


## Precipitação de carbono na linha de ligação entre material depositado e material de base utilizando o processo de manufatura aditiva

 <https://doi.org/10.56238/sevned2024.018-048>

**Henrique Cechinel Casagrande**  
UNISATC

**Anderson Daleffe**  
UNISATC

**Gilson de March**  
UNISATC

**Carlos Antônio Ferreira**  
UNISATC

**Joélson Vieira da Silva**  
UNISATC

**Hadrian Martins**  
UNISATC

**Lirio Schaeffer**  
UFRGS

**Jovani Castelan**  
UNISATC

**Daniel Fritzen**  
UNISATC

---

### RESUMO

A técnica de manufatura aditiva (MA) proporciona a criação de peças a partir de deposição sucessivas de material camadas por camadas. O que faz deste processo uma grande potência industrial é a economia em matéria-prima, comparado a outros tipos de processo de fabricação, bem como a fabricação de peças complexas ou customizadas, que outras técnicas não teriam condições de atender, ou dependeriam de processos complementares. No entanto, ao se tratar de MA de metais, mais precisamente a técnica utilizando o arco elétrico, são necessárias elevadas temperaturas para fusão do arame, gerando transferências de calor entre os materiais. Dessa forma, este estudo busca compreender a influência da temperatura sobre o comportamento da precipitação de carbono na superfície de contato entre a chapa base e as camadas de material depositadas por este processo. Dois consumíveis foram avaliados, o AWS A5.18 ER70S-6, e o arame AWS A5.20 E71T-1C. Para caracterização mecânica foi realizado ensaio de microdureza Vickers, e para avaliação estrutural foram realizadas análises metalográficas. Após ensaio de microdureza constatou-se um aumento de dureza na parte externa da parede de 11 % para o arame E71T-1C, e 17 % para o arame ER70S-6, entretanto, para o material E71T-1C, esse valor se manteve com uma camada de até 0,3 milímetros, já para o material ER70S-6 essa camada foi de 0,1 milímetros. A avaliação metalográfica demonstrou precipitação de carbono do material de base para o material adicionado, bem como o surgimento de dendritas e ferrita de Widmanstätten nos metais depositados.

**Palavras-chave:** Manufatura Aditiva, Arame ER70S-6, Arame E71T-1C, SAE 1020.

## 1 INTRODUÇÃO

A compreensão das características metalúrgicas se faz necessário quando há necessidade de dimensionamentos para projetos de estruturas, indústria automotiva ou aeronáutica, onde o erro de fabricação deve ser mitigado, ou até mesmo na indústria espacial, em que se necessita de componentes com alta resistência mecânica e com o menor peso possível.

Dessa forma, a manufatura aditiva vem sendo utilizada para fabricação de componentes complexos, que comparado a outros processos de fabricação pode melhorar o tempo de produção, proporcionando uma rápida criação de um modelo básico, ou de um protótipo a partir do qual outros modelos e o próprio produto em sua versão final serão obtidos [1][2][3]. Além disso, pode-se citar outras características notáveis como o nível de detalhamento e a utilização de mais de um material na construção [4].

Mesmo com esses benefícios, as peças produzidas por essa técnica normalmente requerem usinagem para atender as tolerâncias dimensionais e acabamento superficial. Contudo, mesmo com a etapa de usinagem adicional, a manufatura aditiva se mantém como uma alternativa mais econômica que a usinagem totalmente subtrativa, tendo em vista o menor descarte de material [5].

Nesse tipo de técnica de impressão, ao iniciar o processo, normalmente utiliza-se uma chapa metálica de base para que sirva de apoio à primeira camada. Normalmente, essa base possui características similares ao material de deposição, entretanto, torna-se importante compreender qual a influência do metal de base nas primeiras camadas depositadas. Assim, esse trabalho, faz uma investigação sobre a influência da troca térmica do meio e do produto impresso e analisando a precipitação de carbono do metal de base para o material depositado.

Para a análise das características metalográficas foi utilizado um microscópio óptico e as avaliações mecânicas foram realizadas fazendo uso dos resultados de microdureza Vickers. No entanto, para compreender a composição química presente em cada material foi utilizado a técnica de espectrometria de emissão óptica.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 MANUFATURA ADITIVA

A manufatura aditiva (MA), habitualmente conhecida como impressão 3D, é uma tecnologia em rápida evolução e com avanços expressivos no campo de processos de fabricação, transformando os conceitos de linhas de produção de várias indústrias. A American Society for Testing and Materials (ASTM) definiu MA como “um procedimento de vinculação de constituintes para gerar coisas a partir de estatísticas de modelos 3D, normalmente camada sobre camada, como divergente dos procedimentos de engenharia subtrativa” [6].

Surgindo em meados da década de 1980, a MA se tornou uma tecnologia de ponta que impulsionou a mais recente transformação industrial. Baseada no princípio de construção camada por camada de estruturas tridimensionais (3D) diretamente de modelos de design auxiliado por computador (CAD). As técnicas de MA oferecem várias vantagens, incluindo personalização de design, uso mínimo de ferramentas e a capacidade de fabricar produtos tecnicamente mais complexos. [7, 8].

## 2.2 WAAM

A manufatura aditiva por arco elétrico (WAAM) é um processo de fabricação aditiva que usa um arco elétrico como fonte de calor para derreter o fio de alimentação de metal e depositá-lo nas formas 3D desejadas [9].

