

PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UMA IMPRESSORA 3D DE GRANDE PORTE

Nathalya Lagos Vicente Ferreira¹, nathalya.ferreira@estudante.ifms.edu.br
Caio Sottovia Gomide¹, caio.gomide@estudante.ifms.edu.br
Miguel Andrade Blanc Amorim¹, miguel.amorim@estudante.ifms.edu.br
Matheus Piazzalunga Neivock¹, matheus.neivock@ifms.edu.br
Marco Hiroshi Naka¹, marco.naka@ifms.edu.br

¹Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, R. Taquarí, 831 - Santo Antonio, Campo Grande - MS, 79100-510.

Resumo. A impressão 3D é uma tecnologia que tem se expandido de forma considerável nos últimos anos, porém para impressões de grande porte tem se algumas limitações, principalmente no que se refere aos custos dos equipamentos. Logo, este trabalho propôs o desenvolvimento de uma impressora de grande porte, com capacidade de impressão de 1,5 m nas direções do comprimento, largura e altura e que fosse de baixo custo de fabricação. Para a realização deste projeto foram estudadas as bases tecnológicas para impressão 3D de forma a definir o melhor projeto. Basicamente, pensou-se na possibilidade de uma ampliação dimensional de uma impressora 3D convencional e como seriam desenvolvidas suas partes mecânicas como: as mesas de aquecimento, sistema de extrusão e os mecanismos de movimentação. A partir do projeto, foi fabricada uma impressora de grande porte, que foi financiada com recurso proveniente da Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC) do Ministério da Educação (MEC). Testes foram realizados e demonstraram que a impressora era capaz de imprimir peças de grande volume e estima-se que a mesa custou cerca de 1/3 do valor de uma impressora de grande porte no mercado.

Palavras chave: Impressão 3D. Projeto Mecânico. Fabricação.

Abstract. 3D printing is a technology that has expanded considerably in recent years, but for large-scale printing it has some limitations, especially with regard to the cost of equipment. Therefore, this work proposed the development of a large printer, with a printing capacity of 1.5 m in the length, width and height directions and with low manufacturing cost. To carry out this project, the technological basis for 3D printing were studied in order to define the best project. Basically, the possibility of a dimensional expansion of a conventional 3D printer was thought of and how its mechanical parts would be developed, such as: heating tables, extrusion system and movement mechanisms. Based on the project, a large printer was manufactured, which was financed with funds from the Secretariat for Professional and Technological Education (SETEC) of the Ministry of Education (MEC). Tests were carried out and demonstrated that the printer was capable of printing large volume parts and it is estimated that the table cost about 1/3 of the value of a large printer on the market.

Keywords: 3D printing. Mechanical Design. Manufacturing.

1. INTRODUÇÃO

A impressão 3D teve um grande salto de desenvolvimento e popularização na década de 2010, onde novas formas de aplicação e materiais foram sendo introduzidos. Além disto, houve um forte investimento de governos para estabelecer políticas que desenvolvessem a impressão 3D (Luo *et al.*, 2020), que é inclusive, um dos pilares da indústria 4.0. Basicamente, a impressão 3D é um tipo de manufatura aditiva, que ao contrário dos processos tradicionais que envolvem comandando numérico computadorizado (CNC), os quais removem materiais (usinagem), ela faz a adição de materiais camada por camada, até formar um objeto tridimensional. Inicialmente, a impressão 3D foi concebida para a criação de protótipos de forma rápida para o desenvolvimento de produtos, mas com o tempo, ela começou a ser usada como manufatura definitiva, ou seja, para a produção final de produtos (Sandström, 2015, Rayna e Striukova, 2016).

Desta forma, novos materiais começaram a ser pesquisados na impressão 3D de forma a atender os requisitos de projetos para produtos finais. Dentre os novos materiais, que diferem dos materiais poliméricos do tipo termoplásticos difundidos na aplicação de impressão 3D inicialmente, destacam-se o uso de metal (Das *et al.*, 2017), cerâmica, concreto

(Duballet *et al.*, 2017), biomateriais, materiais condutores (Postiglione *et al.*, 2015), vidro (Zhang *et al.*, 2022) e até mesmo, materiais comestíveis (Pereira *et al.*, 2020).

