

Projeto e validação funcional de um cabeçote intercambiável para extrusão de géis e hidrogéis em baixas temperaturas em impressora 3D desktop de plataforma aberta

Geovany Candido¹, Izaque A. Maia², Leonardo M. R. Machado², Paulo I. Neto²

gcandido@cti.gov.br, iamaia@cti.gov.br, leonardomrmachado@cti.gov.br,
paulo.inforcatti@cti.gov.br

¹Faculdade de Tecnologia de Campinas (FATEC) – Campinas/SP

**²Núcleo de Tecnologias 3D – NT3D
CTI/MCTI Renato Archer – Campinas/SP**

Abstract. *This article presents the process of developing and validating an interchangeable head for extrusion of gels and hydrogels at temperatures below room temperature, to be applied to an open platform 3D printer for research in bioengineering and bioprinting.*

Resumo. *Este artigo apresenta o processo de desenvolvimento e validação de um cabeçote intercambiável para extrusão de géis e hidrogéis em temperaturas inferiores à temperatura ambiente, para ser aplicado em uma impressora 3D de plataforma aberta para pesquisas em bioengenharia e bioimpressão.*

1. Introdução

A Fab@CTI (Figura 1a) é uma impressora 3D Desktop de plataforma aberta que vem sendo desenvolvida e aprimorada no CTI – Renato Archer, desde 2006, para ser aplicada em pesquisas na área de bioengenharia e bioimpressão, possibilitando testar e qualificar materiais pequenas quantidades de materiais para o processo de impressão 3D. Ao longo dos anos, diversas otimizações foram realizadas no projeto da Fab@CTI, tanto de softwares quanto de hardware. No que se refere a este último, com o objetivo de processar materiais em diferentes formas físicas (pó, fio, pellets, gel, etc.), o equipamento foi dotado de um sistema de modularização de cabeças de impressão para o qual já foram desenvolvidos três cabeçotes de impressão com princípios de processamento distintos (Figura 1b). Um deles tem como princípio de processamento a extrusão de géis e hidrogéis utilizando um embolo e uma seringa, mas não adaptada para controle de temperatura.

Em resposta a esta limitação de variação térmica, este trabalho tem como proposta projetar, desenvolver e testar um cabeçote de extrusão em seringa capaz de processar géis e hidrogéis e fazer o controle de temperatura abaixo da temperatura ambiente. Para tanto foi necessário projetar um sistema de resfriamento compatível com o sistema elétrico e de modularização da Fab@CTI, associando ao cabeçote robustez e leveza e um design de fácil usabilidade, montagem e manutenção.

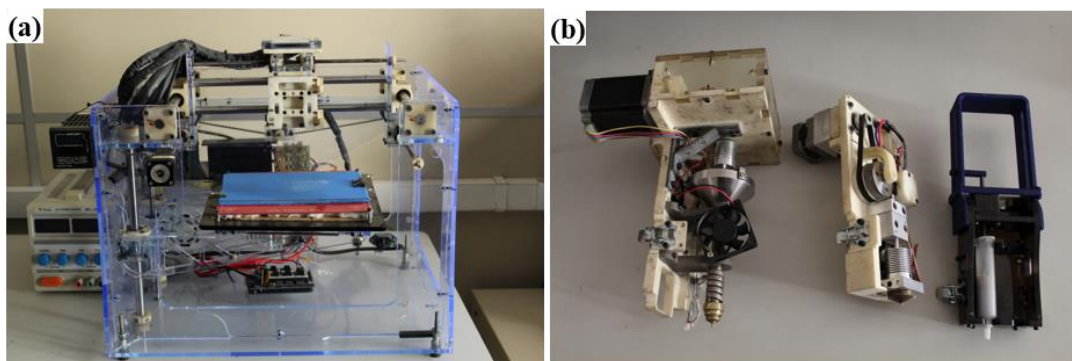


Figura 1. (a) Impressora 3D Fab@CTI. (b) Cabeçote de pó, filamento e gel, respectivamente.