A fabricação por WAAM permite a construção de elementos em grande escala, de forma relativamente rápida e econômica, adequada para o setor de construção em que o custo é um ponto fundamental. Apesar do potencial desta nova tecnologia, as propriedades fundamentais dos materiais WAAM permanecem indefinidas [10].

## 2.3 ARAME AWS A5.18 ER70S-6

O arame utilizado para fabricar as amostras foi o ER70S-6. Este por sua vez, possui um baixo teor de carbono, que fica em torno de 0,08% em peso. Normalmente este material é empregado para fabricação de estruturas metálicas e para o uso geral em metalúrgicas, devido a seu custo acessível comparado a outros materiais [11]. Na tabela 1 pode ser observada a composição química de acordo com a norma.

Tabela 1: Composição química do arame AWS A5.18 ER70S-6

C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Ni (%)	V (%)	Cr (%)	Mo (%)	Cu (%)
0,06	0,04	0,80	0,025	0,035	0,15	0,03	0,15	0,15	0,5
0,15	0,85	1,15	Máx	Máx	Máx	Máx	Máx	Máx	Máx

Fonte: [11].

## 2.4 ARAME AWS A5.20 E71T-1C

O arame AWS A5.20 E71T-1C é indicado para estruturas de soldagem feitas de aço carbono e aço estrutural de baixa liga com resistência à tração maior ou igual a 490MPa. Também tem sua aplicação bastante difundida na indústria naval, mecânica e vasos de pressão, aços de baixo e médio teor de carbono, construção pesada e oficinas de manutenção. Este arame oferece uma excelente taxa de deposição, arco estável para um acabamento de cordão superior, baixo índice de respingo e fácil remoção da escória, proporcionando eficiência e rendimento na operação [12]. Na tabela 2 pode ser observada a composição química de acordo com a norma.

Tabela 2: Composição química do arame AWS A5.20 E71T-1C

C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Ni (%)	V (%)	Cr (%)	Mo (%)	Cu (%)
0,12	1,75	0,90	0,030	0,030	0,50	0,08	0,20	0,30	0,35
Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.

Fonte: [12].

## 2.5 AÇO SAE 1020

Como substrato, ou material de base, foi utilizado o aço SAE 1020. Este material é considerado de baixo carbono e é comumente empregado na indústria metal mecânica devido as suas características de ductilidade, usinabilidade e soldabilidade. As principais aplicações são na indústria automobilística, ferroviária, naval, construção civil e aeronáutica, bem como na fabricação de chapas e tubos [13] [14].

## 3 MÉTODOS

A seguir, será apresentado como foi a execução deste estudo, materiais utilizados e ensaios para caracterização química e mecânica.

### 3.1 ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO ÓPTICA

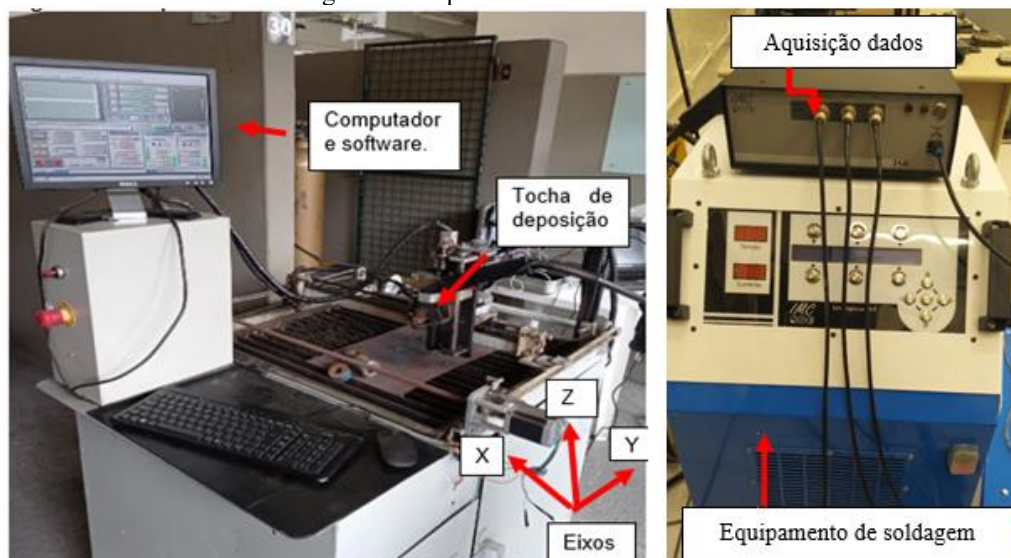
Para determinação química do arame, foi realizado o ensaio de espectrometria de emissão óptica. O equipamento utilizado foi espectrômetro da fabricante BRUKER, modelo Q2 ION. A potência utilizada foi de 400 Watts por um período de 30 segundos. Salienta-se o ensaio em triplicata para validação do método.

### 3.2 MÁQUINA DE MANUFATURA ADITIVA

Para impressão das amostras, foi utilizada uma máquina de soldagem da fabricante IMC modelo DIGIplus A7, vinculada com o dispositivo de aquisição de dados SAP 3SR.

A Figura 1 detalha o equipamento de manufatura aditiva, o dispositivo com coordenadas CNC e máquina de soldagem.

