

Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG
Curso de Engenharia Mecânica

GABRIEL BEIRES SILVA
LUIS HENRIQUE PEREIRA DA SILVA

PROTOTIPAGEM DE UMA IMPRESSORA 3D DE BAIXO CUSTO

Publicação Nº 08

Goianésia - GO
2023

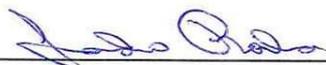
**GABRIEL BEIRES SILVA
LUIS HENRIQUE PEREIRA DA SILVA**

PROTOTIPAGEM DE UMA IMPRESSORA 3D DE BAIXO CUSTO

Publicação Nº 08

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, EM FORMA DE ARTIGO,
SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA FACEG**

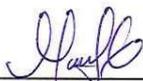
Aprovados por:



**Ivandro José De Freitas Rocha, Me. (FACEG)
(ORIENTADOR)**



**Alessandro Morais Martins, Me. (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**Marinés Chinquirá Bravo Gomes, Dra. (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**Goianésia - GO
2023**

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, GABRIEL BEIRES/ SILVA, LUIS HENRIQUE PEREIRA DA

Prototipagem de uma impressora 3d de baixo custo [Goiás] 2023, 20P, (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Mecânica, 2023).

ARTIGO - FACEG - FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Mecânica.

1. Protótipo

2. Impressora 3D

3. Viabilidade econômica

I. ENC/FACEG

II. Prototipagem de uma impressora 3d de baixo custo

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, G. B./ SILVA, L. H. P. Prototipagem de uma impressora 3d de baixo custo. Artigo, Publicação 08 2023/1 Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 20p, 2023.

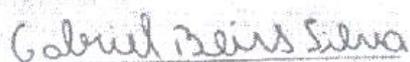
CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gabriel Beires Silva, Luis Henrique Pereira Da Silva

TÍTULO DO TRABALHO DO ARTIGO: Prototipagem de uma impressora 3d de baixo custo.

GRAU: Bacharel em Engenharia Mecânica ANO: 2023

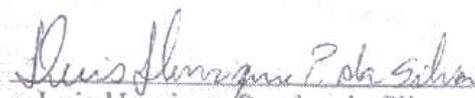
É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Gabriel Beires Silva

Bairro Santa Luzia

76380226 - Goianésia/GO - Brasil



Luis Henrique Pereira da Silva

Setor Central

76388899 - Cafelândia/GO - Brasil

PROTOTIPAGEM DE UMA IMPRESSORA 3D DE BAIXO CUSTO

Gabriel Beires Silva¹

Luis Henrique Pereira Da Silva²

Ivandro José De Freitas Rocha³

RESUMO

As impressoras 3D e uma inovação revolucionária na tecnologia de manufatura, têm o potencial de transformar a maneira como produzimos objetos, desde pequenos utensílios domésticos a grandes componentes industriais. Elas trazem a promessa de produção sob demanda, personalização em massa e complexidade de design sem custo adicional. Entretanto, apesar de seu imenso potencial, um dos principais obstáculos que impedem a adoção em larga escala da impressão 3D é o seu alto custo. O objetivo desta pesquisa é desenvolver um modelo protótipo de impressora 3D econômica, que possa fabricar componentes para variadas aplicações. Para materializar esta finalidade, foi executado um estudo acerca dos exemplares comerciais existentes, concebido um design para uma impressora 3D de valor reduzido, apreciados os gastos associados à construção da referida impressora 3D e efetuadas impressões de componentes no protótipo para avaliar seu padrão de qualidade. Utilizando uma abordagem prática, os componentes necessários para a montagem da impressora foram selecionados, considerando sua disponibilidade e custo acessível. Foram utilizados uma mesa aquecida, um hotend E3D, motores NEMA 17, uma fonte chaveada e outros elementos fundamentais. A análise dos custos envolvidos na montagem mostrou que é possível obter um sistema funcional com um investimento significativamente menor do que a aquisição de uma impressora 3D comercializada. Através da pesquisa e seleção cuidadosa dos componentes, foi alcançada uma economia considerável de recursos financeiros, totalizando um valor de R\$ 1500,00. Além disso, foram realizados testes de qualidade das peças produzidas no protótipo. Os resultados demonstraram que a impressora 3D de baixo custo é capaz de atingir os objetivos propostos, fornecendo peças de qualidade satisfatória. Conclui-se que a montagem de uma impressora 3D de baixo custo é uma alternativa viável para a fabricação de peças em diversos contextos, oferecendo uma solução econômica e acessível. A pesquisa e seleção adequada dos componentes, juntamente com a realização de ajustes e calibrações necessários, possibilitam a criação de um protótipo funcional e eficiente.

Palavras-chave: Protótipo. Impressora 3D. Viabilidade econômica.

¹ Discente do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG). E-mail: gabrielbeires123@hotmail.com

² Discente do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG). E-mail: lhps2014@hotmail.com

³ Me, professor do curso da Faculdade Evangélica de Goianésia. E-mail: ivandro_rocha@yahoo.com.br

1 INTRODUÇÃO

A Manufatura Aditiva (AM - *Additive Manufacturing*), conhecida como impressão 3D, abrange um conjunto de tecnologias utilizadas para construir protótipos, modelos físicos e peças acabadas a partir de dados tridimensionais (3D) provenientes de Desenhos Assistidos por Computador (CAD - *Computer Aided Design*). Segundo Andrade *et al.* (2019), a tecnologia AM permite a fabricação direta de formas fisicamente complexas a partir de seus respectivos CADs, com ajustes mínimos, através da técnica de deposição camada por camada.

Os elevados custos dos equipamentos têm restringido a disseminação e aplicação da tecnologia de prototipagem rápida. Nesse sentido, vale ressaltar a importância de reduzir o custo das impressoras 3D. Comunidades como RepRap e Arduino têm conquistado avanços significativos nesse contexto. Esses grupos adotam o modelo de desenvolvimento de código aberto (*Open Source*), em que os desenhos produzidos por esses projetos são disponibilizados sob a Licença Pública Geral (GPL - *General Public License*), promovendo o acesso universal e gratuito, o que permite um rápido e exponencial aprimoramento (SOLTAN e OMONDI, 2019; CRUA e BROWN, 2018; MEIGS *et al.*, 2017)

O projeto de uma impressora 3D baseia-se na tecnologia de Fabricação Aditiva Fundida ou Modelagem por Deposição de Termoplástico (FDM - *Fused Deposition Modeling*), termo que se refere aos processos utilizados para criar objetos sólidos a partir de modelos de computador 3D, mediante a sobreposição de camadas finas de plástico fundido (LACERDA *et al.*, 2020).

A tecnologia que sustenta as impressoras 3D é conhecida no campo da indústria há várias décadas, o alto custo das máquinas AM as manteve fora do alcance dos consumidores comuns. No entanto, nos últimos anos, o uso da AM tem se disseminado e se tornado mais acessível ao público em geral. A introdução de hardware de baixo custo, designs de código aberto e impressoras 3D com software de licença gratuita, como no projeto RepRap, possibilitou que engenheiros e entusiastas adquirissem individualmente máquinas de impressão 3D a um preço reduzido (CRUA e BROWN, 2018).

