

AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS EMPURRANDO/PUXANDO E COM TECIMENTO TRANSVERSAL NA SOLDAGEM SAW VISANDO APLICAÇÕES DE REVESTIMENTO

Luiz Felipe Fantoni¹

Julio Luiz Henrique Silva²

Tiago Vieira da Cunha³

Universidade Federal de Santa Catarina, CTJ, Rua Dona Francisca, 8300 – Bloco U – Zona Industrial Norte, Joinville.

luizfantoni05@gmail.com ¹ julio.luizhsilvaa@gmail.com ² t.cunha@ufsc.br ³

Resumo: O processo de soldagem a Arco Submerso ou Submerged Arc Welding (SAW) é muito utilizado na indústria naval por se tratar de um processo com elevadas densidades de corrente implicando em elevadas taxas de deposição, dificilmente encontradas em outros processos. Em pesquisas bibliográficas realizadas na literatura, percebe-se uma carência de estudos sobre o processo SAW sendo aplicado através das técnicas puxando/empurrando e de tecimento transversal, técnicas essas muito difundidas em outros processos de soldagem como o GMAW. Com base nisso busca-se neste trabalho compreender os efeitos dessas técnicas aplicadas ao processo SAW com o intuito de atingir parâmetros e condições adequadas que permitam a realização de uma soldagem de revestimento, aproveitando assim a alta produtividade e qualidade do processo. Neste contexto, os ensaios de soldagem foram realizados em três etapas. A primeira, avaliando o ângulo de ataque na técnica de soldagem empurrando/puxando para diferentes velocidades de alimentação de arame. A segunda associando a técnica empurrando com a oscilação transversal da tocha em diferentes amplitudes de tecimento e, por fim, a análise do posicionamento da tocha de soldagem na deposição de cordões adjacentes com o objetivo de realizar o recobrimento de uma área visando uma aplicação de revestimento. O desenvolvimento deste estudo revelou que, se comparado com a técnica puxando, a aplicação da técnica de soldagem empurrando apresenta um incremento na largura dos cordões e redução na penetração e reforço em concordância com a literatura para outros processos de soldagem também de eletrodo consumível. Ao comparar com a soldagem perpendicular, a técnica empurrando com ângulo de ataque de 70° apresentou uma redução na diluição de 7%. A combinação da técnica empurrando à técnica de tecimento, resultou numa redução de até 14% na penetração, 29% na área penetrada e 6% na diluição para a amplitude de tecimento de 35 mm. Por fim, para as condições experimentais empregadas, o posicionamento da tocha de soldagem equidistante em 30 mm foi a mais adequada para a aplicação de revestimento pois apresentou um reforço de dimensão homogênea ao longo da seção transversal e ao mesmo tempo teve impacto pouco significativo na penetração na região de sobreposição dos cordões.

Palavras-chave: SAW; Técnica puxado/empurrando; Tecimento transversal; Morfologia dos Cordões; Revestimento.

1. INTRODUÇÃO

A soldagem a Arco submerso, ou Submerged Arc Welding (SAW), é um processo de união de metais largamente empregado na soldagem de chapas de grande espessura, que por ser um processo onde tipicamente são empregados elevados valores de corrente de soldagem e grande quantidade de deposição de material, possibilita uma maior penetração do cordão de solda no metal base (Marques et al., 2005). Uma das suas principais características é a presença do fluxo, que protege a poça de fusão envolvendo o arco elétrico e impossibilitando o contato da mesma com o ar atmosférico durante a soldagem, resultando em um cordão de bom acabamento superficial. Comparado com outros processos de soldagem, o processo SAW contém características relevantes visando uma soldagem de revestimento, sendo elas uma alta taxa de deposição, alta eficiência na fusão de material e a fácil automatização do processo (Lu et al., 2004).

O revestimento por soldagem tem como objetivo reforçar ou recuperar a superfície de um material metálico, alterando suas propriedades metalúrgicas superficiais e prolongando, assim, sua vida útil. Para tanto, as características geométricas desse revestimento visam uma baixa penetração, baixa diluição e uma elevada largura de cordão, possibilitando uma ampla cobertura da superfície com um menor número de passes. Contudo, a aplicação da soldagem SAW convencional em revestimento, encontra dificuldades em alcançar esses parâmetros, levando em consideração as elevadas densidades de corrente típicas deste processo que levam a uma maior penetração. Para contornar essa situação, diferentes técnicas operacionais vêm sendo estudadas, sendo algumas delas: utilização do eletrodo em forma de fita; Técnica puxando/empurrando; Técnica de tecimento transversal e entre outras.

O emprego de diferentes ângulos de ataque é uma técnica utilizada para modificar as características geométricas do cordão de solda, técnica essa que já vêm sendo estudadas nos processos de soldagem GMAW e arame tubular (FCAW) a muitos anos. Neste contexto, Resende e Scotti (2015) investigaram a influência do ângulo de posicionamento da tocha

nas características dos cordões de solda produzidos com o processo “Plasma-MIG” com arcos concêntricos. Para tal, foram realizadas soldagens de simples deposição sobre chapa (“bead-on-plate”) utilizando um arame-eletrodo de aço carbono AWS ER70S-6 de 1,2 mm de diâmetro e os ângulos de ataque, com referência o plano vertical, de 0°, 15° puxando e 15° empurrando. Os resultados evidenciaram que ao posicionar a tocha utilizando a técnica empurrando, cordões de solda de maior largura foram produzidos com um incremento de até 15%. Entende-se que tal resultado seja consequência da posição da tocha, quando empurrando, favorecer um pré-aquecimento do metal base à frente da poça fundida. Por outro lado, foram obtidas maiores penetrações com a técnica puxando, efeito que pode ser justificado pelo fato de o jato de plasma empurrar a poça fundida para trás, de tal forma que o aquecimento da chapa pelo acoplamento do arco com a peça se torna mais eficiente, agindo mais no fundo da poça. Não obstante, Kannan e Murugan (2006) concluíram que o aumento do ângulo de ataque na técnica empurrando implementada na soldagem FCAW resulta numa grande largura de cordão de solda com pequena penetração, diluição e altura de reforço. Resultados similares foram obtidos, com relação a penetração e largura, por Lopes et al. (2017) ao avaliar o efeito do ângulo de ataque variando de 0°, 15° e 30° empurrando na soldagem GMAW com transferência metálica goticular, onde com o aumento do ângulo empurrando resultou em um aumento da largura e diminuição da área penetrada dos cordões de solda.

