

## EFEITOS DE DIFERENTES PADRÕES DE TECIMENTO SOBRE A DILUIÇÃO E GEOMETRIA DOS CORDÕES DE SOLDA PRODUZIDOS PELO PROCESSO PTA-P

### Anna Louise Voigt

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, Brasil  
[anna.voigt@posgrad.ufsc.br](mailto:anna.voigt@posgrad.ufsc.br)

### Tiago Vieira da Cunha

Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville – SC, Brasil  
[t.cunha@ufsc.br](mailto:t.cunha@ufsc.br)

### Carlos Enrique Niño Bohórquez

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, Brasil  
[carlos.nino@ufsc.br](mailto:carlos.nino@ufsc.br)

**Resumo:** Os campos de aplicação dos processos de soldagem a arco voltaico não se restringem, atualmente, apenas à união de materiais metálicos. Dentre essas novas aplicações, destacam-se a manufatura aditiva e o revestimento por soldagem. Ambas demandam cordões de solda com baixos níveis de diluição e, especialmente em se tratando de aplicações de revestimento, essa característica é essencial para garantir a qualidade do do revestimento. Neste contexto, buscam-se, ainda, cordões de solda de maior largura visando diminuir o número de passes laterais necessários, sendo o emprego do tecimento uma das principais técnicas empregadas para esta finalidade. Neste cenário, diferentes tipos/padrões de tecimento podem ser utilizados, a exemplo do padrão circular, trapezoidal, triangular, sendo este último o mais usual. No que tange a obtenção de cordões de solda dotados de menores índices de diluição, alguns processos de soldagem têm se destacado, dentre eles o processo Plasma com adição de pó (PTA-P), o qual encontra no revestimento sua principal aplicação visto que uma de suas principais características consiste na possibilidade de produzir depósitos dotados de baixos níveis de diluição. Entretanto, com o objetivo de reduzir ainda mais a diluição, este processo pode ser aplicado juntamente com a técnica do tecimento. Neste contexto, o objetivo do presente estudo é avaliar os efeitos do padrão de tecimento na morfologia e, sobretudo, na diluição dos cordões de solda produzidos pelo processo PTA-P. Para tanto, foram realizados ensaios de soldagem com parâmetro fixos, alterando-se apenas o padrão de tecimento. Foram empregados os padrões de tecimento triangular, trapezoidal, espiral e duplo oito. De posse das amostras, foi realizada a preparação metalográfica a fim de produzir macrografias dos depósitos e possibilitar a análise das características geométricas dos cordões de solda. Os cordões de solda produzidos revelaram que o padrão de tecimento possui significativa influência sobre a morfologia dos depósitos, produzindo cordões de solda com diluições distintas, variando desde diluições próximas a zero até valores próximos a 20%, a depender do padrão de tecimento empregado. Além disso, apesar de empregar a mesma amplitude de tecimento para todos os ensaios, os cordões de solda produzidos apresentaram larguras diferentes, reforçando a escolha do padrão de tecimento como um parâmetro importante na parametrização do PTA-P com vistas a aplicações de revestimento.

**Palavras-chave:** Plasma Pó; Revestimento por soldagem; Tecimento; Diluição; Morfologia dos cordões.

## 1. INTRODUÇÃO

Embora a união de materiais seja o principal objetivo do emprego dos processos de soldagem a arco voltaico, novas aplicações vêm sendo estudadas frente aos avanços tecnológicos dos processos e ao desenvolvimento de novas variantes. Técnicas capazes de produzir cordões de solda com baixos índices de diluição são de interesse especialmente para as aplicações de revestimento e manufatura aditiva por deposição a arco (MADA). No contexto do revestimento visando o tratamento de superfícies com vistas a, por exemplo, aumentar a resistência a corrosão, é depositado um material mais resistente sobre um substrato de propriedades inferiores. Desta forma, há redução dos custos de fabricação sem prejuízos à resistência ao desgaste e corrosão. Diante disso, uma menor diluição mantém as propriedades do material depositado evitando alterações críticas na composição química do revestimento. Neste cenário, o processo Plasma de Arco Transferido com adição de Pó (PTA-P) ganha destaque visto que tem como características a capacidade de produzir cordões de solda com altas taxas de deposição e baixos índices de diluição.

Santos et al. (2019) realizou cordões de solda utilizando Inconel 625 como metal de adição com o processo PTA-P sobre um substrato de aço API 5L X70 visando avaliar a diluição, dureza e resistência a corrosão. Os autores empregaram diferentes níveis de corrente de soldagem, variando entre 184 e 228 A, taxa de alimentação de pó de 1,7 a 1,9 kg/h e velocidade de soldagem de 10 a 16 cm/min. Ao combinar uma corrente de soldagem de 184 A, taxa de alimentação de pó de 1,9 kg/h e 16 cm/min de velocidade de soldagem, os autores obtiveram um depósito com diluição de apenas 4,4%. Dentre a matriz de experimentos realizada, a máxima diluição obtida foi de 15,3%. Empregando o mesmo material de adição e metal de base, Silva et al. (2021) realizaram cordões de solda com o processo PTA-P juntamente com a técnica de tecimento, logo, com oscilação da tocha de soldagem. Os autores empregaram correntes de soldagem de 110 e 130 A para os ensaios com amplitude de tecimento de 5 e 11 mm, respectivamente, ambas com frequência de tecimento de 0,4 Hz. A taxa de alimentação de pó foi igual nos dois ensaios e de aproximadamente 0,7 kg/h. Com esses conjuntos de parâmetros, os autores obtiveram cordões de solda com 13 e 16% de diluição e 8 e 13 mm de largura, respectivamente. Como esperado, o aumento da amplitude de oscilação refletiu no aumento da largura dos cordões de solda produzidos. Apesar de Silva et al. (2021) apresentarem os valores de largura, reforço e diluição dos cordões de solda produzidos, os autores apresentam apenas as macrografias dos depósitos com sobreposição, de forma a simular o revestimento de uma superfície. O perfil de penetração não é discutido pelos autores, mas as macrografias apresentadas sugerem que os cordões de solda sobrepostos realizados com amplitude de 11 mm resultaram em um perfil de penetração mais uniforme. Este resultado, no entanto, pode estar associado à distância entre cordões de solda, a qual não foi informada.