Embora esses equipamentos acessíveis tenham se tornado populares entre entusiastas e amadores, ainda há relativamente pouca atenção voltada ao uso de impressão multimatérias, focando na consolidação de materiais e na qualidade da interface entre eles, bem como em sua comparação com a extrusão padrão. A maioria das impressoras 3D comerciais possui apenas um único cabeçote de extrusão, visando manter o custo da máquina baixo, o que limita a capacidade de imprimir objetos que demandam suporte adicional ou a utilização de material de suporte como reforço para outros (ANDRADE *et al.*, 2019)

O objetivo deste estudo é criar um protótipo de impressora 3D de baixo custo capaz de produzir peças para diversas finalidades. Para alcançar esse objetivo, foram realizadas pesquisas sobre os modelos disponíveis no mercado, desenvolvido um projeto de impressora 3D de baixo custo, avaliado os custos envolvidos na montagem da impressora 3D e realizado a impressão de peças no protótipo para testar sua qualidade.

2 REVISÃO DA LITERATURA

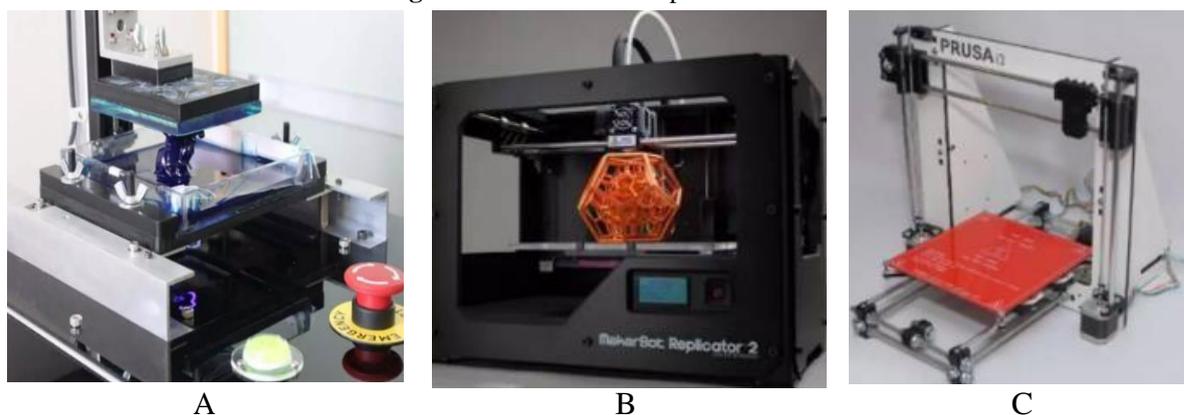
2.1 IMPRESSORA 3D

Os primeiros estudos com impressoras 3D foram realizados em 1970, e o início da indústria gráfica é datado do final da década de 80, quando as impressoras 3D apresentavam

custos elevados. Segundo Andrade *et al.*, (2019), os métodos de impressão evoluíram do desenho final sendo moldado pela retirada de material (Método Subtrativo) para uma forma mais moderna, em que os procedimentos de impressão consistiam na deposição do material camada por camada (AM).

Yampolskiy *et al.*, (2016) descreveram que as impressões 3D evoluíram rapidamente após o desenvolvimento de um método conhecido como *RepRap*, que é o primeiro método de prototipagem rápida autorreplicante, reciclagem de motores e materiais, permitindo que parte dos componentes sejam impressos para produzir novas impressoras 3D ou melhorar os já produzidos. Alguns modelos de impressoras 3D podem ser observados na Figura 1.

Figura 1 – Modelos de impressoras 3D.



A - Impressora de resina; B - Impressora de extrusão; C - Impressora de extrusão RepRap

Fonte: Zucca et al., (2018).

Na virada do século 21, a indústria desencadeou uma revolução impulsionada pelo desenvolvimento de motores menores e mais poderosos, bem como pela crescente sofisticação do hardware e software. Além disso, a possibilidade de conectar objetos cotidianos digitalmente por meio da Internet, conhecida como Internet das Coisas (IoT), teve um papel crucial nesse processo. Essa mudança teve um impacto significativo na sociedade, economia e competitividade, resultando no surgimento do conceito de Indústria 4.0 (CUNICO, 2015).

A Indústria 4.0 está impactando fortemente a cadeia produtiva e, portanto, impactando diretamente no desenvolvimento de tecnologia sustentável. Segundo Agostini e Filippini (2019), a impressão 3D está entre as tendências que, até 2025, devem criar novas oportunidades de negócios, prototipando itens e objetos 3D, utilizando materiais mais sofisticados e consolidando o ramo de prototipagem em diversos setores, e não apenas na indústria, como saúde, agronegócio, uso doméstico, dentre outros (CUNICO, 2015).

A prototipagem 3D está em constante aprimoramento e tem demonstrado um grande potencial para mudar o modelo produtivo atual, possibilitando a construção de itens, estruturas, dispositivos e objetos customizados - que apresentam diferentes geometrias, e para os quais as técnicas de fabricação padrão não seriam indicadas, a fim de facilitar o processo de construção. Pinheiro (2018) pesquisou os custos dos processos de impressão 3D no Brasil. Ao final do estudo, concluíram que a tecnologia de impressão 3D apresenta um aumento constante em todo o mundo, embora em países como o Brasil enfrente os altos custos das impressoras comerciais. Assim, este estudo é importante para mostrar que é possível realizar um projeto de baixo custo e fácil execução.

2.2 MANUFATURA ADITIVA E IMPRESSÃO 3D

No contexto da manufatura e indústria, a Manufatura Aditiva (AM - *Additive Manufacturing*) é uma técnica que cria objetos tridimensionais, formando-os camada por camada a partir de material fundido. Esse processo emprega uma diversidade de métodos, proporcionando ampla versatilidade na produção. Por outro lado, a impressão 3D é frequentemente associada a equipamentos de mesa, comumente baseados em filamentos, e é amplamente adotada entre a comunidade de fabricantes de consumidores. As impressoras 3D de mesa permitem uma produção rápida e acessível, facilitando a experimentação e a customização dos produtos finais. É importante ressaltar que AM não constitui uma única tecnologia, na verdade, é um grande termo que abrange muitos tipos de tecnologias distintas que se encaixam, notadamente Estereolitografia (SLA - *Stereolithography*), Sinterização Seletiva a Laser (SLS - *Selective Laser Sintering*) e Modelagem de Deposição Fundida (FDM - *Fused Deposition Modeling* -). A principal diferença entre essas tecnologias está na técnica em que as camadas são depositadas para formar as peças e nos materiais que são utilizados (CUNICO, 2015).

