

GUIA DETALHADO PARA MONTAGEM PRÓPRIA DE IMPRESSORAS 3D

Mateus V. Pereira^a, Reversion F. Quero^a, Dossil P. de Jesus^{a,1b} e Juliano A. Bonacin^{a,*,1b}

^aInstituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, 13083-970 Campinas – SP, Brasil

Recebido em 17/01/2023; aceito em 30/03/2023; publicado na web 23/05/2023

DETAILED GUIDE TO OWN ASSEMBLY OF 3D PRINTERS. In recent years, there has been an increase in the use of 3D printing for the manufacture of three-dimensional objects. Thus, it is clear that 3D printers have presented as a tool with high potential for applications in several fields, including chemistry. However, despite its popularity, it is notable that some 3D printers have a relatively high cost, in addition to not favoring optimizations or repairs, making users dependent on the manufacturers of such tools. Therefore, this article aims to present, particularly to the chemistry community, a detailed guide for assembling a low-cost FDM-type 3D printer with good performance. Consequently, we hope that this guide can contribute to increasing the 3D printing popularization in the field of chemistry because of the various possibilities of applications in this area.

Keywords: 3D printer; assembly; additive manufacturing.

INTRODUÇÃO

A impressão 3D (também conhecida como manufatura aditiva) é uma técnica que possibilita a fabricação de objetos tridimensionais a partir de dados de um arquivo digital.¹ De modo geral, o processo de impressão 3D inicia-se com a criação de um modelo (desenho) digital do objeto através de um *software* de modelagem. Em seguida é necessário converter o modelo criado em um arquivo com formato .stl (*STereoLithography*), o qual agrupa informações acerca da superfície do modelo. Esse arquivo contém os dados que descrevem o projeto final do objeto tridimensional. O formato .stl pode então ser lido pelos *softwares* de fatiamento para impressoras 3D que em seguida convertem esses dados em um arquivo G-code. Essa conversão ocorre após um processo de fatiamento, que consiste na geração de várias camadas sucessivas umas sobre as outras no objeto que se pretende imprimir.²

A impressão 3D também chama a atenção em relação a quantidade de resíduos gerados. Como se trata de uma manufatura do tipo aditiva, o processo de impressão do objeto desejado, produzirá uma quantidade mínima de resíduos. Por isso, consideramos que esse processo apresenta uma boa economia de matéria prima,²

como ilustrado na Figura 1(a). Em contraste a manufatura aditiva, a usinagem por controle numérico computadorizado, torneamento ou fresamento são comumente utilizadas para prototipagem de objetos em linhas de produção. Este processo é iniciado a partir de blocos sólidos de matéria-prima onde o material é parcialmente removido, gerando uma quantidade considerável de resíduos,³ como ilustrado na Figura 1(b). Além disso, a manufatura subtrativa necessita de moldes ou equipamentos específicos para a fabricação de objetos customizados, o que acaba por contribuir para o aumento das etapas e processos pelos quais o objeto passa antes de ser totalmente fabricado, tornando o método de fabricação complexo e elevando os custos e tempo de produção. Apesar de apresentar esse benefício em relação a geração de resíduos deve-se atentar que a impressão 3D possui algumas limitações (a depender do método de impressão 3D utilizado) como baixa resolução para objetos pequenos, produtividade em larga escala, manutenção periódica (limpeza do bico, lubrificação de eixos e alinhamentos).

Em virtude das características apontadas anteriormente, a manufatura aditiva (através da impressão 3D) vem sendo muito utilizada para fins educacionais, como na criação de dispositivos ou

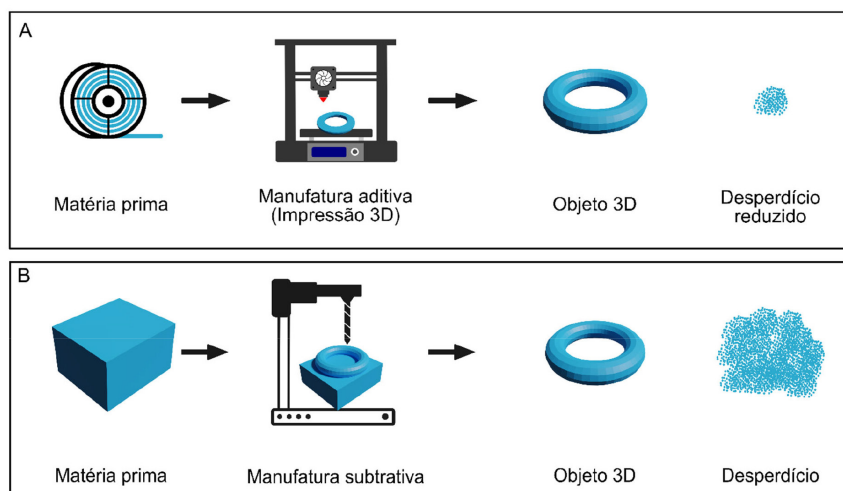


Figura 1. (a) Técnica de fabricação aditiva (3D) e (b) Técnica de fabricação subtrativa