Visto que um dos principais focos de estudo do processo PTA-P é obter cordões de solda com reduzida diluição, diversos trabalhos buscam otimizar os parâmetros de soldagem para este fim e, para isso, muitas vezes empregam a metodologia de superfície de resposta para compreender as relações das diferentes variáveis. Como exemplo tem-se os trabalhos de Balasubramanian et al. (2009) e Lakshminarayanan (2008), em que ambos empregam substratos de AISI SAE 1040 mas diferentes pós metálicos, a saber, o aço inoxidável AISI 316L e a liga a base de cobalto Stellite-6, respectivamente. Em sua matriz de experimentos, Balasubramanian et al. (2009) empregaram correntes de soldagem de 150 a 190 A, taxas de alimentação de pó de 20 a 40 g/min e frequências de tecimento inferiores a 1 Hz. Os autores não comentam a amplitude de tecimento empregada. A mínima diluição obtida foi próxima a 3%, evidenciando o potencial do processo. Lakshminarayanan (2008) empregaram os mesmos parâmetros de soldagem que Balasubramanian et al. (2009), contudo, utilizaram a liga Stellite-6. (Lakshminarayanan et al. 2008) obtiveram índices de diluição próximos a 2% e também não relataram a amplitude de tecimento empregada, contudo, as macrografias apresentadas são relativas a cordões de solda de largura aproximada de 20 mm. Siva et al. (2009) obtiveram cordões de solda com semelhante largura (entre 17 e 23 mm) ao empregar amplitude de oscilação de 12 a 20 mm e corrente de soldagem de 130 a 170 A. Os autores depositaram a liga Colmonoy 5 sobre um substrato de AISI 316L e mantiveram a frequência de tecimento constante (1,2 Hz). Os depósitos produzidos tiveram variados valores de diluição, entre 7 e 34%, contudo, em relação aos trabalhos de Balasubramanian et al. (2009) e Lakshminarayanan (2008), as velocidades de soldagem utilizadas foram inferiores e, portanto, resultando em ensaios com maiores energias de soldagem.

Neste contexto, é nítido o potencial do processo PTA-P em obter cordões de solda com baixos índices de diluição e, aliado ao tecimento, depósitos de maior largura. Apesar da literatura apresentar diversos trabalhos que associem o processo PTA-P com o tecimento, nenhum trabalho encontrado descreve o padrão de tecimento empregado. Acredita-se que a maioria empregue o padrão de tecimento triangular, visto que é o de mais fácil implementação e, por isso, comum. Contudo, há diversos padrões de tecimento que podem ser empregados, como por exemplo, triangular, trapezoidal, circular e duplo oito. Diante deste cenário, o presente estudo tem como objetivo avaliar os efeitos dos diferentes padrões de tecimento no processo PTA-P sobre as características morfológicas, como perfil de penetração e diluição, de depósitos de Inconel 625 sobre um substrato de aço ASTM A36. Com o intuito de evidenciar os efeitos do padrão de tecimento, a frequência e amplitude de tecimento foram fixadas, bem como as variáveis do processo PTA-P.

## 2. METODOLOGIA

A fim de avaliar de forma individual os efeitos dos padrões de tecimento sem a interferência de cordões de solda adjacentes, foram realizados cordões de solda *bead-on-plate*. Empregou-se nos ensaios o pó metálico Inconel 625 atomizado com granulometria entre 53 a 150 µm, o qual foi depositado sobre um substrato de aço carbono ASTM A36, com dimensões de 75x250x9,5 mm (Largura x Comprimento x Espessura). A bancada de ensaios foi equipada com uma fonte de soldagem, uma tocha de soldagem Plasma-Pó, um alimentador de pó modelo ADP VR-F, e um robô antropomórfico para deslocamento da tocha de soldagem. Além disso, foram necessários três cilindros de gases, com os seus respectivos reguladores de vazão, para alimentar os três circuitos de gases característicos do processo: gás de plasma, gás de arraste ou de transporte, gás de proteção. Durante a realização dos ensaios foi utilizado o sistema de aquisição SAP V4 para aquisição dos dados de tensão e corrente da fonte de soldagem. Na Figura 1 é apresentada uma representação esquemática da bancada de ensaios com os equipamentos utilizados.

