

**44° SENAFOR**

28ª Conferência Internacional de Forjamento - Brasil  
14ª Conferência Internacional de Conformação de Chapas / 11º Congresso do BrDDR  
14ª Conferência Internacional de Materiais e Processos para Energias Renováveis  
3ª Conferência Internacional de Inovação em Materiais e Manufatura  
Porto Alegre, RS, dias 1, 2 e 3 de outubro de 2025  
[www.senafor.com](http://www.senafor.com)

# MANUFATURA ADITIVA POR DEPOSIÇÃO A ARCO DUPLO ARAME DE MATERIAIS RESISTENTES A DESGASTE: CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL

Langbehn. Jamile Thön <sup>(1)</sup>

Daleffe. Anderson <sup>(2)</sup>

Schaeffer. Lirio <sup>(3)</sup>

Casagrande, Henrique Cechinel <sup>(4)</sup>

Crozetta, Natan Damian <sup>(5)</sup>

Castro, Richard de Medeiros <sup>(6)</sup>

## RESUMO

A manufatura aditiva por deposição a arco (MADA) com processo GMAW duplo arame apresenta-se como alternativa de menor custo em relação a técnicas a laser para revestimento de componentes sujeitos ao desgaste. Neste trabalho, foram depositadas paredes a partir da mistura dos arames UTP A DUR 600 e NCSW Rapid 952T, buscando aliar alta dureza com maior resistência ao impacto. A deposição ocorreu em sistema CNC com duas fontes GMAW, resultando em parede com boa fusão, embora com irregularidades geométricas. A microestrutura obtida foi martensítica, com carbonetos dispersos e ausência de trincas, apresentando dureza média de 643 HV. Os resultados indicam que a técnica possui potencial para gerar revestimentos resistentes à abrasão e mais tenazes, demandando estudos futuros de parâmetros de soldagem e propriedades tribológicas.

**Palavras Chave — MADA, GMAW, Microestrutura, Revestimento.**

## 1. INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva por deposição a arco (MADA) tem sido alvo de intensas pesquisas em diferentes aplicações, incluindo o revestimento de componentes sujeitos

[1] Doutoranda PPGE3M, UFRGS, [jamile.thon@satc.edu.br](mailto:jamile.thon@satc.edu.br)

[2] Prof. Dr., Centro Universitário UNISATC, [anderson.daleffe@satc.edu.br](mailto:anderson.daleffe@satc.edu.br)

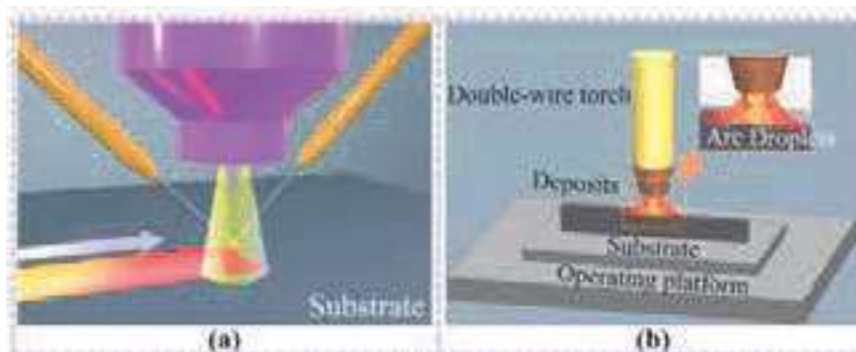
[3] Prof. Dr., UFRGS, [schaeffer@ufrgs.br](mailto:schaeffer@ufrgs.br)

[4] Doutorando PGMAT, UFSC, [henrique\\_cechinel@hotmail.com](mailto:henrique_cechinel@hotmail.com)

[5] Mestrando em Engenharia Metalúrgica UNISATC, [natan.crozetta@satc.edu.br](mailto:natan.crozetta@satc.edu.br)

