

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

KALENIN DE MORAES BRANCO
MARIANA WONG YOSHIKAWA

Desenvolvimento de impressora 3D de coordenadas polares

São Paulo
2015

KALENIN DE MORAES BRANCO

MARIANA WONG YOSHIKAWA

Desenvolvimento de impressora 3D de coordenadas polares

Monografia apresentada no
Departamento de Engenharia
Mecatrônica e Sistemas
Mecânicos da Escola
Politécnica da Universidade
de São Paulo para obtenção
do título de Engenheiro.

Área de Concentração:
Engenharia Mecatrônica

Orientador: Prof. Dr. Celso
Massatoshi Furukawa

São Paulo

2015

Catalogação-na-publicação

Branco, Kalenin de Moraes

Desenvolvimento de Impressora 3D com Coordenadas Polares / K. M. Branco, M. W. Yoshikawa -- São Paulo, 2015.
45 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

1. Manufatura 2. impressora 3D I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos II. t. III. Yoshikawa, Mariana Wong

KALENIN DE MORAES BRANCO

MARIANA WONG YOSHIKAWA

Desenvolvimento de impressora 3D de coordenadas polares

Monografia apresentada no
Departamento de Engenharia
Mecatrônica e Sistemas
Mecânicos da Escola
Politécnica da Universidade
de São Paulo para obtenção
do título de Engenheiro.

Área de Concentração:
Engenharia Mecatrônica

Orientador: Prof. Dr. Celso
Massatoshi Furukawa

São Paulo

2015

TERMO DE ORIGINALIDADE

Este relatório é apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. É o produto do nosso próprio trabalho, exceto onde indicado no texto. O relatório pode ser livremente copiado e distribuído desde que a fonte seja citada.

Kalenin de Moraes Branco

Mariana Wong Yoshikawa

RESUMO

BRANCO, K.M; YOSHIKAWA, M.W. **Desenvolvimento de impressora 3D de coordenadas polares.** 2015. 43 f. Tese (Bacharel) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Com a popularização de tecnologias aditivas, as impressoras 3D tornam-se mais populares para diversos usuários, desde uma abordagem industrial e de desenvolvimento de tecnologia até produção de peças do uso cotidiano. Com o intuito de tornar essa tecnologia mais acessível para produção de peças de dimensões menores, foi desenvolvido uma máquina que utiliza menos componentes que as impressoras 3D cartesianas.

Seguindo as diretrizes da filosofia RepRap (máquinas auto-replicáveis), foi utilizado o controlador Arduino Mega 2560, este com capacidade de controlar todos os componentes necessários. Em conjunto a esta placa é utilizado a RAMPS 1.4 para a integração. Há vários firmwares compatíveis com o Arduino Mega 2560, entre eles o Marlin360, é uma modificação do Marlin (firmware utilizado para coordenadas cartesianas) que faz a conversão para bases circulares, como máquinas Delta e Polares.

O mecanismo tipo bandeira, ou seja, um eixo horizontal translada sobre um eixo vertical ao contrário do mecanismo de pórtico, onde dois eixos verticais sustentam o eixo vertical, utiliza um número menor de componentes. Entretanto, com o aumento de suas dimensões, esta se torna instável com vibrações e deformações fora do requisito da máquina. Portanto, suas dimensões foram dimensionadas para atuar satisfatoriamente.

Com vários materiais disponíveis para tecnologia aditiva, o PLA se destaca por não necessitar ser depositado em uma base previamente aquecida, de modo a conferir sua aderência em relação ao ABS. Outro fator importante é a composição do PLA, derivado do milho este material é biodegradável. Uma característica que tem ganhado destaque com a dificuldade de descarte de materiais plásticos.

Em vista dos argumentos apresentados, foi desenvolvida a impressora 3D com coordenadas polares.

Palavras-chave: impressão 3D, RepRap, polar.

