

Estudo da emissão de campo magnético em processos de soldagem TIG DC

Hélio Cardoso Martim, helio.martim.hcm@gmail.com¹

Louriel Oliveira Vilarinho, vilarinho@mecanica.ufu.br¹

¹ Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Avenida João Naves de Ávila, 2121 - Santa Mônica, Uberlândia - MG, 38400-902.

² Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Avenida João Naves de Ávila, 2121 - Santa Mônica, Uberlândia - MG, 38400-902.

Resumo: Os processos de soldagem TIG são largamente utilizados na indústria para soldar diferentes tipos de materiais com boa qualidade. Em função das características do material a soldar pode ser empregada corrente contínua ou alternada em níveis de intensidade que podem alcançar até centenas de amperes. Tais valores de corrente geram campos magnéticos cujos efeitos à saúde humana ainda não são devidamente comprovados. No entanto, já existem diretrizes que limitam a exposição de trabalhadores a esses campos, visto que alguns estudos mostram que, em função do processo de soldagem e dos parâmetros utilizados, esses limites podem ser ultrapassados. Assim, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a emissão de campo magnético gerado no processo TIG corrente contínua em função das variáveis do processo e o grau de exposição do soldador a esses campos através da comparação com os limites estabelecidos pelas diretivas do ICNIRP. Os resultados mostraram que o campo magnético é maior quando são usadas correntes de maior intensidade e menores distâncias eletrodo-peça. A proteção gasosa também exerce influência no campo magnético em função da condutividade térmica do gás de proteção. Quanto a exposição do soldador, observa-se que a intensidade do campo magnético ocorre em virtude da proximidade da região do corpo ao arco elétrico.

Palavras-chave: Soldagem, TIG, Campo magnético, Exposição

1. INTRODUÇÃO

A soldagem TIG é um dos processos mais utilizados por soldadores na indústria [1]. A faixa de corrente empregada para a execução desse processo varia de 5 a 500 A em função do tipo e da espessura do material a ser soldado, podendo ser contínua (CC) ou alternada (AC) [2] e [3]. Nesse trabalho o estudo centrou-se na emissão de campos magnéticos apenas em soldagem TIG CC.

Dentre as condições operatórias do processo, a corrente de soldagem é o fator mais influente no que se refere a emissão de campos magnéticos. Correntes contínuas geram campos magnéticos estáticos e correntes alternadas geram campos magnéticos variantes no tempo [4]. Além do tipo, a intensidade da corrente também é um fator determinante, pois quanto maior o valor de corrente, mais intenso é o campo magnético gerado [5]. Este fato é perfeitamente explicado pela lei de Biot-Savart que expressa matematicamente (Eq. 1) que a densidade de campo magnético (B) é diretamente proporcional a intensidade de corrente (I), ao comprimento (L) do arco, ao ângulo (θ) formado entre o arco e a peça e a permeabilidade magnética (μ) do material a ser soldado.

A Eq. 1 mostra também que a densidade de fluxo magnético varia inversamente com o quadrado da distância (r) entre o centro e a extremidade do arco elétrico. Sendo assim, [6] afirma que arcos mais constritos podem apresentar campo magnético mais intenso e que este campo apresenta valores maiores nas porções centrais do arco elétrico e valores mais baixos nas regiões mais próximas da peça, em virtude do formato tronco-cônico do arco.

$$B = \frac{\mu \cdot I \cdot L \cdot \sin\theta}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (1)$$

Nesse contexto, é possível incluir que a distância do soldador em relação ao arco elétrico revela o grau e exposição com relação aos campos magnéticos, uma vez que quanto menor for a distância do soldador com relação ao arco, maior será a sua exposição. Em soldagens manuais, por exemplo, onde o soldador precisa estar segurando a tocha de soldagem, no caso do processo TIG, o grau de exposição é ainda maior em função da proximidade com o arco elétrico [7].

