



CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E DE MICRODUREZA PARA O ARAME TUBULAR UTP AF LEDURIT 60 IMPRESSO ATRAVÉZ DA TÉCNICA DE MANUFATURA ADITIVA POR ARCO ELÉTRICO

Henrique Cechinel Casagrande¹

Anderson Daleffe²

Hadrian Martins³

Gilson de March⁴

Alexandre Milanez⁵

Pedro Henrique Menegaro Possamai⁶

Jamile Thon Langbehn⁷

Resumo: A técnica de Manufatura Aditiva (MA) tem ganhado espaço desde sua divulgação em 2011 na Alemanha, como um dos pilares da indústria 4.0. Desde então, diversos materiais estão sendo estudados, tal como os metais. Este trabalho é concentrado na deposição camada por camada de um arame de alta resistência mecânica denominado de UTP AF LEDURIT 60. Este material possui elevada dureza, e é utilizado para soldagem onde há desgaste combinado por atrito e, compressão metal-metal. Com isso, o objetivo deste estudo é entender o comportamento microestrutural e de microdureza para este material aplicado para MA. Para isso, uma peça foi impressa com dimensões de 40 milímetros (mm), 35mm e 30mm, para comprimento, largura e espessura, respectivamente. Na sequência, foram realizados os ensaios de espectrometria de emissão óptica para determinar a composição química, ensaio metalográfico para caracterização microestrutural e, de microdureza Vickers para compreender a resistência do material a deformação superficial. Para a análise de espectroscopia, o resultado ficou próximo ao especificado pelo fabricante, no entanto houve algumas distorções no resultado devido a deposição por soldagem a arco, relativos as interações do material de deposição com material de base. A microdureza para este arame obteve uma média de 780 ± 91 HV, com regiões com até 964,42 HV. A microestrutura se mostrou característica de um ferro fundido branco alto cromo, conforme esperado para o arame UTP AF LEDURIT 60. Os blocos brancos na microestrutura são característicos de carbonetos de cromo primários dispersos em matriz cementita, o que explica a dureza elevada.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva. Arame tubular. UTP AF LEDURIT 60.

¹ Mestrando em Engenharia Metalúrgica UniSATC. E-mail: henrique_cechinel@hotmail.com

² Prof. Orientador. Centro Universitário UniSATC. E-mail: anderson.daleffe@satc.edu.br

³ Graduando em Engenharia Mecânica UniSATC. E-mail: hadrian.martins@satc.edu.br

⁴ Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: gilson.march@satc.edu.br

⁵ Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: alexandre.milanez@satc.edu.br

⁶ Mestrando em Engenharia Metalúrgica UniSATC. E-mail: pedropossamai@hotmail.com

⁷ Prof^ª. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: jtlangbehn@hotmail.com



1 INTRODUÇÃO

O processo de Manufatura Aditiva (MA) por arco elétrico, comumente denominada (WAAM) “Wire Arc Additive Manufacturing”, ou fabricação aditiva por arco de arame (FERREIRA et al., 2024), é um processo de fabricação que visa obter peças impressas camada por camada (MULHOZ et al., 2018).

Inicialmente, os equipamentos de fabricação aditiva foram usados para prototipagem rápida, tendo como função principal a criação de modelos iniciais ou protótipos de produtos que poderiam ser fabricados comercialmente no futuro. Contudo, atualmente, esses equipamentos vão além da produção de protótipos e são trabalhados diretamente na fabricação final de produto (GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2015).

A técnica de MA vem permitindo o desenvolvimento e construção de novas máquinas, bem como a aplicação de diferentes tipos de materiais (GOMES; WILTGEN, 2021 apud ALCALDE; WILTGEN, 2018).

Além disso, nos últimos anos, a demanda pela manufatura aditiva a arco com arame, cresceu significativamente, tornando-se uma alternativa às manufaturas subtrativas (TOALDO, 2022).

É importante destacar que o aço e o titânio são os materiais que melhor se adaptam a essa técnica, devido às vantagens como o baixo custo dos equipamentos de soldagem, a ampla disponibilidade de fios padronizados e as altas taxas de deposição de material. Entretanto, o estudo da aplicação do alumínio tem se tornado cada vez mais relevante. Por outro lado, esta abordagem apresenta algumas modificações em comparação com outros métodos de fabricação aditiva, como a elevada entrada de calor, resultando em altas tensões residuais e distorções, além de menor precisão e maior rugosidade, o que exige uma etapa de usinagem ao final do processo (CASTRO; SILVA, 2018 & CASAGRANDE, 2023).

Em certos países, a expansão desse método de operação é facilmente observável, como ilustrado na Figura 1, que apresenta a primeira ponte funcional construída por MA utilizando arco elétrico, empregando um design generativo desenvolvido por inteligência artificial e otimização de topologia (TOALDO, 2022).



Figura 1: Primeira ponte produzida por Manufatura Aditiva em aço inoxidável.
Fonte: Brogan (2021).

Neste contexto, este estudo traz a aplicação da Manufatura Aditiva para um arame de soldagem para revestimento duro, material de alta resistência mecânica, comumente utilizado para soldagem de peças sujeitas a desgaste e ao impacto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MANUFATURA ADITIVA (MA)

A produção aditiva de metais tem avançado significativamente e despertado interesse crescente. Dentre os métodos disponíveis, o Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) destaca o uso de um arco elétrico para derreter um fio de enchimento, depositando sucessivas camadas de metal conforme uma trajetória programada (SARIKAYA et al., 2024).