ABSTRACT

BRANCO, K.M; YOSHIKAWA, M.W. **Desenvolvimento de impressora 3D de coordenadas polares.** 2015. 43 f. Tese (Bacharel) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Additive technologies has become popular and all together 3D printers is now accessible to different users. This technology can be applied to an industrial and technology research and also production of everyday objects. With the intent to broaden the use for objects with reduced dimensions, a machine that requires less components than a cartesian 3D printer was developed.

The RepRap philosophy (Replicating Rapid Prototyper), an Arduino Mega 2560 was controller was chosen. This board is capable of controlling all the required components. Together with the shield RAMPS 1.4, it is able to integrate the system. For the Arduino platform, there are several firmware compatible with the Arduino Mega 2560. Among them the Marlin360 is a modified version of Marlin that convert the Cartesian coordinates to one with a circular base. Examples of its application is Delta and Polar machines.

For polar machines two structures are possible. The structure may have the shape of a portal, where two vertical axes support a horizontal axe that can move along the two. Another possibility is only one vertical axe. The last contains less components, however, when its size is increased, the structure becomes instable, due to excessive vibrations and larger deformation, that are outside the project requirements. Therefore, the machine dimensions were designed for a satisfactory behavior.

Several materials are available to additive technology, the PLA doesn't need to be placed in a heated bed, to adhere to the surface, unlike ABS. Another important factor is the PLA composition, it derive from corn, therefore it is biodegradable. This feature have been in a highlight due to the difficulty to discard plastic materials.

With that in mind, a 3D printer with polar coordinates was designed.

Keywords: 3D printer, RepRap, polar.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Processo SLS (BRITANNICA, 2015)	15
Figura 2: Exemplo de impressora 3D (B9, 2015) e produto pelo método SLA (TANGIBLE, 2015).....	16
Figura 3: impressora polar (POLAR, 2015)	
Figura 4: Impressora 3D do tipo Delta (ROCKSTOCK, 2015)	17
Figura 5: impressora 3D do tipo SCARA (FLUX, 2015).	17
Figura 6: Solução escolhida de Software. Fonte própria.....	22
Figura 7: Estrutura tipo portal. Fonte própria.....	23
Figura 8: Estrutura tipo bandeira. Fonte própria.....	24
Figura 9: Diagrama de Corpo Livre eixo R (BEAM, 2015).....	29
Figura 10: Modelo para a simulação estática do eixo (ENGINEERING, 2015)	30
Figura 11- Diagrama de corpo livre para a análise do eixo Z. Fonte própria.....	31
Figura 12 Eixo R com extrusora, fim de curso, polia e correia. Fonte Própria	32
Figura 13: Fixação do fim de curso no eixo Z. Fonte própria.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Matriz de decisão. Fonte Própria	25
Tabela 2: Simulação estática do Eixo R (ENGINEERING, 2015)	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS: Acrilonitrila Buadieno Estireno (*Acrylonitrile butadiene styrene*)

CAD: (Desenho Assistido por Computador (*Computer-Aided Design*)

FDM: Modelagem por Deposição Fundida (*Fused Deposition Modeling*)

GNU: Licença Geral Pública (*General Public License*)

LCD: Display de Cristal Líquido (*Liquid Crystal Display*)

PET: Politeftalato de etileno (*Polyethylene terephthalate*)

PLA: Ácido Polilático (*Polylactic acid*)

RAMPS: Armadura para Arduino Mega Pololu para máquinas auto-replicaveis (*RepRap Arduino Mega Pololu Shield*)

REPRAP: máquinas auto-replicáveis (*Replicating Rapid Prototyper*)

SLS: Sinterização Seletiva a Laser (*Selective Laser Sintering*)

SLA: Estereolitografia (*Stereolithography*)