No estudo de [8], por exemplo, foram alcançados campos magnéticos da ordem de 0,0004 a 0,0016 mT em soldagens TIG com corrente contínua. Para o mesmo processo [9] registrou valores na faixa de 0,1 a 0,2 mT, próximo ao corpo do soldador, 0,1 mT perto da fonte de alimentação e 1 mT na superfície do cabo terra. Em procedimentos de soldagem

parecidos, [10] concluíram que os campos magnéticos mais intensos são encontrados na mão do soldador pelo fato dele está segurando a tocha de soldagem.

Sendo assim, é de fundamental importância a investigação da emissão de campos magnéticos em processos de soldagem, sobretudo para aqueles que são, majoritariamente, realizados de forma manual, como por exemplo a soldagem TIG. Em processos como este, a exposição de soldadores pode ser maior do que em soldagens mecanizadas ou robotizadas.

A exposição do trabalhador a campos magnéticos é regida por órgãos ligados à saúde e segurança do trabalhador, dentre os quais, destaca-se a International Commission Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), que têm formulado diretrizes para restrição de tal exposição. Essas diretrizes são baseadas em dados científicos, não levando em conta quaisquer considerações econômicas ou questões não científicas [11]. No que diz respeito às evidências dos possíveis prejuízos causados à saúde humana decorrente da exposição, a diretiva ICNIRP de 2002 é o único documento onde esses efeitos são devidamente comprovados [12]. Esses efeitos incluem, por exemplo, perturbações do sistema nervoso e cardiovascular.

A partir de fatos como esse, a diretiva mais atualizada do ICNIRP referente a exposição de trabalhadores a campos magnéticos estáticos afirma que o limite máximo de exposição ocupacional para a cabeça e tronco é de 2000 mT e para os membros é de 8000 mT [13]. Cabe ressaltar que existem diretivas também para limitação da exposição a campos magnéticos variantes no tempo, mas o presente estudo centra-se na avaliação de campos magnéticos oriundos de soldagem TIG em corrente contínua e, por tanto, apenas de campos magnéticos estáticos.

Assim, diante do que foi exposto, o objetivo do presente estudo é avaliar a emissão de campos magnéticos no processo TIG em corrente contínua, realizado manualmente a fim de investigar a relação existente com os parâmetros experimentais comuns ao processo, como corrente de soldagem, distância eletrodo-peça e variação no gás de proteção. Além disso, serão analisados os valores de campo magnético medidos em diferentes regiões do corpo do soldador e comparados com os limites mais atuais da ICNIRP no sentido de investigar se esses limites são excedidos durante o processo em diferentes condições experimentais. Dessa forma, será possível avaliar a exposição dos soldadores aos campos magnéticos oriundos da soldagem TIG em corrente contínua e, conseqüentemente, contribuir com a segurança dessa atividade.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A partir do objetivo principal desse estudo, foi realizado um planejamento experimental para medições do campo magnético gerado em soldagens TIG em corrente contínua. Nos experimentos as variáveis analisadas foram a corrente de soldagem, distância eletrodo-peça, gás de proteção e ponto de medição no corpo do soldador. A corrente foi avaliada em dois níveis, sendo o nível baixo e alto, correspondente a 100 e 150 A, respectivamente. Quanto à distância eletrodo-peça o nível baixo equivale a 2 mm e o nível alto a 4 mm. Foram também utilizados dois tipos de proteção de gasosa, Argônio puro e uma mistura Ar+25%He. Em cada teste realizado o campo magnético foi medido em 4 regiões diferentes do corpo: mão (1), cabeça (2), tronco (3) e cintura (4) conforme é mostrado no planejamento experimental descrito na Tab. 1.