2. Metodologia

A princípio foi cogitado a possibilidade de integrar um sistema de controle de temperatura e resfriamento ao cabeçote de extrusão de gel já existente. No entanto, foi observado que as modificações necessárias seriam diversas e contraproducentes e que seria mais viável realizar um novo projeto mecânico.

Por conta disso, o desenvolvimento deste trabalho foi dividido em Definição do Sistema de Resfriamento, Projeto Mecânico, Projeto Elétrico e Testes de Funcionalidade, abordados nas subseções abaixo

2.1. Definição do Sistema de Resfriamento

O sistema de resfriamento é composto por sensor, controlador e atuador. A fim de aproveitar os componentes já embarcados na Fab@CTI e evitando adicionar supérfluos, foi definido para este projeto o uso do mesmo controlador que vem sendo utilizado para os demais cabeçotes, o *WATLOW Series 965*, que possui na saída OT1 o modo de operação *cool.(CL)*, para resfriamento.

Apesar de este controlador poder operar com diferentes tipos de sinal de entrada, foi definido o mesmo tipo utilizado em outros cabeçotes, tipo J – referido ao termopar tipo J que trabalha na faixa de 0 a 750°C -, desatribuindo o encargo de configurar a entrada do controlador sempre que houver troca de cabeçote.

Quanto ao atuador, o mecanismo de resfriamento, foi utilizado duas pastilhas térmicas (ou pastilha Peltier) TES1-12704 de 30x30mm para fazer o resfriamento e dois coolers 24V para dissipar o calor do lado quente da pastilha.

2.2. Projeto Mecânico

O projeto mecânico foi projetado virtualmente utilizando o *SolidWorks2016*. Foram realizadas a integração do sistema de extrusão por seringa do cabeçote de gel (Figura 2a) ao sistema de resfriamento (Figura 2b e 2c) e, as modelagens das peças que unem estes dois sistemas em um único componente acoplável à Fab@CTI (Figura 2d e 2e). Posteriormente essas peças modeladas foram impressas em ABS-M30 pela tecnologia FDM (Figura 2f).