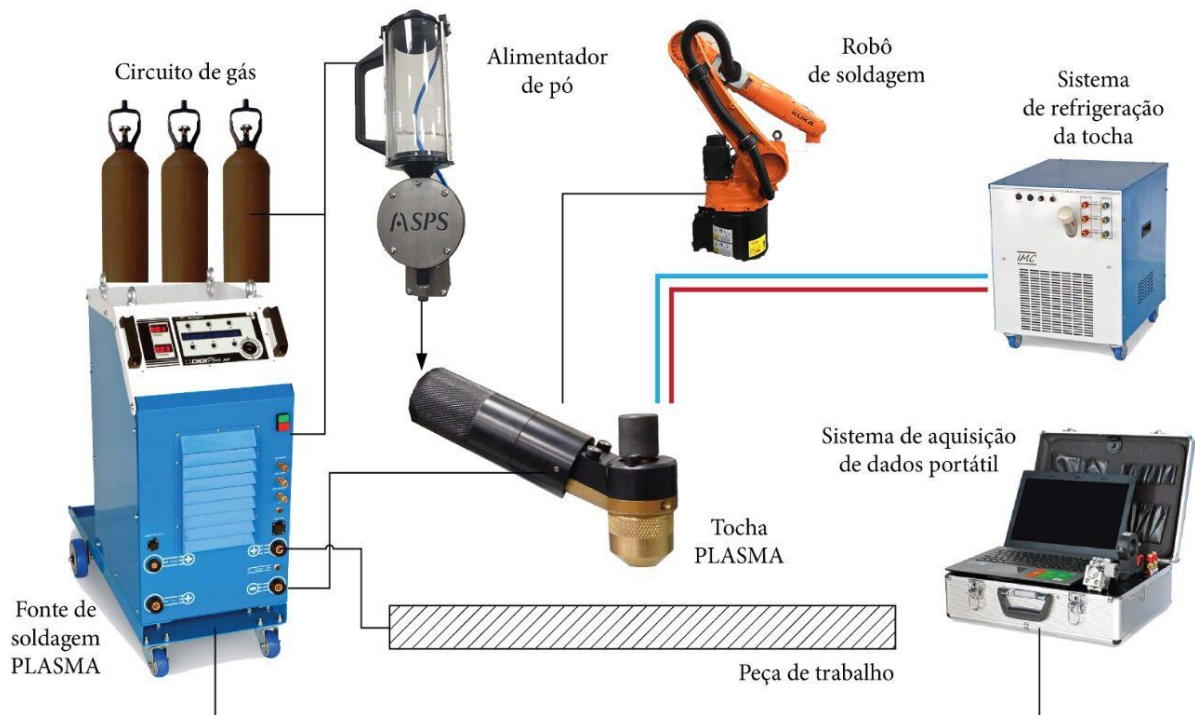


Figura 1. Esquemático da bancada de ensaios

Os parâmetros do processo plasma foram mantidos constantes em todos os ensaios bem como os parâmetros de alimentação de pó. Cabe ressaltar que a tocha plasma empregada possui injeção externa de pó. Empregou-se uma distância bico constritor-peça de 10 mm e um recuo de 2,2 mm do eletrodo de tungstênio EW Th-2, sendo este de 4 mm de diâmetro e ângulo de afiação de 30°. A corrente de soldagem ajustada foi de 120 A em todos os ensaios e empregou-se uma taxa de alimentação de pó de 1 kg/h. Quanto às vazões de gás, ajustou-se vazões de 2 l/min tanto para o gás de arraste quanto para o gás de plasma. A vazão do gás de proteção foi ajustada em 12 l/min e, por fim, foi empregado argônio puro em todos os circuitos de gás.

No que tange o deslocamento da tocha de soldagem, a mesma foi realizada através de um robô antropomórfico. A velocidade de soldagem utilizada em todos os ensaios foi de 10 cm/min. Visto que o objetivo do presente estudo é avaliar os efeitos dos padrões de tecimento sobre a morfologia dos depósitos, a primeira etapa do trabalho consistiu em identificar e caracterizar os padrões de tecimento disponíveis no robô de soldagem, a saber: triangular, trapezoidal, espiral e duplo oito. Avaliou-se em um primeiro momento, portanto, a trajetória realizada pelo robô nos diferentes padrões de tecimento ao ajustar a frequência e amplitude de tecimento de 0,6 Hz e 12 mm, respectivamente. Esses valores de frequência e amplitude de tecimento foram fixos em todos os ensaios realizados. Para a caracterização do tecimento foi empregado, portanto, uma caneta com ponta de feltro de 0,4 mm de diâmetro acoplada à tocha de soldagem visando registrar sobre um papel milimetrado a trajetória executada pelo robô. Para facilitar a visualização dos diferentes padrões de tecimento, foi realizado um ensaio adicional com frequência de 0,17 Hz.

De posse das informações sobre a trajetória percorrida pelo robô durante o movimento de tecimento, foram realizados os ensaios de soldagem propriamente ditos. Com o objetivo de avaliar a morfologia dos cordões de solda resultantes, foram realizados cortes transversais nos cordões e três amostras de cada depósito foram preparadas para análise macrográfica, sendo estas retiradas a 70, 90 e 110 mm do início dos cordões. Cada uma das seções retiradas foi preparada metalograficamente utilizando lixas grana 80, 180, 240, 320, 400 e 600. Em seguida, as amostras foram atacadas com Nital 4%. Em um estereoscópio foram realizadas macrografias dos cordões de solda, com o intuito de registrar e, posteriormente, analisar a geometria dos mesmos. Realizou-se as medidas de largura, reforço, penetração, área fundida, área depositada e diluição. De posse das medidas, foi realizada a média aritmética dos valores obtidos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tendo em vista que a primeira etapa consistiu na caracterização da trajetória realizada pelo robô durante o movimento de tecimento para os quatro padrões avaliadas, na Figura 2 é possível observar o resultado obtido desses ensaios. Para cada condição, foi deslocado a tocha de soldagem juntamente com a caneta por uma distância de 100 mm.