Tabela 1. Planejamento experimental para a soldagem TIG

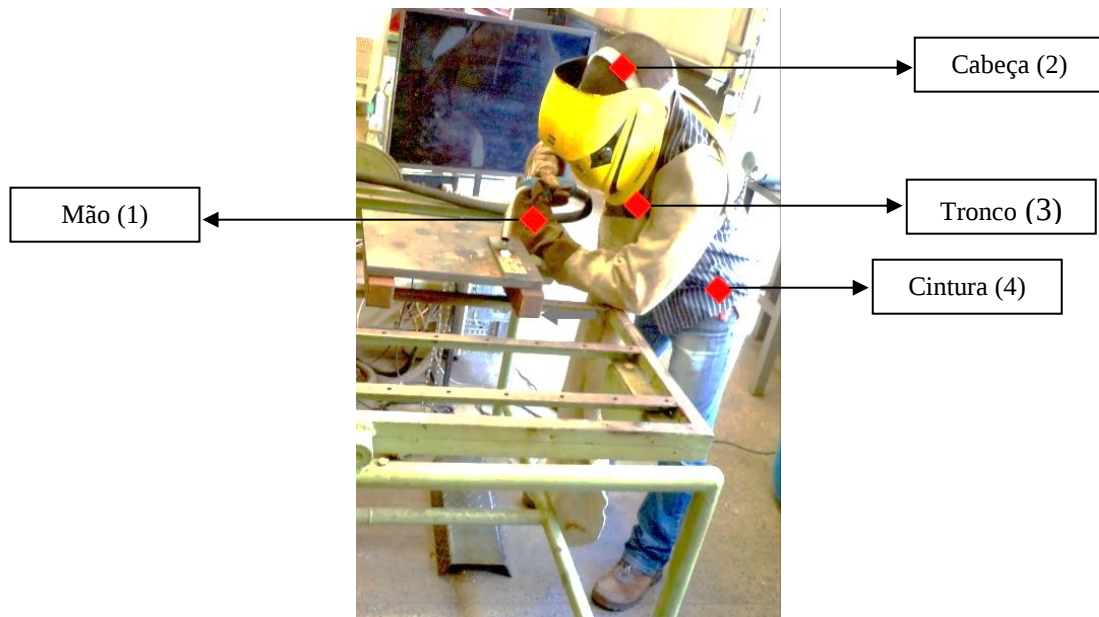
Ensaio	Material	Corrente		Distância eletrodo-peça	Gás	Ponto de medição			
		Modo	Nível			(1)	(2)	(3)	(4)
1	Aço C	DC	Baixo	Baixo	Ar	(1)	(2)	(3)	(4)
2	Aço C	DC	Baixo	Alto	Ar	(1)	(2)	(3)	(4)
3	Aço C	DC	Alto	Baixo	Ar	(1)	(2)	(3)	(4)
4	Aço C	DC	Alto	Alto	Ar	(1)	(2)	(3)	(4)
5	Aço C	DC	Baixo	Baixo	Ar+25%He	(1)	(2)	(3)	(4)
6	Aço C	DC	Baixo	Alto	Ar+25%He	(1)	(2)	(3)	(4)
7	Aço C	DC	Alto	Baixo	Ar+25%He	(1)	(2)	(3)	(4)
8	Aço C	DC	Alto	Alto	Ar+25%He	(1)	(2)	(3)	(4)

Os testes de soldagem foram feitos com uma fonte de soldagem eletrônica multiprocesso inversal da IMC, cuja faixa de corrente varia entre 0 e 300 A em modo corrente contínua, mesa para soldagem e tocha de soldagem TIG WP 18. Como material de base foram utilizadas chapas de aço carbono ABNT 1020 com dimensões de 200 x 50,2 x 12,6 mm, cuja composição e propriedades físicas estão descritas na Tab. 2. Todos os testes foram feitos com eletrodo não consumível de tungstênio torinado (2%) com 2,4 mm de diâmetro e os gases de proteção foram utilizados a uma vazão de 15 l/min ajustada com uso de um bibímetro na saída do bocal da tocha.