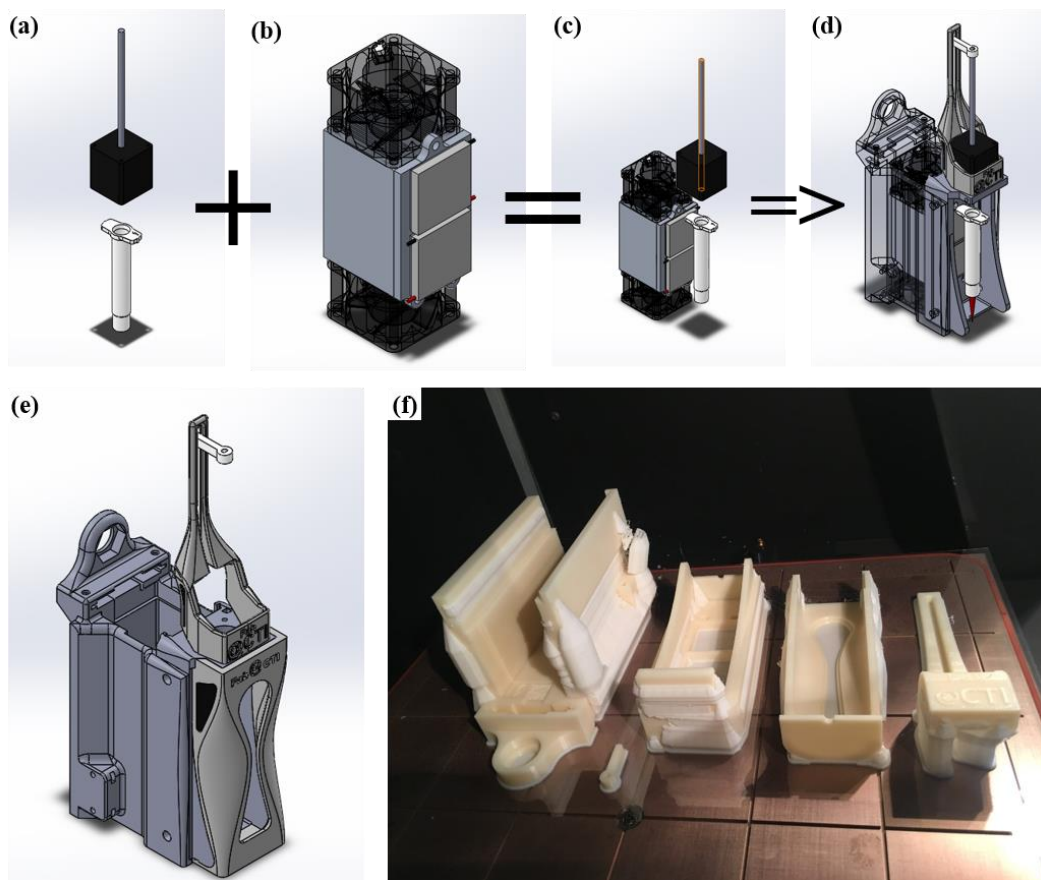


Figura 2. (a) Representação do sistema de extrusão (fuso, motor de extrusão e seringa 3mm). (b) Representação do sistema de resfriamento (Pastilha térmica, dissipador térmico e coolers). (c) Sistema de extrusão e sistema de resfriamento. (d) Carenagem do cabeçote e componentes. (e) Carenagem/peças a serem impressas. (f) Carenagem depois de impressa.

Um bloco para encapsular a seringa e conecta-la ao “lado frio” da pastilha, conduzindo o calor da seringa para a pastilha, foi projetado (Figura 3a) e posteriormente usinado em alumínio (Figura 3b). Além disso, tanto as superfícies que entram em contato com as pastilhas térmicas quanto as superfícies do bloco metálico que entram em contato entre si, foram polidas (Figura 3c e 3d), a fim de propiciar a menor perda de eficiência possível.

