Bloco M, Caixa Postal 593. CEP 38.400-902, Uberlândia-MG, e-mail: valtairf@mecanica.ufu.br

**Resumo.** *Em qualquer sistema de soldagem que apresenta um monitoramento apropriado de algum parâmetro, permite a implementação de uma técnica de controle automático do processo, aumentando sua eficiência, melhorando a qualidade e baixando os custos envolvidos. Neste sentido, cita-se como exemplo o sensor de luminosidade utilizado no monitoramento da transferência metálica (processo MIG Pulsado). Acredita-se que a identificação de intensidade luminosa para qualquer tipo de soldagem a arco possa fornecer informações relevantes sobre perturbações que venham ocorrer no arco durante a soldagem. Na soldagem automática do processo TIG (Tungstein Inert Gas) é importante manter constante a distância da ponta do eletrodo à peça para obter soldas de qualidade. O objetivo deste trabalho é a avaliação de um equipamento capaz de adquirir e tratar os sinais de luminosidade emitidos pelo arco do processo TIG na soldagem de alumínio (CA onda quadrada), de forma a monitorar o comportamento do arco durante a soldagem. O sistema proposto apresentou excelentes resultados da variação da intensidade luminosa em função da variação do comprimento do arco, corrente de soldagem, velocidade de soldagem e variações no tempo do eletrodo na polaridade positiva e negativa.*

**Palavras-chave:** soldagem de alumínio, processo TIG CA, sensor de luminosidade, arco elétrico.

## 1. INTRODUÇÃO

Em qualquer sistema de soldagem que apresenta um monitoramento apropriado de algum parâmetro, permite a implementação de uma técnica de controle automático do processo, aumentando sua eficiência, melhorando a qualidade e baixando os custos envolvidos. No entanto, para que se atinjam estas características, o controle deve ser realizado de forma dinâmica e não estática, de acordo com as prováveis instabilidades inerentes do arco elétrico e interferências que possam surgir durante a soldagem. Isto reforça a necessidade da observação de algum fenômeno associado à soldagem e da atuação sistemática nos parâmetros de soldagem (corrente, tensão, velocidade de soldagem, comprimento de arco e etc.) em função das possíveis variações ocorridas [1 e 2].

Neste sentido, cita-se como exemplo o sensor de luminosidade utilizado no monitoramento da transferência metálica no processo MIG (Metal Inert Gas) Pulsado, sistema este desenvolvido no LAPROSOLDA por Miranda [3]. Este sistema apresentou resultados satisfatórios e com excelente sensibilidade às variações da intensidade luminosa do arco voltaico, o que possibilitou a implementação de um controle de transferência metálica no processo de soldagem MIG pulsado [4].

Acredita-se então, que a identificação de intensidade luminosa, para qualquer tipo de soldagem a arco, possa fornecer informações relevantes sobre perturbações que venham ocorrer no arco elétrico durante a soldagem, em virtude da boa sensibilidade dos sensores ópticos às variações luminosas, da facilidade de análise e do baixo custo do dispositivo. Entretanto, a aplicação do sistema desenvolvido por Miranda [3] no processo TIG (Tungsten Inert Gas), com o objetivo de monitorar o comprimento do arco e oscilações na intensidade luminosa não apresentou resultados satisfatórios.

Este fato ocorre devido à forma de aquisição e tratamento do sinal de luminosidade, o que inviabiliza o seu uso no processo de soldagem TIG, necessitando de desenvolvimento de um novo sistema específico para esse processo.

Em decorrência desses fatos, foi construído e validado um novo dispositivo eletrônico, capaz de adquirir e tratar os sinais de luminosidade (através de um sensor de luminosidade) emitidos pelo arco do processo TIG, de forma a monitorar no futuro o comportamento do arco durante a soldagem de aço. O dispositivo foi testado com variação na intensidade de corrente, velocidade de soldagem e Distância Eletrodo Peça (DEP) para aço carbono em corrente contínua. Maiores detalhes deste dispositivo pode ser encontrado no artigo de Campos et al, [5].

Um aspecto peculiar na soldagem do alumínio é o fato de ocorrer, com grande facilidade, a reação do alumínio com o oxigênio ( $O_2$ ), formando a alumina ( $Al_2O_3$ ), óxido com dureza próxima à do diamante e com ponto de fusão elevado, de  $2038^\circ C$ , bem acima do alumínio, que é  $660^\circ C$ . A alumina apresenta uma textura porosa com grande facilidade de retenção de umidade e sujeira que contribuem na contaminação do cordão de solda. Assim, torna-se importante a quebra da alumina e a sua remoção para que o material possa ser satisfatoriamente unido por processos de soldagem.