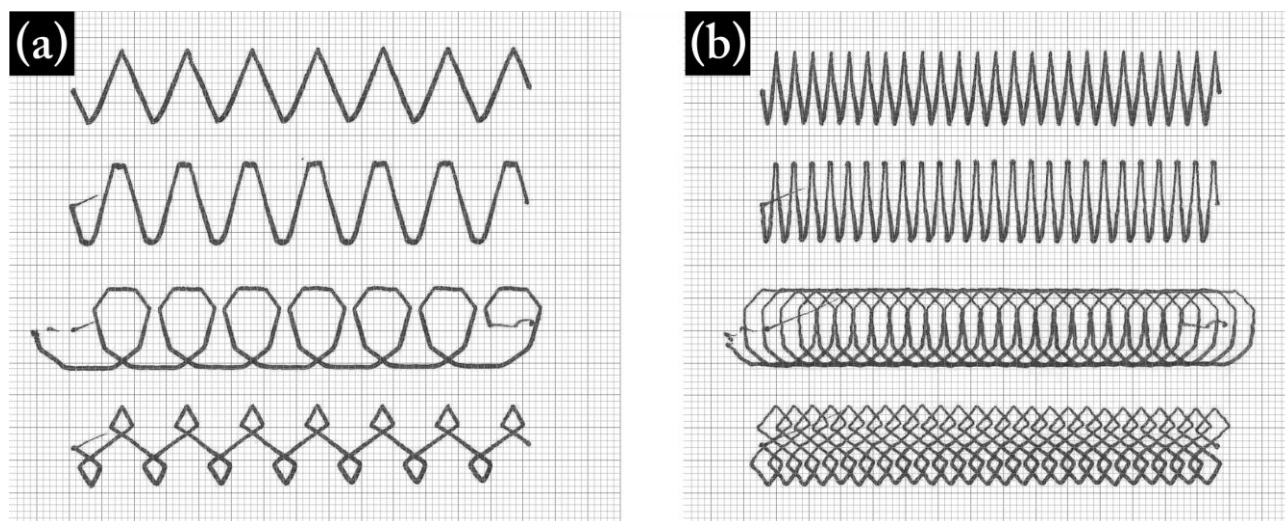


Figura 2. Trajetória realizada pelo robô durante o tecimento triangular, trapezoidal, espiral e duplo oito com frequência de (a) 0,17 Hz e (b) 0,6 Hz

Os movimentos realizados com frequência de tecimento de 0,6 Hz resultaram em um deslocamento linear de 2,8 mm. Este valor é resultado do produto da velocidade de soldagem ajustada de 10 cm/min e o período do movimento de tecimento que, considerando a frequência de 0,6Hz, resulta em um tempo de aproximadamente 1,7 s. Logo, ocorre um ciclo de tecimento a cada deslocamento de 2,8 mm ao longo do corpo de prova. Apesar de os ciclos terem períodos iguais, o deslocamento da tocha não é constante, visto que, por exemplo, para completar um movimento de espiral é necessário percorrer uma distância 88% maior que a distância percorrida durante o tecimento triangular. Este resultado pode vir a ter impacto direto no resultado da soldagem, visto que a velocidade instantânea da tocha de soldagem é maior durante alguns padrões de tecimento. Para permitir uma melhor avaliação, utilizando os resultados apresentados na Figura 2, foi realizada a medição de um ciclo de cada tipo de padrão de tecimento. Na Figura 3 é possível observar a distância percorrida pela tocha de soldagem durante um ciclo bem como seu padrão de repetição.

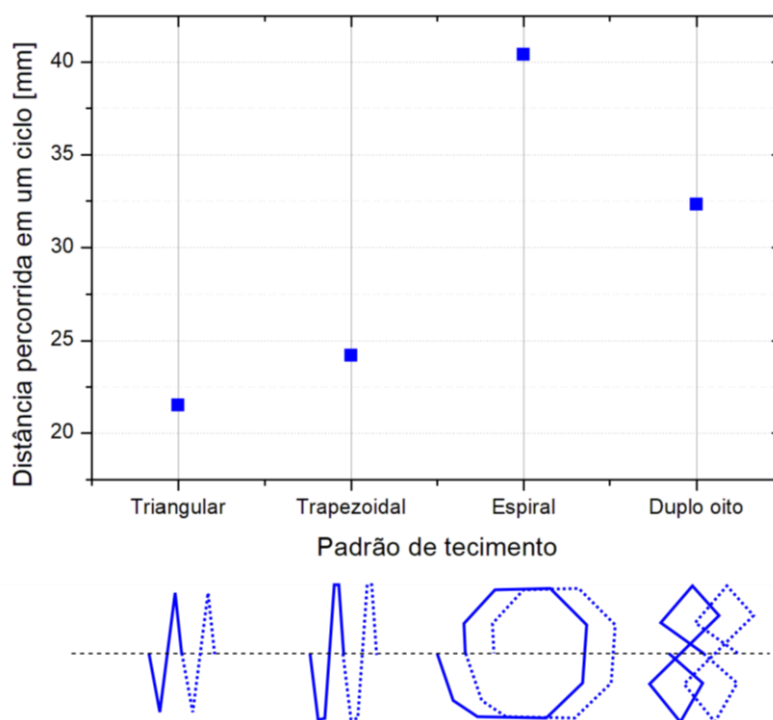


Figura 3. Distância percorrida pela tocha de soldagem durante um ciclo com diferentes padrões de tecimento triangular, trapezoidal, espiral e duplo oito com frequência de 0,6 Hz