*e-mail: jbonacin@unicamp.br

objetos para fins pedagógicos.^{4,6} Desse modo, observa-se o aumento da popularidade da impressão 3D, quando relacionada à Química (mais informações podem ser consultadas em material suplementar, Seção 1S). Na Figura 2, podemos verificar um considerável aumento da popularidade da impressão 3D em Química nos últimos anos, quando realizada a busca na base de dados *Web of Science*, usando os termos *3D printing* e *Chemistry*. Este resultado indica que cada vez mais a impressão 3D vem sendo utilizada como ferramenta na Química. É importante mencionar que a impressão 3D faz parte do grupo de tecnologias que compõem a indústria 4.0, termo usado para designar a automação industrial e a integração de diferentes tecnologias com a finalidade de melhorar a produtividade e a personalização em massa na indústria.⁶

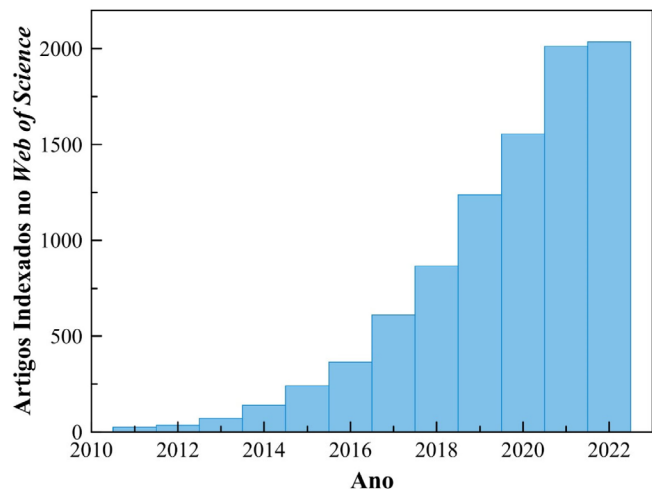


Figura 2. Popularidade nos últimos anos dos termos “3D Printing” e “Chemistry” na base de dados *Web of Science*. Acessado em março de 2023

Abdulhameed e colaboradores relatam em seu estudo que os métodos utilizados na manufatura aditiva podem ser classificados de diversas maneiras,⁷ tendo em vista os múltiplos parâmetros que são verificados nesses métodos. Por exemplo, o estado da matéria (sólido, pó ou líquido), dimensões da impressora, natureza dos materiais utilizados, dentre outros. Uma classificação mais abrangente pode ser feita considerando os tipos de materiais mais utilizados, dentre os quais pode-se citar os filamentos e as resinas. Os filamentos são formados por materiais termoplásticos e os mais utilizados são o ABS (acrilonitrila butadieno estireno) e o PLA (ácido polilático).⁸ As resinas, diferentemente dos filamentos, se apresentam no estado líquido sendo constituídas por monômeros e oligômeros fotopolimerizáveis que são curados a partir de luz ultravioleta.⁷ Dentre as principais tecnologias de impressão 3D, que empregam resinas, se encontram a DLP (Processamento de Luz Digital), SLA (Estereolitografia) e LCD (Tela de Cristal Líquido).

Apesar de que todos os métodos de impressão 3D anteriormente mencionados sejam frequentemente reportados na literatura, ainda existem algumas limitações atreladas a eles, principalmente relacionado a custos e a operação das impressoras, o que os tornam inacessíveis para serem utilizados em algumas aplicações. Em contrapartida, um dos métodos que mais vem tendo destaque e sendo reportado por muitos pesquisadores é o que utiliza filamentos para imprimir peças em 3D,^{2,9,10} o qual é identificado como FDM (deposição de material fundido). Nesse método, um filamento de um polímero termoplástico é usado para imprimir em 3D um determinado objeto por deposição de camadas, isto é, o filamento é aquecido no bico até alcançar a fusão. Em seguida, o material fundido é depositado, por extrusão, sobre uma plataforma, em camadas, dando forma ao objeto.¹¹

O método FDM se apresenta como o mais popular e o mais usado no mundo, em virtude do baixo custo de produção, rápida prototipagem e boa precisão em relação ao acabamento da superfície dos objetos impressos.^{7,12,13} Por causa desses benefícios, a técnica FDM detém a maior parte do mercado de impressão 3D.¹⁴ As impressoras 3D que usam o método FDM para fabricar seus objetos possuem várias classificações, de acordo com o esquema de montagem, dentre as quais estão: Cartesianas, Delta e Polar,¹⁵⁻¹⁷ como é apresentado na Figura 3. Cada uma possui peculiaridades que podem ser encontradas e discutidas em detalhes no material suplementar, na Seção 2S. Todavia, dentre as tecnologias mencionadas destacamos a do tipo Cartesiana por ser a mais comercializada. Esse tipo de impressora, utiliza-se do sistema de coordenadas cartesiano para localizar um ponto com o auxílio de distâncias nos eixos X, Y e Z.¹⁵ Impressoras 3D do tipo Cartesiana ainda possuem as vantagens de dispor de uma grande comunidade de usuários, que podem ajudar no suporte técnico, e são ainda de fácil operação e manuseio.¹⁷ No entanto, é interessante apontar que, embora a montagem e a utilização sejam simples, a tecnologia FDM exige que o usuário tenha um conhecimento prévio, pois a impressão ocorre de forma mais mecânica do que as impressoras que utilizam resinas. Assim, na FDM diversas peças precisam se conectar, pois o movimento em XYZ ocorre com eixos mecânicos.