A tecnologia de SLA foi a precursora na manufatura aditiva. Neste processo, uma resina fotopolimérica é seletivamente solidificada pela incidência de Luz Ultravioleta (UV), o que permite a formação do objeto pretendido, camada por camada. Este método cuidadosamente controlado resulta na produção de peças detalhadas e de alta precisão. Os materiais usados no SLA são resinas que vêm na forma líquida e pode ser curado através da exposição à luz UV. Essas impressoras SLA são capazes de criar peças com resolução muito mais fina de forma que as camadas são quase invisíveis aos olhos humanos – especialmente quando comparadas a outros métodos de impressão, como FDM. No entanto, os plásticos produzidos são instáveis aos raios UV e provavelmente não são adequados para aplicações externas com exposição extrema à luz. Além disso, as resinas foto curáveis, que também são higroscópicas; isso significa que eles irão absorver água, descolorir e distorcer ao longo do tempo, tornando-as inadequados para aplicações em aparelhos como máquinas de lavar e lavalouças. Por essas razões, os objetos de foto polímeros SLA são excelentes para aplicações de prototipagem e padrão mestre nos estágios iniciais de produção, mas seu efeito na produção final de peças permanentes ainda não foi visto (LACERDA *et al.*, 2020).

A Sinterização Seletiva a Laser (SLS) é uma tecnologia que se assemelha à SLA, porém, ao invés de utilizar resina foto polimérica, faz uso de pó metálico. Esta diferença permite a produção de objetos com propriedades mecânicas específicas, que variam conforme o tipo de metal utilizado. Estas propriedades podem incluir resistência à tração, dureza, ductilidade, resistência ao impacto e ao calor, além de características específicas de resistência à corrosão e desgaste. Assim, a tecnologia SLS oferece a capacidade de criar peças metálicas complexas e robustas, expandindo o alcance da manufatura aditiva para aplicações industriais mais exigentes. Em uma máquina SLS, um laser sintetiza o pó de metal camada por camada para que as partículas de metal sejam aquecidas e fundidas em um padrão sólido conectado. Os materiais usados no SLS cobrem uma grande variedade de metais e ligas metálicas, incluindo alumínio, aço inoxidável, cromo cobalto e Inconel (Níquel-Cromo) (COELHO; DARONCH, 2018).

Em uma máquina de *Fused Deposition Modeling* (FDM), o termoplástico na forma sólida é conduzido a um cabeçote térmico chamado bocal, que derrete o material para a forma líquida e então o deposita em uma superfície de construção em locais pré-determinados. As camadas extrudadas de plástico líquido se fundem rapidamente à medida que a temperatura esfria, e outra camada é colada em cima das previamente depositadas para repetir o processo até que o objeto tridimensional seja construído. O tamanho de construção de uma máquina FDM de mesa é tipicamente 200 x 200 x 200 mm e a precisão dimensional é relativamente baixa em

0,2 mm. Em comparação, a SLA podem oferecer impressão de resolução mais alta, mas FDM é a tecnologia de impressão 3D mais utilizada entre a família AM devido à simplicidade no mecanismo e materiais baratos envolvidos (ANDRADE *et al.*, 2018).

Fundamentalmente, todas as impressoras 3D possuem um mesmo processo para que um modelo digital da peça se torne um objeto físico. O processo começa com um programa de modelagem de Desenho Assistido por Computador (CAD - *Computer-Aided Design*). O CAD é um programa que permite aos engenheiros, arquitetos e designers desenhar e modelar objetos em três dimensões com alta precisão. Este programa é amplamente utilizado em muitos campos, incluindo a engenharia, a arquitetura e a indústria de manufatura. Após a conclusão do design, o projeto é então exportado no formato de arquivo *STereoLithography* (STL), que é um tipo de arquivo comumente usados para impressão 3D, pois contém todas as informações necessárias para reproduzir o objeto tridimensionalmente (SZYKIEDANS; CREDO, 2016).

O primeiro passo poderia ser também reservar produtos de engenharia com a ajuda de um scanner 3D ou Fotogrametria. O modelo de um arquivo STL é então processado por um software chamado *slicer*, que converte o modelo geométrico em uma matriz de camadas finas e contém instruções de trajetória para mover a impressora em um arquivo de código G (SZYKIEDANS; CREDO, 2016).

As informações no arquivo de código G são essencialmente adaptadas ao tipo específico de máquina AM e orientam com precisão a máquina onde depositar o material na superfície de construção. A próxima etapa é transferir o arquivo de código G para a máquina AM e manipular as configurações da máquina para obter o resultado ideal. Os parâmetros de configuração da máquina são importantes para equilibrar a qualidade da peça e a velocidade de produção. Após o projeto e a preparação do objeto, o processo de impressão é executado de forma totalmente automática, envolvendo calibração de altura, deposição de material, formação de camadas, até que a forma final seja alcançada ou não reste nenhum material (PINHEIRO *et al.*, 2018).

Nessa linha destaca-se o código Marlin, que é um *firmware* de código aberto amplamente utilizado em impressoras 3D e máquinas de Controle Numérico Computadorizado (CNC). *Firmware* é um código incorporado que controla e gerencia as funcionalidades básicas de *hardware* de um dispositivo. No contexto de impressoras 3D, o *firmware* Marlin gerencia operações como controle de movimento, aquecimento de extrusora, controle de temperatura, leitura de sensores e muito mais. Desenvolvido inicialmente para a plataforma de microcontroladores Arduino, o Marlin é capaz de controlar uma ampla gama de componentes de hardware utilizados em impressoras 3D. Ele interpreta os comandos G-Code, uma linguagem de programação que direciona os movimentos precisos da impressora 3D, e os converte em sinais de controle para os motores, aquecedores e outros componentes da impressora (ALMEIDA; SORRENTINO; NUNES, 2019).

O Marlin também oferece uma variedade de recursos avançados, incluindo suporte para múltiplas extrusoras, pausa e retomada de impressões, compensação de nivelamento de cama e muito mais. Além disso, como é um projeto de código aberto, ele tem uma comunidade ativa de desenvolvedores e usuários que contribuem constantemente com melhorias e novos recursos (KUHN *et al.*, 2019).