Além disto, há uma grande variedade de aplicações, tais como na indústria farmacêutica (Sem *et al.*, 2021), medicina (Yan *et al.*, 2018), cultivo agrícola (Kalossaka *et al.*, 2021), fabricação de moldes (Upadhyay, 2017), odontologia (Tian *et al.*, 2021) e outros. Pode se perceber claramente, que a impressão 3D tem ganhado um papel cada vez mais relevante não somente no setor fabril, mas também em outros setores da sociedade. Um foco interessante, o qual foi o fator motivador deste trabalho, foi a possibilidade de se utilizar a impressão 3D na fabricação de mapas táteis para fins de acessibilidade. A vantagem da impressão 3D neste caso está na versatilidade e facilidade de readequação dos mapas, em caso de mudança no *layout* dos espaços. Ou seja, sem a impressão 3D, seria necessário a fabricação de novos mapas táteis em caso de mudança de *layout*, o que, dependendo da situação, poderia demandar a montagem de novos processos licitatórios, no caso de instituições públicas.

Entretanto, é preciso considerar que os mapas táteis possuem dimensões consideráveis, o que inviabiliza a impressão dos mesmos em impressoras convencionais. Como exemplo, o manual de identidade visual do Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS) prevê que as dimensões médias devem ser de 80 por 40 cm. Logo, o projeto e a fabricação de uma impressora 3D de grande porte poderiam possibilitar a fabricação de mapas táteis dentro do IFMS, de forma rápida e flexível, ou seja, de fácil alteração de *layout* quando necessário.

O desenvolvimento deste projeto é apresentado neste trabalho, bem como os testes iniciais que permitiram chegar numa segunda versão melhorada da impressora de grande porte. Ou seja, são apresentados os resultados da primeira versão, bem como os aperfeiçoamentos aplicados e a segunda versão otimizada da impressora.

2. METODOLOGIA

Basicamente, o desenvolvimento da impressora de grande porte dividiu-se em 4 etapas essenciais: modelagem física, projeto, fabricação e testes/correções. A modelagem inicial levou em consideração o uso de um robô cartesiano que possuísse um volume de trabalho equivalente a um cubo de 1,5 m de aresta. Ou seja, a ideia era adquirir um robô cartesiano pronto para que as extrusoras de filamento fossem apenas instaladas no efetuador. Como desafio adicional, haveria a necessidade também de se modelar uma mesa de aquecimento de grandes dimensões.

Após contactar fornecedores de robôs cartesianos e empresas de metal mecânica na região, percebeu-se a dificuldade em se adquirir um robô cartesiano já pronto para a aplicação desejada. Logo, optou-se por buscar parceiros para a realização do projeto e fabricação da impressora 3D de grande porte. Em março de 2020, o IFMS firmou uma parceria com a empresa Imprimo 3D, por meio do Acordo de Cooperação Técnica IFMS (ACT-IFMS) 010/2020.

O modelo base partiu da simples ampliação em escala de uma impressora 3D convencional, ou seja, basicamente, pensou-se na movimentação de um cabeçote extrusor de filamentos (*hotend*) sobre uma área (plano xy) e com o deslocamento deste ao longo do eixo z na vertical, para a deposição das camadas de materiais. Inicialmente, pensou-se na possibilidade de se deslocar a mesa de aquecimento, mas considerando o seu peso, tal alternativa foi descartada. O sistema de movimentação da impressora foi baseado no uso de motores de passo, que garantiriam um bom controle de posição além de um torque adequado. Por fim, por se tratar de uma impressora de grande porte, optou-se pelo uso de filamentos de polímero lástico (PLA), que podem ser usados sem um controle mais rígido da temperatura ambiente, que é o que ocorre quando se utiliza o acrilonitrila butadieno estireno (ABS), outro material tipicamente utilizado em impressoras 3D.

3. RESULTADOS

Com a celebração do acordo, iniciou-se a montagem da primeira versão da impressora de grande porte com o apoio da Imprimo 3D, a qual pode ser vista na Figura 1. Observa-se na Figura 1, que a montagem inicial contemplou a aquisição e montagem da estrutura de suporte, a qual consistiu no uso de perfis de alumínio (45 mm x 45 mm). É importante ressaltar que esta primeira versão era um protótipo para validar os conceitos e hipóteses levantadas, como por exemplo, a hipótese de que uma ampliação em escala poderia ser suficiente para a fabricação da impressora de grande porte.