Os processos de produção aditiva (MA) surgiram na indústria no final do século XX e, desde então, ganharam ampla popularidade. Inicialmente, a tecnologia foi empregada em materiais não metálicos, sendo posteriormente adaptada para a fabricação de componentes metálicos complexos (SARIKAYA et al., 2024 apud SHEN et al., 2015).

A produção aditiva (MA) apresenta um grande potencial para a produção de geometrias complexas próximas às formas finais, tornando-se uma alternativa viável para a indústria. Diferente dos processos tradicionais de usinagem, que removem material de um bloco sólido, a MA constrói componentes por meio da adição controlada de material, camada por camada (QI et al., 2019).

Entre os métodos de (MA) de metal, a manufatura aditiva de fio + arco (WAAM) é baseada na fusão do arame de enchimento usando arco como fonte de calor e depositando-o camada por camada ao longo do caminho planejado (SARIKAYA et al 2024 apud GUO et al., 2022).

A Figura 2 traz os principais componentes responsáveis para deposição de material utilizando a técnica por arco elétrico. Destaca-se na figura, a deposição camada por camada, sentido de deposição, o arame de deposição, gás de proteção e poça de fusão formada durante o processo de deposição.

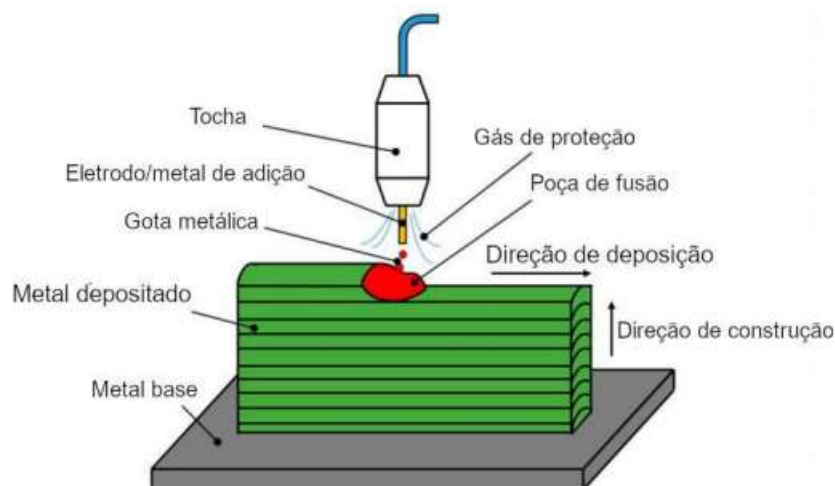


Figura 2: Principais componentes de deposição por WAAM.
Fonte: CARRIJO (2021).

2.2 PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW

De acordo com a Associação Americana de Soldagem (AWS), a soldagem é um processo que consiste na união localizada de metais ou materiais não metálicos por meio do aquecimento até a temperatura de soldagem (fusão), com ou sem a aplicação de pressão, ou exclusivamente pela aplicação de pressão, podendo ou não envolver o uso de metal de adição (AWS, 2001).

O princípio do processo GMAW era conhecido desde a década de 1920, quando se percebeu que certos gases facilitavam a abertura do arco, protegiam o cordão de solda e permitiam a adição de elementos de liga. No entanto, apenas em 1948 a técnica foi aplicada comercialmente, devido à melhor estabilidade do arco e à evolução dos equipamentos (FREITAS & BAZANELLA, 2024).

O processo se destaca por sua alta produtividade, devido à elevada taxa de deposição de material, além de oferecer alta velocidade de manipulação, ampla aplicabilidade em diferentes espessuras e materiais, aberta para exploração em diversas posições e facilidade para automação do processo (FREITAS & BAZANELLA, 2024 apud MOREIRA, 2008).

A Figura 3 detalha o equipamento e o arco elétrico formado durante o processo de soldagem.