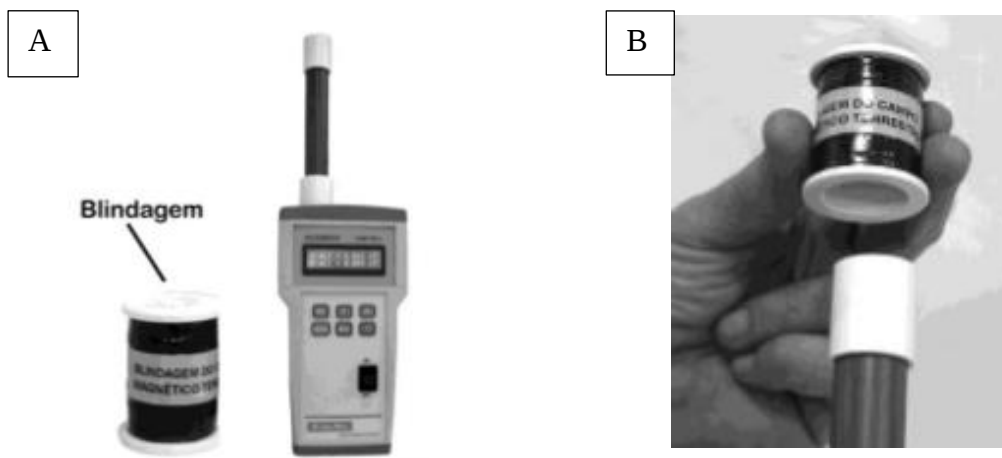
Tabela 2 - Composição química e propriedades mecânicas nominais do aço ABNT 1020

Aço Carbono 1020				
Composição química %				
C – 0,23	Mn – 0,45	Si – 0,21	P – 0,04	S – 0,05
Propriedades físicas				
Densidade (g/cm ³)	Calor específico (J/g°C)	Condutividade térmica (W/cm°C)	Temperatura de fusão (°C)	Permeabilidade magnética relativa
7,8	0,63	0,47	1520	100

O processo de medição de campo magnético no corpo do soldador foi realizado de modo semelhante aos trabalhos de [2] e [14] (Fig. 1). Cabe ressaltar que o soldador que realizou o teste possui a altura média de um indivíduo brasileiro do sexo masculino com idade entre 25 e 29 anos, segundo os dados do IBGE de 2008 a 2009 [15].

**Figura 1. Configuração dos pontos de medição no soldador.**

As medições foram realizadas em rms (*root mean square*) com o medidor de campo magnético ambiental mostrado na Fig. 2 - A, modelo TAMB-3D, cujo fundo de escala é 5 mT e precisão $\pm 2\%$ da leitura ou $\pm 1\%$ do fundo de escala. Neste trabalho a precisão utilizada foi de $\pm 2\%$ da leitura. O medidor possui uma sonda magnética de 3 eixos capaz de medir a valor do campo magnético em qualquer posição [16]. Antes das medições foi efetuado o ajuste de zero colocando a blindagem de campo magnético terrestre sobre a sonda, como exemplificado na Fig. 2 - B.

**Figura 2. Medidor de campo magnético. (A) Visão geral; (B) Ajuste de zero [16]**

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados encontrados para os valores de campo magnético medidos nas regiões específicas do corpo do soldador, bem como os valores de tensão e corrente registrados a cada ensaio estão dispostos na Tab. 3. Tais resultados foram analisados mediante a análise de variância (ANOVA) com nível de significância de 95% ($p \leq 0,05$) e foi constatado que o modelo é significativo com $p = 0,00$.

Tabela 3. Medidas de campo magnético para a soldagem TIG

Ensaio	Campo magnético (mT)				Corrente (A)		Tensão (V)	
	Mão	Cabeça	Tronco	Cintura	Média	RMS	Média	RMS
1	0,170	0,063	0,153	0,065	100	101	10,7	10,7
2	0,156	0,058	0,139	0,041	99	99	12,8	12,8
3	0,319	0,090	0,302	0,061	150	150	11,8	11,8
4	0,268	0,075	0,219	0,046	150	150	13,2	13,2
5	0,241	0,063	0,214	0,058	99	100	11,9	11,9
6	0,231	0,058	0,168	0,034	99	99	12,6	12,6
7	0,370	0,082	0,275	0,068	150	150	11,0	11,0
8	0,285	0,078	0,251	0,048	150	150	12,7	12,7

Com relação aos resultados de tensão e corrente, é possível verificar que os níveis de corrente não ultrapassam o valor estipulado no planejamento experimental considerando-se uma tolerância de $\pm 5^a$. Quanto a tensão verifica-se que os valores encontrados são coerentes com os dados encontrados na literatura comum para este tipo de processo de soldagem, o que revela que o mesmo foi conduzido de maneira correta e, por isso, é possível dar procedência com as análises referente a emissão de campo magnético.