[6] Prof. Dr., Centro Universitário UNISATC, [richard.castro@satc.edu.br](mailto:richard.castro@satc.edu.br)

ao desgaste [1],[2]. Entre as técnicas disponíveis, a manufatura aditiva por arco elétrico utilizando o processo GMAW (*gas metal arc welding*) com duplo arame desponta como alternativa mais acessível ao processo a laser, amplamente empregado [3]. Além do menor custo dos equipamentos, essa técnica permite combinar dois arames comerciais de ampla disponibilidade no mercado, resultando em materiais com propriedades específicas [4]. A Figura 1 mostra algumas técnicas de MADA duplo arame com processo GTAW (*gas tungsten arc welding*) e GMAW.



**Figura 1:** MADA duplo arame. (a) GTAW. (b) GMAW com tocha adaptada. Adaptado de [3].

Nos últimos anos diversos trabalhos vêm explorando a criação de ligas *in-situ* misturando arames por MADA com diferentes finalidades [5]. Alguns trabalhos buscam a mistura das ligas para obter propriedades específicas [6]-[8], enquanto outros buscam a deposição de materiais em gradiente, obtendo um material funcionalizado com variação de propriedades ao longo da parede [9].

O objetivo deste trabalho é depositar uma parede por MADA duplo arame com os arames UTP A DUR 600 e NCSW Rapid 952 T obtendo uma nova liga. Ambos são utilizados para revestimento contra desgaste. O primeiro arame possui uma característica frágil, com grande presença de trincas de alívio térmico e baixa resistência a impacto. O segundo possui uma característica de maior tenacidade e resistência a impacto sem a formação de trincas. A motivação do trabalho é obter um revestimento que mantenha a resistência a abrasão, porém com menor formação de trincas e maior resistência ao impacto.

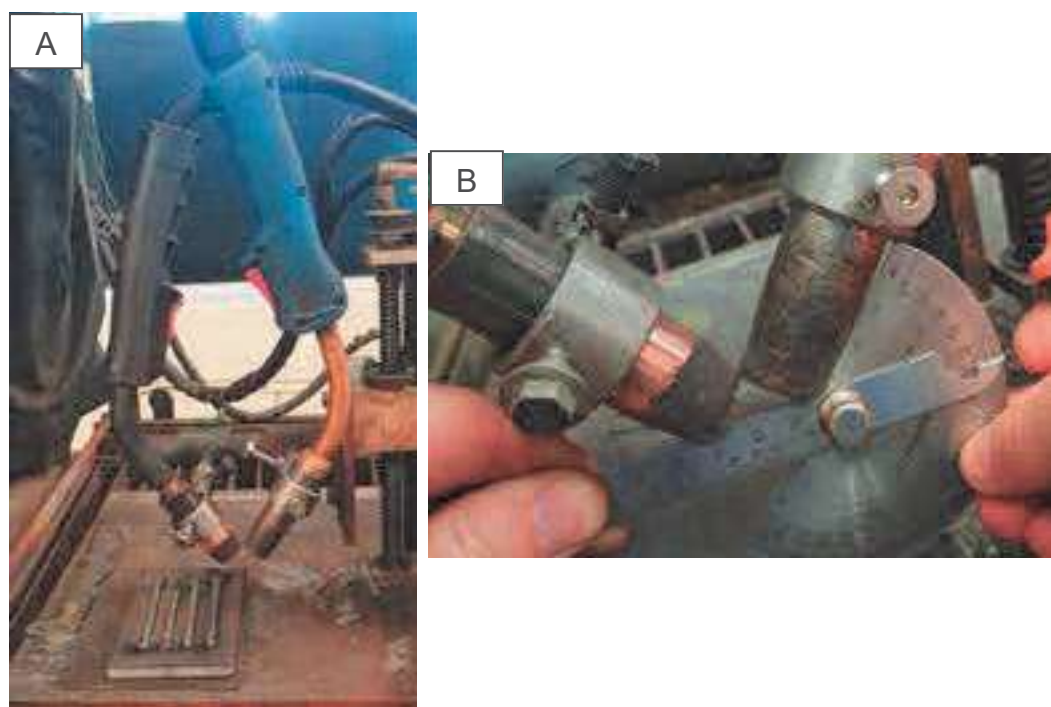
## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do trabalho foram utilizados os arames UTP A DUR 600 e o NSCW Rapid 952T, cujas composições químicas são mostradas na Tabela 1. Ambos possuem 1,2mm de diâmetro.