Da mesma forma que a técnica puxando/empurrando, a técnica de oscilação transversal do arco também é muito difundida no processo de soldagem GMAW. Neste contexto, Tasalloti et al. (2013) investigaram o emprego da técnica de tecimento e diferentes tipos arames-eletrodo na qualidade da microestrutura e microdureza de cordões de solda filete. Os resultados evidenciaram uma diminuição da diluição dos cordões de solda quando aplicada a técnica de tecimento. Resultados semelhantes, com relação a diluição, foram obtidos por Pessoa et al. (2010) que analisou a influência do uso da técnica de tecimento na soldagem GMAW com transferência metálica por curto-circuito, obtendo uma diminuição da diluição de aproximadamente 7% quando empregada a técnica de tecimento triangular com valores de tensão de arco 20 V e velocidade de alimentação de arame de 7 m/min. Neste mesmo âmbito, o autor Lara et al. (2020) obteve cordões de solda com redução de 37% de reforço e de até 60% de penetração ao aplicar a oscilação transversal no processo GMAW. Por outro lado, com relação a diluição, os autores obtiveram um incremento de até aproximadamente 16% de área diluída quando aplicada a técnica de oscilação transversal triangular.

Os poucos trabalhos encontrados na literatura que associam a técnica de tecimento com a soldagem SAW são oriundos de desenvolvimento realizados pelo grupo de pesquisa dos presentes autores. Cunha e Ribeiro (2018) investigaram a viabilidade da aplicação da técnica de tecimento na soldagem SAW analisando a morfologia dos cordões de solda ensaiados com diferentes amplitudes (10, 20 e 30 mm) e frequência de 1 Hz. Os autores obtiveram um aumento de até 78% na área fundida e 13% na diluição com a amplitude de 20 mm em relação àquelas obtidas sem tecimento e avaliaram que a técnica de tecimento é viável na soldagem SAW já que o movimento transversal não gerou instabilidade no processo e os cordões de solda não apresentaram inclusão de escória. Recentemente, Rode (2020) realizou ensaios de soldagem SAW aplicando a técnica de tecimento com conjunto arame-fluxo AWS F48A2-EM12K, com bitola de arame de 2,4 mm, velocidade de soldagem de 30cm/min para diferentes amplitudes (0 a 40 mm) e frequência (0,6 a 1,6 Hz) de tecimento. Para as condições ensaiadas a autora obteve um ganho de 340% na área fundida ao comparar o cordão de maior amplitude com um cordão de soldagem SAW linear. Além disso, o aumento da frequência de tecimento resultou em uma melhor distribuição superficial de material depositado e uma redução de 22% na penetração e 13% área fundida. Sobre a diluição, a autora evidenciou um aumento de até 23% de diluição.

Com objetivo de obter cordões de solda com menores valores de diluição, baixa penetração, maior distribuição superficial e o menor valor de relação entre Reforço/Largura, o presente trabalho tem por objetivo avaliar, a partir da configuração convencional de soldagem SAW, os efeitos do ângulo de ataque da tocha, considerando as técnicas puxando/empurrando, associada a técnica de tecimento visando aplicações de revestimento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Com objetivo de investigar os efeitos do ângulo de ataque da tocha e a implementação da técnica de tecimento, visando uma aplicação de revestimento pelo processo de soldagem SAW, os ensaios de soldagem foram estruturados em três grupos, conforme segue:

- Ensaios de soldagem com diferentes ângulos de ataque;
- Ensaios de soldagem utilizando a técnica de tecimento associada ao ângulo de ataque;
- Ensaios de soldagem de sobreposição de cordões;

Para a execução dos ensaios de soldagem, foi utilizada a bancada de arco submerso do Laboratório de Tecnologia da Soldagem (LTS), mostrada na Fig. 1, constituída por um dispositivo de deslocamento de tocha (1), que possibilita a movimentação em dois eixos (Fig.1 a), apoiado em uma bancada (2) onde é posicionado o corpo de prova. Foi conectada uma fonte DigiPlus A7 (3) em paralelo à outra fonte de soldagem de modelo Digitec 450 (4), permitindo assim uma corrente de soldagem de até 900 A e, para a aquisição de dados do processo, foi utilizado o SAP V4 que realiza a leitura instantânea das variáveis do processo.

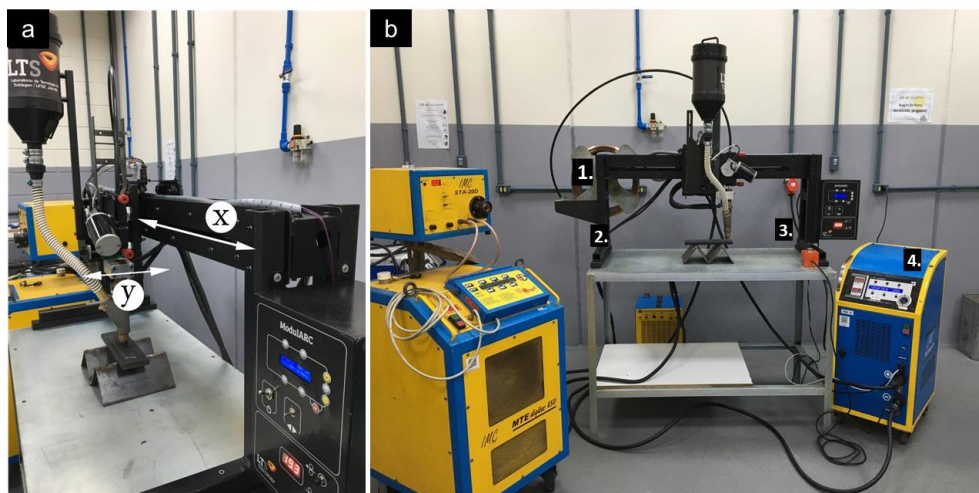


Figura 1. Tocha (a) e Bancada (b) de soldagem SAW do LTS

Foram realizados ensaios de soldagem de simples deposição sobre chapa (“bed-on-plate”) tendo como material base o aço ASTM A36 de espessura 15,8 mm, com dimensões de 250x76 mm. O conjunto arame-fluxo utilizado foi o AWS F7A6 – EM12K, com arame-eletrodo de bitola de 2,4 mm. O fluxo foi previamente aquecido a uma temperatura de 300°C por 2 horas, como consta nas instruções da norma AWS D1.1 M:2008.

