

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO BERNARDO DO CAMPO
“ADIB MOISÉS DIB”**

**CAIQUE AUGUSTO RIBEIRO PENHA
LUIS HENRIQUE PIRES TSUJINO
MATHEUS ALMEIDA RIBEIRO**

**CONSTRUÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA DE IMPRESSÃO
TRIDIMENSIONAL**

São Bernardo do Campo - SP
Junho/2018

**CAIQUE AUGUSTO RIBEIRO PENHA
LUIS HENRIQUE PIRES TSUJINO
MATHEUS ALMEIDA RIBEIRO**

**CONSTRUÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA DE IMPRESSÃO
TRIDIMENSIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Tecnologia
de São Bernardo do Campo “Adib Moises
Dib” como requisito parcial para a
obtenção do título de Tecnólogo em
Automação Industrial.

Orientador: Prof. Me. Sergio Luiz Volpiano
Coorientador: Prof. Dr. Delcínio Ricci

São Bernardo do Campo - SP
Junho/2018

**CAIQUE AUGUSTO RIBEIRO PENHA
LUIS HENRIQUE PIRES TSUJINO
MATHEUS ALMEIDA RIBEIRO**

**CONSTRUÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA DE IMPRESSÃO
TRIDIMENSIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Tecnologia
de São Bernardo do Campo “Adib Moises
Dib” como requisito parcial para a
obtenção do título de Tecnólogo em
Automação Industrial.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em:

Banca Examinadora:

Prof. Me. Sergio Luiz Volpiano, FATEC SBC - Orientador

Prof. Professor Avaliador– Avaliador

Prof. Professor Avaliador– Avaliador

Dedicamos esse trabalho aos nossos familiares, a todos os docentes que compartilharam seus conhecimentos e aos amigos da Fatec que em diversos momentos contribuíram com ideias e experiências.

Agradecemos aos professores Me. Sergio Luiz Volpiano e Dr. Delcínio Ricci pela ajuda durante a elaboração deste trabalho. Agrademos a Fatec pelas ferramentas e espaço cedido para tornar possível o desenvolvimento de nosso projeto.

“Deixe o futuro dizer a verdade, e avaliar cada um de acordo com seus trabalhos e suas conquistas.”

Nikola Tesla

RESUMO

Este projeto refere-se à elaboração de um equipamento em ascensão no mercado, que se intitula Construção e Desenvolvimento de uma Máquina de Impressão Tridimensional. Tem como objetivo proporcionar a confecção de objetos em 3D, semelhantemente a outros dispositivos que possuem a mesma função. Esta capacidade de imprimir peças em 3D, permite ao equipamento ser muito utilizado em diversos setores de atuação, como: biomedicina, construção civil e indústria automobilística. Como é um equipamento de baixo custo, sua aplicação torna-se cada vez maior e permite sua ampliação, de acordo com as necessidades de cada cliente. Para desenvolvê-lo, houve a necessidade de fazer pesquisas científicas sobre tipos de impressão em 3D, matéria-prima a ser utilizada no processo de fabricação, placa Arduino, *drivers A4988*, *Shield Ramps 1.4*, termistores de aquecimento da mesa e extrusor, acionamentos de motores de passo. Para ratificar suas funções e a capacidade de atuar nos setores abordados, foi construído um protótipo, utilizando suportes em ABS, barras roscadas de ferro, guias e rolamentos lineares, motores de passo, correias e acoplamentos dentados. Possui também circuitos eletroeletrônicos para realizar os devidos acionamentos a partir dos comandos de um Arduino Mega 2560, programado para executar as funções projetadas. O processo de impressão do objeto é monitorado pelo *software* Repetier, que permite mostrar com detalhes, o procedimento a ser executado, como também faz o controle de temperatura pelos termistores.

Palavras-chave: Impressão 3D. Microcontrolador. Arduino. Modelagem. *Software*.

ABSTRACT

This project refers the drafting of a rise equipment in the market, which is entitled as Building and Development of a Three-Dimensional Printing Machine. It aims to provide the manufacture of 3D object, such as other devices that have the same function. This capacity to print parts in 3D, enables the equipment to be widely used in many sectors of activity, such as: biomedicine, civil engineering and automobile industry. As it is a cheap equipment, its application increasingly and allows its extension, in accordance with requirements of each client. To develop it, there was necessary to do scientific research on types of 3D printing, raw materials to be used in process for manufacturing, Arduino board, A4988 driver, Shield Ramps 1.4, heating bed and extruder thermistors, stepper motor drives. To ratify its functions and the ability to work in the sectors addressed, it was constructed an prototype, using an ABS support, threaded rod, smooth rod, roller bearings, stepper motors, toothed belt and belt camp. It also has electro-electronic circuits to carry out the applications needed from the commands of an Arduino Mega 2560, scheduled to perform the projected functions. The printing process of the object is monitored by the Repetier software, which show with more details, the procedure shall be performed but also makes the temperature control by the thermistors.

Keywords: 3D Printing. Microcontroller. Arduino. Modelling. Software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Criação de molde em 3D a partir da imagem de uma tomografia	18
Figura 1.2 – Prótese criada em impressora 3D	19
Figura 1.3 – Maquete de uma residência construída em impressora 3D.....	19
Figura 1.4 – Construção de uma casa por uma impressora 3D	20
Figura 1.5 – Casa construída por uma impressora 3D	20
Figura 1.6 – Processo de fabricação por estereolitografia	22
Figura 1.7 – Montagem de produto usando a tecnologia FDM	24
Figura 1.8 – Processo de polimerização dos plásticos.....	25
Figura 1.9 – Tipos de materiais para impressão 3D.....	25
Figura 1.10 – Comparativo de um ensaio de tração mecânica.	27
Figura 1.11 – Máquina CNC.	27
Figura 1.12 – Código de programação básica de uma máquina CNC.....	28
Figura 1.13 – Impressora 3D RepRap em sala de aula.	29
Figura 1.14 – Arduino Uno	30
Figura 1.15 – Produtos para principiantes	31
Figura 1.16 – Placas aprimoradas	32
Figura 1.17 – Arduino Mega 2560.....	33
Figura 1.18 – Alimentação da placa Arduino Mega.....	33
Figura 1.19 – Circuito que regula tensão	34
Figura 1.20 – Circuito de proteção da USB	34
Figura 1.21 – Circuito comutador.....	35
Figura 1.22 – Conectores de alimentação para módulos e <i>shields</i>	35
Figura 1.23 – Conversor USB com ATmega 16u2	36
Figura 1.24 – Microcontrolador ATmega2560	36
Figura 1.25 – Resumo da placa Arduino Mega 2560	37
Figura 1.26 – Exemplo de criação de variável.....	38
Figura 1.27 – Exemplo da função printf	38
Figura 1.28 – Exemplo da função scanf	39
Figura 2.1 – Diagrama de blocos utilizados no sistema	41
Figura 2.2 – Projeto da máquina de impressão tridimensional	44

Figura 3.1 – Projeto Finalizado	49
Figura 3.2 – Estrutura lateral montada	50
Figura 3.3 – Lateral ajustada para medidas iguais	51
Figura 3.4 – Laterais finalizadas	51
Figura 3.5 – Montagem da primeira parte da base.....	52
Figura 3.6 – Montagem da segunda parte da base	53
Figura 3.7 – Base com medidas ajustadas.....	53
Figura 3.8 – Estruturas com suportes fixos	54
Figura 3.9 – Folha de gabarito com realização dos furos na base.....	55
Figura 3.10 – Base com rolamentos fixos.....	55
Figura 3.11 – Base pronta para instalação	56
Figura 3.12 – Base instalada na estrutura	56
Figura 3.13 – Encaixe dos rolamentos nos suportes.....	57
Figura 3.14 – Base da extrusora pré-montada	57
Figura 3.15 – Base da extrusora montada.....	58
Figura 3.16 – Suportes do extrusor ajustados	58
Figura 3.17 – Componentes fixos aos suportes	59
Figura 3.18 – Estrutura mecânica finalizada.....	59
Figura 3.19 – Ajuste dos drivers	61
Figura 3.20 – Circuito de teste dos drivers e funcionamento do motor	61
Figura 3.21 – Teste de funcionamento dos motores	62
Figura 3.22 – Circuito de controle	63
Figura 3.23 – Ligação das chaves fim de curso	64
Figura 3.24 – Ligação da mesa aquecida.....	65
Figura 3.25 – Ligação do bico aquecido	65
Figura 3.26 – Ajustes de temperatura no Repetier	66
Figura 3.27 – Ajustes da primeira parte da programação	67
Figura 3.28 – Ajustes da segunda parte da programação.....	67
Figura 3.29 – Cálculos de deslocamento dos eixos	68
Figura 3.30 – Ajustes da terceira parte da programação	68
Figura 3.31 – Ajustes da quarta parte da programação	69
Figura 3.32 – Calibração e medição nos eixos da máquina de impressão	70
Figura 3.33 – Seleção e ajuste de peça para ser impressa	70
Figura 3.34 – Fatiamento de peças no Repetier.....	71

Figura 3.35 – Geração de códigos para movimentação dos eixos	72
Figura 3.36 – Peça impressa	72

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1.1 – Comparativo entre os materiais	26
Tabela 2.1 – Cronograma do 1º semestre para realizar o projeto.....	45
Tabela 2.2 – Materiais para construção do projeto	46
Tabela 2.3 – Cronograma do 2º semestre para realizar o projeto.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS

3D – Sigla atribuída as três dimensões
ABS – Acrilonitrila butadieno estireno
ASTM – American Society for Testing and Materials
CAD – Desenho assistido por computador
CAM – Manufatura assistida por computador
CN – Comando Numérico
CNC – Comando Numérico Computadorizado
DC – Direct Currente
EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
FDM – Fused Deposition Modeling
GND – Ground
GPS – Global Positioning System
IDE – Integrated Development Environment
IHM – Interface Homem-Máquina
IOREF – Input/Output Reference
LED – Light Emitting Diode
MIPS – Millions of Instructions Per Second
PC – Personal Computer
PETG – Politereftalato de etileno glicol
PLA – Ácido Poliático
PWM – Pulse-Width Modulation
RAM – Random Access Memory
SLA – Stereolithography
USB – Universal Serial Bus
UV – Ultravioleta
Vin – Voltage Input

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
1.1 Breve histórico da máquina de impressão tridimensional.....	17
1.2 Setores de aplicações da máquina de impressão tridimensional	18
1.3 Tipos de impressão em 3D.....	21
1.4 Matéria prima para impressão 3D.....	24
1.5 Comando Numérico Computadorizado.	27
1.6 Arduino	29
1.7 Linguagem de programação	37
2 METODOLOGIA	40
2.1 O tema-problema com justificativa	40
2.2 Diagrama de funcionamento do projeto	41
2.3 Descrição do projeto.....	42
2.4 Etapas teóricas e práticas para o desenvolvimento do projeto	44
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	49
3.1 Construção da estrutura mecânica	50
3.1.1 Montagem das laterais e base	50
3.1.2 Instalação dos suportes dos motores de passo.....	54
3.1.3 Montagem da base de impressão.....	54
3.1.4 Montagem da base extrusora.....	57
3.1.5 Montagem do extrusor	58
3.2 Montagem eletrônica e testes.....	60
3.2.1 Montagem do circuito de controle para acionamentos	62
3.2.2 Ligação e testes das chaves fim de curso	63
3.2.3 Ligação e testes da mesa e bico aquecido	64
3.3 Programação em linguagem C no microcontrolador	66
3.4 Testes finais, interação entre as partes e funcionamento do projeto	69

CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
REFERÊNCIAS.....	76
APÊNDICES.....	78

INTRODUÇÃO

Com o advento da automação industrial nos últimos anos, as empresas buscam de forma contínua métodos mais eficientes para a fabricação de seus produtos, visando a maior produtividade e baixo custo, de forma a solucionar as necessidades de seus clientes. Isso foi possível com o desenvolvimento de máquinas e equipamentos para atender as demandas apresentadas e produzir em menor tempo e com qualidade esperada, garantindo fidelidade entre o fornecedor e consumidor.

Com o surgimento de novas tecnologias no ambiente da modelagem, diversas máquinas operatrizes surgiram no mercado visando a maior eficiência na produção de peças, como as de três dimensões, a partir de comandos numéricos computadorizados (CNC).

A impressora 3D vem ganhando espaço no cenário tecnológico, acadêmico e da biomedicina. Possui características semelhantes às máquinas de usinagem CNC convencionais, no quesito de processos de produção, apresentando resultados iguais ou superiores. Ela tem como propósito simular as características do produto final, diminuindo desta forma os custos do projeto.

Atualmente, existem diversas pesquisas em andamento para utilizar a impressora 3D na confecção de pele artificial para enxerto, criação de próteses para realizar transplantes de órgãos, fabricação de ossos e cartilagens artificiais para o auxílio na movimentação de pacientes que possuem necessidades de locomoção.

Outro setor que se utiliza da tecnologia da impressora 3D é o setor automotivo na impressão de peças e outros dispositivos, visando à diminuição do peso e um aumento no desempenho do veículo, assim proporcionando maior conforto e segurança aos usuários. Além desse campo de atuação, a impressão 3D vem sendo utilizada nos âmbitos da arquitetura e construção civil, para construir residências, a partir de projetos elaborados nos setores de engenharia civil.

Através de pesquisa de mercado e reuniões com integrantes do grupo o tema-problema que se intitula Construção e Desenvolvimento de uma Máquina de Impressão Tridimensional. Trata de um projeto alicerçado em pesquisas para construção de pequenos objetos criados a partir de *softwares* de modelagem 3D. Justifica-se pelo baixo custo, tempo de elaboração de peças, proporciona conhecimento e aprendizado de novas tecnologias para acompanhar a tendência de mercado.

A inserção da impressora 3D no atual mercado industrial e acadêmico é a maior motivação para a realização desse trabalho, tendo em vista que a Fatec São Bernardo do Campo não possui tal equipamento e o mesmo tende a estar crescendo nos setores de automação.

Este trabalho é constituído por três capítulos:

Capítulo 1 - Fundamentação Teórica: é tratado de uma forma mais abrangente sobre o histórico da impressora 3D, além das tecnologias que são aplicadas a ela, como a plataforma Arduino e sua linguagem de programação.

Capítulo 2 - Metodologia: encontram-se os métodos e procedimentos essenciais para construir o projeto.

Capítulo 3 - Desenvolvimento do Projeto: descreve passo a passo a construção do projeto, ilustrando-o com figuras e tabelas. Mostra a ligação entre a teoria pesquisada com o processo de montagem e funcionamento do projeto.

E finalmente, as Considerações Finais: trata-se, em linha gerais de uma retomada do que foi abordado desde o objetivo e justificativa feito na introdução até a sua finalização. Aponta as relações entre os fatos verificados e as teorias, conquistas alcançadas, pontos fortes e fracos e sugestões para futuros trabalhos.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo encontram-se as teorias de autores renomados que dão sustentação ao desenvolvimento do projeto que se intitula Construção e Desenvolvimento de uma Máquina de Impressão Tridimensional.

1.1 Breve histórico da máquina de impressão tridimensional

A ASTM - American Society for Testing and Materials (1982) destaca que o processo da adição de materiais para produzir objetos a partir de figuras 3D recebe o nome de manufatura aditiva.

De acordo com Cunico (2015), as máquinas de impressão tridimensional surgiram a partir de 1980. Em 1983 é criada a empresa 3D Systems por Charles Hull, que desenvolveu a impressora 3D, usando o processo de estereolitografia (método de confecção de peças) para imprimir os produtos elaborados em programas de modelagem 3D.

Em 1984, Charles Hull registrou sua patente para o aparato de estereolitografia, sendo assim considerado um dos precursores da tecnologia de impressão 3D.

Com o passar dos anos, a máquina de impressão tridimensional se tornou um equipamento importante no meio tecnológico por seus recursos de impressão em três dimensões, permitindo a criação de objetos para diversas aplicações, proporcionando maior eficiência na elaboração de projetos finais.

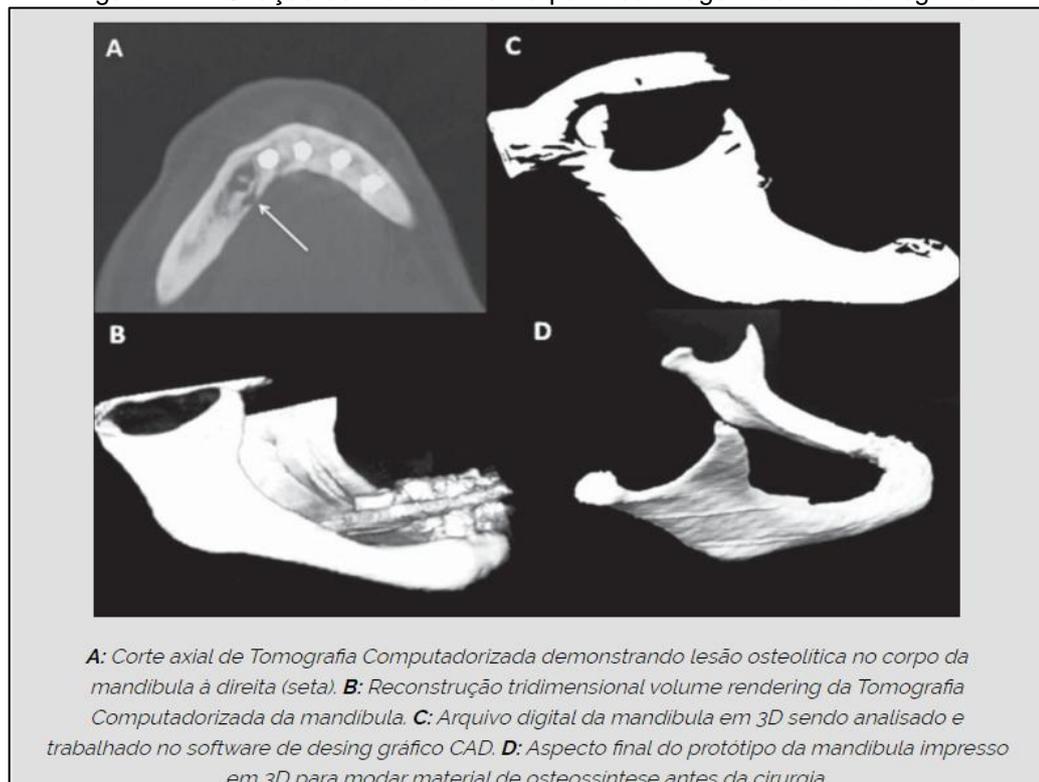
Atualmente, muitos setores como a indústria, em geral, a biomedicina e o setor automobilístico são adeptos dessa tecnologia, devido aos grandes privilégios e características particulares apresentadas pela máquina de impressão tridimensional.

1.2 Setores de aplicação da máquina de impressão tridimensional

De acordo com Cunico (2015), para criação de órgãos, bem como estruturas ósseas artificiais é necessário a confecção de um modelo virtual em 3D, que é construído mediante imagens de tomografia computadorizada, para elaborar uma réplica física e dar prosseguimento ao processo cirúrgico.

Em alguns casos, no setor da medicina existem situações onde além de trabalhar com a tomografia computadorizada, exigem-se melhorias nos protótipos para atenderem as necessidades apresentadas de cada procedimento cirúrgico. E nesse momento, os *softwares* entram para realizar os desenvolvimentos essenciais e, assim, realizam os ajustes necessários para dar início ao processo de impressão em 3D, conforme ilustra a Figura 1.1.

Figura 1.1 – Criação de molde em 3D a partir da imagem de uma tomografia



Fonte: www.radiologianapalmadamao.com.br, 2017

Além da impressão de órgãos internos e estruturas ósseas para procedimentos cirúrgicos, a máquina de impressão tridimensional também vem

sendo usada para confeccionar próteses mecânicas de mãos e pernas, conforme ilustra a Figura 1.2.

Figura 1.2 – Prótese criada em impressora 3D



Fonte: www.onehealthmag.com.br, 2017

Outro ramo de aplicação da máquina de impressão tridimensional que vem crescendo ao longo do tempo é o setor de arquitetura, onde sua tecnologia permite que sejam criadas maquetes de edificações ou residências, possibilitando a simulação do projeto proposto pelos arquitetos, conforme ilustra a Figura 1.3.

Figura 1.3 – Maquete de uma residência construída em impressora 3D



Fonte: www.tecmundo.com.br, 2017

O site Apis-Cor (2017) explica que, além de imprimir maquetes de residências ou de edificações, a máquina de impressão tridimensional também vem sendo utilizada para construir casas de pequeno porte a partir do mesmo procedimento de confecção de protótipos. Um exemplo prático deste tipo de impressão ocorreu em Stupino, na Rússia, onde foi usado um equipamento de tamanho elevado para imprimir uma casa, conforme ilustra a Figura 1.4.

