

# Avaliação da Geração de Campos Magnéticos em Soldagens MIG/MAG no Modo Curto-circuito Convencional e Controlado

Hélio Cardoso Martim<sup>1</sup> , Louriel Oliveira Vilarinho<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Faculdade de Engenharia Mecânica, Uberlândia, MG, Brasil.

**Como citar:** Martim HC, Vilarinho LO. Avaliação da geração de campos magnéticos em soldagens MIG/MAG no modo curto-circuito convencional e controlado. *Soldagem & Inspeção*. 2020;25:e2507. <https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI25.07>

**Resumo:** A soldagem MIG/MAG, amplamente utilizada em diferentes setores da indústria, destaca-se pela sua elevada produtividade. Nela são empregados níveis de corrente elevados capazes de gerar campos magnéticos intensos. Além desse fato, o presente estudo tem por objetivo investigar a relação de outras variáveis operacionais do processo com a geração de campos magnéticos. Para tanto, o planejamento experimental envolveu a variação dos níveis de tensão, velocidade de alimentação, modo de transferência metálica e proteção gasosa, de acordo com o processo analisado. A coleta dos valores de campo magnético foi realizada a diferentes distâncias do arco elétrico, como forma de reproduzir as regiões do corpo do soldador julgadas pela comissão internacional de proteção contra radiação não ionizante (ICNIRP) como aquelas que podem oferecer algum risco à saúde do trabalhador. Assim, foi percebido que os maiores valores de campo magnético são obtidos para os maiores níveis de tensão e velocidade de alimentação e quanto menor for a distância do arco elétrico. Ainda, registra-se maior geração de campo magnético na soldagem MIG/MAG em modo curto-circuito controlado. Por fim, os valores obtidos para a intensidade de campo magnético, em coerência com os parâmetros experimentais utilizados, não ultrapassam os valores limites estabelecidos pela ICNIRP.

**Palavras-chave:** Soldagem MIG/MAG; Curto-circuito; Campo magnético.

## Evaluation of Magnetic Field Generation in MIG/MAG Welding in Conventional and Controlled Short Circuit Mode

**Abstract:** MIG/MAG welding, widely used in different industry sectors, stands out for its high productivity. It uses high current levels capable of generating intense magnetic fields. In addition to this fact, the present study aims to investigate the relationship of other operational variables of the process with the generation of magnetic fields. To do so, the experimental planning involved the variation of voltage levels, feed velocity, metallic transfer mode and gas protection, according to the analyzed process. The magnetic field values were collected at different distances from the electric arc, as a way of reproducing the regions of the welder's body judged by the international commission on protection against non-ionizing radiation (ICNIRP) as those that may pose some risk to the health of the worker. Thus, it was noticed that the higher values of magnetic field are obtained for the higher levels of tension and feeding speed and the smaller the distance of the electric arc. Furthermore, a higher magnetic field generation is recorded in MIG/MAG welding in a short-circuit controlled mode. Finally, the values obtained for the magnetic field strength, in coherence with the experimental parameters used, do not exceed the limit values established by ICNIRP.

**Key-words:** GMAW welding; Short circuit; Magnetic field.

### 1. Introdução

O emprego do processo MIG/MAG na indústria vem ocorrendo com o objetivo de aumentar a produtividade e a versatilidade da produção soldada, principalmente em virtude do caráter semiautomático decorrente da contínua alimentação do arame eletrodo que facilita a automatização do processo e o coloca em posição de destaque dentre os processos de fabricação utilizados na indústria metalmeccânica [1]. Sobre esse aspecto, Groetelaars [2] afirma que a partir de 1996 o processo MIG/MAG foi considerado o principal processo de união de materiais mais utilizado nos países industrializados.

Em sua versão semiautomática, a tocha é manipulada por um soldador e o processo funciona em corrente contínua que comumente varia de 50 A até mais que 600 A. Segundo Ali [3] quanto maior o valor da corrente de soldagem, mais intensos serão os campos magnéticos gerados durante o procedimento. Bolte e Pruppers [4] acrescentam que outras variáveis

Recebido: 30 Ago., 2019. Aceito: 17 Out., 2019.

E-mails: helio.martim.hcm@gmail.com (HCM), vilarinho@ufu.br (LOV)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution Non-Commercial*, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais e que o trabalho original seja corretamente citado.

operacionais dos processos de soldagem podem interferir na intensidade de campo magnético gerado e o grau de exposição do soldador a estes campos é determinado pela sua distância em relação ao arco elétrico.

