

PROJETO DE PESQUISA

Estudo exploratório de propriedades mecânicas e precisão dimensional do processo de manufatura aditiva MJP

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Magnabosco
Candidato: Igor Croce Holanda, n° FEI 11.221.001-8

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM
Área de concentração: Materiais e Processos
Centro Universitário FEI

RESUMO DO PROJETO

O objetivo deste projeto é determinar os parâmetros ideais para produzir, por método MJP, corpos de prova de tração e de flexão utilizando a resina Visijet M2RWT, proprietária da 3D Systems, em diferentes ângulos de orientação com relação ao plano da mesa do equipamento, avaliando a influência desta orientação nas propriedades mecânicas, verificando se há anisotropia e em qual intensidade, e avaliando variações dimensionais com relação às geometrias propostas.

Palavras-chave:

1. Manufatura aditiva
2. Impressão 3D
3. Multi Jet Printing
4. Comportamento mecânico

Introdução

A manufatura aditiva, comumente conhecida como impressão 3D, é um dos processos de fabricação mais inovadores e versáteis para a obtenção de peças de geometrias complexas a partir de arquivos digitais de projetos em 3 dimensões (3D). Os processos consistem na deposição de material camada a camada, a partir de código de linguagem de máquina do tipo gcode, gerado em programas conhecidos como fatiadores, que transformam o projeto 3D (usualmente gerado em extensões .stl ou .obj) em linhas de comando que controlam os três eixos de deslocamento da máquina e a deposição de material [1]. Na Figura 1 são apresentadas representações esquemáticas de dois dos processos de manufatura aditiva mais comuns para a produção de peças poliméricas, o de extrusão de material (também conhecido como FFF – Fused Filament Fabrication, ou FDM – Fused Deposition Modelling) e o de impressão multijatos (MJF – Multi Jetting Fusion).

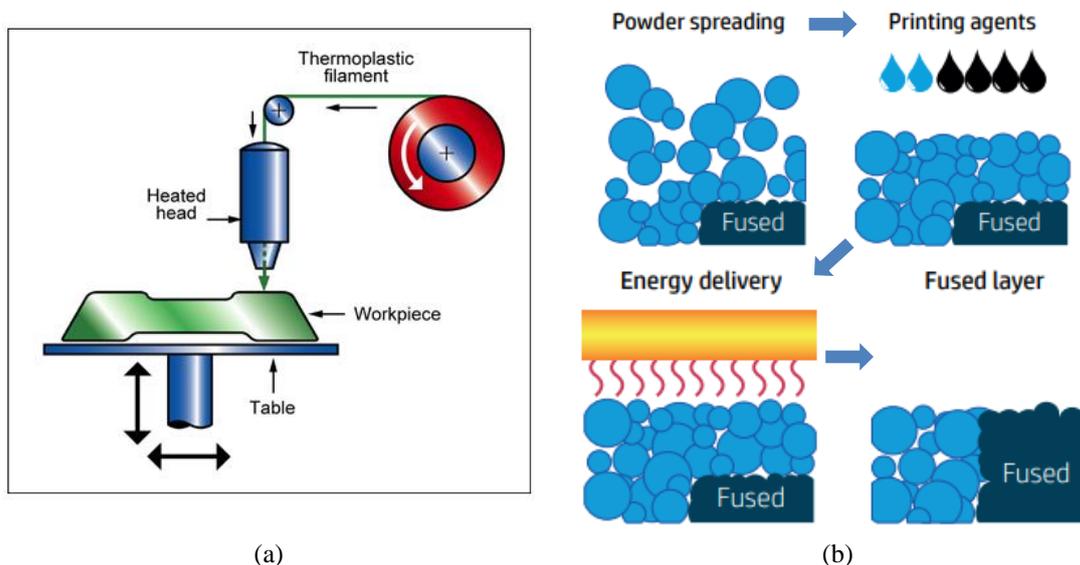


Figura 1. Representação esquemática de dois métodos de manufatura aditiva. Em (a), extrusão de material (também conhecido como FFF – Fused Filament Fabrication, ou FDM – Fused Deposition Modelling [2] e em (b), impressão multijatos (MJF – Multi Jetting Fusion) [3].