Figura 1.4 – Construção de uma casa por uma impressora 3D



Fonte: APIS-COR, 2017, p.1

Esse procedimento de construção de residências adotado pela empresa utilizando a máquina de impressão tridimensional gerou um resultado satisfatório as suas expectativas, pois, além de promover uma montagem bem alinhada, reduziu para 24 horas o tempo para ser concluída e proporcionou a mesma qualidade de uma casa feita de forma tradicional, conforme ilustra a Figura 1.5.

Figura 1.5 – Casa construída por uma impressora 3D



Fonte: APIS-COR, 2017, p.2

O processo de construção de uma residência, utilizando a impressão 3D, reduziu os custos de sua fabricação, como também encolheu drasticamente o tempo de construção e, em alguns casos, determinadas edificações podem ser concluídas em 24 horas.

Dompieri (2015) enfatiza que outro setor que está revolucionando seus métodos de produção de peças em equipamentos de impressão tridimensional é a engenharia automotiva, onde cada vez mais são inseridas novas tecnologias que atendam aos requisitos propostos pelas normas de segurança, garantindo assim, conforto e confiabilidade na entrega dos resultados. Nesta esfera, ela vem sendo utilizada em larga escala, em função de sua engenharia ser flexível aos projetos da indústria automotiva, substituindo os processos mais antigos de fabricação de componentes.

Com o crescimento da tecnologia da impressão 3D, diversas montadoras de automóveis estão, aos poucos, estabelecendo procedimentos para imprimir peças e outros componentes, visando assim à diminuição de seus custos e substituindo métodos de fabricação mais tradicionais, como a utilização de máquinas operatrizes, trazendo desta forma, a redução nos valores de cada veículo produzido.

De acordo com o site LWT Sistemas (2016), com a chegada da Indústria 4.0, as indústrias devem buscar novas tecnologias para realizar a fabricação de seus produtos, visando às expectativas de seus clientes, como também manter suas atividades no novo mercado tecnológico e competitivo. Isso não difere para o setor automotivo, que também está aderindo ao novo sistema de manufatura para elaboração de peças de automóveis.

1.3 Tipos de impressão em 3D

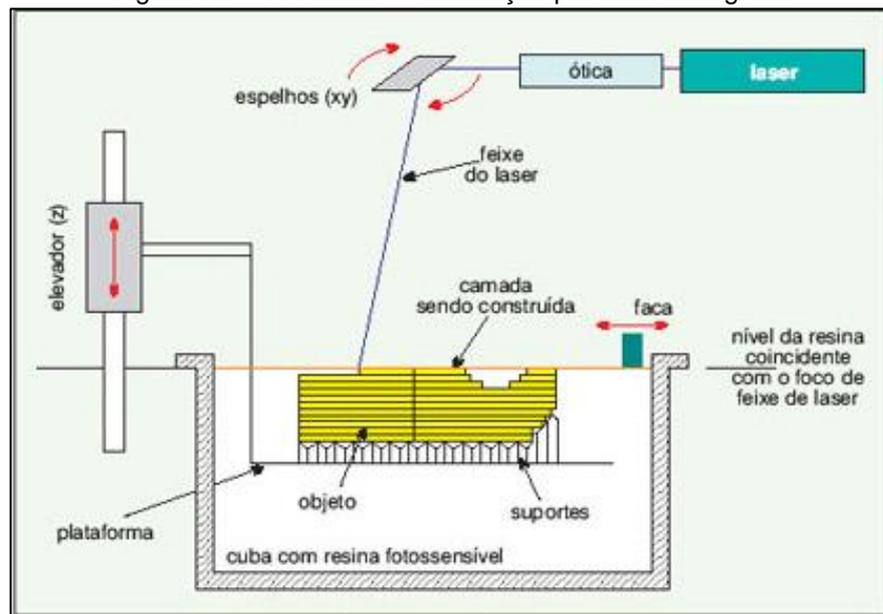
Fazmakerspace (2015) destaca que ha vários tipos de impressão em 3D projetados por *softwares* de CAD, dentre ele destacam:

- Estereolitografia: trata-se de uma tecnologia de manufatura aditiva que é utilizada para realizar a impressão em 3D. Este processo fundamenta-se na

polimerização de uma resina fotossensível composta de monômeros que realizam auto cura, mediante a incidência de um feixe de laser UV. A máquina de impressão em estereolitografia (SLA) possui uma cuba onde é preenchida com resina e, no seu interior, existe uma plataforma que realiza movimentos de acordo com os comandos enviados pelo computador. Este mesmo computador envia dados para realização da primeira camada do objeto a ser impresso.

No momento em que essa camada é alvejada pelo laser, há uma reação provocada por foto iniciador, que promove uma cadeia polimérica nas partículas do monômero, que estão espalhados na resina, gerando o processo para solidificar a peça, conforme ilustra a Figura 1.6.

Figura 1.6 – Processo de fabricação por estereolitografia



Fonte: www.keepcad.com.br, 2017

Segundo Costa (2012), depois de realizar a primeira etapa, o computador envia comandos para a plataforma descer 0,1mm, fazendo com que ela venha a realizar o processo de imersão na primeira camada que é solidificada na resina fotossensível. Esse processo permite a elaboração de uma nova camada polimerizada sobreposta à primeira, até todo objeto projetado ficar concluído numa temperatura de 33°C no ambiente interno da máquina e na resina, assegurando que o material não tenha variações, garantindo sua exatidão geométrica e fidelidade ao projeto.

- Modelagem por fusão e deposição (FDM): é uma técnica muito utilizada em equipamentos de prototipagem rápida. A tecnologia FDM é uma das técnicas mais conhecidas no mercado de modelagem 3D, que vem sendo usada em diversos setores que usufruem das inovações da máquina de impressão tridimensional, para atender as necessidades que são informadas por cada cliente (STRATASYS, 2017).

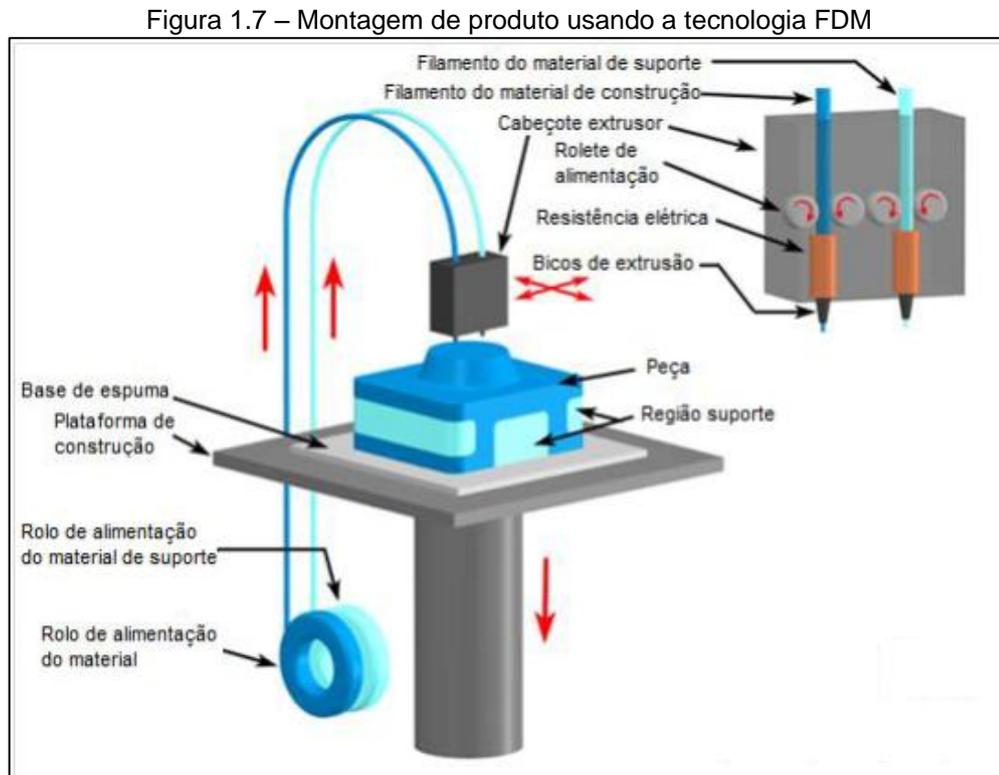
Raulino (2011) explana que a técnica FDM se baseia na deposição de finas camadas de material termoplástico, provenientes de um aquecimento de 200°C de resistências elétricas. Ao mesmo tempo, outros fios molificados realizam o suporte para as demais superfícies suspensas do objeto, visando oferecer maior sustentação. Os filamentos reservados à confecção do objeto podem ser materiais compostos por ABS, PLA, polipropileno, poliéster, PET, entre outros que promovem maior durabilidade e relutância mecânica.

Para a realização desta técnica de modelagem é necessário utilizar alguns componentes internos da máquina de impressão tridimensional, dentre eles destaca-se: plataforma de construção, cabeçote de extrusão e roletes de alimentação, suporte e inserção de material.

Durante o processo de fabricação do modelo, a plataforma de construção, onde é inserido o material, desloca-se no eixo Z e o cabeçote de extrusão, movimenta-se pelo plano XOY. Os filamentos dos materiais são conduzidos por guias rotativas para ficarem em armazenamento, em um espaço a vácuo aquecido para evitar que a umidade do ambiente externo provoque bolhas no material trabalhado. Normalmente, os equipamentos de impressão 3D são dispositivos fechados, com o intuito de que fatores externos não prejudiquem o processo de deposição.

Para realizar a confecção dos produtos, a impressora 3D é conectada a um computador que é ligado a um sistema de monitoramento visando observar os comandos utilizados para construir cada elemento projetado. Depois do término de confecção da primeira camada, a plataforma começa a se deslocar para baixo, de acordo com a medida da espessura do filamento e, assim, retoma para o ponto

inicial para dar prosseguimento às demais etapas. A Figura 1.7 mostra o processo de montagem de um produto.



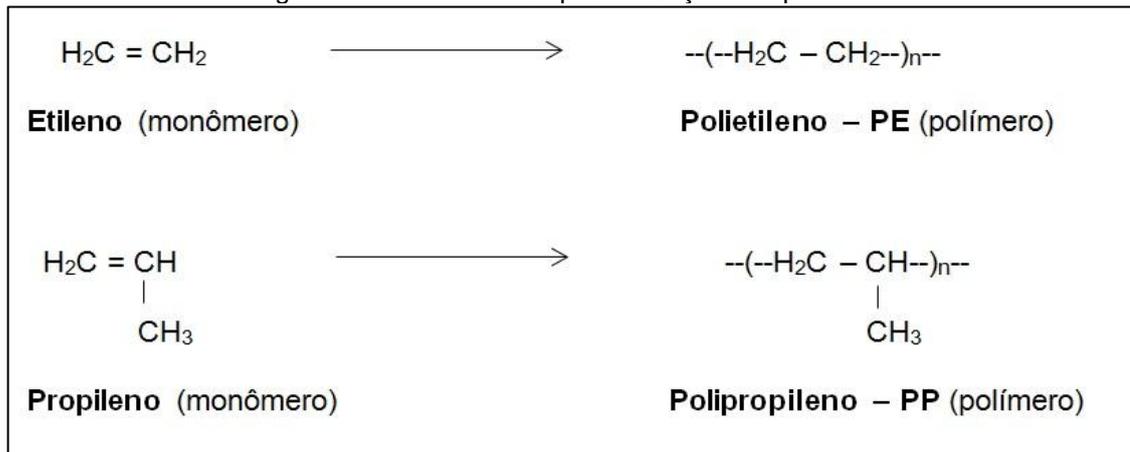
Fonte: www.protofast.com.br, 2017

Segundo o site Stratasys (2017), a tecnologia de modelagem por fusão e deposição apresenta grandes benefícios, dentre os quais, destacam-se: tecnologia limpa, que pode ser utilizada em ambientes que exige extrema limpeza, além de que os termoplásticos possuem estabilidade mecânica e ambiental e a facilidade em trabalhar com geometrias complexas e cavidades de projetos.

1.4 Matéria prima para impressão 3D

A ABIPLAST – Associação Brasileira da Indústria do Plástico (2017) destaca que o plástico é um componente fundamental para desenvolver objetos em uma máquina de impressão tridimensional, sendo capaz de ser moldado através do processo de extrusão. Os plásticos fazem parte da família dos polímeros, que são moléculas de tamanho macro formadas por outras moléculas menores, sendo unidas entre si por reações químicas chamadas de polimerização, conforme ilustra a Figura 1.8.

Figura 1.8 – Processo de polimerização dos plásticos



Fonte: www.abiplast.org.br, 2017

Smith e Hashemi (2013) afirmam que o polímero que compõe o filete plástico, submetido ao processo de extrusão pela máquina de impressão tridimensional, é denominado de termoplástico. Eles têm a característica de ser moldados por diversas vezes através de processos que envolvem calor e pressão. Esse tipo de característica faz com que os termoplásticos sejam recicláveis. Os materiais mais utilizados na impressão 3D são: acrilonitrila butadieno estireno (ABS), o ácido polilático (PLA) e o politereftalato de etileno glicol (PETG), cada um com sua particularidade técnica e aplicabilidade, conforme mostra a Figura 1.9.

Figura 1.9 – Tipos de materiais para impressão 3D



Fonte: www.impressao3dfacil.com.br, 2017

De acordo com Campos (2007), o ABS é mais indicado para a impressão 3D por ser forte e ao mesmo tempo leve, além de possuir boa resistência mecânica e flexibilidade moderada, como também ter preço acessível e boa oferta no mercado,

sendo encontrado com facilidade tanto em lojas físicas quanto no comércio eletrônico. O PLA é mais eficiente que o ABS dependendo do objeto a ser modelado, pois sua deformação é menor e seu ponto de fusão libera pouca fumaça, além de ser biodegradável. O PETG quando submetido ao processo de extrusão, sofre contração menor do que o PLA e o ABS, possibilitando a criação de objetos com dimensões mais próximas das medidas reais. As propriedades de cada material são importantes no momento de se escolher a matéria prima correta para cada projeto especificamente. A Tabela 1.1 faz um comparativo entre os termoplásticos ABS, PLA e o PETG.

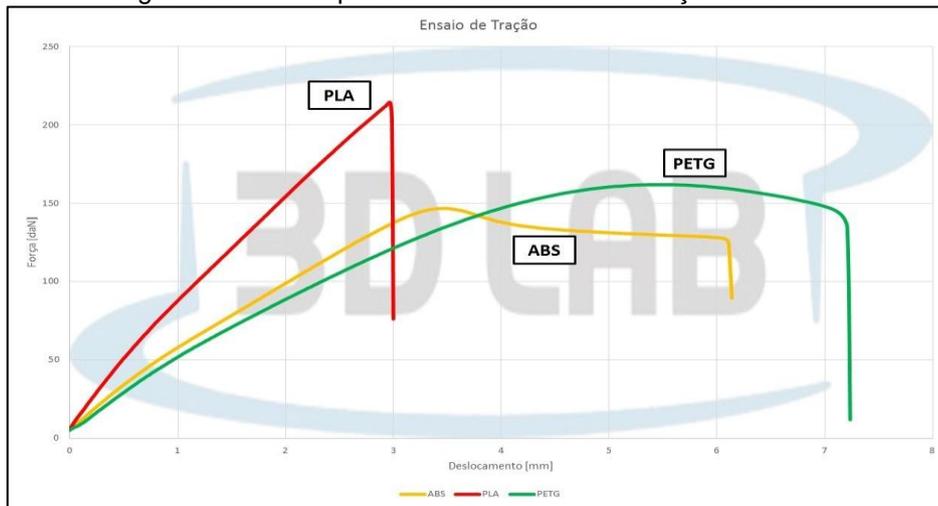
Tabela 1.1 – Comparativo entre ABS, PLA e o PETG

PROPRIEDADE / DESEMPENHO	MENOR	MÉDIO	MAIOR
ECOLÓGICO	ABS	PETG	PLA
BRILHO	ABS	PLA	PETG
TRANSPARÊNCIA	ABS	PLA	PETG
RIGIDEZ/DUREZA	PETG	ABS	PLA
RESISTÊNCIA ÍMPACTOS	PLA	ABS	PETG
FLEXIBILIDADE	PLA	ABS	PETG
CONTRAÇÃO/WARP	PLA	PETG	ABS
PRECISÃO EM DETALHES E CANTOS	ABS	PETG	PLA
QUALIDADE DE SUPERFÍCIE DA PEÇA	ABS	PETG	PLA
RESISTÊNCIA A ATRITOS	PLA	ABS	PETG
RESISTÊNCIA QUÍMICA	ABS	PLA	PETG
RESISTÊNCIA ALTAS TEMPERATURAS	PLA	PETG	ABS
FACILIDADE DE PÓS PROCESSAMENTO	PLA	PETG	ABS
USINABILIDADE	PLA	PETG	ABS
DENSIDADE	ABS	PLA	PETG
PREÇO POR cm ³ /GRAMA/HORA	PLA	ABS	PETG

Fonte: www.impressao3dfacil.com.br, 2017

O autor explica ainda que os objetos impressos em ABS apresentam um acabamento final melhor, além de seu ponto de fusão ser maior do que o apresentado pelo PLA, que possui ponto de derretimento menor produzindo peças mais fortes. Dentre estes três materiais o PLA por ser menos viscoso após sua fusão e mais facilmente submetido a extrusão, garante uma vida útil maior dos equipamentos que usam esse tipo de material. O PETG é tão forte quanto o ABS, porém possui grande maleabilidade e resistência mecânica. Apesar de suportar grandes temperaturas o ABS é melhor que o PETG nesse quesito, entretanto o PLA é o que menos suporta altas temperaturas, conforme ilustra a Figura 1.10.

Figura 1.10 – Comparativo de um ensaio de tração mecânica

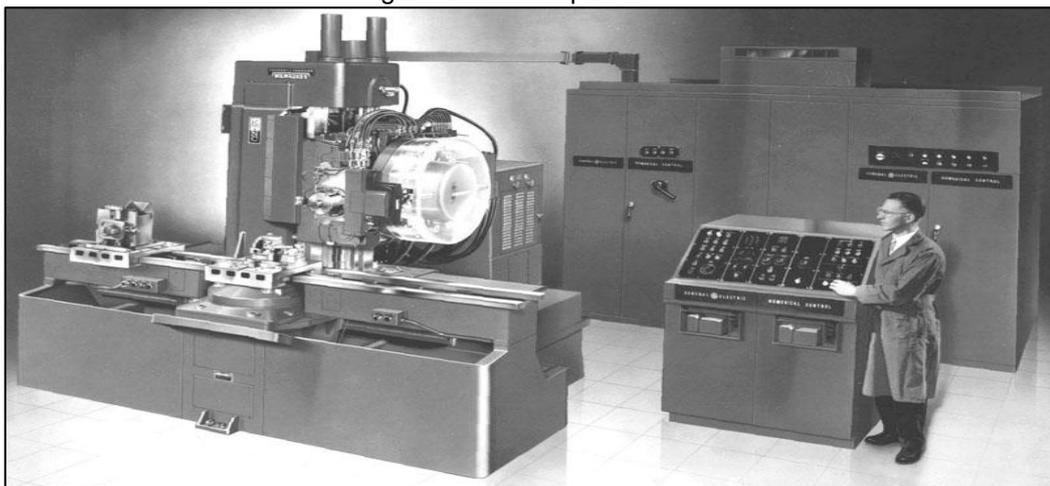


Fonte: www.3dlab.com.br, 2017

1.5 Comando Numérico Computadorizado

Fitzpatrick (2013) aponta que a criação do CNC veio com a necessidade de ganho de produção e qualidade com menor mão de obra e custo, os quais são os principais fatores que incentivaram essa invenção. Em 1960, com o aumento da tarifa dos serviços nas indústrias, o CNC estava se tornando uma opção mais barata e rápida para os empresários e gestores daquela época. A Figura 1.11 mostra uma máquina CNC.