De posse dos resultados dos ensaios de soldagem, é possível analisar a influência do padrão de tecimento e os aspectos de deslocamento da tocha discutidos e seus efeitos sobre a morfologia e diluição dos cordões de solda. Na Figura 4 é

possível observar a superfície dos depósitos na qual, para evidenciar o padrão de tecimento, empregou-se um decapante químico de ácido nítrico e hidro fluorídrico de acordo com a norma ASTM A380. Considerando o padrão de tecimento triangular como referência, uma vez que é um dos padrões de tecimento mais empregados, observa-se que o padrão trapezoidal difere no seu aspecto superficial. Este resultou em um cordão de solda de maior largura devido, possivelmente, ao maior tempo que o arco voltaico permanece nos extremos, característica essa que é a principal diferença entre a trajetória realizada pelo padrão trapezoidal e triangular. Ainda que o deslocamento linear que ocorre nas extremidades durante o movimento trapezoidal seja pequeno, conforme pode ser visto na Figura 2(b), ele se apresentou significativo e capaz de aumentar a largura do depósito. O depósito realizado com o padrão de tecimento espiral apresentou, também, algumas particularidades. Ao empregar este padrão de tecimento observou-se um reforço irregular ao longo da largura, característica essa que fica evidente nas macrografias da secção transversal dos cordões de solda (Figura 5c). Durante a soldagem foi nítido aos autores a maior velocidade instantânea de deslocamento da tocha de soldagem em função da maior trajetória percorrida por ciclo durante o padrão de tecimento espiral, conforme apresentado na Figura 3. A poça de fusão nessa condição apresentou relativa pequena dimensão decorrente da maior velocidade instantânea. Cabe ressaltar que a velocidade de soldagem foi mantida constante ao longo dos ensaios, mas, conforme discutido anteriormente, a trajetória do padrão de tecimento alterou a velocidade instantânea da tocha de soldagem.

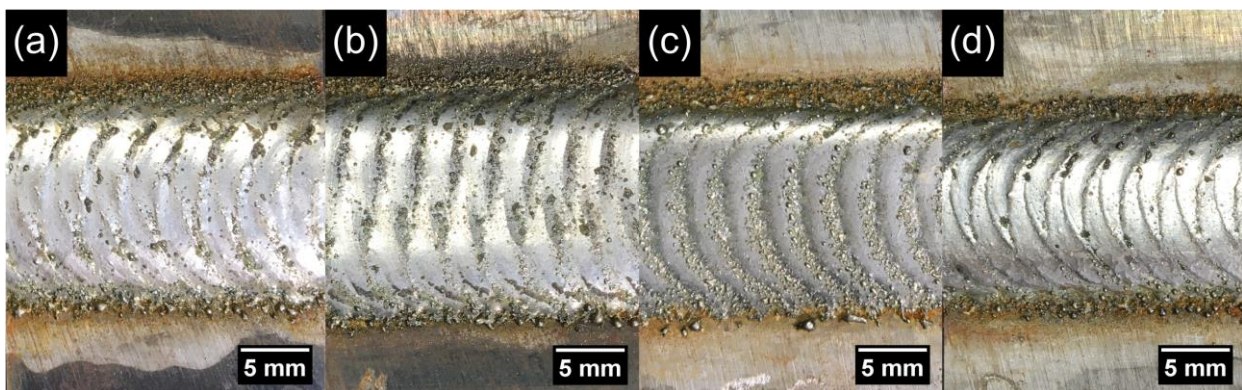


Figura 4. Aspecto superficial dos depósitos realizados com padrão de tecimento (a) triangular, (b) trapezoidal, (c) espiral e (d) duplo oito

Na Figura 5 são apresentadas uma macrografia da secção transversal de cada depósito, contudo, foram retiradas três amostras por cordão de solda a fim de se obter maior confiabilidade das medidas geométricas. Quanto aos aspectos morfológicos, é notável a diferença entre o cordão de solda realizado com padrão de tecimento espiral dos demais. É observada pouca penetração e, inclusive, uma possível falta de fusão nas margens do cordão de solda. No que tange os demais padrões de tecimento, o perfil de penetração do tecimento triangular, trapezoidal e duplo oito são semelhantes. Nessas condições a penetração máxima é atingida nas laterais dos cordões de solda, diferentemente do obtido, por exemplo, por Balasubramanian et al. (2009). Apesar de os autores Balasubramanian et al. (2009) apresentarem poucas macrografias, as condições apresentadas revelam um cordão de solda com penetração máxima na região central (*finger-shape*). Contudo, este efeito pode estar associado a uma baixa amplitude de tecimento, haja vista que os autores não comentam o valor empregado tampouco apresentam uma barra de escala em suas macrografias. Embora o padrão de tecimento trapezoidal tenha acarretado em um aumento de largura, pouco efeito se percebe no perfil de penetração. Este aumento de largura é acompanhado de um reforço uniforme. Diferentemente dos demais, o cordão de solda com tecimento espiral apresentou um reforço irregular, conforme comentado, sofrendo um acúmulo de material preferencial em uma das margens do cordão depositado.