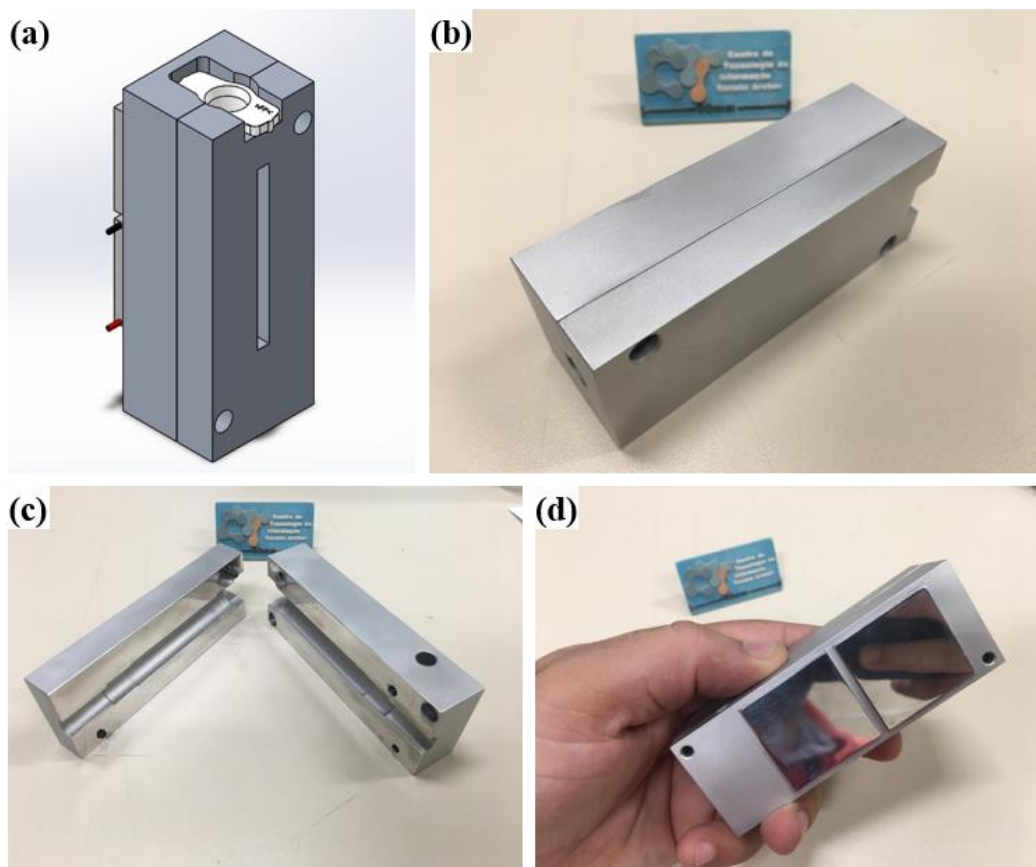


Figura 3. (a) Modelo digital do bloco metálico. (b) Bloco metálico depois de usinado. (c) Polimento entre as faces de contato. (d) Polimento na região de contato com as pastilhas térmicas.

Todo o projeto mecânico foi feito baseado nas diretrizes do *Design for Assembly* associado ao *Design for Additive Manufacturing*, visando obter uma geometria modular, para realizar futuras manutenções e trocas de componentes e reduzindo custos de processamento.

2.3. Projeto Elétrico

Para a definição do projeto elétrico do cabeçote, foi necessário, primeiramente, estudar o projeto elétrico da Fab@CTI. Foi detectado um barramento de pinos para o circuito de baixa potência (sensores, 12V, GND, bobinas do motor de passo, etc) e um cabo com uma conexão do tipo *mike* que transporta o circuito de alta potência (corrente alternada). Por conta disso, optou-se por projetar uma placa (Figura 4a) que centraliza todos os componentes do cabeçote e distribui o sensor, os *coolers* e o motor para uma barra de pinos, nos respectivos pinos que coincidem com o barramento elétrico já presente na Fab@CTI, e as pastilhas térmicas para uma conexão *mike* (Figura 4b), tendo em vista que as pastilhas, apesar de trabalharem com 12V, consomem até 6A cada. O sinal do controlador foi conectado a um módulo de expansão (Figura 4c) de energia com tensão de 12 a 50V e corrente máxima de 30A, alimentado por uma fonte externa, e sua saída foi ligada ao conector *mike* da Fab@CTI.

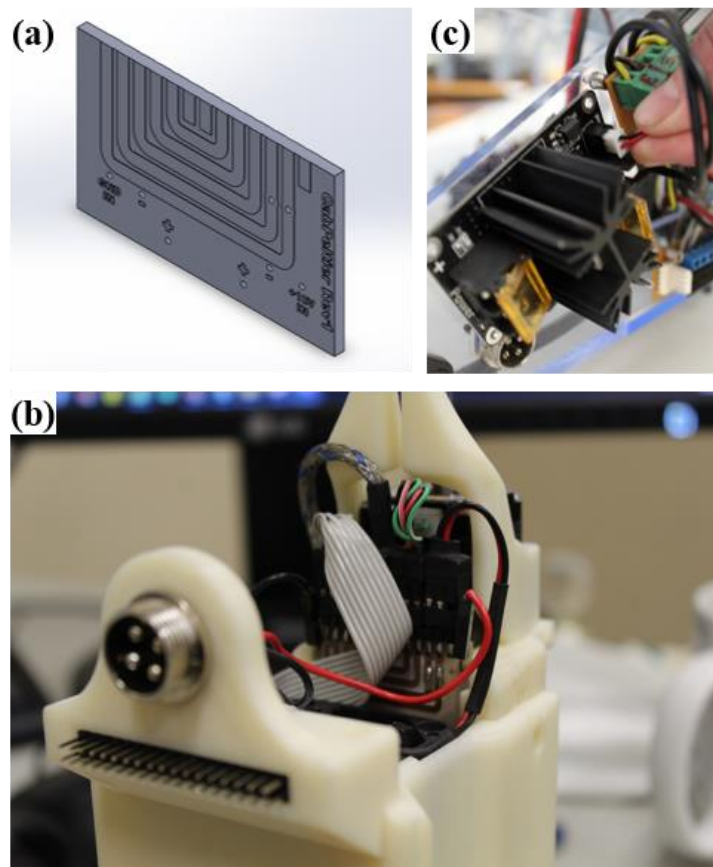


Figura 4. (a) Modelo digital da placa central do cabeçote. (b) Overview - placa central, conexões, barramento de pinos e conector *mike*. (c) Módulo de expansão.