Figura 1.11 – Máquina CNC

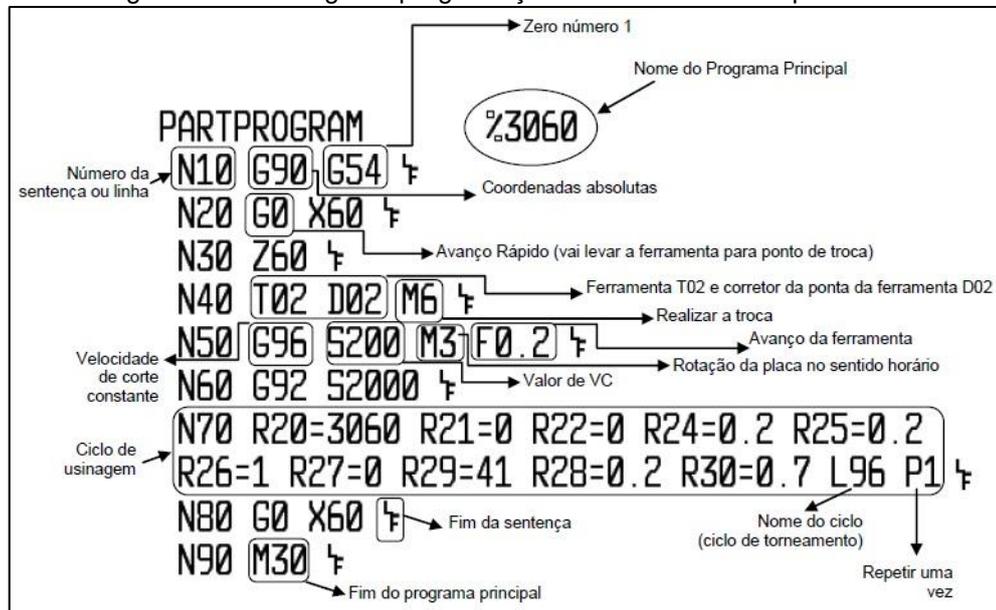


Fonte: www.keepcad.com, 2017

Fitzpatrick (2013) destaca que o operador/programador da máquina CNC deve conhecer o padrão geral de programação, como também a máquina e o

comando que estiver usando, independente da forma de programar de cada desenvolvedor, como mostra a Figura 1.12.

Figura 1.12 – Código de programação básica de uma máquina CNC



Fonte: www.tecmecanico.blogspot.com.br, 2017

De acordo com Azevedo (2013), a criação do CAD permitiu aos projetistas e engenheiros trabalharem com seus desenhos em *softwares* computadorizados, substituindo rapidamente os desenhos em papel.

Através do uso do CAD, desenvolve-se o CAM que usa os dados dos projetos feitos em CAD e gera códigos de usinagem, trajetos e necessidade de troca ferramentas, tornando o CNC uma ferramenta cada vez mais rápida, precisa e indispensável no processo produtivo.

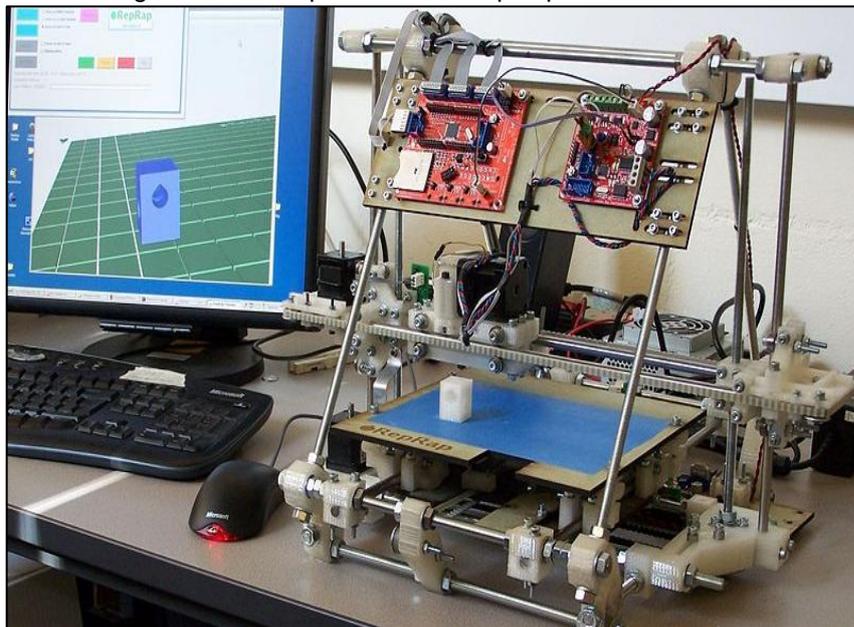
Marcicano (2017) afirma que o processamento de dados do comando numérico (CN) era através de leitura de cartões perfurados, sendo em alguns anos depois adicionado o computador ao seu sistema de processamento de dados para agilizar a leitura, precisão e execução do processo de usinagem, passando a se chamar comando numérico computadorizado (CNC), que substituiu o controle do *hardware* pelo *software*.

As máquinas CNC podem ser programadas de duas formas: manual e automática. A programação manual é feita através de gráficos interativos que

forneem uma interface de homem-máquina (IHM) e a automática é feita através de *softwares*.

O CNC encontra-se principalmente em setores como a indústria e o meio acadêmico, utilizados em equipamentos como tornos, fresadoras, centros de usinagem, *routers*, robôs e impressoras 3D, como mostra a Figura 1.13.

Figura 1.13 – Impressora 3D RepRap em sala de aula

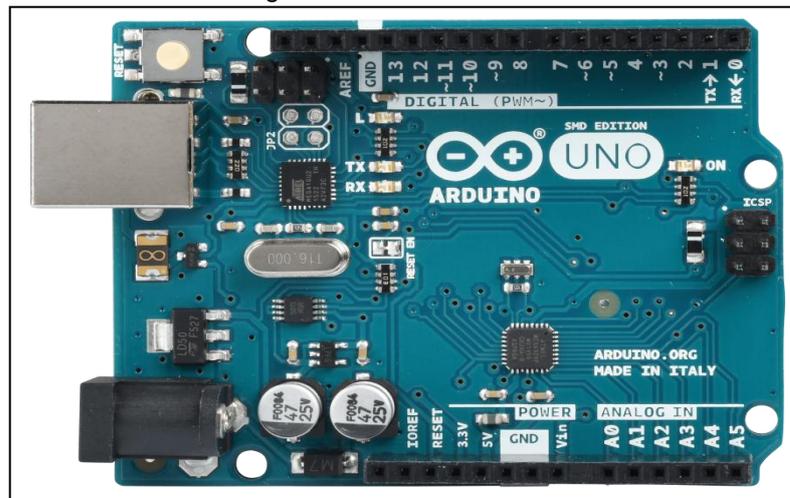


Fonte: www.proptimus.com.br, 2017

1.6 Arduino

Soares (2013) diz que o Arduino é uma placa única programada por um *software*. O *hardware* consiste em um produto simples e eficaz, com um microcontrolador ATmel e suportes para entradas e saídas embutidos, bem como possui linguagem de programação em C/C++ e do *bootloader* que roda na placa. A simplicidade do microcontrolador pode ser verificada na Figura 1.14.

Figura 1.14 – Arduino Uno



Fonte: www.element14.com, 2017

McRoberts (2011) explica que, em termos práticos, o Arduino se equipara a um pequeno computador que pode ser programado para processar dados de entrada e saída entre o próprio dispositivo e componentes externos que se conectam a ele. O Arduino é uma plataforma de computação embarcada ou física, ou seja, um sistema que consegue se comunicar com o ambiente por meio de *software* e *hardware*.

O microcontrolador é utilizado para desenvolver objetos que interagem independentemente, ou seja, pode ser conectado a uma rede de computadores ou até mesmo à *Internet* para enviar um conjunto de dados e gerar gráficos ou transmitir e/ou recuperar informações. Ele controla, por exemplo, motores, botões, sensores (de temperatura, luminosidade, pressão e distância), interruptores, *displays*, LEDs, receptores GPS, módulo *Ethernet* ou *Bluetooth* ou quaisquer outros dispositivos que possam lançar dados ou que seja capaz de serem controlados.

A placa é constituída por um microprocessador ATmel AVR, um cristal ou oscilador, pinos de entrada/saída e um regulador de tensão linear de 5 volts. De acordo com o modelo de Arduino que se utiliza, também pode possuir uma saída USB.

Segundo McRoberts (2011), para programar a placa é necessário fazer o *download* do IDE do Arduino, que é um *software* livre onde se escreve o código na

linguagem C/C++. No IDE é escrito um programa de computador, que no mundo do Arduino é conhecido como *sketches* (esboço ou rascunho), que é um conjunto de instruções que indica passo a passo, o que é feito no *upload*. Em seguida, o IDE executa as instruções e interage com os dispositivos conectados.

O *software* e o *hardware* do Arduino são de fontes abertas, pelas quais são desenvolvidos códigos, projetos e esquemas que podem ser acessados e utilizados por qualquer pessoa.

Os *shields* são placas que contém dispositivos como, *drivers* ponte H, USB *Host*, módulo *Ethernet*, que são conectadas à placa Arduino para ter mais funcionalidades. Além disso, os *shields* permitem ser conectados a outros *shields* um em cima do outro, pois estendem os pinos até o topo de suas próprias placas.

O site Arduino (2017) mostra uma gama de produtos para iniciantes, conforme ilustra a Figura 1.15.

Figura 1.15 – Produtos para iniciantes



Fonte: www.arduino.cc, 2017

Para desenvolver projetos mais complexos, recomendam-se placas com funções mais avançadas ou com performances mais rápidas como mostra a Figura 1.16.

Figura 1.16 – Placas aprimoradas

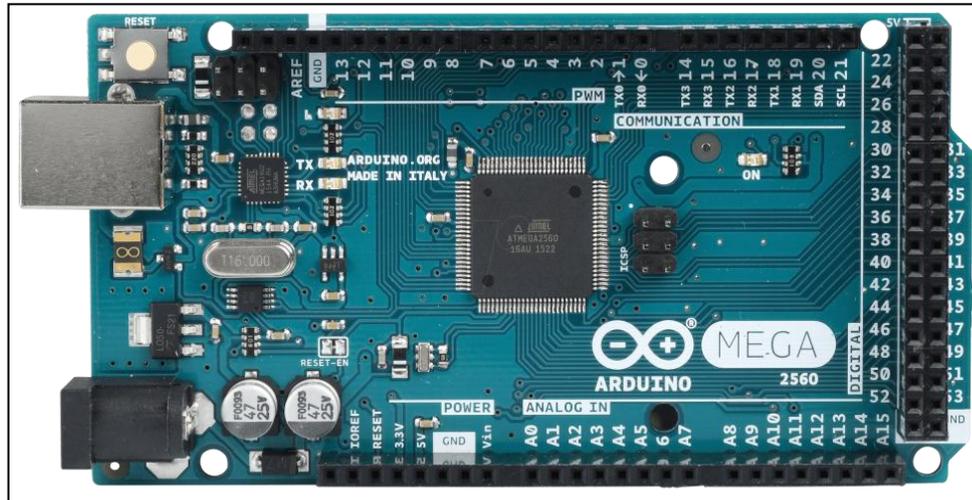


Fonte: www.arduino.cc, 2017

Souza (2014) explica que a placa Arduino Mega 2560 é uma das diversas placas da plataforma Arduino que, por sua vez contém recursos para o desenvolvimento de projetos mais elaborados ou complexos. O microcontrolador ATmega 2560 possui 54 pinos de entradas e saídas digitais, e 15 delas podem ser utilizadas como saídas PWM. Possui 16 entradas analógicas, e 4 portas dedicadas à comunicação serial. Conta com um cristal oscilador de 16MHz, um conector USB para enviar dados e alimentar a placa, um *power jack* (para a alimentação de

energia externa) e um botão de *reset*. Ela conta com uma quantidade de memória que supera a do Arduino Uno, conforme mostra a Figura 1.17.

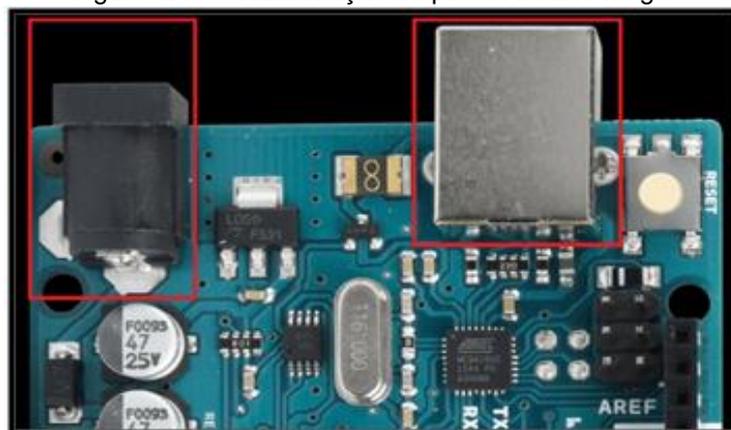
Figura 1.17 – Arduino Mega 2560



Fonte: www.reichelt.nl, 2017

A alimentação do Mega pode ser feita tanto pela porta USB como por uma alimentação externa. A Figura 1.18 mostra os conectores que são utilizados para alimentação da placa Arduino Mega.

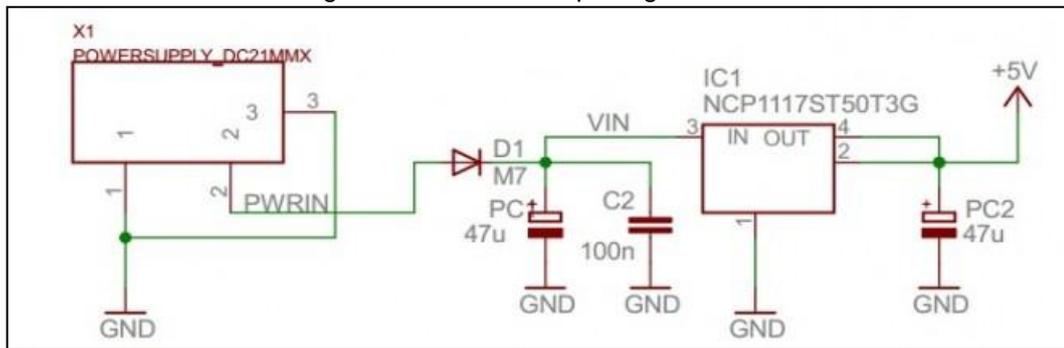
Figura 1.18 – Alimentação da placa Arduino Mega



Fonte: www.reichelt.nl, 2017

Souza (2014) destaca que a alimentação externa da placa Mega 2560 é feita por meio do conector *jack*, suportando de 6 V a 20 V, o ideal é de valores 7 V a 12 V. Quando a alimentação da placa for inferior à de 7 V, ela fica instável, gerando problemas de mau funcionamento, e acima de 12 V ocorre um superaquecimento danificando componentes ou mesmo a placa, conforme ilustra a Figura 1.19.

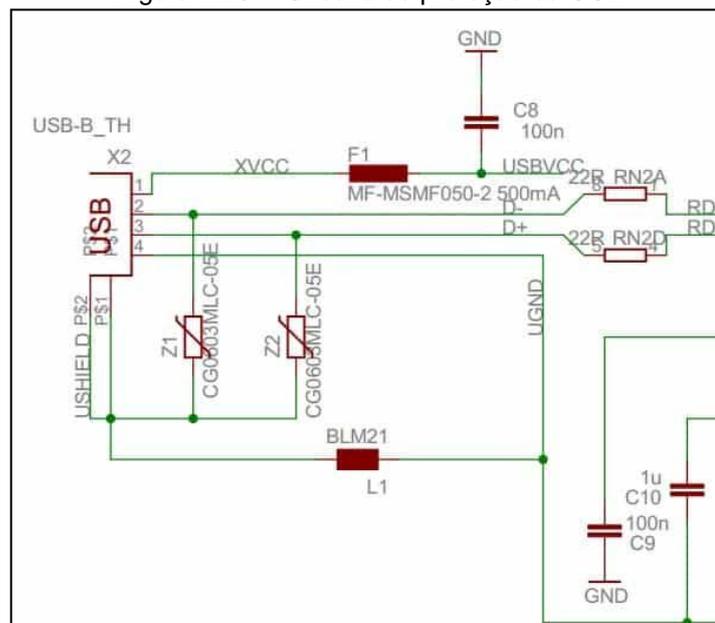
Figura 1.19 – Circuito que regula tensão



Fonte: www.arduino.cc, 2017

Quando a placa Mega 2560 é alimentada via cabo USB não há necessidade de a tensão ser estabilizada pelo regulador. Caso ocorra alguma anormalidade, o circuito da USB possui componentes que protegem a porta USB do computador, conforme mostra a Figura 1.20.

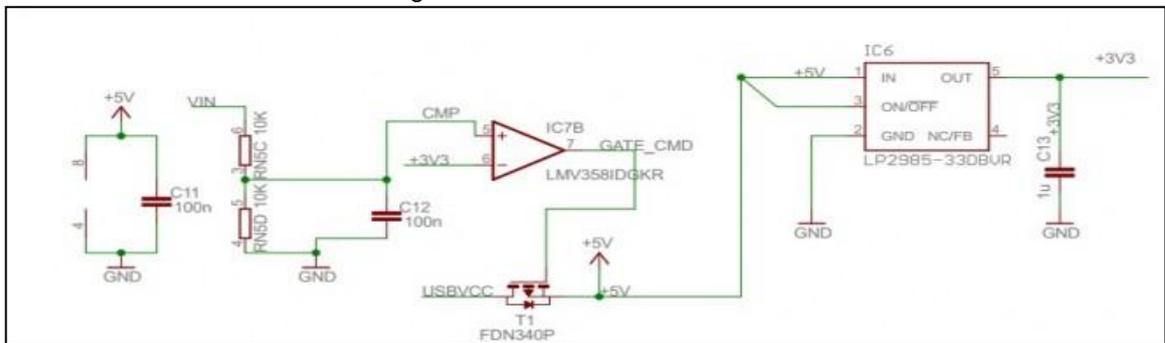
Figura 1.20 – Circuito de proteção da USB



Fonte: www.arduino.cc, 2017

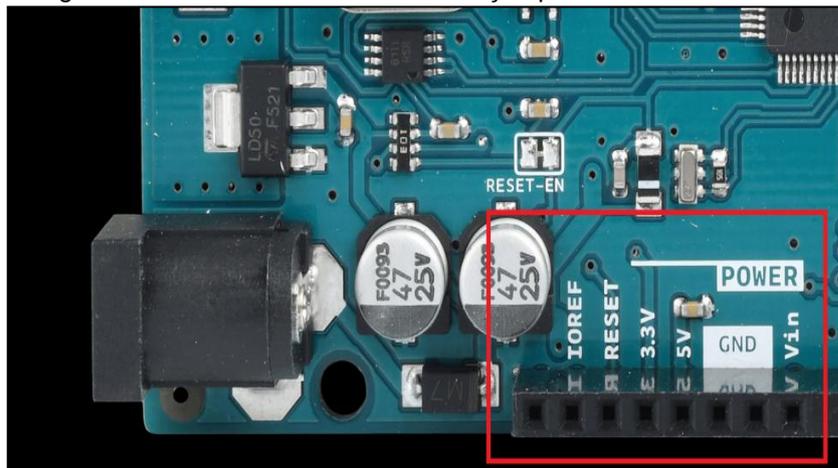
Também, a placa Mega 2560 conta com um circuito comutador, que realiza comutação automática entre a tensão USB e uma fonte externa (*jack*). Quando a alimentação externa é utilizada, a porta USB serve somente para a troca de dados, caso contrário, a porta USB serve tanto como fonte de alimentação e também para a troca de informações, conforme ilustra a Figura 1.21.

Figura 1.21 – Circuito comutador



Fonte: www.arduino.cc, 2017

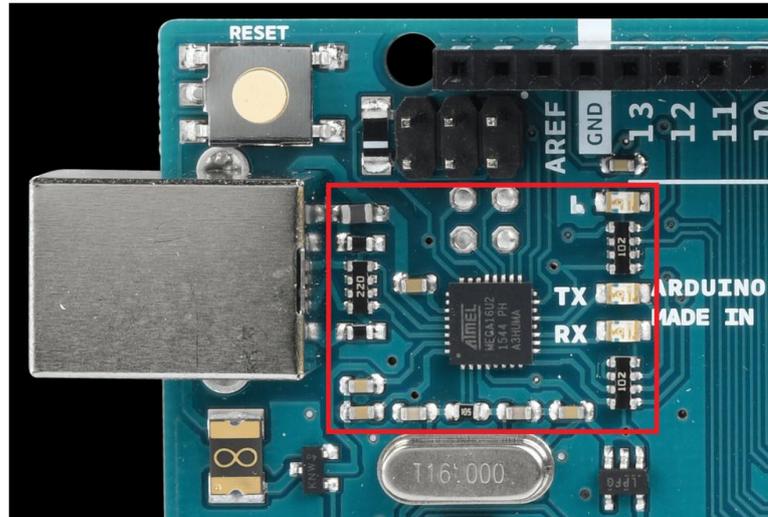
Os conectores que servem de alimentação para os módulos, *shields* e circuitos são os pinos IOREF, *reset*, 3.3 V, 5 V, dois GND e Vin, todos da placa Arduino Mega 2560, conforme ilustra a Figura 1.22.