O processo FFF (Figura 1a) é o mais popular para a obtenção de peças por manufatura aditiva de polímeros termoplásticos. O material, na forma de filamento de diâmetro padronizado em 1,75 mm ou 3 mm, é extrudado por uma cabeça aquecida, que tem um bico de extrusão fabricado em latão ou aço inoxidável, e que tem orifício de extrusão de diâmetro variando entre 0,2 mm e 0,8 mm nos equipamentos mais comuns. O material fundido é pressionado contra a mesa de impressão e movimentos no plano da mesa permitem a deposição da primeira camada da peça, usualmente com espessura que não ultrapassa metade do diâmetro do orifício de extrusão utilizado. Após a deposição de todo o material da primeira camada, a mesa de impressão é deslocada com relação ao bico de extrusão na distância equivalente a espessura da próxima camada a ser depositada, e o processo então se repete, até que a peça final seja obtida.

Na Figura 2, é apresentado exemplo de peça sendo produzida em PLA (Poli Ácido Lático, um polímero termoplástico de origem vegetal), onde é possível ver as camadas depositadas, neste caso de 0,18 mm de altura cada, sendo usado um bico de extrusão de orifício com 0,4 mm de diâmetro.

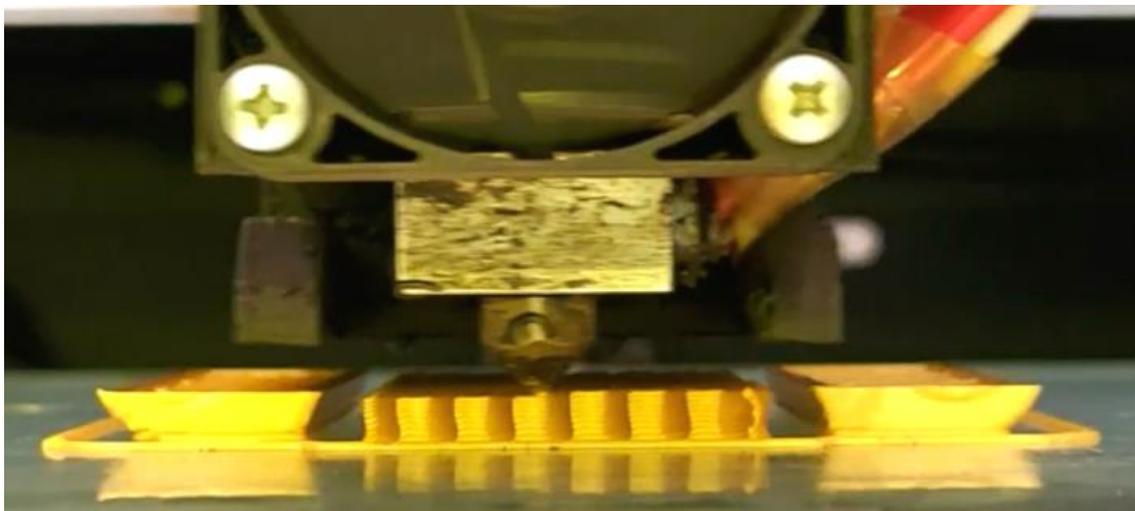


Figura 2. Deposição de PLA pelo processo FFF (fonte: autor).

Existem no mercado desde equipamentos simples de impressão FFF, que tem volume de impressão de 200x200x200 mm, com custo inicial de aquisição de aproximadamente R\$ 2.500,00, e que podem processar PLA, ABS (Acrilonitrila-Butadieno-Estireno) e PETG (Poli Etileno Tereftalato Glicol), com custo de aquisição da ordem de R\$ 100,00 o kg. Apesar da facilidade de acesso a equipamentos e materiais para o processo FFF, a Figura 2 ilustra o principal problema desta técnica: como a extrusão ocorre em camadas, pressionando o fluxo extrudado de polímero fundido contra o plano de impressão, criam-se estrias horizontais, que podem gerar concentradores de tensão perpendiculares ao eixo da altura das peças, levando a diminuição da resistência mecânica nesta direção. Além disso, sendo o material fundido depositado continuamente numa camada sobre a outra, pode ocorrer má adesão entre as camadas, prejudicando resistência e ductilidade na direção da altura da peça, o que ocasiona grande anisotropia de propriedades mecânicas nas peças assim produzidas.

Já no processo MJF (Figura 1b) o polímero é introduzido na mesa de geração da parte na forma de grânulos de dimensões micrométricas, e agentes de adesão/cura são depositados, num processo semelhante ao das impressoras jato de tinta 2D de papel. Todavia, os agentes de adesão/cura podem percolar pelo leito de partículas poliméricas, e quando a fonte de calor, responsável pela cura e fusão das partículas na região em que o agente foi depositado passar pela superfície, levará a fusão de um volume abaixo da região depositada, criando então um “voxel” (uma unidade volumétrica individual na peça). O termo “voxel” é uma alusão ao termo “pixel”, normalmente utilizado para definir a resolução de uma imagem 2D. Voxel, portanto, é a resolução de pode se atingir no processo MJF, que depende da granulometria do polímero usado, da espessura da camada de polímero granulado depositado antes da cura, e das variáveis de deposição dos agentes de adesão/cura [1, 3, 4].

