

COBEF2025-0134

PLANEJAMENTO DE TRAJETÓRIAS NA MANUFATURA ADITIVA POR DEPOSIÇÃO A ARCO (MADA): UMA ANÁLISE DE UM MÉTODO UTILIZANDO PASSES INTERCALADOS ENTRE CAMADAS

Carlos Eduardo Ferreira Bezerra, eduardobezerra@acad.ifma.edu.br¹

Rafael Pereira Ferreira, rafael.ferreira@ifma.edu.br¹

Américo Scotti, ascotti@ufu.br²

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), São Luís 65030-005, MA, Brasil

² Laprosolda - Centro para Pesquisa e Desenvolvimento de Processos de Soldagem, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia 38400-901, MG, Brasil

Resumo: A Manufatura Aditiva por Deposição a Arco (MADA) é uma tecnologia de impressão 3D de metais que tem ganhado relevância na produção de peças, sem grandes complexidades, de médio a grande porte. No entanto, um dos principais desafios desse método é a presença de vazios entre camadas adjacentes, causados pela deposição de cordão sobre cordão. Uma solução potencial para minimizar esses vazios é o uso de passes intercalados para preencher melhor as camadas. Com base nisso, esta pesquisa visa investigar a eficiência e a eficácia da MADA ao utilizar um planejamento de trajetória com passes intercalados entre camadas, comparando essa abordagem com a deposição convencional. Para a análise de eficiência, foram considerados três critérios, a saber, tempo de impressão, número de movimentos sem deposição e distância da trajetória. Para a análise da eficácia, os critérios de avaliação incluíram a análise de defeitos internos e externos e a conformidade dimensional entre a peça impressa e o modelo CAD. Os resultados mostram que, em termos de eficiência, as estratégias de camadas intercaladas e convencionais apresentaram tempos de impressão quase idênticos, com 3024 segundos para a intercalado e 3018 segundos para a convencional, uma diferença de apenas 6 segundos (0,1984%). A distância de trajetória foi igualmente próxima, com 18009,72 mm na intercalado e 17973,84 mm na convencional, uma variação de 35,88 mm (0,1992%). Além disso, nenhuma das estratégias apresentou movimentos sem deposição, indicando uma similaridade geral em termos de eficiência. Quanto à eficácia, a estratégia com camadas intercaladas teve um desempenho inferior em comparação à convencional. Foram observados mais defeitos externos, principalmente em áreas com paredes finas, onde houve maior incidência de falta de fusão. Na análise dos defeitos internos, realizada após a usinagem, foram encontrados poros nas áreas volumosas das peças com camadas intercaladas, enquanto as peças com a estratégia convencional não apresentaram defeitos superficiais aparentes. Além disso, a conformidade dimensional foi inferior na estratégia com camadas intercaladas, especialmente em regiões de paredes finas, ao passo que a estratégia convencional garantiu uma melhor precisão ao modelo CAD. Conclui-se que, enquanto ambas as estratégias apresentam eficiência semelhante, a estratégia convencional se destaca em termos de eficácia, com menos defeitos e melhor conformidade dimensional.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva por Deposição de Arco (MADA), Planejamento de trajetória, Passes intercalados, Eficiência, Eficácia.

1. INTRODUÇÃO

A Manufatura Aditiva (MA), também conhecida como impressão 3D, tem se consolidado como uma tecnologia essencial na fabricação de componentes complexos, evoluindo de aplicações voltadas para prototipagem para a produção de componentes de aplicação ou de uso final. Caracterizada pelo processo de adição controlada de material camada por camada, a MA oferece vantagens significativas em relação aos métodos tradicionais, como maior liberdade de design, redução de custos e menor desperdício de material (Alfaify *et al.* (2020)).

No campo da MA de materiais metálicos, técnicas avançadas como a Fusão em Leito de Pó (PBF) e a Deposição por Energia Direcionada (DED) destacam-se por atender às necessidades de indústrias que demandam peças com alta precisão, complexidade geométrica e resistência estrutural. A DED, em particular, tem ganhado espaço devido à sua capacidade de reparar peças desgastadas e fabricar componentes de grande porte. Uma de suas variantes mais promissoras, a Manufatura Aditiva por Deposição de Arco (MADA), utiliza um arco elétrico para fundir e depositar fio metálico camada por camada. Essa técnica combina alta taxa de deposição e flexibilidade no uso de materiais, sendo amplamente utilizada na construção de grandes estruturas metálicas, como componentes navais e de construção civil (Gomes e Wiltgen, 2020).

A eficiência do processo de MADA está relacionada à sua capacidade de produzir peças de grande porte em menor tempo e com menor consumo de material, quando relacionado a processos subtrativos convencionais. Por outro lado, sua eficácia depende da qualidade estrutural e funcional das peças produzidas, o que exige controle preciso de parâmetros como a trajetória de deposição. Um dos principais desafios enfrentados nesse método é a formação de vales entre cordões adjacentes, que podem gerar vazios em camadas superiores, comprometendo a planicidade, a integridade estrutural e, consequentemente, a confiabilidade do componente.