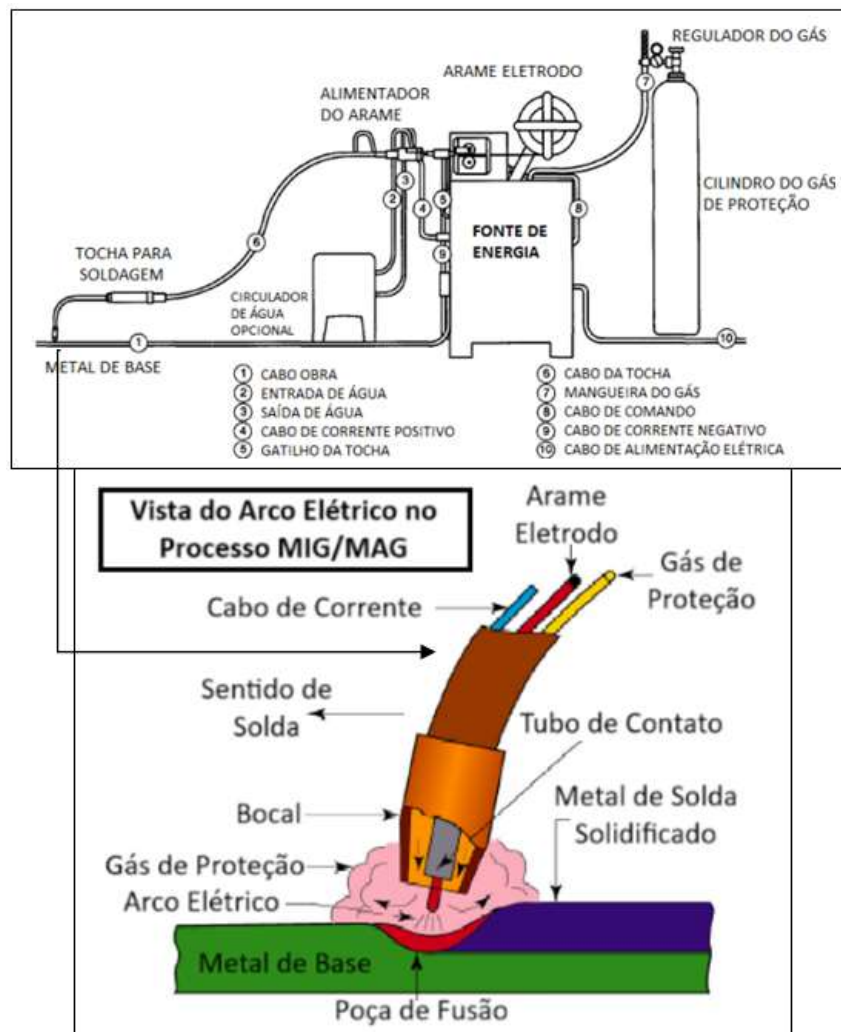


Figura 3: Equipamento para soldagem por GMAW e, vista do arco elétrico no processo MIG/MAG. Fonte: (FREITAS & BAZANELLA, 2024).

Destaca-se na figura em questão, o gás de proteção, utilizado para estabilidade do arco, bem como a proteção da poça de fusão dos gases atmosféricos, tal como o oxigênio

O equipamento ainda é composto por fonte de energia, o arame de adição e, alimentador do arame. E por último, a tocha de soldagem composta pelo tubo de contato, ou também conhecido como bico de contato. A tocha ainda é composta com o bocal de proteção. O gás de proteção é trazido até a zona de fusão através de uma tubulação. O gás pode ser inerte (MIG – Metal Inert Gas), ou ativo (MAG – Metal Active Gas).

2.2.1 Tipos de gases MIG/MAG

Os processos de soldagem MIG e MAG são amplamente utilizados na indústria devido à sua eficiência. MIG (Metal Inert Gas) e MAG (Metal Active Gas) são usados principalmente pelo tipo de gás empregado. No processo MIG, utiliza-se um gás inerte ou uma combinação de gases inertes, enquanto na soldagem MAG, é aplicada uma mistura de gases ativos com um gás inerte ou, em alguns casos, apenas um gás ativo (SOARES, 2020 apud ALMEIDA 1992).

A Figura 4 traz a forma de influência através da penetração com gases ativos (Dióxido de carbono – CO_2 e Oxigênio – O) e, para os gases inertes (Argônio – Ar e, Hélio – He).

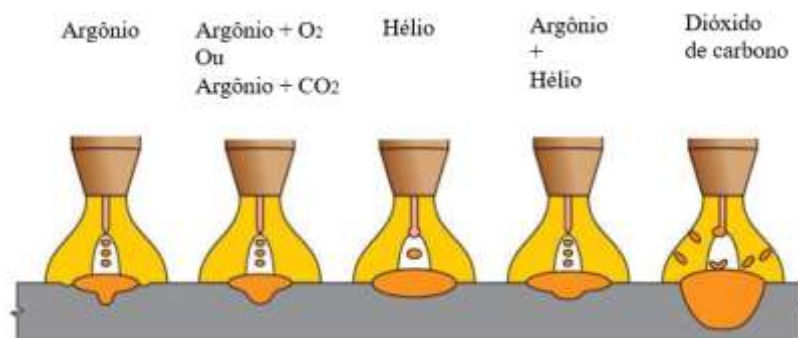


Figura 4: Influência dos gases de proteção no processo de soldagem.
Fonte: Adaptado de ALMENTRA et al., (2013) & BARRA (2019).

Nesse processo (GMAW), a manutenção da poça de metal fundido ocorre por meio da geração de um arco elétrico entre um fio consumível e o metal base. O



fio consumível é alimentado na poça de fusão e protegido por uma atmosfera gasosa (DING et al., (2019)).

Dessa forma, ao combinar a soldagem ao arco com movimentos tridimensionais, o material é depositado seguindo um trajeto predefinido, permitindo a construção da geometria camada por camada.

2.3 ARAME TUBULAR UTP AF LEDURIT 60

Segundo a fabricante UTP Maintenance (2014), o arame tubular UTP AF LEDURIT 60, é altamente ligado, rico em carbonetos de cromo, e comumente utilizado para revestimentos protetores resistente à abrasão. A dureza superficial para este arame fica entre 57 à 62 HRC (Hardness Rockwell C). A composição química para este arame é apresentada na Tabela 1.

Tabela 2: Composição química arame UTP AF LEDURIT 60.

Elemento:	% em massa
Carbono (C)	4,4
Silício (Si)	0,3
Manganês (Mn)	0,3
Cromo (Cr)	27
Ferro (Fe)	Bal.

Fonte: UTP Maintenance (2014).

Para este estudo foi utilizado arame tubular com espessura de 1,6mm. Conforme fabricante UTP Maintenance, as correntes elétricas de trabalho devem ficar entre 150 a 350 (A) Amperes.

2.4 ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E QUÍMICA

Os ensaios para caracterização de amostras são fundamentais para avaliar suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, garantindo a adequação aos requisitos de projeto e aplicação. No caso de amostras metálicas, esses ensaios permitem identificar a composição química, microestrutura, resistência mecânica,



dureza, tenacidade e outras características essenciais para o desempenho em diferentes condições operacionais (CALLISTER; RETHWISCH, 2018).