Tanto a placa central quanto a placa do barramento de pinos foram projetadas no *SolidWorks2016* de onde extraiu-se a extensão STL para, posteriormente, serem processadas em uma MODELA MDX-20.

A fim de evitar acidentes advindos do erro de montagem elétrica, todas as conexões da placa central e também do *mike* foram elaboradas como um *Poka-Yoke*.

2.3. Testes de Funcionalidade

A Tabela 1 relaciona os testes de funcionalidade que foram realizados com suas respectivas entradas, dependências e seus resultados esperados.

Tabela 1. Testes de funcionalidade do cabeçote

Testes de Funcionalidade				
Nº	Nome do Teste	Entrada	Dependência	Resultado Esperado
1	Teste de acoplamento do cabeçote	Acoplar o cabeçote	N/A	Acomplamento mecânico e elétrico perfeito.
2	Teste dos coolers	Ligar a Fab@CTI	1	Funcionamento parcial, porém suficiente.
3	Teste do motor de extrusão	Executar o comando de extrusão	1	Pleno funcionamento.
4	Teste do sensor de temperatura	Aumentar ou diminuir a temperatura no bloco metálico	1	Pleno funcionamento.
5	Teste da pastilha térmica	Ligar a fonte e definir valor menor que a temp. ambiente	2 e 4	Pleno funcionamento.
6	Teste de resfriamento	Definir temperatura do cabeçote para 0°C	5	Resfriamento do cabeçote à temperatura de 0°C
7	Teste de deposição	Adicionar hidrogel e executar o comando de extrusão	1, 3 e 6	Filamento na saída do bico
8	Teste de Impressão	Adicionar hidrogel e iniciar um processamento de <i>scaffold</i>	7	<i>Scaffold</i> consistente

Antes de realizar o Teste da pastilha térmica, a saída Ot1 do controlador foi definida para resfriar (Cl) e posteriormente foi feita a calibração (*Auto-tuning*) do mesmo.

Tanto para o teste de deposição quanto para o de impressão, foram utilizadas duas proporções de um hidrogel de gelatina: 10%(10g de gelatina para 100ml de água) e 30%(30g de gelatina para 100ml de água). A medição foi realizada em uma balança analítica e a mistura feita em um agitador magnético. Além disso, ambos os testes foram realizados em uma sala fechada à temperatura ambiente, com a temperatura do cabeçote definida em 10°C.