Para mitigar esses problemas, estudos recentes, como o de Liu *et al.* (2021), propuseram o uso de passes intercalados no planejamento das trajetórias, uma estratégia que melhora o preenchimento entre camadas e minimiza os vazios. Os passes intercalados consistem em passes de uma camada serem feitos entre dois passes consecutivos da camada anterior. Essa abordagem visa eliminar possíveis vazios que podem ter sido deixados na camada anterior devido a sobreposição de dois cordões sobrepostos lateralmente. Essas soluções não apenas garantem maior qualidade no produto final, mas também otimizam o uso de material e tempo, aumentando a produtividade do processo.

Assim, a busca por estratégias que equilibrem eficácia e eficiência no planejamento das trajetórias é um desafio. Logo este trabalho tem como objetivo analisar a eficiência e a eficácia de duas estratégias de planejamento de trajetória uma convencional (definida assim por gerar o efeito de cordão sobre cordão da MA) e outra intercalado.

2. A ESTRATÉGIA PIXEL

A estratégia Pixel, desenvolvida por Ferreira e Scotti (2021), tem como objetivo utilizar técnicas de otimização para a geração da trajetória de impressão. A Figura 1 ilustra as etapas dessa estratégia, iniciando-se pelo contorno bidimensional da camada, obtido na etapa anterior de fatiamento — processo realizado internamente por qualquer software de planejamento de impressão. Em seguida, realiza-se o deslocamento (popularmente conhecido pelo termo em inglês *offset*) a uma distância V do contorno bidimensional da camada, valor definido pelo operador, como destacado em vermelho na Figura 1. A etapa subsequente consiste na discretização da superfície delimitada pelas linhas vermelhas em pontos equidistantes (nós azuis), formados pelas interseções de linhas de grade igualmente espaçadas. O espaçamento entre essas linhas também é uma entrada fornecida pelo operador, dependendo diretamente dos parâmetros do processo. Por fim, com a superfície discretizada, um algoritmo desenvolvido pelos autores é aplicado para conectar os pontos gerando a trajetória de impressão, representada na Figura 1 pelas setas azuis.

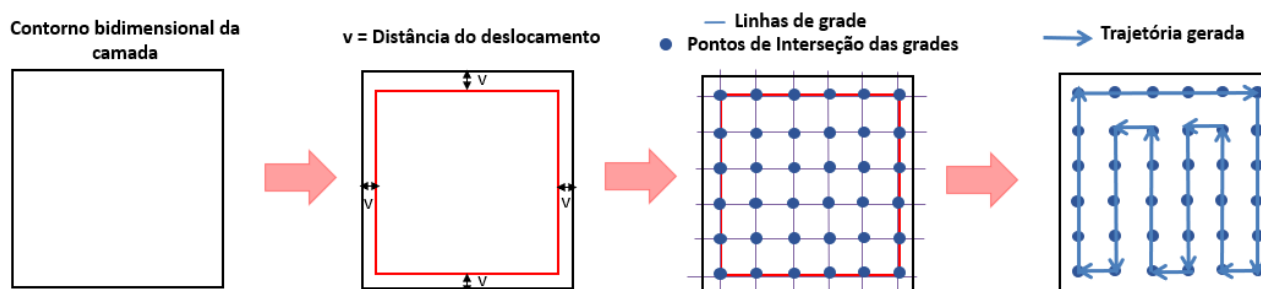


Figura 1. Fluxo do Processo de Geração de Trajetória na Estratégia Pixel

A geração da estratégia Pixel é dividida em duas etapas principais: a geração das camadas ímpares e a geração das camadas pares. A primeira etapa corresponde à estratégia Pixel convencional, apresentada na Figura 1. A segunda etapa refere-se à geração da trajetória Pixel intercalado, cuja proposta consiste em criar pontos — ou nodes — representados em verde, localizados nas vacâncias dos nodes azuis da camada anterior, como ilustrado na Figura 2. Após a definição desses pontos, a trajetória é gerada de maneira semelhante ao processo descrito na Figura 1. É importante destacar que nem todas as regiões da peça apresentarão cordões intercalados, como pode ser observado na Figura 2, localizada à direita. No entanto, observa-se que, neste exemplo, grande parte da trajetória em verde percorre os espaços entre os caminhos da trajetória em azul, correspondente à camada anterior. Ressalta-se que essa proporção pode variar de acordo com a geometria da peça.