Figura 1.22 – Conectores de alimentação para módulos e *shields*

Fonte: www.reichelt.nl, 2017

Para realizar o diálogo com o computador e a conexão USB serial, na placa há um microcontrolador ATmel, o ATmega16u2. Este microcontrolador é responsável pelo trabalho da placa Arduino Mega 2560, pois ele possibilita o *upload* do código binário criado após a compilação do programa. A Figura 1.23 mostra o conversor USB com ATmega 16u2.

Figura 1.23 – Conversor USB com ATmega 16u2



Fonte: www.reichelt.nl, 2017

O microcontrolador ATmega 16u2 é conectado a dois LEDs (TX e RX), que são controlados pelo *software* do mesmo. Eles indicam o envio (TX) e a recepção dos dados (RX) da placa para o computador. Ele conta com 256 KB de memória *flash*, 8 KB de memória RAM e 4 KB de EEPROM, e quando operado em 16 MHz chega a uma velocidade de 16 MIPS. A Figura 1.24 ilustra o microcontrolador ATmega 2560.

Figura 1.24 – Microcontrolador ATmega2560

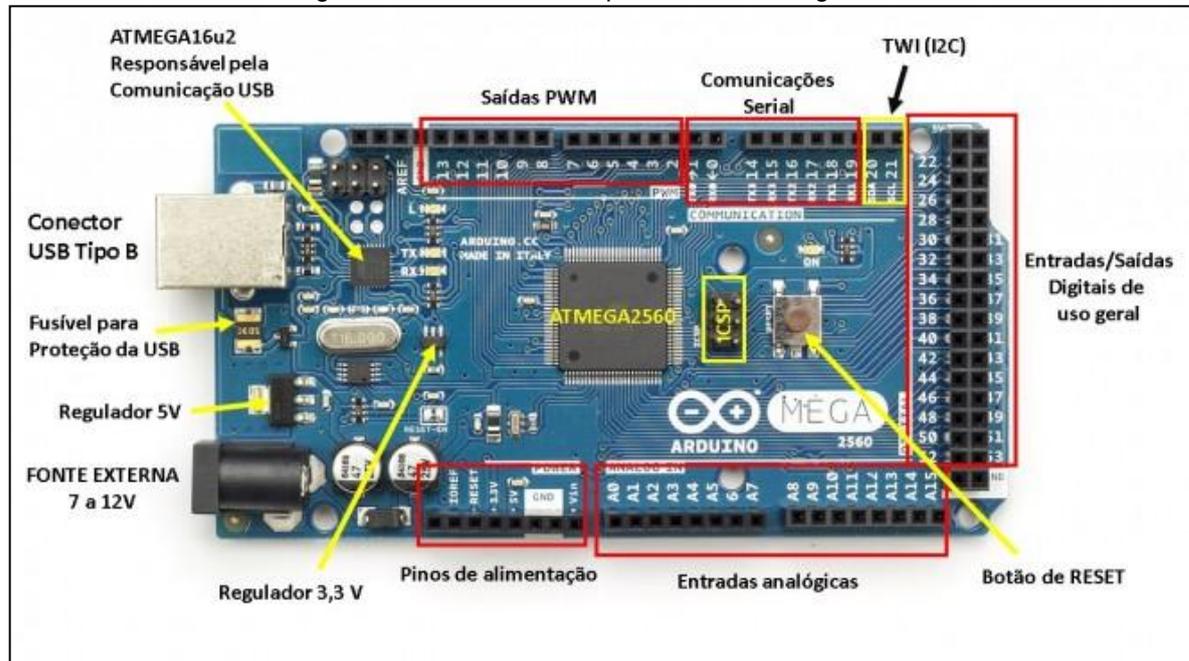


Fonte: www.reichelt.nl, 2017

O site Multilógica (2014) diz que cada um dos 54 pinos digitais do Mega 2560 pode ser utilizado tanto como entrada ou como saída. Ela possui 16 entradas analógicas (pinos A0 a A15), que pode ser feita uma resolução de 10 *bits*. A Figura

1.25 mostra o resumo da placa Arduino Mega 2560, informando onde se localiza cada elemento citado acima.

Figura 1.25 – Resumo da placa Arduino Mega 2560



Fonte: www.embarcados.com.br, 2017

1.7 Linguagem de programação

Manssour (2000) destaca que um programa em C é composto por: função principal, cabeçalho, bibliotecas, bloco de instruções e a documentação do programa. Ele possui cinco funções fundamentais: *char* (utilizados para caracteres), *int* (utilizado pra inteiros), *float* (ponto flutuante), *double* (ponto flutuante de dupla precisão) e *void* (vazio). Essas funções produzem interfaces a partir de mensagens de tela e captura de dados do teclado.

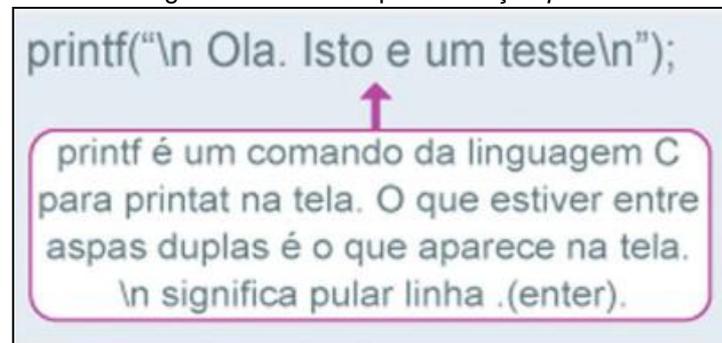
Essas funções atribuem à variável uma posição de memória que é encontrada através de um nome atribuído a ela, também utilizada para guardar esse valor. O que está contido na variável pode ser alterado através de comandos de atribuição, ou seja, após um dado ser induzido ela é modificada, conforme mostra a Figura 1.26.

Figura 1.26 – Exemplo de criação de variável



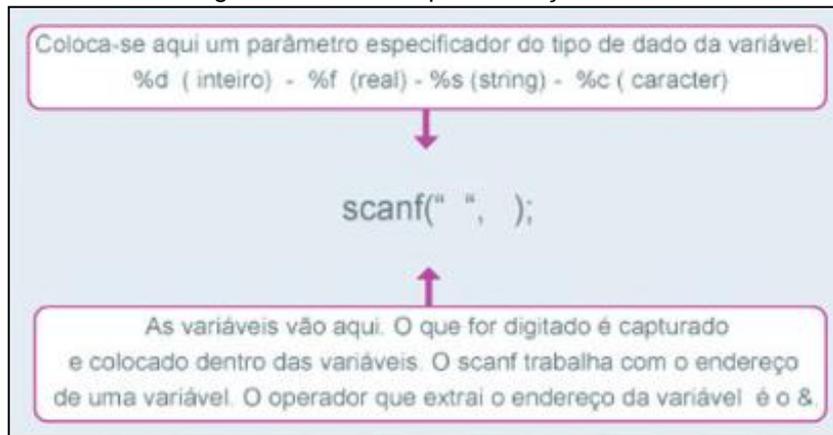
Fonte: www.alexandre.goya.nom.br, 2017

Lisboa (2001) exemplifica que a função *printf* é uma função de E/S (entrada e saída) utilizada em C. Por ela não fazer parte da definição da linguagem C, incluída a partir de uma biblioteca (*stdio.h*) que é fornecida junto com os compiladores. Esta função tem por finalidade mostrar uma expressão definida pelo programador, como mostra a Figura 1.27.

Figura 1.27 – Exemplo da função *printf*

Fonte: www.alexandre.goya.nom.br, 2017

A função *scanf* é outra função de E/S (entrada e saída) que se encontra na mesma biblioteca (*stdio.h*) utilizadas em C, que lê do teclado os dados e coloca os valores expresso pelo programador ou usuário nas variáveis usadas como parâmetros da função, conforme mostra a Figura 1.28.

Figura 1.28 – Exemplo da função *scanf*Fonte: www.alexandre.goya.nom.br, 2017

2 METODOLOGIA

Neste capítulo encontram-se os métodos, técnicas e etapas utilizadas no desenvolvimento do projeto intitulado Construção e Desenvolvimento de uma Máquina de Impressão Tridimensional. Para sua execução realizou-se um levantamento teórico de referências necessárias para dar sustentação ao desenvolvimento do tema problema. Trata-se de uma pesquisa aplicada que é desenvolvida nas dependências da FATEC São Bernardo do Campo.

Dentre os vários autores que trata da metodologia científica, Severino (2016) destaca que a metodologia é a preparação metódica e planejada de um trabalho científico, que é formado de uma sequência lógica de etapas, sendo elas:

- determinação do tema-problema e justificativa;
- levantamento da bibliografia referente ao tema;
- leitura das fontes de pesquisa e elaboração da documentação;
- construção física do trabalho;
- redação do texto.

A construção lógica do trabalho são arranjos encadeados de raciocínios e embasamentos teóricos obtidos através de pesquisas bibliográficas. A redação do trabalho tem como base o Manual de Normalização de Projeto de Trabalho de Graduação da Fatec SBCampo (2017) que tem como base as normas da ABNT. O trabalho é escrito em uma linguagem simples, concisa e técnica.

2.1 O tema-problema com justificativa

Em reuniões e através de pesquisas de mercado com integrantes do grupo ficou decidido que o tema-problema a ser estudado se intitula Construção e Desenvolvimento de uma Máquina de Impressão Tridimensional. Trata-se de um projeto alicerçado em pesquisas para construção de pequenos objetos criados a partir de *softwares* de modelagem 3D. Justifica-se pelo baixo custo, tempo de

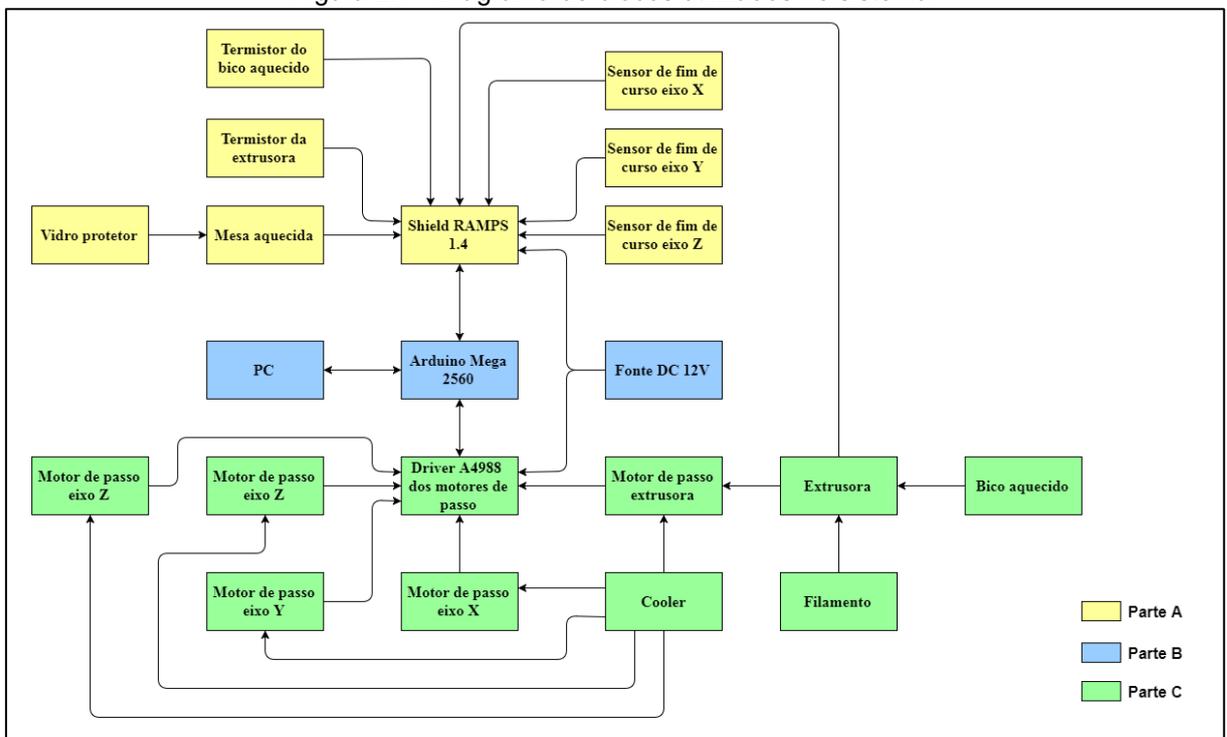
elaboração de peças, como também proporciona conhecimento e aprendizado de novas tecnologias para acompanhar a tendência de mercado.

A inserção da máquina de impressão tridimensional no atual mercado industrial e acadêmico é maior motivação para a realização desse trabalho. No ramo da indústria e de serviços destaca-se pela sua diversidade de utilidades e na área acadêmica aprimora os conhecimentos em programação, dando um resultado físico do protótipo, ajudando na confecção de peças para o TCC e manutenção de equipamentos.

2.2 Diagrama de funcionamento do projeto

Para melhor entendimento do foco do tema-problema apresenta-se um diagrama de blocos que se utiliza no sistema de Construção e Desenvolvimento de uma Máquina de Impressão Tridimensional. No diagrama observa-se em partes o funcionamento do projeto, conforme ilustra a Figura 2.1.

Figura 2.1 - Diagrama de blocos utilizados no sistema



Fonte: Autoria própria, 2017

Conforme a legenda da Figura 2.1, pode-se entender que:

Parte A: na cor amarela está contido o Shield RAMPS 1.4 responsável pela alocação dos periféricos que são utilizados para o controle e funcionamento do tema-problema. Sendo os periféricos, sensores de fim de curso que informam quando os motores chegam ao final da trajetória, mandando um sinal para o microcontrolador, os termistores para o controle de temperatura tanto do bico aquecido quanto da extrusora, uma mesa aquecida que é o local em que é impresso o protótipo e junto a ela é colocado um vidro que é utilizado como base antiaderente.

Parte B: na cor azul se encontra o microcontrolador que é utilizado no projeto, o Arduino Mega 2560 que tem por função o controle dos processos do tema-problema. Também há um PC conectado que tem por função o envio de dados do que é impresso através de um *software*, e uma fonte de alimentação 12 V que é responsável pela alimentação.

Parte C: na cor verde localizam-se os *drivers* A4988 que tem a função de controle dos motores de passo. Eles estão em constante comunicação com o microcontrolador para obter a informação dos movimentos que devem ser feitos para a realização do processo de impressão. Há também cinco motores de passo, cada um deles com um *driver* e um *cooler* que se utiliza para resfriar os motores, sendo que um é para o eixo X, um para o eixo Y, dois para o eixo Z e um para a extrusora. Os motores de passo são responsáveis pelos movimentos tridimensionais que se realizam para formar o objeto. No motor da extrusora realiza-se o controle de quanto do filamento é utilizado no processo de impressão. Ela tem a função de processar o filamento de vários tipos de plásticos ABS, PLA e PET. O bico aquecido tem a função de derreter o filamento de plástico.

2.3 Descrição do projeto

O princípio de funcionamento da Máquina de impressão tridimensional consiste na confecção de pequenos objetos projetados, a partir de sua criação em um ambiente de modelagem em 3D. Para suceder todo este procedimento, a placa Arduino Mega 2560 realiza o controle de posicionamento da impressora, como também, o monitoramento da temperatura da mesa, do bico de extrusão e das

resistências de aquecimento, além de proporcionar a comunicação entre *softwares* do computador e seu processador interno.

A alimentação do equipamento se realiza por meio de uma fonte de energia elétrica que visa diminuir a os valores fornecidos pela concessionária, e disponibilizar tensão e corrente elétricas em níveis apropriados para atender os valores solicitados por cada componente.

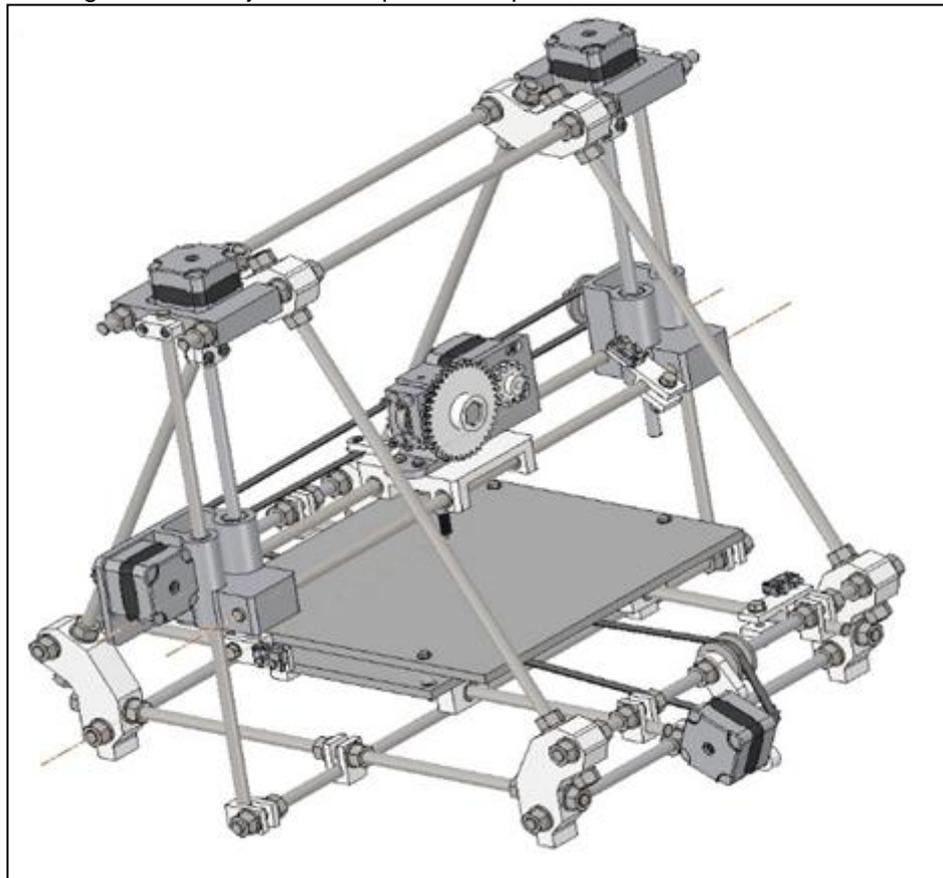
O projeto utiliza-se de um microcontrolador Atmel ATmega2560 que, faz a captação de informações de um computador interligado ao seu sistema, ou de um cartão de memória, que contém as informações necessárias para confeccionar o material projetado, para assim, efetuar a construção do objeto esboçado.

O Arduino Mega 2560 ao receber o comando para construir um objeto, envia comandos a placa *Shield Ramps 1.4*, que faz o aquecimento da mesa de trabalho, com objetivo de fornecer maior aderência à peça a ser construída e à face da mesa. Além disso, ela envia sinais para realizar o aquecimento das resistências elétricas do bico de extrusão, como também ao motor para realizar o processo de extrusão no filamento do material a ser utilizado.

Além disso, o Mega 2560 também faz o controle de posicionamento da mesa, enviando sinais para os motores de passo localizado em cada eixo, direcionando o bico extrusão para construir o objeto projetado, de acordo com as geometrias especificadas, via *software* de modelagem 3D.

No momento da impressão do material, tanto como o deslocamento da mesa de trabalho, como a deposição do filamento já submetido ao processo de extrusão são realizados simultaneamente, conforme ilustra a Figura 2.2.

Figura 2.2 - Projeto da máquina de impressão tridimensional



Fonte: www.impresso3d.com.br, 2017

2.4 Etapas teóricas e práticas para o desenvolvimento do projeto

Após delimitar o tema-problema, justificativa e descrição de funcionamento do projeto parte-se para as seguintes etapas:

Primeira etapa: reunião dos integrantes do grupo com o orientador para traçar as diretrizes de como efetuar a pesquisa. O orientador fez uma explanação geral sobre o tema-problema e explicou como deve ser feito o levantamento bibliográfico e marcou, obrigatoriamente, um dia por semana para apresentar o desenvolvimento da pesquisa.

Segunda etapa: concomitante o professor de PG1 solicitou para construir um cronograma com datas predefinidas das atividades inerentes as pesquisas, conforme ilustra a Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Cronograma do 1º semestre para realizar o projeto

	Agosto 5 semanas					Setembro 4 semanas				Outubro 4 semanas				Novembro 4 semanas			Dezembro 3 semanas			
	1sem	2sem	3sem	4sem	5sem	6sem	7sem	8sem	9sem	10sem	11sem	12sem	13sem	14sem	15sem	16sem	17sem	18sem	19sem	20sem
A	Escolha do tema do projeto. Escolha do professor orientador. Reunião para definição do escopo do projeto																			
B	Entrega do cronograma de atividades do grupo. Entrega do anteprojeto preenchido e assinado. Apresentação de copia impressa do manual de regras de formatação da Fatec SBC																			
C	Reunião do grupo de projeto. Levantamento de requisitos. Pesquisas. Construção da monografia.																			
D	Entrega da monografia incompleta para correção																			
E	Aplicação das correções propostas pelo professor de TG1 ao projeto																			
F	Aplicação das correções propostas pelo professor orientador ao projeto																			
G	Reunião com o professor orientador																			
H	Montagem dos slides para apresentação do projeto																			
I	Entrega das quatro copias da monografia para banca examinadora																			
J	Semana de defesa do TCC																			
K	Aplicação das correções propostas pela banca ao projeto																			
	02/ago														09/nov					
A	█																			
B		█																		
C		█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
D				█				█				█								
E					█			█				█			█					
F				█			█				█			█	█					
G		█	█		█		█		█		█		█	█	█	█	█	█	█	█
H															█					
I															█	█				
J																█				
K																	█	█	█	█

Fonte: Autoria própria, 2017.