Com relação as condições de soldagem, a fonte de soldagem utilizada opera em modo tensão constante, e utilizou-se como parâmetros fixos a tensão de arco de 30 V e velocidade de soldagem, no eixo x, de 30 cm/min, a distância entre o bico de contato e peça (DBCP) de 25 mm e o diâmetro do bocal da tocha de soldagem de 29,5mm.

No primeiro grupo de ensaios, foram realizados 10 cordões de solda com as velocidades de alimentação de arame (V_a) de 1,5 e 3,6 m/min alterando entre a técnica puxando e empurrando com os ângulos de 70°, 80° e 90°, onde o ângulo de 90 graus é referente a posição perpendicular da tocha com relação ao corpo de prova. A tabela 1, apresenta os diferentes ensaios de soldagem realizados no grupo 1 e 2 com seus respectivos seus parâmetros e variáveis. A energia de soldagem (E_s) apresentada, é um dos parâmetros calculados com base a aquisição de dados, que leva em consideração a tensão de arco, corrente (instantâneos) e velocidade de soldagem.

Tabela 1. Parâmetros utilizados para os ensaios de soldagem dos grupos 1 e 2

Grupo 1				Grupo 2				
Ensaio	Ângulo de ataque	Parâmetros		Ensaio	Ângulo de ataque	Amplitude de Tecimento	Parâmetros	
		V_a (m/min)	E_s (kJ/cm)				V_a (m/min)	E_s (kJ/cm)
1	90°	1,5	18,5	10-90-1,5	90°	10	1,5	17,8
2	90°	3,6	34,4	10-70-1,5	70°E	10	1,5	18,5
3	80°E	1,5	18,1	25-90-1,5	90°	25	1,5	-
4	80°E	3,6	34,5	25-70-1,5	70°E	25	1,5	-
5	80°P	1,5	18,2	25-90-3,6	90°	25	3,6	34,4
6	80°P	3,6	35,1	25-70-3,6	70°E	25	3,6	32,6
7	70°E	1,5	18,9	35-90-3,6	90°	35	3,6	34,4
8	70°E	3,6	32,8	35-70-3,6	70°E	35	3,6	31,9
9	70°P	1,5	18,3					
10	70°P	3,6	33,6					

Na sequência, foram realizados 8 ensaios de soldagem utilizando a técnica de tecimento associada ao ângulo de ataque 70° empurrando e 90° perpendicular. As variáveis do processo foram as mesmas utilizadas na etapa anterior, com o acréscimo da frequência fixa em 1 Hz e amplitude de tecimento, como mostradas na tabela 1. Para facilitar a identificação dos ensaios, foi estabelecida nessa etapa uma nomenclatura composta pelas variáveis envolvidas, amplitude - ângulo de ataque – V_a . Por exemplo: “10-90-1,5” refere-se ao ensaio realizado com a amplitude de 10 mm, ângulo de ataque de 90° perpendicular e velocidade de arame de 1,5 m/min.

O terceiro grupo de ensaios de soldagem tem como objetivo conferir a viabilidade da implementação de cordões de solda sobrepostos para caracterizar uma soldagem de revestimento. Ao todo foram realizados 6 cordões de solda em corpos de prova de 110 mm de largura e espessura de 15,8 mm, com deposição de cordões adjacentes de amplitude de 35 mm e utilizando a mesma tensão de arco, DBCP e diâmetro de bocal das etapas anteriores. Nestes ensaios, empregou-se a técnica empurrando com ângulo de 70° e, afim de verificar qual distância resulta em um revestimento efetivo, foram pré-definidas 3 distâncias entre centro de cordões, como ilustrado na fig. 2.

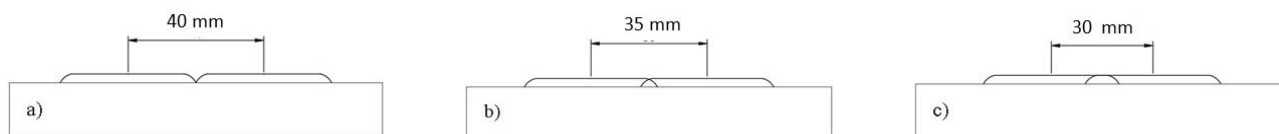


Figura 2. Ilustração esquematizando as distâncias centro dos cordões de 40 mm (a), 35 mm (b) e 30 mm (c)

Após a realização dos ensaios de soldagem, afim de obter três amostras para análise, os cordões de solda foram cortados transversalmente em três pontos, evitando as áreas de início e fim considerando que essas comumente apresentam instabilidade do arco voltaico durante sua abertura e fechamento. As amostras foram embutidas em resina e passaram pelo processo de lixamento superficial, onde foram utilizadas lixas com granulometria de 80 até 600. Em seguida, realizou-se o ataque químico utilizando Nital 4% afim de revelar nas amostras as regiões de interesse para análise da geometria resultante dos cordões de solda. Posteriormente, foram capturadas imagens da seção transversal dos cordões de solda que possibilitaram a análise de suas características morfológicas como largura (L), penetração (P), reforço (R), diluição e área fundida foram medidos, como mostrado na Fig. 3 a seguir. Em todas as etapas foram analisadas três amostras de cada cordão de solda e a partir desses resultados foram calculados seus respectivos erros padrões.

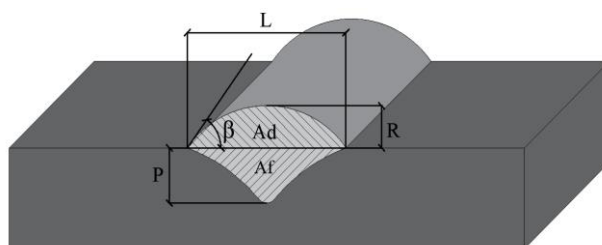


Figura 3. Características morfológicas de um cordão de solda

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Ensaios de soldagem com diferentes ângulos de ataque (Grupo 1 de ensaios)

A Figura 4 apresenta as secções transversais dos cordões obtidos para diferentes a velocidades de alimentação de arame de 1,5 m/min (a) e 3,6 m/min (b) e ângulos de ataque.

