

APLICAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D NA FABRICAÇÃO DE MICRODISPOSITIVOS MICROFLUÍDICOS COM GEOMETRIAS COMPLEXAS

Palavras-Chave: LAB ON A CHIP, MICROREACTORES, IMPRESSÃO 3D

Autores/as:

TAÍSSA MOREIRA DA SILVA LIMA [INSTITUTO DE QUÍMICA - UNICAMP]

Prof. Dr. JOSÉ ALBERTO FRACASSI DA SILVA [INSTITUTO DE QUÍMICA - UNICAMP]

INTRODUÇÃO

A microfluídica começou o seu desenvolvimento na década de 90 e desde então tem sido cada vez mais utilizada em diferentes aplicações nas mais diversas áreas como biotecnologia, farmacêutica e nas engenharias ^[1,2] por promover um maior controle nos parâmetros de síntese e análise culminando em melhores resultados ^[3]. Uma das alternativas para a fabricação dos microdispositivos é o método de impressão 3D, que possui uma vasta gama de técnicas e aplicações de microdispositivos de baixo custo ao contrário da forma convencional, gerando uma vantagem para esse método ^[1, 4].

Sendo assim dentro da impressão 3D, a técnica baseada em modelagem por deposição fundida (FDM, do inglês fused deposition modeling) é uma das alternativas mais utilizadas na fabricação de dispositivos microfluídicos ^[5]. Em questão de horas é possível que uma ideia de microdispositivo seja projetada, impressa e testada tornando a dinâmica de trabalho mais rápida e utilizando materiais com um baixo custo ^[6]. Além disso, novas opções de materiais continuam surgindo, como a versão eletricamente condutora do *poly(lactic acid)* (PLA), permitindo novas aplicações a partir da construção de microdispositivos mais complexos.

Nesse trabalho, propomos a fabricação de um microdispositivo microfluídico fabricado utilizando a técnica de impressão 3D baseada em FDM com a capacidade de realizar sínteses que requerem diferentes temperaturas. Para isso trabalhamos a partir de uma construção em andares, testando dois tipos de materiais diferentes, o PLA e o PLA eletricamente condutor, e fazendo uso de componentes eletrônicos comuns.

METODOLOGIA

Design e fabricação do microdispositivo

O microdispositivo foi desenvolvido e exportado no formato .stl utilizando o Fusion 360® (Autodesk, San Rafael, Estados Unidos) e então transferido para o Simplify3D® (Cincinnati, Estados Unidos), onde o microdispositivo é importado e fatiado. No mesmo programa são feitas as configurações dos parâmetros que são utilizados na impressão. Posteriormente o arquivo é enviado para a impressora 3D baseada em FDM modelo Sethi3D S3® (Sethi3D, Campinas, Brasil) equipada com um bico de latão de 0,2 mm. Dois filamentos diferentes foram utilizados para a impressão, o PLA transparente (UP3D, São Paulo, Brasil) e o PLA eletricamente condutor grafite (Proto-pasta, Vancouver, Estados Unidos).

Após a impressão de cada microdispositivo foi observado quais os parâmetros precisavam ser alterados para melhorar a qualidade do microdispositivo impresso. Primeiramente, foram alterados a temperatura da mesa e de extrusão do filamento e após algumas impressões o design do microdispositivo também foi alterado, sendo testados então diversos designs diferentes. Para o teste dos canais foi utilizada uma solução de corante alimentício inserido, com o auxílio de uma seringa de 10 mL e uma bomba de injeção Harvard PumpElite (Harvard Apparatus, Holliston, Estados Unidos) [figura 1], na entrada do microdispositivo, a qual é acoplada a um tubo de silicone [figura 2].

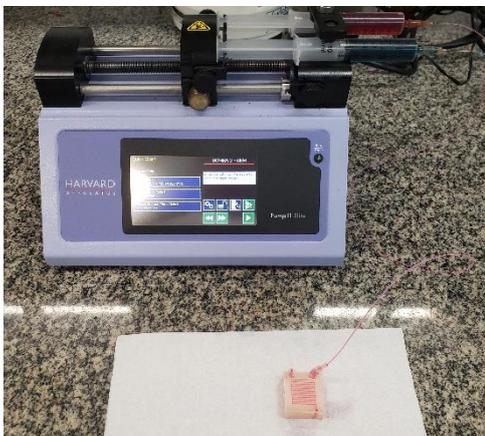


Figura 1 – Solução de corante alimentício vermelho sendo inserido no microdispositivo impresso em impressora 3D baseada em FDM através de uma bomba de injeção e uma seringa - fonte: arquivo pessoal