Terceira etapa: levantamento bibliográfico em *sites* especializados provenientes PDF, manuais e catálogos de empresas, livros, artigos, dissertações na biblioteca da Fatec SBCampo.

Quarta etapa: leitura e releitura da bibliografia pesquisada. Selecionam-se as que estão de acordo com o tema-problema e constrói-se o Capítulo 1 - Fundamentação teórica.

Quinta etapa: pesquisa bibliográfica de autores renomados que trata da Metodologia Científica, fornecendo métodos e técnicas necessárias para o desenvolvimento do projeto.

Sexta etapa: levantamento dos materiais para a construção do projeto. Pesquisas em lojas especializadas e em *sites*. Viabilidade econômica e aquisição, conforme Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Materiais para construção do projeto

Componentes	Quantidade	Valor Total (R\$)
Bico aquecido	1	32,55
Guias lineares de aço	6	70,00
Parafusos e arruelas - diversos	65	26,60
Motores Nema 17	5	246,85
Arduino Mega 2560	1	32,61
RAMPS 1.4	1	16,50
Drivers A4988	5	19,95
Correias GT2 2m	2	14,00
Polias	2	14,00
Hotend (p/ 1.75 mm)	1	14,85
Extrusor Bloco de Al	1	15,17
Switches / endstops	3	14,63
Rolamentos diversos	11	65,00
Fonte industrial 350W / 12V / 30A	1	75,00
Mesa aquecida Mk2a	1	149,99
Acoplador eixo Z motor	2	20,00
Barra roscada	15	40,00
Total	-	867,7

Fonte: Autoria própria, 2017

Sétima etapa: o docente de PG2 solicitou a construção de um cronograma, tendo em vista estabelecer datas para realizar a elaboração do projeto, estabelecendo períodos de pesquisas, construção do protótipo e emissão de relatórios, informando ao professor orientador as atividades desenvolvidas, conforme ilustra a Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Cronograma do 2º semestre para realizar o projeto

	Fev 2 semanas		Março 5 semanas					Abril 4 semanas				Maio 4 semanas				Junho 4 semanas				Julho 1 sem.
	1ªsem	2ªsem	3ªsem	4ªsem	5ªsem	6ªsem	7ªsem	8ªsem	9ªsem	10ªsem	11ªsem	12ªsem	13ªsem	14ªsem	15ªsem	16ªsem	17ªsem	18ªsem	19ªsem	20ªsem
A	Diretrizes de TG2 e cronograma, preenchimento do Termo de Compromisso, confirmação dos componentes do grupo.																			
B	Entrega do cronograma de atividades do grupo. Entrega do anteprojeto preenchido e assinado, uma para o professor de TG2 e outra para coordenação.																			
C	Reunião do grupo de projeto. Levantamento de requisitos. Pesquisas. Construção da monografia.																			
D	Entrega do relatório parcial de montagem assinado pelo orientador.																			
E	Entrega da monografia incompleta para correção (com rubrica dos alunos e professor orientador).																			
F	Aplicação das correções propostas pelo professor orientador e coorientador.																			
G	Devolução e aplicação das correções propostas pelo professor de TG2.																			
H	Reunião com professor orientador																			
I	Preparação para apresentação do protótipo.																			
J	Preparação para a apresentação para a banca. Apresentar os slides e realizar uma apresentação.																			
K	Entrega das quatro cópias da monografia para a banca examinadora.																			
L	Semana de defesa do TCC.																			
M	Verificações e aplicações das correções proposta pela banca.																			

Fonte: Autoria própria, 2018.

Oitava etapa: reunião dos integrantes do grupo para realizar a aquisição de materiais para desenvolver o protótipo.

Nona etapa: construção da estrutura mecânica e testes para verificar estabilidade ao repousar em um plano de trabalho horizontal.

Décima etapa: instalação de motores e periféricos na estrutura do protótipo e realização de testes para verificar a precisão nos movimentos de cada eixo da impressora.

Décima primeira etapa: elaboração dos circuitos de acionamento dos motores e periféricos, como também a execução de testes para verificar o funcionamento e corrigindo possíveis defeitos.

Décima segunda etapa: desenvolvimento da programação e controle do protótipo, utilizando o Arduino Mega 2560, estabelecendo rotinas de acionamento dos motores, como também realizando sua integração com os periféricos utilizados no protótipo.

Décima terceira etapa: realização de ensaios eletromecânicos para verificar a estabilidade e precisão dos movimentos na impressora 3D e correção de possíveis erros.

Décima quarta etapa: integração entre o Arduino Mega 2560 com softwares de modelagem 3D, para receber instruções de como deve proceder no processo de confecção do objeto projetado.

Décima quinta etapa: problemas encontrados na construção do projeto e soluções para diminuir as irregularidades.

Décima sexta etapa: apresentação do projeto finalizado, mostrando os métodos para sua construção.

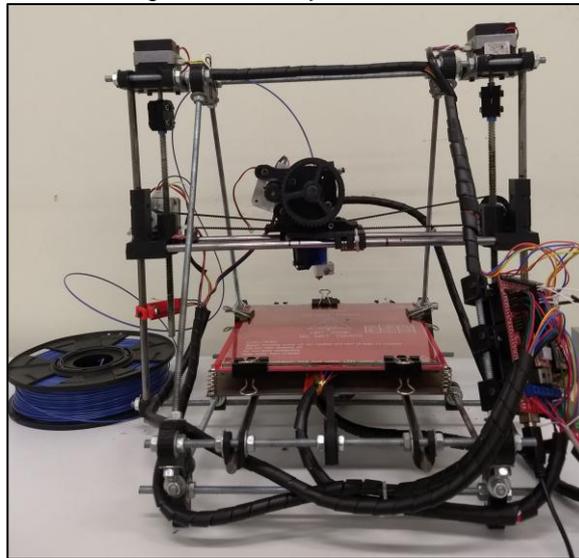
Décima sétima etapa: finalizado o capítulo de Desenvolvimento do projeto, são elaborados as Considerações finais e o Resumo do trabalho.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Neste capítulo encontra-se passo a passo a construção e desenvolvimento de uma máquina de impressão tridimensional.

Para melhor visualização do projeto a ser executado, a Figura 3.1 ilustra-o finalizado.

Figura 3.1 - Projeto finalizado



Fonte: Autoria própria, 2018.

A máquina de impressão tridimensional tem seu funcionamento por meio de uma placa Arduino Mega 2560. Realiza-se a gravação do programa de controle do protótipo. Na placa *Shield Ramps 1.4* são realizados os acionamentos dos elementos eletrônicos, que atuam no processo de elaboração das peças em 3D. O *software* Repetier faz a seleção de peças e a comunicação com o Mega 2560.

O desenvolvimento e construção do projeto se baseiam nos seguintes tópicos:

- construção da estrutura mecânica;
- montagem eletrônica e testes;
- desenvolvimento da programação em linguagem C no microcontrolador;
- testes finais, interação entre as partes e funcionamento do projeto;

3.1 Construção da estrutura mecânica

A estrutura mecânica de uma máquina de impressão tridimensional é um componente fundamental do processo de elaboração do material em 3D, pois deve estar muito bem montada, com fixação precisa de porcas e arruelas nas peças de suporte, de forma que sua construção tenha precisão máxima, evitando problemas geométricos na confecção das peças projetadas.

3.1.1 Montagem das laterais e base

A máquina de impressão tridimensional é composta por duas laterais, que são responsáveis por garantir a sustentação mecânica de toda estrutura a ser montada. Para sua montagem utiliza-se barras roscadas, suportes para fixação, duas sapatas em ABS, porcas e arruelas.

Para construir a lateral da máquina de impressão tridimensional segue-se: fixação da barra roscada, junto de porcas e arruelas nas sapatas e suporte superior; ajustes na fixação das porcas nas barras, de forma a verificar o aperto entre as peças.

Para melhor compreensão da relação de materiais exposta, a Figura 3.2 exibe uma das laterais montadas.

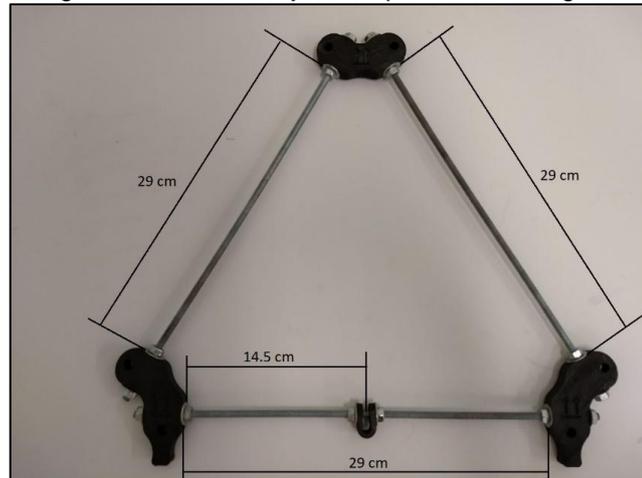
Figura 3.2 – Estrutura lateral montada



Fonte: Autoria própria, 2018.

Após concluída a montagem da primeira estrutura lateral, deve-se verificar a medida entre as extremidades das barras roscadas, de forma que todos os valores mensurados devem ser de 29 cm. Este procedimento de medição deve-se repetir entre a extremidade da barra inferior e o suporte central, de forma que o valor medido deve ser de 14,5 cm, conforme ilustra a Figura 3.3.

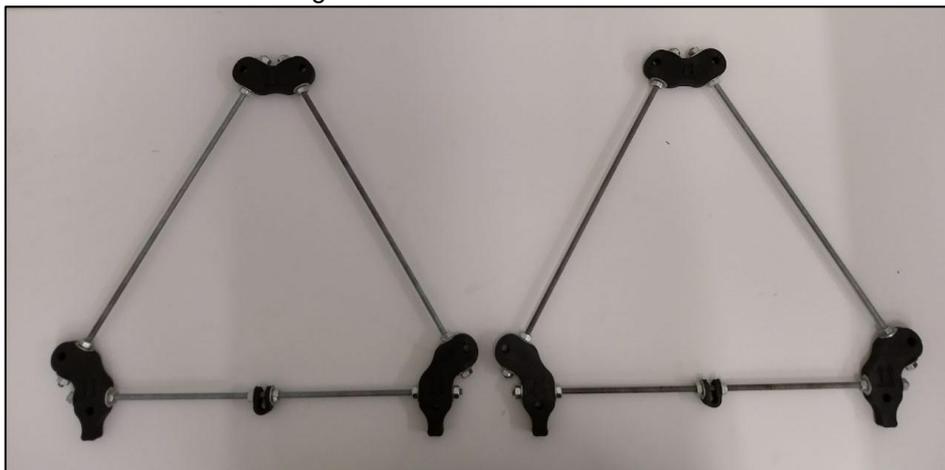
Figura 3.3 – Lateral ajustada para medidas iguais



Fonte: Autoria própria, 2018.

Após a montagem da primeira lateral segue-se os mesmos procedimentos para a segunda, conforme Figura 3.4.

Figura 3.4 – Laterais finalizadas



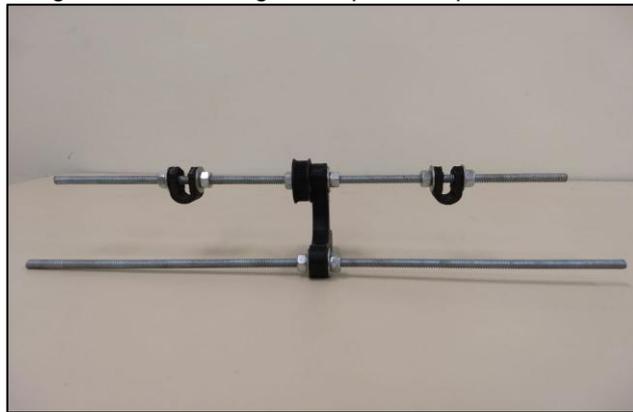
Fonte: Autoria própria, 2018.

Dando sequência, realiza-se o processo de montagem da base, que tem por finalidade dar sustentação e o deslocamento do carro Y. A base é composta por quatro barras roscadas, possuindo medidas de 295 mm e 323 mm, respectivamente,

como também uma de 440 mm, um suporte inferior de ABS para fixação do motor e dois rolamentos de esferas 608ZZ.

Na primeira parte da base da máquina de impressão dimensional, faz-se a fixação das barras roscadas no suporte do motor. A barra possui 295 mm, que é fixada no furo superior juntamente com os suportes em "u" e o rolamento de esferas 608ZZ, enquanto que a barra maior é fixada no furo inferior. O rolamento e os suportes em "u" são fixados na menor barra. Eles são fixados por porcas e arruelas em suas extremidades, de forma que fiquem justapostas entre suas faces, garantindo sua estabilidade e diminuindo folgas na estrutura, conforme ilustra a Figura 3.5.

Figura 3.5 – Montagem da primeira parte da base



Fonte: Autoria própria, 2018.

Na segunda parte da base fixam-se dois suportes em "u" e um rolamento de esferas 608ZZ na barra de 295 mm. Esses elementos são fixados na menor barra, com porcas e arruelas em suas extremidades, como na montagem da primeira parte. São fixadas na barra roscada de 323 mm quatro porcas e arruelas, para proporcionar a estabilidade da base. Estas barras estão inseridas nas sapatas de ABS, conforme ilustra a Figura 3.6.

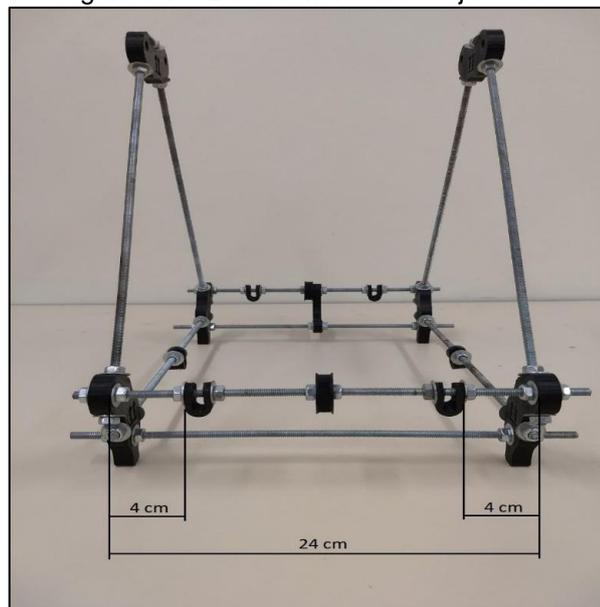
Figura 3.6 – Montagem da segunda parte da base



Fonte: Aatoria própria, 2018.

Com as duas partes das bases concluídas, faz-se a mensuração das distâncias entre as faces de cada sapata de suporte, que apresenta a medida de 24 cm. Este procedimento repete-se para verificar a distância entre a face da sapata e a face de cada suporte de ABS, em forma de “u”, resultando no valor de 4 cm. Processo este que se repete para a outra parte da base, conforme ilustra a Figura 3.7.

Figura 3.7 – Base com medidas ajustadas



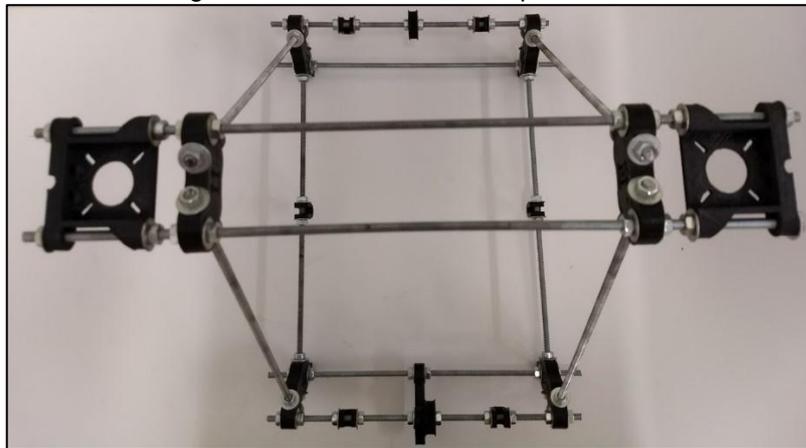
Fonte: Aatoria própria, 2018.

3.1.2 Instalação dos suportes dos motores de passo

A máquina de impressão tridimensional possui dois suportes de ABS, que são responsáveis por garantir a sustentação mecânica dos motores de passo que fazem a movimentação vertical do extrusor.

São fixas duas barras roscadas de 440 mm nos suportes superior das laterais. Em seguida, instala-se os suportes dos motores de passo com porcas e arruelas, conforme ilustra a Figura 3.8.

Figura 3.8 – Estrutura com suportes fixos



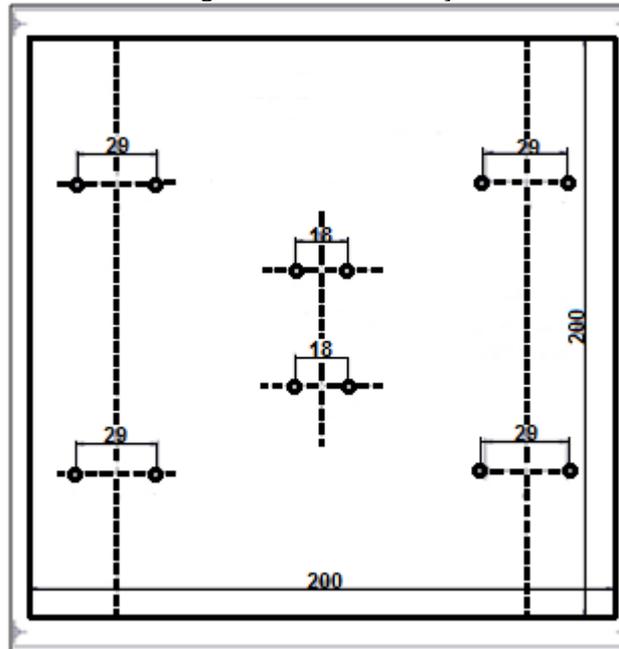
Fonte: Autoria própria, 2018.

3.1.3 Montagem da base de impressão

A máquina de impressão tridimensional possui uma base de alumínio para a mesa aquecida. Ela é responsável por realizar movimentos no eixo Y, trabalhando de forma a contribuir no processo de impressão do material projetado. Para realizar o processo de montagem é fundamental o uso de guias lineares, suportes, rolamentos, correia, arruelas e parafusos.

Para montar a base é necessário utilizar uma folha de gabarito informando a localização exata dos furos que devem ser feitos na base de alumínio, conforme ilustra a Figura 3.9.

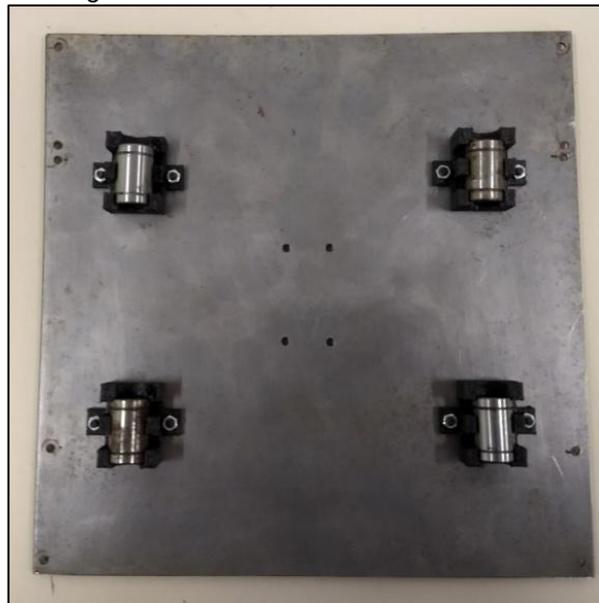
Figura 3.9 – Folha de gabarito com realização dos furos na base



Fonte: Autoria própria, 2018.

Após realizado processo de furação na base de alumínio, os rolamentos LME88UU são fixos aos suportes de ABS e inseridos na base, junto de porcas e arruelas, garantindo sua estabilidade, conforme ilustra a Figura 3.10.