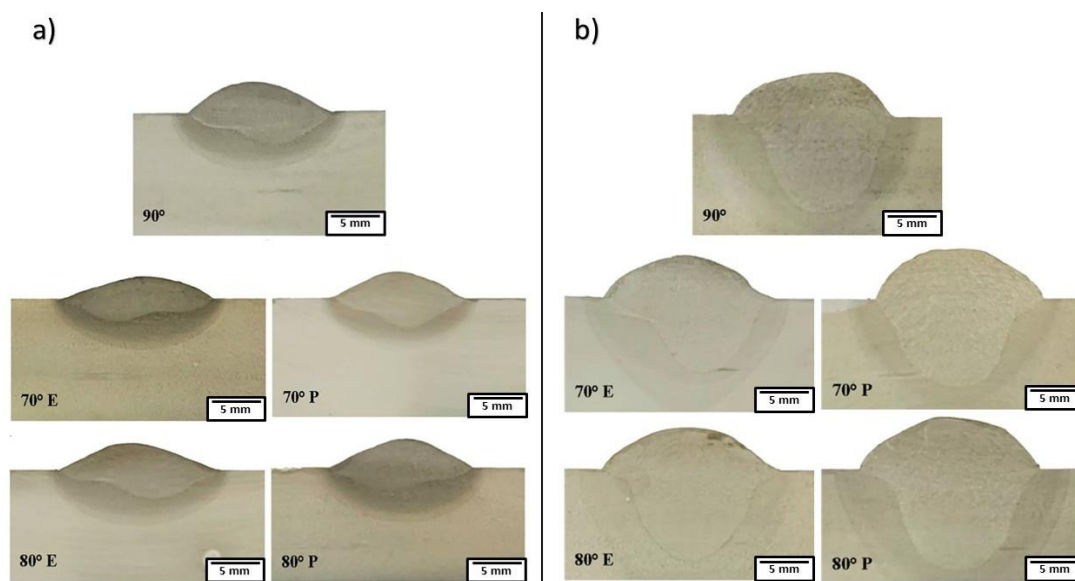


Figura 4. Seções transversais dos cordões de solda resultantes da variação do ângulo de ataque para uma velocidade de alimentação de arame de 1,5 m/min (a) e 3,6 m/min (b).

Com base nas medições e imagens realizadas, observou-se coerência entre os resultados obtidos com aqueles presentes na literatura, onde para ambas as velocidades de arame, quando há variação do ângulo de ataque de 70°E para 70°P, observa-se a redução da largura dos cordões de solda. Conforme apresenta a Figura 5, para a velocidade de alimentação

de arame de 1,5 m/min foi obtida uma redução de 16% da largura dos cordões quando comparamos a inclinação de 70°E e 70°P. De mesmo modo, para velocidade de alimentação de arame de 3,6 m/min reduziu-se em aproximadamente 11% a largura dos cordões.

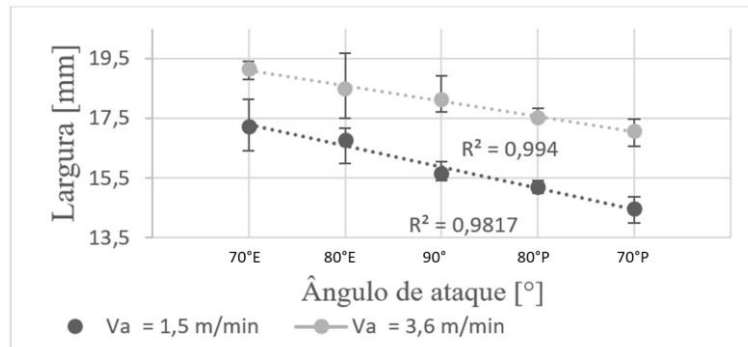


Figura 5. Relação entre a largura dos cordões em função do ângulo de ataque

Este resultado está de acordo com aqueles obtidos por Resende e Scotti (2015) na soldagem Plasma-MIG, onde foram obtidos cordões de solda com maior largura utilizando a técnica empurrando. A hipótese de Resende e Scotti (2015) sobre o pré-aquecimento provocado pelo arco, pode explicar a redução mais acentuada da largura dos cordões de solda produzidos com velocidade de alimentação de 1,5 m/min, levando em consideração que nos ensaios de menor velocidade de arame temos uma menor energia de soldagem agindo, logo, o pré-aquecimento da chapa é menos significativo. Com um incremento de aproximadamente 18% de largura quando aplicada a técnica empurrando, chegamos a um resultado próximo ao dos autores citados anteriormente, que obtiveram 15%.

Recentemente Hirata (2014) descreveu que a utilização da técnica puxando na soldagem GMAW produz um deslocamento do metal fundido localizado entre o material base e o arco voltaico, resultando em uma melhor eficácia na transferência de calor para o material base. Portanto, a técnica atinge menores larguras e maiores valores de penetração, justificando os resultados obtidos na figura 5 e 6.

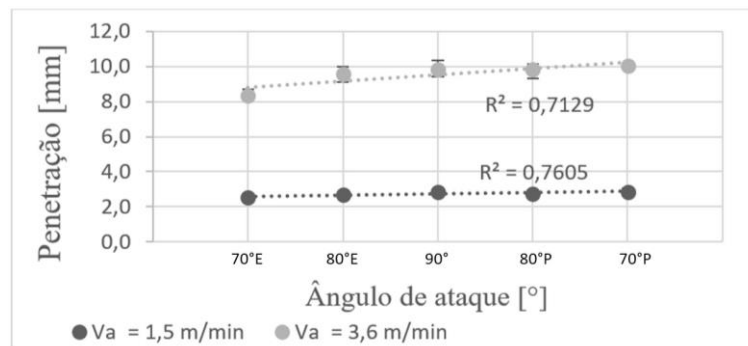


Figura 6. Relação entre a penetração dos cordões em função do ângulo de ataque

Os resultados obtidos na Fig. 6 corroboram de forma análoga as informações presentes na literatura para outros processos de soldagem, no qual a técnica empurrando apresenta menor penetração em relação a técnica puxando. A partir dos resultados obtidos verifica-se um aumento de 16% na penetração entre os ângulos de 70°E e 70°P para a velocidade de alimentação de arame de 1,5 m/min, enquanto que para a velocidade de alimentação de 3,6 m/min obteve-se um acréscimo de 19%. Como citado anteriormente, acredita-se que tal característica seja consequência da soldagem puxando favorecer a dissipação do calor gerado, assim, levando calor mais ao fundo do material base e possibilitando uma maior penetração.

