



INFLUÊNCIA DA TAXA DE DEPOSIÇÃO NA GERAÇÃO DOS GASES CO E CO₂ NO PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW E OS IMPACTOS NA SAÚDE OCUPACIONAL.

Paulo V. C. Caetano^{1*}, Valter A. de Meneses¹ e Waldemir P. Martins¹

*1 - Departamento de Mecânica e Materiais (DMM), Instituto Federal do Maranhão (IFMA), Campus Monte Castelo. Av. Getúlio Vargas, São Luís, CEP 65030-005, MA.
p.caetano@acad.ifma.edu.br*

RESUMO

Já é conhecido que o processo GMAW (Gas Metal Arc Welding), produz altas taxas de deposição por ser um processo de soldagem a arco com eletrodo contínuo. Isso faz com que não sejam necessárias paradas para troca de eletrodos, sendo capaz de gerar taxas de deposição de 5 à 20 kg por hora. Dito isso, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da Taxa de Deposição (kg/h) sobre os níveis de emissão de gases em soldagem GMAW, utilizando CO₂ puro e misturas de Argônio e CO₂ como gases de proteção. Para isso, a taxa de deposição foi avaliada em diferentes níveis de tensão (V), mantendo constante os demais parâmetros. Foi observado que a geração de gases CO₂ e CO é sensível, porém não é proporcional às variações da Taxa de Deposição (Kg/h), em função do aumento da tensão (V). No que diz respeito aos limites de tolerância das normas NR-15 e OSHA, com a utilização do gás de proteção 100%CO₂, a geração de CO₂ e CO ultrapassaram os limites de tolerância. No entanto, para o gás de proteção Ar+25%CO₂, esses limites não foram ultrapassados para CO₂ e sim para CO. Verificou-se que houve variação significativa da taxa de deposição para o gás de proteção 100%CO₂, e para o gás de proteção Ar+25%CO₂ não houve uma variação significativa da taxa de deposição, o que mostra que não há uma proporcionalidade em função do aumento da tensão (V).

Palavras-chave: *taxa de deposição, monóxido de carbono, dióxido de carbono, MGAW, saúde ocupacional.*

INTRODUÇÃO

O processo GMAW (Gas Metal Arc Welding), produz altas taxas de deposição por ser um processo de soldagem a arco com eletrodo contínuo. Isso faz com que não sejam necessárias paradas para troca de eletrodos, facilitando sua automatização, mecanização ou mesmo a operação manual. Além disso, o processo precisa de menos habilidade manual do que processos como SMAW (Shielded Metal Arc Welding), sendo capaz de gerar taxas de deposição de 5 à 20 kg por hora⁽¹⁾.

Durante a abertura do arco e o processo de deposição, existe a evaporação de gotas metálicas. Esse processo é apontado como o principal responsável pela formação de fumos e gases, sendo sensível ao modo de transferência (curto-circuito, globular ou spray).

No que se diz respeito ao modo de transferência, quanto maior o tamanho de gota, maior a temperatura na ponta do eletrodo, tendendo a gerar maior quantidade de vapores metálicos, o que justifica a menor geração de fumos nos modos de transferências Spray e arco pulsado⁽²⁾.

A exposição severa a fumos e gases de soldagem pode causar diminuição das funções pulmonares, e doenças relacionadas às pequenas vias aéreas, podendo contribuir para o

desenvolvimento de doenças crônicas de obstrução pulmonar, já que esses fumos contém vários gases e partículas de metais e óxidos metálicos⁽³⁾.

Outros fatores que afetam a saúde respiratória do soldador, podendo causar morte em casos de trabalho confinado sem uso de exaustores e máscara de proteção, é o uso de misturas com argônio e CO₂ ou CO₂ puro como gases de proteção, que no processo de soldagem MGAW emitem quantidade significativa de dióxido e monóxido de carbono, capazes de gerar asfixia e intoxicação, respectivamente^(4,5).