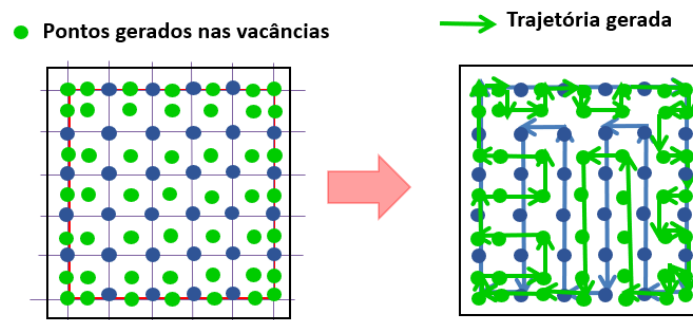


Figura 2. Fluxo do Processo de Geração de Trajetória Pixel Intercalado

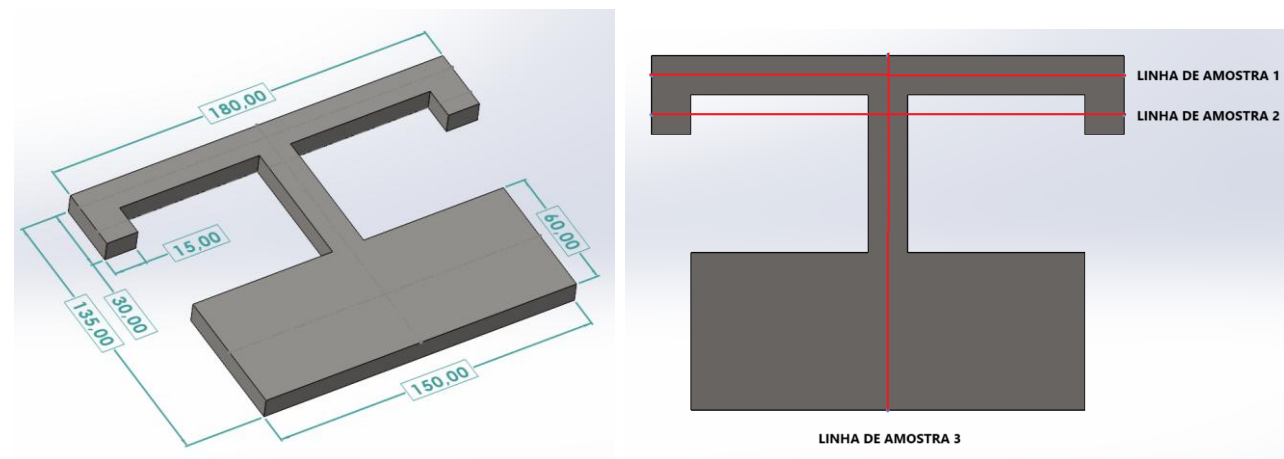
3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atender o objetivo deste trabalho, uma peça complexa com regiões esbeltas e volumosas, Fig. 3(a), foi impressa utilizando as estratégias de preenchimento denominadas Pixel Convencional e Pixel Intercalado, utilizando o software desenvolvido por Ferreira *et al.* (2022). Este software gerou os códigos de máquina (G-Codes) para serem utilizados nas simulações offline e impressões das peças, como será visto. Para cada uma das peças impressas, por cada estratégia foram utilizados critérios para comparar a eficiência e a eficácia operacional durante sua impressão. Em termos de eficiência operacional, foi analisada a distância da trajetória, tempo de impressão e número de caminhos sem deposição para ambas as peças. Esses critérios foram avaliados através de simulações off-line do processo de impressão utilizando os parâmetros da Tab. 1 com o software SprutCAM. Esses valores foram obtidos experimentalmente com base nas configurações experimentais detalhadas na Tab. 2. A distância entre os centros dos cordões, ou o passo, foi ajustada para 4,87 mm, de acordo com o modelo de sobreposição descrito por Ding *et al.* (2015).

Tabela 1. Parâmetro de entrada para simulação offline das peças estudadas. (Adaptado Ferreira *et al.* (2024))

Parâmetros de entrada	Peça
Altura do Cordão	2,49 mm
Largura do cordão	6,60 mm
Velocidade de deposição	40 cm/min
Passo	4,87 mm

Enquanto em termos de eficácia, ou seja, em critérios para definir a qualidade da peça impressa foi utilizada a análise de defeitos externos, internos e quanto à conformidade dimensional. Uma análise visual foi realizada para identificar defeitos externos e internos, para este último a peça teve sua superfície usinada em 5 mm. Para a análise de conformidade dimensional, as peças impressas foram digitalizadas utilizando um escâner 3D HandyScan 3DTM, da Creaform, utilizado por sua alta precisão na captura de superfícies complexas. As malhas obtidas pela digitalização foram comparadas com o modelo CAD original empregando o software VXEelements, da mesma empresa, que oferece ferramentas avançadas para alinhar e avaliar discrepâncias entre os modelos físicos e virtuais. Além dessas etapas, utilizado um programa em Python especificamente para realizar análises detalhadas ao longo das linhas de amostra, como mostrado na Figura 3(b). Esse programa foi usado para identificar variações dimensionais e avaliar a precisão geométrica das peças em regiões críticas, contribuindo para uma análise mais aprofundada da qualidade do processo. Por exemplo, as linhas de amostra 1 e 2 atravessam regiões específicas da interseção em T, apontadas por Nguyen *et al.* (2020) como áreas com maior probabilidade de apresentar desvios geométricos. A linha de amostra 3 se estende longitudinalmente pela peça, abrangendo tanto a área de parede fina (área esbelta) quanto a volumosa.



