



Construção de um sistema de bombeamento para o estudo de microfluídica utilizando impressão 3D

Luísa Pires Ferreira

Co-autores: Prof. Dr. Varlei Rogrigues, Me. Vladimir Gaal
Instituto de Física "Gleb Wataghin"

15 de Outubro de 2020

1 Introdução

O estudo de microfluídica, definido pela manipulação de fluidos em canais de diâmetros micrométricos [1], tem uma aplicação multidisciplinar que tem atraído atenção em diferentes áreas, uma vez que seu tamanho permite um fluxo laminar. Para tal, é necessário um dispositivo que permita o transporte em fluxo laminar e uma bomba que mantenha tal fluxo.

Na literatura, os primeiros dispositivos microfluídicos exigem o uso de salas limpas e equipamentos específicos, antes de serem substituídos por processos com modelagem de polímeros, sendo o escolhido nesse projeto o poliácido láctico (PLA). O PLA é um polímero feito a base de fontes renováveis (tais com o amido de milho e cana de açúcar) [6], com a vantagem de poder ser utilizado em uma impressora 3D. Esse modo de fabricação permite reprodutibilidade rápida e simples.

No estudo e aplicação desse tipo de dispositivo, é comum a utilização de uma sistema de bombeamento comercial. Essas costumam ter um preço elevado no mercado e se mostram restritas para as necessidades das pesquisas, sendo difícil o controle independente do fluxo em dispositivos com mais de um canal e entrada. Esse trabalho, portanto, acompanha a criação de uma bomba que desenvolvida para atender nossas necessidades na pesquisa. Ela utiliza a programação de um Arduíno para o comando do mais de um bombeamento de forma totalmente independente e o conhecimento prévio de impressão 3D para a construção das peças.

2 Teoria

2.1 Microfluídica

Para entender os problemas que buscamos solucionar com o sistema de bombeamento, precisamos entender o que é microfluídica e fluxo laminar. A microfluídica se utiliza de fluidos em canais micrométricos para desenvolvimento de dispositivos. Os microcanais nos garantem o transporte em fluxo laminar de volumes entre 10^{-9} e 10^{-18} litros [2].

O fluxo laminar é um dos três regimes de escoamento de um fluido, junto com o escoamento turbulento e de transição. O regime laminar, que interessa esse trabalho, tem como característica escoar em camadas separadas e paralelas, que não interagem ou se misturam pela falta de turbulência. Nesse regime, em oposição ao turbulento, são as forças viscosas que regem o movimento e não as forças inerciais. Essencialmente, uma força viscosa atua como uma força interna de atrito, fazendo trabalho negativo no fluido e, portanto, diminuindo sua energia mecânica [3] e reduzindo a turbulência.

Para saber em qual regime de escoamento um determinado fluido está fluindo podemos utilizar o Número de Reynolds, escrito na equação 1, é a razão entre as forças inerciais e viscosas que descrevem o escoamento do fluido e indica a propensão do movimento de criar turbulência:

$$\text{Re} = \frac{\text{forças inerciais}}{\text{forças viscosas}} = \frac{vL}{\nu}, \quad (1)$$

em que ν é viscosidade cinemática, v é velocidade de escoamento e L a dimensão linear do canal. O Número de Reynolds, adimensional, indica que o regime do movimento deveria ser laminar para valores de Re na faixa: $10^{-6} < \text{Re} < 5 \cdot 10$ [2].

2.2 Impressão 3D

A maioria dos dispositivos criados para produzir um fluxo laminar utiliza-se de moldes de silicone ou de celulose. Apesar de criada em meados 1980, a impressão 3D é um recurso recente no estudo de microfluídica. Decidimos pelo uso de tal visando simplificar os experimentos e possibilitando a criação de geometrias mais complexas.

A impressora 3D usada nesse estudo utiliza a técnica conhecida pela sigla FDM (do inglês *Fused Deposition Modeling*) e foi montada no laboratório como trabalho de monografia de Melissa Mendes [2] especialmente para a impressão de micro canais. A técnica de FDM, como o nome sugere, se baseia em deposição em camadas do material em questão fundido, demonstrado na figura 1. A mesa onde o material se apoia é aquecida e o bico se movimenta nos 3 eixos, fazendo uma camada completa perpendicular a mesa antes de subir o eixo Z. A figura 2 mostra uma foto da impressora desenvolvida no grupo. A impressora utiliza motores de passo para se mover nos eixos X e Y (plano) e dois motores para o eixo Z (altura), garantindo uma precisão de 0,5mm na altura [2].

