

ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS E GEOMÉTRICAS DO PROCESSO DE SOLDAGEM FCAW-CW.

Ariana Lobato Peixoto, ariana@ufpa.br¹
Fabio Gonçalves da Silva, eng_fgs@yahoo.com.br¹
Junilce Carla da Silva Lobato, junilce@hotmail.com²
Eduardo de Magalhães Braga, edbraga@ufpa.br¹

¹Universidade Federal do Pará - Instituto de Tecnologia – Laboratório de Caracterização dos Materiais Metálicos, Rua Augusto Corrêa - 01 – CEP 66075-110 – Belém – PA – Brasil,

²Instituto Federal do Pará – Departamento de Processos Industriais, Travessa Mariz e Barros - 2220 – CEP 66093-090 – Belém – PA - Brasil

Resumo: *Este trabalho apresenta um estudo experimental das características econômica e geométrica da solda com o uso do processo FCAW-CW (Flux Cored Arc Welding - Cold Wire); entendido como: processo de soldagem arame tubular com adição de arame não energizado ou não eletrodo. Utilizaram-se os processos de soldagem FCAW e o FCAW-CW, sendo utilizados arames consumíveis: sólidos não energizados da classe AWS E70S-6 com diâmetro de 1,0mm, arame tubular (energizado) da classe AWS E71T-1 com diâmetro 1,2 mm; e o CO₂, como gás de proteção com vazão de 15 l/min. A soldagem semi-automática foi realizada, em campo, diretamente nas instalações do estaleiro parceiro do projeto, com fonte convencional ajustada em CC+, no modo tensão constante e interfaceada a um microcomputador. As soldas foram depositadas sobre chapas de aço naval ASTM A 131, em enchimento de chanfros. Para o processo FCAW-CW utilizou-se a adição de arame não energizado, na região do arco elétrico, por um sistema de alimentação auxiliar de arame, um protótipo desenvolvido pelo LCAM-UFPA, com o objetivo de diminuir o peso agregado à tocha. As variáveis de influência foram a velocidade de alimentação do arame eletrodo, VAE, que variou em três níveis (6, 8 e 10 m/min) e a velocidade de alimentação de arame não energizado, VANE, também em três níveis (2, 3 e 4 m/min) combinados com o VAE. Os resultados mostraram elevada produção do processo FCAW-CW em relação ao processo FCAW, sendo assim, a boa performance na elevação das taxas obtidas pelo processo FCAW-CW demonstrou a sua superioridade, com maior evidência no desempenho destas características, em função da adição de arame não energizado ao arco. Pode-se observar a viabilidade operacional do processo de soldagem FCAW-CW para soldagens de enchimento de chanfros e revestimento de superfícies metálicas, associado a simplicidade, custo, economia de tempo e eficiência, mão-de-obra e investimento com equipamentos.*

Palavras-chave: FCAW, FCAW-CW, duplo arame, características econômicas e geométricas.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento ou apenas o aperfeiçoamento de técnicas já existentes de soldagem de ligas de aço para a aplicação na fabricação e manutenção de produtos da indústria naval tornam-se cada vez mais evidentes visando garantir uma maior produtividade com melhoria na relação custo/benefício, assegurando na junta soldada a continuidade das propriedades físicas e químicas, acabamento qualidade.

O processo FCAW (Flux Cored Arc Welding), segundo Quites (2002), segue o paradigma dos processos de alta produção, o que significa: arame fino, alta densidade de corrente, tomada de corrente bem próxima ao arco e controle automático do comprimento de arco. No entanto o arame-eletrodo não é maciço, mas tubular. O fluxo está investido no arame. A forma tubular do arame torna possível alojar no seu interior, em forma de pó fino, todos os elementos necessários para se conseguir:

- a) proteção do arco voltaico contra a ação do ar;
- b) estabilização do arco;
- c) desoxidação da solda (ação do fluxo); e
- d) introdução dos necessários elementos de liga para corrigir a composição química da solda.

O processo oferece duas variações, segundo mostra AWS (1991), que diferem no método de proteção do arco (arames autoprotetidos e com proteção gasosa). No tipo autoprotetido a proteção do metal fundido é feita pela

decomposição e vaporização do fluxo do eletrodo pelo calor do arco. No outro tipo, com proteção gasosa, faz-se uso de um jato de gás protetor em adição à ação do fluxo do eletrodo.