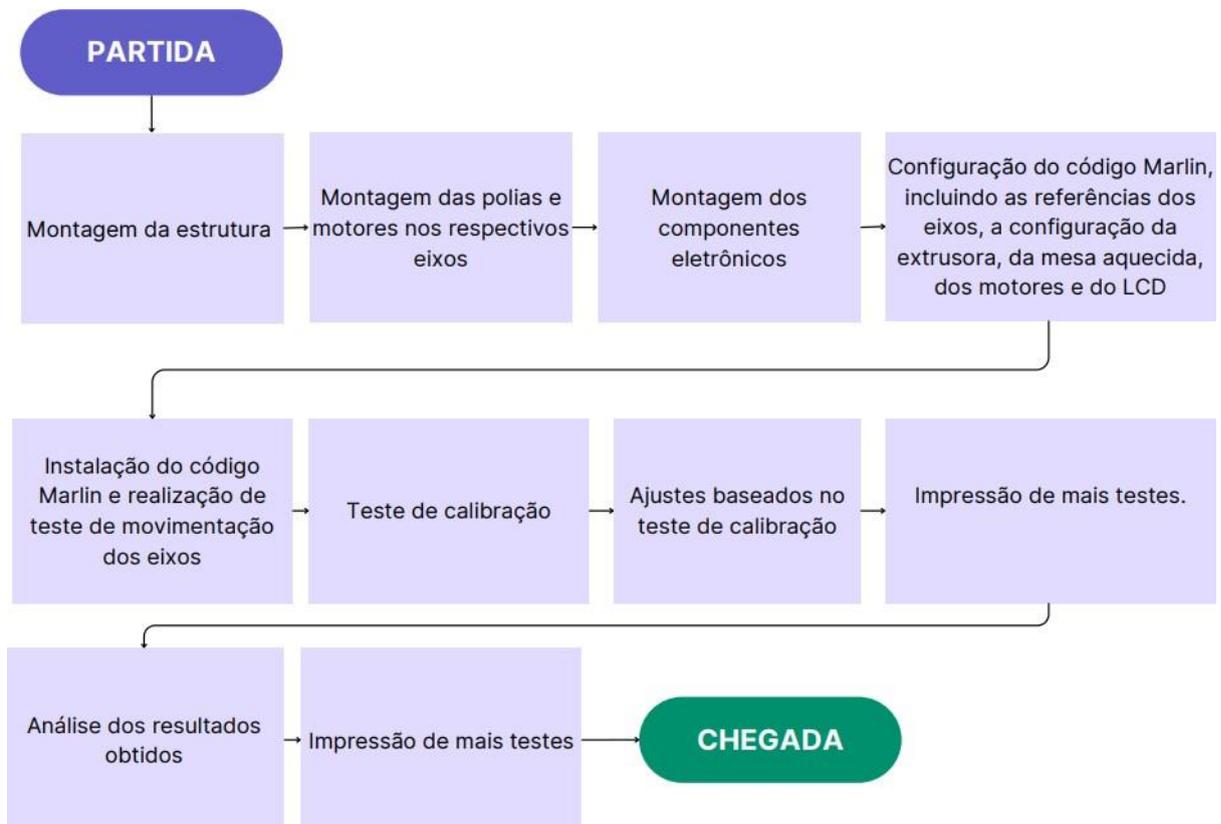
3 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do protótipo foi realizado nas dependências do Centro Tecnológico da Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, situada na cidade de Goianésia-GO, onde foram utilizados os maquinários dos laboratórios voltados para o curso de Engenharia Mecânica conforme necessidade do projeto.

Para o desenvolvimento do projeto foi utilizado o programa de computador *Repetier*, que é gratuito e *open source*. Este programa permitiu, por meio de uma peça já projetada, determinar os parâmetros de impressão, como quantidade de camadas, diâmetro da camada, entre outros. Além disso, foi utilizado o programa *SolidWorks* para modelar peças a serem produzidas pela impressora. Esse software podia ser usado gratuitamente a partir de uma licença de estudante com validade de um ano.

O primeiro passo foi realizar um levantamento dos materiais necessários para a construção do protótipo, considerando que a máquina produz peças com dimensões máximas de 180 mm x 180 mm. A literatura forneceu uma base sólida de quais componentes eram necessários para a construção dos modelos em suas diferentes configurações para atender diversas finalidades. Após a aquisição das peças, o protótipo foi montado e configurado seguindo as etapas demonstradas na Figura 2.

Figura 2 – Processo de construção do protótipo



Fonte: Próprio autor (2023).

- Montagem da estrutura: Esta etapa é uma das primeiras a serem realizadas e consiste na construção da base da impressora. É importante que a estrutura seja

firme e estável para suportar o peso dos componentes e evitar vibrações que possam afetar a qualidade das impressões.

- Montagem das polias e motores nos respectivos eixos: Nesta etapa, as polias e os motores são montados nos eixos correspondentes. É importante que as polias estejam bem presas para evitar que escorreguem durante a impressão e comprometam a qualidade do produto final.
- Montagem dos componentes eletrônicos: Nesta etapa, os componentes eletrônicos são instalados, incluindo o Arduino, o driver do motor, a placa Ramps e o LCD. É importante seguir as instruções do manual para garantir a correta instalação dos componentes e evitar problemas de conexão.
- Configuração do código Marlin: O código Marlin é responsável por controlar os movimentos dos motores e a temperatura da mesa aquecida e da extrusora. Nesta etapa, é feita a configuração do código, incluindo as referências dos eixos, a configuração da extrusora, da mesa aquecida, dos motores e do LCD.
- Instalação do código Marlin e realização de teste de movimentação dos eixos: Após a configuração do código Marlin, ele é instalado na placa. É realizada uma verificação dos movimentos dos eixos para garantir que a impressora esteja funcionando corretamente.
- Impressão de testes: Nesta etapa, são realizadas impressões de teste para avaliar a qualidade da impressão e identificar possíveis problemas.
- Ajustes baseados na impressão realizada: Com base nos resultados das impressões de teste, são realizados ajustes na impressora para melhorar a qualidade das impressões.
- Impressão de mais testes: Após os ajustes, são realizadas novas impressões de teste para verificar se as melhorias foram efetivas.
- Análise dos resultados obtidos: Nesta etapa, são avaliados os resultados das impressões de teste e a qualidade final do produto.
- Impressão de mais testes: Se necessário, novas impressões de teste são realizadas para verificar se todos os problemas foram resolvidos e se a qualidade da impressão está adequada.

A construção de uma impressora 3D começa estabelecendo sua estrutura, o esqueleto sobre o qual todo o sistema é montado. Esta deve ser sólida e estável para acomodar o peso dos componentes e minimizar vibrações que possam afetar a qualidade da impressão. Após essa fase, é a vez de instalar as polias e motores nos eixos designados. Esta é uma tarefa crucial, já que polias firmemente fixadas são essenciais para prevenir deslizamentos que possam comprometer a qualidade do objeto impresso.

Focando especificamente na montagem da estrutura em MDF, destaca-se que a mesma foi meticulosamente construída com ênfase na sua robustez e resistência, objetivando garantir a durabilidade e a capacidade de suportar os componentes durante o funcionamento da impressora (Figura 3).

Figura 3 – Estrutura montada em MDF

Fonte: Próprio autor (2023).

Após a conclusão da montagem da estrutura em MDF, os demais componentes, incluindo os eixos, rolamentos, motores de passo, mesa aquecida e extrusora, foram devidamente instalados. Cada um desses elementos passou por um cuidadoso ajuste e posicionamento estratégico dentro da estrutura, levando em consideração critérios como precisão, estabilidade e desempenho (Figura 4).