Há poucos relatos na literatura técnica e científica acerca dos estudos referente a geração de campos magnéticos em processos de soldagem MIG/MAG. Skotte e Hjollund [5] avaliaram a exposição de soldadores a campos magnéticos oriundos de diferentes processos de soldagem durante todo o dia de trabalho, registrando o valor máximo de 0,01 mT na soldagem MIG/MAG com utilização de corrente contínua. Melton [6] ao medir os campos magnéticos gerados no mesmo processo, utilizando um magnetômetro Hall acoplado a um sensor em pontos de medição localizado em diferentes regiões do corpo do soldador, registrou o maior valor a 10 cm do corpo (correspondente a mão do soldador). Esse resultado está presente em outros trabalhos da literatura que apontam que regiões muito próximas ao arco elétrico (menores ou iguais 10 cm) são aquelas mais críticas [3].

A explicação para esse comportamento pode ser obtido pela interpretação da lei de Biot-Savart, expressa matematicamente pela Equação 1. A densidade de campo magnético (B) é diretamente proporcional a corrente elétrica (I), a permeabilidade magnética do meio ( $\mu$ ) e ao comprimento (L) do fio condutor e ao ângulo ( $\theta$ ) formado entre o vetor de campo magnético e a direção do condutor. Por ser inversamente proporcional ao quadrado da distância (r) formada entre o condutor o ponto de medição do campo magnético, a densidade campo magnético é mais intensa quanto menor for a distância entre o soldador e o arco elétrico, visto que no caso da soldagem, considera-se o arco elétrico como um condutor fluido de corrente e, nesse caso, o comprimento (L) passa a representar a altura do arco e a variável (r), a distância radial entre o centro do arco elétrico o ponto de medição do campo magnético [7].

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

Melton [6] ao estudar o processo MIG/MAG também avaliou a diferença existente entre os modos de transferência metálica curto-circuito convencional e controlado, quanto a geração de campos magnéticos. Foram obtidos 0,0056 mT e 0,17 mT, respectivamente, para soldagem em modo curto-circuito convencional realizada a 150 A e para o processo em modo de transferência controlada a 200 A. Como há diferença nos valores de corrente, a avaliação individual da influência do modo de transferência metálica se torna inviável no trabalho do referido autor. No entanto, estudo realizados por Desideri et al. [8] revelam que o tempo necessário para elevar o valor da corrente, no caso da soldagem em modo curto-circuito convencional, reduz a valor de campo magnético.

Não há na literatura muitos registros acerca dos fenômenos envolvidos com a geração de campos magnéticos em processos de soldagem. Aliado a este fato, sabe-se que a soldagem é considerada um processo industrial complexo e, portanto, regida por normas específicas de qualidade que determinam que a sua execução deve ser realizada apenas por mão de obra qualificada previamente instruída quanto aos riscos oriundos da atividade [9,10]. Especificadamente, em relação a exposição de soldadores a campos magnéticos, a *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP), embasada nos possíveis efeitos da radiação magnética à saúde humana, como excitação nervosa e aumento de temperatura dos tecidos, propõe limites de exposição a campos magnéticos que é de 2000 mT para a cabeça e tronco e 8000 mT para os membros [11-13].

Diante do que foi exposto, o presente estudo tem o objetivo de avaliar a geração de campo magnético durante a soldagem MIG/MAG manual nos modos curto-circuito convencional e controlado, investigando as possíveis relações existentes entre as variáveis operacionais e a intensidade de campo magnético medido. Os resultados obtidos, permitem ainda compará-los com os atuais limites de exposição propostos pelo ICNIRP afim de contribuir com a saúde ocupacional do soldador.

## 2. Materiais e Métodos

As condições experimentais para realização dos testes de soldagem foram similares às encontradas no trabalho de Costa [14]. No modo curto-circuito convencional os testes foram feitos em dois níveis de tensão (18 e 20 V), em dois níveis de velocidade de alimentação (aproximadamente 2,5 e 4 m/min) e com a utilização de dois diferentes gases de proteção (CO<sub>2</sub> e Ar+25%CO<sub>2</sub>) (Tabela 1). Os mesmos parâmetros utilizados nesse ensaio foram repetidos nos testes em modo curto-circuito controlado, excetuando-se os valores de tensão que, para esse modo, não há como ser determinado inicialmente (Tabela 2).