Ao analisarmos o gráfico que correlaciona o ângulo de ataque com o reforço (R), representado na Fig. 7, observa-se uma tendência de crescimento do reforço quando o ângulo de ataque varia de empurrando para puxando, condição que acontece em ambas as velocidades de arame. Para a menor velocidade de arame ensaiada (1,5 m/min), obteve-se um incremento de 21% no reforço, enquanto que para a maior (3,6 m/min) este aumento foi de aproximadamente 13%. Em ambos o ângulo de inclinação da tocha variou de 70°E para 70°P.

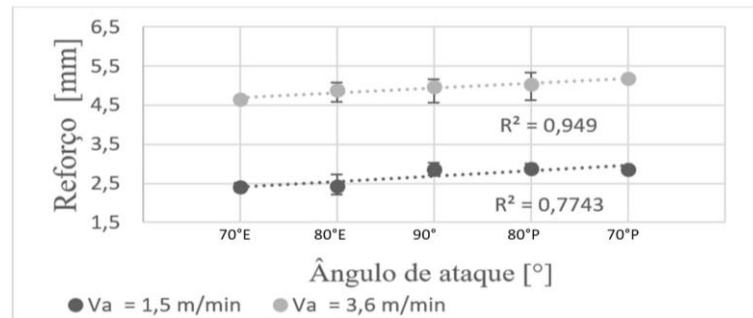


Figura 7. Relação entre o reforço dos cordões em função do ângulo de ataque

Conforme esperado, os resultados obtidos referente ao reforço apresentam comportamento diretamente oposto ao da largura do cordão, ou seja, para uma mesma velocidade de alimentação de arame, os cordões possuem o mesmo volume e, portanto, uma diminuição na largura do cordão implica em um aumento de seu reforço.

Outras características relevantes, quando diz respeito a soldagem de revestimento. A área depositada média (A_d) obtida com a velocidade de alimentação de 1,5 m/min, para todas as condições, foi de aproximadamente 25,9 mm², já para a V_a de 3,6 m/min obteve-se 62 mm². Sendo assim, existe uma concordância com relação aos resultados, uma vez que houve um aumento de 240% na velocidade de alimentação de arame, consequentemente, temos um aumento de 239,4% na área depositada. Com relação a área penetrada (A_f), a média de ensaios para velocidade de alimentação de arame de 1,5 m/min foi de 26,4 mm², enquanto para a velocidade de alimentação de arame de 3,6 m/min a média resultou em 99,5 mm², representando um aumento de 376% que é superior ao apresentado pela energia de soldagem que foi 185%.

Analisando o balanço envolvido entre a velocidade de alimentação de arame e a corrente de soldagem nota-se que nos cordões de solda utilizando ângulo de ataque de 90° o aumento percentual da velocidade de alimentação de arame de 1,5 m/min para 3,6 m/min foi de 240%, enquanto o aumento da corrente média foi de 188%. Já para o ângulo de ataque de 70° empurrando, a corrente média foi de 317 A para 557 A, resultando em um aumento percentual de 75%, o que representa um desbalanceamento de 7,5% no que diz respeito a relação de velocidade de alimentação de arame com a corrente de soldagem. Por outro lado, o ângulo de ataque de 70° puxando obteve o mesmo incremento de corrente de soldagem obtido pelo ângulo perpendicular, não apresentando alteração nesta relação.

Nos cordões de solda analisados, somente para as condições com velocidade de alimentação de arame de 3,6 m/min foram observadas variações na molhabilidade (β), caracterizando um aumento desta com a variação da técnica empurrando para a puxando. Esse comportamento, pode ser consequência da menor velocidade de arame possuir uma energia de soldagem relativamente mais baixa, sendo dissipada mais facilmente pelo corpo de prova. A Figura 8, apresenta o comportamento de diluição semelhante ao apresentado pelo gráfico referente a penetração, na Fig. 6, resultado já esperado, uma vez que quanto maior a penetração maior será a área penetrada.

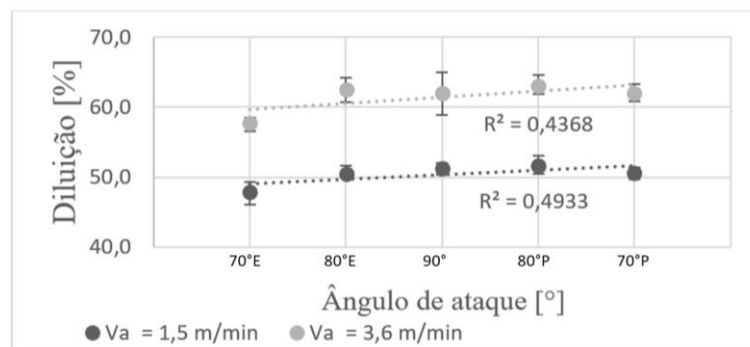


Figura 8. Relação entre a diluição dos cordões em função do ângulo de ataque

Com relação a diluição, para uma velocidade de alimentação de 1,5 m/min obteve-se uma redução 7% ao alterar da soldagem perpendicular para a 70°E, acontecendo de forma análoga para a velocidade de 3,6 m/min. Lopes et al. (2017) constataram a mesma condição de aumento percentual de diluição quando a soldagem GMAW varia da técnica empurrando para a puxando.

3.2 Ensaios de soldagem utilizando a técnica de tecimento associada ao ângulo de ataque (Grupo 2 de ensaios)

Neste grupo de ensaios foram realizados cordões de solda com aplicação da técnica de tecimento, para diferentes amplitudes, associada ao ângulo de inclinação de tocha na posição perpendicular (90°) e empurrado (70°), como apresentados na Fig. 9. Na primeira condição, foram produzidos dois cordões de solda um a 90° e outro 70°E, com

amplitude de 10 mm e Velocidade de alimentação de arame de 1,5 m/min. Os cordões apresentaram bom acabamento superficial e nenhuma inclusão de escória, como mostra a Fig. 9a.

Na segunda condição utilizou-se uma amplitude de 25 mm e velocidade de alimentação de arame de 1,5 m/min, com a tocha perpendicular e 70° empurrando. O cordão de solda, resultado de tais condições, apresentou falta de deposição de material ao longo do mesmo, por consequência foi desconsiderado no estudo. Essa característica pode ser explicada se for considerado que com o aumento da amplitude temos uma maior área para ser soldada e a velocidade de arame de 1,5 m/min não forneceu a quantidade necessária de metal de adição para preencher a área total determinada.