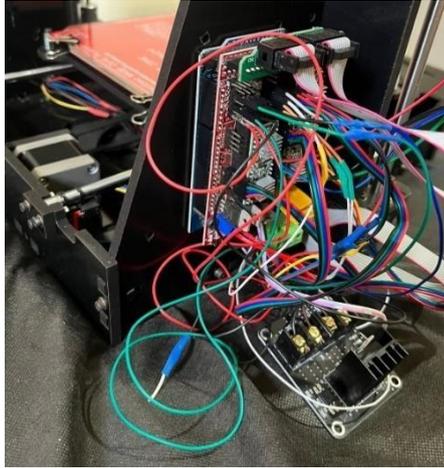
Figura 4 – Componentes instalados na estrutura de MDF.

Fonte: Próprio autor (2023).

A instalação da parte eletrônica exigiu atenção especial para garantir a correta conexão e configuração dos componentes envolvidos. A placa Ramps, em conjunto com o Arduino, desempenha um papel crucial no controle e coordenação dos diversos aspectos da impressora. A Figura 5 apresenta uma representação visual precisa, ilustrando a posição e a interconexão desses componentes essenciais.

A plataforma de aquecimento da impressora possui uma capacidade teórica para impressões de até 200 mm x 200 mm x 200 mm. No entanto, com uma visão orientada para a segurança e o cuidado com a precisão das impressões, optamos por calibrar nosso protótipo para imprimir em dimensões máximas de 180 mm x 180 mm x 180 mm. Essa decisão permitiu uma margem adicional de manobra, garantindo uma performance mais consistente e segura ao longo do processo de impressão.

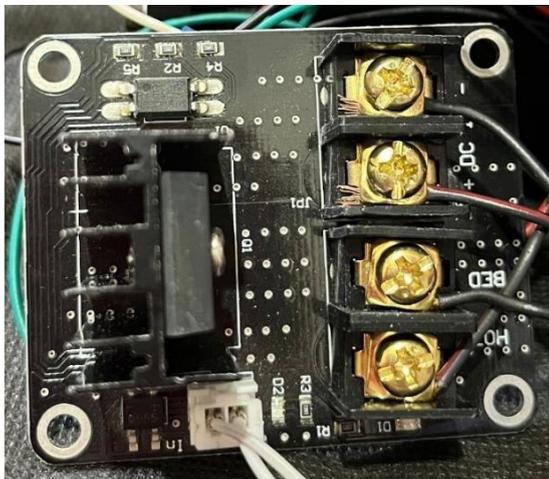
Figura 5 – Montagem dos componentes eletrônicos.



Fonte: Próprio autor (2023).

O próximo passo crucial consistiu na conexão do módulo de expansão de energia da mesa aquecida, conforme ilustrado na Figura 6. Esse módulo desempenha um papel fundamental no sistema, sendo responsável por fornecer a energia necessária para aquecer a mesa de impressão. Essa funcionalidade é essencial em uma impressora 3D de baixo custo, pois permite a utilização de materiais como Biopolímero Ácido Polilático (PLA) e Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), que requerem uma mesa aquecida para obter uma melhor aderência e estabilidade durante o processo de impressão. A correta conexão desse módulo garante o funcionamento adequado da mesa aquecida, possibilitando a impressão de peças com qualidade e precisão.

Figura 6 – Módulo de expansão de energia da mesa aquecida montado.



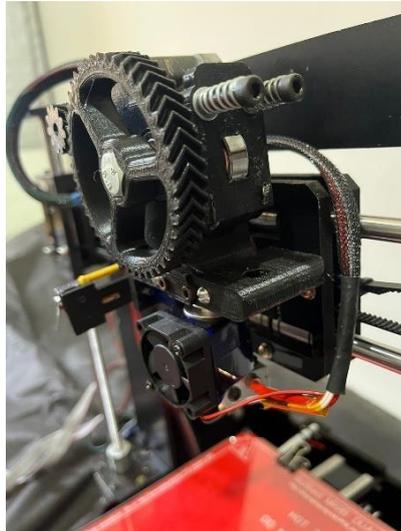
Fonte: Próprio autor (2023).

O módulo de expansão também requer conexão aos componentes eletrônicos, como a placa Ramps e o Arduino, responsáveis pelo controle e coordenação de todos os aspectos da impressora. A integração adequada desses componentes é fundamental para sincronizar corretamente os sinais elétricos e garantir uma comunicação eficiente entre os diferentes elementos do sistema.

O próximo passo consistiu na realização do nivelamento automático da impressora 3D. O nivelamento automático desempenha um papel crucial no processo de impressão, trazendo diversos benefícios para a qualidade e precisão dos resultados finais. Um nivelamento inadequado pode resultar em problemas como camadas com aderência deficiente, peças distorcidas, falhas na impressão e até mesmo danos ao bico extrusor. Tais problemas podem comprometer a qualidade da impressão e resultar em desperdício de material e tempo.

Em seguida, a extrusora foi acoplada ao conjunto. A extrusora desempenha um papel fundamental no processo, sendo responsável por alimentar o filamento de material termoplástico para a impressão. Ela é encarregada de derreter o material e depositá-lo em camadas sucessivas, construindo a peça tridimensional. A extrusora é composta principalmente por um motor de passo que aciona um parafuso sem fim, conhecido como *hobbed bolt* ou *hobbed gear*. O filamento de material é inserido na extrusora e guiado até o parafuso sem fim. Conforme o parafuso gira, ele puxa o filamento, conduzindo-o para dentro da câmara de aquecimento (Figura 7).

Figura 7 – Montagem da extrusora no conjunto da impressora 3D



Fonte: Próprio autor (2023).

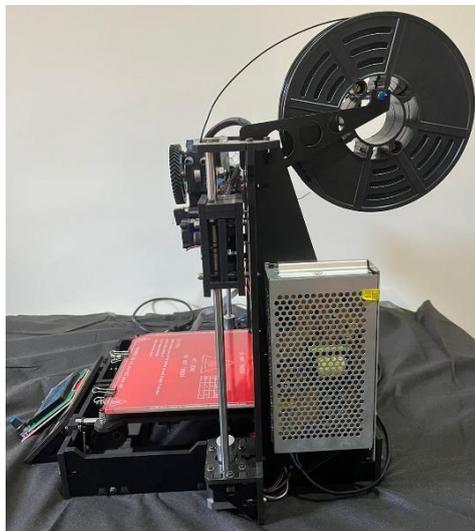
A montagem da extrusora na impressora 3D envolve uma série de aspectos críticos que são fundamentais para garantir o seu correto funcionamento e desempenho durante o processo de impressão. Destacam-se os aspectos essenciais que foram cuidadosamente considerados na montagem da extrusora:

- **Posicionamento e alinhamento:** A extrusora deve ser devidamente posicionada e alinhada em relação à estrutura da impressora 3D. Isso envolve fixar a extrusora no local apropriado, garantindo que esteja nivelada e alinhada com a mesa de impressão.

