



## COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE PEÇAS DE PLA MOLDADAS POR INJEÇÃO E FDM

Vinicius Cabreira<sup>1\*</sup>, Ruth M. C. Santana<sup>2</sup>

1,2 - Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, [vinicius\\_cabreira@msn.com](mailto:vinicius_cabreira@msn.com)

**Resumo:** Apesar dos avanços da manufatura aditiva de polímeros termoplásticos nos últimos anos e da sua utilização substituindo processos convencionais, as peças criadas ainda apresentam limitações de conhecimento devido à falta de estudos comparativos entre os diferentes processos. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de peças produzidas por FDM e injeção. O polímero usado foi o poliláctico (PLA) e o formato da peça moldada foi de corpo de prova para ensaio de impacto. Foram mensuradas as massas das amostras obtidas por injeção e por FDM, sendo que nesse último foram produzidos dois grupos de amostras, de acordo ao grau de preenchimento (50% e 100%), também foi avaliado a resistência ao impacto. Resultados mostram menor massa e absorção de energia em peças criadas por FDM quando comparadas as moldadas por injeção; e com relação ao grau de preenchimento das amostras processadas por FDM, as obtidas com maior preenchimento (100%) forma as apresentaram maior massa e maior resistência ao impacto.

**Palavras-chave:** *Absorção de impacto. FDM. Impressão 3D, PLA, Injeção.*

### *Properties comparison of injection made and FDM made PLA samples*

**Abstract:** Despite advances in additive manufacturing in the last years, and its uses substituting conventional processes, the parts created still suffer from knowledge limitations due to lack of comparison between the two processes. This works had the objective of evaluate the physical and mechanical properties for FDM made parts and injection made parts. PLA samples created by injection and FDM with 50% and 100% infill degree were tested. Results show FDM made samples to have less mass and impact resistance when compared to injection made samples, and to have differences between the infill degrees.

**Keywords:** *Impact absorption, FDM, 3D printing, PLA, Injection.*

### **Introdução**

Os processos de manufatura Aditiva apresentam uma nova fronteira no processamento de materiais poliméricos, permitindo a rápida criação de modelos e peças de geometria complexas, que em vezes seriam impossíveis ou inviáveis economicamente por métodos tradicionais. Diferentes técnicas vem sendo amplamente utilizada na indústria médica, automotiva e aeronáutica.

Dentre os diferentes processos, podemos citar Stereolitografia (SLA), Sinterização Seletiva a Laser (SLS) e Moldagem por Deposição do Fundido (FDM). A última, apesar de existir desde os anos 80, apresentou grandes avanços na última década devido ao vencimento de patentes e grupos entusiastas, e vem sendo cada vez mais adotada pela indústria. Em alguns casos, podendo inclusive substituir os processos convencionais de processamento de polímeros.

O método de FDM se baseia na criação do objeto pela deposição em camadas, assim como as demais técnicas de Manufatura Aditiva. Durante o processo o polímero, usualmente um termoplástico, é depositado horizontalmente através de uma pequena matriz, dando forma a camada. Para haver a deposição, o polímero na forma de filamento é aquecido logo antes da matriz e forçado pela mesma, como em processo convencionais, porém em menor escala. Ao ser depositado, o material resfria e mantém sua forma. Para que haja funcionamento efetivo, deve haver uma combinação de parâmetros

de processamento, velocidade de deposição, diâmetro da matriz, espessura de camada, grau e orientação de preenchimento, temperatura, entre outras[1].

Atuais aplicações incluem mais que apenas a prototipagem rápida inicialmente idealizada, e incluem, além de prototipagem, peças de reposição, criação de moldes, peças personalizadas e peças de geometria complexa, sendo entregues diretamente ao consumidor, sem uma cadeia convencional de produção. A possibilidade de aplicações é limitada atualmente pelo material e tamanho da peça, uma vez que os equipamentos convencionais tem dimensões limitadas e tenderem a utilizar PLA ou ABS pela sua facilidade. Apesar disto, novos materiais estão entrando no mercado, principalmente na área de cargas com fibras. No entanto, há pouco estudo focado na janela parâmetros de extrusão, dos filamentos e comparações com métodos tradicionais, o que dificulta a otimização dos parâmetros e faz com que haja maior diferença entre as propriedades das peças criadas por FDM e outro processo[2].