A norma regulamentadora NR-15 do ministério do trabalho, que trata de Atividades e Operações Insalubres, define os elementos CO₂ e CO como agentes químicos insalubres, tendo limite de tolerância para 48 horas semanais de exposição em uma faixa de 3900 ppm para CO₂ e 39 ppm para o monóxido de carbono. Já a norma americana OSHA (Occupational Safety and Health Standards), define que, para uma média ponderada de tempo de exposição de 8 horas, os limites permissíveis de exposição para CO₂ são de 5000 ppm e para CO são de 50ppm^(6,7).

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Para realização dos ensaios de medição dos gases gerados durante o processo de soldagem MIG/MAG, foram realizadas soldas sobre chapa, na posição plana, utilizando como material de base barras chatas de aço carbono ASTM A36 com dimensões de 200mm x 50mm x 6mm (comprimento x largura x espessura).

Como gás de proteção, foi utilizado 100%CO₂ e a mistura Ar+25%CO₂, em experimentos distintos. O processo de soldagem foi mecanizado a fim de garantir maior repetibilidade e estabilidade dos parâmetros de soldagem.

As características do consumível (AWS/ASME SFA 5.18: ER70S-6, diâmetro 1,2mm) são apresentadas na Tabela 1. O arame sólido cobreado manganês-silício ER70S-6, é destinado a soldagem MIG/MAG dos aços não ligados, utilizando como gases de proteção as misturas Ar + 20-25% CO₂ ou CO₂ puro.

Tabela 1. Composição química (%) e propriedades mecânicas do arame ER70S-6⁽⁸⁾.

Composição	C	Si	Mn
Química (%)	0,08	0,9	1,5
Propriedades Mecânicas	LE (MPa)	LR (MPa)	Alongamento
(Ar+20%CO ₂)	470	560	26%

Métodos

As soldas foram realizadas na posição plana, em ensaios de simples deposição sobre chapa, sentido puxando e modo de transferência por curto-circuito. A fonte de soldagem utilizada foi uma máquina multiprocessos modelo IMC Inversal 600, operada no modo “tensão constante” e ângulo de tocha de 90°.

Para o planejamento experimental, foi estipulada a realização de soldas nas tensões de 19V, 21V e 23V, com a corrente variando em 150±5A, parâmetros dentro das recomendações do fabricante do arame. A vazão de gás foi definida como 12l/min, sendo a vazão recomendada para um arame de 1,2 mm de diâmetro⁽⁹⁾.

Com o objetivo de calcular a geração média dos gases CO₂ e CO em função da Taxa de Deposição média, foram realizados 3 (três) experimentos para cada Tensão(V), utilizando dois tipos de gases de proteção (Ar+25%CO₂ e 100%CO₂) totalizando em 18 experimentos. Para a medição dos gases gerados durante o processo de soldagem, foi utilizado o equipamento portátil Delta Ohm HD21AB17. Na figura 1, é apresentado o equipamento para medição da concentração dos gases CO₂ e CO em ppm.



Figura 1: Delta Ohm HD21AB17. Equipamento utilizado para aquisição da quantidade de gases CO₂ e CO em ppm⁽¹⁰⁾.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2, são apresentados os parâmetros resultantes do processo de soldagem, juntamente com as taxas de deposição médias para os experimentos que trabalharam na mesma faixa de tensão. A fim de identificar de maneira rápida as diferentes médias para as taxas de deposição foi criada uma classificação em letras para cada taxa média, variando de A à F.

Tabela 2: Parâmetros resultantes do processo de soldagem. Através da massa de metal depositada e do tempo de arco aberto, foi possível calcular a taxa de deposição em unidades de Kg por hora.