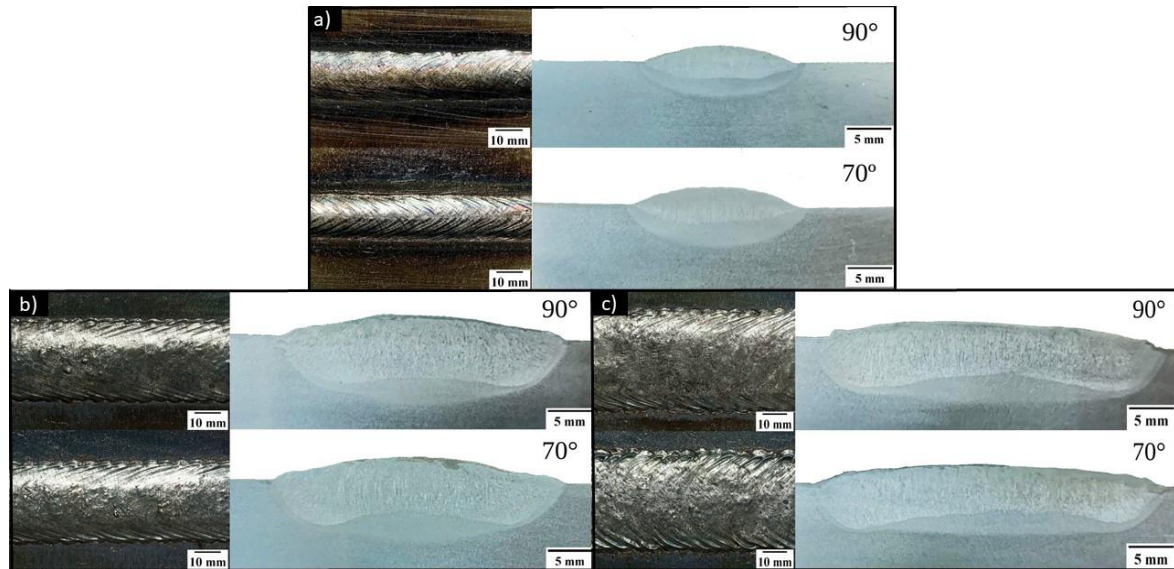


Figura 9. Imagens das seções transversais e superiores dos cordões de solda produzidos com tecimento usando amplitudes de 10 mm(a) 25 mm (b) e 35 mm(c) e associados ao ângulo de ataque.

A terceira e quarta condição, foram ensaiadas com uma velocidade de arame de 3,6 m/min, em 90° e 70°E, com amplitude de 25 mm (Fig. 9b) e 35 mm (Fig. 9c), respectivamente.

Com base nas seções transversais dos cordões apresentados, para a amplitude de 25 mm percebe-se uma maior profundidade de penetração na região central do cordão, quando comparado com cordões de amplitudes de 35 mm. Isso acontece porque, mesmo contendo a mesma energia de soldagem, apresentam diferentes amplitudes e, no caso da amplitude de 35 mm, devido sua maior área superficial a energia se dissipa mais superficialmente no cordão reduzindo, assim, sua penetração. Além disso, é notável nos cordões de solda com amplitude de 35 mm uma maior penetração em suas regiões laterais, efeito esse já observado anteriormente por Rode (2020). Acredita-se que tal situação ocorra devido a tocha possuir velocidade máxima no centro do cordão e quanto mais próximo das extremidades a velocidade desacelera para inverter o sentido e realizar o movimento de tecimento, concentrando maior quantidade de energia nessa região e resultando em uma maior penetração.

Para as análises das características morfológicas dos cordões de solda foi escolhido o gráfico em formato barra, afim de representar o efeito da amplitude na geometria do cordão e comparar com o ângulo de ataque.

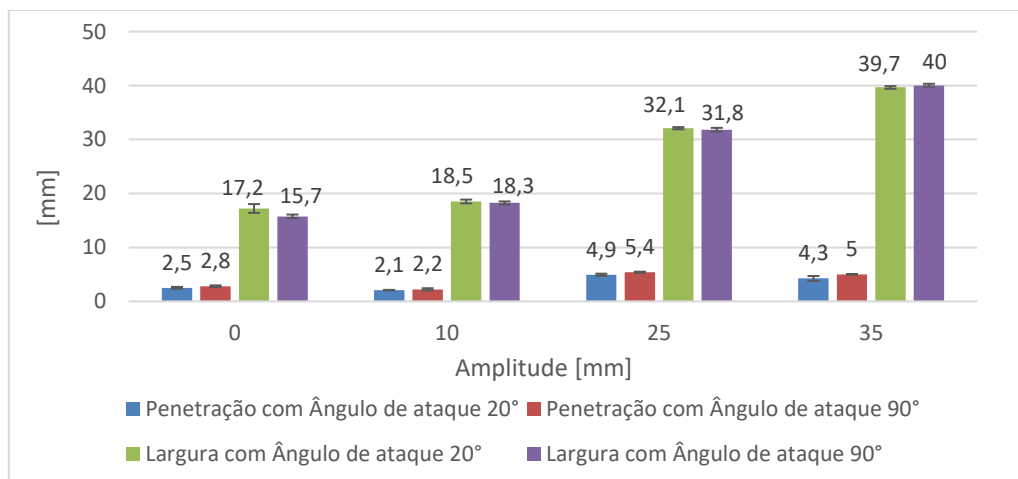


Figura 10. Penetração e Largura dos cordões em função do ângulo de ataque para diferentes amplitudes de tecimento

Através da análise da largura dos cordões, notou-se que não houve variação significativa quanto ao efeito da variação de ângulo de ataque nos ensaios com amplitudes de 10, 25 e 35 mm, como mostrado na Fig. 10. De forma contrária, existe um aumento de aproximadamente 9% na largura do cordão linear com o aumento do ângulo de ataque. Conclui-se, portanto, que o efeito de tecimento se sobrepõe ao efeito do ângulo de ataque quando analisamos a largura do cordão de solda. Adicionalmente, como consequência de um incremento na largura dos cordões, para uma mesma velocidade de alimentação de arame, notou-se uma tendência de redução do reforço tanto da amplitude de 0 para 10 mm quanto para a amplitude de 25 para 35 mm.