As impressoras 3D conquistaram seu espaço no mercado e hoje podem ser obtidas através de fornecedores que disponibilizam os mais variados modelos e preços em lojas virtuais. Uma busca foi realizada com o objetivo de encontrar impressoras 3D à venda e os resultados desta pesquisa foram apresentados na Seção 3S. Foram incluídos nesta seção informações como: modelos encontrados, fabricantes, fornecedores, valores e links para a compra do produto. Neste exemplo de pesquisa pode-se notar, as impressoras 3D têm o seu valor iniciando em R\$ 1.289,00, podendo chegar até R\$ 6.019,75, a depender do modelo e do tipo de tecnologia utilizada para a impressão 3D. É importante destacar que o preço das impressoras 3D também depende do fabricante, da robustez, do tamanho e aplicação. Algumas impressoras 3D podem custar

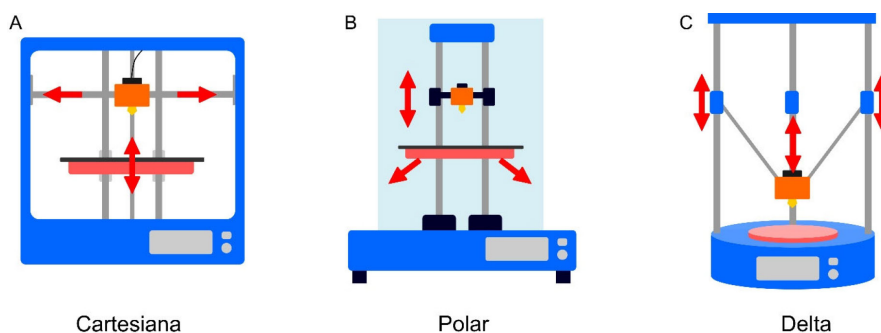


Figura 3. Classificação de impressoras 3D do tipo FDM: (a) Cartesiana, (b) Polar e (c) Delta

centenas de milhares de reais. Neste trabalho foram considerados os modelos mais acessíveis.

As impressoras 3D do tipo FDM oferecem, em alguns casos, baixa qualidade e falta de recursos essenciais para uma boa impressão 3D. Por isso, um modo de contornar esses obstáculos é a montagem da própria impressora 3D, utilizando-se materiais acessíveis e de baixo custo, e que além de tudo seja otimizada conforme as necessidades de qualidade e desempenho de impressão do usuário.

Com isso, o objetivo deste trabalho foi realizar a descrição detalhada dos passos que devem ser seguidos para a montagem de uma impressora 3D de tecnologia FDM (tipo Cartesiana) de baixo custo e com ótimo desempenho, bem como demonstrar, etapa por etapa, com auxílio de imagens todo processo de montagem. Além disso, com a finalidade de avaliar o desempenho e funcionamento da máquina montada foi realizada a impressão de objetos, que posteriormente foram analisados. Também, pretende-se com esse trabalho fornecer um material compilado, onde se encontram todas as informações essenciais para a montagem de uma impressora 3D FDM, principalmente para químicos e/ou laboratórios em geral. Por fim, mais do que um artigo que relata a montagem de uma impressora 3D esperamos que este artigo possibilite, com suas informações, o auxílio necessário em manutenções ou até mesmo em futuras otimizações de impressoras 3D FDM.

PARTE EXPERIMENTAL

Materiais

Os materiais (partes eletrônicas e mecânicas, parafusos, peças impressas em 3D, dentre outros) utilizados no processo de montagem da impressora 3D, estão listados na Seção 4S (Tabelas 2S, 3S e 4S), no material suplementar.

Instruções para montagem da impressora 3D

Nesta seção apresentamos as instruções para a montagem da impressora 3D, apresentada na Figura 4, desde a montagem da parte estrutural, parte mecânica, passando pelo sistema eletrônico e por fim instalação do *firmware* e *software* de impressão.

A fim de uma melhor organização, optou-se por apresentar a montagem da impressora em três partes (cada uma com o detalhamento dos passos para execução). Primeiramente, foi realizada a montagem da “parte estrutural”, também chamada de *Frame*, seguida da montagem dos “eixos X, Y e Z” (parte mecânica) e por último realizou-se a montagem do “sistema eletrônico”. As peças utilizadas para a montagem e parafusos estão disponíveis nas Tabelas 2S, 3S e 4S, presentes na Seção 4S do material suplementar. Além disso, estão disponibilizados em material suplementar (Seção 5S), links de vídeos que podem ser utilizados como guias para montagem da impressora 3D.

Uma descrição detalhada da montagem da impressora 3D está apresentada na Seção S6.

