

Processo de manufatura aditiva por arco elétrico – avaliação das peças metálicas produzidas

Anelise Lando | anelise.l1@aluno.ifsc.edu.br
Erwin Werner Teichmann | erwin@ifsc.edu.br
Henrique Cesar Pavanati | pavanati@ifsc.edu.br
Nelso Gauze Bonacorso | nelso@ifsc.edu.br
Nerino Mariano de Brito Filho | nerino.bf1988@aluno.ifsc.edu.br
Rafael Nunes | rafaelnunes@bil.ibs.br

RESUMO

O processo Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM), também conhecido como Manufatura Aditiva por Arco Elétrico, tem se destacado pela capacidade de produzir peças metálicas utilizando soldagem GMAW robotizada. (LIMA, 2023). Este estudo avaliou paralelepípedos de aço carbono produzidos por WAAM, analisando descontinuidades, microestrutura e propriedades mecânicas via ensaio de tração. As peças apresentaram resistência compatível com aços como o 1020, apesar da presença de inclusões e variações no tamanho dos grãos. As análises metalográficas classificaram as descontinuidades como classe C, aceitáveis para aplicações não críticas. Os resultados comprovam a viabilidade do uso de equipamentos de soldagem convencionais para obter peças de boa qualidade, reforçando o potencial do WAAM como alternativa eficiente e econômica para a indústria e o ensino técnico.

Palavras-chave: manufatura aditiva por arco elétrico; WAAM; soldagem robotizada; resfriamento por ar comprimido.

1 INTRODUÇÃO

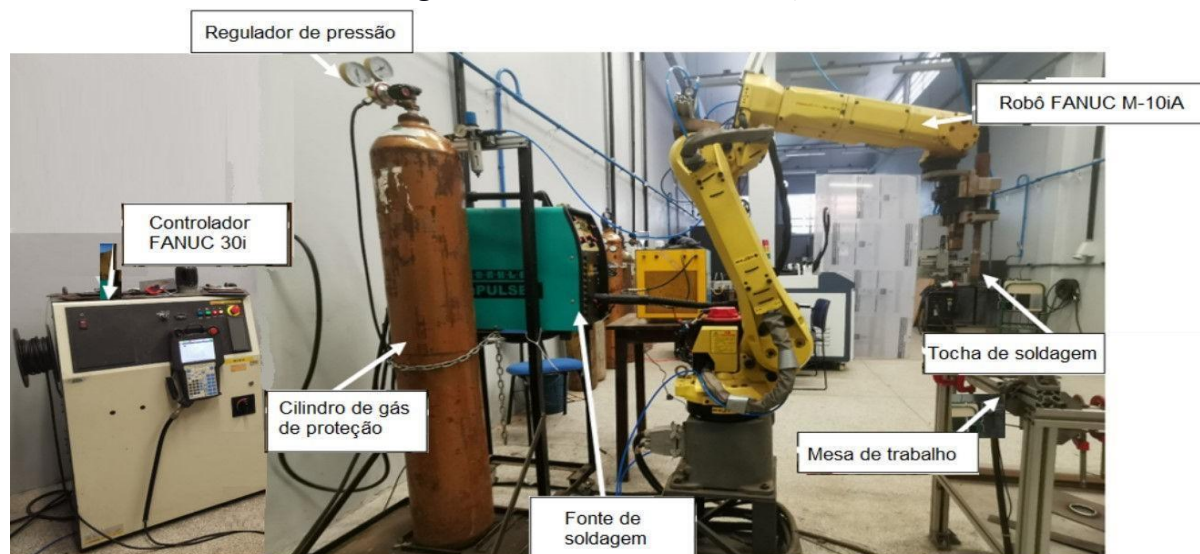
O processo Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM), que utiliza soldagem GMAW robotizada, permite produzir peças metálicas complexas podendo ser de grande porte e com as mais variadas geometrias além de menor custo e tempo (ARAÚJO, 2021). Neste estudo, paralelepípedos de aço carbono fabricados por WAAM apresentaram resistência comparável à do aço 1020, mesmo com pequenas descontinuidades e variações microestruturais. Os resultados confirmam a viabilidade do uso de soldagem convencional para fabricar peças de boa qualidade, destacando o WAAM como alternativa eficiente e econômica para aplicações industriais e educacionais.

2 MÉTODO

Foi projetado e fabricado um paralelepípedo de 100 × 65 × 25 mm para extração de corpos de prova conforme a norma ASTM E8/E8M, utilizando uma célula robotizada com robô FANUC M-10iA e fonte Merkle Balmer High Pulse 352K. O processo GMAW,

em modo curto-circuito, operou com 16 V, corrente média de 115 A, velocidade de arame de 4 m/min, soldagem de 40 cm/min e DBCP de 16 mm. A deposição foi realizada sobre chapa de aço A36 usando arame AWS ER70S-6 (1,0 mm) e gás de proteção Ar + 25% CO₂ a 15 l/min, destacando-se pela simplicidade geométrica e eficiência no planejamento e execução.

Figura 1 Estrutura de fabricação



Fonte: LANDO et al., 2025.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A qualidade das peças produzidas por WAAM foi avaliada por meio de ensaios de tração em três corpos de prova, conforme a figura 2, cujos resultados foram comparados aos de aços 1020, 1030 e 1045. Embora tenham sido classificadas como Classe C pela norma AWS D20.1/D20.1M:2019 devido à presença de inclusões de silicatos superiores a 2,3 mm, as peças apresentaram desempenho mecânico comparável ao de aços industriais, superando-os em capacidade de escoamento. O material fabricado exibiu resistência média de 481,7 MPa e tensão de escoamento de 352,3 MPa, valores compatíveis com os aços 1020 e 1030 e próximos ao arame ER70S-6 (500 MPa). O alongamento, entre 33% e 36%, foi superior aos dos aços e do arame, evidenciando elevada ductilidade. Dessa forma, os paralelepípedos produzidos por WAAM demonstraram propriedades mecânicas competitivas, combinando boa resistência e excelente deformabilidade, além das vantagens do processo, como flexibilidade geométrica e melhor aproveitamento de material.