Em se tratando de penetração, observa-se que a condição de 70°E apresenta uma redução significativa quando comparada com o os ensaios de ângulo de inclinação de 90°, principalmente para as amplitudes de 25 e 35 mm. Além disso, o efeito do ângulo de ataque sobre a penetração aumenta diretamente com relação ao aumento da amplitude de tecimento, chegando a uma redução de 9% para a amplitude de 25 mm e 14% para amplitude de 35 mm.

A Figura 11, apresenta os resultados referentes a área penetrada dos cordões quando variando o ângulo de ataque juntamente com a amplitude de tecimento.

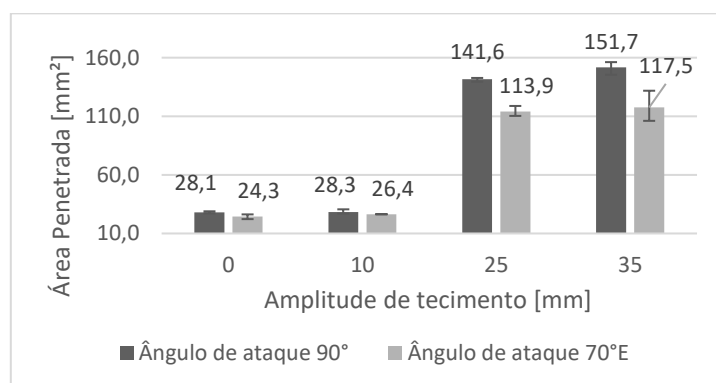


Figura 11. Penetração dos cordões em função do ângulo de ataque para diferentes amplitudes de tecimento

Com relação à área penetrada, notou-se uma redução ao comparar o ângulo de 90° com o de 70°E. Além disso, conforme a amplitude de tecimento aumenta para a velocidade de alimentação de arame de 3,6 m/min, essa redução chegou a ser incrementada a 29% para a amplitude de 35 mm.

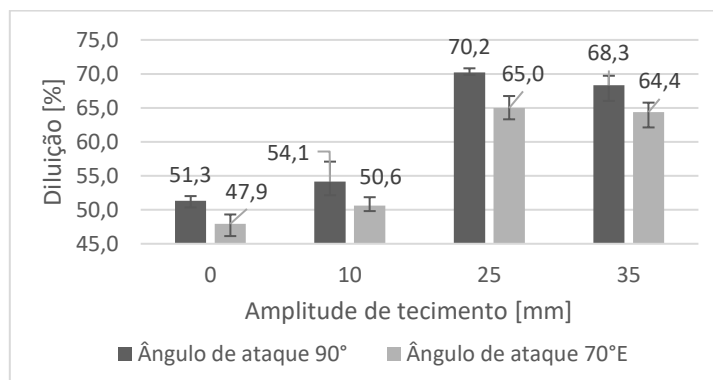


Figura 12. Diluição dos cordões em função do ângulo de ataque para diferentes amplitudes de tecimento

O que diz respeito à diluição, Fig.12, os resultados encontrados apresentaram uma pequena redução quando aplicada a técnica empurrando juntamente ao tecimento, com valores próximos de 8% e 6%, respectivamente para as amplitudes de 25 e 35 mm. De modo geral, os valores de diluição encontrados são considerados elevados para uma aplicação de revestimento, consequência dos cordões de solda de maiores amplitudes possuírem maior penetração nas extremidades, em função da desaceleração da tocha durante a reversão do sentido de movimento, conforme discutido anteriormente.

3.3 Ensaios de soldagem de sobreposição de cordões adjacentes (Grupo 3 de ensaios)

Os ensaios visando a deposição de cordões de solda adjacentes foram realizados para aprimorar o conhecimento acerca da região de sobreposição entre cordões. Como resultado, verifica-se que os cordões de solda com a distância de 40 mm entre si não apresentavam sobreposição alguma, portanto, estes foram descartados do estudo. Além disso, os cordões de solda adjacentes sobrepostos apresentam um efeito de superfície escamada, podendo significar que ainda existem regiões com deposição insuficiente de material

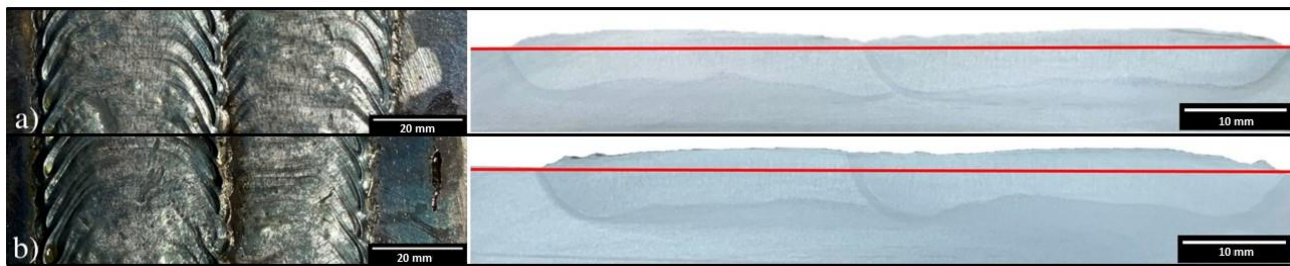


Figura 13. Cordões de solda depositados adjacentes resultantes da variação da distância entre os centros dos cordões de (a) 35 mm e (b) 30 mm.

Na Figura 13, é possível identificar a sobreposição dos cordões adjacentes, indicando uma das características da soldagem de revestimento. Com respeito ao acabamento superficial, não houve inclusão de escória ou falta de deposição de material nos cordões de solda obtidos.

A penetração nos cordões de solda depositados com distâncias entre os centros dos cordões de 35 mm e 30 mm apresentaram, respectivamente, uma área de penetrada de 240 mm² e 203 mm², o que corresponde aproximadamente a uma redução de 18%. Portanto, do ponto de diluição, a condição de 30 mm configura a mais adequada a ser implementada em uma soldagem de revestimento. De mesmo modo, com relação ao reforço, o cordão de solda com distância entre centros 30 mm apresentou uma altura média mais homogênea quando comparada ao cordão de 35 mm, favorecendo uma aplicação de revestimento. Nesse caso, a altura máxima obtida pelos cordões de solda com distância entre centros de 35 mm e 30 mm corresponde, respectivamente, a 1,6 mm e 2,2 mm, representando um incremento de 37% no reforço.

