

AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS E GEOMETRICAS DE SOLDAS DESENVOLVIDAS COM ARAMES TUBULARES EXPERIMENTAIS EM SOLDAGEM SUBAQUÁTICA MOLHADA

Orlando Mauricio Castellanos González, mauriciocg@ufmg.br^{1,2}

Raissa de Andrade Aguiar, raissa.lg12@gmail.com²

Ariel Rodriguez Arias, arielra@demec.ufmg.br^{1,2}

Andrés Mauricio Moreno Uribe, andresmauriciomu@ufmg.br^{1,2}

Eduardo Jose Sanchez Lobo, ejsanchezl@ufmg.br^{1,2}

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGMEC) da Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627- Pampulha, Belo Horizonte, 31270-901, Minas Gerais, Brasil.

²Laboratório de Robótica Soldadura e Simulação -Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha, Belo Horizonte, 31270-901, Minas Gerais, Brasil.

Resumo: A progressiva necessidade de instalação, reparo e manutenção de estruturas submersas, como dutos, plataformas offshore, usinas nucleares, entre outras, têm demandado crescentemente dos processos de soldagem subaquática. Dentre as técnicas existentes, a chamada soldagem molhada se destaca devido ao seu menor custo e simplicidade de execução, no entanto apresenta uma série de desvantagens devido ao contato direto do soldador, poça de fusão, arco elétrico e junta a ser unida com a água. Problemas como porosidade, trincas, redução das propriedades mecânicas e baixa estabilidade são inerentes a este processo. Atualmente, o processo SMAW é o método mais aplicado para este fim. No entanto, a técnica FCAW tem se mostrado uma opção tecnológica interessante devido a permitir versatilidade na modificação da composição do fluxo do eletrodo, maior produtividade e capacidade de automatização, o que viabilizaria operações em maiores profundidades. Com a finalidade de avaliar novas formulações e o seu desempenho operacional em ambiente molhado, foram fabricados dois arames tubulares experimentais com diferente composição química no seu fluxo interno, empregando uma máquina piloto e um processo especial de manufatura. Consequentemente, foram realizados cordões sobre chapa na posição plana dentro de um aquário empregando um sistema de deslocamento tipo “tartaruga”, com o auxílio da fonte inversal 300 da IMC, na profundidade de 0,3 metros de água doce, nas polaridades inversa e direta. Como resultado, foi analisada a geometria assim como as variáveis elétricas relacionadas a tensão e corrente de soldagem. Conclui-se que a transferência metálica apresentou a predominância de curtos-circuitos, um aumento do ICC quando usada a configuração DCEN em comparação com DCEP e uma maior penetração no metal de solda atingido com o arame oxidante com adição de PTFE, que tem uma possível relação com a maior presença de O no fluxo. Além disso, os resultados apresentam uma análise do desempenho do processo e da caracterização dos cordões obtidos orientam quanto possíveis modificações nos parâmetros.

Palavras-chave: Soldagem molhada, FCAW, cordão de solda, Arames tubulares experimentais.

1. INTRODUÇÃO

Com respeito ao desenvolvimento de consumíveis para soldagem subaquática molhada, no LRSS tem se executado estudos inéditos baseados na modificação da composição química dos metais de adição: Vaz e Bracarense (2016) fabricaram eletrodos revestidos básicos, utilizando PTFE como aglomerante. Santos *et al.* (2012) desenvolveram um eletrodo revestido de base rutilica-oxidante com a finalidade de diminuir a fragilização por hidrogênio no metal de solda e consequentemente o aparecimento de trincas que diminuem a resistência mecânica das juntas coalescidas. Além disso, neste centro de pesquisa tem sido estudado os fenômenos físicos do arco elétrico e sua relação com as características operacionais: Pessoa (2007) avaliou a porosidade ao longo do cordão de solda nas profundidades simuladas de 50 e 100 m. Moreno *et al.* (2020) estudaram o efeito da profundidade e polaridade na penetração e taxa de consumo em um eletrodo revestido rutilico. Moreno *et al.* (2017) analisaram a estabilidade de um eletrodo comercial em comparação com um consumível desenvolvido especialmente para soldagem molhada. De Mello *et al.* (2018) avaliaram os aspectos operacionais de eletrodos revestidos inoxidáveis austeníticos. Contudo, o processo FCAW se apresenta como uma alternativa promissória para executar trabalhos de reparo e manutenção nos quais o soldador, arco elétrico, poça de fusão e juntas a serem soldadas se encontram em contato direto com o ambiente aquático (Chen *et al.*, 2018). Conforme

Avaliação das características operacionais e geométricas de soldas desenvolvidas com arames tubulares experimentais em soldagem molhada apresentado por Bracarense *et al.* (2019), neste processo é utilizado um arame consumível e contínuo, de geometria tubular, que contém um fluxo constituído por diferentes elementos com granulometrias e características específicas (escorificantes, geradores de gás, elementos de liga, entre outros). Devido a isso, na literatura tem se demonstrado a importância do estudo de composições químicas que permitam obter metais de soldadura com características mecânicas (Rodriguez and Bracarense, 2015) e metalúrgicas especiais (Guo *et al.*, 2015).