Com o objetivo de atender a carência de recursos humanos qualificados (já que foi necessário treinar o soldador para realizar as soldagens com a técnica FCAW-CW) e novos processos construtivos na fabricação e manutenção de produtos da indústria se faz necessário o crescimento e melhoramento dos inúmeros processos de soldagem e é nesse contexto que foram desenvolvidas as técnicas de soldagem FCAW-CW (Flux Cored Arc Welding – Cold Wire) e GMAW-CW (Gas Metal Arc Welding – Cold Wire). A soldagem com adição de arame frio consiste na utilização do processo duplo arame modificado, com a introdução de um arame frio na atmosfera do arco voltaico gerado na ponta do arame eletrodo (aramé energizado), com proteção gasosa de CO₂ puro. Desta forma, o arame frio se funde em decomposição simultânea com o arame eletrodo na constituição do metal de solda depositado, em coalescimento com o metal de base, para a geração do metal de solda, como mostra Barrozo (2006).

Michie et al (1999), cita que o processo de soldagem com duplo arame foi primeiramente utilizado com o processo de soldagem arco submerso, no final dos anos 1940 e essa técnica foi rapidamente admitida como um método de aumento na produtividade. Na metade dos anos 50 (século XX) essa técnica inovadora foi introduzida no campo da soldagem com proteção gasosa não tendo grandes repercussões. Porém, atualmente estudos realizados e avanços tecnológicos nessa nova vertente do processo de soldagem proporcionam o suporte necessário para a viabilização do FCAW-CW na indústria.

Barrozo (2006), mostra que dentre as possíveis vantagens da soldagem com arame frio sobre outros processos ditos concorrentes como, por exemplo, sobre o GMAW e FCAW, tem-se que a soldagem com uma corrente equivalente ou superior possa possibilitar a obtenção de cordões com maior largura, menor penetração e melhor controle da poça de fusão mantendo, ainda, as altas velocidades de soldagem (produção). O baixo custo do equipamento, a facilidade de adequação às condições de trabalho, são apontados como fatores preponderantes sobre a soldagem FCAW e GMAW. Com relação à soldagem ao arco submerso, a técnica de soldagem em desenvolvimento apresenta a facilidade de manipulação da tocha, ausência de fluxos sólidos (manuseio, conservação e recuperação), soldagem em todas as posições e redução de energia de soldagem.

O objetivo deste trabalho é o de apresentar um estudo da técnica de soldagem FCAW-CW aplicado à indústria, através das análises dos parâmetros geométricos e econômicos, mostrando um comparativo com o processo FCAW convencional, indicando as vantagens e limitações inerentes ao FCAW-CW.

2. MATERIAS E MÉTODOS

2.1. Equipamentos

Para a realização das soldagens, foi desenvolvido um protótipo de suporte de alimentação de arame frio, que acoplado a pistola de soldagem diminuiu o peso agregado à tocha, com isso possibilitando um melhor manuseio desta durante a deposição do metal de adição, tornando possível a utilização deste processo em escala industrial. Este suporte apresentou outras versões que foram utilizadas em trabalhos anteriores nos modos automatizados e semi-automatizados nas soldagens com adição de arame frio, em laboratório, e ao decorrer dos ensaios foram verificadas uma série de adaptações pelas quais este dispositivo passaria até chegar nesta versão atual que foi utilizada nas soldagens pelo processo FCAW-CW, mostrado na Fig. (1).

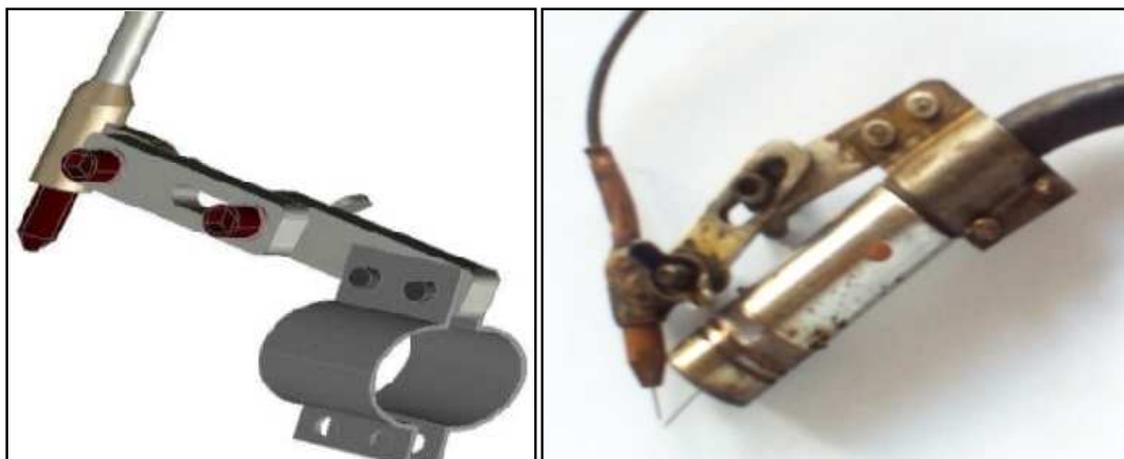


Figura 1. Protótipo do suporte e equipamento real utilizado acoplado a tocha de alimentação de arame frio desenvolvido.