Figura 3.10 – Base com rolamentos fixos

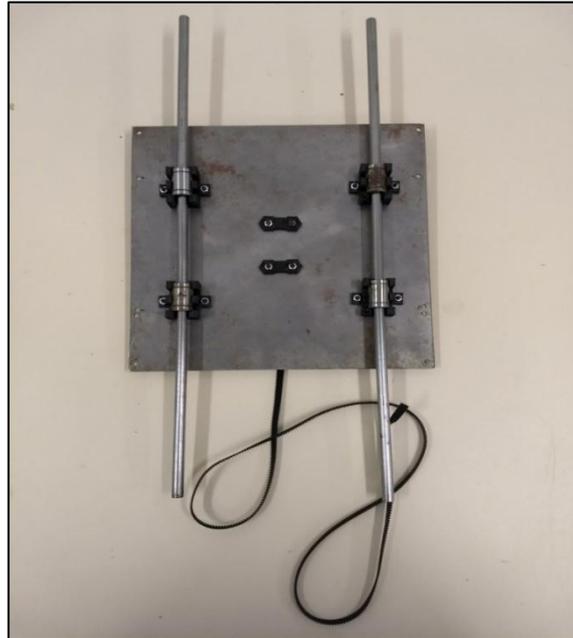


Fonte: Autoria própria, 2018.

A seguir são acopladas aos rolamentos LME88UU duas guias lineares de 413 mm, de forma a verificar sua estabilidade e precisão em sua movimentação.

Também são fixos os suportes de ABS para manter presa a correia dentada na base de alumínio, de forma que possa facilitar sua instalação ao motor acoplado a base da estrutura da máquina de impressão tridimensional, que permite sua movimentação no eixo Y do plano de trabalho, conforme ilustra a Figura 3.11.

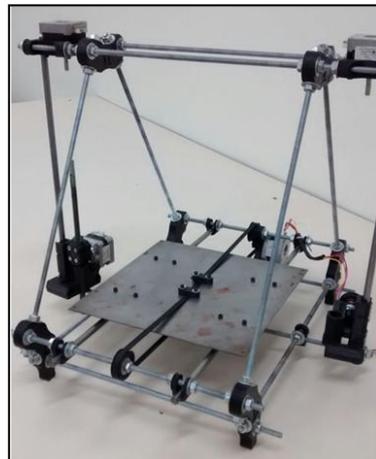
Figura 3.11 – Base pronta para instalação



Fonte: Autoria própria, 2018.

Após a montagem da base faz-se a sua instalação encaixando-as nos suportes em "u", alinhando a polia de modo que a base se mova corretamente pelo deslocamento da correia, conforme ilustra a Figura 3.12.

Figura 3.12 – Base instalada na estrutura



Fonte: Autoria própria, 2018.

3.1.4 Montagem da base da extrusora

A máquina de impressão tridimensional possui uma extrusora responsável pelo preparo do filamento. Ela é composta por uma estrutura que se locomove pelo eixo X, fazendo o processo de depósito do material. Para sua montagem usa-se correia dentada, guias lineares, rolamentos, grampos e suportes em ABS, parafusos e arruelas.

Primeiro deve-se encaixar os rolamentos nos suportes em ABS para guia e para extrusora, conforme ilustra a Figura 3.13.

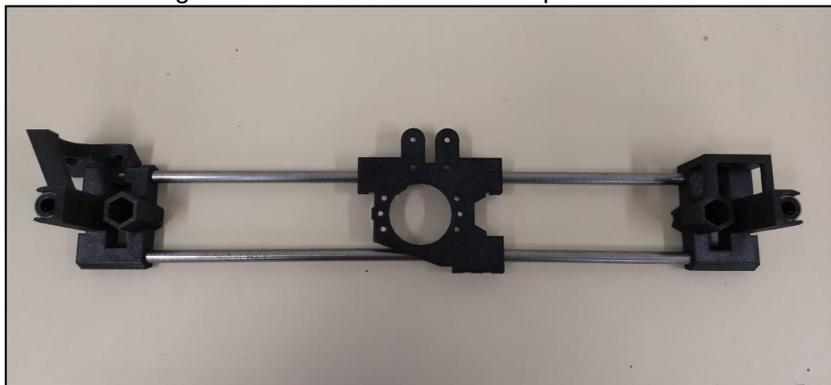
Figura 3.13 – Encaixe dos rolamentos nos suportes



Fonte: Aatoria própria, 2018.

Após o encaixe dos rolamentos nos suportes, inserem-se as duas guias lisas de 405 mm em um dos suportes. Coloca-se o alicerce da extrusora nas mesmas guias e fecha-se com o outro suporte, conforme mostra a Figura 3.14.

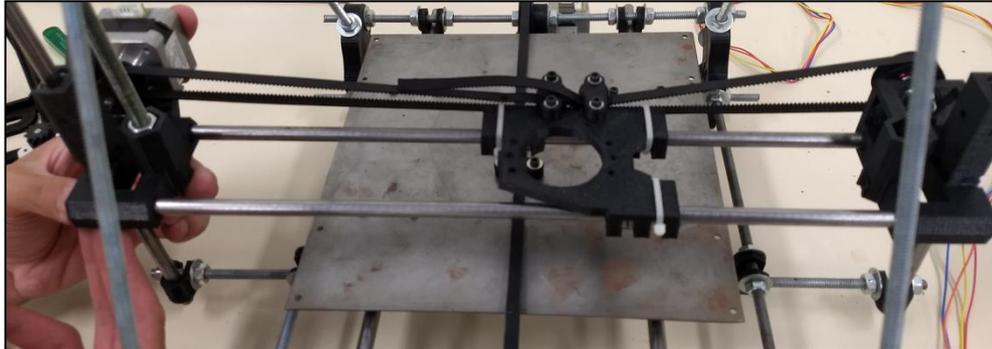
Figura 3.14 – Base da extrusora pré montada



Fonte: Aatoria própria, 2018.

Dando seguimento à montagem, fixa-se o rolamento no suporte com parafusos e arruelas. No suporte da extrusora coloca-se uma correia dentada e ajustando-a para que seja possível a sua locomoção, conforme ilustra a Figura 3.15.

Figura 3.15 – Base da extrusora montada



Fonte: Autoria própria, 2018.

3.1.5 Montagem do extrusor

A máquina de impressão tridimensional realiza o processo de extrusão do filamento. O extrusor é composto por uma engrenagem acoplada ao eixo do motor. Para sua montagem são necessários suportes, engrenagem e acoplamento em ABS, rolamentos, parafusos e arruelas com porcas.

Para realizar a montagem do extrusor, são verificados todos os furos de cada suporte, como também os encaixes para cada um dos rolamentos, de forma que não exista nenhuma imperfeição, sendo possível a alocação dos componentes, conforme ilustra a Figura 3.16.

Figura 3.16 – Suportes do extrusor ajustados



Fonte: Autoria própria, 2018.

Após processo de ajustagem dos suportes, inserem-se três rolamentos ABEC5 608-2RS, sendo dois no suporte do motor e o restante no outro suporte. Entre eles, fixa-se o parafuso sextavado M8 x 55 mm junto com arruelas e porca. Na cabeça deste parafuso é colocada uma engrenagem de ABS que atua juntamente com o acoplamento de ABS inserido no eixo do motor. Nele é inserido um acoplamento de ABS, auxiliando no movimento da engrenagem para captar o filamento do material a ser trabalhado, conforme ilustra a Figura 3.17.

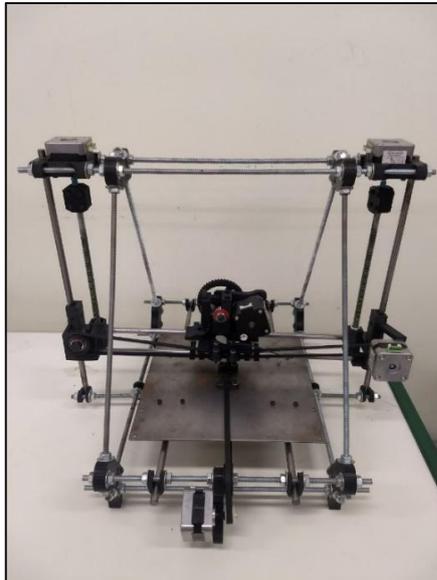
Figura 3.17 – Componentes fixos aos suportes



Fonte: Autoria própria, 2018.

Prosseguindo a montagem, faz-se a união do extrusor montado com a base da extrusora, através da fixação de porcas e arruelas, finalizando todo processo de construção mecânica, conforme ilustra a Figura 3.18.

Figura 3.18 – Estrutura mecânica finalizada



Fonte: Autoria própria, 2018.

3.2 Montagem eletrônica e testes

Após a construção mecânica dá-se início a montagem eletrônica e testes. O circuito eletrônico da máquina de impressão tridimensional é um componente fundamental do processo de confecção do material em 3D. Este, por sua vez, deve ser muito bem dimensionado, possuindo a capacidade de realizar o controle preciso dos movimentos de cada motor localizados nos eixos X,Y e Z, como também realizar o comando de calefação da mesa e do bico aquecido.

A máquina de impressão tridimensional possui *drivers* A4988, que são elementos capazes de realizar o acionamento de forma precisa de cada motor de passo, dispostos em circuitos integrados, possibilitando sua interação com diversos microcontroladores no mercado.

Para fazer o controle de cada motor de passo na máquina de impressão tridimensional, através da utilização dos *drivers* A4988 verifica-se os catálogos de cada motor de passo de acordo com sua especificação inserida em seu corpo. Após a análise dos dados de corrente de cada motor, realiza-se um cálculo de tensão de referência, disponibilizado pelo fabricante dos *drivers*, cujo objetivo de identificar o valor da corrente de saída necessária para ligar os motores. A fórmula geral é dada por:

$$\boxed{V = \frac{I}{2,5}} \quad [3.1]$$

onde V = tensão de referência, I = corrente do motor e 2,5 é a constante.

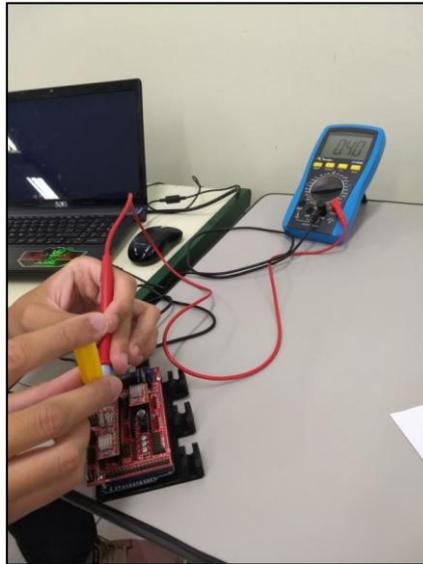
Nota: para o motor da extrusora sua corrente é 1,7 A, e para os demais motores a corrente é 1,0 A.

Cálculo da tensão no motor da extrusora: $V = \frac{1,7}{2,5} = 0,68$

Cálculo da tensão nos demais motores: $V = \frac{1,0}{2,5} = 0,4$

Após os cálculos realizados, efetua-se o processo de ajuste dos *drivers* A4988, com o auxílio de uma chave philips e um multímetro digital, regulado para medir a tensão de referência e ajustar o valor, conforme ilustra a Figura 3.19.

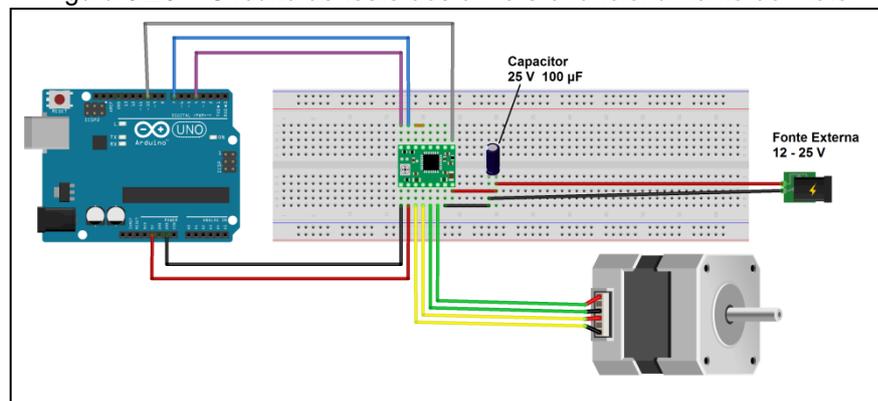
Figura 3.19 – Ajustes dos *drivers*



Fonte: Autoria própria, 2018.

Com os ajustes finalizados, inicia-se o processo de testes para verificar o deslocamento de cada eixo de trabalho. Para isso, é desenvolvido um circuito de controle, utilizando uma placa Arduino UNO, um capacitor de 100 μF , um motor de passo Nema 17, um *driver* A4988, uma matriz de contatos de 800 pinos e uma fonte de alimentação de 12 V. Este circuito tem como objetivo analisar o funcionamento dos motores localizados nos eixos X, Y, Z e na extrusora, conforme ilustra a Figura 3.20.

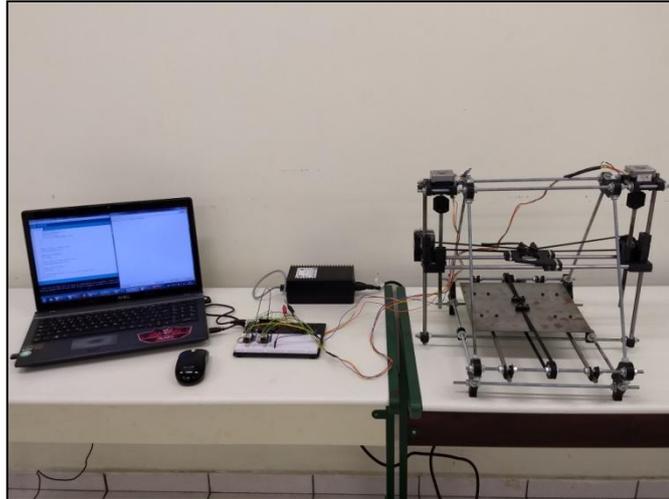
Figura 3.20 – Circuito de teste dos drivers e funcionamento do motor



Fonte: Autoria própria, 2018.

Após realizar a montagem física do circuito realiza-se a programação de controle dos motores na IDE do Arduino, que se encontra no Apêndice A. Para realizar o teste utiliza-se a programação que se carrega no Arduino, faz-se as ligações nos motores e verifica o funcionamento. O teste é realizado com sucesso. A Figura 3.21 exibe o teste de funcionamento dos motores.

Figura 3.21 – Teste de funcionamento dos motores

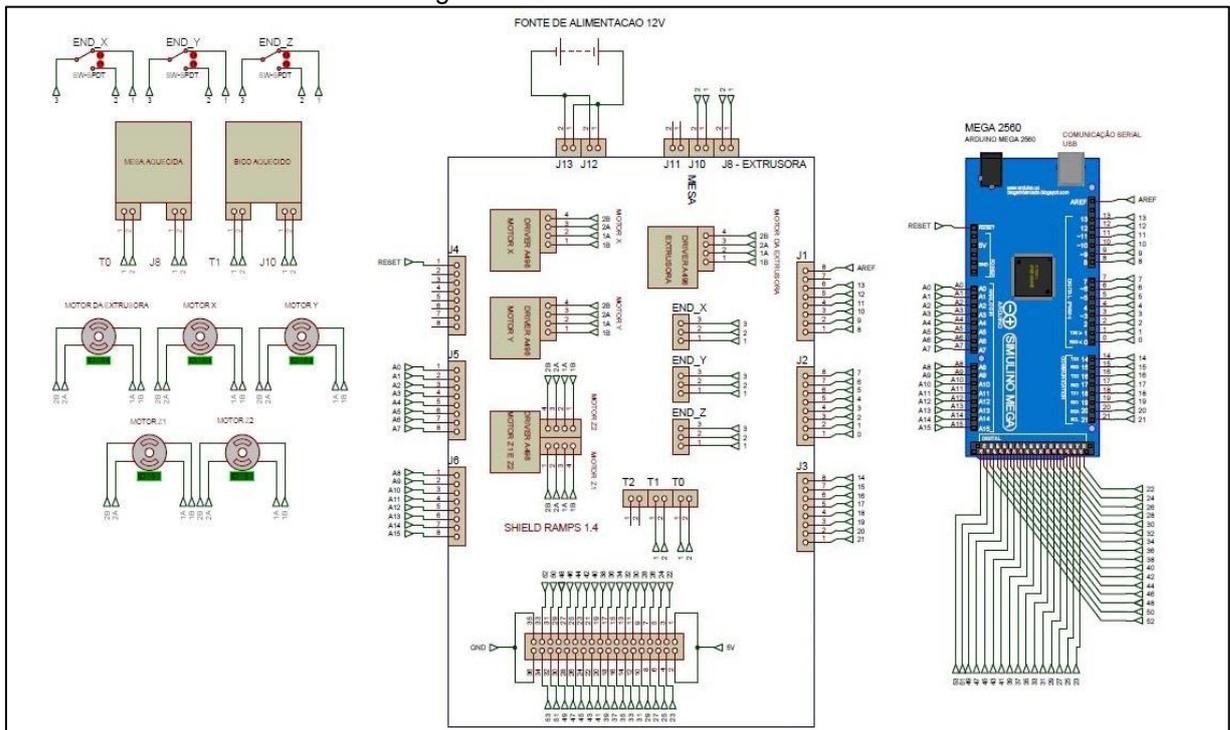


Fonte: Autoria própria, 2018.

3.2.1 Montagem do circuito de controle para acionamentos

A máquina de impressão tridimensional necessita de um circuito de controle para fazer, de forma precisa, os acionamentos de cada elemento utilizado no processo de confecção do material em 3D. Após a realização de testes nos motores, drivers e dispositivos limitadores de curso, verifica-se seu funcionamento com a placa controladora *Shield Ramps 1.4*, que tem por função captar todos os sinais dos aparelhos inseridos na estrutura da máquina de impressão. A Figura 3.22 mostra o circuito elaborado para exercer o controle da máquina de impressão.

Figura 3.22 – Circuito de controle

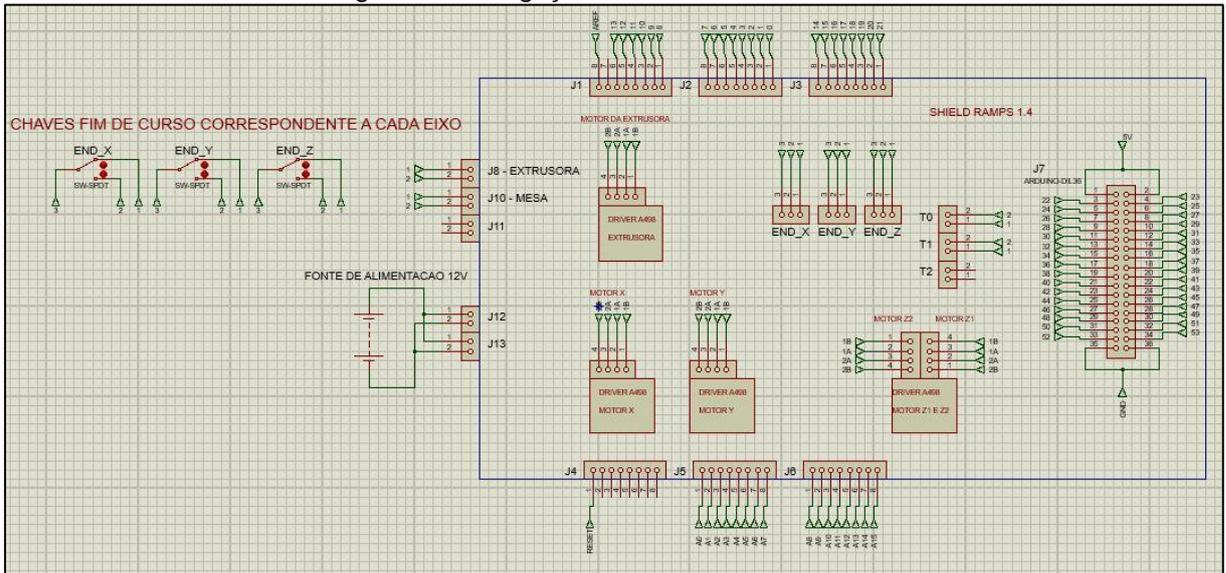


Fonte: Autoria própria, 2018.