**Tabela 1:** Composição química dos arames utilizados no trabalho.

Material		%C	%Mn	%Si	%Cr	%Mo	%W	%V
UTP AF DUR 600	Méd	0,5	0,5	3,0	9,5	--	--	--
NCSW Rapid 952T	Min Máx	0,50 0,65	1,0 2,0	- 0,7	5,0 8,0	2,5 4,0	1,0 1,5	0,5 1,0

Para o processo de MADA duplo arame foi utilizado um sistema cartesiano CNC com duas máquinas de solda GMAW acopladas, sendo uma máquina IMC DIGIplus A7 e uma máquina ESAB Smashwelding 250E. As tochas foram posicionadas a fim de ficarem com um ângulo de 50° em relação a base de soldagem, conforme Figura 2.



**Figura 2:** Sistema cartesiano com tochas de soldagem acopladas. (a) dispositivo e disposição das tochas no braço mecânico. (b) ângulo das tochas em relação a base de deposição.

Na Tabela 2 estão descritos os parâmetros de soldagem utilizados na MADA. Esses parâmetros foram definidos por meio de testes iniciais, até que fosse alcançado um cordão de qualidade. O arco elétrico foi aberto apenas por uma das tochas (alimentando DUR600), enquanto a outra tocha apenas alimentou o segundo arame. O gás de proteção foi fornecido por um cilindro único com uma mangueira dupla, desta forma a vazão de gás total foi distribuída para as duas tochas. A deposição foi realizada sobre uma base de aço SAE 1020.

**Tabela 2:** Parâmetros de MADA

Parâmetros	Valor
Tensão	20V
Velocidade de alimentação do arame DUR 600	5,7m/min
Velocidade de alimentação do arame 952	4m/min
Velocidade de soldagem	0,25m/min
Corrente	171A
Vazão de gás	22L/min

Para a caracterização microestrutural foi realizado ensaio de metalografia. A preparação da amostra seguiu a norma ASTM E-3 com as etapas de lixamento utilizando lixas de grão #80 até #1200, polimento utilizando politriz com pano de polimento e solução de alumina 1 $\mu$ m e ataque em nital 2% para revelação da microestrutura. Para aquisição das imagens foi utilizado um microscópio Olympus BMX com ampliações de 50x, 100x, 200x

As amostras preparadas para metalografia também foram utilizadas para a análise de microdureza Vickers em um microdurômetro Shimadzu HMV, utilizando método HV1 com uma força aplicada de 9,807N por 10s.