Neste contexto, este estudo abordará ensaio de espectrometria de emissão óptica para determinar a composição química do arame UTP AF LEDURIT 60, bem como ensaios de microdureza Vickers e metalografia para caracterização mecânica e microestrutural.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir será apresentado os materiais utilizados nessa pesquisa e os métodos para preparação e ensaios das amostras.

3.1 ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO ÓPTICA PARA O ARAME UTP AF LEDURIT 60.

Para caracterização química da amostra utilizou-se o espectrômetro da fabricante BRUKER modelo Q2 ION. Para o ensaio em questão, foi utilizado potência de 400 Watts por um período de 30 segundos, com padrão para ferro fundido. Salienta-se o ensaio em triplicata para validação do método.

3.2 MANUFATURA ADITIVA E AQUISIÇÃO DE DADOS

Para soldagem da amostra foi utilizado a máquina de soldagem da fabricante IMC modelo DIGplus A7.

Na Figura 4, o equipamento para Manufatura Aditiva possui movimento em três eixos: X, Y e Z, que correspondem aos movimentos transversal, longitudinal e vertical, respectivamente. A programação é feita utilizando o software MACH 3®, que utiliza a linguagem de programação G. Além disso, o equipamento de soldagem conta com uma ferramenta de aquisição de dados que monitora diversos parâmetros, como tensão (V), corrente (A), velocidade do arame (m/min), vazão do gás (L/min) e potência (W), entre outros, denominada de SAP 3SR.

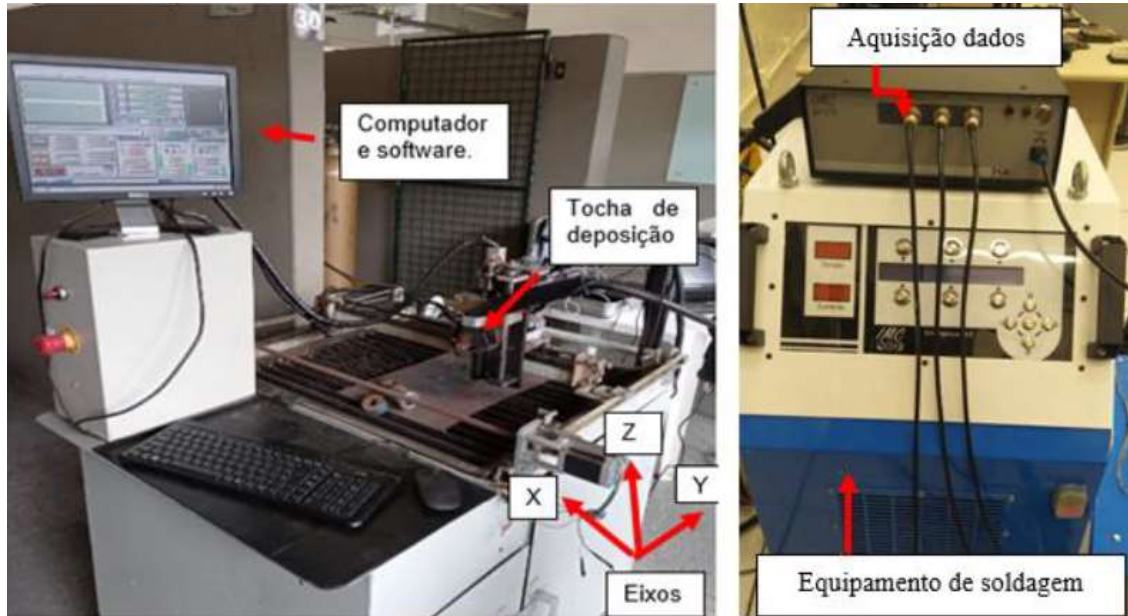


Figura 4: Equipamento CNC para impressão 3D. máquina de soldagem IMC DIGplus A7 e, ferramentas para aquisição de dados de soldagem.
Fonte: Casagrande et al (2024).

A Figura 5 traz a amostra após impressão 3D. Conforme figura, foi retirada uma parte da amostra para embutimento, para na sequência realizar análise metalográfica. A fim de manter a integridade da amostra e evitar aquecimento, foi utilizado o cortador metalográfico da fabricante FORTEL, modelo CFP. As dimensões para a peça impressa são de 40 milímetros de altura, 30mm de largura e, 35mm de comprimento. Foram utilizadas 10 camadas subsequentes na vertical e, 5 camadas paralelas na horizontal, para confecção da amostra.

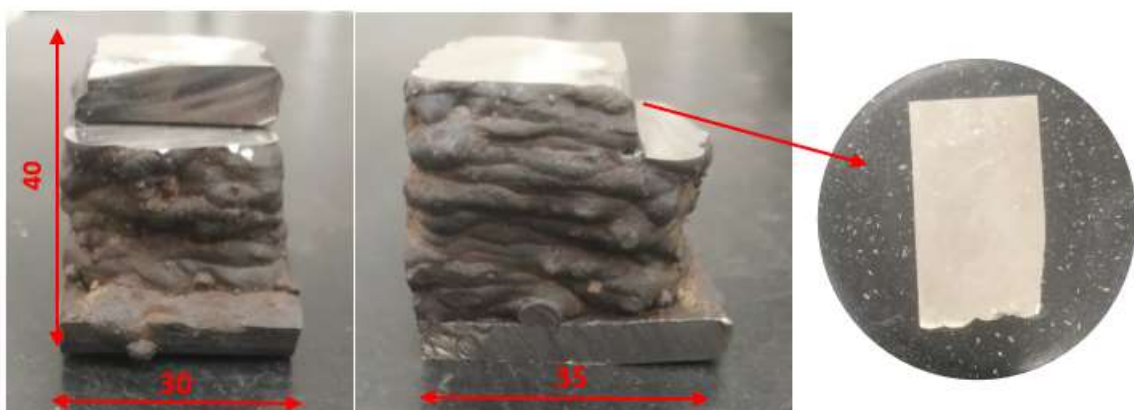


Figura 5: Peça produzida por Manufatura Aditiva com arame UTP AF LEDURIT 60.
Fonte: Do autor (2025).