Nesse sentido, Ferreira *et al.* (2019) desenvolveram arames tubulares com fita de aço carbono contendo um fluxo metálico com Ni, Cr e Fe em pó, obtendo metais de solda com predominância ferrítica o austenítica em função da quantidade de elementos alifênicos e gamagênicos adicionados no fluxo.

Li *et al.* (2016) fabricaram um arame tubular de 1,6 mm utilizando uma fita metálica cuja composição química era de 99,5% de níquel, contendo uma série de minerais necessários para proteger o arco e a poça de fusão da água circundante, com o objetivo de realizar cordões de soldadura em uma metal base de aço inoxidável, tipo 316L com 11 mm de espessura. Li *et al.* (2018) executaram soldas molhadas em duas chapas de materiais dissimilares utilizando dois arames tubulares com diferentes teores de níquel na composição química do fluxo. As vantagens de serem utilizados metais de adição contendo Ni, estão relacionadas com o aumento do limite de resistência à tração do metal de solda e sua tenacidade (Guo *et al.*, 2015), além da redução da quantidade de hidrogênio difusível, o qual permite diminuir a susceptibilidade do trincamento a frio (Klett *et al.*, 2020).

Zhang *et al.* (2019) demonstraram que a adição de fluoreto de cálcio no arame tubular melhora a estabilidade do processo, diminui a porosidade e aumenta a resistência à tração do metal de solda. Por outro lado, Campos *et al.* (2021) estudaram o efeito da adição de PTFE em arames tubulares rutilico-oxidantes. Os autores explicaram que a alta energia térmica resultante do processo de soldagem quebra as ligações da rede polimérica causando a liberação de átomos de flúor na atmosfera do arco elétrico, os quais formam fluoreto de hidrogênio, reduzindo o teor de hidrogênio difusível na solda.

O presente trabalho avalia o comportamento elétrico do processo de soldagem, e caracteriza a geometria das seções transversais de cordões de solda obtidos a partir de eletrodos tubulares fabricados em laboratório, os quais estão sendo empregados para executar soldadura molhada em 0,3 m de profundidade.

1. METODOLOGIA

2.1 Equipamentos, materiais e provas de soldagem

Neste trabalho foram desenvolvidos dois arames tubulares (Tab 1.) com 1,6 mm de diâmetro e uma taxa média de enchimento de 21 %, empregando um equipamento experimental (Fagundes *et al.*, 2018), o qual conforma uma fita de aço SAE 1006 de 0,5 mm de espessura e 10 mm de largura (Castellanos *et al.* 2021).

Posteriormente, foram realizados cordões na posição plana, dentro de um aquário usado para simular a profundidade de 0,3 m (conhecida como lâmina d'água), e empregando uma fonte Inversal 300 da IMC operando em tensão constante e um sistema de deslocamento do tipo tartaruga (Fig. 2). Os sinais de corrente e tensão foram adquiridos de maneira simultânea com o auxílio de um sistema SAP V4 desenvolvido pela IMC Soldagem, com uma taxa de aquisição de 5 KHz. Os parâmetros de soldagem são mostrados na Tab. 2. Chapas de 10 mm de espessura do aço ASTM A-36 foram utilizadas como metal base.

Tabela 1. Composição química dos arames tubulares

Tipo de Eletrodo	Base Rutilica + 13% PTFE	Base Oxidante + 13% PTFE
Composição do fluxo interno	40-50 % TiO ₂ 13% PTFE 37-47% de elementos geradores de gás, escorificantes, etc.	50-60% Fe ₂ O ₃ 13% PTFE 27-37% de elementos geradores de gás, escorificantes, etc.

Tabela 2. Parâmetros de soldagem utilizados

Polaridade	DCEP-DCEN
Tensão	28 V
Velocidade de alimentação do arame do arama/eletrodo	4,5 m/min
Velocidade de soldagem	250 mm/min
Stick-Out	30 mm
Profundidade	0,3 m