Utilizou-se uma fonte de soldagem com tensão em vazio entre 17 a 55 V e corrente nominal de 400 A, dois sistemas alimentação de arame, uma tocha de soldagem e sistema de proteção gasosa com manômetro fornecidos pela indústria.

2.2. Materiais Utilizados

Em todos os ensaios foram utilizadas chapas de aço baixo carbono ASTM A 131 Grau A, estrutural naval, de 9,5 mm de espessura, como material de base. As chapas foram cortadas em peças de dimensões 300 x 150 mm, pesadas com uma precisão de 10^{-3} gramas e usinadas, apresentando em uma das arestas maiores o ângulo de Bisel de $22,5^\circ$, a formar na junta a soldar um chanfro em “V” com ângulo de 45° , sem nariz e com abertura de fresta de 2,4 mm, a montagem do corpo de prova é representada na Fig.(2).

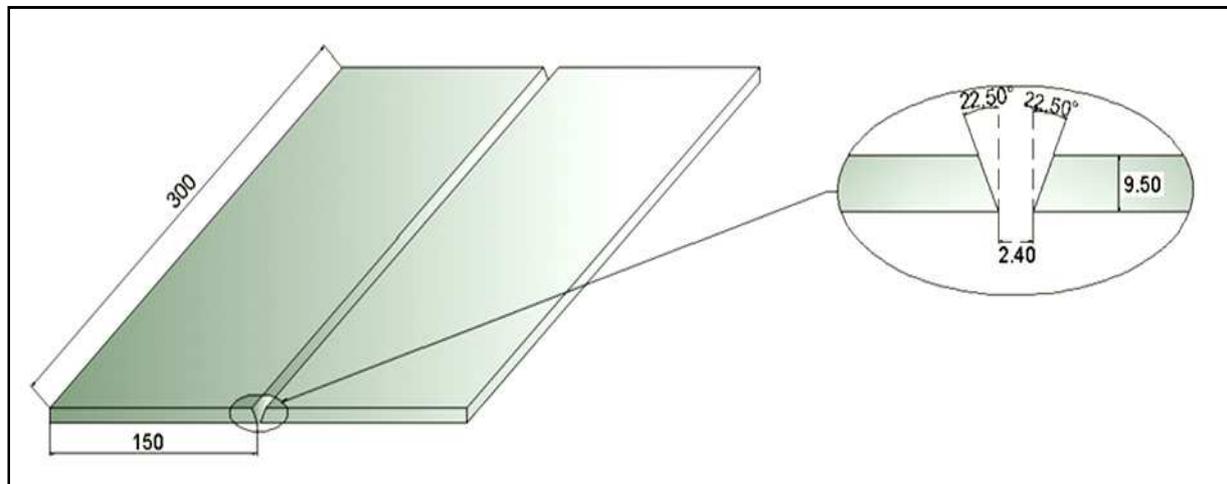


Figura 2. Representação esquemática do corpo de prova.

Os consumíveis utilizados foram: o arame eletrodo AWS E71T-1 com 1,2 mm de diâmetro; para arame frio foi utilizado o arame da classe AWS E70S-6 com diâmetro de 1,0 mm; com proteção gasosa de CO_2 puro. Estes materiais são os mesmos utilizados na indústria de construção naval. A Tab.(1) apresenta a composição química encontrada nos materiais de consumo.

Tabela 1. Composição química do metal de base e do consumível (% peso).