Figura 1: Máquina de manufatura aditiva



Fonte: Do autor (2024).

Conforme pode ser visto na Figura 1, o equipamento possui movimentação em três eixos, X, Y e Z, transversal longitudinal e vertical, respectivamente. A programação é realizada através do software MACH 3®, em linguagem de programação G. No entanto, o equipamento de soldagem possui uma ferramenta de aquisição de dados para tensão (V), corrente (A), velocidade de arame (m/min.), vazão do gás (L/min.), potência (W) entre outros parâmetros.

### 3.3 ENSAIO DE METALOGRAFIA

Para análise dos constituintes conforme norma ABNT NBR 15454, foi utilizado um microscópio Olympus modelo SC30. O ácido utilizado para revelar as fases presentes no metal foi o nital 2% por um período de 10 segundos.

### 3.4 ENSAIO DE MICRODUREZA VICKERS

O ensaio de microdureza Vickers em perfil foi realizado para avaliação mecânica. Para tal, utilizou-se o microdurômetro da marca SHIMADZE®, modelo HMV-2TADW. A carga aplicada foi de 4,903 Newtons com tempo de aplicação de 10 segundos para o núcleo da amostra. A primeira endentação foi realizada na extremidade da parede soldada, utilizando carga de 2,943 Newtons, conforme norma ABNT NBR NM ISO 6507.

### 3.5 MATERIAL DE BASE

Tendo em vista apresentar característica compatíveis com os arames em estudo, o aço SAE 1020 foi o adotado como metal de base. A chapa possui as seguintes dimensões; 150 x 75 x 6,35 mm. Ressalta-se o uso da espectrometria de emissão óptica, conforme descrito no item 2.1 para caracterização química.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 ESPECTROMETRIA PARA O AÇO SAE 1020 E ARAMES ER70S-6 E E71T-1

Conforme Tabela 3, o teor de carbono para ambos os materiais é próximo, o que justifica a aplicação do material de base SAE 1020.

Tabela 3: Composição química ER70S-6 e SAE 1020.

Elemento	ER70S-6 (%)	SAE 1020 (%)	E71T-1C (%)
Carbono (C)	0,104	0,107	0,063
Silício (Si)	0,657	<0,0050	0,649
Manganês (Mn)	1,259	0,465	1,443
Fósforo (P)	0,014	0,016	0,0051
Enxofre (S)	0,010	<0,0030	0,0057
Cromo (Cr)	0,020	0,020	0,027
Molibdênio (Mo)	0,014	0,0096	0,014
Cobre (Cu)	0,093	0,0045	0,0067
Ferro (Fe)	Bal.	Bal.	Bal.

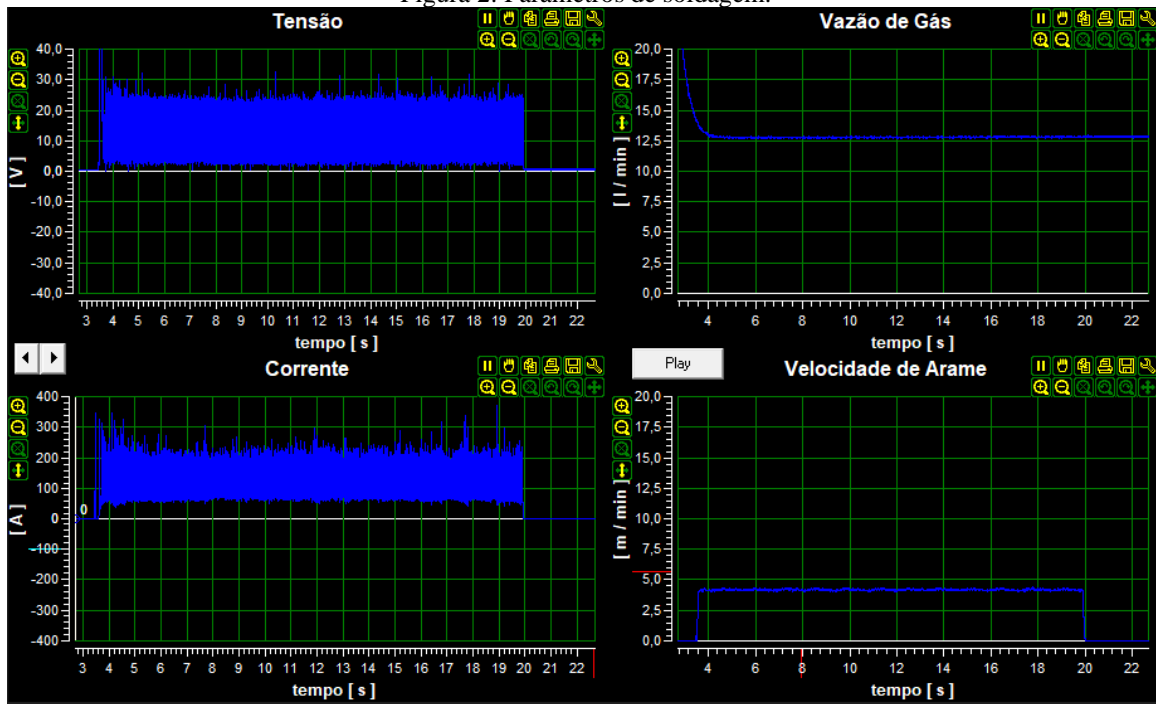
Fonte: Do autor (2024).