Experimento	Gás de Proteção	Tensão Regulada (V)	Tensão Média (V)	Corrente Média (A)	Vel. Sold. (mm/min)	Tempo de Arco Aberto	Massa Depositada (g)	Taxa de Deposição (kg/h)	Taxa de Deposição Média (kg/h)	
1	100%CO ₂	19	19,4	152	200	01:01	27	1,593	1,617	Taxa A
2	100%CO ₂	19	19,3	149	200	01:02	27,9	1,620		
3	100%CO ₂	19	19,3	149	200	01:00	27,3	1,638		
4	100%CO ₂	21	21,1	148	200	00:58	28,4	1,763	1,829	Taxa B
5	100%CO ₂	21	21	145	200	00:58	29,6	1,837		
6	100%CO ₂	21	21,2	149	200	00:57	29,9	1,888		
7	100%CO ₂	23	23	145	200	00:59	27,7	1,690	1,694	Taxa C
8	100%CO ₂	23	23,1	148	200	00:58	27,5	1,707		
9	100%CO ₂	23	23,1	146	200	00:59	27,6	1,684		
10	Ar+25%CO ₂	19	19	152	200	00:58	28,6	1,775	1,725	Taxa D
11	Ar+25%CO ₂	19	19,1	150	200	00:59	28,3	1,727		
12	Ar+25%CO ₂	19	19	147	200	01:00	27,9	1,674		
13	Ar+25%CO ₂	21	21,1	155	200	00:58	28,1	1,744	1,711	Taxa E
14	Ar+25%CO ₂	21	21	153	200	00:58	26,9	1,670		
15	Ar+25%CO ₂	21	21	151	200	00:59	28,2	1,721		
16	Ar+25%CO ₂	23	23	155	200	00:59	28	1,708	1,717	Taxa F
17	Ar+25%CO ₂	23	23	150	200	01:00	27,3	1,638		
18	Ar+25%CO ₂	23	23,1	153	200	01:00	30,1	1,806		

Com o objetivo de verificar a existência ou não de diferença significativa entre as Taxas de Deposição Médias resultantes dos experimentos de soldagem, foi realizada Análise de Variância (ANOVA) dos dados referentes as Taxas A, B, C, D, E e F. Na figura 2, é apresentado o resultado da ANOVA e Teste de Comparação de Médias de Tukey para as Taxas de Deposição resultantes dos experimentos com o uso de gás de proteção 100%CO₂. Já na figura 3, é apresentada a ANOVA e Teste de Comparação de Médias de Tukey para as Taxas de Deposição resultantes dos experimentos com o uso de gás de proteção Ar+25%CO₂.

Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	2	0,06938	0,03469	22,45098	0,00164
Error	6	0,00927	0,00155		
Total	8	0,07865			

Hipótese Nula: As médias de todos os níveis são iguais.

Hipótese Alternativa: As médias de um ou mais níveis são diferentes.

Em um nível de 0,05, as médias das populações são significativamente diferentes.

Tukey Test

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
TaxaB TaxaA	0,21233	0,03209	9,35605	0,0014	0,05	1	0,11385	0,3108
TaxaC TaxaA	0,07656	0,03209	3,37375	0,11812	0,05	0	-0,02191	0,17504
TaxaC TaxaB	-0,13576	0,03209	5,98231	0,013	0,05	1	-0,23424	-0,03729

Sig igual a 1 indica que a diferença das médias é significante em um nível de 0,05.
Sig igual a 0 indica que a diferença das médias não é significante em um nível de 0,05.

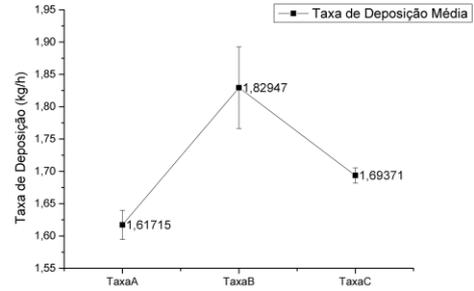


Figura 2: Anova e teste de Tukey dos dados de Taxa de Deposição(Kg/h) para os experimentos com gás de proteção 100% CO₂.

Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	2	2,88443E-4	1,44222E-4	0,03888	0,9621
Error	6	0,02226	0,00371		
Total	8	0,02254			

Hipótese Nula: As médias de todos os níveis são iguais.

Hipótese Alternativa: As médias de um ou mais níveis são diferentes.

Em um nível de 0,05, as médias das populações não são significativamente diferentes.