(a) **(b)**
Figura 3. Peça de estudo: (a) Perspectiva da peça estudo de caso com suas respectivas dimensões; (b) Destaques das linhas de amostra para análise dimensional (Adaptado Ferreira et al. (2024))

Tabela 2. Configurações experimentais das impressões (Adaptado Ferreira et al. (2024))

Processo	GMAW-Pulsado
Equipamento	Fronius CMT – TransPuls Synergic 500
Sistema de movimentação	Mesa de coordenadas CNC de 3 eixos
Substrato	Aço SAE 1020 (200x200x12 mm)
Resfriamento do substrato	Resfriamento passivo
Material de adição	AWS ER90S-B3 – 1,2 mm
Gás de Proteção	Ar e CO ₂ (4%) - 15 L/min
DBCP	17 mm
Velocidade de deposição	40 cm/min
Velocidade de alimentação do material de adição	5,2 m/min
Temperatura Interpasse	80 °C

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 4 apresenta os resultados das simulações de impressão, destacando os critérios de eficiência operacional para as duas estratégias analisadas: Pixel Convencional e Pixel Intercalado. Na estratégia Pixel Convencional, a peça impressa resulta da sobreposição de duas trajetórias de deposição (Fig. 4(a) e 4(b)), o que gera o efeito característico da MA conhecido como cordão sobre cordão. Por outro lado, a estratégia Pixel Intercalado combina as trajetórias ilustradas nas Fig. 4(a) e 4(c), promovendo um padrão intercalado, em que cada cordão é depositado entre dois cordões da camada anterior. Ao todo, foram consideradas seis camadas depositadas em ambas as estratégias.

A comparação da distância das trajetórias, pode ser visto que as estratégias utilizadas para imprimir as camadas pares e ímpares tem uma camada de deposição igual, diferenciando apenas em uma camada responsável por gerar o efeito de sobreposição (Fig. 4(a)). Graças a isso, as duas estratégias de impressão (Convencional e Intercalado) tem distâncias de trajetórias bem próximas, sendo a intercalada de 18009,72mm e a convencional de 17973,84mm, tendo efetivamente uma diferença aproximadamente de apenas 0,2% de uma distância de trajetória para outra, o que se mostra sendo uma diferença praticamente insignificante. Como resultado, a estratégia Pixel Convencional apresentou as menores distâncias de trajetória, porém não significativamente menor que o Pixel Intercalado.

Analisando de forma conjunta as trajetórias utilizadas para a impressão das camadas pares e ímpares, o tempo total de impressão realizada das peças pode ser visto para as duas estratégias de impressão (Convencional e Intercalado). Tendo tempos de deposição de trajetórias bem próximas, sendo a intercalado de 3024 segundos ou 50 minutos e 24 segundos e a convencional de 3018 segundos ou 50 minutos e 18 segundos, sendo uma diferença de apenas 6 segundos de uma para a outra, as estratégias têm efetivamente uma diferença aproximadamente de apenas 0,2% de uma distância de trajetória para outra, o que se mostra sendo uma diferença praticamente insignificante assim como a distância de trajetória.