O arame em estudo é tipicamente utilizado para revestimento de componentes de desgaste sendo necessário alta camada de deposição, justificando assim a escolha da geometria aplicada no estudo.

A Tabela 2 traz os parâmetros utilizados para soldagem do arame em estudo.

Tabela 2: Parâmetros de soldagem para arame UTP AF LEDURIT 60.

Variável:	UTP AF LEDURIT 60
Tensão (V)	22
Corrente (A)	200
Vazão do gás (L/min.)	16
Velocidade do arame (m/min.)	6,5
Argônio (%)	85
Dióxido de carbono (CO2)	15
Velocidade do CNC (mm/min.)	300
Valor médio por deposição (mm)	4,4

3.5 MICRODUREZA VICKERS

O ensaio de microdureza Vickers foi realizado para caracterização mecânica. O microdurômetro da marca SHIMADZE®, modelo HMV-2TADW foi utilizado com cargas de 9,806 Newtons para ambos os arames. O tempo de aplicação foi de 10 segundos, com um total de 15 endentações.

3.8 METALOGRAFIA

Para realizar o ensaio de metalografia foi utilizado um microscópio Olympus modelo SC30, conforme ABNT NBR 15454. Após corte no cortador metalográfico, a amostra foi usinada na retífica Mello modelo P36 para diminuir riscos na superfície, na sequência, a amostra foi lixada até lixa com 1200 grãos e, polida em uma politriz FORTEL molelo PLF, com alumina de 1 μ . Para revelar a microestrutura foi realizado ataque químico com solução Nital 2% e tempo de ataque de 10 segundos.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir serão discutidos os resultados obtidos com essa pesquisa.



4.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA ARAME UTP AF LEDURIT 60

A Tabela 2 traz os resultados obtidos para caracterização da composição química do arame UTP AF LEDURIT 60.

Tabela 2: Análise química UTP AF LEDURIT 60.

Elementos:	Quantidade em massa (%):	
	Do autor	UTP Maintenance
Carbono (C)	5,155	4,4
Silício (Si)	0,830	0,3
Manganês (Mn)	0,538	0,3
Fósforo (P)	0,014	-
Enxofre (S)	0,010	-
Cromo (Cr)	23	27
Molibdênio (Mo)	0,042	-
Níquel (Ni)	0,119	-
Cobre (Cu)	0,0052	-
Ferro (Fe)	Bal.	Bal.

O resultado da análise de espectrometria ficou próximo ao especificado pela ficha técnica do fabricante. Algumas distorções no resultado são comuns em material de deposição por soldagem, relativos as interações do material de deposição com material de base, atmosfera gasosa e resfriamento não controlado do material.

Este material se trata de um ferro fundido e tem como característica a presença de alto teor de cromo, sendo este um forte formador de carbonetos. Neste sentido, o cromo atua de duas formas quando presente nos ferros fundidos. Propicia a formação de carbonetos de cromo que possuem alta dureza e resistência a desgaste abrasivo, conferindo estas características ao material final. Além disso, estabiliza o restante do carbono em forma de carbonetos de ferro (cementita), não permitindo a precipitação do carbono em forma de grafita. Sendo assim, a liga se torna um ferro fundido branco, contendo cementita em abundância e com carbonetos de cromo dispersos na rede cristalina, mesmo que haja a presença de silício, o qual atua na formação da grafita. Como resultado, obtém-se um material com alta dureza e resistência a desgaste, porém muito frágil (CHIAVERINI, 2005).

4.2 ENSAIO DE MICRODUREZA VICKERS ARAME UTP AF LEDURIT 60

A Figura 6 demonstra o ensaio para caracterização de microdureza para o material depositado UTP AF LEDURIT 60. Conforme apresentado na figura, a microdureza chegou a apresentar regiões com 964,42 HV. Todavia, a microdureza média ficou em 780 ± 91 HV.