LISTA DE SIMBOLOS

E – módulo de Young

F – força

g – aceleração da gravidade

I – momento de inércia da viga

J_P – inércia da massa movida

J_f – inércia do fuso

L – comprimento da viga

m - massa

r – raio da viga

T – torque do motor

θ – ângulo de rotação da base

$\dot{\theta}$ – derivada do ângulo de rotação

$\ddot{\theta}$ – segunda derivada do ângulo de rotação

R – deslocamento do braço no sentido do raio

\dot{R} – derivada do deslocamento do braço

\ddot{R} – segunda derivada do deslocamento do braço

Z – deslocamento no eixo vertical z

\dot{Z} – derivada do deslocamento no eixo vertical z

\ddot{Z} – segunda derivada do deslocamento no eixo vertical z

K_i – relação de engrenamento no eixo i

α – rotação do motor de passo

$\dot{\alpha}$ - derivada da rotação do motor de passo

$\ddot{\alpha}$ – segunda derivada da rotação do motor de passo

δ – deformação

π – constante aproximada por 3,14

SUMÁRIO

1. Introdução	13
1.1. Declaração do Problema.....	13
1.1.1. Objetivo.....	13
1.1.2. Motivação	13
2. Estado da arte	14
3. Desenvolvimento.....	19
3.1. Metodologia	19
3.2. As normas éticas.....	19
3.3. Análise de requisitos	20
3.4. Software e eletrônica	21
3.4.1. Integração.....	22
3.5. Alternativas Consideradas	23
3.5.1. Estrutura	23
3.5.2. Critérios de Análise.....	24
3.5.3. Matriz de decisão.....	25
3.5.4. Material extrudado	26
3.6. Solução Final	27
3.6.1. Análise Cinemática	27
3.6.2. Análise Mecânica.....	28
3.6.3. Torque e rotações.....	32
3.6.4. Finais de curso	34
3.6.5. Transmissão do eixo R	35
3.7. Testes	35
3.7.1. Movimentação Manual.....	36
3.7.2. Movimentação Automática.....	36

4. Conclusão	37
5. Referências	38
6. Apêndices	41
6.1. BILL OF MATERIALS (BOM).....	41
6.1.1. Componentes Eletrônicos e elétricos	41
6.1.2. Componentes Mecânicos	41
7. Anexo	43
7.1. Diagrama de ligação do RAMPS 1.4	43

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente tendência de personalização de produtos com geometrias cada vez mais complexas, as impressoras 3D proporcionam uma grande versatilidade. Com um processo de fabricação que monta o objeto por camadas verticais, a complexidade da peça fica praticamente insignificante para o processo, diferentemente dos métodos convencionais de fabricação, como usinagem, fundição, injeção de plásticos, etc. Uma grande vantagem das impressoras 3D é que algumas podem reproduzir parte das suas próprias peças e gerar assim uma nova máquina, com o auxílio de peças disponíveis em lojas de componentes mecânicos e eletrônicos. Esta é a proposta da comunidade RepRap, *Replicating Rapid Prototyper*: disponibilizar gratuitamente o projeto de impressoras 3D de baixo custo e *open source*.

1.1. Declaração do Problema

1.1.1. Objetivo

O projeto proposto consiste no desenvolvimento de uma impressora 3D de FDM (*Fused Deposition Modeling*) com movimentação em coordenadas polares, diferente das usuais cartesianas. Com mecanismos mais simples e potencialmente mais leves, uma impressora 3D polar significaria um projeto mais simples e barato, sem perder qualidade de impressão.

1.1.2. Motivação

O fato de a impressora polar ter mecanismos mais simples e baratos faz com que ela seja mais propícia para o uso doméstico, contribuindo para a disseminação da tecnologia na sociedade, e tendo assim uma alta relevância tecnológica e social.

2. ESTADO DA ARTE

Impressoras 3D podem ser definidas como máquinas que produzem peças em 3 dimensões, fabricando-as camada a camada. No processo de impressão 3D, um modelo feito em CAD ou qualquer modelador 3D é “fatiado”, ou seja, dividido em fatias, que serão preenchidas por um material. O tipo de material e o método de preenchimento desta camada varia de processo para processo.

Existem diversos tipos de impressoras 3D. Segundo Joan Horvath, (HORVATH, 2014) os tipos são caracterizados pelo método de deposição de material, e podem ser divididos da seguinte forma:

- Impressoras de Ligação Seletiva;
- Impressoras de Solidificação Seletiva;
- Impressoras de Deposição Seletiva.