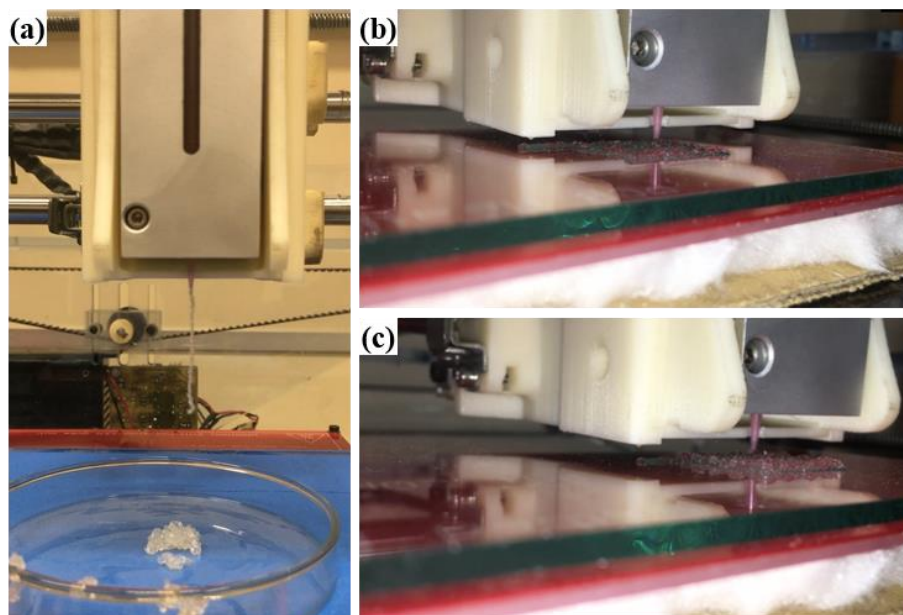


Figure 5. (a) Teste de Deposição. (b) Teste de impressão, camada 1. (c) Teste de impressão, camada 2.

3. Resultados e Discussões

Foram projetadas ao todo três versões do cabeçote, uma delas apenas conceitual e outras duas foram, de fato, materializadas. A versão dois, a primeira a ser impressa, apresentou folga durante o teste de acoplamento do cabeço no barramento da Fab@CTI e grande interferência nos encaixes entre as peças da carenagem, necessitando ajustes dimensionais e reimpressão.

Foi observado também que durante o teste de extrusão, a movimentação do fuso gerava uma trepidação entre a haste e a guia do fuso. Por conta disso, a haste foi redimensionada para atuar com maior interferência, resolvendo o problema. A Tabela 2 relaciona todos os testes realizados, com seus resultados esperados e obtidos.

Tabela 2. Resultados dos testes de funcionalidade

Testes de Funcionalidade			
Nº	Nome do Teste	Resultado Esperado	Resultado Obtido
1	Teste de acoplamento do cabeçote	Acomplamento mecânico e elétrico perfeito.	1º res: Acoplamento com folga e peças com interferência. 2º res: Acoplamento perfeito.
2	Teste dos coolers	Funcionamento parcial, porém suficiente.	Dentro do esperado.
3	Teste do motor de extrusão	Pleno funcionamento.	1º res: Tripidação na haste guia durante a movimentação do fuso. 2º Dentro do esperado.
4	Teste do sensor de temperatura	Pleno funcionamento.	Dentro do esperado.
5	Teste da pastilha térmica	Pleno funcionamento.	Dentro do esperado.
6	Teste de resfriamento	Resfriamento do cabeçote à temperatura de 0°C	Menor temperatura alcançada: 6°C
7	Teste de deposição	Filamento na saída do bico	Solução de 10% dentro do esperado.
8	Teste de Impressão	<i>Scaffold</i> consistente	Solução de 10% dentro do esperado.

No que diz respeito ao teste de resfriamento, apesar de não ter alcançado o valor esperado de 0°C, pode-se considerar bem-sucedido já que alcançou os 6°C com o pleno funcionamento de todo o sistema. No entanto, nota-se que melhorias podem ser feitas no que se refere a eficiência, já que para este trabalho não foi considerado dimensionamento de dissipador, coolers, e tão pouco de isolamento térmico no próprio cabeçote, este último, imprescindível para que o lado quente das pastilhas térmicas não afete seu próprio lado frio, diminuindo o rendimento e a eficiência do sistema de resfriamento.

Mesmo assim, foi possível realizar, não só a deposição, como também, a impressão de um *scaffold*, utilizando um hidrogel de gelatina na proporção de 1/10 de água, resfriado a 10°C (Figura 6a, b).