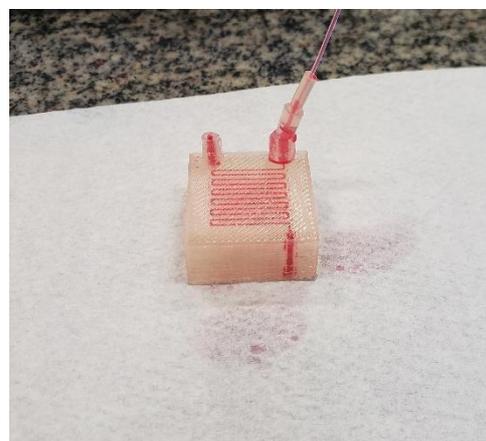


Figura 2 – Microdispositivo impresso em impressora 3D baseada em FDM com um tubo de silicone acoplado na entrada para a inserção de uma solução de corante alimentício vermelho - fonte: arquivo pessoal

Medidas de temperatura

Os microdispositivos utilizados para os testes de temperatura foram feitos de PLA transparente (UP3D, São Paulo, Brasil) e de PLA eletricamente condutor grafite (Proto-pasta, Vancouver, Estados Unidos) impressos na impressora 3D baseada em FDM equipada com um bico de latão de 0.2 mm utilizando as configurações presentes na tabela 1.

Para fornecer calor aos microdispositivos foi utilizado um peltier de alimentação DC 2V/10A, uma fonte de alimentação DC dupla 30V/3A (MPC – 303DI, Minipa, Joinville, Brasil) [figura 3]. O primeiro teste foi realizado apenas com o aquecimento do microdispositivo sem o uso de sistemas para dissipar o calor. No segundo teste o microdispositivo foi colado a um sistema de dissipação de calor constituído por um cooler de alimentação DC 12V/0,9W acoplado a um bloco de cobre com o auxílio de uma pasta térmica [figura 4]. As medidas de temperatura foram realizadas utilizando um termômetro e com a variação da tensão e corrente no peltier, de 0 a 2 V e de 0 a 3 A, até que ele atingisse a temperatura máxima sem aquecimento de ambos os lados. Além disso, foi feito um intervalo de 20 minutos entre as medições até que o microdispositivo atingisse a temperatura ambiente.

Parâmetros	Configurações
Temperatura da cama	80 °C
Temperatura da extrusora	215
Velocidade de impressão	13 mm/s
Densidade de preenchimento	40%

Tabela 1 – Configurações dos parâmetros da impressora 3D

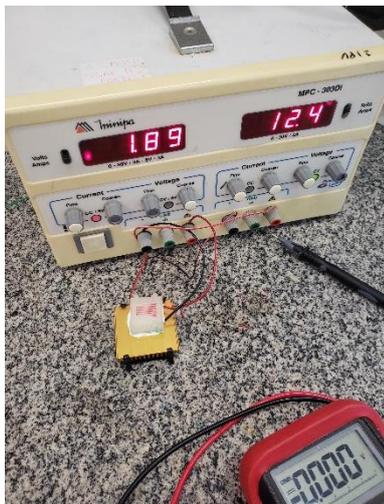


Figura 3 – Microdispositivo impresso em impressora 3D baseada em FDM colado no cooler alimentado por uma fonte DC – fonte: arquivo pessoal



Figura 4 – Detalhe do microdispositivo impresso em impressora 3D baseada em FDM colado no cooler – fonte: arquivo pessoal

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Design e fabricação do microdispositivo

Nas primeiras impressões dos microdispositivos verificou-se um fenômeno chamado *Warping* [figura 5-a] que causa a deformação de um lado inferior do microdispositivo acarretando a obstrução dos canais e está relacionado com a altura e o preenchimento do microdispositivo impresso. As primeiras camadas do microdispositivo são impressas com sucesso, mas devido à altura ocorre um gradiente de temperatura ao longo do microdispositivo e conforme a impressão ocorre a parte inferior do microdispositivo esfria e sofre deformação. Para a corrigir esse problema a temperatura da cama foi elevada até a temperatura ótima de 80 °C, 20 °C a mais do que a

temperatura inicial. Isso faz com durante o andamento da impressão a parte inferior do microdispositivo se mantenha aquecida e não se deforme.

Contudo, mesmo chegando a um conjunto de parâmetros que fosse possível manter a altura e o preenchimento como mostrado na figura 5-b, ainda era necessário o uso de dois peltiers para promover a diferença de temperatura no microdispositivo e o tempo de impressão era em média de 8h. Com a mudança na construção do microdispositivo, como mostrado na figura 5-c-d, foi possível a utilização de um único peltier para promover a diferença de temperatura entre os andares e o tempo de impressão foi reduzido para 5h. Para isso, no meio do microdispositivo, onde é inserido o peltier [conforme a figura 4], foi colocado um suporte construído no próprio software de fatiamento da impressora, o Simplify3D®, com uma densidade de 15%, menor que a densidade do microdispositivo de 40%. Assim após a impressão com o microdispositivo frio é possível remover o suporte com o auxílio de uma espátula e criar um espaço para o peltier.