A remoção da camada de alumina pode ser feita de três formas distintas [6]: por ação mecânica, limpeza química e ataque catódico. A remoção por ação mecânica é a mais simples, porém pouco eficiente, sendo feita momentos antes da soldagem por meio de esmerilhamento ou escovamento. A limpeza química é feita pela aplicação de bases e/ou ácidos alternadamente, a temperaturas variadas, intercaladas por lavagem com água. A limpeza catódica é realizada diretamente no processo de soldagem com corrente contínua com eletrodo no pólo positivo do circuito elétrico [ $CC^+$ ]. Nesta situação o arco remove a camada de óxido de alumínio permitindo a limpeza da junta.

O processo TIG trabalha normalmente com o eletrodo submetido à polaridade negativa, obtendo um menor aquecimento do eletrodo. O uso da polaridade positiva acarreta em um alto aquecimento do eletrodo. Por outro lado, exerce a função de limpeza catódica na soldagem de alumínio. A alternativa encontrada para superar esses problemas na soldagem de alumínio é a utilização da corrente alternada. Durante o ciclo positivo ocorre a remoção da camada de óxido e no ciclo negativo ocorre a aplicação de calor a peça [6].

Para ampliar a aplicação do dispositivo este artigo apresenta os resultados dos ensaios realizados na soldagem TIG em Corrente Alternada Onda Quadrada (TIG-CA-OQ). O objetivo deste trabalho é verificar a variação da intensidade luminosa com a mudança na Distância Eletrodo Peça (DEP), polaridade do eletrodo, intensidade da corrente de soldagem e velocidade de soldagem. Com este sistema funcionando adequadamente será possível no futuro desenvolver um controle automático do comportamento do arco TIG visando à otimização de condições de soldagem.

## 2. METODOLOGIA DE ENSAIO

O dispositivo denominado de Condicionador de Sinais Luminosos do Arco de Soldagem se divide em três partes: um sensor capaz de captar sinais luminosos do arco; uma interface eletrônica para condicionamento de sinais e um programa computacional para a análise dos dados.

A interface para o condicionamento de sinais pode ser utilizada com até dois sensores, sendo ajustável para se trabalhar com um ou dois sensores (Fig. (1)). A tensão de alimentação do circuito é de 127 ou 220 VAC em 60 Hz, taxa de aquisição é de 40 kHz com resolução de 12 bits e o número de amostras por segundo é de no mínimo 500 (12 ms) e no máximo 100.000 pontos (2,5 s).

O sensor escolhido para o desenvolvimento do dispositivo foi um fotodiodo de silício. Para proteger o sensor das condições adversas existentes na soldagem, foi construído um suporte ilustrado na Fig. (2). O sensor é alojado no interior de um cilindro de alumínio o qual é colocado no interior do suporte principal, também de alumínio e que tem como função proteger o sensor das altas temperaturas e dos respingos provenientes da soldagem. À frente do sensor é alojado um filtro luminoso (igual ao utilizado em mascaras protetoras comuns de soldagem). O objetivo deste filtro é reduzir a intensidade luminosa a níveis adequados ao sensor óptico.



Figura 1. Dispositivo Eletrônico de detecção e condicionamento de sinais luminosos.

Foram realizados vários testes com o objetivo de determinar a melhor posição do sensor em relação à tocha de soldagem. Esta posição é importante, pois a mesma influencia na intensidade luminosa captada pelo sensor. A melhor condição foi obtida com a distancia do sensor à ponta do eletrodo de 58 mm e com um ângulo de posicionamento em relação à chapa de soldagem de 15 graus.

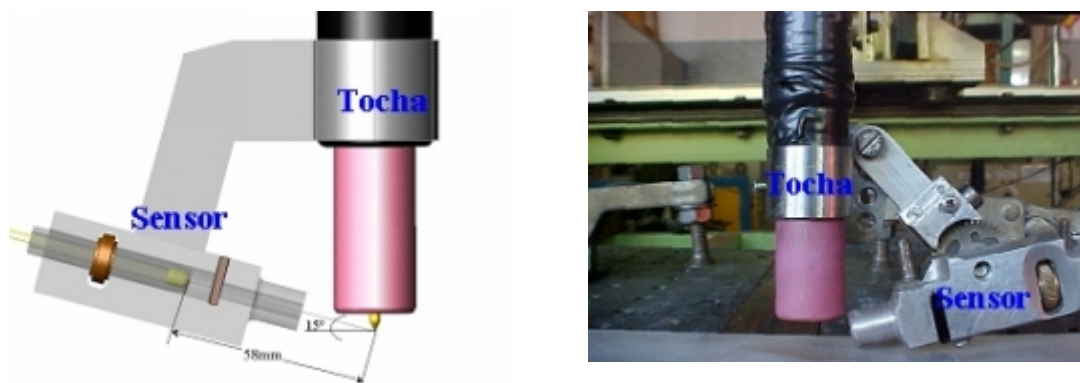


Figura 2. Posição do sensor e suporte em relação à tocha de soldagem.