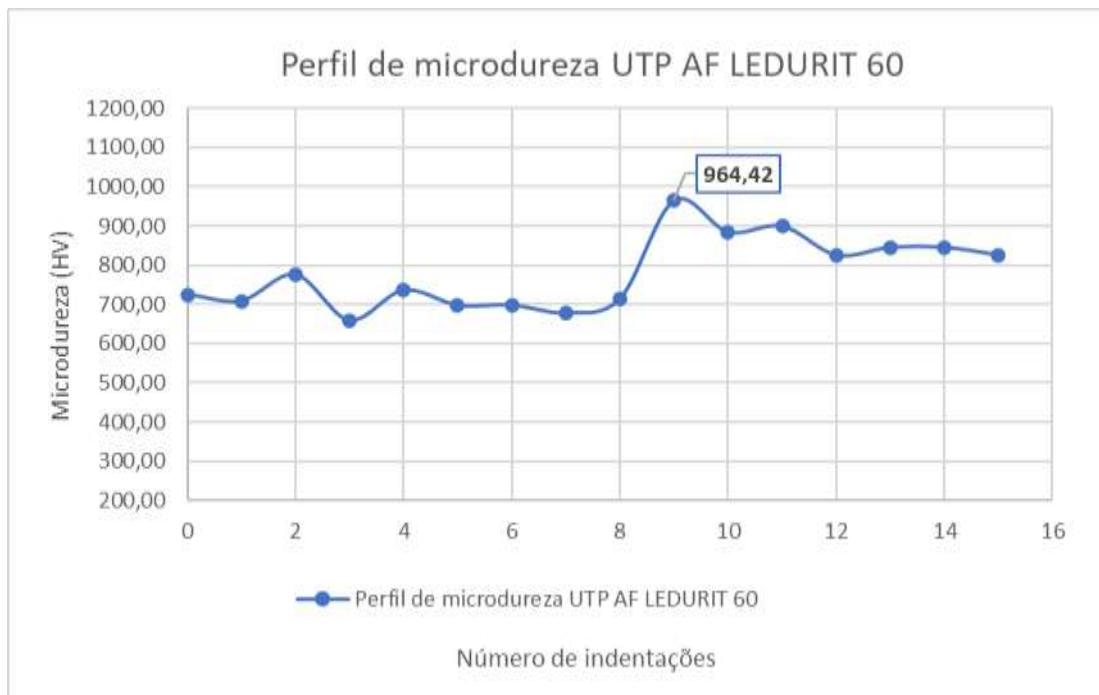


Figura 6: Ensaio de perfil de microdureza Vickers para o arame UTP AF LEDURIT 60.

Fonte: Do autor (2025).

4.3 ENSAIO DE MICROESTRUTURAL PARA O ARAME UTP AF LEDURIT 60.

A Figura 7 traz a avaliação microestrutural para a análise impressa com arame UTP AF LEDURIT 60 com aumento de 100 vezes. Na figura em questão, ressalta-se a divisão entre a deposição das camadas depositadas.

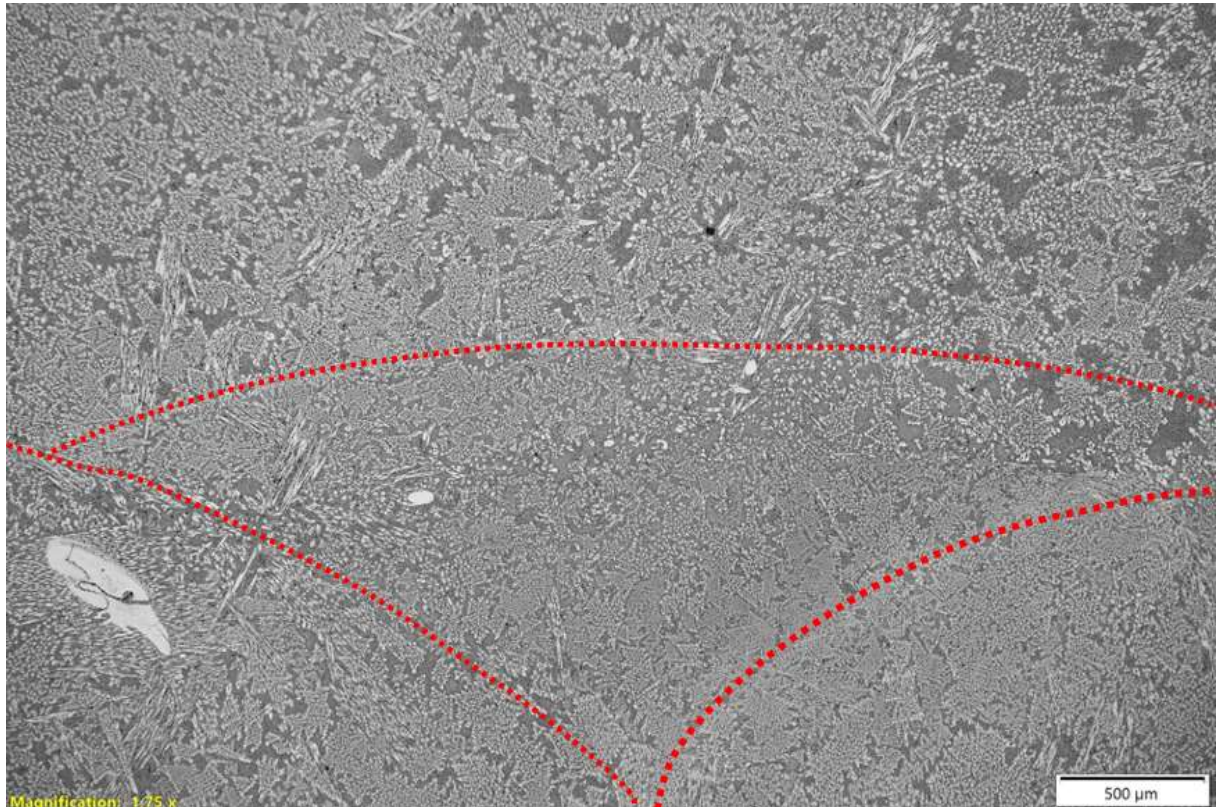


Figura 7: Análise metalográfica para o arame UTP AF LEDURIT 60 com aumento de 100 vezes.
Fonte: Do autor (2025).