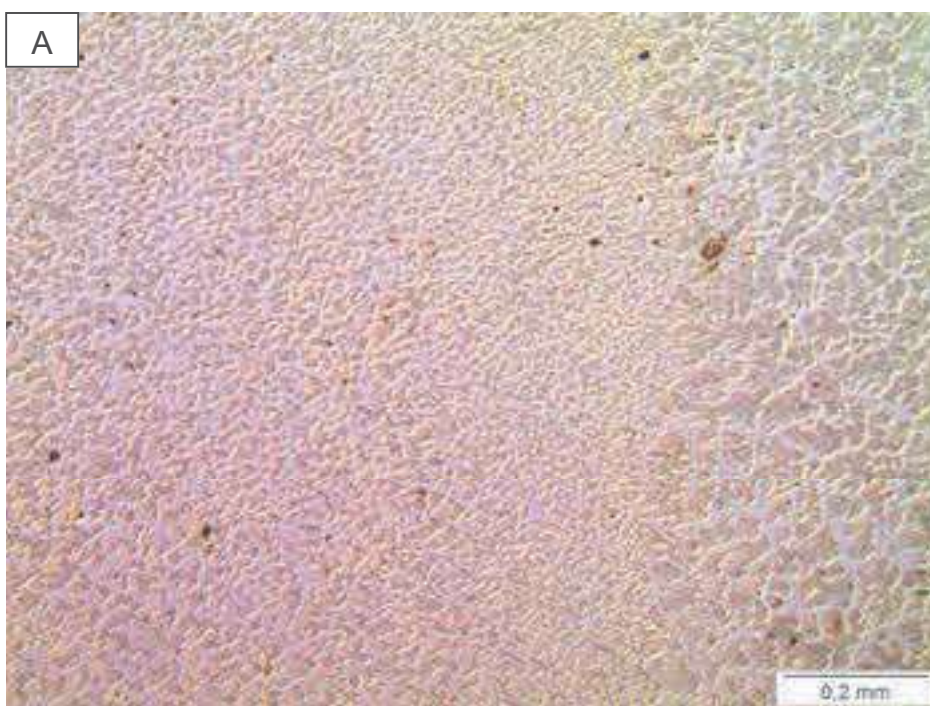
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

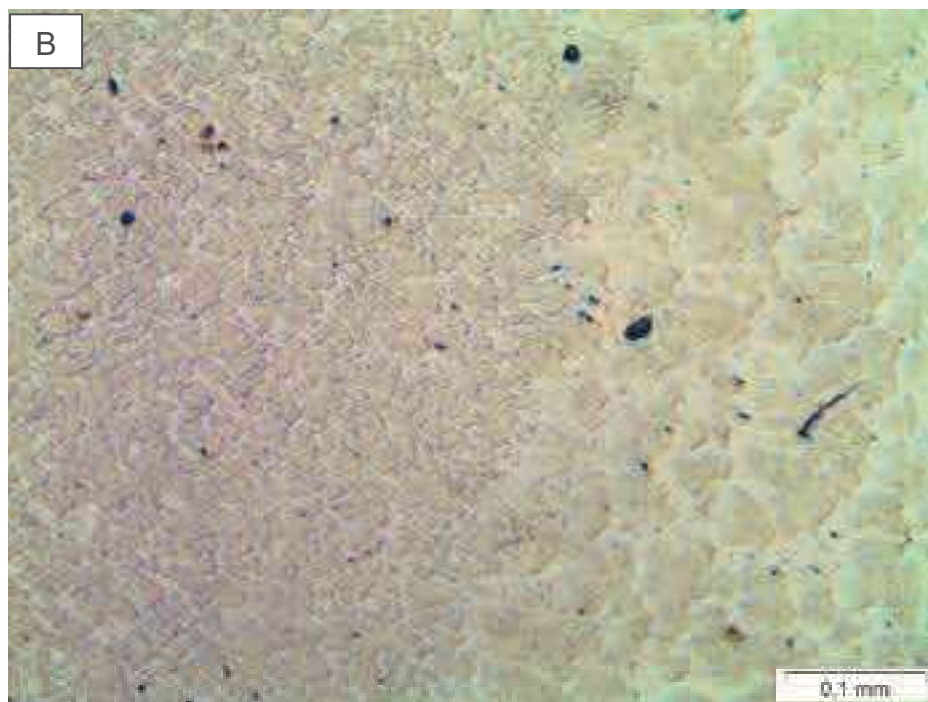
A parede foi criada por meio da deposição de 8 camadas e uma altura final de aproximadamente 19mm e comprimento de 110mm. Visualmente a deposição ocorreu bem, sem separação ou deslocamento dos materiais, indicando que a mistura dos materiais na poça de fusão foi bem-sucedida. Porém, foi observado alguns escorrimientos do material em algumas camadas, fazendo com que a parede tivesse medidas não uniformes. Para futuros testes será necessário rever as condições de deposição para obter uma melhor estrutura da parede. A Figura 3 mostra a parede final obtida por MADA duplo arame.