A mesa de aquecimento também foi montada e ela consistiu de 4 mesas de mesmo tamanho que cobriam a superfície de impressão. A estratégia adotada foi permitir que as mesas fossem acionadas separadamente, pois nem sempre uma impressão, mesmo de grande porte, vai ocupar toda a superfície útil de impressão. Logo, ter-se-ia uma economia de energia com o desligamento de partes da mesa que não seriam usadas de forma efetiva. Sobre a mesa de aquecimento foi colocada uma placa de vidro inteira de forma a garantir uma melhor qualidade superficial devido às descontinuidades ocasionadas pelo uso de mais de uma placa de aquecimento.

A guia de deslocamento vertical (direção z) da primeira versão da impressora 3D, consistia basicamente de um fuso trapezoidal de 11 mm de diâmetro com passo de 2 mm, o qual era acionado por um motor de passo Nema 17 de 4,8Kgf.cm. Para os deslocamentos ao longo da superfície da área de impressão, ou seja, no plano xy, foram usadas correias GT2 de 10 mm com alma de aço, na primeira versão. A Figura 2 representa a primeira versão da impressora.



Figura 1. Estrutura de suporte com as guias de deslocamento e mesa de impressão já montada. (Autores, 2020).



Figura 2. Visão frontal da primeira versão da impressora 3D de grande porte. (Autores, 2020).

O uso dos perfis de alumínio aliado ao sistema de deslocamento permitiu a realização de testes que apresentaram resultados razoáveis, conforme pode ser observado na Figura 3. O lagarto da Figura 3 possui um comprimento aproximado de 90 cm e o vaso verde ao fundo, uma altura aproximada de 50 cm.



Figura 3. Peças fabricadas na impressora 3D de grande porte. (Autores, 2020).

Os dois objetos de testes buscaram priorizar o deslocamento da extrusora ao longo da altura (vaso) e ao longo da superfície de impressão (lagarto). Entretanto, percebeu-se a necessidade de aumentar a rigidez do sistema de suporte, ou seja, aumentar a rigidez dos perfis de alumínio por meio do aumento em suas dimensões. No que tange ao sistema de deslocamento, percebeu-se a necessidade de melhorar a rigidez do fuso usado no deslocamento vertical, o que poderia ser feito pela troca do fuso comum por um fuso de esferas. Já para melhorar a movimentação no plano xy, a estratégia adotada foi trocar o sistema de correias por um sistema do tipo pinhão-cremalheira, bem como a substituição dos motores de passo por outros com mais torque. Isso demandou não apenas a substituição da placa de controle, mas também na instalação de controladores de motores específicos (*drivers*) com fonte de alimentação exclusiva para estes.



Figura 4. Visão frontal da nova impressora. A: Suporte para elevação da mesa de aquecimento. (Autores, 2020).

Na Figura 4, tem-se uma imagem da versão final da impressora de grande porte, com as melhorias já implementadas. Ou seja, as modificações feitas na versão inicial, tais como a mudança dos perfis de alumínio e nos sistemas de deslocamento das extrusoras, tanto no plano xy como na direção vertical z. Há de considerar também que foi implementado um sistema de suporte da mesa na direção vertical, conforme indicado na Figura 4, pela letra A. Este suporte tem como objetivo melhorar a ergonomia, pois nem toda impressão há de requerer o uso da altura máxima de impressão (1,5 m). Na configuração anterior, uma impressão como a do lagarto da Figura 3, exigiria que o usuário se agachasse para verificar se impressão estaria ocorrendo de forma adequada ou não, ou seja, a inspeção visual do processo de impressão era muito cansativa devido a posição da mesa. É importante mencionar que esses suportes podem ser removidos ou terem sua altura ajustada conforme a necessidade.

Adicionalmente, foi instalado um computador do tipo *all-in-one* com *touch screen* para possibilitar o uso de recursos e ajustes de impressão de forma mais conveniente. Um sistema de iluminação também foi instalado, para facilitar a inspeção visual do processo de impressão.