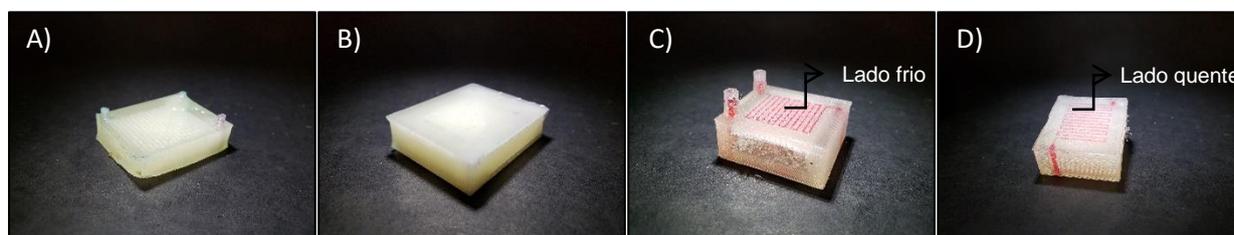


Figura 5 – A) Microdispositivo com Warping; B) Primeiro design onde dois peltiers eram utilizados promover o calor; C) Microdispositivo impresso em impressora 3D baseada em FDM com abertura com o suporte; D) Canais da parte inferior do microdispositivo.

Medidas de temperatura

Após a otimização das configurações dos parâmetros e design, o microdispositivo também foi impresso utilizando o PLA eletricamente condutor grafite para a medição da temperatura. No primeiro teste sem o sistema de dissipação de calor, ambos os microdispositivos não conseguiram manter o andar superior frio por muito tempo antes do peltier esquentar ambos os lados e deixar os dois andares a mesma temperatura [tabela 2].



Figura 6 – Microdispositivo microfluídico de PLA eletricamente condutor

No segundo teste com os microdispositivos colados com a pasta térmica em um bloco de cobre acoplado com a cooler, o peltier levou um tempo consideravelmente maior para aquecer ambos os andares [tabela 3]. Além disso, por demorar mais para sobreaquecer, o microdispositivo

	PLA	PLA eletricamente condutor
Corrente máxima	2,16 A	2,17 A
Tensão máxima	0,679 V	0,680 V
Tempo	1 minuto	2 minutos

Tabela 2 – Dados do teste sem dissipação de calor

com sistema de dissipação de calor não sofre deformações significativas capazes de obstruir os canais. Isso leva a um aumento do tempo ótimo de promoção de uma síntese no dispositivo. A temperatura máxima

	PLA	PLA eletricamente condutor
Corrente máxima	0,05 A	0,05 A
Tensão máxima	12,3 V	12,7 V
Tempo	5 minutos e 30 segundos	6 minutos e 45 segundos

Tabela 3 – Dados do teste com dissipação de calor

alcançada nos testes com a dissipação de calor foi de 41,2 °C medida na lateral da parte inferior ao mesmo tempo em que a parte superior registrava 26,8 °C.

CONCLUSÃO

Os microdispositivos fabricados utilizando a técnica de impressão 3D baseada em FDM podem promover cada vez mais a síntese de reações complexas envolvendo diversas temperaturas e até mesmo diversos andares. Além disso, mesmo o PLA eletricamente condutor apresentando um tempo maior antes que a temperatura máxima seja atingida em relação ao PLA normal, ele não é mais vantajoso. Isso se deve ao valor de cada dispositivo, pois um dispositivo feito de PLA custa R\$1,10 enquanto o outro custa R\$2,96 e não é um material transparente impossibilitando visualizar o fluxo da solução no interior do microcanais.

BIBLIOGRAFIA

1. SONG, Yujun; HORMES, Josef; KUMAR, Challa S. S. R.. Microfluidic Synthesis of Nanomaterials. *Small*, jun. 2008. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/smll.200701029>.
2. TAN, Yung-Chieh *et al.* Design of microfluidic channel geometries for the control of droplet volume, chemical concentration, and sorting. *Lab On A Chip*, 2004. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/b403280m>.
3. MAKGWANE, Peter Ramashadi; RAY, Suprakas Sinha. Synthesis of Nanomaterials by Continuous-Flow Microfluidics: a review. *Journal Of Nanoscience And Nanotechnology*, 1 fev. 2014. American Scientific Publishers. <http://dx.doi.org/10.1166/jnn.2014.9129>.
4. Bressan, L.P., Lima, T.M., da Silveira, G.D. *et al.* Low-cost and simple FDM-based 3D-printed microfluidic device for the synthesis of metallic core-shell nanoparticles. *SN Appl. Sci.* 2, 984. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2768-2>
5. TYSON, Adam L.; HILTON, Stephen T.; ANDREAE, Laura C.. Rapid, simple and inexpensive production of custom 3D printed equipment for large-volume fluorescence microscopy. *International Journal Of Pharmaceutics*, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpharm.2015.03.042>.
6. MARASSO, Simone Luigi; COCUZZA, Matteo; BERTANA, Valentina; PERRUCCI, Francesco; TOMMASI, Alessio; FERRERO, Sergio; SCALTRITO, Luciano; PIRRI, Candido Fabrizio. PLA conductive filament for 3D printed smart sensing applications. *Rapid Prototyping Journal*. 14 maio 2018. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/rpj-09-2016-0150>.