Para a visualização dos dados adquiridos foi desenvolvido um programa computacional, a partir do programa desenvolvido no trabalho de Miranda [3], compatível com qualquer versão dos sistemas operacionais Microsoft Windows.

Após a comprovação da eficiência do sistema projetada, no que diz respeito à captação da intensidade luminosa, foi realizada testes em condições normais de soldagem. Para isso, foi utilizada uma fonte eletrônica multiprocessado que permite a realização do processo TIG e possibilita o ajuste dos parâmetros de soldagem através de seu painel ou remotamente durante a soldagem via microcomputador.

As soldagens foram realizadas na posição plana ("bead on plate") em chapas de alumínio, com os seguintes parâmetros de soldagem: eletrodo com óxido de tório (EWTh-2) de diâmetro de 3,2 mm; ângulo da ponta do eletrodo de 60 graus e o gás de proteção foi o Argônio com vazão de 12 L/min. As variáveis de soldagem estudadas foram: distância eletrodo peça (DEP), corrente de soldagem, velocidade de soldagem, tempo do eletrodo na polaridade negativa e o tempo na polaridade positiva.

Para cada condição de soldagem e em um mesmo cordão foram realizadas três aquisições da intensidade luminosa. Para cada aquisição foram obtidos 10.000 pontos a uma frequência de 40

kHz, o que corresponde a um tempo de 250 ms. Durante a realização dos testes foram obtidos também em sincronismo com o sinal luminoso o valor da tensão de soldagem.

### 3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E ANALISES

#### 3.1. Testes com Variação da Corrente de Soldagem

A Tabela 1 apresenta os resultados dos testes variando a corrente de soldagem em 100, 150 e 200 A nos dois pólos. O valor da corrente de soldagem foi escolhido em função do diâmetro do eletrodo e da capacidade de corrente da tocha utilizada. O DEP utilizado nestes testes foi de 3 mm, tempo no pólo negativo 14 ms, tempo no pólo positivo de 4 ms e velocidade de soldagem de 15 cm/min.

Tabela 1. Resultados para testes com variação na corrente.

Teste	Corrente (A)	Média no pólo Negativo (mV)	Desvio Padrão no Negativo (mV)	Média no pólo Positivo (mV)	Desvio Padrão no Positivo (mV)
1	100	4264	131	2675	167
2	150	7152	127	4519	444
3	200	9706	97	7713	404

A Figura 3 mostra o sinal do sensor de luminosidade (em mV) com a variação da corrente de soldagem utilizada. Foram obtidos os valores médios do sinal de luminosidade com o eletrodo na polaridade positiva e na polaridade negativa. Para cada valor de corrente testada são apresentadas também as suas variâncias. Pelos resultados obtidos, verifica-se um aumento acentuado da intensidade luminosa com o valor da corrente. Este aumento ocorre em função da maior ioniozação do gás de proteção com maiores corrente (maior densidade de corrente para uma mesma distância eletrodo peça), conseqüentemente maior a intensidade luminosa do arco. Os resultados estão de acordo com o trabalho de Wang & Li [7].

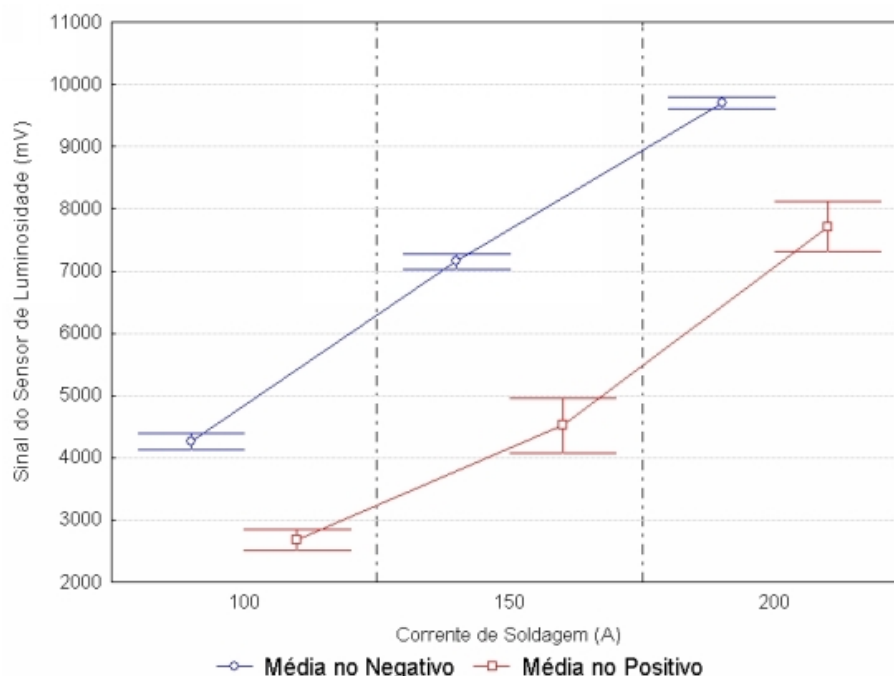


Figura 3. Gráfico Corrente x Sinal do Sensor com variação da corrente de soldagem.