Figura 5. Detalhe dos perfis 80x80, utilizados na versão final do equipamento. (Autores, 2020).

Na Figura 5, tem-se a visualização dos novos perfis de alumínio, no caso, com dimensões de 80 mm x 80 mm. Essa mudança melhorou de forma considerável a rigidez do conjunto. Vale ressaltar que a dimensão anterior era de 45 mm x 45 mm e apresentou resultados consideráveis, conforme mostrado na Figura 3. Com esse novo perfil, percebeu-se uma melhor rigidez da estrutura quando as guias se movimentavam para a impressão, melhorando de forma considerável a qualidade da impressão. A necessidade de calibrações devido a rigidez da estrutura também foi reduzida, o que é outro impacto positivo na mudança do perfil.

Para o deslocamento na vertical, conforme mencionado anteriormente, foi proposta a adoção de fuso com esferas no lugar do fuso comum do tipo trapezoidal, usado na versão anterior. Os suportes dos fusos foram todos modelados e fabricados com uso de impressoras 3D convencionais. Outro detalhe importante é que cada um dos quatro fusos (um em cada vértice da área de impressão) de deslocamento vertical recebeu um *driver* e um motor individual.

Para o deslocamento no plano xy, optou-se por substituir o sistema de correias por um sistema do tipo pinhão cremalheira. Embora as correias fossem do tipo dentada, ou seja, garantiam um melhor controle de posição, elas requeriam uma constante verificação no seu nível de tensionamento, o que poderia gerar erros no controle de posição da extrusora sobre o plano xy, sem mencionar a constante vibração oriunda de sua movimentação, vibração esta que era transferida para a peça impressa, na forma de redução na qualidade de acabamento da peça impressa. A cremalheira e o pinhão escolhido foi de dentes helicoidais de módulo 1, com dimensões de 15mm x 15mm, como forma de permitir um movimento mais suave com redução do ruído, ou seja, das vibrações ao longo de sua movimentação. Na Figura 6, tem-se a visão interna da caixa de comando.



Figura 6. Sistema de comando da impressora de grande porte. (Autores, 2021).

Com a nova versão montada, foram feitos teste de impressão e na Figura 7, tem-se a imagem de um mapa tátil base impresso.



Figura 7. Mapa tátil base sem as trilhas e as placas de identificação do locais. (Autores, 2022).

Embora a ideia inicial fosse a impressão do mapa inteiro na impressora de grande porte, percebeu-se que no caso dos mapas táteis, era mais vantajoso fazer a impressão do mapa tátil base na impressora de grande porte e depois, imprimir placas menores que seriam encaixadas no mapa base. Essas placas menores, com um maior detalhamento do relevo da escrita em Braille, seriam impressas em impressoras convencionais com bico extrusores com diâmetro menor que 1 mm, o que conferiria uma melhor qualidade superficial. O uso de um bico extrusor com um diâmetro menor que 1 mm na impressora de grande porte, seria de certa forma inviável, podendo duplicar o tempo de impressão. Para se ter uma ideia, o tempo de impressão do mapa base com um bico extrusor de diâmetro maior que 1 mm foi de aproximadamente 8 horas.

4. CONCLUSÕES

Apesar do período complicado em que o projeto foi desenvolvido (2019 a 2021), com a ocorrência da pandemia da Covid-19 e a escalada no câmbio, o que encareceu os materiais importados usados no projeto, obteve-se um resultado satisfatório. Inclusive, o valor médio dos materiais usados na confecção da impressora de grande porte ficou em torno de R\$ 85.000,00, ou seja, menos que 1/3 do valor de uma impressora similar encontrada no mercado em 2019, ano de início do projeto. Em outras palavras, apesar da escalada do câmbio, ainda pode se desenvolver e fabricar uma impressora de grande porte com redução de custos consideráveis.