Sendo assim, a Fig. 3 revela a influência da corrente na intensidade do campo magnético gerado. Nota-se que o campo magnético é mais intenso quando é empregada maior valor de corrente de soldagem, concordando matematicamente com a Lei de Biot-Savart, na qual a corrente de soldagem e a densidade de campo magnético são grandezas diretamente proporcionais. Além disso esse resultado é coerente com aqueles encontrados nos trabalhos de [2] e [14].

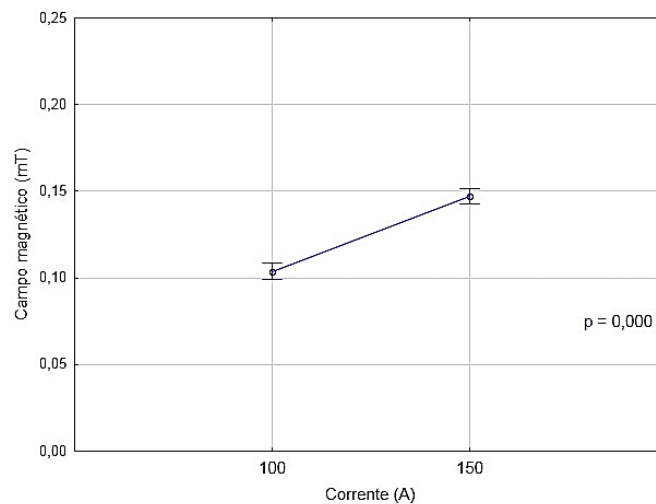


Figura 3. Influência da corrente no valor de campo magnético

Os resultados referentes a distância eletrodo-peça são mostrados na Fig. 4, onde percebe-se que há concordância com os estudos de [6] e [7] e com as teorias acerca da Lei de Biot-Savart. A menor distância entre o eletrodo e a peça faz com que o arco se torne mais constricto apresentando menor distância radial entre o centro e a extremidade do arco, resultando em maiores valores de campo magnético.

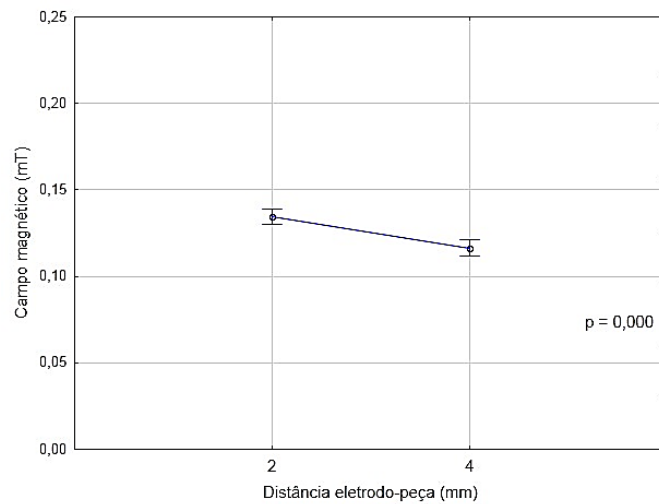


Figura 4. Influência da distância eletrodo-peça no valor de campo magnético

No que tange a proteção gasosa, os resultados revelam que o campo magnético é maior com a utilização da mistura gasosa Ar+25%He do que com Ar puro (Fig. 5). Este resultado pode ser explicado pela condutividade térmica dos gases, uma vez que a condutividade térmica do He é muito superior à do Ar e a mistura gasosa de Ar e He aumenta o aporte térmico no arco. Gases com maior condutividade térmica perdem muito calor radialmente, assumindo um formato mais estreito, enquanto gases de menor condutividade térmica possuem arcos com uma zona externa mais larga. Desse modo, sabendo que o campo magnético diminui com o quadrado da distância radial do centro até a extremidade do arco (Lei de Biot-Savart), é possível justificar que a soldagem com proteção gasosa de Ar puro conduz a campos magnéticos de menor valor, devido ao seu formato de arco ser mais largo do que aquele formado na soldagem com Ar+25%He.