**Figura 3:** Parede obtida por MADA duplo arame.

O ensaio de metalografia revelou que a mistura dos materiais foi bem sucedida, visto que a microestrutura final ficou homogênea ao longo de todo o cordão. A Figura 4 mostra a microestrutura obtida, destacando a divisa entre passes de deposição.

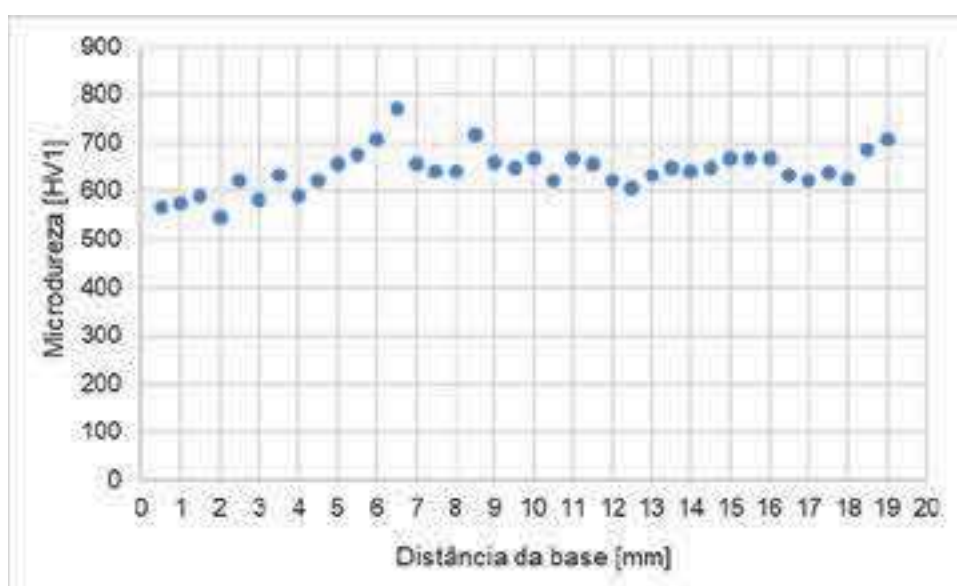




**Figura 4:** Metalografia da mistura dos dois arames usados no estudo obtidos por MADA. Ampliação de (a) 100x e (b) 200x.

A microestrutura obtida com a mistura dos materiais consiste em uma matriz martensítica com formação de carbonetos dispersos de forma homogênea nos contornos de grão. A microestrutura condiz com a composição dos arames que possuem médio teor de carbono e elementos de liga formadores de carbonetos como cromo, tungstênio e vanádio. A variação no tamanho de grão entre passes de deposição ocorre devido ao reaquecimento dos cordões depositados a cada novo passe, o que já era esperado para esta técnica. Não foram observadas trincas no material de deposição, resultado positivo para a mistura dos materiais estudados.

O perfil de microdureza Vickers da parede obtida por MADA apresentada na Figura 5 possui uma dureza média de 643HV.



**Figura 5:** Microdureza Vickers HV1.

Os primeiros passes obtiveram as menores durezas, o que é esperado pela diluição com o metal de base. Nos últimos passes a dureza se manteve mais homogênea variando entre 600 e 700HV. A alta dureza corrobora com a microestrutura observada no ensaio de metalografia.