Outros componentes fazem parte da estrutura desses materiais, destacando-se o uso de manganês como desoxidante e dessulfurante. Quando o manganês está presente em concentrações abaixo de 1 %, ele não afeta negativamente a soldabilidade, embora possa aumentar a dureza do material. Em concentrações superiores a 1 %, o manganês pode aumentar a propensão a trincas durante o processo de soldagem. [15] [16] [17].

### 4.2 AMOSTRAS FABRICADAS POR MANUFATURA ADITIVA

Primeiramente foi realizado ajuste de parâmetros do arame em questão. A Figura 2, detalha os parâmetros utilizados para fabricação das amostras.

Figura 2: Parâmetros de soldagem.



Fonte: Do autor (2024).

A média para os parâmetros de soldagem são apresentadas na tabela 4.

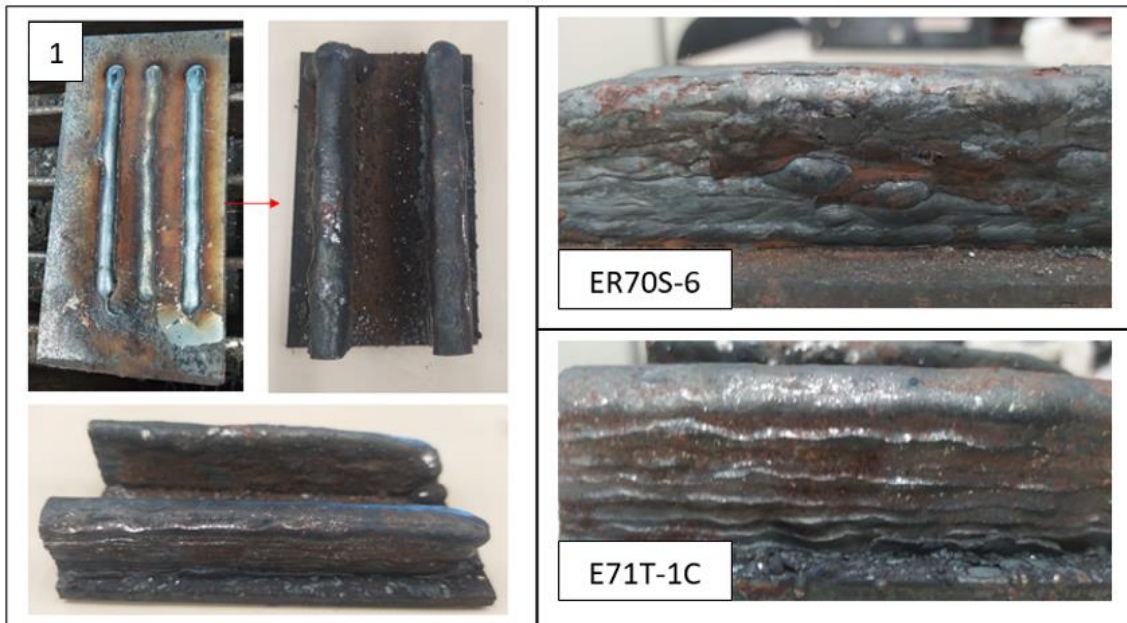
Tabela 4: Parâmetros de soldagem.

Parâmetro:	ER70S-6:	E71T-1C:
Corrente (A)	131	168
Tensão (V)	18,2	19,9
Vazão do gás (L/min.)	12,3	13,4
Velocidade do arame (m/min.)	4,8	6,1
Argônio (%)	85	85
Dióxido de carbono (%)	15	15
Deslocamento CNC (mm/min.)	300	300

Fonte: Do autor (2024).

A parede manufaturada possui aproximadamente 130 mm de comprimento, 25 mm de altura e 12 mm de espessura. A impressão foi realizada com cordão duplo lateralmente. O incremento para cada passe, ou seja, o valor que a máquina deslocou na vertical para cada camada foi de aproximadamente 2,8 mm, totalizando 9 camadas. A Figura 3 traz a sequência de produção das amostras, onde inicia-se com a regulagem dos parâmetros (1) até a impressão final.

Figura 3: Impressão 3D



Fonte: Do autor (2024).

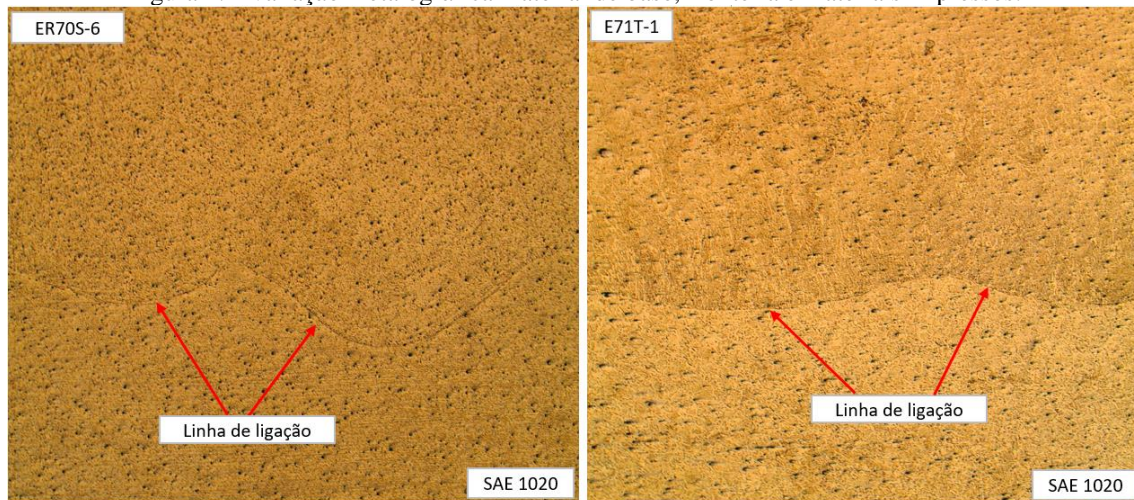
Após a fabricação das amostras, as mesmas foram cortadas e retificadas em uma serra de fita do fabricante Franho modelo FM 18S e uma retífica plana da fabricante Mello modelo P36, respectivamente.