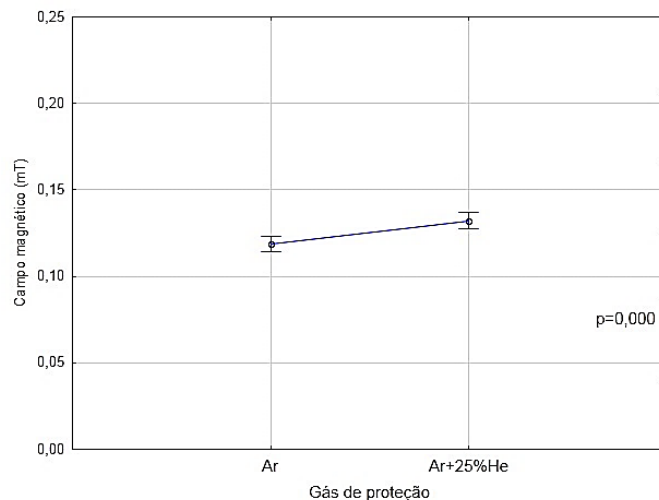


Figura 5. Influência do gás de proteção no valor de campo magnético

A Fig. 6 ilustra as discussões referentes a intensidade do campo magnético em função do formato assumido pelo arco ao realizar uma comparação entre o campo magnético gerado por dois arcos de comprimentos H1 e H2, sendo H1 menor que H2 em um processo de soldagem realizado com material de base com as mesmas dimensões. Ao aproximar o medidor de campo magnético a uma mesma distância de arcos de menor e maior comprimento é possível verificar que em arcos de menor comprimento e menor distância radial um maior número de linhas de campo magnético passará pelo medidor, revelando que em arcos com esse formato, a densidade de campo magnético é maior, assim como verificado nas observações experimentais do presente trabalho.

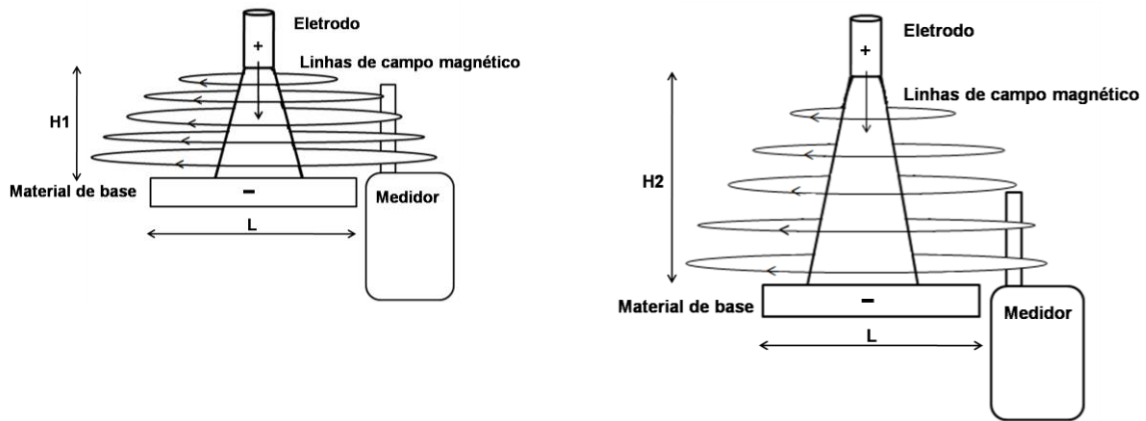


Figura 6. Representação da densidade de corrente ou campo magnético em função da altura do arco de soldagem ($H1 < H2$)

No que diz respeito ao ponto de medição, os resultados mostram que o campo magnético será maior quanto maior for a proximidade da região do corpo do soldador ao arco elétrico também pelo fato do campo aumentar inversamente com o quadrado da distância radial entre a região do corpo do soldador e arco elétrico. Desse modo, bem como os resultados encontrados nos trabalhos de [2], [8], [10] e [14], a Fig. 7 revela que o maior valor registrado foi na mão do soldador, pelo fato dele estar segurando a tocha de soldagem e ser esse o ponto mais próximo ao arco. Em seguida, os valores registrados em ordem decrescente de intensidade foram no tronco, cabeça e cintura, onde se encontra o menor valor de campo magnético. A distribuição heterogênea de tais intensidades pode ser atribuída ao fato de que durante a soldagem TIG o soldador pode ter aproximado mais o tronco e a cabeça para uma melhor execução do processo, visto serem estas regiões onde foram registrados os maiores valores, depois da mão do soldador.