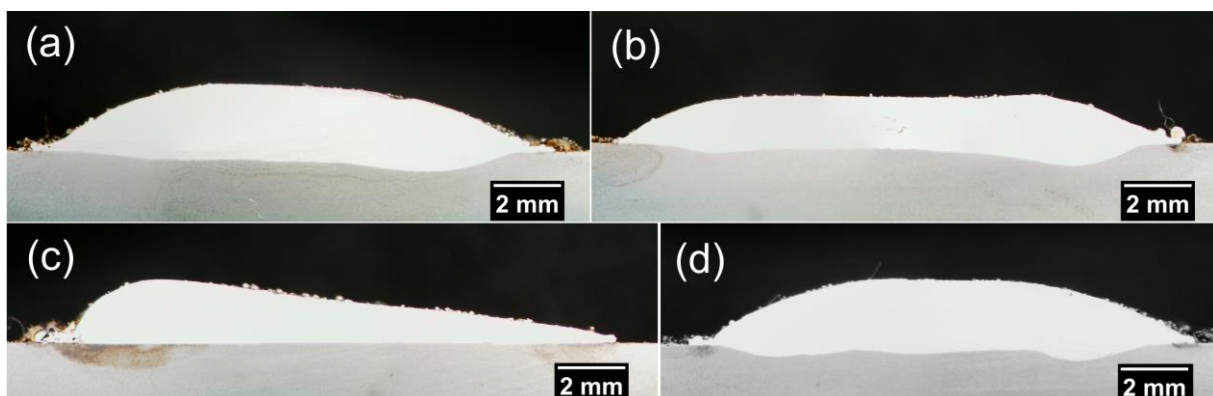


Figura 5. Macrografias da seção transversal dos depósitos realizados com padrão de tecimento (a) triangular, (b) trapezoidal, (c) espiral e (d) duplo oito

De posse das macrografias, foi possível realizar as medidas geométricas dos cordões de solda. As medidas lineares de penetração, largura e reforço estão resumidas na Figura 6, na qual são apresentados os valores médios bem como o intervalo de confiança de 95%. Os valores de largura e reforço dos cordões de solda foram semelhantes, com exceção do depósito realizado com padrão de tecimento trapezoidal, que apresentou um aumento de 15% de largura em relação ao depósito feito com tecimento triangular. Com o aumento da largura, consequentemente, o reforço do cordão de solda foi reduzido ao empregar o padrão trapezoidal, redução esta, próxima a 22% em relação ao triangular. No que tange a penetração, destaca-se a penetração praticamente nula do depósito realizado com tecimento espiral. Acredita-se que esse efeito se deve à velocidade instantânea elevada da tocha de soldagem bem como o movimento mais amplo. Isto porque, o movimento duplo oito também possui uma maior distância percorrida por ciclo em relação ao movimento triangular e trapezoidal, contudo, este movimento ocorre de forma entrelaçada, conseguindo concentrar melhor o aporte de calor do arco voltaico, facilitando a fusão e, com isso, obtêm-se maior penetração.

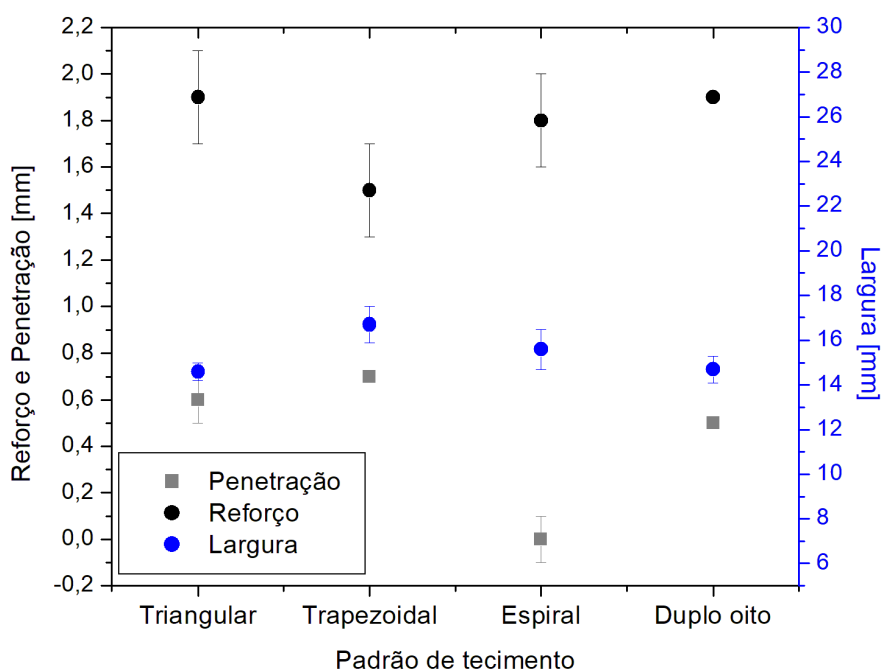


Figura 6. Medidas lineares dos cordões de solda realizados com os diferentes padrões de tecimento