Este trabalho tem como objetivo avaliar a diferença das propriedades físicas e mecânicas de peças criadas por processo de FDM quando comparadas a peças obtidas pelo processo de injeção, avaliando a resistência ao impacto e a massa.

## Experimental

### Materiais

Foi utilizado PLA comercial de cor azul e na forma de filamento 1,75mm. Adquirido da empresa Cliever.

### Processamento

Os corpos de prova de FDM foram criados por uma impressora Graber, equipamento *open-source* baseada na Prusa i3 e com cabeçote de injeção do tipo J-Head, possuindo uma matriz com 0,4mm de diâmetro. As peças foram impressas sobre uma superfície de vidro recobertas por fita específica, garantindo a planicidade e aderência. Os códigos foram gerados a partir do software Slic3r, sendo utilizadas as configurações vistas na tabela 1.

**Tabela 1:** Parâmetros de processamento de impressão FDM.

Parâmetro	Valor
Grau de Preenchimento	100% e 50%
Temperatura	200°C
Espessura de camada	0,3mm
Velocidade de deposição	15mm/s

As amostras impressas possuem uma linha de borda para manter a geometria, com o restante em preenchimento. Foi utilizado preenchimento de  $-45^\circ$  (mostrado na Figura 1) em relação ao horizontal após a verificação que dentre  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $-45^\circ$  e  $90^\circ$ , esta apresentou maior resistência ao impacto.



**Figura 1:** Configuração das peças a ser moldada segundo o ângulo de preenchimento.

Para comparação com processo tradicional, foram criados corpos de prova injetados, utilizando o equipamento Thermo Scientific Haake MiniJet II. Os parâmetros de injeção utilizados, vistos na

tabela 2, foram escolhidos de forma a terem as mesmas características do processo de FDM, mas garantindo a injeção do material.

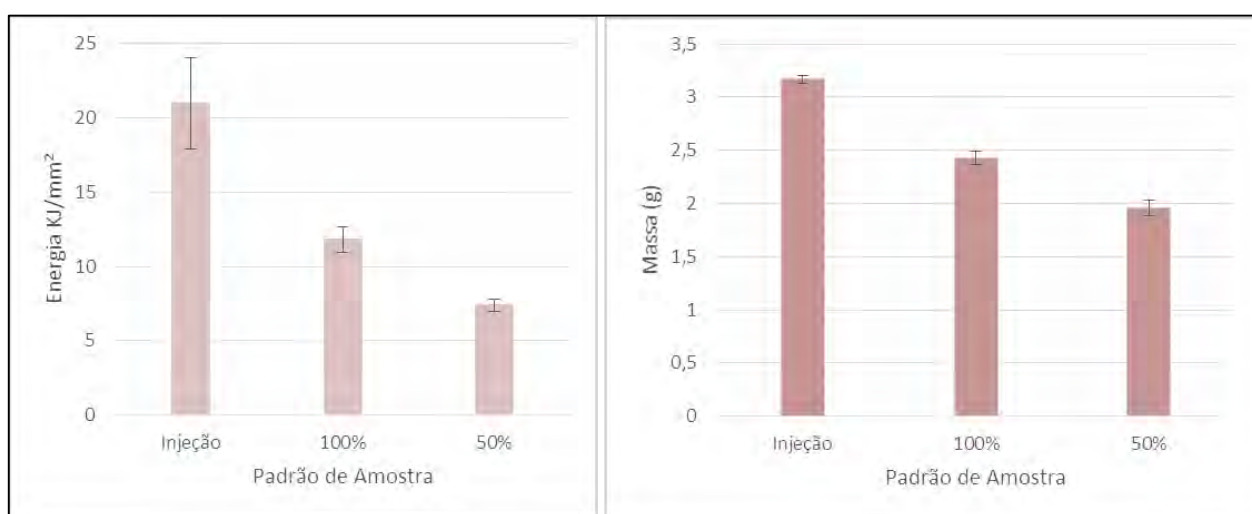
**Tabela 2:** Parâmetros do processo de injeção.