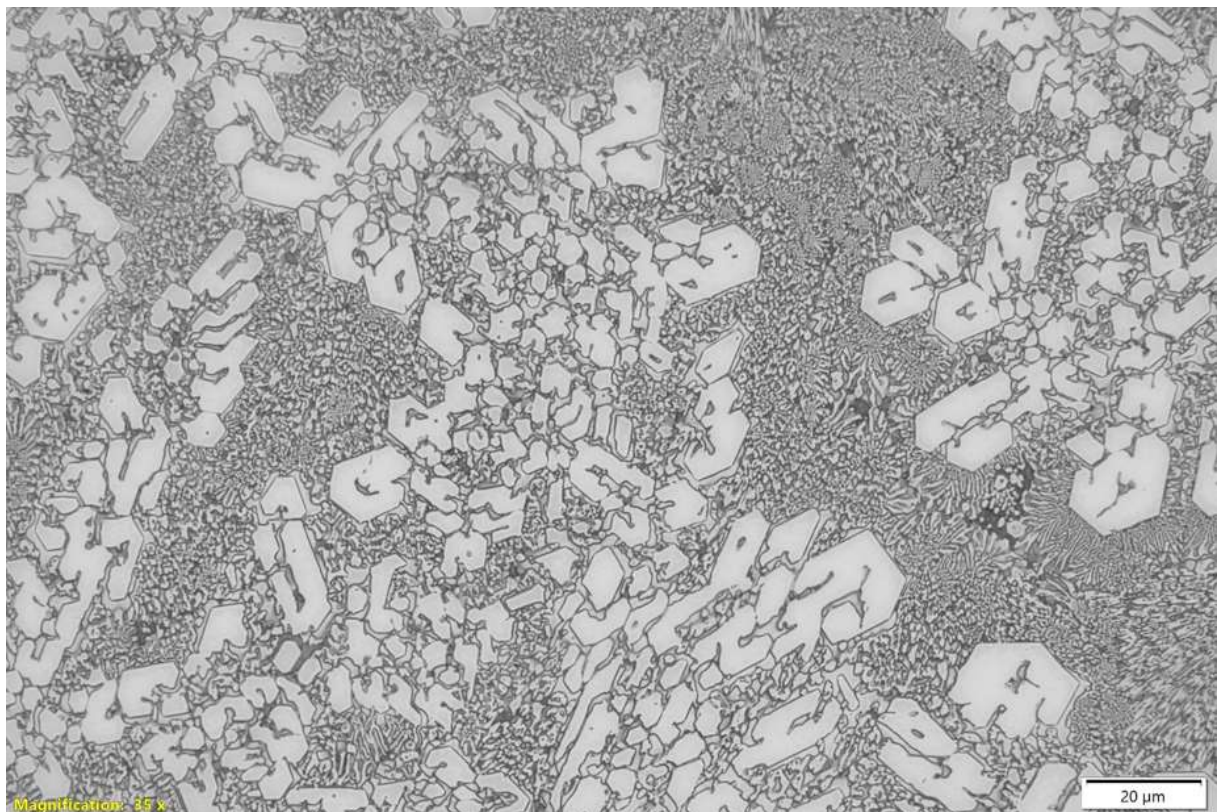


Figura 8: Análise metalográfica para o arame UTP AF LEDURIT 60 com aumento de 1000 vezes.
Fonte: Do autor (2025).



As imagens mostram uma microestrutura característica de um ferro fundido branco alto cromo, conforme esperado para o arame UTP AF LEDURIT 60. Os blocos brancos são característicos de carbonetos de cromo primários dispersos em uma matriz de cementita. Os resultados corroboram com as análises de espectrometria e microdureza.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a deposição por Manufatura Aditiva do arame UTP AF LEDURIT 60 foi necessário utilizar elevados valores de corrente elétrica, ainda assim, houve dificuldade para manter as camadas sobrepostas, isso se faz devido aos elevados teores de cromo e carbono, o que dificulta a estabilidade do arco elétrico, formando assim camadas heterogêneas.

Conforme demonstrado no ensaio de microdureza Vickers, o arame em estudo possui elevada microdureza devido aos blocos brancos apresentados na metalografia, que são característicos de carbonetos de cromo primários. Os carbonetos encontram-se dispersos em uma matriz de cementita, ou carbonetos de ferro.

A diferença entre a composição química entre material ensaiado e referenciado pode ter influência devido as elevadas temperaturas de soldagem, e segregação de componentes tal como cromo e carbono.

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.

ALMEIDA, Daniel Soares de. **Soldagem Subaquática com MIG/MAG**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia, Programa de pós-graduação em engenharia metalúrgica e dos materiais. Porto Alegre, 1992.

Almendra, A., Lazzari, C., Urtado, E. Et al. **SOLDAGEM: Área metalúrgica**. Pág. 278. Senai-SP. 2013.



AWS, A.W.S. (2001). **Welding Handbook: Welding Science and Technology**. volume 1. AWS, 9 edição.

Barra, S. **Site da soldagem: uma visão técnico-científica da área de soldagem**. 2019. Disponível em: <https://www.sitedasoldagem.com.br/vagas-e-eventos/prote%C3%A7%C3%A3o-gasosa-na-soldagem-a-arco-el%C3%A9trico>. Acessado em: 04 de fevereiro de 2025.

BROGAN, C. **World's first 3dprinted steel footbridge unveiled by queen máxima in amsterdam**. Imperial College London, 2021. Disponível em: <https://www.imperial.ac.uk/news/226533/worldsfirst3dprintedsteelfootbridgeunveiled>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2025.