Elementos	C	Mn	Si	P	S
ASTM A 131	0,21	2,5 x C	0,035	0,035	0,040 (max.)
AWS E71T-1	0,04	1,3	0,5	-	-
AWS E70S-6	0,08	1,5	0,9	-	-

2.3. Metodologia Experimental

As soldagens foram realizadas por simples deposição em chanfro, no sentido empurrando na posição plana pelo método semi-automático em dois passes: primeiro o passe de raiz em todos os corpos de prova, este passe foi realizado com arame eletrodo AWS E71T-1 de 1,2 mm em velocidades de 8,5 m/min, com 190 A de corrente e 30 V de tensão e gás CO_2 como proteção na vazão de 15 L/min; Para os passes de enchimento utilizou-se o mesmo arame eletrodo, em três níveis de velocidade de alimentação de arame (6, 8 e 10 m/min) sem e com adição de arame frio da classe AWS E70S-6. Para o processo FCAW-CW foi realizado com adição de arame frio de 1,0 mm de diâmetro, com corrente a 190 A e tensão de 30 V, com proteção gasosa de CO_2 com vazão de 15 L/min, a Tab. (2) apresenta os parâmetros relacionando as velocidade de alimentação dos arames. Os passes de enchimento foram realizados em triplicatas para a condição imposta como forma de treinar o soldador e verificação da regularidade dos parâmetros. O critério de aceitação adotado foi a ausência de defeitos, o acabamento superficial, a baixa quantidade de respingos e a regularidade do cordão de solda.

Tabela 2. Parâmetros de velocidade dos processos FCAW e FCAW-AF.

FATOR	NÍVEIS (m/min)		
Velocidade arame eletrodo, $\phi=1,2$ mm	6,0 (V6)	8,0 (V8)	10,0 (V10)
Velocidade arame frio, $\phi = 1,0$ mm	2,0	3,0	4,0

2.3.1. Características Econômicas do Cordão de Solda

Os valores da taxa de fusão (TF) e de deposição (TD) obtidos a partir das Eq. (1) e (2), mostra Barrozo, respectivamente, foram utilizadas para avaliar as características econômicas dos processos de soldagem em geral. A taxa de fusão representa a massa de arame fundida na unidade de tempo, a taxa de deposição é a massa fundida do consumível realmente incorporada ao metal de solda.

$$TF = 3,6 \left(\rho_1 \frac{l_1}{t_1} + \rho_2 \frac{l_2}{t_2} \right) \quad [\text{Kg. h}^{-1}] \quad (1)$$

Onde: t_1 – tempo do arame eletrodo (s); t_2 – tempo do arame frio (s); ρ_1 – densidade linear do arame eletrodo (g/m); ρ_2 – densidade linear do arame frio (g/m); l_1 – comprimento consumido de arame eletrodo (m) e l_2 – comprimento consumido de arame frio (m).

$$TD = 3,6 \left(\frac{m_f - m_i}{t_M} \right) \quad [\text{Kg. h}^{-1}] \quad (2)$$

$$\text{Sendo: } t_M = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

$$R = \frac{TD}{TF} * 100 \quad [\%] \quad (3)$$

Onde: m_f - massa final da junta depois da soldagem (g); m_i - massa inicial da junta antes da soldagem (g) e t_M – tempo médio (s). Na determinação da diluição foi utilizado a Eq. (4).

$$\delta = \frac{A_1}{A_1 + A_2} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4)$$

2.3.2. Características Geométricas dos Cordões de Solda

As amostras (50 x 10 mm) dos corpos de prova soldados foram seccionadas, Fig. (3), para a análise geométrica do cordão de solda e foram obtidas através da máquina de corte cut-off. O critério utilizado para a posição do corte da amostra, segundo Sábio (2007), foi a de seccioná-la na região central, que se julgava a região do cordão onde o arco, bem como, a transferência metálica estivesse mais estável, observada no oscilograma o comportamento de corrente e tensão durante o processo. Cada amostra foi lixada em uma das secções transversais, em lixas de granulações 120, 180, 220, 320, 400, 600 e 800, e em seguida, atacada com solução de Nital 2%, para a revelação da zona fundida e uma posterior medição dos parâmetros geométricos (largura, reforço, penetração, zona afetada pelo calor e área total fundida). Para esta análise, foi utilizado um equipamento de aquisição de imagens e software comercial para esboçar e sombrear a zona fundida e quantificação geométrica das imagens.