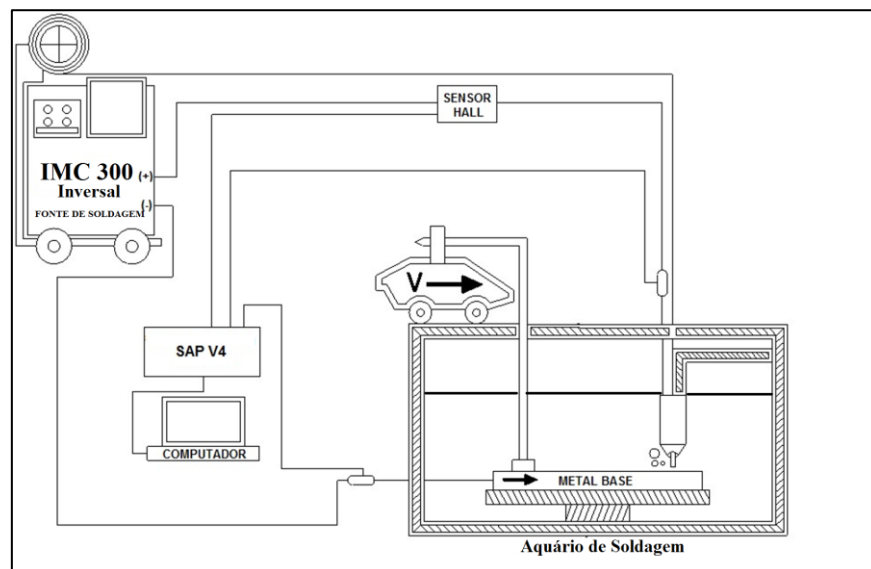


Figura 2. Montagem do processo de soldagem e aquisição de dados.

2.2. Análise do comportamento elétrico do processo

Com o intuito de avaliar o comportamento elétrico do processo, foram analisados 5 segundos dos oscilogramas de tensão e corrente, correspondentes a uma região coincidente com os cortes das seções transversais do cordão de solda, com a finalidade de analisar a relação entre os dados elétricos e a geometria nessa seção específica. Foram executados 3 testes por cada condição de soldagem, sendo medidas a tensão e corrente média com seu respectivo desvio padrão e analisado o índice de curto-circuito (ICC) para um valor de corte de 14 V, que foi selecionado com o intuito de dividir o processo entre a região de arco em aberto, e a região de valores de tensão referente aos curtos circuitos. Foi usado o coeficiente de variação (K_v) na avaliação da dispersão em termos relativos para cada condição. Histogramas e oscilogramas também foram empregados neste estudo para dilucidar sobre os resultados elétricos obtidos. Em relação à geometria da seção transversal do cordão foram fotografadas com o uso de um microscópio estereoscópico a fim de caracterizar as dimensões descritas na Fig. 3.

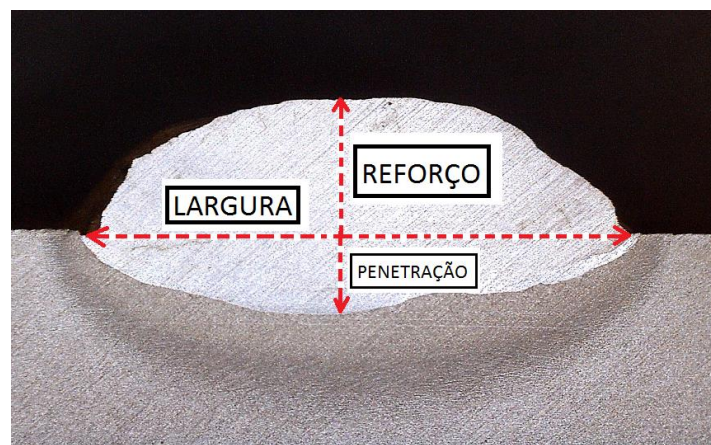


Figura 3. Dimensões do cordão de soldadura analisadas no trabalho.

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Comportamento elétrico do processo

Em relação a transferência metálica, os oscilogramas de tensão e corrente mostrados nas Fig. 4 e Fig. 5 evidenciam, para os dois tipos de arames, a predominância de curtos-circuitos nas duas polaridades. Dutra (2008) explica que esses curtos-circuitos são perturbações no processo devido a extinção do arco com determinada frequência quando o valor da tensão se encontra por baixo do valor de corte de 5 V. Guo *et al.* (2014) classificaram este tipo de comportamento dentro de um tipo de transferência por curto-circuito. Os autores avaliaram a frequência de destacamento e tamanho das gotas fundidas mediante a técnica de raio X. No entanto, Guo *et al.* (2016) mencionam que este tipo de transferência pode ser dividido dependendo das forças envolvidas e os níveis de corrente e tensão apresentados: em transferência por tensão superficial e transferência por curto-circuito explosivo.