Parte estrutural

Base do frame

A montagem da impressora 3D se inicia com a instalação da parte estrutural, ou seja, começamos pela montagem do *frame* da impressora. Para isso, são utilizadas as peças descritas na Figura 5. Logo, são fixados em uma base de MDF os pés com nivelamento e com as porcas contendo trava (para ajustes posteriores). Por fim, essa etapa finaliza com a fixação dos perfis de alumínio formando o equipamento montado, representado na Figura 5.

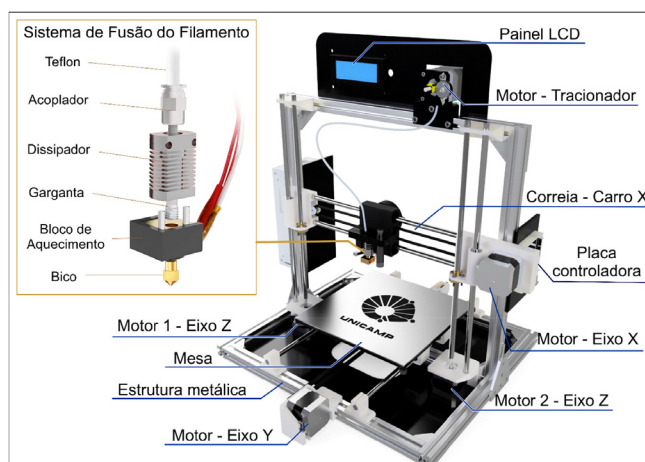


Figura 4. Esquema estrutural mostrando os principais itens da impressora 3D montada

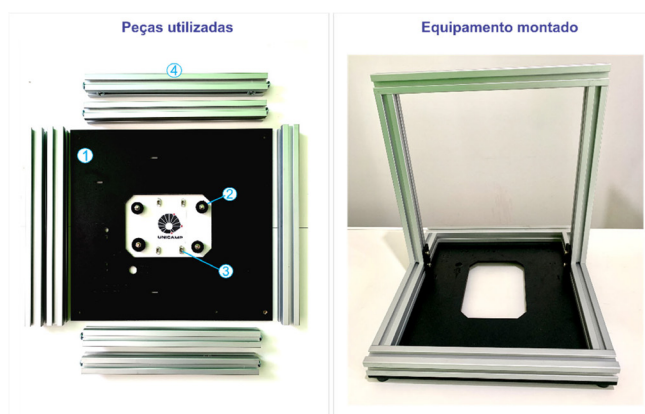


Figura 5. Montagem da base do frame: (1) base de madeira, (2) pés com nivelamento, (3) porcas com trava e (4) perfil de alumínio 20 x 20 mm

Mesa de aquecimento

A mesa de aquecimento deverá ser montada seguindo os seguintes passos: primeiramente deverão ser acoplados na parte inferior da base de metal o *holder* de fixação de barra lisa e os rolamentos, em seguida, em cada canto da mesma base devem ser colocados os parafusos com as porcas de ajuste para fixação. Na sequência, as molas de nivelamento podem ser colocadas nos parafusos para então acoplar ao sistema de aquecimento (resistivo). Para finalizar, a base superior de impressão é fixada na resistência de aquecimento com garras. Logo, teremos a mesa de aquecimento montada, como apresentada na Figura 6.

Laterais e painel

As laterais e o painel da impressora devem ser fixados, como mostrado na Figura 7, no quadro obtido durante a montagem do *frame*. Primeiramente, a tampa inferior e a superior devem ser colocadas na estrutura montada, em cada lateral. Em seguida, o painel lateral da caixa de componentes eletrônicos pode também ser inserido à estrutura. Logo na sequência, as roldanas para o movimento dos eixos e a trava superior da barra roscada podem ser fixadas. Depois disso, o motor de extrusão é também fixado. E finalmente, o suporte de rolo do filamento é acoplado à estrutura, finalizando desse modo a montagem dessa parte, como ilustrado na Figura 7.

Montagem dos eixos XYZ e sistema de extrusão

Como mostrado na Figura 8, o sistema de extrusão deve ser

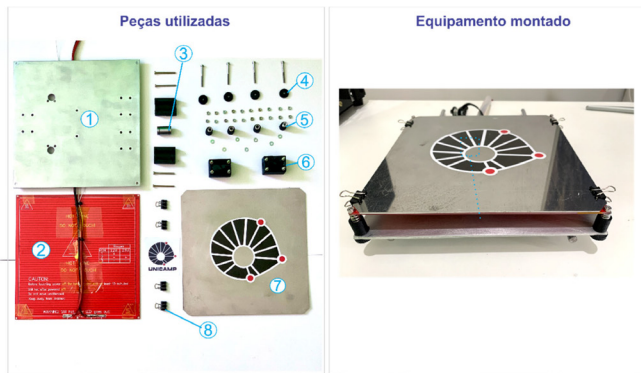


Figura 6. Montagem da mesa de aquecimento: (1) base de metal, (2) resistência de aquecimento, (3) rolamento, (4) porcas de ajuste, (5) mola de nivelamento, (6) holder de fixação de barra lisa, (7) base superior de impressão e (8) garra para fixação superior