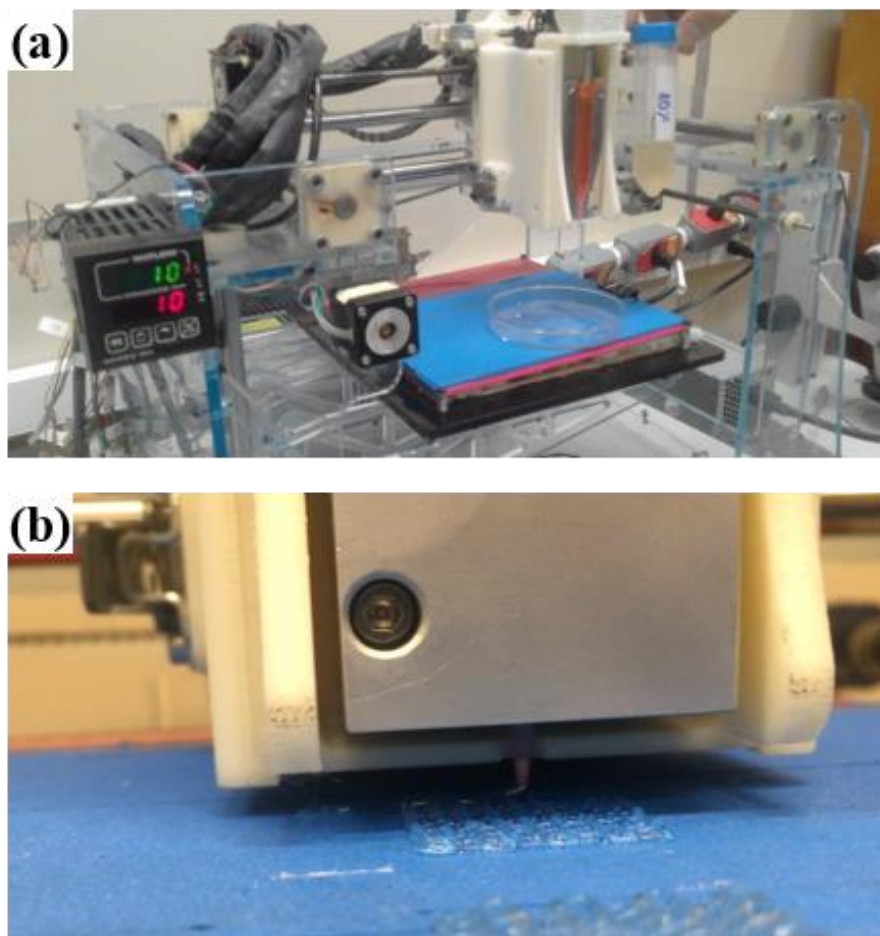


Figura 6. (a) Overview antes do teste de deposição. (b) Impressão do Scaffold.

Este trabalho foi desenvolvido para atender a uma demanda muito específica, onde se fez necessário utilizar uma seringa de 3ml. No entanto, é muito comum utilizar seringas de 10ml, descartáveis, em processos de bioimpressão, pois é mais fácil adquirir este item, utilizando inclusive maior quantidade de matéria prima. Por conta disso, considera-se como uma melhoria futura a remodelagem e fabricação do bloco metálico para que o cabeçote possa ser utilizado com seringas de 10ml.

3. Conclusão

Foi desenvolvido um cabeçote para impressão de géis e hidrogéis, funcional e robusto, com o objetivo de ser mais uma ferramenta no arsenal da Fab@CTI, viabilizando pesquisas de bioengenharia e bioimpressão, em uma plataforma aberta, de materiais que necessitam ser depositados em intervalo de temperaturas de 6°C a 26°C (temperatura ambiente).

Referências

Volpato, N. et al. “Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D”. 1.ed. São Paulo: Blucher. 2017.

Inforçatti N. P. & Silva J. V. L. “Máquina básica de prototipagem rápida de projeto aberto de hardware e software para uso de pesquisas em bioengenharia, desenvolvimento, inovação

e aplicações de prototipagem rápida”. Trabalho de Graduação, Faculdade Independente do Nordeste, 2007.

Silveira, Z. C; Freitas, M. S; Inforçatti, N. P; Noritomi P. Y; Silva, J.V.L “Design development and functional validation of an interchangeable head based on mini screw extrusion applied in an experimental desktop 3-D printer”. International Journal os Rapid Manufacturing, v.4, p.49, 2014.

Santos, V.F.M. “O que é o Design para Fabricação/Montagem (DFM/DFA)?” Disponível em: < <https://www.fm2s.com.br/o-que-o-design-para-fabricacao/>>. Último acesso: 01/08/2020.