O método de Ligação Seletiva é caracterizado pela impressão usando pó, que pode ser de metais ou de gesso, como matéria prima. Esta impressão é feita adicionando-se um algum agente para que haja a ligação das partículas de pó. Este agente pode ser somente um material ligante, ou calor proveniente de um Laser. O maior exemplo deste método é o processo SLS (*Selective Laser Sintering*) no qual um Laser é utilizado para fundir uma camada de material em pó de cada vez (Figura 1). Em uma primeira camada de pó, o Laser faz a fusão do material em uma plataforma, depois, uma nova camada de pó é adicionada, e o Laser faz a fusão do material na primeira camada já fundida. Este processo se repete até que a peça esteja completa.

Este processo tem a vantagem de que o próprio pó age como um suporte, facilitando a fabricação de peças de maior complexidade e delicadas, porém a desvantagem é que as máquinas capazes de fazer este processo têm um custo elevado. Além do mais, o pó é altamente poluente e difícil de se lidar, necessitando de um ambiente sempre limpo e com pouca umidade.

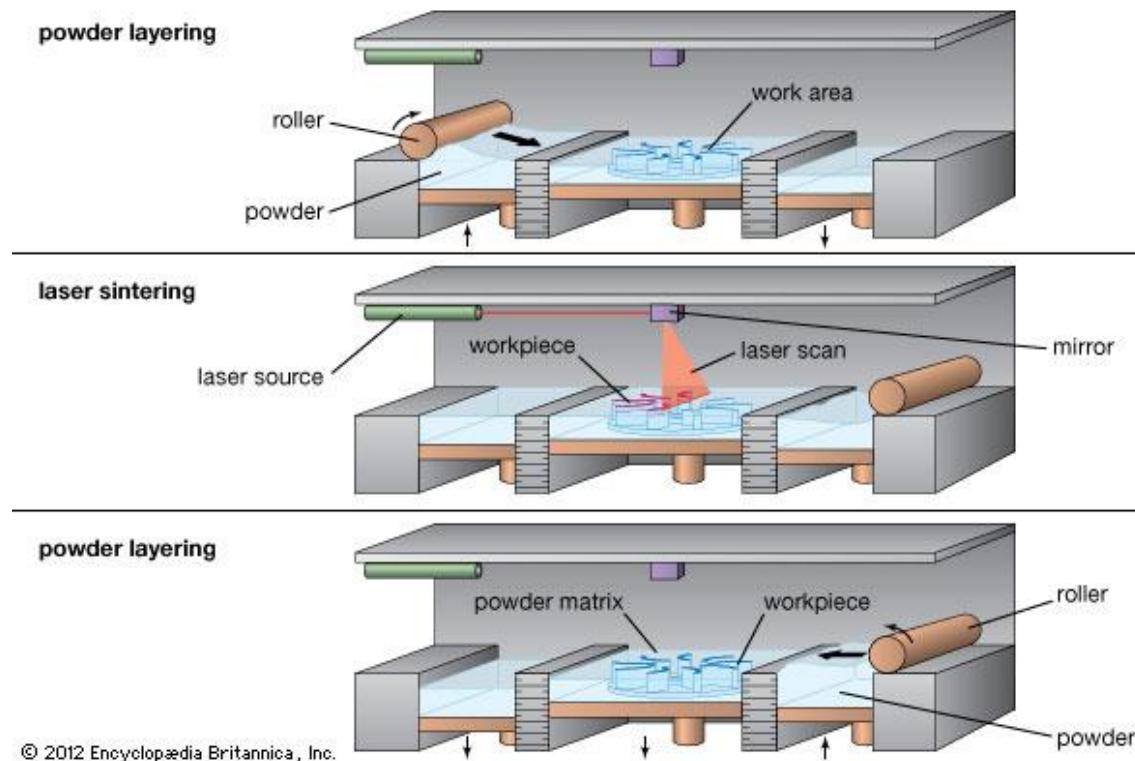


Figura 1: Processo SLS (BRITANNICA, 2015).