3.2.2 Ligação e testes das chaves fim de curso

A máquina de impressão tridimensional realiza movimentos nos eixos X, Y e Z, através dos comandos gerados pela Placa Shield Ramps 1.4. Entretanto, estes acionamentos necessitam ser controlados, de forma que não ocorra a colisão entre elementos da estrutura mecânica, prejudicando sua construção. Para isso, faz-se a instalação das chaves fim de curso na sua estrutura que tem por função realizar a limitação de movimentos do seu mecanismo e informar o posicionamento atual. Com estes procedimentos realizados, faz-se o esquema de ligação das chaves fim de curso em um *software* de simulação de circuitos eletrônicos, mostrando sua conexão com a placa *Shield Ramps 1.4*, conforme ilustra a Figura 3.23.

Figura 3.23 – Ligação das chaves fim de curso



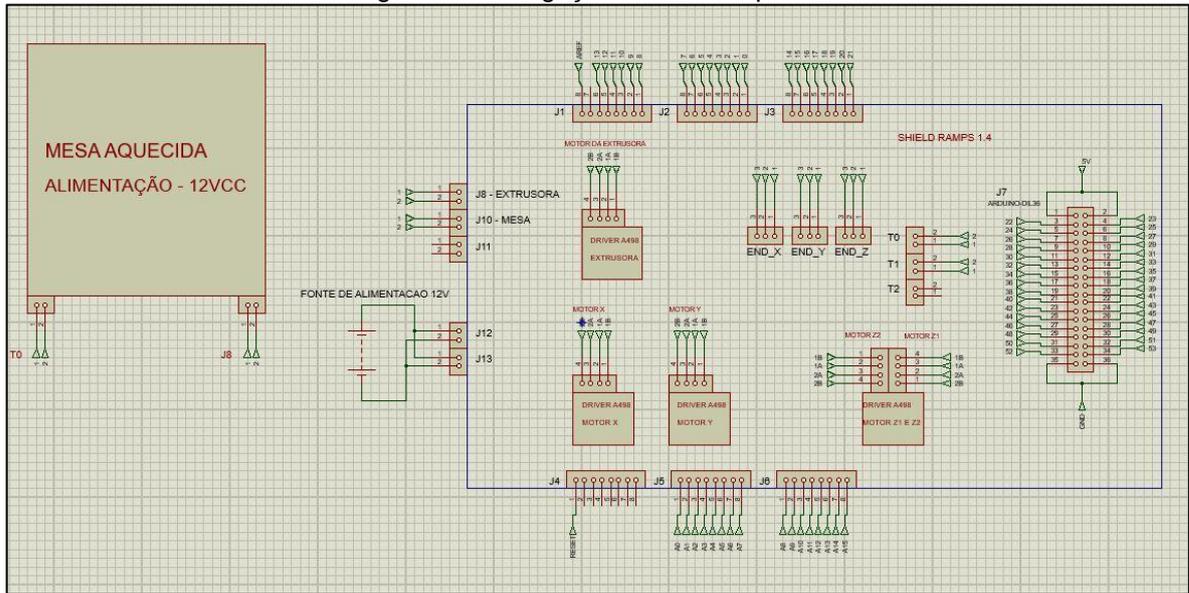
Fonte: Autoria própria, 2018.

3.2.3 Ligação e testes da mesa e bico aquecido

A máquina de impressão tridimensional usa de dispositivos que permitam suceder o processo de impressão de objetos, sendo estes a mesa, loca onde o material é depositado para realizar a construção do elemento projetado e o bico aquecido, que por sua vez, faz o aquecimento do material já submetido ao processo de extrusão para facilitar o processo de deposição do material, segundo ao processo FDM.

Para realizar o processo de ligação e teste da mesa, deve-se verificar as indicações de conexão dispostas em seu corpo, com bornes de alimentação da mesa, de forma que seja efetuado, corretamente, o processo de ligação. Outro procedimento feito é a instalação de um termistor NTC 3950 de 100k Ω , no corpo da mesa, permitindo seu aquecimento e melhorando a deposição do material por FDM. Em seguida, monta-se em um *software* de simulação de circuitos eletrônicos, o esquema de ligação da mesa na placa de controle *Shield Ramps 1.4*, conforme ilustra a Figura 3.24.

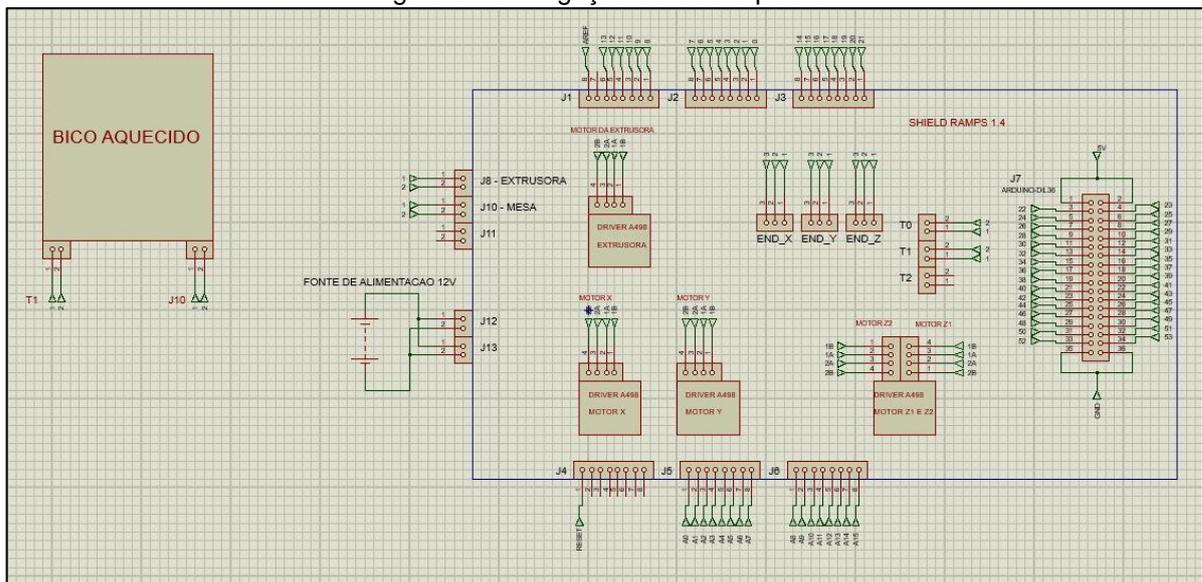
Figura 3.24 – Ligação da mesa aquecida



Fonte: Autoria própria, 2018.

Após a realização do procedimento correspondente a mesa, faz-se o processo de ligação do bico aquecido. Para isso, verifica-se a disposição dos cabos em seu corpo, como também do termistor NTC 3950 de 100k Ω , analisando sua instalação mecânica e arranjo dos cabos elétricos, de forma a possibilitar sua integração com os elementos de controle. Com estes procedimentos realizados, faz-se o esquema de ligação do bico aquecido em um *software* de simulação de circuitos eletrônicos, mostrando a conexão dos elementos que compõe o bico com a placa *Shield Ramps 1.4*, conforme ilustra a Figura 3.25.

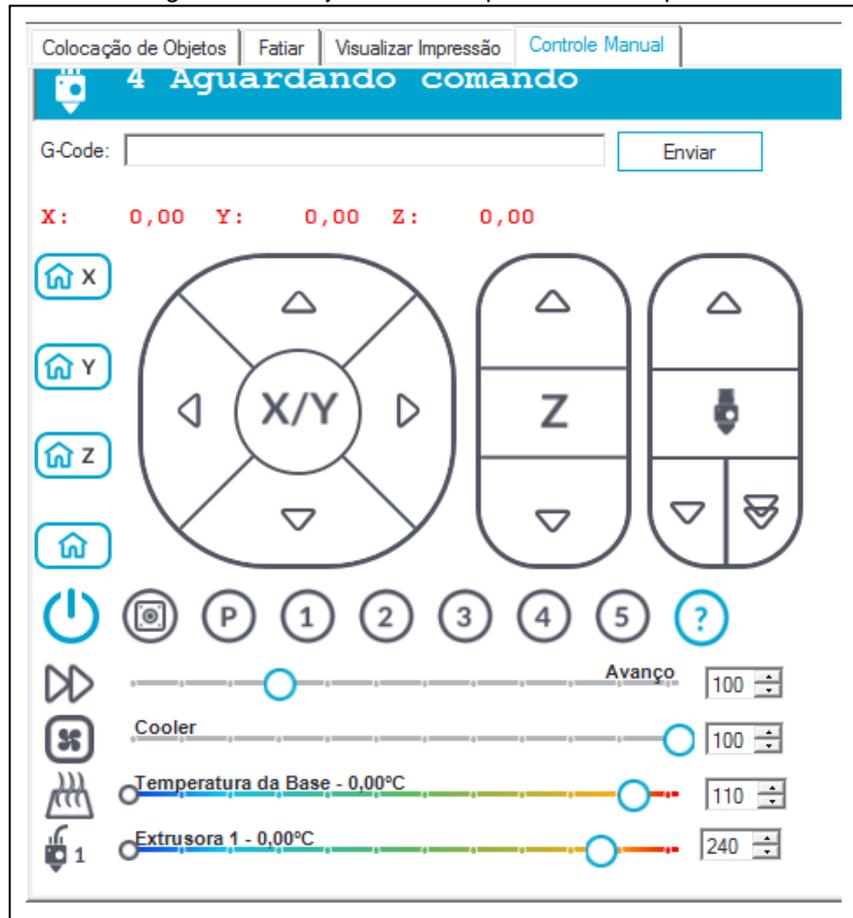
Figura 3.25 – Ligação do bico aquecido



Fonte: Autoria própria, 2018.

Após realizar as ligações, faz-se os testes para verificar seu funcionamento integrado a placa *Shield Ramps 1.4*. Para isto, faz-se a utilização do *software* Repetier, que permite realizar o monitoramento do processo de construção de um objeto em 3D, como também analisar e controlar a temperatura da mesa e do bico aquecido, possibilitando seu ajuste, conforme ilustra a Figura 3.26.

Figura 3.26 – Ajustes de temperatura no Repetier



Fonte: Autoria própria, 2018.

3.3 Programação em linguagem C no microcontrolador

A programação de uma máquina de impressão tridimensional é o elemento principal para que todo processo de confecção do material em 3D seja elaborado. Sua estrutura é elaborada na IDE do Arduino Mega 2560, que realiza os comandos correspondentes ao programa, permitindo o controle do funcionamento da máquina, como também a integração ao *software* Repetier para realizar os ajustes de movimentação e controle da temperatura da mesa e bico aquecido. O desenvolvimento da programação está dividido nas seguintes partes:

Primeira parte: configura-se o programa para se adaptar à placa, colocando o número da porta serial (0) para detecção automática e ajustando a velocidade de comunicação (*baudrate*), conforme ilustra a Figura 3.27.

Figura 3.27 – Ajustes da primeira parte da programação

```

103 #define SERIAL_PORT 0
104
105 /**
106  * This setting determines the communication speed of the printer.
107  *
108  * 250000 works in most cases, but you might try a lower speed if
109  * you commonly experience drop-outs during host printing.
110  * You may try up to 1000000 to speed up SD file transfer.
111  *
112  * :[2400, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 250000, 500000, 1000000]
113  */
114 #define BAUDRATE 115200
115
116 // Enable the Bluetooth serial interface on AT90USB devices
117 // #define BLUETOOTH
118
119 // The following define selects which electronics board you have.
120 // Please choose the name from boards.h that matches your setup
121 #ifndef MOTHERBOARD
122   #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
123 #endif
124

```

Fonte: Autoria própria, 2018.

Segunda parte: define-se a quantidade de extrusoras em uma unidade, como também o diâmetro do filamento para 1.75 mm, conforme ilustra a Figura 3.28.

Figura 3.28 – Ajustes da segunda parte da programação

```

134
135 // This defines the number of extruders
136 // :[1, 2, 3, 4, 5]
137 #define EXTRUDERS 1
138
139 // Generally expected filament diameter (1.75, 2.85, 3.0, ...). Used for Volumetric, Filament Width Sensor, etc.
140 #define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 1.75
141

```

Fonte: Autoria própria, 2018.

Terceira parte: utiliza-se de uma ferramenta disponível no site: <<https://www.prusaprinters.org/calculator/>> para realizar o cálculo do deslocamento por passo em cada eixo da máquina de impressão tridimensional. Este procedimento aplica-se tanto para o eixo X quanto para o Y. Para o eixo Z, usa-se um cálculo específico para obter o valor de sua movimentação, conforme ilustra a Figura 3.29.

Figura 3.29 – Cálculos de deslocamento dos eixos

Motor step angle		Driver microstepping			
1.8° (200 per revolution)		1/16 - uStep (mostly Pololu)			
Belt pitch (in mm)		Belt presets			
2		2mm Pitch (GT2 mainly)			
Pulley tooth count					
24					
Result	Resolution	Teeth	Step angle	Stepping	Belt
66.67 Click to Share!	15micron	24	1.8°	1/16th	2mm
Motor step angle		Driver microstepping			
1.8° (200 per revolution)		1/16 - uStep (mostly Pololu)			
Leadscrew pitch		Pitch presets			
1.41111 mm/revolution		5/16"18 imperial coarse (1.41111mm per rota)			
Gear ratio					
1 : 1					
Result	Leadscrew pitch	Step angle	Stepping	Gear ratio	
2267.72 Click to Share!	1.41111	1.8°	1/16th	1 : 1	

Fonte: Autoria própria, 2018.

Após os cálculos realizados, aplica-se seus resultados no código do programa e, concomitantemente, ajusta-se a velocidade que os motores trabalham e a quantidade de passos que devem dar para realizar o deslocamento, respeitando as dimensões da máquina de impressão tridimensional, conforme ilustra a Figura 3.30.

Figura 3.30 – Ajustes da terceira parte da programação

```

532 // #define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80, 80, 4000, 500 }
533 #define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 66.67, 66.67, 2267.72, 250 }
534
535 /**
536  * Default Max Feed Rate (mm/s)
537  * Override with M203
538  *
539  * X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3[, E4]]]]
540  */
541 #define DEFAULT_MAX_FEEDRATE { 300, 300, 5, 25 }
542
543 /**
544  * Default Max Acceleration (change/s) change = mm/s
545  * (Maximum start speed for accelerated moves)
546  * Override with M201
547  *
548  * X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3[, E4]]]]
549  */
550 #define DEFAULT_MAX_ACCELERATION { 3000, 3000, 100, 10000 }

```

Fonte: Autoria própria, 2018.

Quarta parte: realiza-se o ajuste do *home* da máquina, como também o tamanho da mesa aquecida utilizada, e a definição dos pontos onde estão localizadas as chaves fim de curso. Define-se o valor mínimo para o *home* e o valor máximo para o tamanho da mesa, conforme ilustra a Figura 3.31.

Figura 3.31 – Ajustes da quarta parte da programação

```

775 // Direction of endstops when homing; 1=MAX, -1=MIN
776 // :[-1,1]
777 #define X_HOME_DIR -1
778 #define Y_HOME_DIR -1
779 #define Z_HOME_DIR -1
780
781 // @section machine
782
783 // The size of the print bed
784 #define X_BED_SIZE 200
785 #define Y_BED_SIZE 200
786
787 // Travel limits (mm) after homing, corresponding to endstop positions.
788 #define X_MIN_POS 0
789 #define Y_MIN_POS 0
790 #define Z_MIN_POS 0
791 #define X_MAX_POS X_BED_SIZE
792 #define Y_MAX_POS Y_BED_SIZE
793 #define Z_MAX_POS 200
794

```

Fonte: Autoria própria, 2018.

3.4 Testes finais, interação entre as partes e funcionamento do projeto

Os testes finais, com a interação entre as partes da máquina de impressão tridimensional são elementos importantes para determinar seu funcionamento. Neles, comprova-se todo o desenvolvimento do projeto em análise prática e, faz-se os diagnóstico e correções de possíveis irregularidades no decorrer do processo, como também a integração dos meios computacionais com a estrutura física da máquina de impressão, que permite verificar seu deslocamento em cada eixo de trabalho. Para realizar este procedimento, segue-se as etapas relacionadas:

Etapa 1: faz-se o processo de calibração na máquina de impressão tridimensional em cada um dos eixos de trabalho. Com um paquímetro, mede-se a distância entre o ponto inicial de cada eixo de trabalho e um valor estabelecido na programação. Para os eixos X e Y, os valores devem corresponder a 100 mm e no eixo Z, o valor deve ser de 50 mm, conforme ilustra a Figura 3.32.

Figura 3.32 – Calibração e medição nos eixos da máquina de impressão

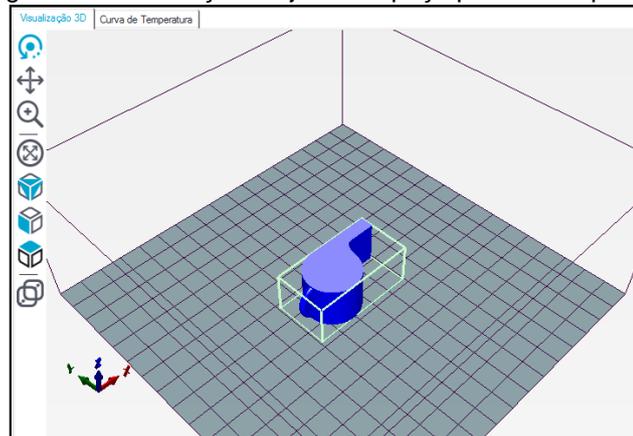


Fonte: Autoria própria, 2018.

Etapa 2: realiza-se o processo de carregamento do programa (que se encontra no Apêndice B) no Arduino. Após isto, faz-se a comunicação entre o *software* Repetier e o Arduino, através do ajuste da porta *serial* utilizada no computador, para suceder a interação entre as partes. Depois, executa-se o comando de *home* da máquina de impressão, deixando-a preparada para efetuar a confecção do objeto a ser impresso.

Etapa 3: a partir do ajuste do *home* da máquina de impressão, seleciona-se no *software* Repetier e o objeto a ser impresso e, ajusta-o em uma posição desejada no plano horizontal de impressão e inicia-se o processo de fabricação da peça, conforme ilustra a Figura 3.33.

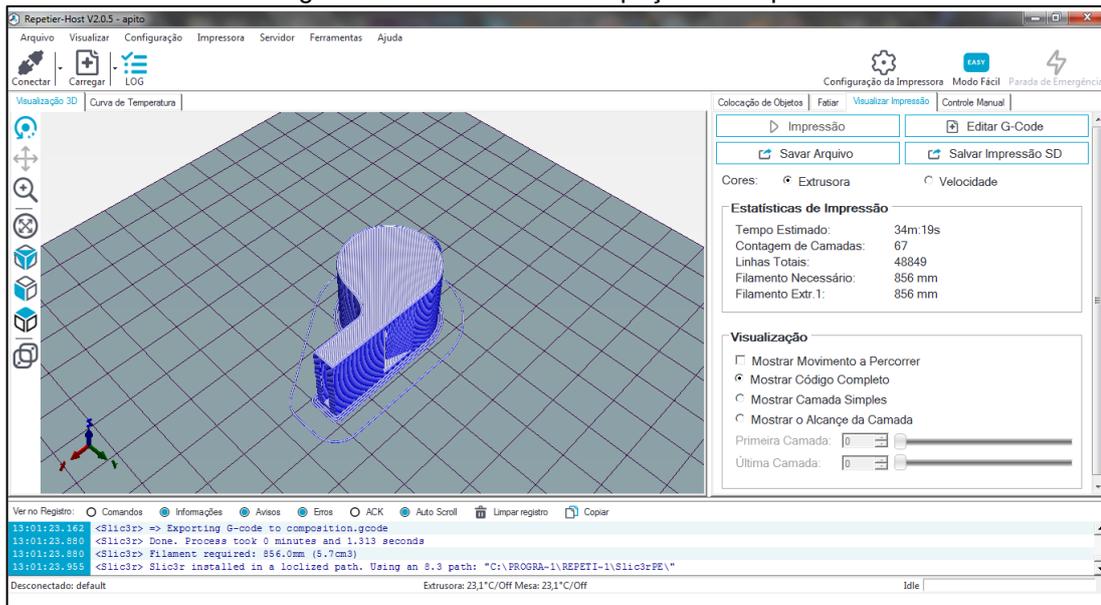
Figura 3.33 – Seleção e ajuste de peça para ser impressa



Fonte: Autoria própria, 2018.

Após a realização de todas as etapas mencionadas, a máquina de impressão tridimensional entra em funcionamento pleno para imprimir o objeto escolhido. Através do *software* Repetier é possível fazer a análise do processo e fazer o “fatiamento” da peça, ou seja, ela mostra detalhadamente, a deposição de camadas de ABS na mesa aquecida para construir a peça, conforme ilustra a Figura 3.34.

Figura 3.34 – Fatiamento de peças no Repetier



Fonte: Autoria própria, 2018.