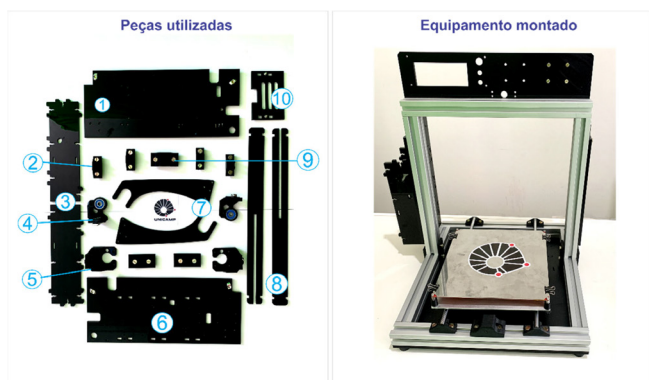


Figura 7. Montagem de painel e laterais: (1) tampa superior, (2) fixação de motor de extrusão, (3) painel lateral da caixa de componentes eletrônicos, (4) roldana para movimento dos eixos, (5) trava superior da barra roscada, (6) tampa inferior, (7) suporte para rolo de filamento, (8) fixação do rolo de filamento, (9) junção do tensor de correia (belt idler), (10) tampa para cooler de resfriamento da placa controladora

montado com a fixação da extrusora, ventoinha e sensores no suporte para fixação do eixo XY. A seguir, já podem ser colocados o *holder* para guia linear, fixadores para guia linear e os fixadores de barra. Na sequência, são montados os motores (servo motores). Em seguida, deverão ser colocados o tensionador de filamento e as barras roscadas na estrutura montada. Logo depois, as barras lisas podem receber o sistema de extrusão para que assim possam

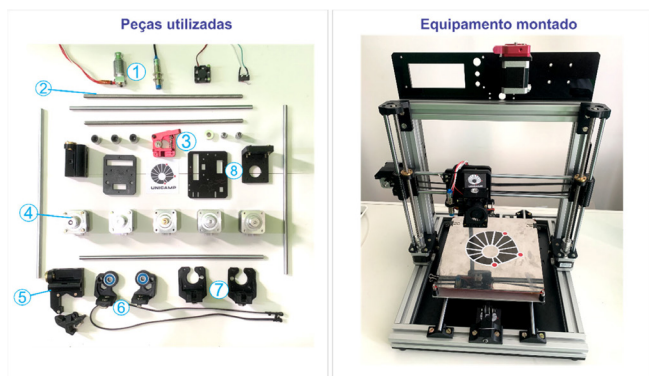


Figura 8. Montagem dos eixos XYZ e sistema de extrusão: (1) extrusora e sensores, (2) barras roscadas, (3) tensionador de filamento, (4) servo motores, (5) holder para guia linear, (6) fixador de barra, (7) fixador para guia linear e (8) suporte para fixação do eixo XY

também ser fixados a estrutura no eixo XY, encerrando assim esta etapa da montagem.

Montagem do sistema eletrônico

A última etapa da montagem está relacionada a montagem do sistema eletrônico da impressora 3D (Figura 9). Inicialmente, a tela de LCD deverá ser fixada no painel e em seguida, a fonte de 12 V, o Arduino e a placa controladora *ramps*, podem ser fixados nos suportes laterais. Tendo feito isso, o próximo passo é a conexão dos cabos do sistema eletrônico, conforme indicado na Figura 10, a qual mostra o esquema elétrico da impressora 3D. Logo, devem ser conectados os cabos dos servo motores à placa controladora. O *cooler* de resfriamento também é adicionado ao sistema de extrusão. Na sequência devem ser feitas as conexões do cabo da fonte à placa controladora. Por fim, o cabo *flat* da tela de LCD deve ser conectado à placa.

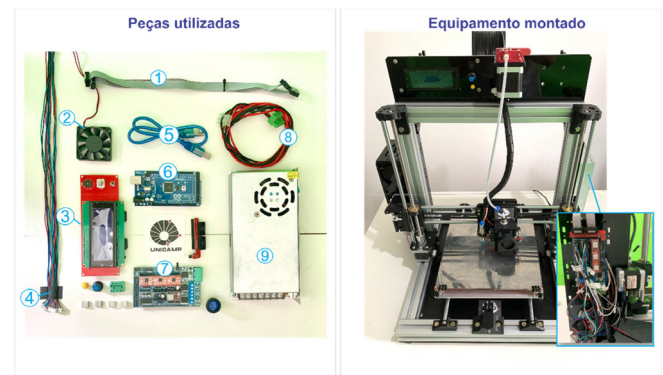


Figura 9. Montagem do sistema eletrônico: (1) cabo flat do painel LCD, (2) cooler de resfriamento, (3) tela LCD, (4) conectores dos servo motores e sensores, (5) cabo USB do Arduino, (6) Arduino, (7) placa controladora ramps, (8) cabos de fonte e (9) fonte 12 V