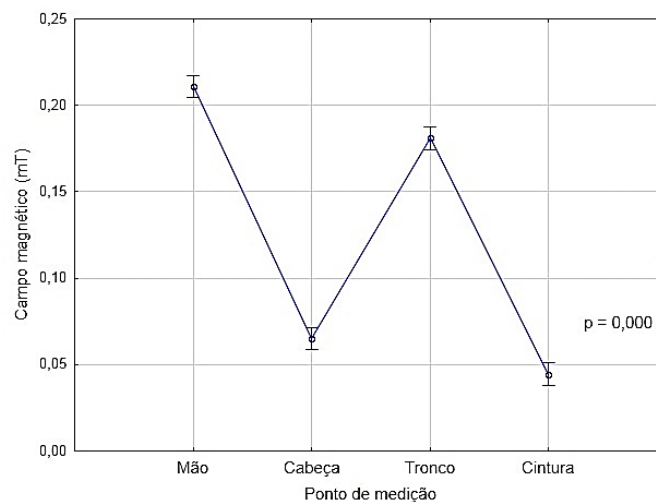


Figura 7. Influência do ponto de medição no valor de campo magnético

Esses resultados permitem ainda avaliar a exposição do soldador ao campo magnético gerado ao compararmos com os limites estabelecidos pela diretiva ICNIRP de 2009 [13]. Verifica-se que o maior valor de campo magnético foi de 0,370 mT na mão do soldador no ensaio em nível alto de corrente com baixa distância eletrodo-peça e com uso de Ar+25%He como proteção gasosa, enquanto que o menor valor observado foi de 0,034 mT na cintura do soldador em um ensaio com baixo valor de corrente e maior distância eletrodo-peça com proteção gasosa de Ar+25%He. Em nenhum caso os valores encontrados atingem o limite de exposição, que segundo a referida diretiva é de 2000 mT para a cabeça e tronco e 8000 mT para os membros.

4. CONCLUSÕES

Contudo, diante do objetivo do presente estudo, verifica-se que os resultados alcançados apresentam concordância com aqueles já registrados na literatura ou são justificáveis por teorias consolidadas, revelando que a metodologia proposta para a realização dos ensaios é adequada para tal finalidade. Logo, é correto afirmar que o campo magnético é maior quando são empregadas maiores valores de corrente e menores distâncias entre o eletrodo e a peça a ser soldada. Quanto ao gás de proteção, na soldagem com proteção de gasosa de Ar+25%He o campo magnético foi mais intenso que na soldagem com Ar puro em função da diferença no formato do arco oriundo da condutividade térmica desses gases.

Por fim, ainda é possível incluir que é na mão do soldador onde se encontra o maior valor de campo magnético, por se tratar de um processo manual e haver a necessidade dele está segurando a tocha de soldagem e, por conta disso, ser esta a região de maior proximidade com o arco elétrico. O segundo maior valor é registrado no tronco, depois na cabeça e, por último, na cintura. Embora não haja uniformidade nos valores de campo magnético medidos nas diferentes regiões do corpo do soldador, em função da posição de soldagem, nenhum dos resultados encontrados ultrapassam os limites estabelecidos pela diretiva mais atualizada do ICNIRP, o que revela a segurança da atividade, dentro dos aspectos analisados.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CnPq pelo suporte através de uma bolsa de mestrado e também ao Laboratório LAPROSOLDA da UFU e a comissão organizadora do CONEM 2018.