4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados alcançados e discutidos ao longo do presente trabalho, pode-se concluir que:

A aplicação da técnica de tecimento no processo de soldagem arco submerso se faz eficaz visando uma aplicação de revestimento. Para um revestimento eficiente é esperada uma baixa penetração e maior área superficial do cordão de solda. Tais características, foram observadas nos cordões de solda na primeira etapa de ensaios na condição de 70°E e velocidade de alimentação de arame de 3,6 m/min. Analogamente a literatura, a técnica empurrando apresentou maior largura, menor penetração e menor diluição quando comparadas a posição de tocha perpendicular e puxando.

Foram obtidos cordões de solda com bom acabamento superficial e sem retenção de escória. Além disso, quanto maior a amplitude de tecimento maior o efeito do ângulo de ataque em diminuir a penetração, quando comparamos ao ângulo de ataque de 90° utilizado como referência. Não obstante, valores positivos foram obtidos com relação a diluição e área penetrada acerca de nosso objetivo, resultando, respectivamente, numa redução de 6% e 29% para uma amplitude de 35 mm.

A sobreposição entre cordões de forma adjacentes, última etapa de ensaios, promoveu cordões com satisfatórios acabamentos superficiais e sem inclusão de escória. O corpo de prova (b), com distância entre centro de cordões de 30 mm, se mostrou mais viável para uma aplicação de revestimento, apresentando menor área penetrada, maior reforço e dimensão mais homogênea ao longo da seção transversal.

4. REFERÊNCIAS

- CUNHA, T. V. da; RIBEIRO, H. O. Avaliação do Uso do Tecimento na Soldagem a Arco Submerso. *Soldagem & Inspeção*. [s.l.], v. 23, n. 1, p. 73-82, mar. 2018. FapUNIFESP (SciELO).
- HIRATA, E. K. et al. Influência da corrente sobre o rendimento bruto de fusão em soldagem MIG/MAG. *Soldagem & Inspeção*, v. 19, n. 2, p. 159-167, 2014.
- KANNAN, T.; MURUGAN, N. Effect of lux cored arc welding process parameters on duplex stainless steel-clad quality. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 176, n. 1-3, p. 230-239, 2006.
- LARA, Mauricio et al. Effect of transverse arc oscillation on morphology, dilution and microstructural aspects of weld beads produced with short-circuiting transfer in GMAW. *Journal Of Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, v. 42, n. 9, p. 1-13, 2020.
- LOPES, P. E. K.; MACHADO, A. A.; COLAÇO, F. H. G., 2013. Efeito do ângulo da Tocha na Penetração do Cordão com Transferência Metálica por Spray. *IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação – COBEF2017*. Joinville, Brasil.
- LU, Shan-Ping, et al. Microstructure and wear property of Fe–Mn–Cr–Mo–V alloy cladding by submerged arc welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 2004, 147.2: 191-196.
- MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. *Soldagem Fundamentos e Tecnologia*. Ed. 3. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

PESSOA, Antônio Rodolfo Paulino et al. 2010. Influência do uso do tecimento na geometria e na diluição dos cordões de solda realizados com o processo MIG/MAG com transferência metálica por curto-circuito empregando o eletrodo ernicrmo-3. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM2010. Campina Grande, Brasil.

RESENDE, A. A. de; SCOTTI, A. Influência dos Níveis das Correntes, Ângulo de incinção da tocha e Distância entre Tocha e a Peça sobre a Geometria do Cordão de Solda Usando “Plasma-I=MIG” com Arcos Concêntricos. Soldag. Insp, São Paulo, v. 20, n. 4, p. 501-514, Dec. 2015.

RODE, A. C. Desenvolvimento e Avaliação da Soldagem a Arco Submerso com Tecimento Transversal. 2020.

TASALLOTTI, H.; KAH, P.; MARTIKAINEN, J. Effects of welding wire and torch weaving on GMAW of S355MC and AISI 304L dissimilar welds. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 71, n. 1, p. 197-205, 2014.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

EVALUATION OF PULLING/PUSHING TECHNIQUES AND WITH TRANVERSAL OSCILLATION ON SUBMERGED ARC WELDING APPLY TO REVESTIMENT

Luiz Felipe Fantoni¹

Julio Luiz Henrique Silva²

Tiago Vieira da Cunha³

Universidade Federal de Santa Catarina, CTJ. Rua Dona Francisca, 8300 – Bloco U – Zona Industrial Norte, Joinville.

luizfantoni05@gmail.com ¹ julio.luizhsilvaa@gmail.com ² t.cunha@ufsc.br ³

Abstract. The Submerged Arc Welding (SAW) process is widely used in marine industry because it is a process with high deposition rates, rarely found in other welding processes. During bibliographic research carried out in the literature, it was noticed a lack of studies related to the submerged arc welding process being applied through pulling/pushing and electrode weave techniques, which in other welding processes such as Gas Metal Arc Welding (GMAW) and Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), these techniques are very widespread. For this reason, this research seeks to understand the effects of these techniques applied to SAW process in order to achieve adequate parameters and conditions that allow the execution of a coating weld through the SAW process, taking advantage of the high productivity and quality of the process. In this context, welding tests were performed in three stages, first evaluating the angle of attack in the pulling/pushing technique for different wire feed speeds, in sequence associating the pushing technique with the transversal oscillation of the torch in different weaving amplitudes, and finally in the deposition of adjacent weld beads with the objective of covering an area in order to achieve an overlay weld application. The development of this study revealed that the pushing welding technique shows an increase in the width of the beads and a reduction in penetration and reinforcement when compared to the pulling technique, in agreement with what is noted in other arc welding processes. When compared with perpendicular welding, the pushing technique with an angle of 70° presented a reduction of 7% in the dilution. By associating the pushing technique with the electrode weave, it was possible to obtain a reduction in penetration of up to 14% and of 29% in the penetration area for an amplitude of 35 mm, while when analyzing the width, the effect of the electrode weave overlaps the effect of the angle of attack. Finally, for the experimental conditions used, the distance between welding torch centers of 30 mm was the most suitable for the application of the coating as it presented a reinforcement of homogeneous dimension along the cross section and reduced penetration area.

Keywords: Submerged Arc Welding; Pulling/pushing technique; Transverse weave; Weld bead morphology; Overlay weld.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.