Tukey Test

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
TaxaE TaxaD	-0,01383	0,04973	0,39323	0,95857	0,05	0	-0,16641	0,13875
TaxaF TaxaD	-0,00783	0,04973	0,22256	0,98647	0,05	0	-0,16041	0,14476
TaxaF TaxaE	0,006	0,04973	0,17067	0,99201	0,05	0	-0,14658	0,15858

Sig igual a 1 indica que a diferença das médias é significante em um nível de 0,05.
Sig igual a 0 indica que a diferença das médias não é significante em um nível de 0,05.

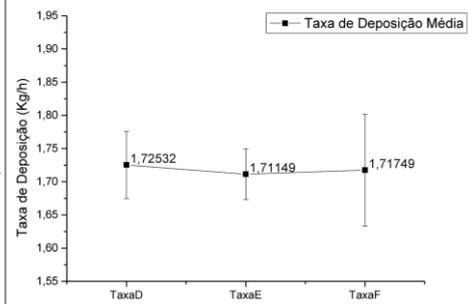


Figura 3: Anova e teste de Tukey dos dados de Taxa de Deposição(Kg/h) para os experimentos com gás de proteção Ar+25% CO₂.

Verificou-se através da análise de variância que existiu diferença significativa entre as taxas de deposição médias nos experimentos com gás de proteção 100%CO₂ (Fig.2). Já para os experimentos com gás de proteção Ar+25%CO₂ (Fig.3), não foi observada existência de diferença significativa entre as taxas de deposição médias.

A fim de analisar o comportamento geral das taxas de deposição médias, foi realizada ANOVA e teste de Tukey comparando essas taxas em função das tensões e dos gases de proteção (Fig.4).

Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	5	0,06976	0,01395	5,31083	0,00838
Error	12	0,03153	0,00263		
Total	17	0,10129			

Hipótese Nula: As médias de todos os níveis são iguais.

Hipótese Alternativa: As médias de um ou mais níveis são diferentes.

Em um nível de 0,05, as médias das populações são significativamente diferentes.

Tukey Test

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
TaxaB TaxaA	0,21233	0,04185	7,17499	0,00287	0,05	1	0,07175	0,3529
TaxaC TaxaA	0,07656	0,04185	2,58727	0,48398	0,05	0	-0,06401	0,21713
TaxaC TaxaB	-0,13576	0,04185	4,58772	0,00057	0,05	0	-0,27633	0,00481
TaxaD TaxaA	0,10817	0,04185	3,65531	0,17466	0,05	0	-0,0324	0,24874
TaxaD TaxaB	-0,10416	0,04185	3,51968	0,20182	0,05	0	-0,24473	0,03642
TaxaD TaxaC	0,03181	0,04185	1,09804	0,97016	0,05	0	-0,10897	0,17218
TaxaE TaxaA	0,09434	0,04185	3,18806	0,25291	0,05	0	-0,04623	0,23491
TaxaE TaxaB	-0,11798	0,04185	3,98693	0,12117	0,05	0	-0,25855	0,02259
TaxaE TaxaC	0,01778	0,04185	0,6008	0,99776	0,05	0	-0,12279	0,15835
TaxaE TaxaD	-0,01383	0,04185	0,46725	0,99933	0,05	0	-0,1544	0,12674
TaxaF TaxaA	0,10034	0,04185	3,39085	0,23077	0,05	0	-0,04023	0,24092
TaxaF TaxaB	-0,11198	0,04185	3,78413	0,15182	0,05	0	-0,25255	0,02859
TaxaF TaxaC	0,02378	0,04185	0,90359	0,9914	0,05	0	-0,11679	0,16435
TaxaF TaxaD	-0,00783	0,04185	0,26445	0,99996	0,05	0	-0,1484	0,13275
TaxaF TaxaE	0,006	0,04185	0,20279	0,99999	0,05	0	-0,13457	0,14657

Sig igual a 1 indica que a diferença das médias é significante em um nível de 0,05.
Sig igual a 0 indica que a diferença das médias não é significante em um nível de 0,05.