Impressoras de Solidificação Seletiva fazem um sólido a partir de um tanque de resina líquida, aplicando energia a uma parte selecionada da resina, curando-a camada a camada. A primeira camada é construída e solidificada em uma plataforma. Para que a próxima camada solidifique logo após dela, a primeira camada é submersa, e um agente solidificante atua (Luz UV)

O maior exemplo desta tecnologia é o processo SLA (sigla em inglês para *Stereolithography*), também chamado de estereolitografia (exemplo de impressora e produto pode ver visto na Figura 2). (HORVATH, 2014) Este processo foi o primeiro a ser inventado, graças a Charles (Chuck) Hull. No processo SLA a impressão é mais rápida, gerando poucos resíduos, produzindo peças resistentes o suficiente para serem usinadas, e podem ser usadas como moldes para injeção, prensas, injeção-sopro (para fabricação de garrafas PET, Politereftalato de etileno, por exemplo) e diversos moldes para metais. Possuem a desvantagem de ter um alto custo de produção e da própria máquina, e que as versões domésticas possuem pouca área de impressão e resolução limitada.



Figura 2: Exemplo de impressora 3D (B9, 2015) e produto pelo método SLA (TANGIBLE, 2015)

Impressoras de Deposição Seletiva funcionam depositando material polimerizado, no caso de impressoras FDM, ou líquido no caso das Impressoras Polyjet, e endurecendo-os quase que instantaneamente, preenchendo assim as partes necessárias para a criação do objeto.

As impressoras do tipo FDM fazem a fusão de um filamento plástico, geralmente de ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), PLA (Ácido Polilático) ou Nylon, através de um bico aquecido entre 210°C e 220°C para PLA e entre 230°C e 240°C para ABS e Nylon. Este filamento amolecido é então depositado nas áreas onde deve haver preenchimento, endurecendo assim que entra em contato com a superfície, seja ela a plataforma ou uma camada antecessora.

As impressoras do tipo Polyjet utilizam uma resina líquida como matéria prima. Elas depositam essa resina líquida como uma Impressora 2D normal, preenchendo as áreas necessárias, e assim, logo após a deposição, um feixe de luz ultravioleta faz a cura desta resina, criando assim uma camada. A próxima deposição do material será em uma camada superior, e assim sucessivamente até que se complete o objeto desejado.

As impressoras FDM são caracterizadas pelo tipo de mecanismo. As mais comuns são as impressoras cartesianas, que trabalham em um sistema de coordenadas X, Y e Z. Existem outros tipos de mecanismos presentes em impressoras 3D, que são pouco desenvolvidos, como a impressora polar, da Polar3D (Figura 3), a impressora que utiliza um mecanismo de movimentação do tipo SCARA (Figura 3: impressora polar (POLAR,

2015)), a impressora com mecanismo Delta (Figura 5: impressora 3D do tipo SCARA (FLUX, 2015).

), e assim por diante. Esses métodos não convencionais de movimentação são pouco desenvolvidos, e indisponíveis para compra no Brasil.



Figura 3: impressora polar (POLAR, 2015)