**Tabela 1.** Planejamento experimental para a soldagem MIG/MAG curto-circuito convencional.

Ensaio	Nível de tensão (V)	Velocidade de Alimentação (m/min)	Gás	Ponto de medição			
				Mão	Cabeça	Tronco	Cintura
1	18	3,0	Ar+25%CO <sub>2</sub>	Mão	Cabeça	Tronco	Cintura
2	18	4,0	Ar+25%CO <sub>2</sub>	Mão	Cabeça	Tronco	Cintura
3	20	3,0	Ar+25%CO <sub>2</sub>	Mão	Cabeça	Tronco	Cintura
4	20	4,0	Ar+25%CO <sub>2</sub>	Mão	Cabeça	Tronco	Cintura
5	18	3,0	CO <sub>2</sub>	Mão	Cabeça	Tronco	Cintura
6	18	4,0	CO <sub>2</sub>	Mão	Cabeça	Tronco	Cintura
7	20	3,0	CO <sub>2</sub>	Mão	Cabeça	Tronco	Cintura
8	20	4,0	CO <sub>2</sub>	Mão	Cabeça	Tronco	Cintura

**Tabela 2.** Planejamento experimental para a soldagem MIG/MAG curto-circuito controlado.

Ensaio	Velocidade de Alimentação (m/min)	Gás	Ponto de medição			
			Mão	Cabeça	Tronco	Cintura
1	3,0	Ar+25%CO2	Mão	Cabeça	Tronco	Cintura
2	4,0	Ar+25%CO2	Mão	Cabeça	Tronco	Cintura
3	3,0	CO2	Mão	Cabeça	Tronco	Cintura
4	4,0	CO2	Mão	Cabeça	Tronco	Cintura

Todas as soldagens foram realizadas com a utilização da fonte eletrônica inversora multiprocessos, modelo *Power Wave 450/STT* e um alimentador de arame *Power Feed 10M* da empresa *Lincoln Electric*. Esta fonte possui uma faixa de corrente que varia de 5 a 570 A e tensão de trabalho de 10 a 43 V com fator de trabalho de 60% e corrente máxima de 450 A e tensão máxima de 38 V, com fator de trabalho de 100% [15]. Além disso, as soldagens foram executadas manualmente com tocha fabricada pela empresa TBi, refrigerada a água em chapas de aço carbono ABNT 1020 com dimensões de 200 × 50,2 × 12,6 mm, cuja composição e propriedades físicas estão descritas na Tabela 3.

**Tabela 3.** 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 <sup>3</sup> )	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

A medição de campo magnético foi feita com base nos trabalhos de Ali [3] e Melton [6], a determinadas distâncias do corpo do soldador que correspondem as regiões da mão, cabeça, tronco e cintura. As medições foram realizadas em RMS (*root mean square*) com o medidor de campo magnético ambiental, modelo TAMB-3D, cujo fundo de escala e precisão são, respectivamente, 5 mT e ± 2% da leitura. Antes das medições foi efetuado o ajuste de zero colocando a blindagem de campo magnético terrestre sobre a sonda. O medidor e o procedimento de blindagem são mostrados na Figura 1.



**Figura 1.** Visão geral do medidor de campo magnético e dispositivo para blindagem [16].

### 3. Resultados e Discussão

A primeira análise de resultados, mostrados na Tabela 4, refere-se aos sinais elétricos monitorados por um sistema de aquisição de dados, cujos comportamento e valores descritos revelam características comuns ao processo e possibilitam afirmar que os procedimentos foram executados corretamente e que as avaliações referentes à geração de campo magnético podem ser conduzidas. Desse modo, os resultados obtidos foram tratados estatisticamente por meio de análise de variância (ANOVA) para um nível de significância de 95%, o que significa que as variáveis estatisticamente significativas quanto a geração de campo magnético são aquelas cujo valor de  $p$  é igual ou inferior a 5% ( $p \leq 0,05$ ). A análise acusou que a velocidade de alimentação ( $p = 0,00$ ), o modo de transferência metálica ( $p = 0,04$ ) e ponto de medição ( $p = 0,00$ ) foram as únicas variáveis estatisticamente significativas. O gás de proteção e o nível de tensão não mostraram influência significativa no valor do campo magnético.