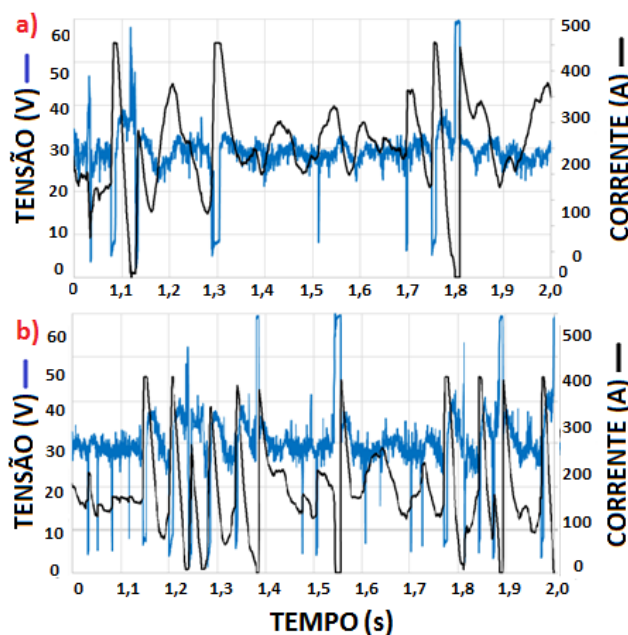


Figura 4. Oscilogramas de tensão e corrente para o arame rutilico +13% de PTFE. (a) DCEP (b) DCEN.

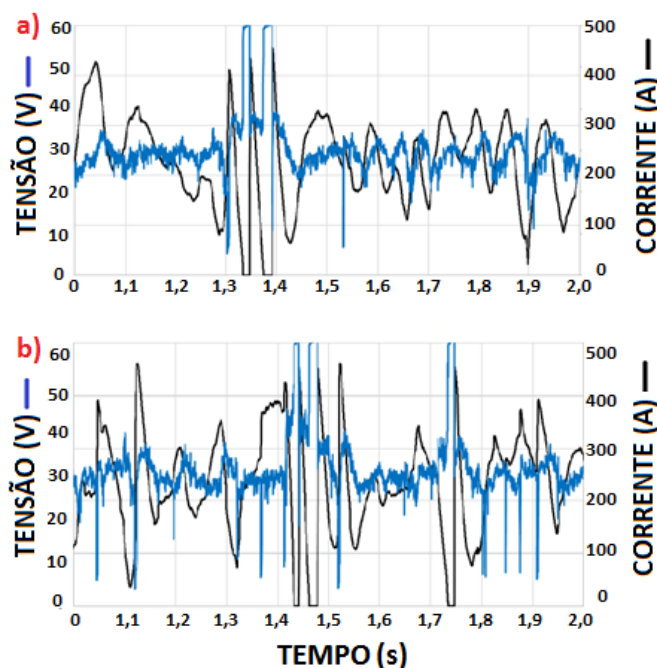


Figura 5. Oscilogramas de tensão e corrente para o arame oxidante +13% de PTFE. (a) DCEP (b) DCEN.

E possível identificar nos oscilogramas de tensão e corrente, que nos instantes onde a tensão cai por baixo do valor de referência de 14 V, a corrente ultrapassa o patamar de 450 A, acontecendo o curto-circuito e a transferência do metal líquido à poça de fusão em função da combinação das magnitudes da força eletromagnética e tensão superficial (Guo *et al.* 2016). Após este acontecimento, a dinâmica da fonte permitiu restabelecer o valor de tensão para o configurado no processo (28 V). Por outro lado, Castellanos *et al.*, 2021, comentaram que, quando a tensão chega até o valor de 60 V (Tensão em vazio da fonte), o valor da corrente diminui perto de 0 A, ocorrendo o desligamento do arco (Região de extinção do arco nos histogramas). Nos experimentos realizados por Chen *et. al* (2022), relacionam o aumento da porosidade do metal de solda com o incremento das “extinções” do arco.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios e desvio padrão da corrente, tensão, e ICC para os dois arames tubulares nas duas polaridades. O valor médio da corrente de soldagem para o arame de base oxidante não apresentou mudança significativa nas duas polaridades. No entanto, para o arame de base rutilica, foi observada uma diminuição da corrente de soldagem na mudança de DCEP para DCEN. Este fenômeno possivelmente pode estar relacionado com as quedas de tensão na conexão arco-eletrodo, tal como descrito como Scotti e Ponomarev (2008). No caso do arame oxidante, como mencionado, provavelmente não exista alguma diferença no valor U_a+c . Pelo contrário, para o arame

rutílico apresenta-se uma menor corrente média para a polaridade direta, o que gera uma energia considerável, por tanto, neste caso que a fonte opera a tensão constante, precisou-se menos corrente para fundir o arame nesta configuração de polaridade. O índice de curto-circuito ICC indica o número de eventos de curto-circuito que aconteceram durante os 5 s de aquisição que foram empregados neste trabalho. Para cada arame, é possível identificar que ao mudar de DCEP para DCEN houve um incremento neste valor. Isto pode ser visto também na região de curto circuito nos histogramas da Fig. 7, mostrando-se uma área maior na distribuição dos valores de tensão para o consumível ligado na polaridade direta.

Em relação aos coeficientes de variação da corrente e tensão, pode se observar que estes não sofrem grandes mudanças para o arame de base oxidante. Contudo, existe um aumento nestes coeficientes para o arame de base rutílica na polaridade direta. Este comportamento é mostrado nos histogramas da Fig. 6, onde existe uma maior região de extinção do arco para esta polaridade, tal como assinalado anteriormente por Castellanos *et al.* (2021).