Assim, ao contrário do processo FFF, onde as camadas são compostas por linhas extrudadas continuamente, no processo MJF a aderência entre voxels é mandatória no

processo de adesão entre camadas, e ocorre praticamente da mesma forma em qualquer direção, apesar da adesão entre camadas ocorrer entre um leito de partículas da camada mais superior e um substrato já fundido na camada inferior. Por este motivo, alega-se [4] que a anisotropia de propriedades mecânicas de peças produzidas por MJP é bastante reduzida. Comparadas aos valores de propriedades mecânicas obtidos em MJF, as propriedades mecânicas de partes obtidas por FFF apresentam anisotropia de propriedades muito mais pronunciadas, e tem sido objeto de estudos recentes [5-9].

Outra tecnologia é conhecida como Material Jetting (MJ) ou Multi Jet Printing (MJP), na qual resina de polímero termofixo é depositada, e curada sob ação de luz ultravioleta, garantindo maior acuracidade produtiva [10-14] e abre perspectivas de produção de peças com geometrias complexas, ampliando as possibilidades de projeto mecânico de órteses, e sua otimização topológica, interesse do Projeto MARMS-FINEP-FEI-HCUSP.

No âmbito deste projeto, o Centro Universitário FEI está recebendo uma impressora MJP Projet 2500 da 3D Systems, que usa polímeros proprietários na produção de peças. Determinar, com relação a orientação das partes produzidas em função do plano de deposição, os parâmetros ideais de produção para os materiais disponíveis, maximizando as propriedades mecânicas, e avaliar distorções dimensionais frente ao projeto CAD (como já discutido em [12-14]), são essenciais para o uso eficiente desta técnica de manufatura aditiva.

PROJETO DE PESQUISA

Objetivos

O objetivo deste projeto é determinar os parâmetros ideais para produzir, por método MJP, corpos de prova de tração e de flexão utilizando a resina Visijet M2RWT, proprietária da 3D Systems, em diferentes ângulos de orientação com relação ao plano da mesa do equipamento, avaliando a influência desta orientação nas propriedades mecânicas, verificando se há anisotropia e em qual intensidade, e avaliando variações dimensionais com relação às geometrias propostas.

Metodologia

Além da dedicação do professor-proponente como orientador (que trabalha em regime de tempo integral nesta Instituição), será necessária uma bolsa de iniciação científica, pelo período de um ano, para discente da FEI dos cursos de Engenharia mecânica, automação e controle, robôs, química ou civil, fomentada externamente pelo projeto FINEP 0.22.0277.00 (MARMS – Manufatura Aditiva para Reabilitação de Membros Superiores).

Após a definição dos parâmetros ideais de deposição serão processados corpos-de-prova de tração seguindo a ASTM D638-14 [15], apresentado na Figura 3, com 3 mm de espessura, e de flexão seguindo a ASTM D790-03 [16] em impressora MJP Projet 2500 da 3D Systems, adquirida com recursos do projeto FINEP 0.22.0277.00 supra mencionado. Na Figura 4, tem-se corpos de prova de tração com seus eixos longitudinais com relação a mesa de impressão inclinados de 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° e 90°,

totalizando 13 orientações de deposição. Os corpos-de-prova de flexão serão impressos em posições equivalentes.

Ensaio de tração segundo a ASTM D638-14 serão conduzidos no equipamento Instron do Centro Universitário FEI, para cada orientação de corpos de prova indicada na Figura 4. Serão avaliados os valores de módulo de elasticidade, limites de escoamento e resistência, e alongamento na ruptura. Nos ensaios de flexão, segundo a ASTM D790-03 [16] serão obtidos os valores de módulo de elasticidade e limite de escoamento.

Plano de trabalho e cronograma

Para cumprir as metas anteriormente propostas, o trabalho será dividido conforme descreve o cronograma mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Cronograma global de atividades do projeto.

