



Influência dos Parâmetros de Impressão no Comportamento Dimensional de Peças Fabricadas por MFFF

Eduardo Osvino Sippel¹| eduardo.s10@aluno.ifsc.edu.br
Guilherme Henrique Benck Bandeira²| guilherme.hbb@aluno.ifsc.edu.br
Aurélio da Costa Sabino Netto³| asabino@ifsc.edu.br
Luiz Fernando Segalin Andrade⁴| luizsegalin@ifsc.edu.br

RESUMO

Este estudo investiga o comportamento dimensional de peças metálicas produzidas pelo processo *Metal Fused Filament Fabrication* (MFFF), utilizando o filamento *Ultrafuse 316L* (BASF) e o sistema *Raise3D MetalFuse*, composto pela impressora *Forge1* e fornos *D200-E* e *S200-C*. O objetivo foi compreender a influência dos principais parâmetros de impressão (altura de camada, densidade de preenchimento e número de perímetros) sobre a estabilidade geométrica ao longo das etapas de impressão, *debinding* e sinterização. O planejamento experimental adotou um fatorial completo 2^3 , totalizando 24 amostras, projetadas no software *IdeaMaker for Metal* e medidas antes e após o tratamento térmico com o auxílio de uma máquina de medição por coordenadas (CMM) *LK G80-C*. As variações dimensionais e a retração volumétrica foram analisadas por meio de estatística descritiva e análise de variância (*ANOVA One-way*), aplicadas no *Microsoft Excel*. Os resultados indicaram que as maiores retrações ocorreram no eixo Z, sobretudo em regiões com furos e ressalto, enquanto superfícies planas apresentaram menor distorção. A altura de camada e a densidade de preenchimento mostraram influência significativa sobre a estabilidade dimensional, enquanto o aumento do número de perímetros não apresentou efeito consistente. Os resultados validam a viabilidade do MFFF para a produção de peças metálicas de precisão, desde que os parâmetros sejam rigorosamente controlados e sejam aplicadas compensações geométricas no projeto para reduzir deformações.

Palavras-Chave: Manufatura Aditiva; MFFF; Contração Dimensional; *Ultrafuse 316L*.

¹ Departamento de Engenharia Mecatrônica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), Florianópolis, SC 88020-300, Brasil

² Departamento de Engenharia Mecatrônica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), Florianópolis, SC 88020-300, Brasil

³ Departamento de Engenharia Mecatrônica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), Florianópolis, SC 88020-300, Brasil

⁴ Departamento de Engenharia Mecatrônica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), Florianópolis, SC 88020-300, Brasil



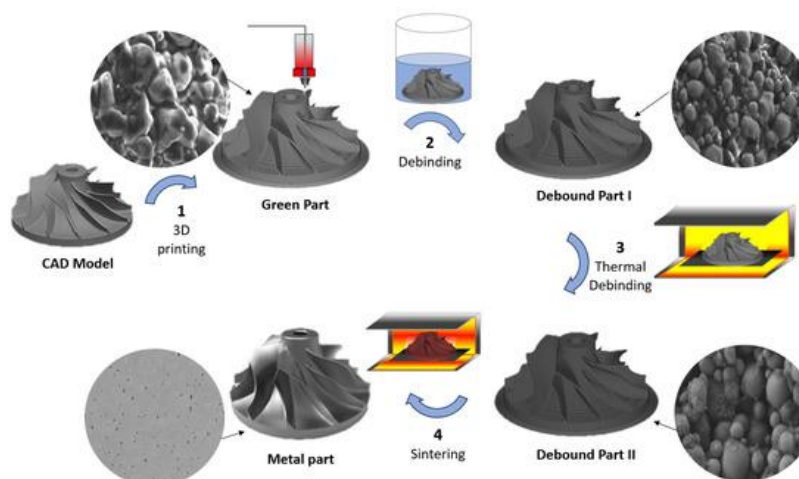
1 METAL FUSED FILAMENT FABRICATION (MFFF)

O *Metal Fused Filament Fabrication* (MFFF) é uma adaptação do processo *Fused Filament Fabrication* (FFF), originalmente voltado a polímeros, para a produção de peças metálicas. Utiliza-se um filamento composto por partículas metálicas dispersas em uma matriz polimérica, o qual é extrudado e depositado camada a camada, formando a chamada “peça verde”. Essa peça passa por duas etapas subsequentes: *debinding*, onde o ligante polimérico é removido, e sinterização, na qual as partículas metálicas se fundem, resultando em um corpo denso e funcional.

O MFFF apresenta algumas vantagens como o menor custo de equipamento, relativa simplicidade operacional, maior segurança e sustentabilidade, já que dispensa o manuseio de pó metálico. Entretanto, enfrenta desafios significativos, como contração dimensional durante a sinterização, porosidade residual e anisotropia nas propriedades mecânicas. Pesquisas recentes evidenciam que a otimização dos parâmetros de impressão, a formulação do filamento e o controle preciso das curvas térmicas na sinterização são determinantes para melhorar a qualidade e o desempenho final das peças (Jacob et al., 2024; Costa et al., 2023).

A Figura 1 revela uma visão geral do processo de MFFF, desde a impressão da peça verde até a obtenção de uma peça totalmente metálica após a sinterização.