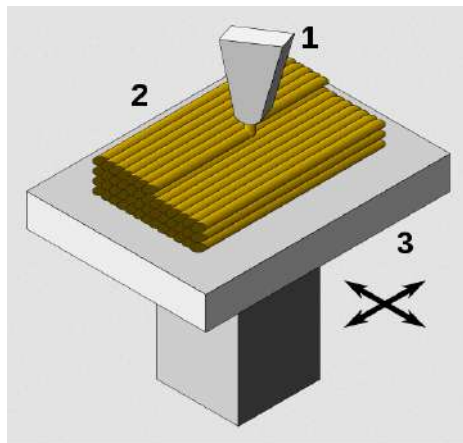


Figura 1: Diagrama de uma impressão FDM [5].

O PLA, material escolhido para a impressão, é um polímero feito a base de fontes renováveis (tais como amido de milho e cana de açúcar) [6], sendo um material biodegradável e biocompatível, além de uma opção barata (R\$ 120,00/kg). Como a proposta dessa iniciação científica é aplicar o conhecimento da microfluídica na biofísica, o uso de materiais biocompatíveis pode vir a ser útil. Ele também conta com a transparência, que permite visualizar os canais impressos a olho nú.

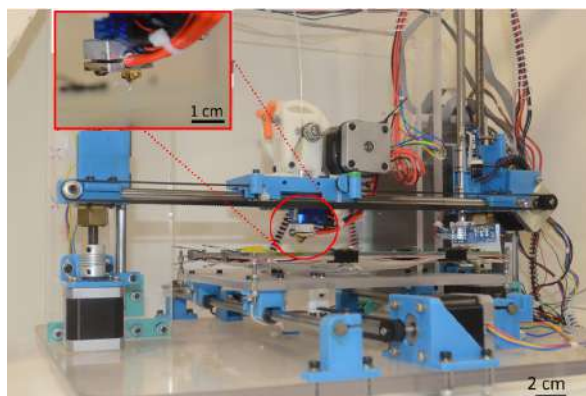


Figura 2: Foto da impressora criada em laboratório e usada nesse projeto [4]

Para os testes da bomba foram utilizados microcanais com três entradas e uma saída, todas de tamanho igual (0,5mm), seguindo o modelo da figura 3, onde cada entrada está conectada com um pequeno tubo de metal (feito a partir de uma agulha médica de 4,5mm de diâmetro). Cada tubo, então seria conectada a uma mangueira de diâmetro interno de 4mm (vedando assim a entrada), cuja a outra ponta estaria conectada nas seringas controladas pelo sistema de bombeamento.

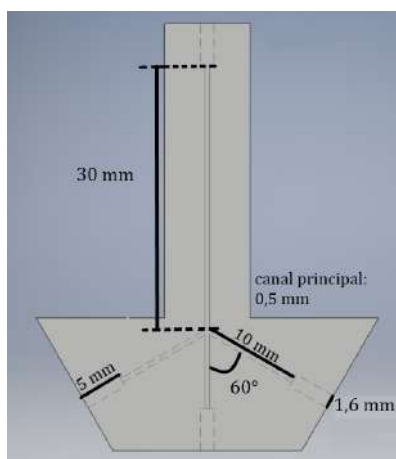


Figura 3: Design inicial do microcanal, feito no programa *Inventor*.

3 Sistema de Bombeamento

A bomba construída é constituída de três bases para seringas, com motores de passo individuais e independentes, controlados pelo sistema central baseado em um Arduino, como mostra a figura 4, que empurrarão o embulo de uma seringa. O princípio é controlar o fluxo de cada saída por uma interface no computador de forma intuitiva.

O programa envia uma sequência de uma letra e 5 números (por exemplo: $x25001$) para o Arduino, que processa a informação da seguinte forma: a primeira letra representa qual dos 3 motores deverá fazer a ação (eles são nomeados como x , y e z), os seguintes 4 números marcam o volume que deverá ser injetado em μL e o último número marca a direção, 1 para frente e 0 para trás.



Figura 4: Foto da bomba completa e montada, com as três bases independentes.

O motor de passo garante a velocidade com que o fluido sairá da seringa. Considerando a seringa mostrada das figuras de 1 mL, podemos calcular as velocidades limite da bomba. Os motores tem uma resolução de 0,2 pulso/ms e a cada 192 pulsos 1 μ L é expelido, ou seja, aproximadamente $5,2 \cdot 10^{-3} \mu\text{L}/\text{pulso}$. Portanto,

$$0,2 \text{ pulso/ms} \cdot 5,2 \cdot 10^{-3} \mu\text{L}/\text{pulso} = 1,041 \mu\text{L/s}, \quad (2)$$

é a velocidade máxima da bomba.

A velocidade mínima é um pouco mais complexa de se estimar. Na teoria ela seria 0 $\mu\text{L/s}$, mas a limitação na memória do Arduino se mostra um problema. O número máximo permitido na função que marca a subida e descida de um pulso é de 65,535 μs , o que significa que um pulso teria o dobro disso, 131,07 ms/pulso. Ou seja, temos $7,629 \cdot 10^{-3}$ pulso/s. Seguindo a mesma lógica da conta acima

$$7,629 \cdot 10^{-3} \text{ pulso/ms} \cdot 5,2 \cdot 10^{-3} \mu\text{L}/\text{pulso} = 0,04 \mu\text{L/s} \quad (3)$$

é a velocidade mínima.