#### 4.3 ENSAIO METALOGRAFICO

A Figura 4 traz a zona de ligação entre a placa de metal de base, de aço SAE 1020 e os materiais impressos por manufatura aditiva. Na imagem com doze vezes de aumento, é possível observar que para o arame ER70S-6, a penetração no metal de base foi maior, entretanto, para o arame E71T-1C a penetração foi reduzida. Esse fenômeno deve-se ao fato de os elementos químicos presentes no aço SAE 1020 e no arame ER70S-6 terem teores mais próximos, comparado ao arame E71T-1C, explicando assim os valores equivalentes de penetração.



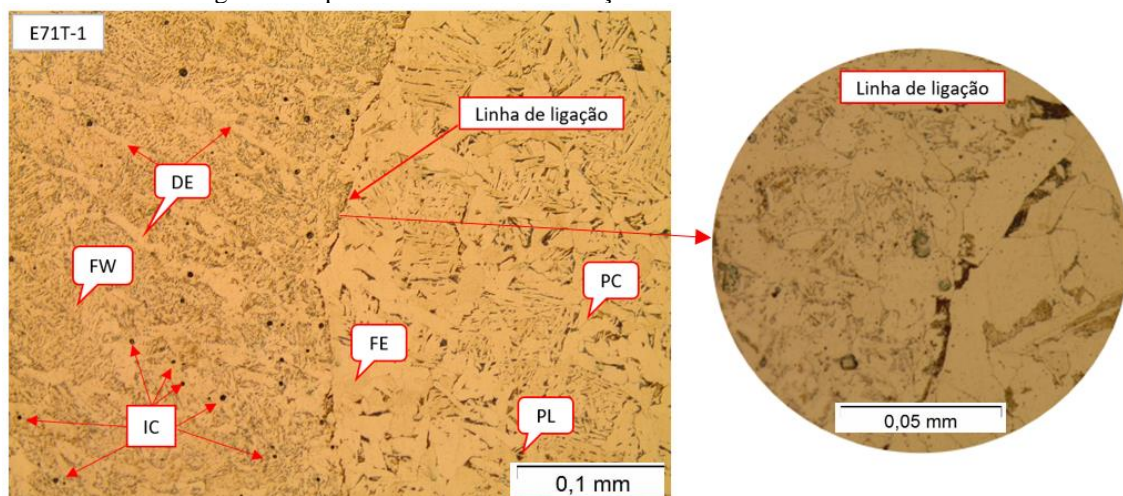
Figura 4: Avaliação metalográfica material de base, fronteira e materiais impressos.



Fonte: Do autor (2024).

Para a Figura 5, demonstram-se de forma detalhada, as estruturas presentes para a chapa de base, superfície de contato e material depositado. Pode-se observar os elementos: Ferrita (FE), Perlita (PL), Perlita de Contorno de grão (PC), Inclusão (IC), Dendrita (DE), Ferrita de Widmanstätten (FW).

Figura 5: Superfície de contato entre aço SAE 1020 e arame E71T-1C.



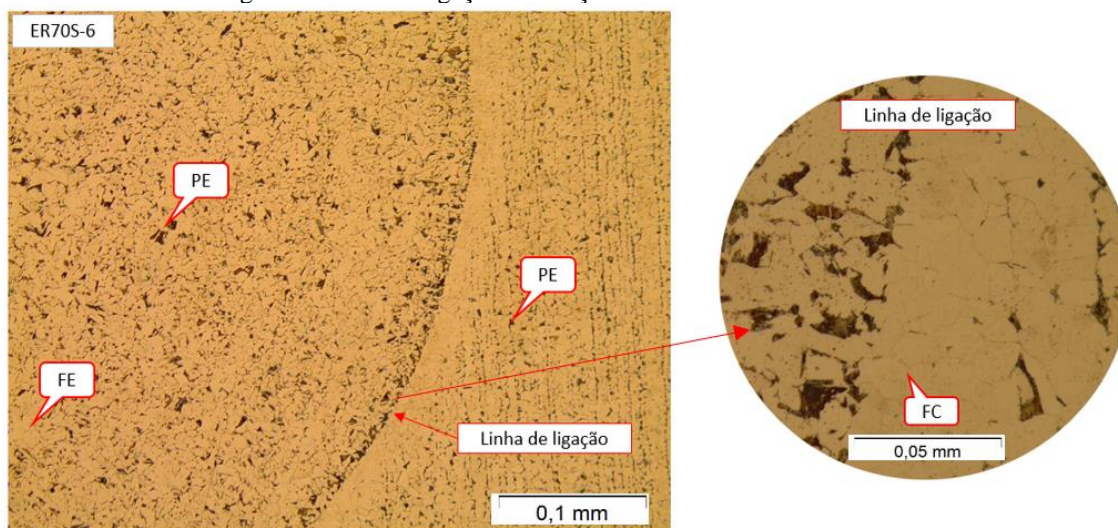
Fonte: Do autor (2024).