Tabela 4. **Parâmetros elétricos para os eletrodos experimentais a 0,3 m de profundidade.**

Tipo de Eletrodo	Polaridade	Valor	I (A)	DPI (A)	KvI (%)	U (V)	DPU (V)	KvU (%)	ICC
Base Rutílica + 13% PTFE	DCEP	$\bar{x}$	244,3	82,8	33,8	28,8	5,1	17,7	5,9
		σ	5,1	---	2,6	0,1	---	0,6	0,9
	DCEN	$\bar{x}$	198,1	96,8	48,9	30,2	8,2	27,1	12,4
		σ	7,3	---	7,2	0,6	---	3,2	1,41
Base Oxidante + 13% PTFE	DCEP	$\bar{x}$	245,7	88,2	35,9	29,7	6,1	20,6	2,5
		σ	9,1	---	0,7	0,1	---	2,0	0,4
Base Oxidante + 13% PTFE	DCEN	$\bar{x}$	244,8	87,7	35,8	29,9	6,0	20,1	8,5
		σ	5,4	---	1,5	0,0	---	1,3	0,1

Corrente (I), Desvio da Corrente (DI), Tensão (U), Desvio da Tensão (DU), Coeficiente de variação da Tensão (KvU), Coeficiente de Variação da Corrente (KvI), Índice de curto-circuito (ICC), Fator de curto-circuito (FCC). Média e desvio padrão dos valores analisados ($\bar{x} \pm \sigma$).

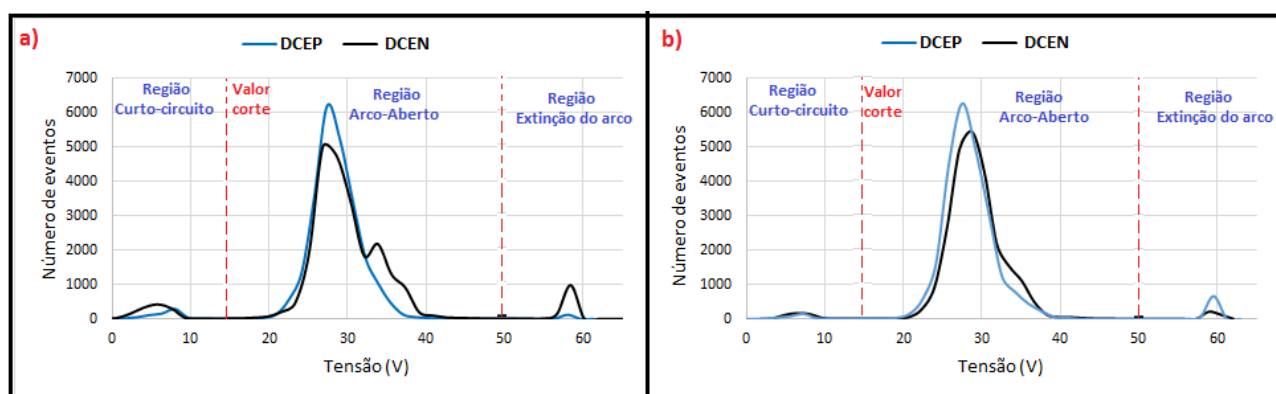


Figura 6. **Histogramas (a) arame de base rutílica (b) arame de base oxidante**

3.2. Geometria dos cordões de soldadura.

Tabela 5. **Geometria das seções transversais dos cordões em 0,3 metros de profundidade**

Tipo de Eletrodo	Polaridade	Valor	R (mm)	P (mm)	L (mm)
Base Rutílica + 13% PTFE	DCEP	$\bar{x}$	3,1	2,3	9,2
		σ	0,1	0,3	0,9
	DCEN	$\bar{x}$	4,6	1,9	8,4
		σ	0,2	0,3	0,9
Base Oxidante + 13% PTFE	DCEP	$\bar{x}$	3,1	2,8	10,2
		σ	1,6	0,8	0,1
Base Oxidante + 13% PTFE	DCEN	$\bar{x}$	2,5	2,8	9,6
		σ	0,3	0,2	0,1

Reforço (R), Penetração (P), Largura (L), Média e desvio padrão dos valores analisados ($\bar{x} \pm \sigma$).

Na Tabela 5 estão relacionados os valores médios das características geométricas dos cordões de soldadura obtidos com os dois arames experimentais, nas polaridades DCEP e DCEN na profundidade de 0,3 m. Pode ser visto que para o

arames de base oxidante, não há uma diferença notável no valor de penetração se comparadas duas polaridades. Pelo contrário, para a configuração DCEN com o arame de base rutilica, este valor é menor em comparação com o metal de solda obtido na polaridade inversa. Karadeniz *et. al* (2007) comentaram que a influência da corrente de soldagem é aproximadamente 2,5 vezes maior do que a tensão do arco e a velocidade de soldagem na penetração. Para o arame de base rutilica em DCEN, foi obtido o menor valor médio de corrente, tal como foi comentado anteriormente.