#### 4. CONCLUSÃO

Foi possível obter uma parede pela técnica de MADA duplo arame misturando os arames UTP A DUR 600 e NCSW Rapid 952 T. Porém, a parede não apresentou boa uniformidade geométrica, gerando escorrimientos do material em alguns pontos. Do ponto de vista metalúrgico, houve mistura dos materiais na poça de fusão, sem que houvesse segregação entre os materiais. A mistura não apresentou trincas e teve como microestrutura resultante uma matriz martensítica com precipitação de carbonetos. Este resultado foi comprovado pela alta dureza do depósito. Os próximos passos da pesquisa deverão testar outros parâmetros de soldagem para obter uma parede com uniformidade geométrica, testar a resistência a abrasão da liga obtida e também a resistência a impacto para determinar se houve mudança na tenacidade.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos a UNISATC por disponibilizar os materiais e equipamentos para a execução do trabalho.

#### Referências

- [1] RODRIGUES, T. A.; FARIAS, F. W. Cipriano; ZHANG, K.; SHAMSOLHODAEI, A.; SHEN, J.; ZHOU, N.; SCHELL, N.; CAPEK, J.; POLATIDIS, E.; SANTOS, T. G.; OLIVEIRA, J.P. Wire and Arc additive manufacturing of 316L stainless steel/Inconel 625 functionally graded material: development and characterization. *Journal of Materials Research and Technology*. v. 21, p. 237-251, 2022.
- [2] LI, Yuhang; WU, Shaojie; WANG, Jianshuo; WANG, Hu; KONG, Weichen; CHENG, Fangjie. Microstructure homogeneity and strength-toughness balance in submerged arc additive manufactured Mn-Ni-Mo high-strength steel by unique intrinsic heat treatment. *Journal of Materials Processing Tech*. v. 307, n. 117682, 2022.
- [3] YI, Hao; JIA, Le; DING, Jialuo; LI, Huijun. Achieving material diversity in wire additive manufacturing: Leaping from alloys to composites via wire innovation. *International Journal Of Machine Tools and Manufacture*. V. 194, 2024.
- [4] DAGOSTIM, Denis Kohler; DALEFFE, Anderson; CASAGRANDE, Henrique Cechinel; DE MARCH, Gilson; FERREIRA, Carlos Antônio; SCHAEFFER, Lirio; CASTELAN, Jovani; SILVA, Joélson Vieira da. Desenvolvimento do processo de manufatura aditiva com deposição localizada através da tecnologia GMAW duplo arame. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, Curitiba, v. 22, n. 10, e7351, out. 2024.
- [5] SHEN, Chen; MA, Yan; PAN, Zengxi; LI, Fang; ZHANG, Yuelong; WANG, Lin; LI, Yuchen; LI, Huijun; HUA, Xueming. A comprehensive review of twin-wire directed energy deposition-arc (TW-DED-arc) process: An in-situ alloying based additive manufacturing approach for intermetallics. *Journal of Manufacturing Processes*, v. 141, p. 296-318, 2025.
- [6] SOOD, Arjun; SCHIMMEL, Jim; BOSMAN, Marko; GOULAS, Constantinos; POPOVICH, Vera; HERMANS, Marcel J.M. Fabrication of low thermal expansion Fe–Ni alloys by in-situ alloying using twin-wire arc additive manufacturing. *Materials & Design*, v. 240, artigo 112837, abr. 2024.
- [7] QI, Zewu; CONG, Baoqiang; QI, Bojin; SUN, Hongye; ZHAO, Gang; DING, Jialuo. Microstructure and mechanical properties of double-wire + arc additively manufactured Al-Cu-Mg alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 255, p. 347-353, 2018.
- [8] THÉODORE, J.; COUTURIER, L.; GIRAULT, B.; CABEZA, S.; PIRLING, T.; RENAUD, F.; BAZIN, G.; COURANT, B. Relationship between microstructure, and residual strain and stress in stainless steels in-situ alloyed by double-wire arc additive manufacturing (D-WAAM) process. *Materialia*. v. 30, n. 101850, 2023.

- [9] YADAV, Ashish; SRIVASTAVA, Manu; JAIN, Prashant K. Design and Fabrication of wire arc additive manufacturing setup and enhanced tailored properties of dissimilar steel additively deposited by WAAM process. *Structures*. v. 72. n. 108228, 2025.