Observa-se na Figura 5 que o material de base (SAE 1020), é composto com a microestrutura ferrita e do microconstituente perlita, contudo, a ferrita é predominante na matriz por se tratar de um aço com baixo carbono. No entanto, na linha de ligação é possível visualizar a precipitação de carbono do metal de base para o metal soldado. Ao se tratar do material depositado E71T-1C, o mesmo apresentou uma quantidade significativa de poros durante o processo de impressão. Segundo Duarte et al (2024), quando se tem uma camada subsequente de soldagem tal como a MA, o material recristaliza, entretanto, devido as elevadas temperaturas, tensões residuais e inclusões estão presentes nas amostras impressas [18]. Já o material depositado na primeira camada apresenta dendritas, ocasionadas pelo

processo de resfriamento rápido, bem como ferrita de Widmanstätten, característico do processo de soldadura.

A Figura 6 detalha a metalografia para o arame ER70S-6, onde pode ser visto que este material demonstrou precipitação de carbono para a superfície de contato. Entretanto, possui uma estrutura similar comparado ao material de base, visto que para a região de deposição de material é composta pela fase ferrita e o microconstituente perlita.

Figura 6: Linha de ligação entre aço SAE 1020 e arame ER70S-6.



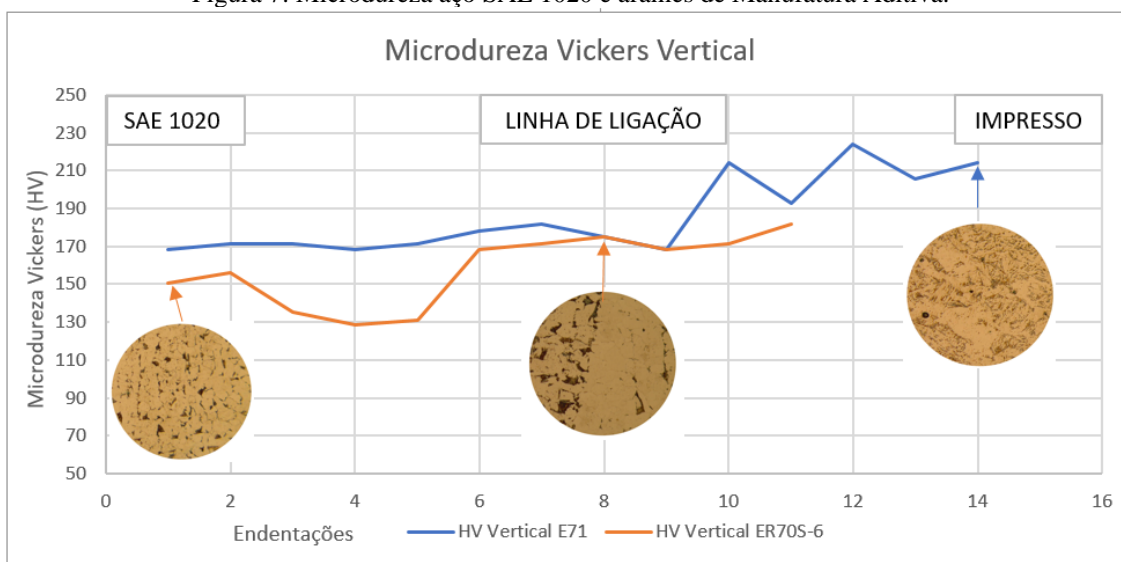
Fonte: Do autor (2024).

Observa-se na linha de ligação a quantidade maior de ferrita, devido a precipitação de carbono para o material depositado, e dessa forma destaca-se a ferrita de contorno de grão, conforme Figura 6.

#### 4.4 ENSAIO DE MICRODUREZA VICKERS

A Figura 7 traz os resultados pertinentes a avaliação de microdureza. Nesse ensaio, as medições iniciaram no material de base (SAE 1020), apresentando uma microdureza de 150 e 169 HV. Já para região de ligação, a microdureza obteve medidas com aproximadamente 175 HV. Ao chegar no material impresso, o valor para o arame E71T-1C foi de até 224 HV, e para o arame ER70S-6 182 HV.

Figura 7: Microdureza aço SAE 1020 e arames de Manufatura Aditiva.