Para a aplicação de mapas táteis, conforme pôde se ver no resultado apresentado na Figura 7, percebe-se que tecnicamente é possível e viável, entretanto, em termos de custos, há um grande gargalo, pois, a quantidade de filamento usado para impressão de cada mapa tátil é alta e deve-se considerar possíveis falhas e erros de impressão. Em média, o mapa base tem utilizado em torno de 700 g de filamento. Uma forma de se viabilizar a fabricação dos mapas táteis usando a impressora 3D seria por meio de uma extrusora de *pellets*, a qual já teve seu desenvolvimento iniciado (Figura 8). *Pellets* nada mais são do que grãos de polímeros, no caso, de PLA e eles são a matéria-prima para a fabricação dos filamentos. Logo, com o uso direto de *pellets*, ter-se-ia uma redução de custos considerável em termos de impressão. É importante notar que o uso da extrusora de *pellets* não somente aumenta a viabilidade do uso da impressora 3D de grande porte para a fabricação de mapas táteis, mas sim, de qualquer outro produto de grandes dimensões.



Figura 8. Extrusora de pellets. (Autores, 2022).

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC) do Ministério da Educação (MEC) pelo aporte financeiro ao projeto por meio do TED 7988. Agradecimentos também ao IFMS, pelo apoio por meio do Edital IFMS 012/2021, Meninas e Mulheres em Pesquisas Científicas. Por fim, os autores agradecem a Imprinto 3D, empresa parceira (Acordo de Cooperação Técnica IFMS – 010/2020), que auxiliou de forma significativa e competente no desenvolvimento deste projeto, sem a qual, este projeto não seria finalizado com êxito.

6. REFERÊNCIAS

- Das, S., Bourell, D.L., Babu, S.S., 2016. “Metallic materials for 3D printing”. Material Research Society Bulletin, vol. 41, pp. 729-741.
- Duballet, R., Baverel, O., Dirrenberger, J., 2017. “Classification of building systems for concrete 3D printing”. Automation in Construction, vol. 83, pp. 247-258.

- Kalossaka, L.M., Sena, G., Barter, L.M.C., Myant, C., 2021. "Review: 3D printing hydrogels for the fabrication of soilless cultivation substrates". *Applied Materials Today*, vol. 24, pp. 101088-101104.
- Luo, W.J., Mao, Z.C., Lu, H.Z., Yang, J., Ma, X.C., Xu, L.J., 2020. "Subversion of conventional construction: Building 3D printing technology", *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 4531, 0120005.
- Pereira, T., Barroso, S., Gil, M.M., 2021. "Food Texture Design by 3D Printing: A Review". *Foods*, vol. 10, pp. 320-346.
- Postiglione, G., Natale, G., Griffini, G., Levi, M., Turri, S., 2015. "Conductive 3D microstructures by direct 3D printing of polymer/carbon nanotube nanocomposites via liquid deposition modeling". *Composites: Part A*, vol. 76, pp. 110-114.
- Rayna, T., Striukova, L., 2016. "From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation". *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 102, pp. 214-224.
- Sandström, C.G., 2016. "The non-disruptive emergence of an ecosystem for 3D Printing — Insights from the hearing aid industry's transition 1989–2008", *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 102, pp. 160-168.
- Sen, K., Mehta, T., Sansare, S., Sharifi, L., Ma, A.W.K., Chaudhuri, B., 2021. "Pharmaceutical applications of powder-based binder jet 3D printing process – A review". *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 177, pp. 113943-113955.
- Tian, Y., Chen, X.C., Xu, X., Wang, J., Hou, X., , Li, K., Lu, X., Shi, H.Y., Lee, E-S., Jiang, H.B., 2021. "A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications", *Scanning*, vol. 2021, pp. 1-19.
- Upadhyay, M., Sivarupan, T., El Mansori, M., 2017. "3D printing for rapid sand casting—A review", *Journal of Manufacturing Processes*, vol 29, pp. 211-220.
- Yan, Q., Dong, H., Su, J., Han, J., Song, B., Wei, Q., Shi, Y., 2018. "A Review of 3D Printing Technology for Medical Applications" *Engineering*, vol. 4, 5, pp. 729-742.
- Zhang, H., Huang, L., Tan, M., Zhao, S., Liu, H., Lu, Z., Li, J., Liang, Z., 2022. "Overview of 3D-Printed Silica Glass". *Micromachines*, vol. 13, pp. 81-102.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.