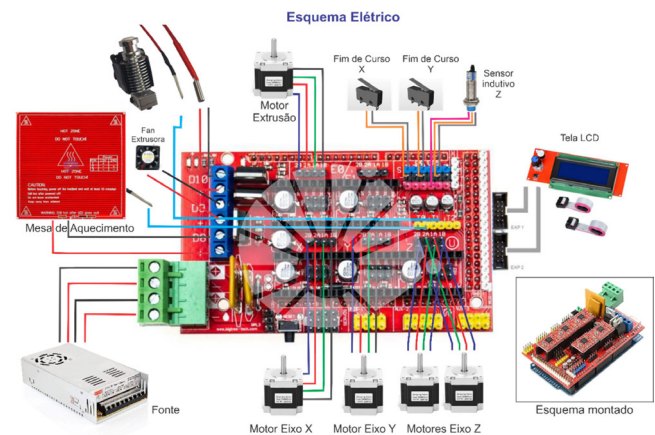


Figura 10. Esquema elétrico para orientar e ajudar na montagem e passagem dos cabos

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Testes e calibrações

Escolher os parâmetros adequados para velocidade e o fluxo (multiplicador de extrusão) é o desafio inicial. Existem muitas regras básicas para ajudar nesta tarefa, entretanto, muitas particularidades relacionadas ao projeto, aos componentes da impressora e ao design do dispositivo podem influenciar a alteração de padrões pré-estabelecidos. Para auxiliar nesses parâmetros, realizamos alguns

testes (criado por membros da comunidade 3D e disponibilizado gratuitamente em repositórios com diversas estruturas, com microcanaís, reservatórios, paredes finas, ângulos, dentre outros) para podermos encontrar valores otimizados dos parâmetros de impressão para cada projeto. O endereço eletrônico para o *download* está apresentado em material suplementar (Seção 7S).

Para uma simples comparação entre filamentos de diferentes composições (como ABS e PLA), que podem ser utilizados para imprimir objetos tridimensionais, foram impressas peças, de acordo com os modelos fornecidos no material suplementar (Seções 8S e 9S). As peças impressas são mostradas na Figura 11.

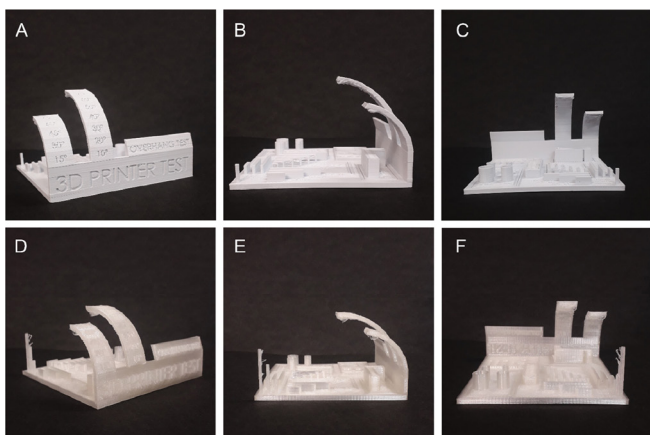


Figura 11. Peças impressas em 3D que possuem diversas estruturas (microcanaís, reservatórios, paredes finas, ângulos, dentre outros). Peça impressa com filamento de ABS: (a) vista frontal; (b) vista lateral esquerda; (c) vista posterior. Peça impressa com filamento de PLA: (d) vista frontal; (e) vista lateral esquerda; (f) vista posterior

Pode-se notar pela Figura 11, que apesar dos diferentes filamentos utilizados na impressão das peças, a qualidade de impressão é quase a mesma. Isso ocorre em virtude de os parâmetros utilizados serem diferentes apenas em relação a temperatura do bico e da cama de aquecimento (como mostra a Seção 8S). Um dos parâmetros que foi descartado da impressão foi o uso do sistema de resfriamento (ventoinha), que é responsável pelo controle de temperatura do bico extrusor com a finalidade de evitar superaquecimento dessa parte da impressora. Esse parâmetro foi deixado de lado por causa da baixa qualidade do objeto impresso quando o sistema de aquecimento estava ativado, como pode ser observado na Seção 9S, em material suplementar. Como pode ser observado na Figura mencionada, a qualidade do objeto impresso com filamento de ABS não estava adequada, podendo ser facilmente observados fios de filamentos (com aspecto de teias) e também emaranhado de filamento, evidenciando assim a baixa qualidade de impressão, quando o sistema de resfriamento era utilizado.

Além do modelo empregado no teste anterior, foi utilizado um outro, porém, com menores dimensões (Figura 12). Como pode ser notado, em todas as vistas, a qualidade de impressão foi ótima para ambos os filamentos utilizados, revelando assim a eficiência da impressora montada para impressão de peças pequenas contendo diferentes estruturas. É importante destacar, que foram conservados os mesmos parâmetros de impressão utilizados no teste anterior, e conseqüentemente o sistema de controle de aquecimento (ventoinha) se manteve desligado a fim de se obter um objeto com melhor qualidade de impressão.