Atividade	meses											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Revisão da literatura	■	■	■	■								
Obtenção das amostras				■	■	■	■					
Ensaio mecânicos								■	■	■	■	
Análise dos resultados						■	■	■	■	■	■	
Elaboração de relatórios parciais			■			■			■			
Elaboração de relatório final										■	■	■

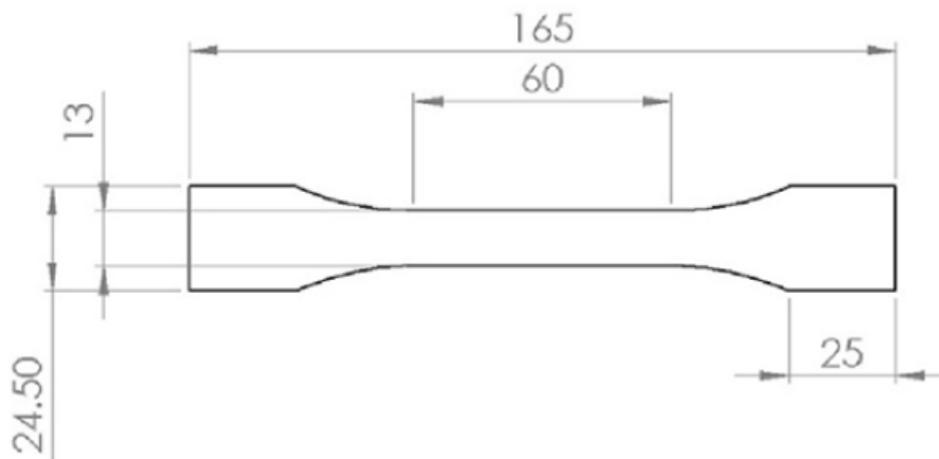


Figura 3. Corpo de prova de tração a produzir, segundo a ASTM D638-14 [15] (fonte: autor).

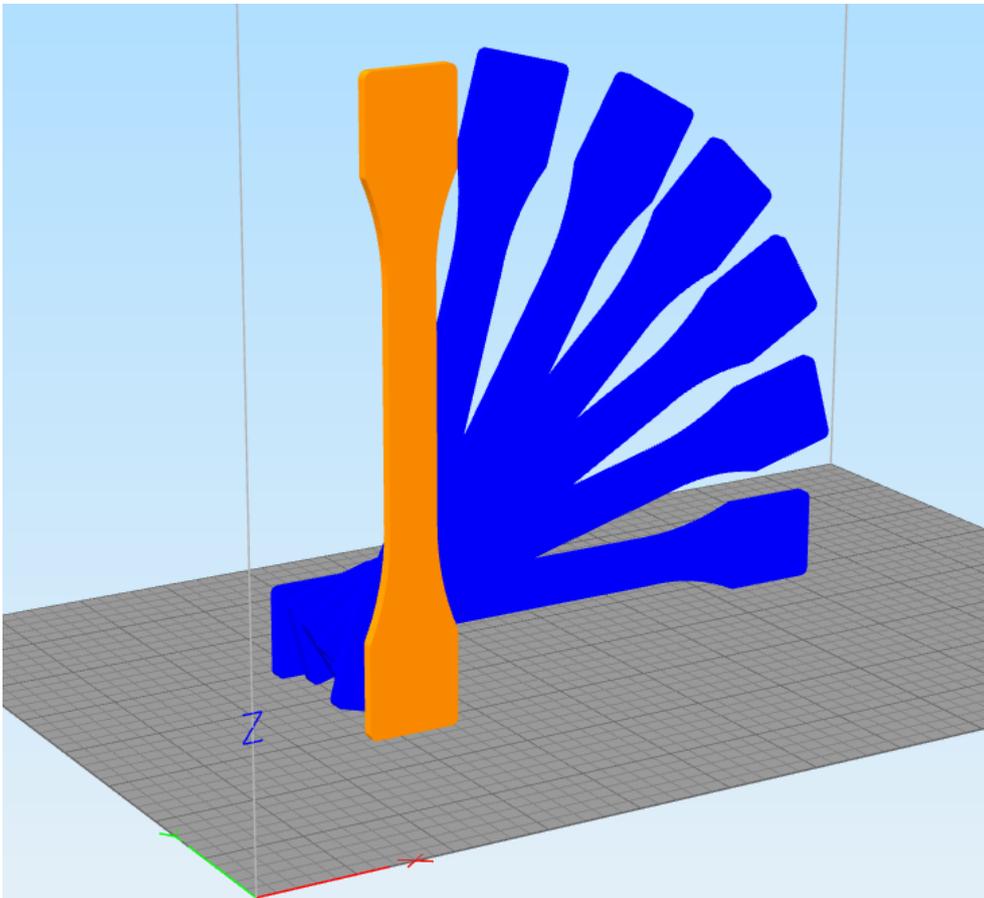
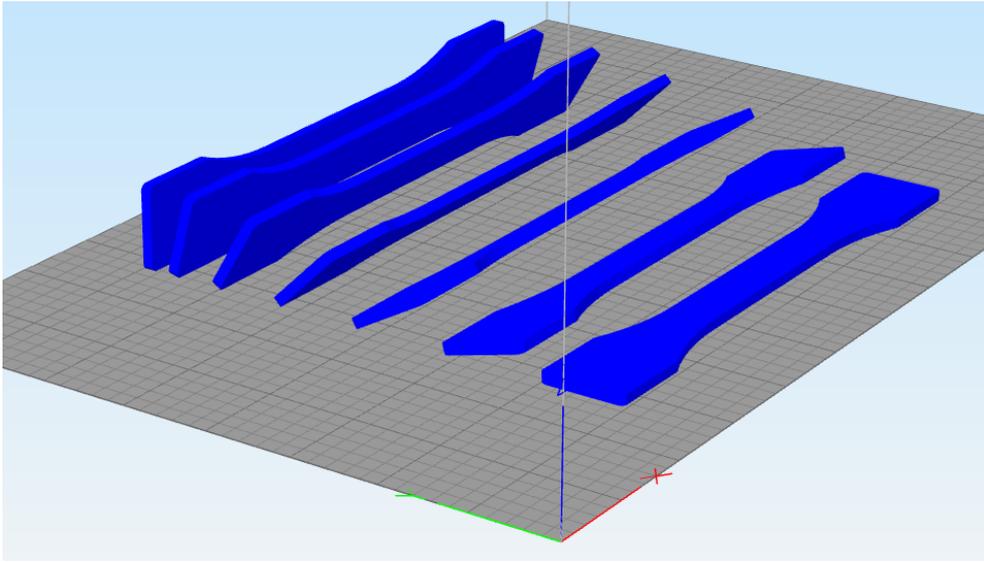