Como projeto também gostaria de ser barato e facilmente replicado todas as peças possíveis foram projetadas e impressas na impressora 3D mencionada, dessa vez em ABS (acrilonitrila butadieno estireno), um termoplástico com boa durabilidade e resistência. Essa decisão garante também que todas as peças estão com o tamanho e encaixe perfeito para as seringas de 1ml e 10ml. A figura 5 mostra quais peças de um setor foram impressas.

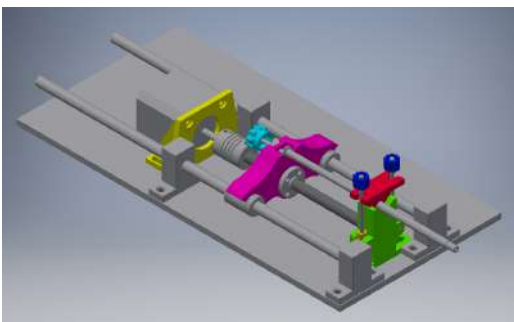


Figura 5: A esquerda o modelo da impressão, marcando as peças em questão em cores. A direita as peças impressas posicionadas como se estivessem colocadas na bomba.

Para testes, conectamos as três seringas nas entradas dos canais impressos no modelo da figura 3, fazendo testes variando a velocidade de entrada de cada uma das bombas. Neles, o canal do meio tem

água com pigmentação vermelha e os dois laterais com tinta azul, para diferenciarmos o percurso. A figura 6 mostra dois testes diferentes realizados no mesmo modelo de canal.

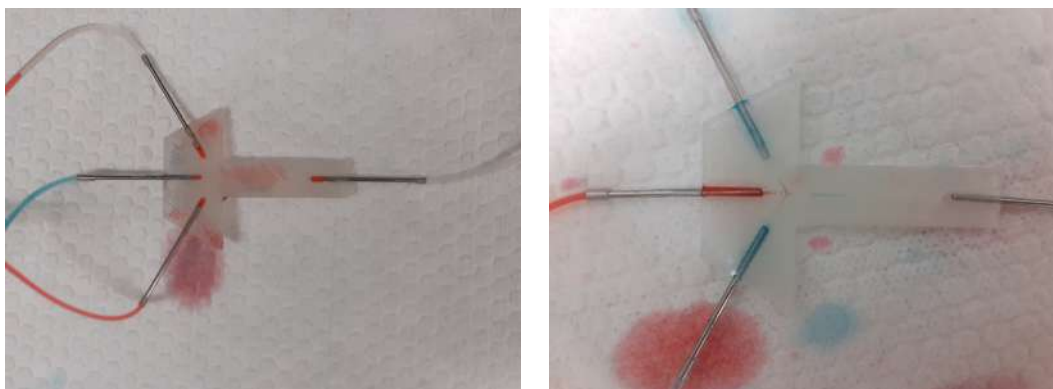


Figura 6: Dois experimentos no mesmo modelo de canal, com parâmetros diferentes nas bombas.

4 Conclusão

Esse projeto foi minha introdução em impressão 3D e microfluídica, tornando o andamento de meu trabalho paralelo com desenvolvimento do sistema de bombeamento. Os testes descritos foram realizados para verificação do funcionamento da bomba e das técnicas de impressão de microcanais. Como desejado, ela permite combinações mais complexas na entrada e conta com uma interface intuitiva.

Referências

- [1] MONTEIRO, Moniellen Pires. Estudo de processos de adesão bacteriana: propriedades mecânicas e efeitos do microambiente sobre adesão, crescimento e mobilidade da *Xylella fastidiosa*. 2017. 118 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física Gleb Wataghin, Campinas, SP. Disponível em: www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/325073. Acesso em: 14 de out 2020.
- [2] MENDES, Melissa. Fabricação de sensores microfluídicos utilizando uma impressora 3D. 2014. f. Dissertação (Monografia) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física Gleb Wataghin, Campinas, SP.
- [3] NAVE, Carl. "Laminar Flow". HyperPhysics, Universidade Estadual de Georgia. Disponível <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/pfric.html>, data de acesso 09/10/2020
- [4] Gaal, Gabriel, et al. "Simplified Fabrication of Integrated Microfluidic Devices Using Fused Deposition Modeling 3D Printing". *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 242, abril de 2017, p. 35–40. ScienceDirect, doi:10.1016/j.snb.2016.10.110. figura alterada.
- [5] disponível em https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FDM_printing_diagram.svg, data de acesso 09/10/2020
- [6] GAÁL, Gabriel. Estudo de Microfluídica em Microcanais Impressos em Impressora 3D. 2015. f. Dissertação (Monografia) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física Gleb Wataghin, Campinas, SP.