Para a temperatura adequada de cada material (filamento de ABS e PLA), um teste com uma torre de temperatura (Seção 9S, em material suplementar) foi realizado a fim de verificar qual a temperatura ideal

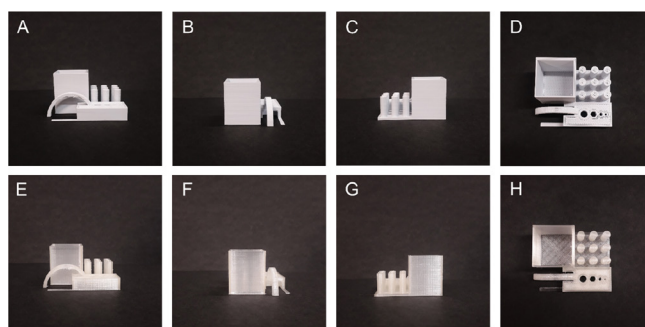


Figura 12. Peças impressas em 3D que possuem diversas estruturas (com microcanaís, reservatório, paredes finas, ângulos). Peça impressa com filamento de ABS: (a) vista frontal; (b) vista lateral esquerda; (c) vista posterior; (d) vista superior. Peça impressa com filamento de PLA: (e) vista frontal; (f) vista lateral esquerda; (g) vista posterior; (h) vista superior

do bico extrusor para impressão do material desejado. Essa torre de temperatura contém vários padrões de testes como saliências de diferentes graus, pontes com comprimentos variados, teste de corda, formas curvas e ângulos complexos. É muito importante realizar um teste como esse com o filamento que será utilizado posteriormente, pois ele dará a informação de qual temperatura escolher para obtermos uma impressão com ótima qualidade.

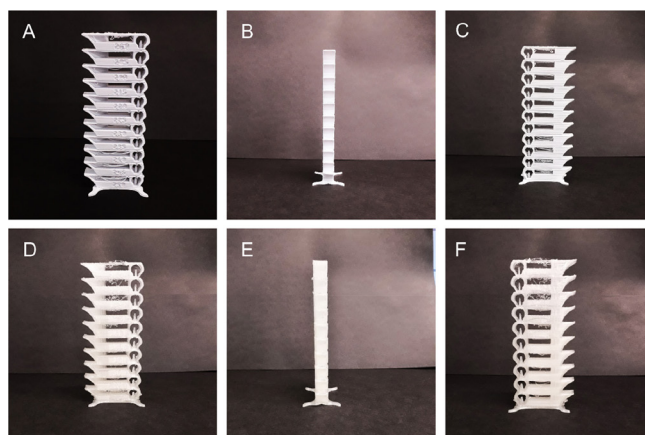


Figura 13. Torres de temperatura. Impressa com filamento de ABS: (a) vista frontal; (b) vista lateral esquerda; (c) vista posterior. Impressa com filamento de PLA: (d) vista frontal; (e) vista lateral esquerda; (f) vista posterior

Como pode ser notado na Figura 13, foram impressas as torres com os diferentes materiais já mencionados, no entanto, percebe-se que a qualidade da impressão variou para ambos os materiais e temperaturas. No objeto impresso com ABS (temperatura variando de 250 a 200 °C, com intervalos de 5 °C) verifica-se que, apesar de uma boa impressão, há algumas sobras de filamentos na região da ponte, para todas as temperaturas utilizadas, no entanto, em algumas temperaturas esse problema é mais expressivo. Desse modo, podemos destacar como mais próxima do ideal para impressão de boa qualidade a temperatura de 220 °C. Além disso, nota-se que a região do cone foi bem impressa, evidenciado pela boa forma do círculo e também do cone em seu interior impresso. Quanto à torre impressa em PLA (com temperatura de impressão variando de 225 a 180 °C, com intervalos de 5 °C), podemos perceber que a impressão em temperaturas mais baixas não entregou uma boa qualidade e, por isso, são vistos muitos fios pelo objeto. Foi verificado que a melhor temperatura para impressão do objeto é de 205 °C. É muito importante destacar que as configurações utilizadas para impressão desses objetos foram ajustadas de acordo com a necessidade, sendo assim, é bem provável

que em outra impressora 3D ou em outro local, outras condições poderão influenciar na qualidade da impressão requerendo assim uma nova configuração dos parâmetros de impressão, ver Seção 10S.

Custo da montagem da impressora 3D

A lista de materiais utilizados para a montagem da impressora 3D está apresentada na Seção 4S do material suplementar. Nessa mesma seção, podemos verificar na Tabela 2S os valores individuais de cada peça utilizada para montagem. Diante disso, o custo da montagem de uma impressora 3D foi considerado como a soma dos valores para cada peça empregada. Desta forma notamos que o custo total estimado para aquisição desses materiais foi de R\$ 1.239,70.

Quando comparamos o valor da impressora 3D montada com o valor das impressoras 3D comerciais (similares a impressora 3D montada) presentes na Tabela 1S, percebemos que a impressora descrita neste trabalho apresenta menor custo. As impressoras 3D comerciais apresentam valores que variam de R\$ 1.289,00 até R\$ 2.997,00, nos revelando uma redução de custo que pode variar de R\$ 49,30 até R\$ 1.757,30, a depender do modelo, configuração, qualidade das peças e dos fornecedores.