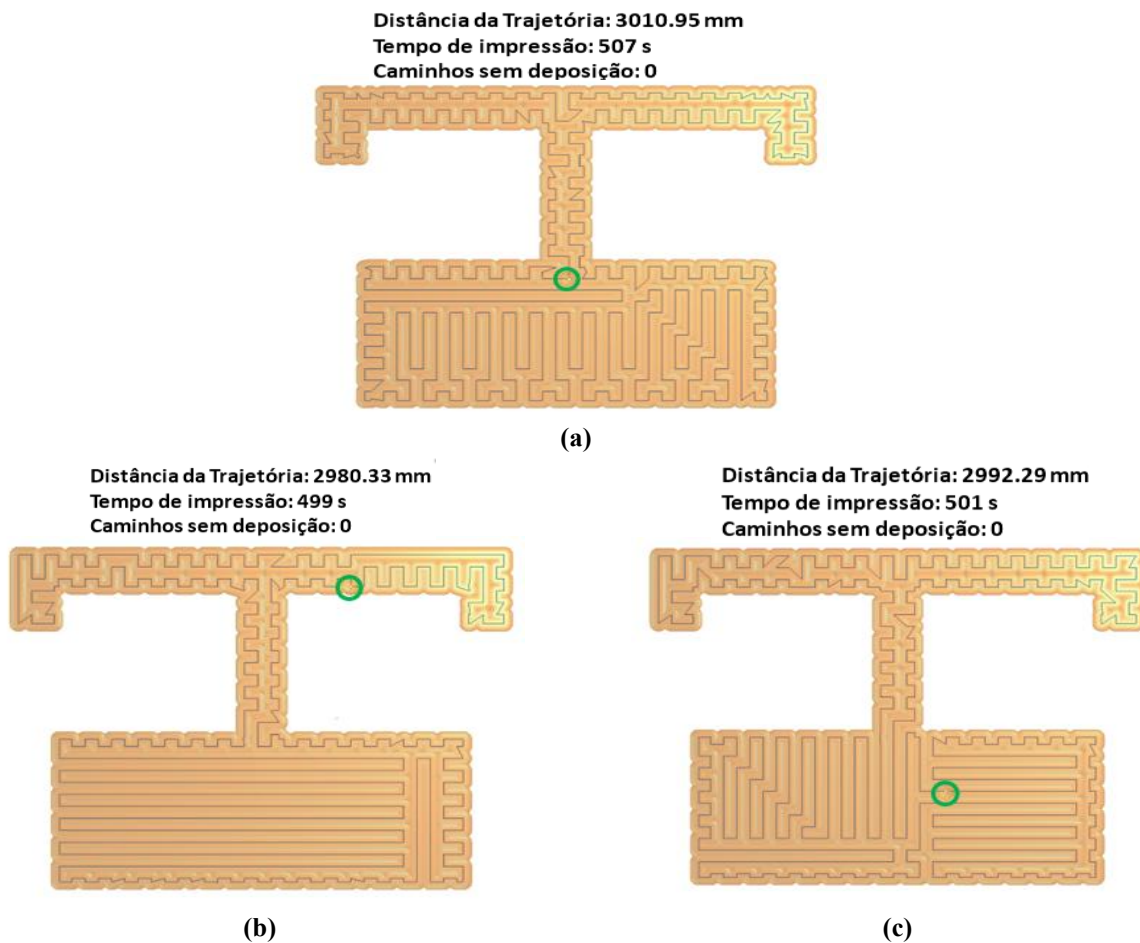


Figura 4. Trajetórias utilizadas para imprimir: (a) Trajetória intermediária; (b) Trajetória do Pixel Convencional sobreposto; (c) Trajetória do Pixel intercalado sobreposto.

Quanto aos caminhos sem deposição, eles não são encontrados quando se é utilizado a estratégia de planejamento de caminho Pixel. Isso ocorre, pois, como a estratégia utiliza uma malha de pontos (nós) que são interligados para traçar toda a trajetória de deposição através de um algoritmo de otimização como mostrado em Ferreira e Scotti *et al.* (2021).

Quanto a análise da qualidade da impressão da peça, relativo a eficácia, utilizando a estratégia de Pixel Convencional (Fig. 5(a)) apresentou algumas falhas de fusão durante o processo de preenchimento, especialmente nas regiões de paredes finas, onde as condições são mais críticas para garantir a integridade do material. Em comparação, a peça fabricada com a estratégia de Pixel Intercalado (Fig. 5(b)) também apresentou um número considerável de falhas de fusão, sendo maiores que as vistas na peça convencional. Essas falhas ocorreram nas áreas de paredes finas, mas também em regiões da área volumosa, evidenciando uma maior dificuldade na homogeneidade do preenchimento com essa estratégia.



Figura 5. Peças impressas usando o planejamento de trajetória Pixel: (a) Pixel convencional; (b) Pixel intercalado.

Após a etapa de usinagem para verificação de defeitos internos, foi possível realizar uma análise mais detalhada da superfície das peças. A peça construída com o Pixel convencional (Fig. 6(a)) não apresentou falhas superficiais aparentes relacionadas à soldagem, como a formação de porosidades, indicando uma soldagem relativamente uniforme e sem defeitos visíveis. Por outro lado, a peça com a estratégia de Pixel intercalado (Fig. 6(b)) revelou problemas mais significativos. Isso se deve a problemas comuns encontrados em uma soldagem, onde na área central da região volumosa, que pode ser vista na Fig. 6(b), teve a formação de poros, alguns um pouco maiores e mais visíveis e outros menores na qual se tem um pouco mais de dificuldade de ver através da Fig. 6(b).



Figura 6. Peças impressas usando o planejamento de trajetória Pixel usinado: (a) Pixel convencional; (b) Pixel intercalado.

Ao examinar a conformidade dimensional das peças, observou-se que a peça produzida com a estratégia de Pixel intercalado apresentou uma baixa conformidade, especialmente nas regiões de paredes finas. Isso pode ser visto na Fig.7 na qual foi escaneada e feita a comparação. Na Fig.7(b) pode ser visto a peça escaneada, nela é possível ver que uma grande área da peça exibiu variações dimensionais negativas significativas, representada pela região azul, principalmente nas áreas das linhas de amostra (Fig. 3(b)) e nas áreas de parede fina, indicando que a peça não atendeu aos critérios de precisão esperados. Isso pode ter acontecido pois os cordões intercalados, como são depositados nos vales da camada anterior, podem ter comprometido a altura das camadas, deixando uma região com dimensões negativas. Mesmo na área

volumosa, que teoricamente seria menos suscetível a variações, houve deformações dimensionais negativas nas bordas, típicas de peças impressas por MADA.