Verifica-se também na Figura 3 que o sinal luminoso tem maior intensidade com o eletrodo na polaridade negativa, independente do valor da corrente de soldagem. Este fato está relacionado provavelmente a emissão de elétrons, quando o eletrodo for negativo a emissão é termiômica (resultado do aquecimento do material a uma temperatura suficientemente alta para causar a ejeção (“vaporização”) de elétrons de sua superfície) e quando for positivo a emissão é por outros

mecanismos (efeito de campo, efeito conjunto de campo e termiônico, etc.) [8]. A literatura corrente cita que o aquecimento no eletrodo é maior na polaridade positiva. Entretanto, os resultados mostraram que este maior aquecimento não implica em uma maior intensidade luminosa para o tempo do eletrodo na polaridade positiva utilizada neste trabalho.

A Figura 4 mostra o resultado do teste 01 da Tabela 1 onde foram obtidos os sinais de tensão de soldagem e da intensidade luminosa sincronizado. É interessante observar que o eletrodo no positivo a tensão de soldagem ficou em torno de 18 V e no negativo a tensão ficou em torno de 10 V. Verifica-se que a intensidade luminosa foi maior com o eletrodo na polaridade negativa, menor tensão de soldagem. Esta diferença na intensidade luminosa está relacionada com a inversão de polaridade no eletrodo do negativo para o positivo, onde o arco tende a apagar aumentando drasticamente a tensão e diminuindo com isso a intensidade luminosa do arco. Um fato importante para esta análise é que a posição do sensor foi colocada de tal forma a visualizar sempre a região do arco próximo à ponta do eletrodo.

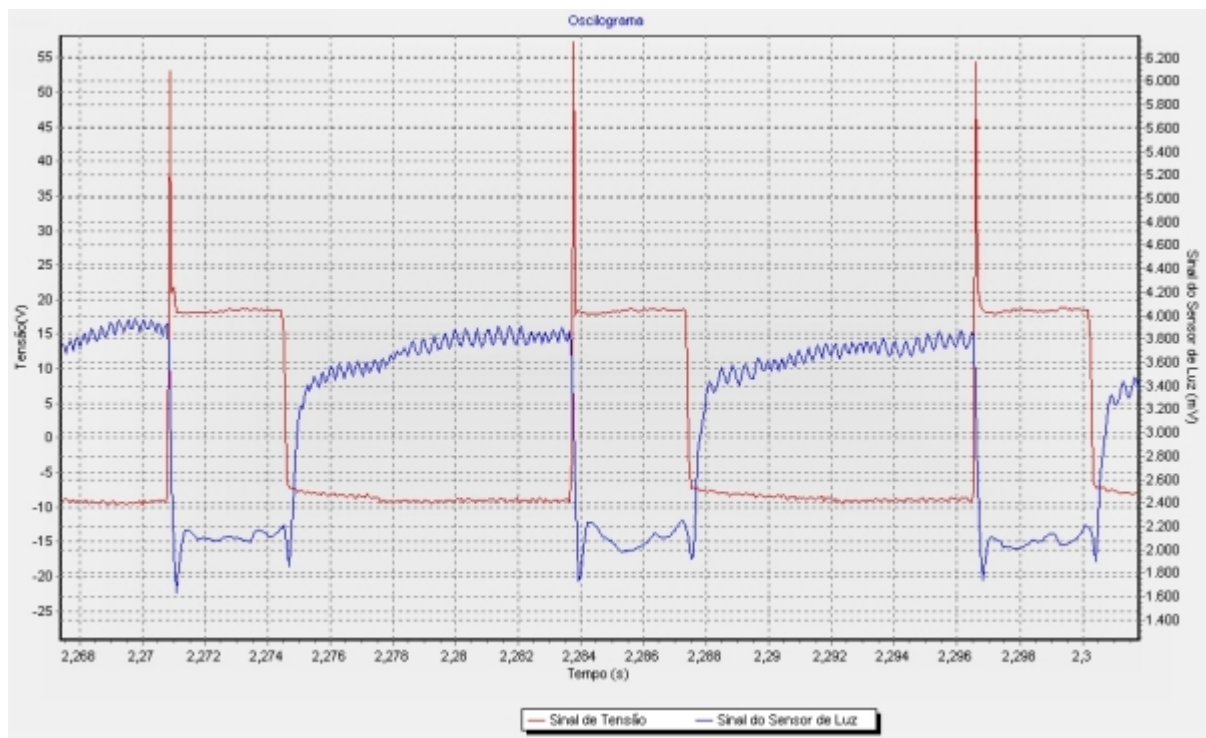


Figura 4 - Tensão de soldagem sincronizada com a intensidade luminosa.