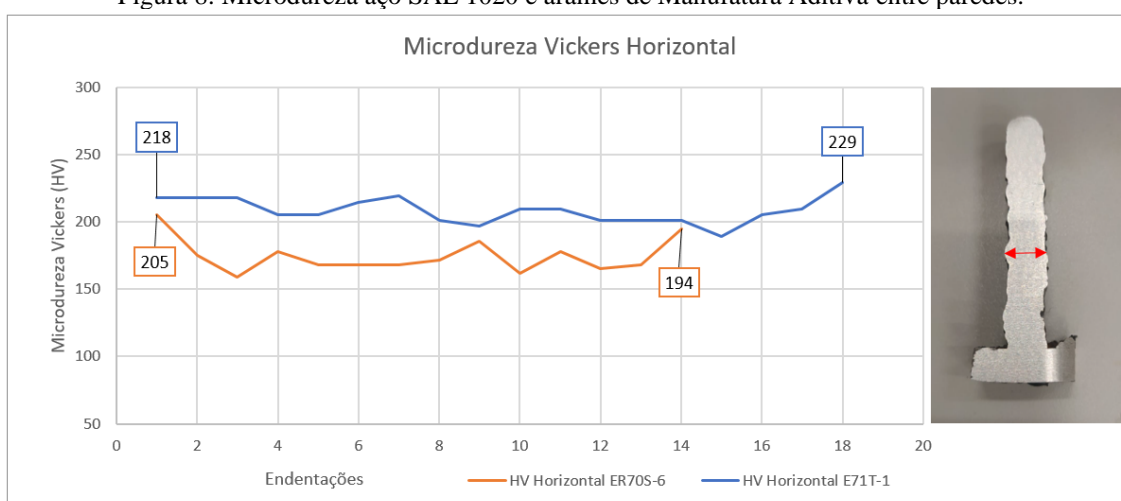


Fonte: Do autor (2024).

A Figura 8 traz os resultados para microdureza Vickers em sentido perpendicular a deposição. O objetivo é avaliar a dureza entre as extremidades até o núcleo da deposição, e avaliar os efeitos da troca térmica com o ambiente externo.

No gráfico, fica evidente que, para a primeira endentação a 0,1 milímetro de distância da extremidade, possui maior dureza, conforme demonstrado na Figura 8. Para o material ER70S-6, a primeira medida nas extremidades esquerda e direita foi de 205 e 194 HV, respectivamente. No entanto, após a primeira medida, a microdureza é reduzida e permanece com uma média de 171 HV  $\pm$  7.

Figura 8: Microdureza aço SAE 1020 e arames de Manufatura Aditiva entre paredes.

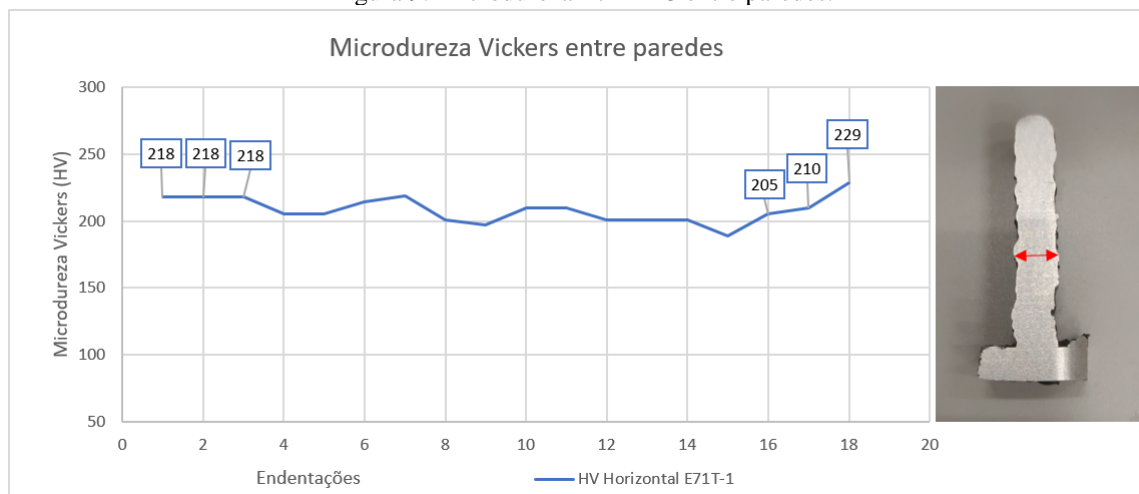


Fonte: Do autor (2024).

O arame E71T-1C demonstrou maior uniformidade, contudo, as extremidades da parede obtiveram medidas maiores comparado ao núcleo, com 218 e 229 HV. Entretanto, este arame

demonstrou um comportamento diferente, pois obteve redução de dureza após a terceira endentação, ou seja, após 0,3 milímetros da extremidade, conforme apresentado na figura 9.

Figura 9: Microdureza E71T-1C entre paredes.



Fonte: Do autor (2024).

## 5 CONCLUSÃO

Após avaliação metalográfica foi possível verificar que para a superfície de contato entre os materiais, há migração de carbono do metal de base para o material depositado, no entanto, a camada de migração fica muito próxima a base, o que pode vir a ser eliminada ao separar a peça impressa do metal de base.

Ao se tratar da avaliação de microdureza, o arame E71T-1C sofreu maior influência da temperatura na extremidade da parede, com uma microdureza 17 % maior em relação ao núcleo. Já para o arame ER70S-6, o aumento foi 11 % na mesma região.

Todavia, o arame E71T-1C manteve este aumento de dureza por aproximadamente 0,3 milímetros, enquanto o arame ER70S-6 por 0,1 milímetro.