Contudo, reforçamos a ideia de que a vantagem em montar uma impressora 3D não está restrita apenas ao menor custo apresentado, mas principalmente na manutenção simplificada, possibilidade de adaptação e otimização dos componentes além de utilizar *firmware* e *software open-source*. Enquanto isso, as impressoras 3D já prontas (comerciais) possuem placas eletrônicas proprietárias com *hardware* e *software* fechados, elevando o custo de manutenção e exigindo um técnico especializado, bem como a aquisição de peças de substituição disponibilizadas somente pelo fabricante.

CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentamos a montagem de uma impressora 3D de baixo custo, bem como a demonstração de todos os passos necessários para sua montagem, descrevendo os materiais utilizados durante o processo. O funcionamento da impressora apresentou um bom desempenho, visto que os objetos impressos por ela obtiveram ótima qualidade. Desse modo, este artigo se revela como uma boa opção de guia detalhado para a montagem de uma impressora 3D do tipo FDM que pode ser utilizado por químicos e toda comunidade interessada. Reforçamos ainda, que além de apresentar passos para a montagem esse material fornece informações que podem muito bem serem utilizadas para a manutenção ou otimização do equipamento haja visto o compilado de informações aqui presentes. Por fim, ressaltamos que o presente manuscrito contribui para a popularização da impressão 3D, considerando o seu grande potencial em aplicação na Química.

MATERIAL SUPLEMENTAR

O material suplementar deste trabalho está disponível em <http://quimicanova.s bq.org.br>, na forma de arquivo PDF, com acesso livre.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – código de financiamento 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq (processo#305447/2019-0, processo#308203/2021-6) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP (processo#2014/50867-3, processo#2020/14769-8, processo#2021/05976-2).

REFERÊNCIAS

1. Bharti, N.; Singh, S.; *J. Chem. Educ.* **2017**, *94*, 879. [Crossref]
2. Ambrosi, A.; Pumera, M.; *Chem. Soc. Rev.* **2016**, *45*, 2740. [Crossref]
3. Ligon, S. C.; Liska, R.; Stampfl, J.; Gurr, M.; Mülhaupt, R.; *Chem. Rev.* **2017**, *117*, 10212. [Crossref]
4. Davis, E. J.; Wheeler, K.; *J. Chem. Educ.* **2020**, *97*, 2691. [Crossref]
5. Schmidt, B.; King, D.; Kariuki, J.; *J. Chem. Educ.* **2018**, *95*, 2076. [Crossref]
6. Ashima, R.; Haleem, A.; Bahl, S.; Javaid, M.; Kumar Mahla, S.; Singh, S.; *Mater. Today: Proc.* **2021**, *45*, 5081. [Crossref]
7. Abdulhameed, O.; Al-Ahmari, A.; Ameen, W.; Mian, S. H.; *Adv. Mech. Eng. (London, U. K.)* **2019**, *11*, 1. [Crossref]
8. Krishnanand; Soni, S.; Taufik, M.; *Mater. Today: Proc.* **2021**, *46*, 5233. [Crossref]
9. Cardoso, R. M.; Kalinke, C.; Rocha, R. G.; dos Santos, P. L.; Rocha, D. P.; Oliveira, P. R.; Janegitz, B. C.; Bonacin, J. A.; Richter, E. M.; Munoz, R. A. A.; *Anal. Chim. Acta* **2020**, *1118*, 73. [Crossref]
10. Foster, C. W.; Down, M. P.; Zhang, Y.; Ji, X.; Rowley-Neale, S. J.; Smith, G. C.; Kelly, P. J.; Banks, C. E.; *Sci. Rep.* **2017**, *7*, 1. [Crossref]
11. Ngo, T. D.; Kashani, A.; Imbalzano, G.; Nguyen, K. T. Q.; Hui, D.; *Composites, Part B* **2018**, *143*, 172. [Crossref]
12. Ou-Yang, Q.; Guo, B.; Xu, J.; *ACS Omega* **2018**, *3*, 14309. [Crossref]
13. Gross, B.; Lockwood, S. Y.; Spence, D. M.; *Anal. Chem.* **2017**, *89*, 57. [Crossref]
14. Zhang, J.; Chen, D. R.; Chen, S. C.; *Building and Environment* **2022**, *221*, 109348. [Crossref]
15. Shaik, Y. P.; Schuster, J.; Shaik, A.; *Open Access Library Journal* **2021**, *8*, 1. [Crossref]
16. Horne, R.; Hausman, K. K.; *3D Printing for Dummies*, 2nd ed.; For Dummies: New Jersey, 2017.
17. Kannoht, A.; *Design Upgrades, Reliability Testing and Implementation of Engineering Grade Thermoplastics in Prusa MMU2s*; Dissertação de Mestrado, Jönköping University, Suécia, 2020. [Link] acessado em maio 2023