Concomitante ao processo de elaboração da peça escolhida para ser impressa, o *software* Repetier gera uma lista de comandos CNC, que mostra os códigos gerados para fazer o acionamento dos motores em cada eixo no momento da impressão. Esta lista relata claramente a tomada de decisões feita pelo programa e, pode-se observar simultaneamente, os movimentos do equipamento, conforme ilustra a Figura 3.35.

Figura 3.35 – Geração de códigos para movimentação dos eixos



Fonte: Autoria própria, 2018.

Tendo as possibilidades referidas anteriormente, faz-se o processo de análise de impressão da peça selecionada no Repetier, onde este informa o tempo de execução do procedimento. Após finalizar o período comunicado, retira-se a peça da mesa aquecida, tendo-a deixado esfriar e a máquina estar na sua posição inicial. Depois disto, elimina-se as rebarbas e outras imperfeições da peça para finalizar por completo o processo de fabricação, conforme ilustra a Figura 3.36.

Figura 3.36 – Peça impressa



Fonte: Autoria própria, 2018.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projeto tem como objetivo construir uma máquina de impressão tridimensional, permitindo a capacidade de confeccionar objetos projetados a partir de sua construção em *softwares* de modelagem 3D. O desenvolvimento deste projeto justifica-se pela capacidade de construção de peças de baixo custo, tempo de elaboração para sua construção e possibilita o conhecimento e aprendizado em novas tecnologias que estão em crescente ascensão no mercado. Além destas justificativas citadas, conta-se também sua versatilidade em ser empregada em diversos setores de atuação, como: automotivo, biomedicina, meio acadêmico e pesquisas de caráter científico, visando o crescimento de benefícios ao ser humano.

O processo de construção de peças em uma máquina de impressão tridimensional, assemelha-se a diversos equipamentos de comando numérico computadorizado, onde a geração de acionamentos dos elementos atuadores são feitas através de dispositivos microcontroladores, possibilitando sua movimentação em todo seu plano de trabalho. Entretanto, diferencia-se no momento em que é utilizado o material para prosseguir o andamento do processo, como também o tipo de método de sua elaboração, sendo este determinante na qualidade do resultado do processo.

Na máquina de impressão tridimensional desenvolvida, fez-se uso do método de modelagem por fusão e deposição de material (FDM) para confeccionar os objetos projetados em um ambiente de modelagem em 3D, proporcionando a visualização mais clara de como foi construído o elemento criado. Este recurso mostra, com detalhes, a fabricação de peças através da inserção de camadas de material, de forma que estas estejam justapostas umas as outras, criando, aos poucos, a peça projetada.

Este projeto é composto por motores de passo, microcontrolador Arduino Mega 2560, placa controladora *Shield Ramps 1.4*, mesa aquecida, bico extrusor, suportes de ABS, barras roscadas de alumínio, guias lineares, rolamentos, correias dentadas, cabos, fonte de alimentação. A fonte de alimentação faz a redução de

tensão da rede de alimentação, como também a redução de entrada para o valor de trabalho. O microcontrolador Arduino Mega 2560 realiza todo sistema de tomada de decisões para que os demais atuadores acionem de acordo com suas ordens. A placa controladora *Shield Ramps 1.4*, obedece aos comandos do Arduino Mega 2560 para balancear e oferecer valores de tensão e correntes necessários para executar a operação desejada.

As pesquisas efetuadas no campo da prototipagem foram fundamentais para o desenvolvimento e construção lógica do projeto. Com estes conceitos compreendidos, aliada a prática profissional de cada elemento que compõem o grupo, foi de grande valia para tornar real o desenvolvimento do projeto. Com relação a metodologia científica, a elaboração da pesquisa foi essencial no tocante ao direcionamento dos métodos e técnicas empregadas.

Durante o desenvolvimento do projeto ocorreram pequenos obstáculos como aquecimento dos motores de passo, queima de um dos *drivers* A4988, dificuldades em regular o *home* da máquina, que foram imediatamente sanados por pesquisas e conhecimento dos integrantes do grupo.

O projeto constatou que o ramo da automação pode trabalhar em diversos setores de atuação, como: biomedicina, construção civil, indústria automobilística etc. Ele retrata como a área de automação pode ser utilizada em diversos locais, independente do porte de cada cliente, tendo a possibilidade de construir novos protótipos para atender as demandas apresentadas.

Para possíveis melhorias no projeto, aconselha-se a utilização de um *display* controlador gráfico de LCD com entrada para cartão SD conectado a placa *Shield Ramps 1.4*. Esse *display* proporciona ao operador a capacidade de monitorar, controlar e determinar os processos a serem realizados no processo de impressão dos objetos. Seu recurso de leitura para cartão SD permite que possam ser gravadas em sua memória interna as peças que vão ser elaboradas pelo protótipo. Outra melhoria é a substituição do Arduino Mega 2560 por um que possua o módulo *wifi* ESP8266 embutido em seu corpo. Isso possibilita que a máquina de impressão possua conectividade com elementos em uma rede (doméstica ou industrial) e

permite que outros dispositivos possam acioná-la, sem estar conectados através de cabos.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST. **Os plásticos**. 2017. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/site/os-plasticos>>. Acesso em: 03 set. 2017.

APIS-COR. **A primeira casa no local foi impressa na Rússia**. 2017. Disponível em: <<http://apis-cor.com/en/about/news/first-house>>. Acesso em: 07 set. 2017.

ARDUINO. **Whats is Arduino?**. 2017. Disponível em: <<http://www.arduino.cc>>. Acesso em: 05 set. 2017

ASTM. **Additive manufacture**. 1982. Disponível em: <<https://www.astm.org/search/fullsitesearch.html?query=additive%20manufacture%20&resStart=0&resLength=1>>. Acesso em: 01 set. 2017.

AZEVEDO, A. L. **Os Primórdios do controle numérico**. 2013. Disponível em: <<http://www.mundocnc.com.br/historico.php>>. Acesso em: 03 de set. 2017.

CAMPOS, L. E. S. M. **Impressora 3D**. 1. ed. Joinville: Clube dos Autores, 2007.

COSTA, M. P. da. **Processo de estereolitografia (SLA) no auxílio do design de veículos automotivos**. 2012. Disponível em: <<http://maua.br/files/monografias/processo-de-estereolitografia-sla-no-auxilio-do-design-de-veiculos-automotivos.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2017.

CUNICO, M. **Impressoras 3D - o novo meio produtivo**. 1. ed. Curitiba: Concept3D, 2015.

DOMPIERI, L. P. **A impressão 3D no setor automotivo**. 2015. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/a/a-impressao-3d-no-setor-automotivo_11657>. Acesso em: 04 set. 2017.

FAZMAKERSPACE. **Conheça os tipos de impressão em 3D**. 2015. Disponível em: <<http://fazmakerspace.com.br/conheca-os-tipos-de-impressora-3d/>>. Acesso em: 04 set. 2017.

FITZPATRICK, M. **Introdução à usinagem com CNC série Tekne**. 1. ed. Curitiba: Bookman, 2013.

LISBOA, E. F. A. **Apostila de linguagem C**. Rio de Janeiro, 2001.

LWT SISTEMAS. **Os benefícios da impressora 3D na indústria automobilística**. 2016. Disponível em: <<http://www.lwtsistemas.com.br/beneficios-impressao-3d-automobilistico/>>. Acesso em: 07 set. 2017.

MANSSOUR, I. H. **Linguagem de programação C**. 2000 Disponível em: <<http://www.inf.pucrs.br/manssour/LinguagemC/>>. Acesso em: 6 set. 2017.

MANUAL DE NORMALIZAÇÃO DE PROJETO DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO - FATEC SBCAMPO. **Material didático para utilização nos projetos de trabalho de graduação dos cursos de tecnologia em automação industrial e informática.** São Bernardo do Campo: Fatec, 2017.

MARCICANO, J. P. **Introdução ao controle numérico**, 14 p. Disponível em: <<http://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/aulas/cnc.pdf>>. Acesso em: 03 de set. 2017.

MCROBERTS, M. **Arduino básico**. 1. ed. São Paulo: Novatec, 2011.

MULTILÓGICA SHOP. **Arduino Mega2560 R3**. 2014. Disponível em: <<https://multilogica-shop.com/arduino-mega2560-r3>>. Acesso em: 01 set. 2017.

RAULINO, B. R. **Manufatura aditiva: desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM - modelagem por fusão e deposição**. 2011. Disponível em: <http://bdm.unb.br/bitstream/10483/15472/1/2011_BrunoRibeiroRaulino_tcc.pdf>. Acesso em: 08 set. 2017.

SEVERINO, O. J. **Metodologia do trabalho científico**. 24. ed. São Paulo: Cortez, 2016.

SMITH, W. F. e HASHEMI, J. **Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

SOARES, K. **O que é um Arduino e o que pode ser feito com ele?**. 2013. Disponível em: <<http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2013/10/o-que-e-um-arduino-e-o-que-pode-ser-feito-com-ele.html>>. Acesso em: 04 set. 2017.

SOUZA, F. **Arduino Mega 2560**. 2014. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>>. Acesso em: 01 set. 2017.

STRATASYS. **Tecnologia FDM**. 2017. Disponível em: <http://www.stratasys.com.br/impressoras-3d/technologies/fdm-technology>>. Acesso em: 08 set. 2017.

APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO PARA TESTES E CONTROLE DOS MOTORES DE PASSO

```
// Programa : Driver motor de passo A4988

#include <AccelStepper.h>

int velocidade_motor = 100;
int aceleracao_motor = 100;
int sentido_horario = 0;
int sentido_antihorario = 0;
int numero = 0;

// Definicao pino ENABLE
int pino_enable = 10;

// Definicao pinos STEP e DIR
AccelStepper motor1(1,7,4 );

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pino_enable, OUTPUT);
  // Configuracoes iniciais motor de passo
  motor1.setMaxSpeed(velocidade_motor);
  motor1.setSpeed(velocidade_motor);
  motor1.setAcceleration(aceleracao_motor);

  Serial.println("Digite 1, 2 ou 3 e clique em ENVIAR...");
}

void loop()
{
  // Aguarda os caracteres no serial monitor
  if (Serial.available() > 0)
  {
    numero = Serial.read();
    {
      if (numero == '1')
      {
        Serial.println("Numero 1 recebido - Girando motor sentido horario.");
        digitalWrite(pino_enable, LOW);
        sentido_horario = 1;
        sentido_antihorario = 0;
      }

      if (numero == '2')
      {
        Serial.println("Numero 2 recebido - Girando motor sentido anti-horario.");
      }
    }
  }
}
```

```
digitalWrite(pino_enable, LOW);
sentido_horario = 0;
sentido_antihorario = 1;
}

if (numero == '3')
{
  Serial.println("Numero 3 recebido - Parando motor...");
  sentido_horario = 0;
  sentido_antihorario = 0;
  motor1.moveTo(0);
  digitalWrite(pino_enable, HIGH);
}
}
}

// Move o motor no sentido horario
if (sentido_horario == 1)
{
  motor1.moveTo(10000);
  delay(30);
}
// Move o motor no sentido anti-horario
if (sentido_antihorario == 1)
{
  motor1.moveTo(-10000);
  delay(30);
}
// Comando para acionar o motor no sentido especificado
motor1.run();
}
```

APÊNDICE B – PROGRAMAÇÃO DE CONTROLE DA MÁQUINA DE IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL

```

/**
 * Marlin 3D Printer Firmware
 * Copyright (C) 2016 MarlinFirmware [https://github.com/MarlinFirmware/Marlin]
 *
 * Based on Sprinter and grbl.
 * Copyright (C) 2011 Camiel Gubbels / Erik van der Zalm
 *
 * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
 * it under the terms of the GNU General Public License as published by
 * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
 * (at your option) any later version.
 *
 * This program is distributed in the hope that it will be useful,
 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
 * GNU General Public License for more details.
 *
 * You should have received a copy of the GNU General Public License
 * along with this program. If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.
 */

/**
 * Configuration.h
 *
 * Basic settings such as:
 *
 * - Type of electronics
 * - Type of temperature sensor
 * - Printer geometry
 * - Endstop configuration
 * - Extra features
 *
 */
#ifndef CONFIGURATION_H
#define CONFIGURATION_H
#define CONFIGURATION_H_VERSION 010107

#define STRING_CONFIG_H_AUTHOR "(Luis Tsujino, TCC Fatec config)"
#define SHOW_BOOTSCREEN
#define STRING_SPLASH_LINE1 SHORT_BUILD_VERSION
#define STRING_SPLASH_LINE2 WEBSITE_URL

#define SERIAL_PORT 0

#define BAUDRATE 115200

```

```

#ifndef MOTHERBOARD
  #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
#endif

#define CUSTOM_MACHINE_NAME "TCC Fatec"

// This defines the number of extruders
// :[1, 2, 3, 4, 5]
#define EXTRUDERS 1

// Generally expected filament diameter (1.75, 2.85, 3.0, ...)
#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 1.75

/**
 * Select your power supply here. Use 0 if you haven't connected the PS_ON_PIN
 *
 * 0 = No Power Switch
 * 1 = ATX
 */
#define POWER_SUPPLY 1

#if POWER_SUPPLY > 0
  // Enable this option to leave the PSU off at startup.
  // Power to steppers and heaters will need to be turned on with M80.
  //#define PS_DEFAULT_OFF
#endif

#define TEMP_SENSOR_0 1
#define TEMP_SENSOR_1 0
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_3 0
#define TEMP_SENSOR_4 0
#define TEMP_SENSOR_BED 1

// Dummy thermistor constant temperature readings, for use with 998 and 999
#define DUMMY_THERMISTOR_998_VALUE 25
#define DUMMY_THERMISTOR_999_VALUE 100

// Use temp sensor 1 as a redundant sensor with sensor 0. If the readings
// from the two sensors differ too much the print will be aborted.
//#define TEMP_SENSOR_1_AS_REDUNDANT
#define MAX_REDUNDANT_TEMP_SENSOR_DIFF 10

// Extruder temperature must be close to target for this long before M109 returns
  success
#define TEMP_RESIDENCY_TIME 10 // (seconds)
#define TEMP_HYSTERESIS 3
#define TEMP_WINDOW 1

// Bed temperature must be close to target for this long before M190 returns success

```

```

#define TEMP_BED_RESIDENCY_TIME 10 // (seconds)
#define TEMP_BED_HYSTERESIS 3
#define TEMP_BED_WINDOW 1

#define HEATER_0_MINTEMP 5
#define HEATER_1_MINTEMP 5
#define HEATER_2_MINTEMP 5
#define HEATER_3_MINTEMP 5
#define HEATER_4_MINTEMP 5
#define BED_MINTEMP 5

// When temperature exceeds max temp, your heater will be switched off.
// This feature exists to protect your hotend from overheating accidentally, but *NOT*
// from thermistor short/failure!
// You should use MINTEMP for thermistor short/failure protection.
#define HEATER_0_MAXTEMP 275
#define HEATER_1_MAXTEMP 275
#define HEATER_2_MAXTEMP 275
#define HEATER_3_MAXTEMP 275
#define HEATER_4_MAXTEMP 275
#define BED_MAXTEMP 160

// Comment the following line to disable PID and enable bang-bang.
#define PIDTEMP
#define BANG_MAX 255 // Limits current to nozzle while in bang-bang mode;
// 255=full current
#define PID_MAX BANG_MAX // Limits current to nozzle while PID is active (see
// PID_FUNCTIONAL_RANGE below); 255=full current
#define PID_K1 0.95 // Smoothing factor within the PID
#if ENABLED(PIDTEMP)
  #define PID_FUNCTIONAL_RANGE 10 // If the temperature difference between the
  // target temperature and the actual temperature

// Teste
#define DEFAULT_Kp 22.2
#define DEFAULT_Ki 0.14
#define DEFAULT_Kd 869.75

#define MAX_BED_POWER 255 // limits duty cycle to bed; 255=full current

#if ENABLED(PIDTEMPBED)

  //#define PID_BED_DEBUG // Sends debug data to the serial port.

//120V 250W silicone heater into 4mm borosilicate (MendelMax 1.5+)
//from FOPDT model - kp=.39 Tp=405 Tdead=66, Tc set to 79.2, aggressive factor
// of .15 (vs .1, 1, 10)
#define DEFAULT_bedKp 10.00
#define DEFAULT_bedKi .023
#define DEFAULT_bedKd 305.4

```

```

// This option prevents extrusion if the temperature is below EXTRUDE_MINTEMP.
// *** IT IS HIGHLY RECOMMENDED TO LEAVE THIS OPTION ENABLED! ***
#define PREVENT_COLD_EXTRUSION
#define EXTRUDE_MINTEMP 170

// This option prevents a single extrusion longer than EXTRUDE_MAXLENGTH.
// Note that for Bowden Extruders a too-small value here may prevent loading.
#define PREVENT_LENGTHY_EXTRUDE
#define EXTRUDE_MAXLENGTH 200

#define THERMAL_PROTECTION_HOTENDS // Enable thermal protection for all
    extruders
#define THERMAL_PROTECTION_BED // Enable thermal protection for the
    heated bed

// Specify here all the endstop connectors that are connected to any endstop or
    probe.
#define USE_XMIN_PLUG
#define USE_YMIN_PLUG
#define USE_ZMIN_PLUG

// coarse Endstop Settings
#define ENDSTOPPULLUPS // Comment this out to disable the endstop pullup
    resistors

#if DISABLED(ENDSTOPPULLUPS)
#endif

// Mechanical endstop with COM to ground and NC to Signal uses "false" here (most
    common setup).
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the
    endstop.
#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the
    endstop.
#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the
    endstop.
#define X_MAX_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the
    endstop.
#define Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the
    endstop.
#define Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the
    endstop.
#define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic
    of the probe.

/**
 * Default Axis Steps Per Unit (steps/mm)
 * Override with M92
 *
 * X, Y, Z, E0]
 */

```

```

#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 63.85, 68.23, 2267.72, 666.670 }
//teste calibrado 9

/**
 * Default Max Feed Rate (mm/s)
 * Override with M203
 *
 * X, Y, Z, E0]
 */
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE { 250, 250, 2, 22 } //teste calibrado 4
/**
 * Default Max Acceleration (change/s) change = mm/s
 * (Maximum start speed for accelerated moves)
 * Override with M201
 *
 * X, Y, Z, E0]
 */
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION { 1000, 1000, 5, 100 } //teste
calibrado 5
/**
 * Default Acceleration (change/s) change = mm/s
 * Override with M204
 *
 * M204 P Acceleration
 * M204 R Retract Acceleration
 * M204 T Travel Acceleration
 */
#define DEFAULT_ACCELERATION 500 // X, Y, Z and E acceleration for
printing moves - TESTE 5
#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 500 // E acceleration for retracts
- TESTE 5
#define DEFAULT_TRAVEL_ACCELERATION 3000 // X, Y, Z acceleration for
travel (non printing) moves

/**
 * Default Jerk (mm/s)
 * Override with M205 X Y Z E
 *
 * "Jerk" specifies the minimum speed change that requires acceleration.
 * When changing speed and direction, if the difference is less than the
 * value set here, it may happen instantaneously.
 */
#define DEFAULT_XJERK 20.0
#define DEFAULT_YJERK 20.0
#define DEFAULT_ZJERK 0.4
#define DEFAULT_EJERK 5.0

// Direction of endstops when homing; 1=MAX, -1=MIN
// :[-1,1]
#define X_HOME_DIR -1
#define Y_HOME_DIR -1
#define Z_HOME_DIR -1

```

```
// The size of the print bed
#define X_BED_SIZE 200
#define Y_BED_SIZE 180 //Adaptado teste 4

// Travel limits (mm) after homing, corresponding to endstop positions.
#define X_MIN_POS 0
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MIN_POS 0
#define X_MAX_POS X_BED_SIZE
#define Y_MAX_POS Y_BED_SIZE
#define Z_MAX_POS 140 //Adaptado teste 3

/**
 * Software Endstops
 *
 * - Prevent moves outside the set machine bounds.
 * - Individual axes can be disabled, if desired.
 * - X and Y only apply to Cartesian robots.
 * - Use 'M211' to set software endstops on/off or report current state
 */

// Min software endstops curtail movement below minimum coordinate bounds
#define MIN_SOFTWARE_ENDSTOPS
#if ENABLED(MIN_SOFTWARE_ENDSTOPS)
  #define MIN_SOFTWARE_ENDSTOP_X
  #define MIN_SOFTWARE_ENDSTOP_Y
  #define MIN_SOFTWARE_ENDSTOP_Z
#endif

// Max software endstops curtail movement above maximum coordinate bounds
#define MAX_SOFTWARE_ENDSTOPS
#if ENABLED(MAX_SOFTWARE_ENDSTOPS)
  #define MAX_SOFTWARE_ENDSTOP_X
  #define MAX_SOFTWARE_ENDSTOP_Y
  #define MAX_SOFTWARE_ENDSTOP_Z
#endif
```