### 3.2. Resultados de Testes Com Variação do DEP

Os testes foram realizados com o DEP variando de 2 a 6 mm, corrente de 100 A nos dois pólos, tempo no pólo positivo 4 ms, tempo no pólo negativo 14 ms e velocidade de soldagem de 15 cm/min. O objetivo destes testes é para verificar a mudança da intensidade luminosa com a variação do DEP. Demonstrar que o sistema projetado apresenta um funcionamento adequado para um futuro desenvolvimento de um controle automático de DEP. A Tabela 2 e Figura 5 mostram os resultados dos testes, onde se verifica que a intensidade luminosa cresce com o aumento do DEP.

É de conhecimento da literatura [8 e 9], que para o processo TIG ocorre um aumento da tensão de soldagem com o aumento do DEP. Um aumento no comprimento do arco (maior DEP no processo TIG) tende a aumentar o volume de gás ionizado (aumento da coluna de plasma), acarretando em um aumento na intensidade luminosa do arco.

É interessante observar na Figura 5 que tanto a luminosidade do eletrodo no pólo negativo como no pólo positivo ocorreu um aumento da intensidade, sendo maior quando com o eletrodo na polaridade negativa. Os resultados apresentados demonstram a viabilidade do equipamento (sensor de luminosidade e dispositivo eletrônico) projetado para medir a intensidade luminosa do processo

de soldagem TIG, aplicado na soldagem de alumínio em corrente alternada onda quadrada, para um futuro controle do DEP.

Tabela 2. Testes com variação no DEP

Teste	DEP (mm)	Média no pólo negativo (mV)	Desvio padrão no negativo (mV)	Média no pólo positivo (mV)	Desvio padrão no positivo (mV)
1	2	2620	84	1809	235
2	3	4264	131	2675	167
3	4	5179	92	2730	228
4	5	5615	103	3442	211
5	6	5987	121	3471	231

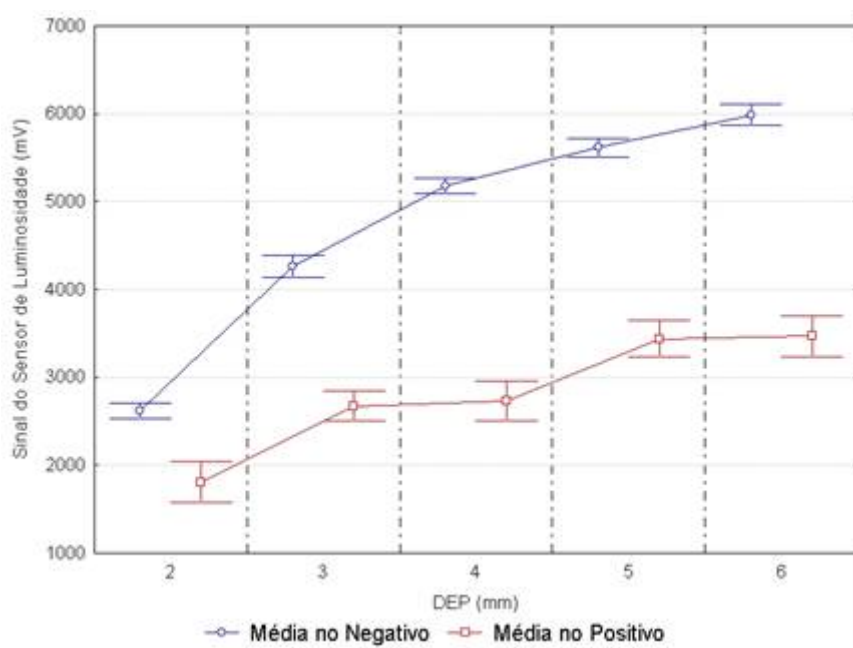


Figura 5. Variação da intensidade luminosa com a variação do DEP

### 3.3. Resultados de Testes Com Variação na Velocidade de Soldagem

Foram realizados testes variando a velocidade de soldagem com o objetivo de verificar possíveis interferências desta variável no valor da intensidade luminosa do arco de soldagem. Os testes foram realizados com DEP de 3 mm corrente de 100 A nos dois pólos, tempo no pólo positivo 4 ms, tempo no pólo negativo 14 ms, A Tabela 3 e Figura 6 apresentam os resultados dos testes realizados. É possível afirmar que a velocidade de soldagem não apresenta influência significativa no valor da intensidade luminosa para as condições de ensaios realizadas neste trabalho.