Dessa forma, ao avaliar a microdureza entre os dois arames na região de deposição, os resultados foram de 224 e 184 HV para o arame E71T-1C e ER70S-6, respectivamente. O aumento da microdureza pode estar ligado a quantidade de manganês associado ao cromo presentes em cada material estudado, visto que a quantidade de carbono para o material ER70S-6 é maior em relação ao E71T-C1, contudo, os valores de microdureza foram inversos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário – UNISATC pelo apoio a pesquisa através do uso de sua estrutura de laboratórios e a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – FAPESC pelo apoio financeiro na compra de equipamentos e insumos para pesquisa.



## REFERÊNCIAS

ALCALDE, E.; WILTGEN, F., Estudo das tecnologias em prototipagem rápida: passado, presente e futuro, Revista de Ciências Exatas da Universidade de Taubaté, Taubaté, v. 24, n. 2, p. 12-20, 2018

WILTGEN, F. Protótipos e prototipagem rápida aditiva sua importância no auxílio do desenvolvimento científico e tecnológico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 10., COBEF, 10., São Carlos, 5-7 ago., 2019. Anais [...]. São Carlos: UFSCar. 2019

GIBSON, I.; ROSEN, D.; STUCKER, B. Additive Manufacturing Technologies. 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. New York: Springer. 2014.

CIZENSKI, R. P.; DALEFFE, A.; FERREIRA, C. A.; SHAEFFER, L. Manufatura Aditiva na Construção de Peças Metálicas para Uso na Indústria Cerâmica. Vincci .v. 8, n. 2, p. 515–541, 2024.

DINOVITZER M.; CHEN, X.; LALIBERTE, J.; HUANG, X.; FREI, H. Effect of Wire and Arc Additive Manufacturing (WAAM) Process Parameters on Bead Geometry and Microstructure. Additive Manufacturing. v.26. p.138-146. 2019. ISSN 2214-8604

Kurapati SK et al (2023). Nanomaterials and Nanostructures in Additive Manufacturing: Properties, Applications, and Technological Challenges. Nanotechnol Based Addit Manufact Prod Des Propert Appl 1:53–102

Godec D et al (2022) Introduction to additive manufacturing. In: Godec D, Gonzalez-Gutierrez J, Nordin A, Pei E, Ureña Alcázar J (eds) A guide to additive manufacturing. Springer Tracts in Additive Manufacturing. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-05863-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-05863-9_1)

Malshe H et al (2015) Profile of sustainability in additive manufacturing and environmental assessment of a novel stereolithography process. In: International Manufacturing Science and Engineering Conference. American Society of Mechanical Engineers.

VISHWANATHA, H.M.; RAO, R.; MAIYA, M.; KUMAR, P.; GUPTA, N. SAXENA, K. VIJAYAN, V.; Effects of arc current and travel speed on the processing of stainless steel via wire arc additive manufacturing (WAAM) process. Journal of Adhesion Science and Technology, 38(12), 2222–2239. 2023.

Dong, Z.; Torbati-Sarraf, H.; Huang, C.; Xu, K.; Gu, X.; Fu, C.; Liu, X.; Meng, Z. Microstructure and corrosion behaviour of structural steel fabricated by wire arc additive manufacturing (WAAM). Materials & Design. v. 244. 2024.

AMERICAN WELDING SOCIETY. AWS A5.18/A5.18M – Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding. Miami, Fl. 2010.

AMERICAN WELDING SOCIETY. AWS A5.1/A5.1M – Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding. Miami, Fl. 2010.

FREITAS, B.; NETO, J.; SILVA, R.; GUSMÃO, A.; FREITA, L. MICROESTRUTURA E MICRODUREZA DO AÇO SAE 1020 EM DIFERENTES TRATAMENTOS TÉRMICOS. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2016. DISPONÍVEL EM:<  
<https://docente.ifsc.edu.br/gianpaulo.medeiros/MaterialDidatico/Ci%C3%Aancia%20dos%20Materiais%20para%20Eng.%20El%C3%A9trica/Aula%205%20-%20Caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20dos%20Materiais%20/microestrutura%20e%20microdurez>



a%20do%20a%C3%A7o%20sae%201020%20em%20diferentes%20tratamentos%20t%C3%A9rmicos.pdf>. Acesso em: 02 de julho de 2024.

MODENESI, P. Soldabilidade de algumas ligas metálicas. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. 2011. Disponível em:< <https://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/soldabilidade.pdf>>. Acesso em: 03 de julho de 2024.

UTP. UPT: Tecnologia da era nuclear. Curso técnico de soldas. Edição de 1986.

SILVA, S. MECANISMO DE TRINCAMENTO DE AÇO DE MICROESTRUTURA AUSTENOFERRÍTICA EM MEIO CORROSIVO ESTUDO DE CASO. Pág. 10. UFRJ, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em:< <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/8905/1/monopoli10004407.pdf>>. Acesso em: 03 de julho de 2024.

BELTRÁN, J. Influência do Metal de Adição e do Gás de Proteção na Soldagem MAG de Chapas de Aço SAE 1020. 2019. 30 f. Monografia (Graduação Em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2019. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/211333/001113947.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 02 de julho de 2024.

DUARTE, V.; RODRIGUES, T.; SCHELL, N.; MIRANDA, R.; OLIVEIRA, J.; SANTOS, T. Hot forging wire and arc additive manufacturing (HF-WAAM). Additive Manufacturing. Volume 35, October 2020. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214860420305650>>. Acesso em: 02 de julho de 2024.