Assim, considerando os valores da tabela, na Fig. 7 é possível notar maiores valores de penetração para o metal de solda obtido com o arame de base oxidante nas duas polaridades quando comparado com o arame de base rutilica. É provável que as altas quantidades de oxigênio consequência da presença de Hematita (Fe_2O_3), estejam relacionados com a obtenção de maiores penetrações. Campos *et al.* (2021) observaram altos teores de O em arames de base rutilico-oxidante. Nesse sentido, nos experimentos executados por Heiple e Burgardt (1983) no processo GMAW, os autores relatam que para o aumento de oxigênio no gás de proteção resulta num de solda com maior penetração.

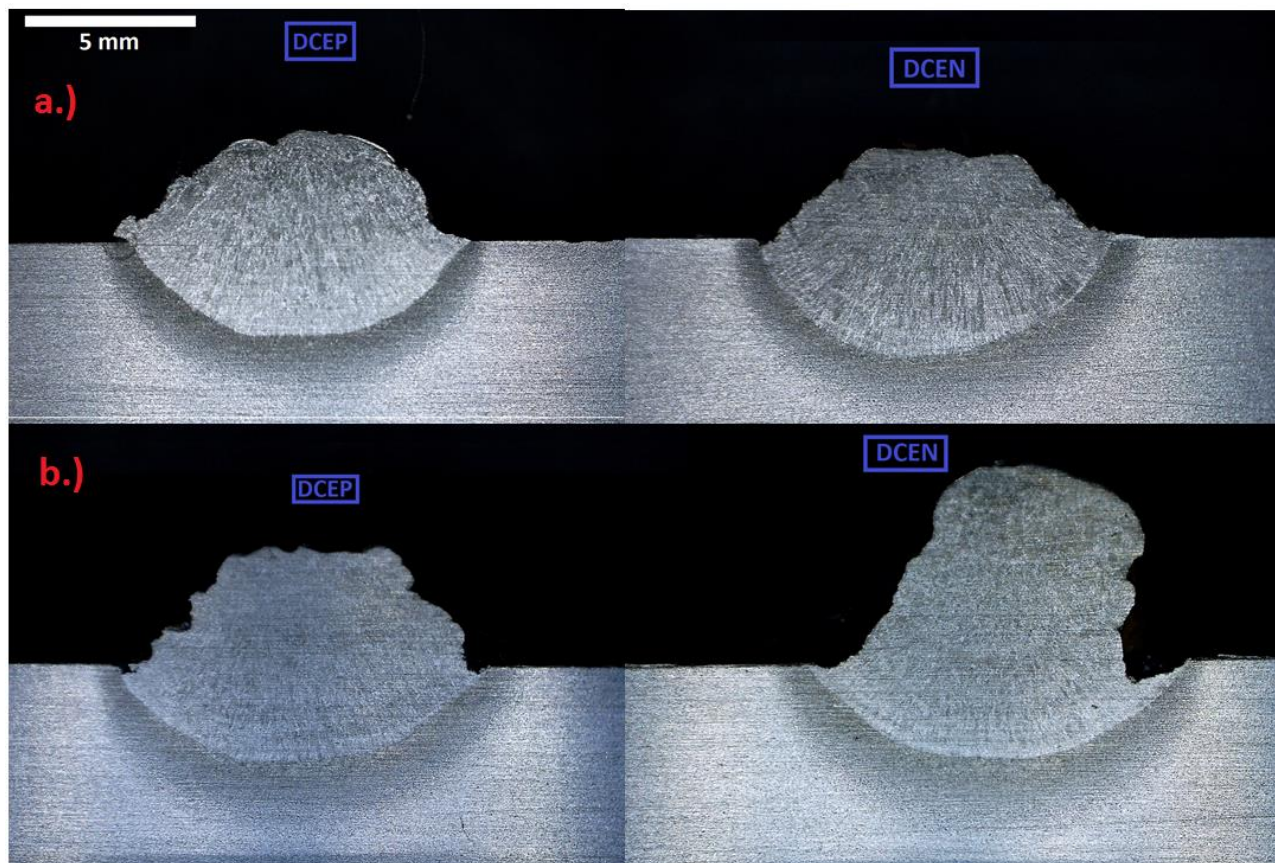


Figura 7. Seções transversais dos cordões de soldadura (a) arame de base oxidante (b) arame de base rutilica

3. CONCLUSÕES.

Os resultados deste estudo apresentam uma análise do desempenho de novas formulações de arames experimentais, e a caracterização da geometria dos cordões de solda em soldagem molhada. Em primeiro lugar, os oscilogramas de tensão e corrente analisados evidenciam que existe a predominância de curtos-circuitos nas duas polaridades, para ambos arames e polaridades. Nesse sentido, o índice ICC demonstra que há uma maior ocorrência de eventos de curto circuito na configuração DCEN para os dois consumíveis. Em relação a penetração, foram obtidos maiores valores médios com o arame de base oxidante, o que está provavelmente ligado com a presença de oxigênio como elemento tenso-ativo na poça de fusão.

4. AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores envolvidos neste projeto agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq; pelo financiamento e infraestrutura fornecidos.

5. REFERÊNCIAS

- Bracarense, A. Q., Modenesi, P.J, and Marques, P. V., 2017, *Soldagem Fundamentos e Tecnologia*, 4th ed. Brazil: Elsevier.
- Campos, E., 2021, *Efeito da adição de PTFE no fluxo de arames tubulares sobre o arco elétrico em soldagem subaquática molhada*. Tese de doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.
- Campos, E., Moreno, A. M. and Bracarense, A. Q., 2021, “Effects of PTFE on operational characteristics and diffusible H and O contents of weld metal in underwater wet welding”, *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 61, pp. 270-279. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.11.018>.
- Castellanos, O. M., 2020, *Manufatura de alambre tubular autoprotegido y evaluación de condiciones operacionales en soldadura submarina húmeda*. Trabalho de conclusão de curso. Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.
- Castellanos, O. M., Moreno, A. M., Ramon, S. A., Jácome, J., 2021, “Evaluación de la transferencia metálica y estabilidad del proceso GMAW”, *Revista UIS Ingenierías*, Vol. 20, No. 3, pp. 47-60. doi: 10.18273/revuin.v20n3-2021003.
- Castellanos, O. M., Prada, G.C., Jácome, J., Moreno, A. M. e Rodríguez, A., 2021, “Manufatura De Alambre Tubular Autoprotegido Y Evaluación De Condiciones Operacionales En Soldadura Submarina”, *Investigación e Innovación en Ingenierías*, Vol. 9, No. 1, pp. 167-179. doi: <https://doi.org/10.17081/invinno.9.1.4015>.
- Castro, E. C., 2015, *Avaliação de soldas produzidas por arames tubulares desenvolvidos em laboratório do tipo básico com adição de polímero como ingrediente do fluxo*. Dissertação de mestrado. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais CEFET-MG, Belo Horizonte, Brasil.
- Chen, H., Guo, N., Shi, X., Du, Y., Feng, J. and Wang, G., 2018, “Effect of water flow on the arc stability and metal transfer in underwater flux-cored wet welding”, *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 31, pp. 103-115. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2017.11.010>.
- Chen, J., Wen, Z., Jia, C., Zhao, B. and Wu, C., 2022, “The mechanisms of underwater wet flux-cored arc welding assisted by ultrasonic frequency pulse high-current”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 304, pp. 17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2022.117567>.
- De Mello, F., Modenesi, P. J., Bracarense, A.Q., 2018, “Aspectos Operacionais da Soldagem Subaquática Molhada com Eletrodos Revestidos Inoxidável Austenítico”. *Soldagem & Inspeção*. Vol. 23, pp. 277–291. doi: 10.1590/0104-9224/si2302.13.
- Dutra, J. C., 2008, “MIG/MAG – Transferência Metálica por Curto-Circuito – Fontes de Soldagem versus Gases do Arco”, *Soldagem & Inspeção*, Vol. 13, No. 1, pp. 19-24.
- Fagundes J. G., Moreno, A M, Ribeiro P. H., Arias A. R. and Bracarense A. Q., 2018, “Formation of TiC by the application of Ti6Al4V machining chips as flux compounds of tubular wires” In *J Phys Conf Ser*, Vol. 1126, No. 1, pp: 1–7.
- Ferreira, M. M., De Mello, F., and Bracarense, A. Q., 2019, “Desenvolvimento de arame tubular com fita de aço carbono AISI 1006 e fluxo metálico contendo níquel, cromo e ferro em pó para a soldagem FCAW”, In *74° ABM Conference*, p. 886-894. doi: 10.5151/2594-5327-33302.
- Guo, N., Fu, Y., Feng, J., Du, Y., Deng, Z., Wang, M. and Tang D., 2016, “Classification of metal transfer mode in underwater wet welding”, *Welding Journal*, Vol. 95, pp. 133-144.
- Guo, N., Guo, W., Du, Y., Fu, Y. and Feng, J., 2015, “Effect of boric acid on metal transfer mode of underwater flux-cored wire wet welding”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 223, pp. 124–128. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2015.04.002>.
- Guo, N., Liu, D., Guo, W., Li, H. and Feng, J., 2015, “Effect of Ni on microstructure and mechanical properties of underwater wet welding joint”, *Materials & Design*, Vol. 15, pp: 25-31, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.04.007>.
- Heiple, C. R. and burgardt, P., 1985, “Effects of SO/sub 2/ shielding gas additions on GTA weld shape”, *Welding Journal*, Vol. 64. No. 6.
- Karadeniz, E., Ozsarac, U., and Yildiz, C., 2007, “The Effect of Process Parameters on Penetration in Gas Metal Arc Welding Processes”, *Materials and Design*, Vol. 28, No. 2, pp. 649-656. doi: 10.1016/j.matdes.2005.07.014.
- Klett J., Mattos, B.F., Maier, H., Gonçalves, R. H., and Hassel, T., 2020, “Control of the diffusible hydrogen content in different steel phases through the targeted use of different welding consumables in underwater wet welding”. *Materials and Corrosion*, Vol. 772, pp: 504-516. doi: 10.1002/maco.202011963.
- Li, H., Liu, D., Wang, Z. and Guo, N., 2018, “An Analysis of Microstructure and Microhardness Distribution in Underwater Wet Welding of 304L Austenitic Stainless Steel to Low Alloy Steel 16Mn”. In *ASME 2018 13th International Manufacturing Science and Engineering Conference*. doi:10.1115/MSEC2018-6434.
- Li, H.L, Liu, D., Yan, Y.T., Guo, N. and Feng, J. C., 2016, “Microstructural Characteristics and Mechanical Properties of Underwater Wet Flux-Cored Wire Welded 316L Stainless Steel joints”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 1, No. 238, pp. 423-430. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.08.001>.
- Moreno, A. M, Bracarense, A. Q., Pessoa, E. C. P, Santos, Santos, V. R., 2017, “Influencia da Polaridade Sobre a Estabilidade do Processo de Soldagem Subaquática Molhada com Eletrodo Revestido”, *Soldagem & Inspeção*, Vol. 22, No. 4, pp; 29–41. doi: <https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI2204.13>.
- Moreno, A. M., Bracarense, A. Q. and Pessoa, E. C. P., 2020, “The Effect of Polarity and Hydrostatic Pressure on Operational Characteristics of Rutile Electrode in UnderwaterWelding”, *Materials*, Vol 13. p.17. doi:10.3390/ma13215001.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