Tabela 3. Testes com variação na velocidade de soldagem

Teste	Velocidade (cm/min)	Média no pólo negativo (mV)	Desvio padrão no negativo (mV)	Média no pólo positivo (mV)	Desvio padrão no positivo (mV)
1	15	4264	131	2675	167
2	20	4190	103	2483	143
3	25	3988	101	2576	131
4	30	3977	103	2584	121
5	35	3830	146	2428	94
6	40	3614	101	2168	189
7	45	4244	107	2521	125
8	50	3783	97	2353	133

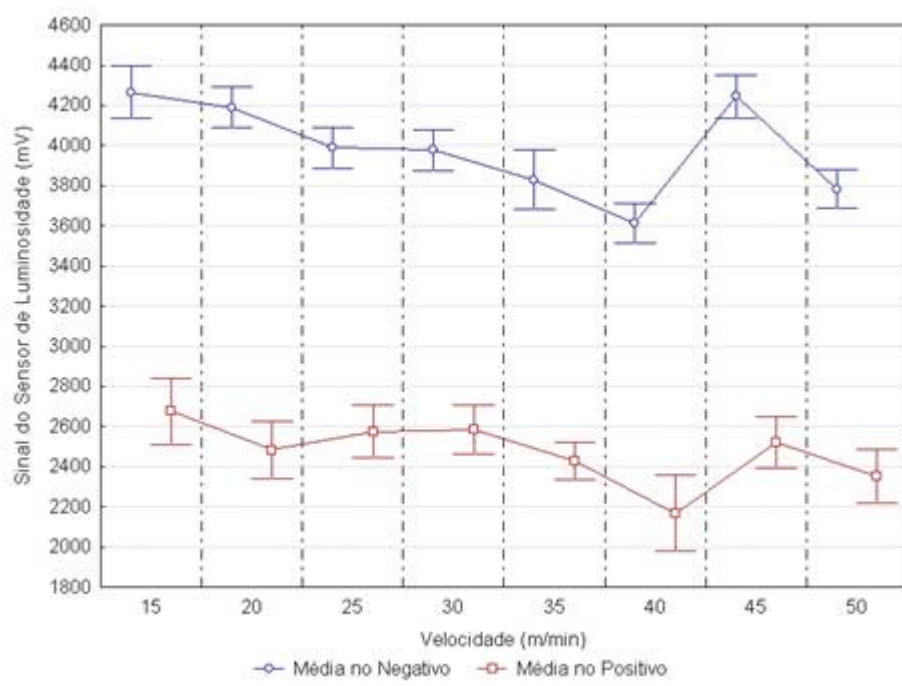


Figura 6. Resultados dos testes com variação na velocidade de soldagem

### 3.4. Resultados de Testes Com Variação do tempo do eletrodo na polaridade negativa

Foram realizados testes variando o tempo do eletrodo na polaridade negativa com o objetivo de verificar possíveis interferências desta variável no valor da intensidade luminosa do arco de soldagem. Os testes foram realizados com DEP de 3 mm corrente de 100 A nos dois pólos, tempo no pólo positivo 4 ms e velocidade de soldagem de 15 cm/min. Foi realizado também um testes em corrente contínua (CC-) com corrente de 100 A. A Tabela 4 e Figura 7 apresentam os resultados dos testes realizados

Tabela 4. Testes com variação do tempo do eletrodo na polaridade negativa

Teste	Tempo no pólo negativo (ms)	Média no pólo negativo (mV)	Desvio padrão no negativo (mV)	Média no polo positivo (mV)	Desvio padrão no positivo (mV)
1	6	3283	139	2008	97
2	10	3872	268	2263	107
3	14	4264	131	2675	167
4	18	4641	225	2364	116
5	22	4826	188	2185	82
6	26	5081	107	2730	152
7	30	5185	128	2825	135
8	34	5248	158	2585	108

A Figura 7 mostra um aumento da intensidade luminosa (pólo negativo) com o aumento do tempo do eletrodo na polaridade negativa. O maior tempo nesta polaridade implica em um aumento na quantidade de óxido (alumina) na poça de fusão, acarretando em alterações na composição da coluna do arco, particularmente pela presença de elementos metálicos que podem alterar fortemente a faixa de luz visível, aumentando com isto a intensidade luminosa do arco. Os resultados mostraram também que a intensidade luminosa na polaridade positiva não foi significativamente afetada para as condições de soldagem realizadas.