- Instalação do motor de passo: O motor de passo, responsável por acionar o parafuso sem fim da extrusora, deve ser corretamente instalado e conectado. Certifique-se de seguir as instruções específicas do fabricante em relação à orientação e fixação do motor de passo.
- Ajuste da tensão do filamento: É importante ajustar a tensão correta do filamento na extrusora. Isso envolve garantir que haja uma pressão adequada para que o filamento seja alimentado suavemente, sem causar entupimentos ou alimentação excessiva.
- Configuração da temperatura: A extrusora possui uma câmara de aquecimento para derreter o filamento. Certifique-se de configurar a temperatura correta, de acordo com as especificações do material utilizado, para garantir uma fusão adequada e consistente.
- Verificação da alimentação do filamento: Verificar se o filamento está corretamente alimentado na extrusora e se não há obstruções ou enrolamentos que possam impedir a alimentação suave e constante do material.
- Ajuste do bico (nozzle): O bico da extrusora deve ser devidamente ajustado em relação à mesa de impressão. Isso envolve garantir uma distância adequada entre o bico e a superfície da mesa, para permitir uma deposição precisa e aderência adequada do material.
- Calibração do fluxo de material: Durante o processo de montagem da extrusora, é importante calibrar o fluxo de material para garantir que a quantidade adequada de filamento seja extrudada durante a impressão. Isso pode envolver ajustes nas configurações de fluxo ou de taxa de alimentação do filamento no software de controle da impressora.

A Figura 8 mostra a montagem da fonte chaveada no protótipo. A função da fonte chaveada em uma impressora 3D é fornecer a corrente elétrica necessária para alimentar todos os componentes do sistema. Uma impressora 3D requer uma fonte de alimentação capaz de suprir energia para diversos elementos, como a placa controladora, os motores de passo, a extrusora, a mesa aquecida e outros componentes eletrônicos.

Figura 8 - Montagem da fonte chaveada no protótipo.



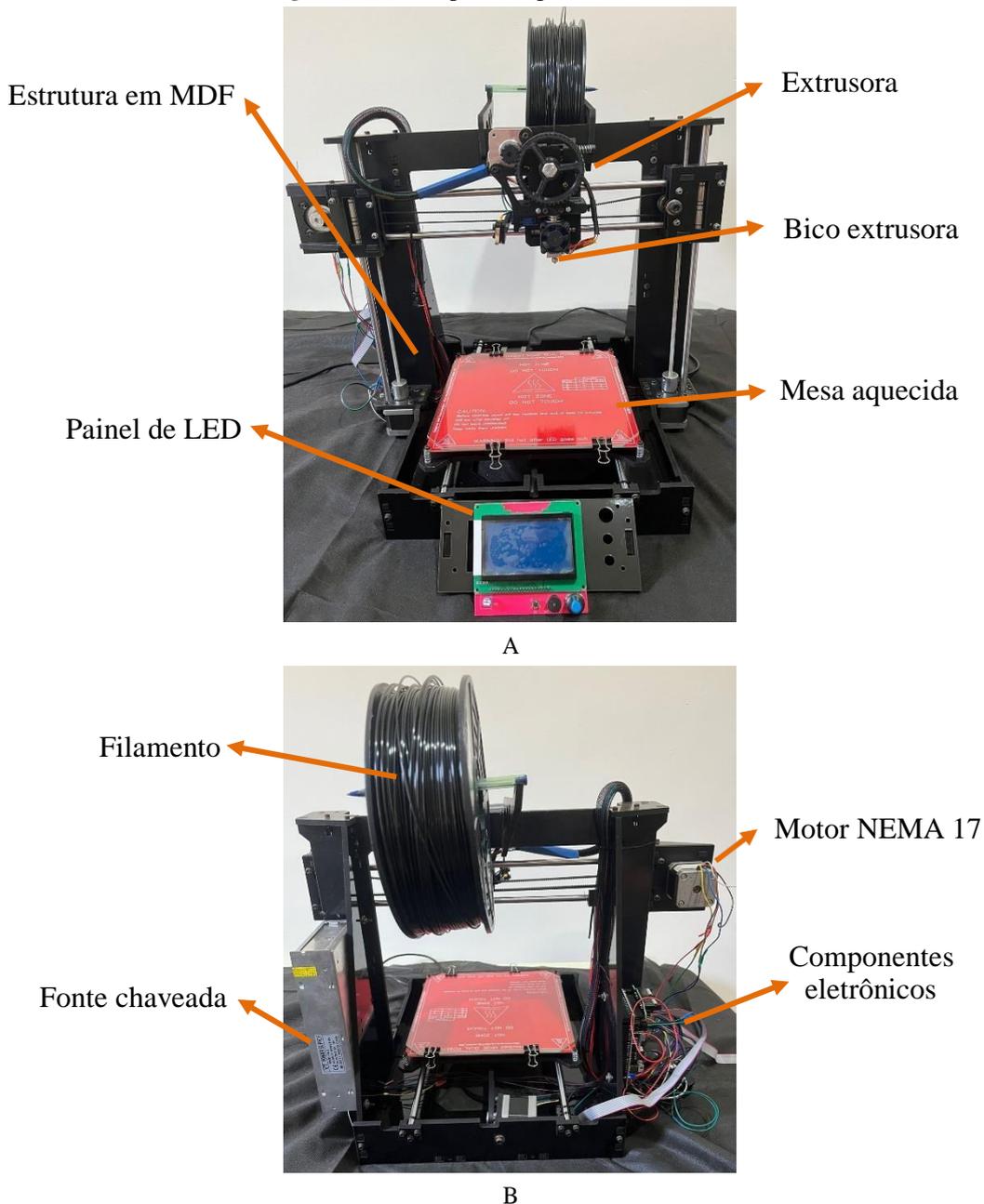
Fonte: Próprio autor (2023).

A refrigeração da fonte chaveada deve ser considerada como um aspecto importante durante a montagem. É essencial garantir que a fonte esteja posicionada em um local bem ventilado, livre de obstruções ao seu redor. Essa prática auxiliará na manutenção da temperatura da fonte dentro de limites seguros, assegurando um desempenho estável.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao finalizar todas as etapas mencionadas, foi obtida uma impressora 3D completa e robusta, conforme ilustrado na Figura 9. A montagem da impressora foi realizada de acordo com um conjunto de etapas cuidadosamente definidas, que abrangem desde a construção da estrutura física em MDF até a instalação precisa dos componentes eletrônicos.

Figura 9 – Protótipo de impressora 3D montada.



Fonte: Próprio autor (2023).

A Tabela 1 apresenta uma lista dos materiais utilizados durante a montagem da impressora 3D, incluindo os componentes e suas respectivas quantidades. A seleção desses materiais levou em consideração critérios como desempenho, durabilidade e disponibilidade, visando garantir a funcionalidade e qualidade da impressora.