Parâmetro	Valor
Tempo de residência	30 s
Temperatura	200°C
Temperatura do molde	60°C
Pressão de injeção	500 bar

As amostras foram comparadas quanto a sua massa, e sua resistência ao impacto. Os testes de resistência ao impacto foram feitos utilizando o equipamento iImpact Izod machine CEAST Impactor II e pendulo de 2,75J de acordo com a norma ASTM D256. Após os testes o corpos de prova foram analisados sobre microscópio ótico.

### Resultados e Discussão

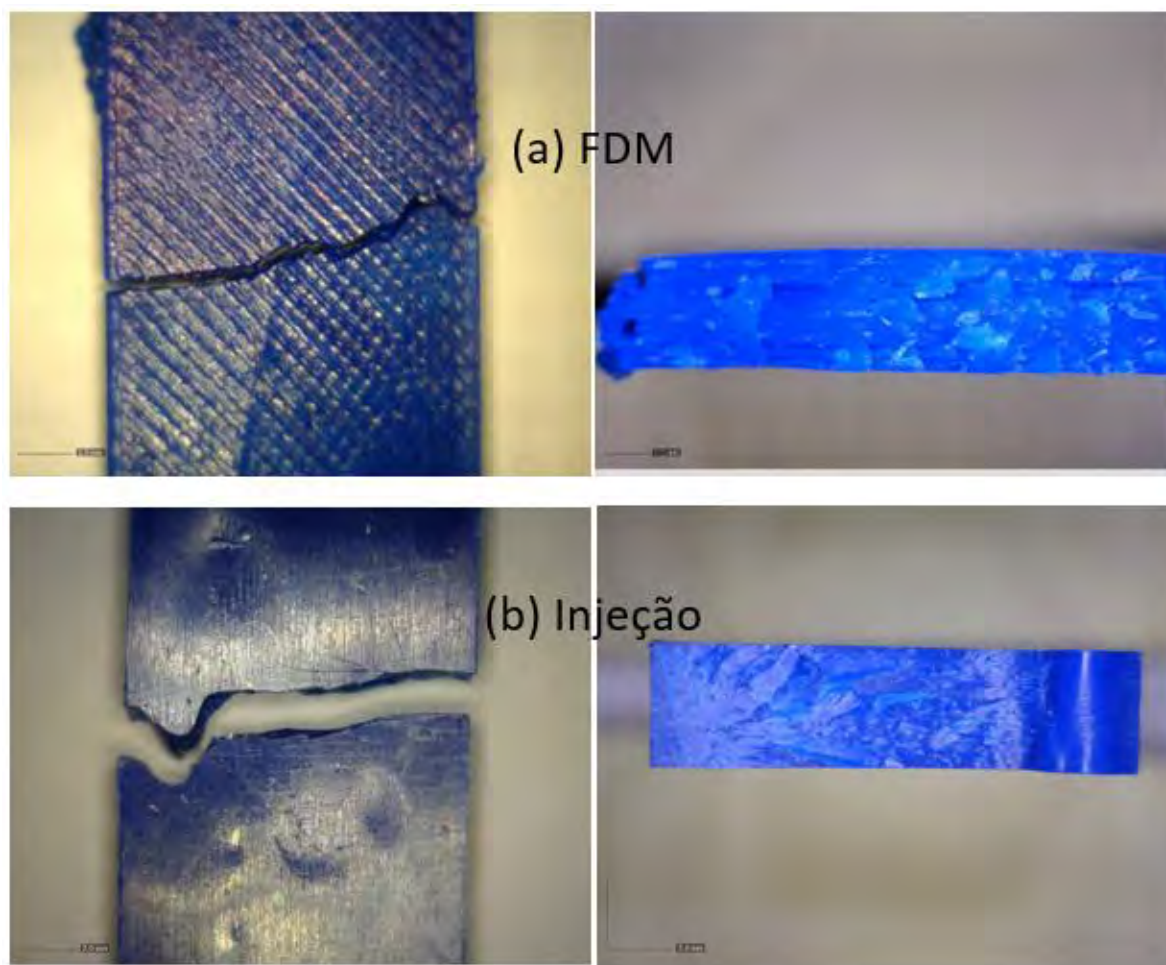
Os resultados do ensaio de impacto dos três grupos de amostras obtidos pelos processos de injeção e FDM são apresentados na Figura 2-a e as massas dos corpos de prova de prova na Figura 2-b. Observa-se que o grupo de amostras moldadas por injeção apresentou maior capacidade de absorção de energia ao impacto quando comparadas aos dois grupos de amostras obtidas por FDM.