Tabela 4. Medidas dos sinais elétricos e do campo magnético.

Ensaio	Campo magnético em função do ponto de medição (mT)				Corrente (A)		Tensão (V)	
	Mão	Cabeça	Tronco	Cintura	Média	RMS	Média	RMS
<b>Modo curto-circuito convencional</b>								
1	0,378	0,034	0,063	0,053	99,9	105,3	18,0	18,9
2	0,505	0,039	0,102	0,095	146,0	157,8	18,0	19,2
3	0,395	0,036	0,070	0,051	104,6	109,2	20,2	20,7
4	0,549	0,046	0,095	0,087	147,6	157,6	20,1	21,0
5	0,254	0,031	0,061	0,051	97,5	108,5	17,8	19,6
6	0,307	0,034	0,082	0,063	152,8	174,0	17,9	20,2
7	0,409	0,043	0,073	0,058	104,2	114,2	19,9	21,4
8	0,461	0,048	0,114	0,070	154,4	165,4	20,0	22,0
<b>Modo curto-circuito controlado</b>								
1	0,331	0,048	0,058	0,063	98,1	114,7	15,8	17,0
2	0,551	0,087	0,080	0,087	147,3	163,4	16,2	17,8
3	0,436	0,065	0,068	0,070	105,1	134,3	18,4	20,3
4	0,544	0,112	0,070	0,104	150,9	180,3	18,9	21,1

A Figura 2 mostra que o valor de campo magnético é maior quanto maior for o valor da velocidade de alimentação. De acordo com as equações mostradas por Scotti e Monteiro [17], quanto maior for a velocidade de alimentação, maior é a corrente de soldagem, desde que sejam mantidas constantes as demais variáveis do processo. Como a densidade de campo magnético aumenta diretamente como os maiores níveis de corrente (Lei de Biot-Savart), a análise isolada da influência da velocidade de alimentação no valor do campo magnético medido mostrou que o campo magnético é maior para os maiores valores de velocidade de alimentação.

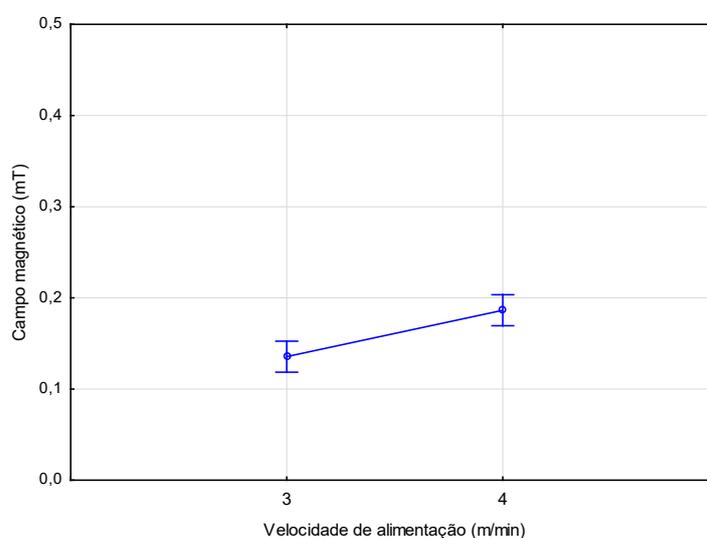
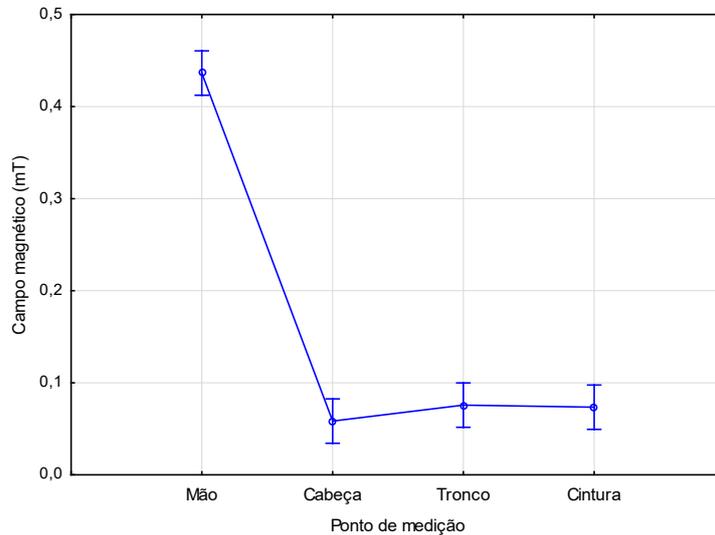