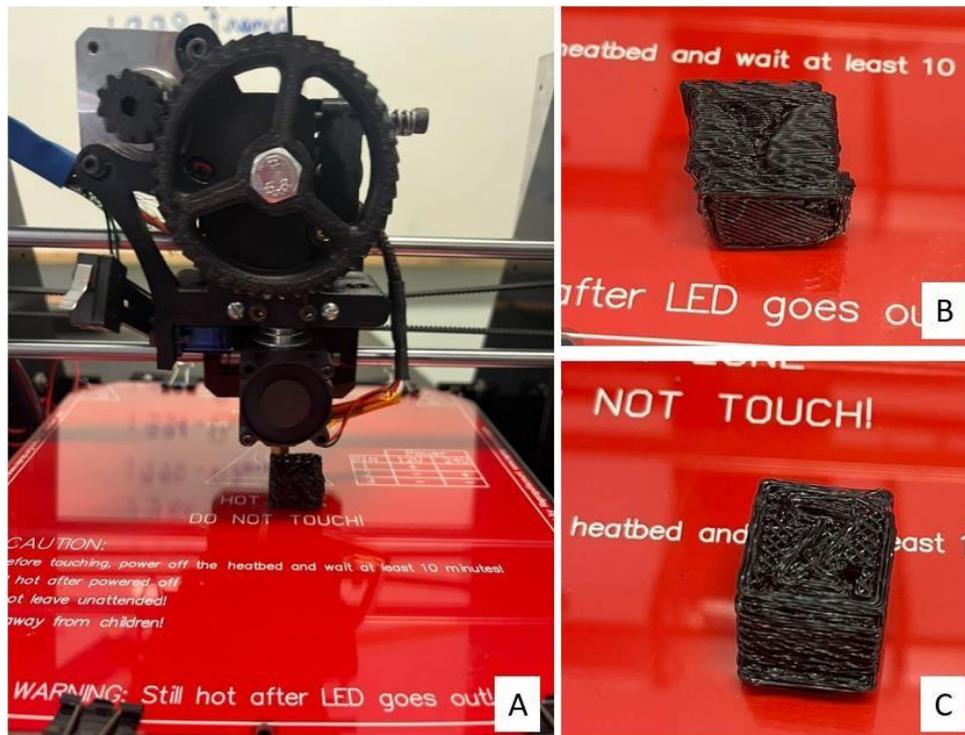
Tabela 1 – Lista de materiais utilizados.

Componente	Quantidade	Valor
Kit eletrônica	01	R\$ 320,00
Mesa Aquecida MK2B	01	R\$ 108,00
Hotend E3D 1,75mm com cooler e tubo de teflon	01	R\$ 100,00
Kit polias + 1 metro de correia	02	R\$ 74,00
Kit motores NEMA 17 4KgFm	05	R\$ 142,00
Fonte chaveada	01	R\$ 85,00
Kit Estrutura MDF 6 mm Completa	01	R\$ 390,00
Eixos 8mm H7 retificado	06	R\$ 100,00
Barras enroscadas M5 X 300mm (eixo Z)	02	R\$ 60,00
Kit com todos os parafusos, porcas e arruelas inox	01	R\$ 40,00
Rolamentos LM8UU	11	R\$ 25,00
Rolamentos 608zz	02	R\$ 10,00
Suporte para a extrusora	01	R\$ 30,00
Molas para a mesa aquecida	04	R\$ 16,00
	Total:	R\$ 1500,00

Fonte: Próprio autor (2023).

Após a conclusão da montagem do protótipo, a etapa subsequente foi a impressão de uma peça. Foi selecionado o objeto de geometria básica: um pequeno cubo, devido à sua forma uniforme e familiar, serve como exemplo para demonstrar a capacidade da impressora em produzir precisão nas arestas, ângulos retos e uma superfície uniforme e lisa. A Figura 10, apresentada o cubo sendo impresso, evidenciando o potencial dessa tecnologia para a fabricação de peças de diversos tamanhos e complexidades.

Figura 10 – Impressora em funcionamento.



A - Impressão do cubo; B – Visão inferior do cubo impresso; C – Visão superior do cubo impresso.

Fonte: Próprio autor (2023).

O período necessário para completar a impressão da peça foi de 13 minutos e 26 segundos. A peça impressa apresentou dimensões de 20 milímetros, sendo produzida com um filamento com resolução de 0,1 milímetros. Ao avaliar o resultado do processo de impressão 3D, Figura 10B e Figura 10C, é possível observar que o cubo foi efetivamente impresso, demonstrando a capacidade da impressora de criar objetos tridimensionais a partir de um modelo digital. No entanto, ao analisar o objeto impresso com mais detalhes, identificou-se pequenas imperfeições relacionadas à precisão na reprodução das dimensões exatas do cubo.

Embora essas imperfeições observadas não prejudiquem a estrutura geral do cubo, o que significa que a impressora é capaz de reproduzir a forma básica corretamente, elas sugerem potenciais desafios que a máquina pode encontrar ao tentar replicar detalhes extremamente precisos ou características intrincadas em uma escala reduzida. Em outras palavras, a presença dessas falhas sugere que, ao lidar com designs mais complexos e detalhados, especialmente aqueles que exigem alta precisão em pequenas dimensões, a impressora pode não conseguir atingir o nível de fidelidade ao original desejado. Portanto, é importante ter isso em mente ao considerar aplicações que exigem alta precisão e detalhamento nas impressões.

Apesar das limitações mencionadas, o experimento permite inferir informações importantes sobre o potencial e as capacidades dessa impressora 3D. No contexto da criação de objetos pequenos e de estrutura simples, como o cubo impresso, a máquina demonstra eficácia, apresentando um nível aceitável de precisão e atendendo ao propósito inicial. É relevante ressaltar que essa impressora pode não ser adequada para tarefas que exijam uma precisão extremamente alta ou para a reprodução de estruturas muito complexas. No entanto, para aplicações mais simples e diretas, a impressora desempenha satisfatoriamente sua função que fora designada.

A capacidade eficiente de impressão de pequenas peças é uma característica crucial dessa impressora, possibilitando sua utilização para diversas finalidades, incluindo a fabricação de elementos de máquinas em menor escala. Esse aspecto é particularmente relevante no contexto do desenvolvimento de impressoras 3D de baixo custo, pois permite a fabricação de componentes personalizados sem a necessidade de grandes investimentos ou processos complexos de fabricação tradicionais. Essa capacidade oferece vantagens significativas para a indústria, prototipagem rápida e até mesmo para uso doméstico.

A fabricação econômica de pequenos elementos de máquinas proporciona a oportunidade de realizar testes e experimentos antes da produção em larga escala. Isso permite otimizar o design, identificar possíveis melhorias e ajustar as especificações conforme necessário, de maneira ágil e acessível. Esse benefício é especialmente relevante para empresas de pequeno porte e startups, que podem reduzir custos e acelerar o desenvolvimento de produtos.