**Figura 2:** Resultados das amostras obtidas por injeção e FDM: (a) Absorção de energia ao impacto, e (b) Massa dos corpos de prova.

As amostras criadas pelo processo de injeção possuem maior massa e maior absorção de energia que as demais, o que também é verificado por [3]. Estes resultados podem ser explicados pela alta pressão presente no processo de injeção, que compactam o material dentro da cavidade do molde. Como isto não acontece no processo de FDM, podem ocorrer vazios entre as linhas, resultando em menor massa e menor resistência ao impacto. [4] Afirma que esta falha pode ser evitada utilizando uma separação negativa entre as linhas de impressão, criando um efeito de sobre deposição que elimina os vazios ao custo de precisão dimensional. Outro fator que pode ser atribuído como causa da menor resistência ao impacto é a estrutura laminada, que afeta a resistência a tensão da mesma forma. Isto por criar interfaces entre as camadas com resistência menor que a das linhas de deposição e levando a diferentes modos de falhas[5][6].

Esta teoria vai de acordo com a análise feita em microscópio, onde, como mostra a figura 3, pode ser claramente observada diferenças na solidez do corpo de prova.



**Figura 3:** Vista superior (esquerda) e vista frontal da superfície de fratura (direita) após ensaio de impacto : dos corpos de prova obtidos por: (a) FDM e (b) injeção.

Já uma análise entre os corpos de prova criados por FDM, mas com diferentes graus de preenchimento, mostram que a utilização de metade do preenchimento não resulta na metade das massas ou metade da energia absorvida. Isso pode ser relacionado com as bordas do corpo de prova. Apesar do preenchimento variar, as camadas externas continuam iguais, e contribuem tanto para a massa quanto energia de impacto absorvida. Devido a espessura das camadas e do corpo de prova, este efeito acaba por ser significativo.

### Conclusões

Analisando corpos de prova criados por processo de injeção e FDM, pode ser verificada a existência de diferenças entre as propriedades mecânicas analisadas, que podem ser explicadas pela compactação das peças injetadas e pelos vazios existentes entre as linhas de deposição do processo de FDM. No entanto estas diferenças não são diretamente proporcionais para diferentes graus de preenchimento, possivelmente devido as camadas externas. Mais estudos devem ser realizados para um melhor entendimento do efeito que estas camadas causam nas amostras.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem a equipe do Lapol pela ajuda no processamento por injeção e nos ensaios, a Capes/CNPQ pelo auxílio financeiro, e a RESAG-SIBRATEC.

## **Referências Bibliográficas**

- 1 J.M. Chacón, M.A. Caminero, E. García-Plaza, P.J. Núñez, *Materials and Design*. 2017.
- 2 A. Tsouknidas, M. Pantazopoulos. I. Katsoulis, et all. *Materials and Design*. 2016.102.41-
- 3 L. Wang, W. M. Gramlich, D. J. Gardner. *Polymer*. 2017. 114. 242-248.
- 4 M. Dawoud, I. Taha, S. J. Ebeid. *Journal of Manufacturing Processes*. 2016. 21. 39-45.
- 5 I. Durgun; R. Ertan. *Rapid Prototyping Journal*. 2014. 20. 228-235.
- 6 N. Aliheidari, R. Tripuranemi, A. Ameli, S. Nadimpalli. *Polymer Testing*. 2017. 60. 94-101.