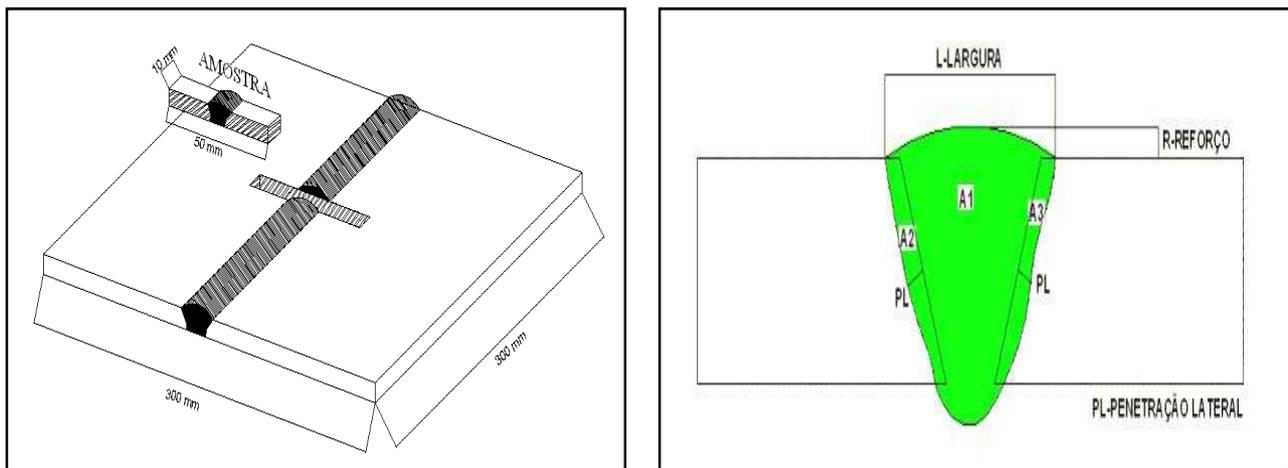


Figura 3. Representação esquemática do corte para a obtenção das amostras e macrografia da soldagem (A1 – material de adição; A2 – zona fundida do material de base, A1 + A2 = cordão de solda).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Fig. 4, apresenta o aspecto superficial dos cordões de solda para o processo de soldagem FCAW convencional com as velocidades de alimentação de arame eletrodo (AWS E71T-1 de $\Phi = 1,2$ mm) de 6; 8 e 10 m/min. Através da análise visual, verificou-se: a ausência de respingos, descontinuidades e defeitos como trincas ou deposição insuficiente; e a regularidade do cordão de solda que se manteve nas referidas condições de soldagem.

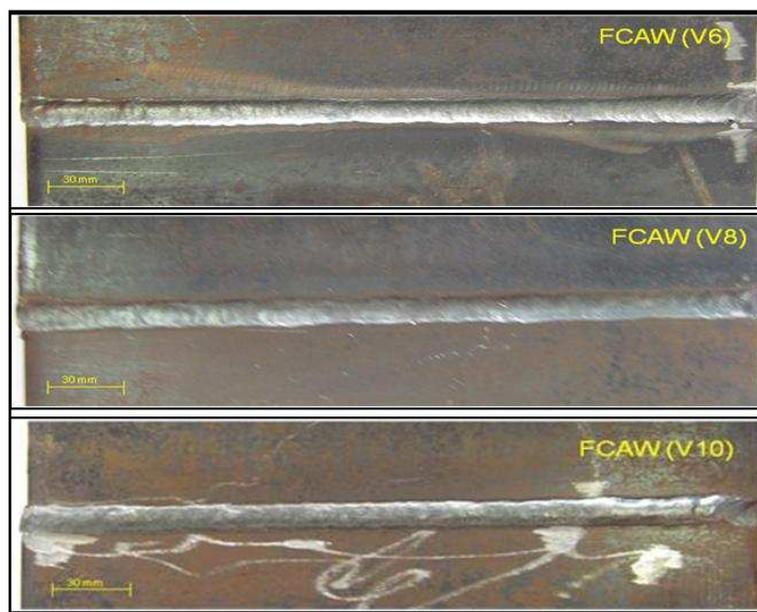


Figura 4. Aspecto superficial do cordão de solda para o processo FCAW, com velocidades de alimentação de arame V6, V8 e V10, respectivamente.

No processo FCAW-CW (1.0 mm) representado pela Fig. 5, na qual se observa o aspecto superficial dos cordões de solda nas seguintes velocidades de alimentação de arame eletrodo/ arame frio de 6/2, 8/3 e 10/4; podemos notar que a qualidade superficial desses cordões se manteve equiparada à do processo convencional, não apresentando descontinuidades ao longo do cordão de solda. Todavia, nas chapas soldadas com o FCAW-CW a incidência de respingos tende a aumentar, segundo Barrozo (2006), com o aumento da velocidade do arame eletrodo. Além apresentar um desalinhamento do cordão e ondulações superficiais irregulares, provocadas possivelmente por procedimentos incorretos no ato da soldagem como é mostrado em Braga (2008).