A economia gerada pela montagem desta impressora 3D em comparação a um modelo similar disponível no mercado é um aspecto de extrema relevância neste estudo. A Tabela 2 apresenta essa comparação de valores, evidenciando uma economia substancial de R\$ 1500,00 ao optar pela montagem da impressora em casa, em vez de adquirir um modelo pronto no mercado. Essa economia alcançada ressalta uma vantagem significativa da montagem autônoma da impressora 3D, permitindo uma redução considerável nos custos em relação à compra de um modelo comercializado.

Tabela 2 – Custo da impressora desenvolvida x custo de um modelo similar no varejo.

Impressora	Valor
Protótipo de impressora 3D desenvolvida	R\$ 1500,00
Modelo de impressora 3D similar disponível no mercado	R\$ 3000,00
Economia:	R\$ 1500,00

Fonte: Próprio autor (2023).

As impressoras 3D com valores acima de R\$3000,00 são caracterizadas por possuírem características superiores, quando comparadas aos modelos mais acessíveis. Normalmente, elas proporcionam uma resolução de impressão mais alta, podendo atingir até 20 micrômetros ou menos, o que garante impressões com superfícies mais lisas e detalhes mais finos.

Além disso, essas impressoras também se destacam pelo volume de construção maior, permitindo a criação de peças de maiores dimensões ou a impressão simultânea de várias peças menores. Outro diferencial é a compatibilidade com uma variedade maior de materiais de impressão. Enquanto modelos mais baratos costumam trabalhar com PLA e ABS, essas impressoras conseguem trabalhar com materiais como nylon, PETG, TPU (flexível), e até com filamentos compostos que imitam madeira e metal. Algumas ainda têm suporte para a impressão de resina, que permite obter detalhes ultrafinos. Essas impressoras 3D também contam com recursos avançados, como auto nivelamento da cama de impressão, troca de filamento durante a impressão, retomada de impressão após falta de energia e conectividade Wi-Fi para controle remoto e monitoramento. Sua construção é robusta e durável, com estruturas muitas vezes feitas de metal.

É importante ressaltar que essa economia financeira está intrinsecamente relacionada a outros fatores a serem considerados. A montagem autônoma da impressora 3D requer habilidades técnicas e conhecimento para lidar com os diversos componentes eletrônicos, mecânicos e de software envolvidos no processo. Além disso, podem surgir desafios adicionais,

como a necessidade de calibração e ajustes precisos para alcançar resultados de impressão desejados.

A aquisição de um modelo comercializado oferece a vantagem da conveniência e do suporte técnico fornecido pelo fabricante. Esses modelos geralmente vêm acompanhados de garantias, assistência técnica e configurações pré-definidas, tornando a experiência de impressão mais simples e acessível, especialmente para iniciantes no campo da impressão 3D.

A decisão entre montar uma impressora 3D em casa ou adquirir um modelo comercializado depende das necessidades individuais, habilidades técnicas, orçamento disponível e preferências pessoais. A análise da tabela 2 ressalta a economia financeira como um fator considerável, mas é essencial ponderar todos os aspectos relevantes ao tomar essa decisão.

5 CONCLUSÕES

A meta de desenvolver um protótipo de uma impressora 3D de baixo custo, apta para a produção de componentes para uma gama diversificada de propósitos, foi alcançada de maneira bem-sucedida. A escolha e utilização dos componentes listados na tabela culminou em uma economia significativa de recursos financeiros, atingindo a cifra de R\$ 1500,00. Tal abordagem emerge como uma solução custo-efetiva e viável para a produção de peças em contextos variados.

A eficácia da impressora 3D econômica ficou evidenciada nos testes realizados, nos quais foi possível observar a qualidade satisfatória das peças produzidas, demonstrando que os objetivos propostos foram atingidos. Ao ponderar sobre a montagem de uma impressora 3D de custo reduzido, é essencial levar em consideração a necessidade de habilidades técnicas específicas e o enfrentamento de desafios adicionais como a calibragem precisa e ajustes refinados do sistema. Contudo, com um planejamento adequado e a observância de orientações precisas, é viável obter um equipamento funcional e de qualidade com um investimento menor.

A criação de uma impressora 3D de baixo custo representa uma alternativa promissora para explorar as possibilidades da impressão 3D de maneira acessível. Isso viabiliza a fabricação de peças personalizadas, a prototipagem rápida e estimula a inovação em múltiplas áreas.

Projetos futuros poderiam focar na otimização de desempenho do protótipo, melhorando aspectos como velocidade de impressão e resolução. Além disso, a análise de erros durante a impressão e o estudo de soluções para estes problemas podem contribuir para o avanço deste campo e a democratização da tecnologia de impressão 3D.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Maria Valéria L. da C.; SORRENTINO, Taciano Amaral; NUNES, Antônio Gomes. Projeto de uma impressora 3d de baixo custo utilizando o Arduino mega 2560. **Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica**, v. 1, n. 1, p. 133-145, 2019.
- ANDRADE, M. M. et al. Desenvolvimento de uma impressora 3D de baixo custo para a construção de ferramentas e protótipos. **Episteme Transversalis**, v. 10, n. 2, 2019.
- CRUA, J.; BROWN, N. Open-source 3D-printing technologies for education: Bringing additive manufacturing to the classroom. **3D Printing and Additive Manufacturing**, 5(1), pp. 3-7, 2018.
- CUNICO, M. W. M. **Impressoras 3D: o novo meio produtivo**. Concep3d Pesquisas Científicas, 2015.
- KUHN, Rodrigo Da Silva et al. A construção colaborativa de uma impressora 3D para replicar o conhecimento dentro de um espaço maker. In: **IX Mostra Científica**. 2019.
- LACERDA, T. F. et al. Aplicabilidade da impressora 3D na prática médica contemporânea. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 1, p. 620-625, 2020.
- MEIGS, A.; STONE, R. B.; WOOD, K. L. The role of open-source hardware in scientific instrumentation. **Mechatronics**, 46, pp. 1-9, 2017.
- PINHEIRO, C. M. P. et al. Impressoras 3D: uma mudança na dinâmica do consumo. **Signos do Consumo**, v. 10, n. 1, p. 15-22, 2018.
- SOLTAN, A.; OMONDI, B. Evaluation of Open-Source 3D Printing Platforms for Rapid Prototyping. **Journal of Mechanical Design**, 141(10), 2019.
- SZYKIEDANS, K.; CREDO, W. Mechanical properties of FDM and SLA low-cost 3-D prints. **Procedia Engineering**, v. 136, p. 257-262, 2016.
- YAMPOLSKIY, M. et al. Using 3D printers as weapons. **International Journal of Critical Infrastructure Protection**, v. 14, p. 58-71, 2016.
- ZUCCA, R. et al. **Estudo da viabilidade do uso de prototipagem rápida 3D em processos produtivos no meio rural**. Enciclopédia Biosfera, v. 15, n. 28, 2018.