

**Análises termomecânicas e microscopia estrutural de corpos de prova gerados por impressão 3D, com estratégia de preenchimento variado da largura dos cordões extrudados**

**Maria Luiza Marinho Pacheco**, bolsista IC-PUB-USP

Ricardo Henrique Dias, bolsista IC Fapesp

Zilda de Castro Silveira, orientadora

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo

malupacheco@usp.br

**Contextualização e objetivo**

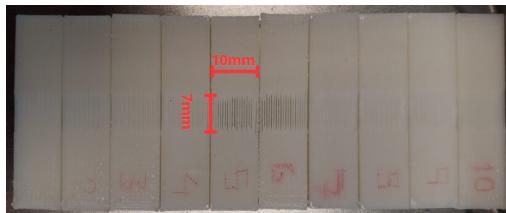
Neste trabalho, corpos de prova foram avaliados, após alterações no programa Alprint (Couto et al, 2022) com foco no sistema de alimentação de filamento “Bowden” e alterações em parâmetros do planejamento aditivo, como valores de retrações, perímetros e trajetória contínua por camada. Foram impressos modelos bidimensionais de 1 a 6 camadas. O objetivo deste trabalho foi a caracterização das temperaturas de fusão e de transição vítreia, associadas a variações da rigidez e avaliação da morfologia dos feixes por microscopia ótica. O material utilizado foi filamento de Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS) GP 35, GTMax e impressora GTMax3D Core A1 com alguns resultados anteriores sobre a viabilidade do método de variação unidimensional dos cordões extrudados, para gerar flexibilidade local (Couto et al, 2022 e Idogava et al, 2023). O projeto teve um realinhamento de escopo, devido à troca de aluno bolsista, direcionando a pesquisa para as caracterizações termoanalíticas e termomecânicas do filamento e depois de corpo de prova (DMA). Uma avaliação da morfologia de formação dos feixes de peças impressas foi conduzida para avaliar a influência da modificação no programa e parâmetros operacionais de fabricação aditiva.

**Métodos e Procedimentos**

Para a calibração do processo aditivo para geração dos corpos de prova, utilizando o sistema de alimentação do filamento tipo “Bowden” foi utilizada uma impressora 3D desktop (Modelo GTMax), Lab 3D-SEM-EESC fechada, com base aquecida para utilização do filamento ABS. O projeto abordou duas etapas básicas: caracterizações termoanalíticas da matéria-prima filamental (ABS, da fornecedora 3DLab), ensaio de DMA e análises de microscopia óticas foram conduzidas para avaliar as regiões flexíveis de corpos de prova geradas pelo programa Altprint, com as alterações no código, incluindo valores de retração para os sistemas de alimentação tipo “bowden”. Os corpos de prova são ilustrados na Figura 1.

Para o DMA foram impressos sob as mesmas condições de processamento corpos de prova (barra retangular de 40 x 10 x 4 mm) conforme norma ASTM D4065-2.

**Figura 1**- Corpos de prova impressos no programa Alprint (Couto et al, 2022).



## Resultados

Os resultados da Análise Termogravimétrica (TGA) do filamento, indicaram uma temperatura de decomposição de 485°C, sem deixar resíduos. As análises de DSC e DMA tiveram como objetivos determinar as temperaturas de transição vítreia ( $T_g$ ), de fusão cristalina ( $T_m$ ), variação da rigidez em função das temperaturas de transição e estabilidade térmica do polímero. A Tabela 1 resume os resultados obtidos após ensaio DMA de dois corpos de prova, A e B, impressos sem região flexível.

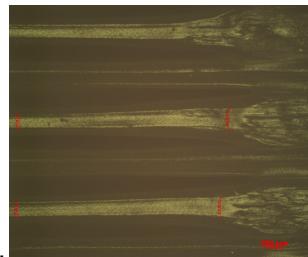
**Tabela 1** – Resultados obtidos com análise DMA.

Dados Técnicos					
Taxa de aquecimento e resfriamento		3°C/min			
Atmosfera de resfriamento		Nitrogênio			
Método de aplicação da carga		Flexão em três pontos			
Frequência de Oscilação		1 Hz			
Resultados					
	Temperaturas de transição (°C)		tan (δ)	Módulo de Armazenamento (Gpa)	
	TG	TM	Máximo	TG	TM
Amostra A	122,80	199,86	2,28	978,84	0,91
Amostra B	122,90	199,86	2,24	1248,2	0,91

Este ensaio foi fundamental para diferenciar as temperaturas de transição reais das fornecidas pelo fabricante. Para  $T_g$  o Datasheet indicava 100°C enquanto o valor real é de 122,8°C para ambas amostras.

As análises de microscopia óptica permitiram avaliar a formação dos feixes que fornecem flexibilidade prevista e localizada no corpo de prova. A Figura 2 apresenta um exemplo da geração e recuperação da zona de flexibilidade gerada no programa Alprint.

**Figura 2**- Região flexível



## Conclusões

As temperaturas obtidas no estudo divergem dos valores especificados no *datasheet* fornecido pelo fabricante (GTmax3D - ABS Premium), com uma diferença de cerca de 22,8%. Essa variação tem origem multifatorial como por exemplo: condições ambientais durante o processamento do material para geração do filamento com histórico térmico, inclusive em seu processamento durante a fabricação aditiva, que gera novo histórico térmico na peça. A presença de eventuais plastificantes e pigmentos para melhoria de propriedades reológicas, principalmente e propriedades também podem alterar os resultados. Além desses fatores, o processo de calibração desempenha um papel fundamental para garantir a reprodutibilidade das peças geradas. A condução das análises termoanalíticas e termomecânica (DMA) foram essenciais para correlacionar a variação da rigidez (módulo de armazenamento  $G'$ ) e módulo de dissipação ( $G''$ ) do material em função da temperatura, estabelecendo uma janela de extrusão confiável. Além disso, as análises de microscopia apresentaram reprodutibilidade de forma no processo de extrusão aditiva com material ABS. As adaptações realizadas no software Alprint permitiram a observação de camadas resultantes com boa aderência, garantindo a integridade estrutural da peça e a repetibilidade do processo.

## Referências

- [1] Idogava, H.T.; Couto, D.M.S.; Silveira, Z.C. **Alprint: alternative 3d printing**. Publicado em: 20/01/2020. Disponível em: <https://github.com/couto0/alprint>.
- [2] ASTM D4065 Standard Practice for Plastics: Dynamic Mechanical Properties: Determination and Report of Procedures (astm.org) – acesso: 06/2024.