CASAGRANDE, Henrique Cechinel, et al., **Carbon precipitation on the bonding line between deposited material and base material using an additive manufacturing process**. Paraná. SEVEN editora acadêmica. 2024. Disponível em: DOI:<https://doi.org/10.56238/sevened2024.018-048>. Acessado em: 03 de fevereiro de 2025.

CASAGRANDE, Henrique Cechinel., DALEFFE, Anderson., FERREIRA, Carlos Antônio., FRITZEN, Daniel., MARCH, Gilson de., CASTELAN, Jovani. **Processo de fabricação de peças metálicas por manufatura aditiva com fusão localizada de aços baixa liga**. Open Science Research 71. 997-1008. 2023. Doi: 10.37885/230512991.

Callister, W. D., Rethwisch, D. G. (2018). **Materials Science and Engineering: An Introduction**. 10 edição.

CARRIJO, Hendrick Villela. **Caracterização por análise de variância de cordões de aço C-Mn depositados por manufatura aditiva com arame e arco**. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Metalúrgica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. (2021). Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/18009/1/monopoli10032939-min.pdf>. Acessado em: 05 de fevereiro de 2025.

CASTRO, Maria Inês; SILVA. **Study of Deposition Strategies of a Wire + Arc Additive Manufactured Component**. 2018. 64f. Thesis: Master of Science Degree in Materials Engineering. Técnico Lisboa, 2018.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**. Pág. 485. ABM. 7 Edição (2005).



DING, D., PAN, Z., VAN DUIN, S., et al. **Fabricating superior NiAl bronze components through wire arc additive manufacturing.** Materials, v. 9, n. 8, 2016. DOI: 10.3390/ma9080652. Acessado em: 04 de fevereiro de 2025.

Ferreira, C. A., Casagrande, H. C., Daleffe, A., Fritzen, D., March, G. de, & Schaeffer, L. (2024). **Fabricação de peças metálicas por manufatura aditiva com diferentes características mecânicas superficiais.** Revista De Gestão E Secretariado, 15(7), e3850 . <https://doi.org/10.7769/gesec.v15i7.3850>.

FREITAS, Mateus Gaspar de., BAZANELLA, Alexandre Sanfelice. **Modelagem e Controle de uma Fonte de Solda Inversora para o Processo de Soldagem GMAW.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS – UFRGS. 2024. Disponível em: https://www.sba.org.br/cba2024/papers/paper_4250.pdf. Acessado em 04 de fevereiro de 2025.

GOMES, J., WILTGEN, F. **Avanços na manufatura aditiva em metais: técnicas, materiais e máquinas.** Rev. Tecnol. Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 1-16, jun. 2020. Disponível em: doi: 10.5020/23180730.2020.9917.

GIBSON, I.; ROSEN, D.; STUCKER, B. **Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing.** Segunda edição. 2015.

GUO, Xinpeng., LI, Huijun., PAN, Zengxi., ZHOU, Siyu. **Microstructure and mechanical properties of ultra-high strength Al-Zn-Mg-Cu-Sc aluminum alloy fabricated by wire + arc additive manufacturing.** Journal of Manufacturing Processes Volume 79, July 2022, Pages 576-586. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.05.009>. Acessado em: 04 de fevereiro de 2025.

Moreira, Alcindo Fernando. **Influência da atmosfera protetora no cordão de solda obtido através dos processos de soldagem GMAW e FCAW.** Master's thesis, UNESP - Faculdade de Engenharia do Campus da Ilha Solteira, Brasil. 2008.

MULHOZ et al. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D.** São Paulo. Editora: Edgard Blucher Ltda. 2018.

QI, Zewu et al. **Microstructure and mechanical properties of wire + arc additively manufactured 2024 aluminum alloy components: As-deposited and post heat-treated.** Journal of Manufacturing Processes Volume 40, April 2019, Pages 27-36. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.03.003>. Acessado em: 04 de fevereiro de 2025.



SARIKAYA, Murat et al., **A review on aluminum alloys produced by wire arc additive manufacturing (WAAM): Applications, benefits, challenges and future trends**. Journal of Materials Research and Technology Volume 33, November–December 2024, Pages 5643-5670. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.10.212>. Acesso em 04 de fevereiro de 2025.

SHEN, Chen., PAN, Zengxi., MA, Yan., CUIURI, Dominic., LI, Huijun. Fabrication of iron-rich Fe–Al intermetallics using the wire-arc additive manufacturing process. **Additive Manufacturing**. Volume 7, July 2015, Pages 20-26. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2015.06.001>. Acessado em: 04 de fevereiro de 2025.

SOARES, Samuel Freitas. **A soldagem MIG e MAG e o processo de fabricação: contribuições para a indústria**. CASCAVEL 2020. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à UNOPAR, como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Engenharia Mecânica.

TOALDO, Paulo Henrique. **Avaliação da influência dos parâmetros de processamento na manufatura aditiva do aço vp50im por arco elétrico a gás**. 2022. Dissertação apresentada ao Programa de PósGraduação em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na área de concentração: Fabricação Mecânica e Materiais. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/30843/1/parametrosmanufaturaaditiva.pdf>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2025.

UTP Maintenance. **Manutenção e Cladding**. 2014. Disponível em: <https://sbrrevestimentos.com.br/assets/pdfs/utp-maintenance2014.pdf>. Acessado em: 05 de fevereiro de 2025.

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 a pesquisa.