Em contraste, a peça fabricada com o Pixel convencional mostrada na Figura 8 apresentou um desempenho muito melhor em termos de conformidade dimensional, representada pela região verde (Fig. 8(b)). Ao longo de toda a superfície, a peça exibiu uma maior precisão, com variações dimensionais mínimas. Embora ainda houvesse uma leve variação negativa nas bordas da peça, essa variação foi menos pronunciada e não comprometeu a integridade geral. Em contrapartida, a peça também apresentou uma variação dimensional positiva (região vermelha) em algumas partes da área volumosa e, em menor escala, nas áreas de paredes finas, o que pode ser explicado com a abordagem utilizada na sua impressão na qual os cordões são postos diretamente um em cima do outro o que gera um maior volume na sobreposição dos mesmos, o que não ocorre com a abordagem intercalado.

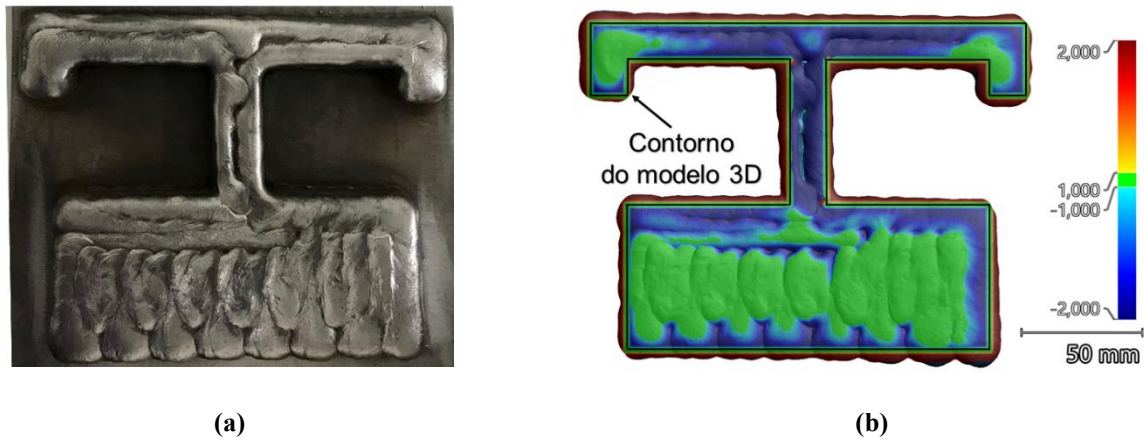


Figura 7. Peças impressas usando o planejamento de trajetória Pixel intercalada: (a) Peça impressa; (b) Peça escaneada.

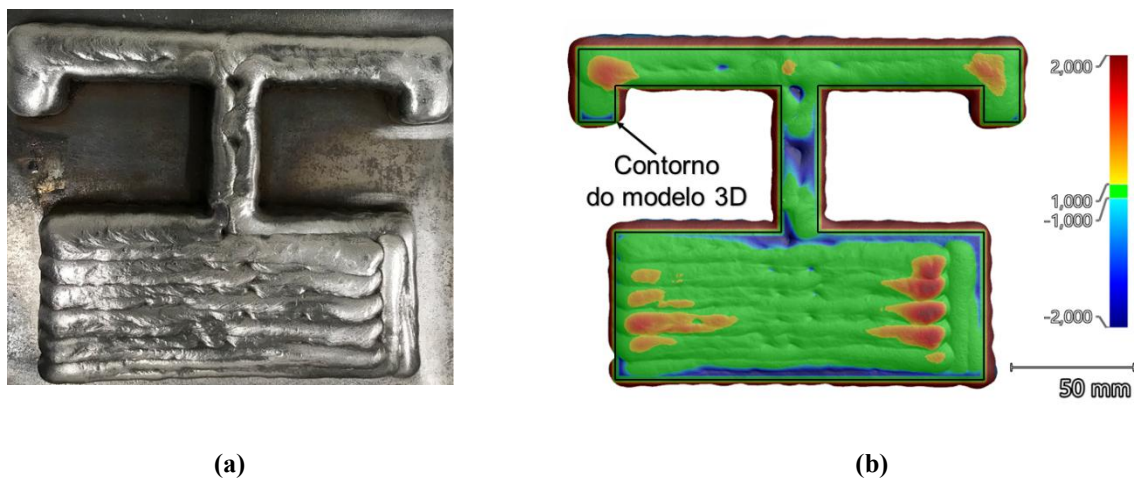


Figura 8. Peças impressas usando o planejamento de trajetória Pixel convencional: (a) Peça impressa; (b) Peça escaneada.