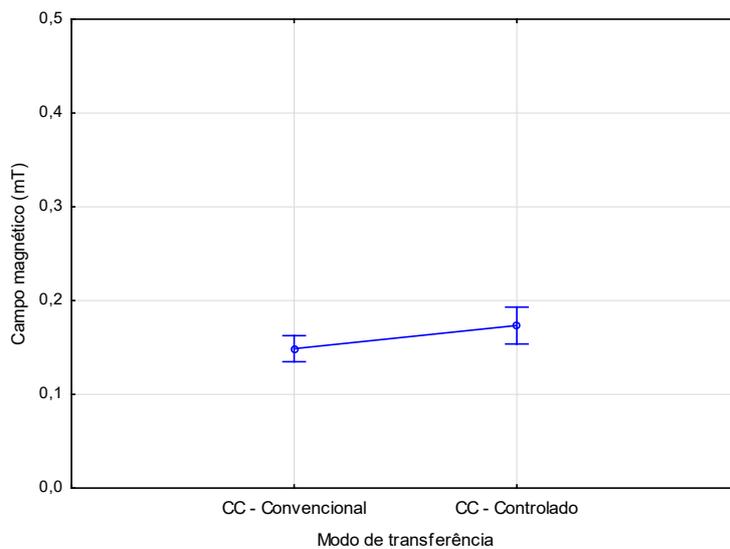
Figura 2. Influência da velocidade de alimentação na intensidade de campo magnético.

Com relação ao ponto de medição, a Figura 3 mostra que em distâncias muito próximas (referente a mão do soldador, por se tratar de um processo manual), o valor de campo magnético é mais intenso em função da menor distancia radial ( $r$ ), revelando uma concordância com a expressão matemática da Lei de Biot-Savart que revela que o a densidade de campo magnético a distância ( $r$ ) são inversamente proporcionais. Em seguida os maiores valores são encontrados em distancias correspondentes ao tronco, cintura e cabeça, mostrando que há uma destruição heterogênea do campo magnético no corpo do soldador em função da posição de soldagem. Ainda, nenhum dos valores registrados ultrapassa os limites de referência de 2000 mT para a cabeça e tronco e 8000 mT para os membros, extraídos da diretiva ICNIRP.



**Figura 3.** Influência do ponto de medição na intensidade de campo magnético.

Ao comparar ambos os modos de transferência metálica, verifica-se o campo magnético é maior para a soldagem em modo curto-circuito controlado (Figura 4). Embora esse resultado seja explicado por Desideri et al. [8], pelo fato de que o tempo necessário para elevar o valor da corrente em modo curto-circuito convencional conduz a redução da intensidade de campo magnético, nota-se que os valores de corrente registrados durante a soldagem MIG/MAG em curto-circuito controlado são maiores que os encontrados para o processo em modo curto-circuito convencional (Tabela 4), o que contribui para o aumento da intensidade de campo magnético, como já explicado anteriormente. Sendo assim, pode-se afirmar que a combinação desses dois fatores conduz ao resultado obtido, sendo difícil determinar qual o fator governante, tendo em vista a dificuldade de avaliar isoladamente o efeito da transferência metálica.



**Figura 4.** Influência do modo de transferência metálica na intensidade de campo magnético.

#### 4. Conclusões

Diante do que foi exposto, é possível afirmar que a metodologia proposta é adequada à avaliação de campos magnéticos provenientes de processos de soldagem pelo fato de mostrarem resultados explicáveis através de teorias consolidadas do eletromagnetismo. Verifica-se que o processo MIG/MAG em curto-circuito convencional é capaz de gerar campos magnéticos menores que aqueles oriundos da soldagem em modo curto-circuito controlado, mas que esse resultado não deve ser atribuído unicamente ao modo de transferência metálica, visto que verifica-se maiores valores de corrente de soldagem durante o processo em modo curto-circuito controlado que conduz a campos magnéticos mais intensos. Em ambos os processos o valor de campo magnético é maior quando maiores velocidades de alimentação são empregadas, por estas conduzirem ao aumento de corrente.