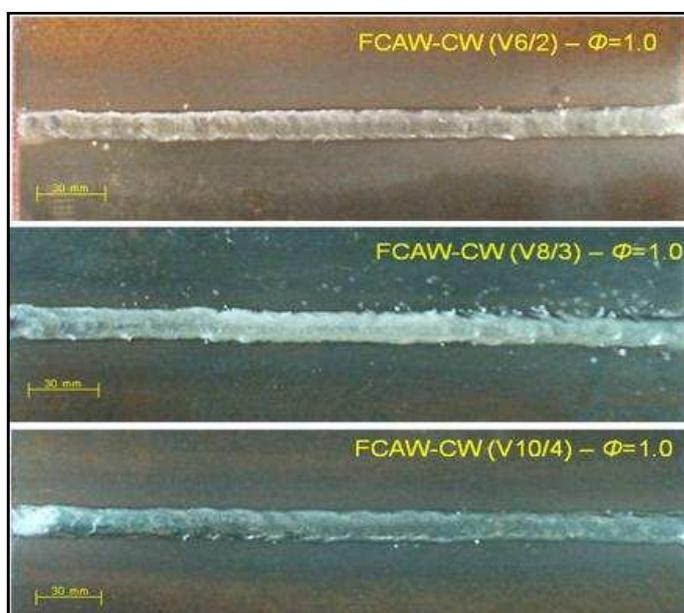


Figura 5. Aspecto superficial do cordão de solda para o processo FCAW-CW, com velocidades de alimentação de arame V6/2, V8/3 e V10/4, respectivamente.

A Tab. (3) apresenta as características geométricas dos processos FCAW convencional e FCAW-CW com adição de arame frio, onde são observadas as variações decorrentes da alteração de velocidade para ambos os casos sem e com influência da adição de um arame frio ao arco elétrico. A diluição manteve-se regular aos dois processos, no qual observou que para os mesmos parâmetros de corrente e tensão durante a soldagem não ocorreram grandes variações.

Tabela 3. Características geométricas dos processos FCAW e FCAW-AF.

Processo	Veloc. arame eletrodo (m/min)	Veloc. do arame frio (m/min)	Características Geométricas			
			Largura (L) (mm)	Reforço (R) (mm)	Penetração Lateral (P_L) (mm)	Diluição (δ) (%)
FCAW	6	-	14,43	2,10	0,44	9,24
	8	-	13,08	0,89	0,42	12,62
	10	-	13,77	0,97	0,37	12,80
FCAW-CW (1.0 mm)	6	2	14,19	1,53	0,72	10,00
	8	3	13,55	1,85	0,65	9,89
	10	4	14,54	0,67	0,75	14,28

A penetração lateral ocorreu de forma irregular em ambos os métodos com forte influencia da técnica de aplicação da soldagem no modo semi-automático com variações na distancia bocal-peça e das ocorrências de salpicagem (respingos) provocando trepidações na tocha de soldagem interferindo na deposição de material.

A Fig.(4) apresenta as variações no reforço e largura do cordão de solda com relação aos processos. Foram observados na largura um decréscimo provocado pela velocidade 6 para 8, seguido de aumento de 8 para 10 m/min, predominando o FCAW-CW (1,0 mm) dos valores mais altos. No reforço médio, observamos que FCAW-CW (1,0) se comporta de forma inversa em todas as variações de velocidade com relação ao FCAW convencional. Quanto à diluição, os processos apresentaram ganhos percentuais significativos, mas somente o FCAW-CW (1,0) em 8 m/min proporcionou um valor percentual negativo, quando comparado com 6 m/min, como se verifica na Fig.(5).

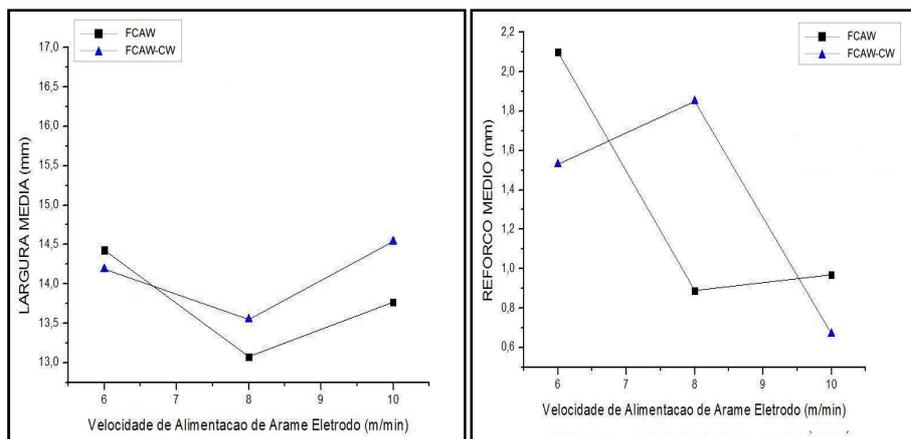


Figura 6. Características geométricas da largura e reforço do cordão de solda dos processos FCAW e FCAW-CW.