Figura 4. Orientação dos corpos de prova com relação à mesa de impressão (fonte: autor).

REFERÊNCIAS

1. B. Redwood, F. Schöffler, B. Garret. The 3D Printing Handbook. 3D Hubs : Amsterdam, 2017, 289 p.
2. Granta EduPack database, base de dados de processos, nível 3, release 2021.
3. HP MJF Handbook, disponível em <https://reinvent.hp.com/us-en-3dprint-mjfhandbook>, acessado em 23/02/2021.
4. HP 3D Printing materials for the HP Jet Fusion 4200 3D Printing Solution - Mechanical Properties, whitepaper HP, disponível em <https://www8.hp.com/us/en/printers/3d-printers/products/multi-jet-fusion-4200.html> acessado em 23/02/2021.
5. Ö. Keles et al. Effect of build orientation on the mechanical reliability of 3D printed ABS. Rapid Prototyping Journal, 23/2, 2017, p. 320–328.
6. H. R. Dana et al. Polymer additive manufacturing of ABS structure: Influence of printing direction on mechanical properties. Journal of Manufacturing Processes 44, 2019, p. 288–298.
7. T. J. Gordelier et al. Optimising the FDM additive manufacturing process to achieve maximum tensile strength: a state-of-the-art review. Rapid Prototyping Journal, 25/6, 2019, p. 953–971.
8. M. Samykano et al. Mechanical property of FDM printed ABS: influence of printing parameters. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 102, 2019, p. 2779–2796.
9. M. Schmitt et al. Additive manufacturing infill optimization for automotive 3D-printed ABS components. Rapid Prototyping Journal, 26/1, 2020, p. 89–99.
10. <https://br.3dsystems.com/multi-jet-printing> acessado em 16.fev.2022
11. <https://markforged.com/resources/learn/3d-printing-basics/3d-printing-processes/what-is-multijet-printing-mjp> acessado em 16.fev.2022
12. Yoo, S.-Y. et al, Dimensional accuracy of Dental Models for Three-Unit Prostheses Fabricated by Various 3D Printing Technologies. Materials 2021, 14, 1550. <https://doi.org/10.3390/ma14061550>
13. Hanqi Gao et al, The Effect of Build Orientation on the Dimensional Accuracy of 3D-Printed Mandibular Complete Dentures Manufactured with a Multijet 3D Printer. Journal of Prosthodontics 30 (2021) 684–689
14. Y. A. Mou , M. Koc. Dimensional capability of selected 3DP technologies. Rapid Prototyping Journal, v. 25, n. 5, 2019, p. 915–924
15. ASTM D638-14, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM international v. 08.01, 17 p.
16. ASTM D790-03, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM international v. 08.01, 11 p.