cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE PLACAS DE FIXAÇÃO EM AÇO INOX 316L FABRICADAS POR IMPRESSÃO 3D E SINTERIZAÇÃO

Gustavo Zaninelli Rocha[1]; Bruno L. Pereira[1]; Paulo Soares[1]
1. Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)

Introdução

O tratamento de fraturas na ortopedia veterinária enfrenta limitações anatômicas das placas convencionais. A falta de **exatidão geométrica** exige conformações intraoperatórias que elevam o tempo e os riscos da cirurgia. Nesse cenário, a manufatura aditiva por extrusão (**FDM**) de aço inoxidável 316L surge como **alternativa acessível** para fabricar implantes customizados. Para garantir a segurança clínica, é imprescindível o controle rigoroso das etapas térmicas de **debinding e sinterização**, assegurando a **densificação**, a fidelidade geométrica e a resistência mecânica do dispositivo.

Objetivos

O objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade produtiva, a resistência mecânica à flexão e o comportamento corrosivo de placas ortopédicas de aço inoxidável 316L fabricadas via impressão 3D (FDM). Especificamente, busca-se parametrizar os ciclos térmicos de *debinding* e sinterização utilizando insumos alternativos e quantificar a contração volumétrica para garantir a precisão geométrica. O estudo visa também **caracterizar a microestrutura, as fases cristalográficas e, criticamente, avaliar a sensitização e suscetibilidade à corrosão localizada da liga**. Por fim, compara-se o desempenho estrutural e a viabilidade econômica da peça com placas convencionais.

Metodologia

A metodologia englobou a engenharia reversa de uma placa ortopédica comercial e a impressão 3D por FDM com filamento de aço 316L. As peças verdes **sofreram extração térmica do ligante e sinterização sob atmosfera redutora com carvão ativado.** Foi aplicado o Planejamento de Experimentos (**DoE) para otimizar a consolidação térmica entre 1232 °C e 1282 °C.** A caracterização morfológica e estrutural utilizou **µCT, MEV, EDS e DRX.** O desempenho foi validado via equações analíticas e simulações no Ansys, testes de corrosão e ensaios mecânicos. O critério de aprovação mecânica utilizou a norma ASTM F138. **Por fim, a viabilidade econômica comparou os custos da produção aditiva em lote com o preço de varejo das placas usinadas comerciais.**

Resultados e Discussão

A sinterização a 1272 °C garantiu a melhor densificação e suprimiu os macroporos severos da liga. A placa impressa alcançou tensão de escoamento de 305 MPa em flexão, superando o modelo comercial (280 MPa) e a norma ASTM F138 (190 MPa), com dureza média de 95 HRB. Simulações indicaram que o aumento da espessura mitiga os picos de tensão nos orifícios. **Contudo, ensaios químicos revelaram suscetibilidade à corrosão localizada**. O uso de suportes carbonáceos provocou a sensitização do aço, gerando a **precipitação de carbonetos de cromo nos contornos de grão e comprometendo a camada passiva.**