Além das medidas lineares, foram realizadas medidas de área como área fundida e depositada. Com base nessas medidas, foi possível calcular a diluição dos depósitos. Na Figura 7 observa-se a médias das três amostras de cada ensaio em função do padrão de tecimento empregado e os intervalos de confiança de 95%. Os resultados obtidos nos ensaios com padrão de tecimento triangular e trapezoidal foram semelhantes em termos de área fundida e diluição, apesar do cordão de solda com tecimento trapezoidal apresentar maior largura. Já a área fundida obtida no ensaio com tecimento duplo oito foi inferior, possivelmente em decorrência da maior velocidade instantânea e menor penetração, contudo, essa redução não foi significativa e inferior a 5% em relação aos depósitos realizados com tecimento triangular e trapezoidal. Tanto o tecimento triangular, trapezoidal quanto o duplo oito apresentaram em depósitos de diluição próximas, com valores entre 16 e 18%. Em contrapartida, o ensaio realizado com tecimento espiral apresentou diluição quase nula, apresentando valores praticamente iguais entre área fundida e área depositada. Além disso, a área depositada foi inferior aos demais ensaios, com redução de aproximadamente 11%, resultado este que é reflexo de perdas de pó metálico. Durante a soldagem com o padrão espiral, inclusive, foi possível visualizar uma maior parcela de pó sendo desviada para fora do arco ao atingir a região periférica da poça fundida. Acredita-se que o pó metálico não é totalmente fundido devido a elevada velocidade instantânea da tocha de soldagem e consequente reduzida poça de fusão, reduzindo, portanto, o aporte de material. Este resultado concorda com Xibao et al. (2006), que observou que a poça de fusão tem maior influência na fusão do pó metálico do que a passagem das partículas pelo arco voltaico propriamente dito. Desta forma, acredita-se que a poça de fusão reduzida do ensaio realizado com tecimento espiral não favoreceu a completa fusão do pó metálico, traduzindo-se em perdas e menor quantidade de aporte de material.

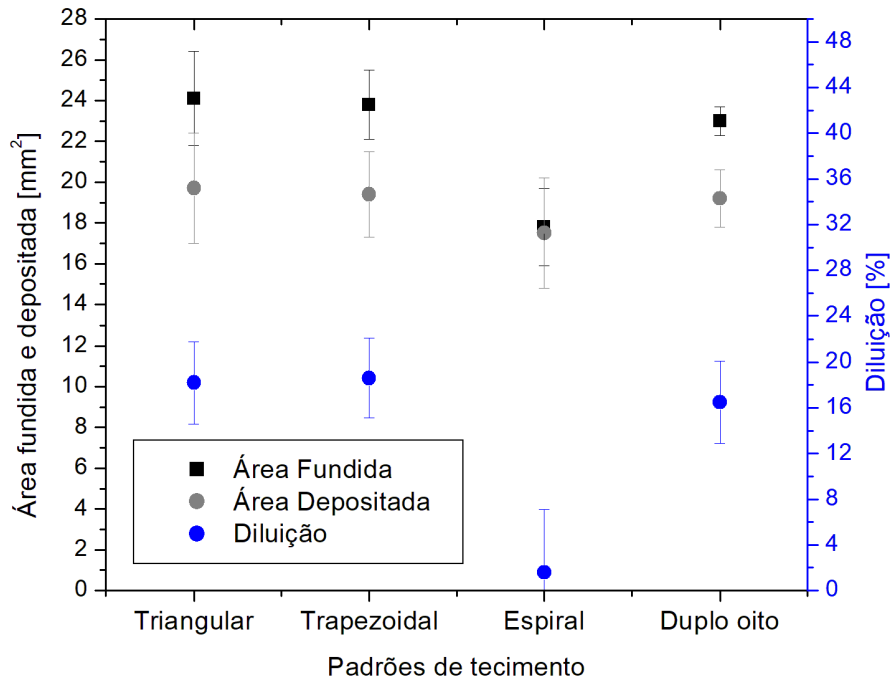


Figura 7. Área fundida, depositada e diluição dos cordões de solda realizados com os diferentes padrões de tecimento

Diante das quatro opções de padrão de tecimento empregadas e nas condições avaliadas, o padrão espiral apresentou uma geometria distinta das demais, com pouca penetração e diluição além de um depósito com reforço irregular. A morfologia dos demais depósitos foi semelhante, com exceção do aumento da largura e menor penetração do cordão de solda realizado com tecimento trapezoidal. Estas características favorecem aplicações de revestimento, visto que um menor número de passes é necessário para revestir uma superfície com cordões de solda de maior largura. Em relação à diluição, menores índices são desejáveis, contudo, é necessária uma mínima fusão do metal de base de modo a garantir a aderência do revestimento. Neste contexto, o cordão de solda produzido com tecimento espiral é interessante, contudo, conforme discutido anteriormente, as demais características do mesmo dificultam a sua aplicação. Com exceção do cordão de solda com tecimento espiral, o tecimento duplo oito produziu um cordão de solda com a menor diluição (16,5%) frente aos obtidos com tecimento triangular e trapezoidal (18,2 e 18,6%, respectivamente). Apesar da menor largura em relação ao depósito realizado com tecimento trapezoidal, o cordão de solda produzido com tecimento duplo oito também se mostra interessante para aplicações de revestimento diante dos baixos índices de diluição. Frente a essas diferenças, destaca-se que o padrão de tecimento possui influência sobre a morfologia do cordão de solda, podendo ser capaz de alterar significativamente as características do depósito sem a alteração da frequência, amplitude e demais parâmetros de soldagem.