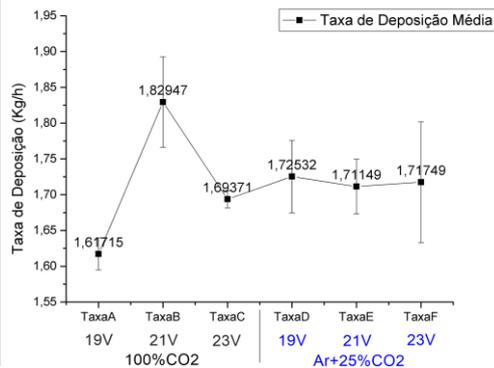


Figura 4: Taxas de Deposição Médias em função das tensões de soldagem e dos gases de proteção 100% CO₂ e Ar+25% CO₂.

Foi observado que houve um aumento da taxa de deposição de A para B e diminuição da taxa de deposição de B para C, para o gás de proteção 100%CO₂, e para o gás de proteção Ar+25%CO₂ não houve uma variação significativa da taxa de deposição, o que mostra que não há uma proporcionalidade em função do aumento da tensão (V).

Em relação a geração dos gases CO₂ e CO, é apresentado na figura 5, os valores em ppm da emissão desses gases em função das Taxas de Deposição Médias (Kg/h) e da tensão de soldagem (V).

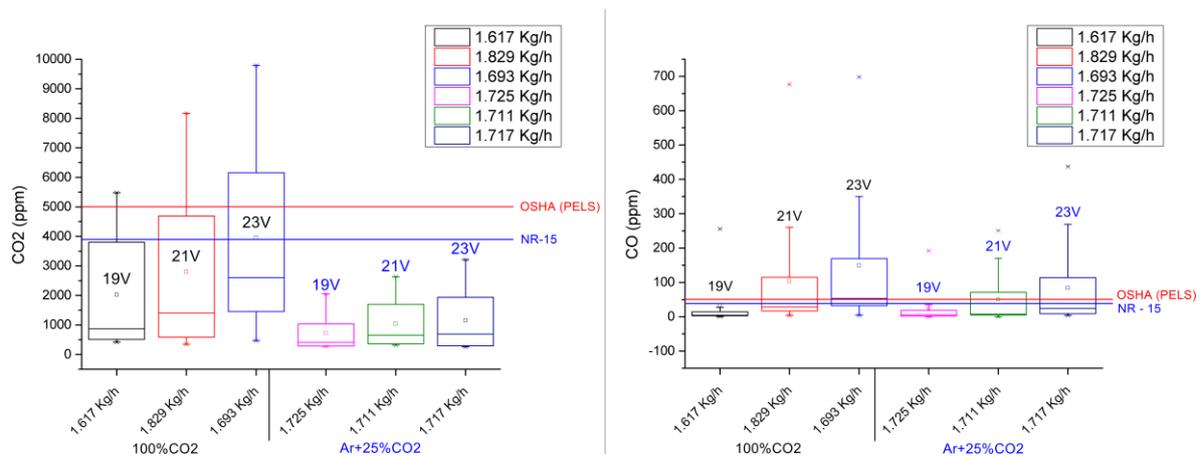


Figura 5: Boxplot dos dados de geração de CO₂ e CO, em função das taxas de deposição médias (Kg/h) e Tensão (V) durante soldagem com gases de proteção 100%CO₂ e Ar+25%CO₂.

Foi observado que a geração de gases CO₂ e CO é sensível, porém não é proporcional às variações da Taxa de Deposição (Kg/h), em função do aumento da tensão.

No que diz respeito aos limites de tolerância das normas NR-15 e OSHA, com a utilização do gás de proteção 100%CO₂, a geração de CO₂ ultrapassou os limites de tolerância nas taxas de deposição A, B e C. No entanto, para o gás de proteção Ar+25%CO₂, esses limites não foram ultrapassados.

Para a geração de CO, em ambos os gases de proteção, os limites de tolerância foram ultrapassados pelas taxas de deposição B, C, E e F.

CONCLUSÕES

Foi observado que a geração de gases CO₂ e CO é sensível, porém não é proporcional às variações da Taxa de Deposição (Kg/h), em função do aumento da tensão (V).