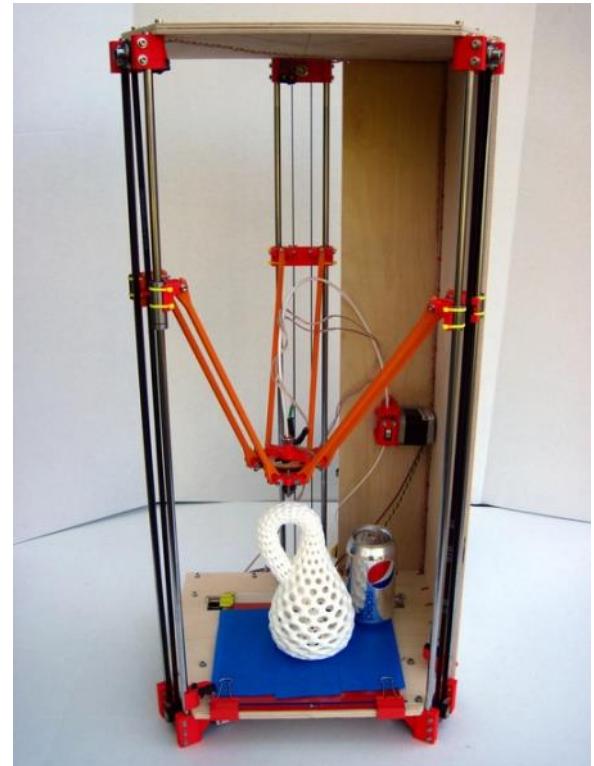


Figura 4: Impressora 3D do tipo Delta (ROCKSTOCK, 2015)

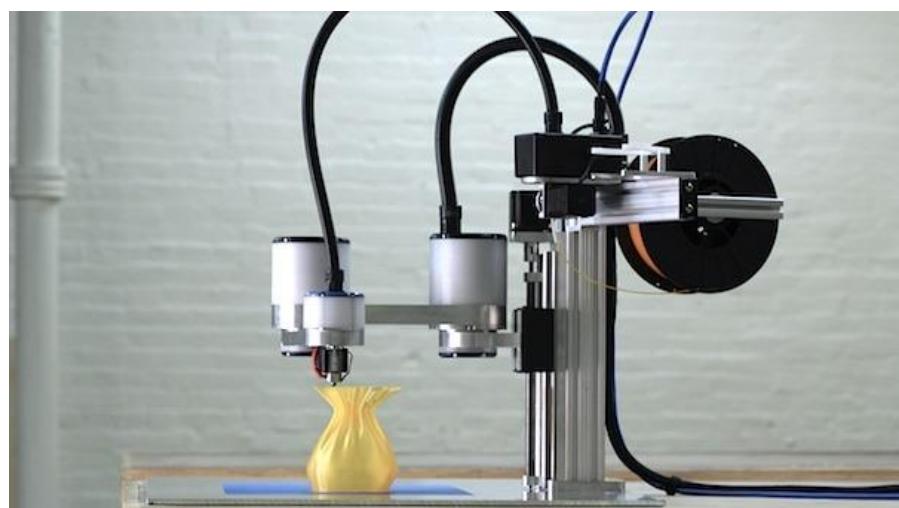


Figura 5: impressora 3D do tipo SCARA (FLUX, 2015).

No mercado brasileiro é possível encontrar primariamente impressoras cartesianas como a Cliever CL-1 (CLIEVER, 2015). Esta é uma impressora brasileira criada pela Cliever Tecnologia, utiliza-se da tecnologia FFF, fabricada em aço carbono com guias lineares de aço inox, possui peso aproximado de 12 kg e variação dimensional de 0,4 mm em relação a dimensão da peça.

Um modelo conhecido mundialmente é a linha Makerbot replicator(Makerbot, 2015), vendida pela representante Tektrade International que possui um software próprio, conexão via USB, Ethernet ou Wi-Fi, altura mínima de camada de 100µm, interface LCD e utiliza filamento de PLA. Outro modelo comercial é a Sethi3D AiP (SETHI, 2015) fabricada pela Sethi3D, possui peso aproximado de 12 kg, conexão USB ou passagem de código G através de cartão SD e imprime tanto ABS como PLA.

Até o momento não foi encontrado impressoras 3D polares à venda no Brasil. Nos Estados unidos foi lançado no início de 2015 pela Polar 3D a Polar 3D Printer (POLAR, 2015) com resolução de 50µm, diâmetro de 203,2mm e altura de 152,4mm.

Existe a proposta do Adrian Bowyer de desenvolver impressoras 3D capazes de se autocopiar, as impressoras RepRap (do inglês *Replicating Rapid-prototyper*). Seguindo o movimento *Free Software*, a comunidade disponibiliza máquinas sobre uma licença *open source* (Licença Pública Geral GNU) (RERAP, 2015).