6. REFERÊNCIAS

- [1] SHIMIZU, H., et al. "Feedability of wires during metal active gas welding". Science and technology of welding and joining, Vol.11, No. 1, pp. 81-93, 2006.
- [2] MELTON, G.B. "Measurement and analysis of magnetic fields from welding processes". TWI Research Report 338, 2005, 51p.
- [3] SILVA, F. "Soldadura robotizada com tecnologia CMT", 2015. 71 f. Dissertação de mestrado, Instituto Politécnico de Setúbal.
- [4] BOLTE, J. F. B.; PRUPPERS, M. J. M. "Electromagnetic fields in the working environment", Report of ministry of social affairs and employment (SZW), 2006.
- [5] ALI, K.J. "Measurement of magnetic fields emitted from welding machines". Diyala journal of engineering sciences. Vol. 5, No. 2, pp. 114-128, 2012.
- [6] NERIS, M. M. "Soldagem dos metais". Disponível em <<http://cursos.unisantabr.com.br>>. Acesso em 05 de dezembro de 2015.
- [7] MAIR, P. "Assessment of EMF (electromagnetic fields) and biological effects in arc welding applications." International institute of welding, Commission XII, Intermediate meeting, Fronius international, 2005.
- [8] BOWMAN, et al. "Exposure to extremely low frequency (ELF) electromagnetic fields in occupations with elevated leukemia rates", Applied industrial hygiene. Vol. 3, No. 6, 1988.
- [9] ALLEN, et al. "Review of occupational exposure to optical radiation and electric and magnetic fields with regard to the proposed CEC physical agents directive". NRPB-R265, 1994.
- [10] STUCHLY, M.A.; LECUYER, D.W. "Exposure to electromagnetic fields in arc welding", Health physics, Vol. 56, No. 3, 1989.
- [11] CERQUEIRA, S. I. C. "Proteção contra radiação não-ionizante: arco eléctrico". 2013. 77 f. Dissertação de mestrado – Faculdade de ciências e tecnologia da universidade de Coimbra, Coimbra.
- [12] ICNIRP. "General approach to protection against non-ionizing radiation protection". Health physics, 82(4), 2002, pp. 540-548.
- [13] ICNIRP. "Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields". Health physics, 96(4), 2009, pp. 504-514.
- [14] SACHIKO, Y. S., et al. "Measuring exposed magnetic fields of welders in working time." Industrial health, Vol. 49, pp. 274 – 279, 2011.
- [15] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisas de orçamentos familiares 2008 – 2009. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 10 de outubro de 2015.
- [16] GLOBALMAG. "Medidor de campo magnético ambiental: TAMB-3D". Manual de operação. 2015

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

"Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho".

Study of magnetic field emission in TIG DC welding processes

Hélio Cardoso Martim, helio.martim.hcm@gmail.com¹

Louriel Oliveira Vilarinho, vilarinho@mecanica.ufu.br¹

¹ Federal University of Uberlândia - UFU, Avenue: João Naves de Avila, 2121 - Santa Monica, Uberlândia - MG, 38400-902.

² Federal University of Uberlândia - UFU, Avenue: João Naves de Avila, 2121 - Santa Monica, Uberlândia - MG, 38400-902.

Abstract. TIG welding processes are widely used in the industry to weld different types of materials with good quality. Depending on the characteristics of the material to be welded, direct or alternating current can be used at levels of intensity up to hundreds of amperes. Such current values generate magnetic fields whose effects on human health are not yet adequately proven. However, there are already guidelines that limit the exposure of workers to these fields, since some studies show that, depending on the welding process and the parameters used, these limits can be exceeded. Thus, the present work aims to evaluate the emission of magnetic field generated in the continuous current TIG process as a function of the process variables and the degree of exposure of the welder to these fields through the comparison with the limits established by the ICNIRP directives. The results showed that the magnetic field is higher when currents of higher intensity and lower electrode-part distances are used. The gas protection also exerts influence on the magnetic field as a function of the thermal conductivity of the shielding gas. As for the welder's exposure, it is observed that the intensity of the magnetic field occurs due to the proximity of the region of the body to the electric arc.

Keywords: Welding, TIG, Magnetic field, Exposure