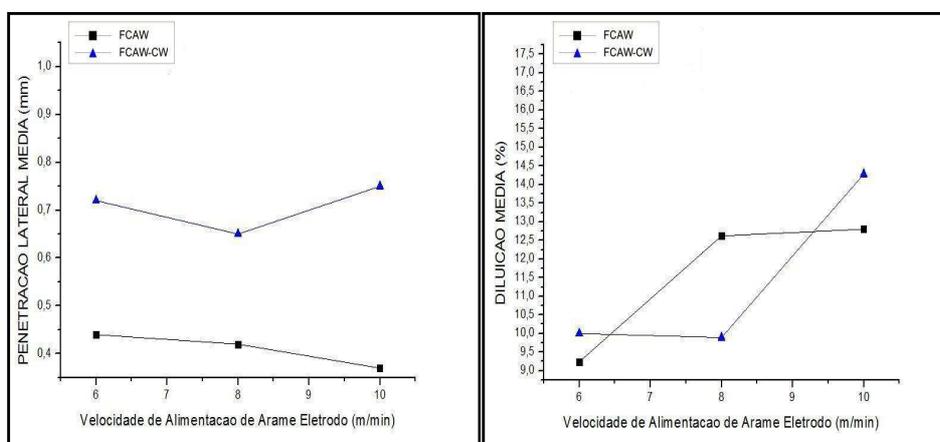


Figura 7. Características geométricas da penetração lateral e diluição do cordão de solda dos processos FCAW e FCAW-CW.

Na avaliação das características econômicas, a Tab. (4) apresenta os resultados das Taxas de Fusão e de Deposição, das quais se apresentaram satisfatórias ao processo FCAW-AF com taxas de fusão e deposição superiores as do modo

FCAW convencional em todos os comparativos de velocidade. Isto é devido à maior quantidade de material pela adição de arame frio na atmosfera de arco voltaico do arame eletrodo.

Tabela 4. Características econômicas dos processos de soldagem FCAW e FCAW-AF.

Processo	Velocidade do arame eletrodo (m/min)	Velocidade do arame frio (m/min)	Características econômicas		
			TF (kg/h)	TD (kg/h)	R (%)
FCAW	6	-	5,95	4,04	67,80
	8	-	6,78	6,30	82,89
	10	-	7,60	6,06	83,00
FCAW-CW (1.0 mm)	6	2	6,67	4,56	68,80
	8	3	7,86	6,20	78,98
	10	4	9,03	6,66	73,77

As taxas de fusão e deposição apresentadas na Fig.(6) mostram que o processo FCAW-AF proporciona maiores vantagens de aplicação quando comparado com o processo convencional.

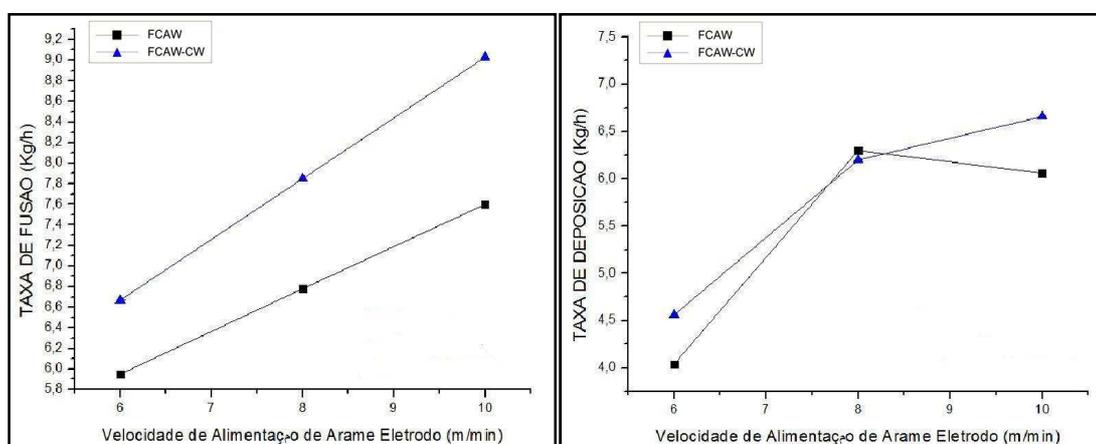


Figura 8. Efeito da taxa de fusão e taxa de deposição na velocidade de alimentação de arame eletrodo.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos nas condições realizadas neste trabalho as principais conclusões são:

- A utilização adicional de um arame frio ao processo FCAW (FCAW-CW) proporcionou a obtenção de cordões de solda com excelentes aspectos visuais, similares as obtidas no processo FCAW já consolidado na indústria naval;
- Pela análise visual dos cordões depositados pelo processo FCAW-CW, nota-se que o aumento na velocidade dos arames tende a diminuir o reforço das soldas, onde há maior incidência de respingos;
- Não se verificou em nenhum dos processos de soldagem a presença de defeitos, tais como, mordeduras e/ou trincas, no entanto, a inclusão de escória presente condiciona a favorável aplicação do processo FCAW-CW em dois níveis de velocidade de alimentação de arame eletrodo com o arame frio de 1,0 de diâmetro, conforme apresentado;
- Para a velocidade de 6m/min verificou-se um aumento no rendimento de deposição para o processo FCAW-CW em relação ao convencional;

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao estaleiro Rio Maguari, pelo fornecimento dos materiais consumíveis e por disponibilizar o local para o desenvolvimento do projeto.

6. REFERÊNCIAS

- AWS, American Welding Society, 1991, "Welding Handbook – Welding Processes", vol.2; 8ª edição, USA, 955 p.
- Barrozo, T. S., 2006, "Estudo da Soldagem FCAW com Arame Frio". Trabalho de Conclusão de Curso – TCC, Universidade Federal do Pará, Pará.
- Braga, E. M., 2008, "Aspectos sobre Descontinuidades em Juntas soldadas". Apostila do Curso de Metalurgia da soldagem e Tópicos em Processos de Fabricação – Universidade Federal do Pará, Pará, 4 p.

- Michie, K, Blackmas S., Ogunbiyi T. E. B., 1999, “Twin-Wire GmAW: Process Characteristics and Applications”, Welding Journal, AWS.
- Quites, A.M., 2002, “Introdução à Soldagem a Arco Voltaico”, Soldasoft, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 281 p.
- Sábio, A.D., 2007, “Estudo da Viabilidade Operacional do Processo MAG com Arame Frio”. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará, Pará.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

STUDY OF THE ECONOMIC CHARACTERISTICS AND GEOMETRIC OF THE WELDING PROCESS FCAW-CW.

Ariana Lobato Peixoto, ariana@ufpa.br¹
Fabio Gonçalves da Silva, eng_fgs@yahoo.com.br¹
Junilce Carla da Silva Lobato, junilce@hotmail.com²
Eduardo de Magalhães Braga, edbraga@ufpa.br¹

¹Federal University of Para - Institute of Technology –Characterization of the Materials Metallic Laboratory, Street Augusto Corrêa - 01 – Zip code 66075-110 – Belém – PA – Brazil,

²Federal Institute of Para – Department of Processes Industrial, Bystreet Mariz e Barros - 2220 – Zip code 66093-090 – Belém – PA - Brazil

Abstract.: *This paper present an experimental study of the economic characteristics and geometric of the weld using the procedure CW-FCAW (Flux Cored Arc Welding - Cold Wire), understood as the process Flux Cored Arc Welding with the addition of non-electrode or non-energized wire. It was used welding processes FCAW and the FCAW-CW, being used consumables wire: solid non-energized class AWS E70S-6 with a diameter of 1.0 mm, cored wire (energized) class AWS E71T-1 with diameter 1.2 mm, and CO₂ as the shielding gas with a flow rate of 15 l / min. The process semi-automatic welding was carried out in the field, directly on the premises of the shipyard project partner, the conventional source set to CC , the constant voltage mode and interfaced to a microcomputer. The welds were deposited on steel plates naval ASTM A 131, filling in chamfer. For the process FCAW-CW used the addition of wire not energized, in the electric arc, by a system of auxiliary feed wire, a prototype developed by Icam-UFPA, with the aim of reducing the weight aggregate attached to the torch. The variables of influence were feeding speed of wire electrode, VAE, which varied in three levels (6, 8 and 10 m / min) and feed speed of wire is not energized, VANE, on three levels (2, 3 and 4 m / min) combined with the VAE. The results showed high production of CW-FCAW process in connection with the FCAW, so good performace at high rates obtained by the FCAW-CW showed their superiority, most obviously in the performance of these features, depending on the addition of not energized wire to the arc. We can observe the operational viability of the FCAW-CW welding process for welding illing grooves and coating of metal surfaces, combined with simplicity, cost, time savings and efficiency, manpower and equipment investment.*

Keywords: FCAW, FCAW-CW, double wire, economic characteristics and geometric.