Com relação aos pontos de medição, o estudo revela que aqueles de maior proximidade ao arco elétrico estão expostos a campos magnéticos mais intensos. Logo, na distância referente a mão do soldador (para processos manuais) registra-se os maiores valores de campos magnéticos, os quais não ultrapassam os limites de referência propostos pelo ICNIRP, dentro das condições experimentais utilizadas nesse estudo, mas chamam atenção para o caso de processos de soldagem manual que sejam capazes de gerar campos magnéticos de valores elevados.

#### Agradecimentos

Ao CNPq, CAPES e FAPEMIG pelo apoio financeiro à pesquisa e também ao Laboratório LAPROSOLDA da UFU.

#### Referências

- [1] Nogueira RMU, Bohórquez CEN, Zanella IG. Comparação da estabilidade do arco e da variabilidade da geometria de soldas obtidas pelos processos MIG/MAG e arame tubular. *Soldagem e Inspeção*. 2015;20(2):191-204. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-9224/SI2002.07>.
- [2] Groetelaars PJ. Influência da variação dos parâmetros de soldagem sobre a transferência metálica e perfil do cordão no processo MIG/MAG duplo arame [dissertação de mestrado]. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia; 2005.
- [3] Ali KJ. Measurement of magnetic fields emitted from welding machines. *Diyala Journal of Engineering Sciences*. 2012;5(2):114-128.
- [4] Bolte JFB, Pruppers MJM. *Electromagnetic fields in the working environment*. The Hague: National Institute for Public Health and the Environment; 2006.
- [5] Skotte JH, Hjøllund HI. Exposure of welders and other metal workers to ELF magnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 1997;18(7):470-477. [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-186X\(1997\)18:7<470::AID-BEM2>3.0.CO;2-#.PMid:9338628](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1521-186X(1997)18:7<470::AID-BEM2>3.0.CO;2-#.PMid:9338628).
- [6] Melton GB. *Measurement and analysis of magnetic fields from welding processes*. Sudbury: HSE Books; 2005. 51 p. (TWI Research Report; 338).
- [7] Santos HST, Gardelli D. Análise da Lei de Biot - Savart em comparação com a força entre elementos de corrente de Ampère. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. 2017;34(3):864-879. <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n3p864>.
- [8] Desideri D, Maschio A, Mattavelli P. Human exposure during operation of GMAW-P welding machines. *The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*. 2012;31(4):1144-1153. <http://dx.doi.org/10.1108/03321641211227393>.
- [9] International Organization for Standardization. *ISO 3834:2005: quality requirements for fusion welding of metallic materials*. Geneva: ISO; 2005. 7 p.
- [10] Silva MLF, Souza JS, Siqueira AMA. Análise qualitativa dos riscos químicos inerentes à saúde no ambiente laboral que abrange o processo de soldagem com eletrodos revestidos. In: *Anais do XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção*; 2014; Curitiba, Paraná. Curitiba: ABEPRO; 2014.
- [11] Hansson Mild K, Alanko T, Decat G, Falsaperla R, Gryz K, Hietanen M, et al. Exposure of workers to electromagnetic fields: a review of open questions on exposure assessment techniques. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2009;15(1):3-33. <http://dx.doi.org/10.1080/10803548.2009.11076785>. PMID:19272237.
- [12] Bednarek K. Electromagnetic action of heavy-current equipment operating with power frequency. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2010;16(3):357-368. <http://dx.doi.org/10.1080/10803548.2010.11076851>. PMID:20828491.
- [13] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. *Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields*. *Health Physics*. 2009;96(4):504-514. <http://dx.doi.org/10.1097/01.HP.0000343164.27920.4a>. PMID:19276710.
- [14] Costa TF. *Aplicação de processos MAG curto-circuito convencional e controlado na soldagem de dutos de aço carbono* [dissertação de mestrado]. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia; 2011.
- [15] LINCOLN. *Technology gets to the root of pipe welding*. 2019 [acesso em 20 abr. 2019]. Disponível em: [www.lincolnelectric.com](http://www.lincolnelectric.com)
- [16] GLOBALMAG. *Medidor de campo magnético ambiental: TAMB-3D. Manual de operação*. Cotia; 2015.
- [17] Scotti A, Monteiro LS. Uma metodologia para parametrização do processo MIG/MAG CA. *Soldagem e Inspeção*. 2012;17(3):271-277. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-92242012000300011>.