A análise da conformidade dimensional pode ser mais bem compreendida por meio da Figura 9, que apresenta uma vista lateral das peças. Na Fig. 9(a), observa-se a peça impressa utilizando o Pixel intercalado. Nela, é possível identificar uma variação dimensional negativa, destacada em azul, na região de parede fina localizada no centro da peça. Essa variação ocorre devido ao aumento da temperatura concentrada nas camadas, causado pelo depósito do cordão entre os cordões, ou seja, vales da camada anterior. Esse efeito elevou a temperatura local, fazendo com que os cordões subsequentes apresentassem uma altura progressivamente menor do que a parametrizada. Por causa desse tipo de problema Jorge *et al.* (2022) afirmaram que é necessário estabilizar a temperatura entre camadas para que se tenha uma boa geometria do cordão parametrizado.

Já na Fig. 9(b), que mostra a peça fabricada com Pixel convencional, nota-se uma conformidade dimensional superior à do Pixel intercalado, evidenciada pela linha preta que representa o contorno do modelo 3D. Embora existam áreas com baixa conformidade, atribuídas à falta ou ao excesso de material, a peça fabricada com Pixel convencional demonstra uma proximidade geral maior ao modelo 3D, refletindo uma melhor adequação dimensional.

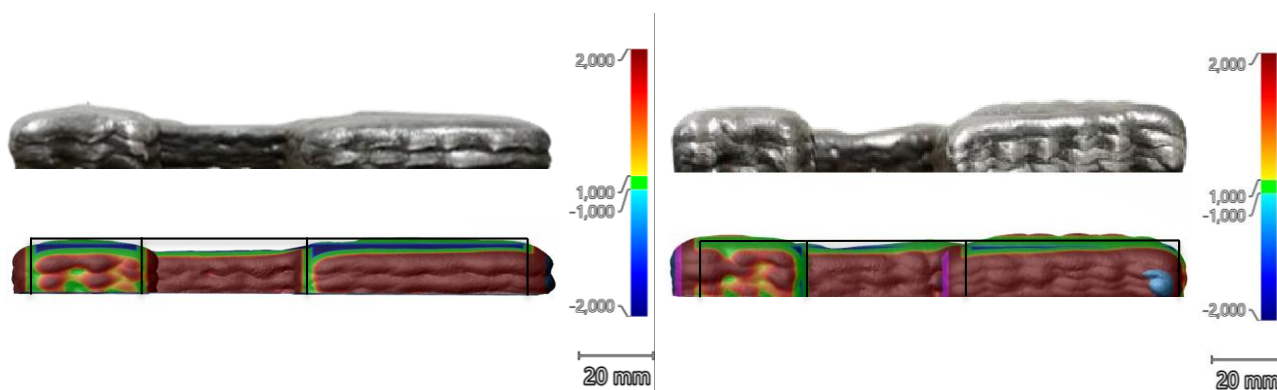


Figura 9. Peças impressas usando o planejamento de trajetória Pixel com vista lateral: (a) Peça com Pixel intercalado; (b) Peça com Pixel convencional.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, a estratégia de Pixel convencional destacou-se como superior em diversos aspectos em comparação à estratégia de Pixel intercalado. Em termos de controle dimensional, a abordagem convencional apresentou maior precisão, resultando em peças com menor variação em relação às especificações projetadas. Esse desempenho foi corroborado por uma conformidade dimensional mais próxima do modelo 3D, demonstrando a eficácia desse método na reprodução de detalhes geométricos. Além disso, a qualidade superficial das peças produzidas com Pixel convencional foi superior, apresentando menos falhas relacionadas à fusão e defeitos típicos de soldagem, como porosidade. Essa característica é crucial para aplicações que exigem acabamento superficial aprimorado e resistência mecânica uniforme.

Por outro lado, a estratégia de Pixel intercalado mostrou maior suscetibilidade a variações térmicas durante o processo de fabricação, o que impactou negativamente a precisão dimensional e resultou em uma maior ocorrência de áreas com conformidade inadequada. A deposição entre cordões de camadas consecutivas promoveu um aumento localizado da temperatura, o que afetou a qualidade e a altura dos cordões subsequentes, comprometendo o desempenho geral da peça. Em termos de eficiência operacional, ambas as estratégias demonstraram um desempenho similar, com uma variação praticamente insignificante no tempo de processamento e na utilização de recursos. Esse resultado sugere que, do ponto de vista operacional, as duas abordagens são igualmente eficientes, o que amplia as possibilidades de escolha com base em outros critérios, como precisão dimensional e qualidade superficial.

Portanto, pode-se concluir que a estratégia de Pixel convencional é a mais indicada quando se busca atender às especificações projetadas com maior precisão, mantendo a qualidade superficial e minimizando defeitos, sem comprometer a eficiência operacional do processo. Para uma análise mais aprofundada do processo estudado e um controle mais preciso, é essencial realizar avaliações mais específicas das propriedades mecânicas (trabalho em andamento para futuras publicações). Isso permitiria uma indicação mais precisa de qual processo se destaca em termos de desempenho.