#### 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos frente à aplicação de diferentes padrões de tecimento nas condições empregadas neste trabalho, é possível concluir que:

- Os padrões de tecimento influenciam não apenas no aspecto superficial do depósito, como também de forma significativa a morfologia dos depósitos produzidos;
- A distância percorrida por ciclo empregando frequência de tecimento de 0,6 Hz difere ao empregar os diferentes padrões de tecimento, sendo a trajetória realizada pelo robô de soldagem ao empregar o padrão de tecimento espiral e duplo oito 88% e 50% maior que a empregada com o tecimento triangular, respectivamente. Estas diferentes trajetórias impactam de forma significativa a velocidade instantânea da tocha de soldagem mesmo sem alterar a velocidade de soldagem, acarretando em mudanças no aporte de calor ao longo do ciclo;
- Mesmo com trajetórias semelhantes, ao empregar o padrão de tecimento trapezoidal, obteve-se um cordão de solda com maior largura e menor penetração, contudo, com diluição semelhante ao obtido com tecimento triangular;
- O padrão de tecimento duplo oito produziu um depósito com características semelhantes ao produzido com tecimento triangular, entretanto, com uma redução de 15% na penetração e 9% na diluição;
- O cordão de solda produzido com o padrão de tecimento espiral tem como principais características a diluição e penetração próximas a zero, reforço irregular e área depositada cerca de 11% inferior, indicando perdas de pó metálico.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao POSMEC e à CAPES, pelo apoio financeiro com o fornecimento da bolsa de pós-graduação. Agradecem também ao Laboratório de Tecnologia da Soldagem (UFSC-Joinville) e à empresa IMC Soldagem pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

## 6. REFERÊNCIAS

- Balasubramanian, V., AK K. Lakshminarayanan, R. Varahamoorthy, and S. Babu. 2009. "Application of Response Surface Methodology to Prediction of Dilution in Plasma Transferred Arc Hardfacing of Stainless Steel on Carbon Steel." *Journal of Iron and Steel Research International* 16(1): 44–53.
- E Silva, Régis Henrique Gonçalves, Rafael Gomes Nunes Silva, Júlia Moraes Dornelles, and Fernando Costenaro Silva. 2021. "Development and Evaluation of the Internal Cladding Process of Api 51 X70 Risers with Nickel-Based Superalloy 625 via PTA Welding." *Revista Materia* 26(1).
- Lakshminarayanan, A. K., V. Balasubramanian, R. Varahamoorthy, and S. Babu. 2008. "Predicting the Dilution of Plasma Transferred Arc Hardfacing of Stellite on Carbon Steel Using Response Surface Methodology." *Metals and Materials International* 14(6): 779–89.
- Santos, Aureliano Xavier et al. 2019. "Study on Influence of the PTA-P Welding Process Parameters on Corrosion Behavior of Inconel 625 Coatings." *Revista Materia* 24(1).
- Siva, K., N. Murugan, and R. Logesh. 2009. "Optimization of Weld Bead Geometry in Plasma Transferred Arc Hardfaced Austenitic Stainless Steel Plates Using Genetic Algorithm." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 41(1–2): 24–30.
- Xibao, Wang et al. 2006. "The Powder's Thermal Behavior on the Surface of the Melting Pool during PTA Powder Surfacing." *Surface and Coatings Technology* 201(6): 2648–54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.05.009>.

## 7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

# EFFECTS OF DIFFERENT WEAVING PATTERNS ON THE DILUTION AND GEOMETRY OF WELD BEDS PRODUCED BY THE PTA-P PROCESS

### **Anna Louise Voigt**

Federal University of Santa Catarina, Florianópolis – SC, Brasil  
[anna.voigt@posgrad.ufsc.br](mailto:anna.voigt@posgrad.ufsc.br)

### **Tiago Vieira da Cunha**

Federal University of Santa Catarina, Joinville – SC, Brasil  
[t.cunha@ufsc.br](mailto:t.cunha@ufsc.br)

### **Carlos Enrique Niño Bohórquez**

Federal University of Santa Catarina, Florianópolis – SC, Brasil  
[carlos.nino@ufsc.br](mailto:carlos.nino@ufsc.br)



**Abstract.** *The fields of arc welding processes application are not currently restricted to the joining of metallic materials. Among these new applications, additive manufacturing by welding and cladding by welding stand out. Both demand weld beads with low levels of dilution and, in the case of coating applications, this characteristic is essential to guarantee the quality of the deposit and, therefore, of the coating. In this context, wider weld beads are sought in order to reduce the number of necessary side passes, with the use of weaving being one of the main techniques used for this purpose. In this scenario, different types/patterns of weaving can be used, such as circular, trapezoidal, triangular patterns, the latter being the most common. With regard to obtaining weld beads with lower dilution rates, some welding processes have stood out, among them the Plasma process with powder addition (PTA-P), which finds its main application in the coating since, by nature, it already produces low-dilution deposits. However, in order to further reduce the dilution, this process can be applied together with the weaving technique. In this context, the objective of the present study is to evaluate the impact of the weaving pattern on the morphology and, above all, on the dilution of the weld beads produced by the PTA-P process. Therefore, welding tests were carried out with fixed parameters, such as welding current, powder feed rate and carrier gas flow, changing only the weaving pattern. Triangular, trapezoidal, spiral and double eight weaving patterns were used. Metallographic preparation was carried out in order to produce macrographs of the deposits and enable the analysis of the geometric characteristics of the weld beads. The weld beads produced revealed that the weaving pattern has a significant influence on the morphology of the deposits, producing weld beads with different dilutions, ranging from dilutions close to zero to values close to 20%, depending on the weaving pattern used. In addition, despite employing the same weaving amplitude for all tests, the weld beads produced had different widths, reinforcing the choice of the weaving pattern as an important parameter in the parameterization of the PTA-P with a view to coating applications.*

**Keywords:** *Plasma Transfer Arc; Cladding; Weaving; Dilution; Weld bead morphology.*

#### **RESPONSIBILITY NOTICE**

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.