Figura 1 – Visão Geral das Etapas do MFFF



Fonte: Adaptado de (JACOB et al., 2024)

2 GEOMETRIA DO ESTUDO

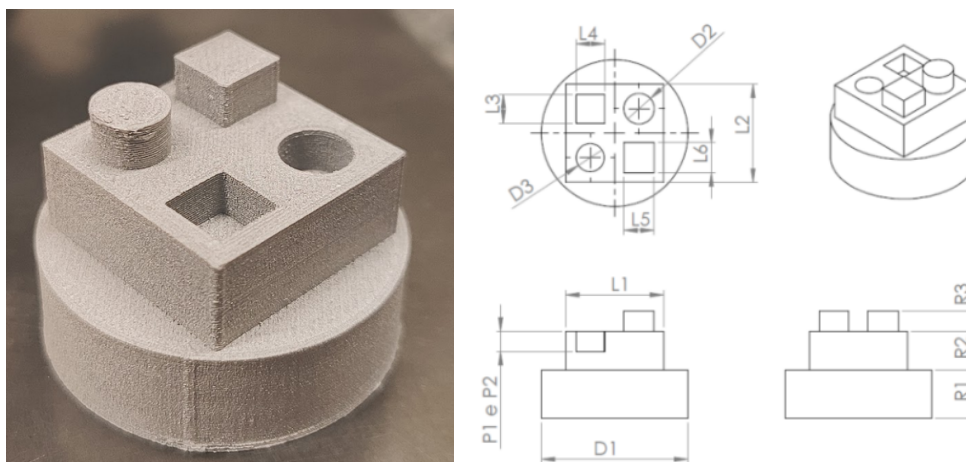
A geometria dos corpos de prova foi concebida com base no modelo proposto por Alyammahi et al. (2021), que prioriza formas simples, simétricas e autoportantes,



eliminando a necessidade de estruturas de suporte e de usinagem pós-processo. Essa escolha reduz interferências externas e assegura que a avaliação dimensional esteja diretamente vinculada ao desempenho do processo MFFF.

Seguindo recomendações da literatura (Scaravetti, Dubois e Duchamp, 2008), o corpo de prova (Figura 2) inclui elementos básicos, como furos e ressaltos circulares e quadrados, permitindo a análise de diferentes parâmetros geométricos em uma mesma peça.

Figura 2 – Corpo de Prova Final



Fonte: Dos Autores (2025)

3 ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA One-way)

A análise de variância (ANOVA One-way) foi aplicada para avaliar o impacto da altura de camada, densidade de preenchimento e número de perímetros nas dimensões finais das peças sinterizadas. As maiores variações ocorreram no eixo Z, principalmente em ressaltos e furos, evidenciando maior sensibilidade dessas regiões às contrações e deformações térmicas.

A altura de camada foi o fator mais influente: camadas mais finas (0,12mm) apresentaram maiores variações dimensionais, enquanto camadas mais espessas (0,24mm) resultaram em maior estabilidade, embora com menor resolução. O preenchimento interno também teve papel relevante, uma vez que amostras com 100% de densidade mostraram menor dispersão após a sinterização.

O aumento do número de perímetros, por outro lado, não trouxe ganhos consistentes e chegou a ampliar a instabilidade em algumas dimensões, contrariando parte da literatura. De modo geral, a ANOVA indicou que o controle da altura de camada



e do preenchimento interno é fundamental para reduzir deformações e garantir maior precisão dimensional no processo MFFF.

4 CONCLUSÃO

A pesquisa confirmou a viabilidade do processo MFFF para a fabricação de peças metálicas em aço inoxidável 316L, evidenciando que a precisão dimensional depende fortemente da altura de camada e da densidade de preenchimento. A análise de variância (ANOVA One-way) demonstrou que camadas mais espessas e preenchimentos mais densos reduzem as variações geométricas, enquanto o aumento do número de perímetros não apresentou melhorias significativas. As maiores distorções ocorreram no eixo Z, refletindo a influência das etapas térmicas sobre regiões mais complexas.

Os resultados reforçam que ajustes geométricos no CAD e controle térmico durante a sinterização são fundamentais para minimizar retrações e obter peças com maior previsibilidade dimensional. Apesar da limitação de ter avaliado apenas um material e um conjunto de equipamentos, o estudo fornece subsídios práticos para otimização de parâmetros e amplia o entendimento sobre o comportamento dimensional no MFFF, contribuindo para sua consolidação em aplicações industriais de maior exigência.

REFERÊNCIAS

JACOB, J.; PEJAK SIMUNEC, D.; KANDJANI, A. E. Z.; SOLA, A. A review of fused filament fabrication of metal parts (Metal FFF): Current developments and future challenges. *Technologies*, Basel, v. 12, n. 12, p. 267, 2024.

COSTA, J. M.; SEQUEIROS, E. W.; VIEIRA, M. F. Fused filament fabrication for metallic materials: A brief review. *Materials*, Basel, v. 16, n. 24, p. 7505, 2023.

ALYAMMAHI, M. S.; ATATREH, S.; SUSANTYOKO, R. A.; ALKINDI, T. Evaluation of dimensional accuracy of additively manufactured metal parts in fused filament fabrication process. In: ASME INTERNATIONAL MECHANICAL ENGINEERING CONGRESS AND EXPOSITION – IMECE, 2021, Online. Proceedings [...]. New York: ASME, 2021.

SCARAVETTI, D.; DUBOIS, P.; DUCHAMP, R. Qualification of rapid prototyping tools: proposition of a procedure and a test part. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, London, v. 38, p. 683–690, 2008.