6. REFERÊNCIAS

- Alfaify, A., Saleh, M., Abdullah, F., e Al-Ahmari, A., 2020. Design for Additive Manufacturing: A Systematic Review. *Sustainability*. doi:10.3390/su12197936
- Ding, D., Pan, Z., Cuiuri, D., e Li, H., 2015. A multi-bead overlapping model for robotic wire and arc additive manufacturing (WAAM). *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 31, pp. 101-110. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2014.08.008>
- Ferreira, R., e Scotti, A., 2021. The Concept of a Novel Path Planning Strategy for Wire + Arc Additive Manufacturing of Bulky Parts: Pixel. *Metals*, 11(3), p. 498. doi: <https://doi.org/10.3390/met11030498>
- Ferreira, R., Vilarinho, L., & Scotti, A., 2024. Enhanced-Pixel strategy for wire arc additive manufacturing trajectory planning: operational efficiency and effectiveness analyses. *Rapid Prototyping Journal*, 30. doi:10.1108/RPJ-12-2022-0413
- Ferreira, R., Vilarinho, L., e Scotti, A., 2022. Development and implementation of a software for wire arc additive manufacturing preprocessing planning: trajectory planning and machine code generation. *Welding in the World*, 66, pp. 455–470. doi:<https://doi.org/10.1007/s40194-021-01233-w>
- Gomes, J., e Wiltgen, F., 2020. Avanços na manufatura aditiva em metais: técnicas, materiais e máquinas. *Revista Tecnologia*, 41(1). doi:10.5020/23180730.2020.9917

- Jorge, V., Teixeira, F., e Scotti, A., 2022. Pyrometrical Interlayer Temperature Measurement in WAAM of Thin Wall Strategies, Limitations and Functionality. *Metals*, 12(5). doi:<https://doi.org/10.3390/met12050765>
- Liu, B., Shen, H., Zhou, Z., Jin, J., e Fu, J., 2021. Research on support-free WAAM based on surface/interior separation and surface segmentation. *Journal of Materials Processing Tech.* doi:10.1016/j.jmatprotec.2021.117240
- Nguyen, L., Buhl, J., e Bambach, M., 2020. Continuous Eulerian tool path strategies for wire-arc additive manufacturing of rib-web structures with machine-learning-based adaptive void filling. *Additive Manufacturing*, 35. doi:<https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101265>

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

COBEF2025-0134

PATH PLANNING IN WIRE ARC ADDITIVE MANUFACTURING (WAAM): AN ANALYSIS OF A METHOD USING INTERLACED PASSES BETWEEN LAYERS

Carlos Eduardo Ferreira Bezerra, eduardobezerra@acad.ifma.edu.br¹
Rafael Pereira Ferreira, rafael.ferreira@ifma.edu.br¹
Américo Scotti, ascotti@ufu.br²

¹ Federal Institute of Education, Science and Technology of Maranhão (IFMA), São Luís, MA, Brazil

² Department of Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brazil,

Abstract. Wire arc additive manufacturing (WAAM) is a metal 3D printing technology increasingly employed for producing medium- to large-scale components with moderate complexity. However, a key challenge of this method lies in the presence of voids between adjacent layers due to layer-over-layer deposition. One potential solution to mitigate these voids involves using interlaced layer paths to improve layer filling. This study investigates the efficiency and effectiveness of WAAM using interlaced layer strategies compared to conventional deposition approaches. Efficiency analysis considered three criteria, such as, printing time, non-deposition movements, and trajectory length. Effectiveness evaluation included internal and external defect analysis and dimensional accuracy relative to the CAD model. Results indicate that, in terms of efficiency, the interlaced and conventional strategies showed nearly identical printing times (3024 s and 3018 s, respectively, differing by only 6 seconds or 0.1984%) and trajectory lengths (18009.72 mm and 17973.84 mm, differing by 35.88 mm or 0.1992%). Both strategies had no non-deposition movements, highlighting their comparable efficiency. Regarding effectiveness, the interlaced strategy underperformed relative to the conventional approach. External defects were more prevalent in interlaced layers, especially in thin-walled areas, where a lack of fusion was observed. Internal defect analysis revealed porosities in the interlaced samples, particularly in volumetric regions, whereas the conventional strategy showed no apparent surface defects. Additionally, dimensional conformity was inferior in the interlaced strategy, particularly in thin-walled regions, while the conventional approach demonstrated higher precision to the CAD model. In conclusion, while both strategies achieve similar efficiency, the conventional strategy outperforms in effectiveness, yielding fewer defects and better dimensional accuracy.

Keywords: Wire arc additive manufacturing (WAAM), Path planning, Interlaced layer paths, efficiency, effectiveness.

RESPONSIBILITY NOTICE

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