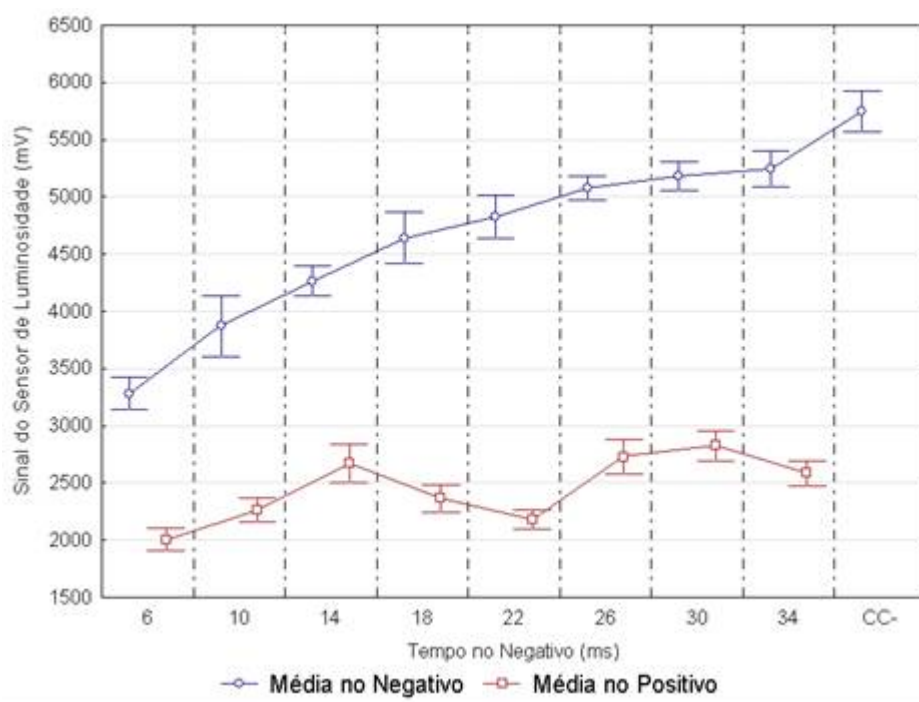


Figura 7. Resultados com variação do tempo na polaridade negativa

### 3.5. Resultados de Testes Com Variação do tempo do eletrodo na polaridade positiva

Foram realizados testes variando o tempo do eletrodo na polaridade positiva com o objetivo de verificar possíveis interferências desta variável no valor da intensidade luminosa do arco de soldagem. Os testes foram realizados com DEP de 3 mm corrente de 100 A nos dois pólos, tempo no pólo negativo 14 ms e velocidade de soldagem de 15 cm/min. Foi realizado também um teste em corrente contínua (CC-) com corrente de 100 A. A Tabela 5 e Figura 8 apresentam os resultados dos testes realizados

Tabela 5. Testes com variação do tempo do eletrodo na polaridade positiva

Teste	Tempo no pólo positivo (ms)	Média no pólo negativo (mV)	Desvio padrão no negativo (mV)	Média no pólo positivo (mV)	Desvio padrão no positivo (mV)
1	2	5346	105	2590	187
2	4	4264	131	2675	167
3	6	4034	90	2729	236
4	8	3542	166	2968	580
5	10	3003	152	2122	112
6	12	2367	91	2461	483
7	14	2467	82	2913	442

A Figura 8 mostra uma diminuição da intensidade luminosa no pólo negativo com o aumento do tempo do eletrodo na polaridade positiva. O maior tempo nesta polaridade implica em menor quantidade de óxido na poça de fusão, diminuindo a quantidade de elementos metálicos que alteram a faixa de luz visível. Entretanto, um aumento igual ou superior a 8 ms acarreta em uma maior variância da intensidade luminosa no pólo positivo, isto se deve provavelmente pela instabilidade do arco nesta polaridade (falta de óxido na superfície da poça de fusão). Modenesi [8] cita que em ambientes isentos da camada de óxido (soldagem em vácuo) acarreta em perturbações no comportamento do arco.



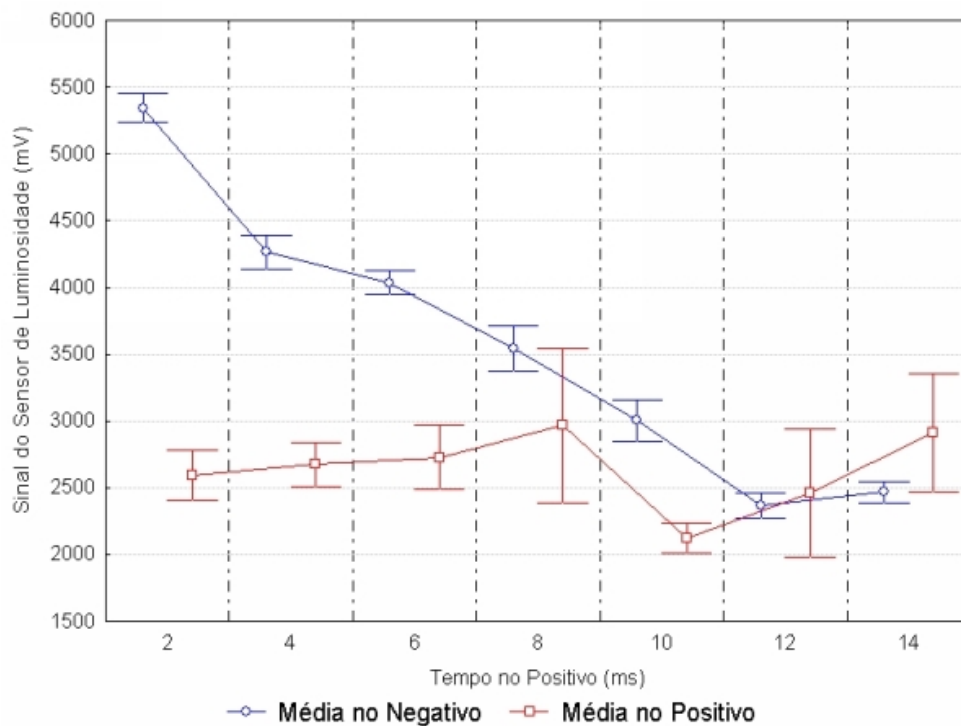


Figura 7. Resultados com variação do tempo na polaridade positiva

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos testes realizados neste trabalho foi possível obter as seguintes conclusões:

- O sistema projetado e construído para monitoramento da luminosidade do arco elétrico apresentou a eficiência desejada, alcançando o objetivo proposto no trabalho;
- O sistema mostrou eficiente para determinar a intensidade luminosa com variação na corrente elétrica e na distância eletrodo peça, possibilitando a sua utilização para o monitoramento e controle do comprimento do arco do processo de soldagem TIG;
- Não ocorreu variação da intensidade luminosa com a variação da velocidade de soldagem;
- O aumento do tempo na polaridade negativa implica em um aumento na intensidade luminosa. Entretanto, um aumento na polaridade positiva implica em uma diminuição da intensidade luminosa do arco.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem o LAPROSOLDA/UFU pelo apoio laboratorial, ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica e a FAPEMIG pelo apoio financeiro.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] Siewert, T. A.; Madigan, R. B.; Quinn, T. P., 1997, "Sensors – Control Gas Metal Arc Welding", Advanced Materials & Processes, Vol. 4, pp. 23-25.
- [2] Saini, D.; Floyd, S., 1998, "An Investigation of Gas Metal Arc Welding Sound Signature for On-Line quality Control", Welding Journal, April, pp. 172s- 179s.
- [3] Miranda, H. C., 2000, "Identification of the Metallic Transfer through Sensor Optical", IV Seminar of the Program of Masters degree in Mechanical Engineering (POSMEC), Federal University of Uberlândia, October, pp 169-174.
- [4] Miranda H. C.; Ferraresi, V. A.; Scotti A. 2005 "Identification and Control of Metal Transfer in Pulsed GMAW", 18th International Congress of Mechanical Engineering - COBEM 2005, Copyright © 2005 by ABCM, Ouro Preto, MG, November 6-11.

- [5] CAMPOS, T. V.; FRANCO, V. L. D. S. e FERRARESI, V. A. 2006. Utilizaçã de um sensor de luminosidade na soldagem automática do processo TIG para Aço. IV CONEM Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Anais em CD do IV CONEM, Recife, 22 a 25 de agosto.
- [6] ALCAN, 1993. Manual de soldagem, ALcan Alumínio do Brasil S/A, 1ª Edição.
- [7] Wang, Q. L.; Li, P. J., 1997, "Arc Light Sensing of Droplet Transfer and its Analysis in Pulsed GMAW Process", Welding Journal, November, pp. 458s-469s.
- [8] MODENESI, PV. 2000. Introdução à física do arco elétrico e sua aplicação na soldagem dos metais. UFMG, Belo Horizonte, janeiro.
- [9] American Welding Sociey (AWS), 1991, "Welding Processes", Welding Handbook, Vol 2, 8.ed.

## Use of Photo Sensor in AC-TIG Welding of Aluminum

### **Tiago Veríssimo de Campos**

Universidade Federal de Uberlândia – UFU – FEMEC, Campus Santa Mônica, Bloco M, Caixa Postal 593. CEP 38.400-902, Uberlândia-MG, e-mail: tiago\_vcampos@yahoo.com.br

### **Valtair Antonio Ferraresi.**

Universidade Federal de Uberlândia – UFU – FEMEC, Campus Santa Mônica, Bloco M, Caixa Postal 593. CEP 38.400-902, Uberlândia-MG, e-mail: valtairf@mecanica.ufu.br

***Abstract.** Any welding system that presents an appropriate monitoring of a parameter permits the implementation of automatic control of the process, increasing its efficiency, improving its quality and reducing the costs involved. An example is the photo sensor used in monitoring of metallic transfer (pulsed MIG process). It is believed that the identification of the luminous intensity for whichever type of arc-welding can supply important information about perturbations that occur in the arc during welding. In the automatic TIG welding process it is important to keep the distance between the electrode and the piece constant to obtain high quality welds. In whatever application the search is to reach a welding condition of better quality and productivity of the weld bread. The objective of this study is to evaluate an electronic interface capable to acquire and treat luminous signals emitted by the arc of the TIG process, so as to observe the behavior of the arc during welding. The system proposed presented excellent results for the variation of the luminous intensity in function of the arc length, welding current, welding speed, time of negative electrode and time of positive electrode.*

**Keywords.** Welding; TIG process; Photo sensor; Electric arc.