EVALUATION OF THE OPERATIONAL AND GEOMETRICAL CHARACTERISTICS OF WELDS DEVELOPED WITH EXPERIMENTAL FLUX-CORED WIRES IN UNDERWATER WET WELDING

Orlando Mauricio Castellanos Gonzalez, mauriciocg@ufmg.br^{1,2}

Raissa de Andrade Aguiar, raissa.lg12@gmail.com²

Ariel Rodriguez Arias, arielra@demec.ufmg.br^{1,2}

Andrés Mauricio Moreno Uribe, andresmauriciomu@ufmg.br^{1,2}

Eduardo Jose Sanchez Lobo, ejsanchezl@ufmg.br^{1,2}

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGMEC), Federal University of Minas Gerais, Pres. Antônio Carlos Avenue, 6627 – Pampulha, Belo Horizonte, 31270-901, Minas Gerais, Brasil.

²LRSS – Federal University of Minas Gerais, Pres. Antônio Carlos Avenue, 6627 – Pampulha, Belo Horizonte, 31270-901, Minas Gerais, Brasil.

Abstract. *Abstract: The increasing requirement for installation, repair and maintenance of submerged structures, such as pipelines, offshore platforms, nuclear power plants, among others, has increasingly demanded underwater welding processes. Among the existing processes, the so-called wet welding stands out due to its lower cost and simplicity of execution. However, it presents a series of disadvantages due to the direct contact of the welder, the pool weld, the electric arc, and the joint with water. Problems such as porosity, cracks, reduced mechanical properties, and low stability are inherent to this process. Currently, the SMAW process is the most applied method for this purpose. However, the FCAW technique has been shown to be a better option because it allows versatility in modifying the chemical composition of the weld metal, higher productivity and automation capability, which would enable operations at greater depths. In order to evaluate new formulations and their operational behavior in a wet environment, two experimental tubular wires with different chemical composition in their internal flow were initially manufactured, employing a pilot machine and a special manufacturing process. Subsequently, beads were made on a plate, in the flat position, inside an aquarium, employing a mechanized system, with the aid of the IMC inversal 300 source, at a depth of 0.3 meters water, in the reverse and direct polarities. As result, the geometry was analyzed as well as the electrical variables related to voltage and current. It was concluded that the metal transfer showed a predominance of short circuits, an increase in ICC when using the DCEN configuration compared to DCEP and a greater penetration in the weld metal reached with the oxidizing wire with PTFE addition, which has a possible relationship with the greater presence of O in the flux. In addition, the results present an analysis of the performance of the process and the characterization of the beads obtained to guide possible modifications in the parameters.*

Keywords: Underwater Wet Welding, FCAW, bead weld, Experimental wires.