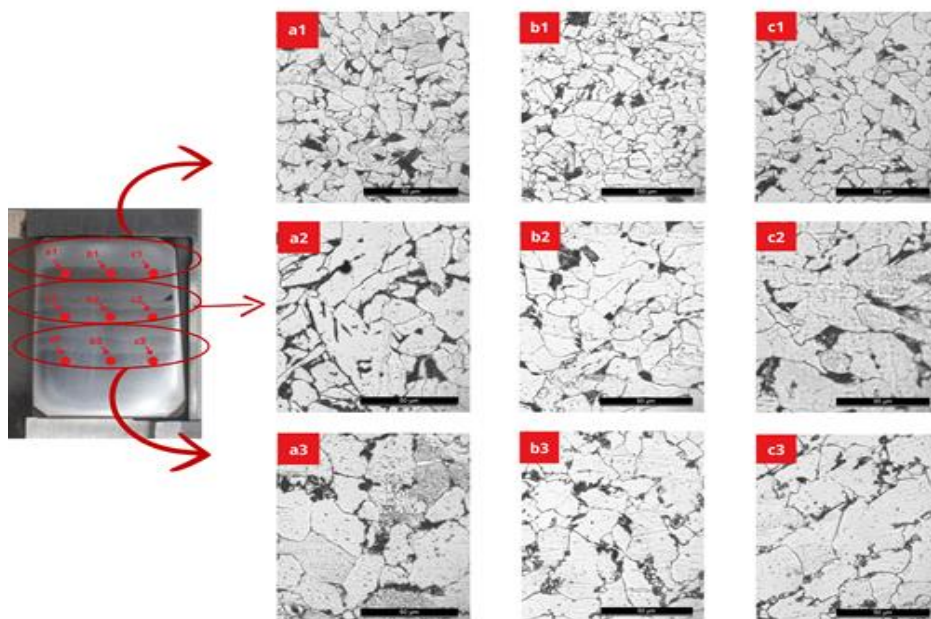
Figura 2 Elaboração do bloco, corte e corpos de prova



Fonte: LANDO et al., 2025.

A análise metalográfica mostrada na figura 2 foi realizada em um segundo paralelepípedo de mesmas dimensões, a partir do corte longitudinal de sua região central, onde foram examinados nove pontos distintos, conforme mostrado na Figura 3. As amostras passaram por lixamento com Struers DP9a, polimento com Struers AP10 e ataque químico com Nital 2%, sendo posteriormente observadas em microscópio óptico Leica DM4000 M LED para identificar inclusões, variações microestruturais e alterações no tamanho de grão. A contagem de grãos revelou variações significativas ao longo das quatro amostras analisadas. Para essa investigação, foram avaliados três pontos em cada uma das três regiões situadas a diferentes alturas — 22,5 mm, 15,0 mm e 7,5 mm em relação ao substrato, conforme a Figura 3. Os resultados confirmaram a heterogeneidade microestrutural e a redução no tamanho dos grãos nas regiões adjacentes no sentido da construção do paralelepípedo.

Figura 3 Micrografias com aumento 500X das nove regiões



Fonte: LANDO et al., 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo comprova a viabilidade do WAAM para fabricação de peças metálicas competitivas usando equipamentos convencionais de soldagem robotizada, sem necessidade de infraestrutura especializada. O processo oferece vantagens como flexibilidade geométrica, redução de custos e maior ductilidade das peças. Restrições estruturais, como inclusões e controle térmico, limitam o uso em aplicações críticas, mas a técnica é promissora para indústrias que buscam inovação com eficiência e para uso educacional. Assim, WAAM se destaca como uma alternativa acessível e eficaz para manufatura aditiva em aço.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC) pelo suporte institucional e pela infraestrutura disponibilizada para a realização deste trabalho. Agradecemos também ao Laboratório de Pesquisa em Soldagem pelo apoio técnico e pela colaboração na execução dos experimentos. Por fim, agradecemos a todos os colegas e colaboradores que contribuíram de forma direta ou indireta para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- (1) LANDO, A.; TEICHMANN, E. W.; PAVANATI, H. C.; BONACORSO, N. G.; NUNES, R. Avaliação de Peças Metálicas Construídas pelo Processo de Manufatura Aditiva por Arco Elétrico. In: CONGRESSO NACIONAL DE SOLDAGEM, 47., CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUFATURA ADITIVA, 2025, Joinville, SC. *Anais...* Joinville, SC: Associação Brasileira de Soldagem (ABS), 2025.
- (2) LIMA, J. R. da S. Manufatura aditiva por soldagem: uma revisão na literatura. 2023. Russas: Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, 2023. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas. Disponível em: <<https://repositorio.ufc.br/ri/handle/riufc/75096>> Acesso em: 10 setembro 2025.
- (3) ARAÚJO, V. C. Manufatura aditiva e suas aplicações na indústria: uma revisão de literatura. 2021. 94p. Russas: Universidade Federal do Ceará. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/57827/1/2021_tcc_vcaraujo.pdf>. Acesso em: 10 setembro 2025.