No que diz respeito aos limites de tolerância das normas NR-15 e OSHA, com a utilização do gás de proteção 100%CO₂, a geração de CO₂ e CO ultrapassaram os limites de tolerância. No entanto, para o gás de proteção Ar+25%CO₂, esses limites não foram ultrapassados para CO₂ e sim para CO.

Verificou-se que houve variação significativa da taxa de deposição para o gás de proteção 100%CO₂, e para o gás de proteção Ar+25%CO₂ não houve uma variação significativa da taxa de deposição, o que mostra que não há uma proporcionalidade em função do aumento da tensão (V).

REFERÊNCIAS

1. MESSLER, R. W. J. Principles of Welding. New York: WILEY-VCH, 2004.
2. MENDEZ, P.F.; JENKINS, N.T.; EAGAR, T.W.; Effect of Electrode Droplet Size on Evaporation and Fume Generation in Gmaw. PROCEEDINGS OF THE GAS METAL ARC WELDING FOR THE 21TH CENTURY CONFERENCE, USA, 2000.

3. WOLF, C; PIRICH, C; VALIC, E; WALDHOER, T. Pulmonary Function and Symptoms of Welders. International Archives of Occupational and Environmental Health, v. 69, p. 350-353, 1997.
4. MENESES, V.A.; LEAL, V.S.; SCOTTI, A. Influence of Metal Transfer Stability and Shielding Gas Composition on CO and CO₂ Emissions during Short-Circuiting MIG/MAG Welding. Soldagem e Inspeção, v. 21, p. 253-268 Brasil, 2016.
5. MARQUES, P.V.; MODENESI, P.J.; BRACARENSE, A.Q. Soldagem, Fundamentos e Tecnologia. Editora UFMG, Brasil, 2011.
6. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR-15 - Atividades e Operações Insalubres. Brasil, 2014.
7. OSHA, Occupational Safety and Health Standards. Limits for Air Contaminants-Table Z-1. USA, 2017.
8. ESAB, Catálogo de Consumíveis 2022. Disponível em: <
https://www.esab.com.br/br/pt/support/documentation/upload/1902600_rev17_consumiveis_handbook_pt_br.pdf > Acesso em abril. 2022.
9. AWS. Welding Handbook: Welding Science & Technology. American Welding Society, Vol.2, USA, 1991.
10. Delta Ohm Air Quality. Disponível em:<
<https://www.deltaohminternational.com/portable/hd21ab17-portable-measuring-instrument-data-logger-for-measuring-and-logging-co-co2-atmospheric-pressure-temperature-and-humidity>> Acesso em abril. 2022.

INFLUENCE OF THE DEPOSITION RATE ON THE GENERATION OF CO AND CO₂ GASES IN THE GMAW WELDING PROCESS AND THE IMPACTS ON OCCUPATIONAL HEALTH.

ABSTRACT

It is already known that the GMAW (Gas Metal Arc Welding) process produces high deposition rates because it is a continuous electrode arc welding process. This means that no downtime is needed to change electrodes, being able to generate deposition rates from 5 to 20 kg per hour. That said, this work aims to evaluate the influence of the Deposition Rate (kg/h) on the emission levels of gases in GMAW welding, using pure CO₂ and mixtures of Argon and CO₂ as shielding gases. For this, the deposition rate was evaluated at different voltage levels (V), keeping the other parameters constant. It was observed that the generation of CO₂ and CO gases is sensitive, but not proportional to the variations in the Deposition Rate (Kg/h), due to the increase in voltage (V). With regard to the tolerance limits of NR-15 and OSHA standards, with the use of 100%CO₂ shielding gas, the generation of CO₂ and CO exceeded the tolerance limits. However, for the shielding gas Ar+25%CO₂, these limits were not exceeded for CO₂, but for CO. It was found that there was a significant variation in the deposition rate for the 100%CO₂ shielding gas, and for the Ar+25%CO₂ shielding gas there was no significant variation in the deposition rate, which shows that there is no proportionality in function of the increase in voltage (V).

Keywords: *deposition rate, carbon monoxide, carbon dioxide, MGAW, occupational health.*