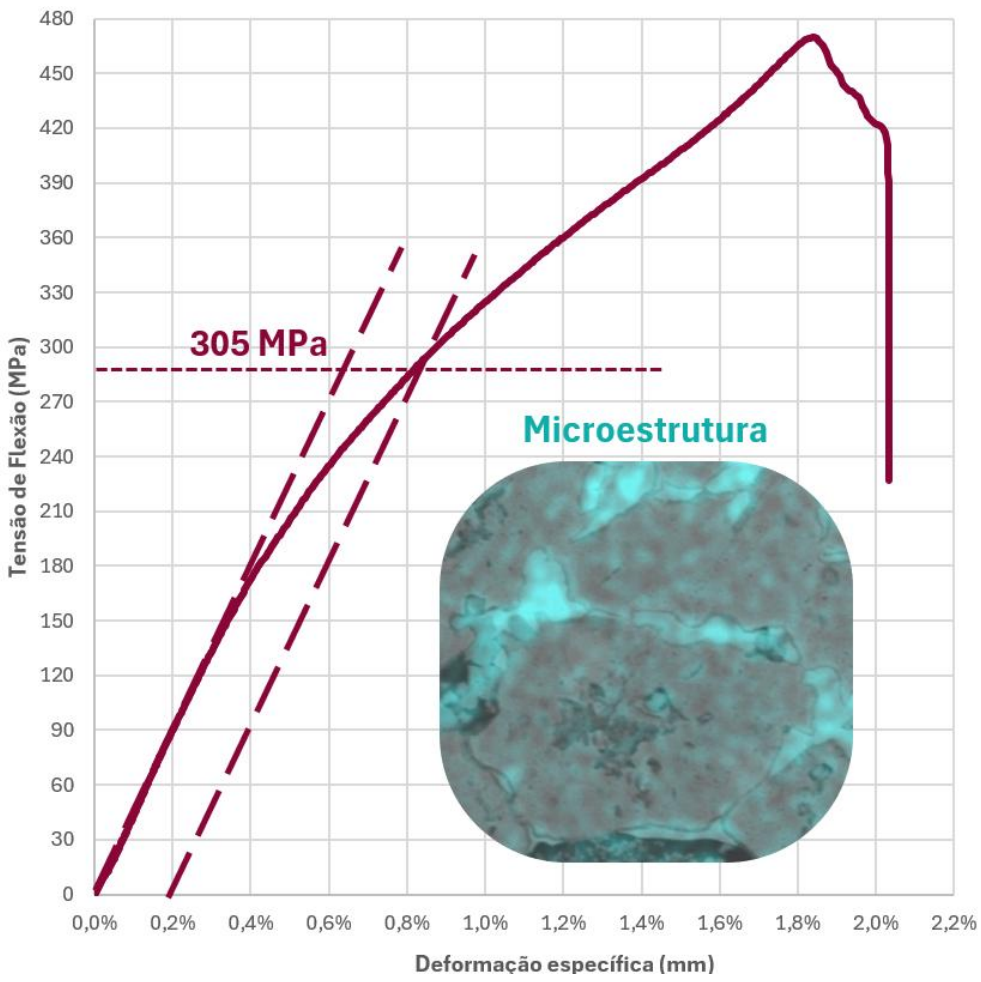


Figura 1. Curva de flexão com limite de escoamento de 305 MPa e detalhe microestrutural da segregação de cromo nos contornos de grão do aço 316L.

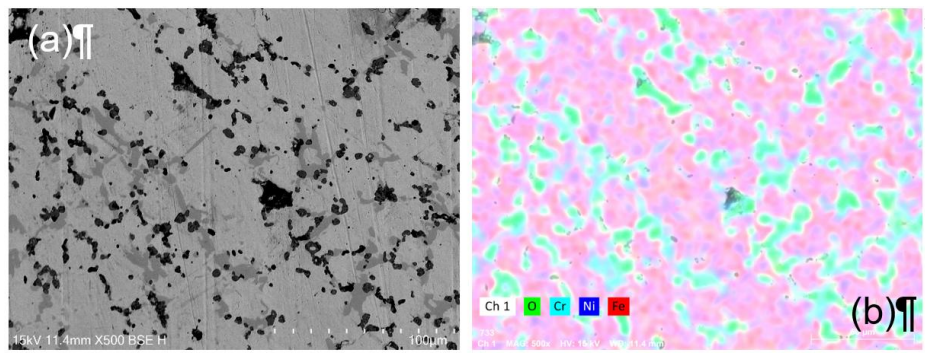


Figura 2. Microscopia eletrônica de varredura da amostra em (a) acompanhada do mapeamento químico por EDS em (b), destacando a presença de oxigênio retido nas porosidades da matriz metálica.

Conclusões

A impressão de placas ortopédicas em aço 316L atingiu excelente resistência mecânica de 305 MPa com a sinterização a 1272 °C. Todavia, os **suportes carbonáceos induziram sensitização e corrosão localizada, exigindo o processamento futuro em atmosferas totalmente livres de carbono.**

Referências

PADILHA, A. F.; RIOS, P. R. Decomposition of Austenite in Austenitic Stainless Steels. **ISIJ International**, v. 42, p. 325, 2002.
WANG, Y. M. et al. Additively manufactured hierarchical stainless steels with high strength and ductility. **Nature Materials**, v. 17, n. 1, p. 63 a 70, 2018.
THOMPSON, Y. et al. Fused filament fabrication, debinding and sintering as a low cost additive manufacturing method of 316L stainless steel. **Additive Manufacturing**, v. 30, p. 100861, 2019.

PUCPR
GRUPO MARISTA