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. Metodologia

O projeto está dividido em três etapas: o projeto da máquina, sua construção e avaliação através da impressão de peças, estas que serão utilizadas para a calibração da máquina. Este compreende o projeto mecânico da máquina e a implementação da eletrônica e software. A seguir deve ser feita a montagem e teste da máquina. Devendo resultar em peças impressas pela máquina.

3.2. As normas éticas.

Este projeto não possui testes com humanos nem possui privacidade de dados. A máquina deve, entretanto, ser segura para ser utilizado por humanos.

Por utilizar softwares que seguem a filosofia *open source*. Pela definição, o software deve seguir os seguintes critérios definidos pela *Open Source Initiative* (OPEN SOURCE, 2015, tradução livre):

- Distribuição gratuita;
- Distribuição do código fonte;
- Permitir modificações e obras que derivem do software;
- Integridade do código fonte do autor;
- Não discriminação contra pessoas ou grupos;
- Não discriminação contra áreas de atuação;
- Distribuição da licença;
- Licença não deve ser parte específica de um produto;
- Licença não deve restringir outros softwares;
- Licença deve ser tecnologicamente neutra.

Utilizamos também material sob a licença GNU – GLP versão 2 (*General Public License version 2*). Seu objetivo é garantir a liberdade de compartilhar e mudar livremente softwares, de acordo com o sistema operacional GNU (GNU, 1991, tradução livre). Esta licença, implica a liberdade de utilizar partes de softwares em outros softwares livres, sempre ter disponível o código fonte e proteger o código de serem apropriadas por redistribuidores de programas livres.

Este projeto não necessita de nenhuma aprovação de comitê de ética em pesquisa, já que não requer testes em humanos, nem fere a privacidade de dados de nenhum humano envolvido no projeto.

3.3.Análise de requisitos

Os requisitos para o projeto são constituídos pelos objetivos técnicos do projeto. Estes podem ser divididos em requisitos mecânicos, requisitos eletrônicos e requisitos de software.

Os requisitos mecânicos são:

- Ser constituído de 3 eixos de movimentação: eixo Z (altura), eixo R (raio) e eixo θ (ângulo).
- Possuir um sistema de extrusão e um sistema de aquecimento do filamento.
- Possuir um apoiador de filamento.
- Movimentação em vazio de 30 m/min.
- Aceleração de 5m/s² para os eixos R e Z
- Aceleração linear de 2m/s² para um raio de 5mm no eixo θ .
- Área útil de trabalho de aproximadamente 200mm x 200mm x 200mm

Os requisitos de eletrônica são:

- Fazer o devido processamento do movimento dos 3 eixos de locomoção
- Fazer o devido controle da extrusão do filamento

- Fazer o controle de temperatura do bico extrusor
- Controlar devidamente o sistema de resfriamento da máquina

Os requisitos de software são:

- Controle manual da máquina
- Controle automático da máquina
- “Fatiamento” do modelo
- Módulo de importação de modelo em STL
- Geração do código G para enviar à máquina

3.4. Software e eletrônica

O microcontrolador designado para a máquina foi o Arduino Mega 2560, este possui uma placa baseada no ATmega2560 (microcontrolador de 8-bit da Atmel com sistema de 256KB programável em Flash), possuindo 54 pinos de saídas e entradas digitais, dos quais quinze podem ser utilizadas como PWM - *Pulse Width Modulation*, uma técnica de se obter resultados analógicos por meios digitais (HIRZEL, 2015). A placa também possui um cristal oscilador de 16 MHz, conexão USB e botão de reset. E portanto capaz de comportar todos elementos necessários para uma impressora e controla-los.

Foi decidido que será utilizado o RAMPS 1.4. *RepRap Arduino Mega Pololu Shield* (RAMPS), sendo este *shield* uma placa auxiliar estável para o Arduino Mega 2560, até 1/32 micropassos (obtido proporcionando a corrente de duas bobinas de modo a aumentar a resolução do motor de passo) e compatível com diversos firmwares amplamente utilizados, como *Repetier-Firmware*, *Marlin* e *Sprinter* (REPRAP, 2015). No caso da impressora 3D polar em questão, foi decidido que o firmware deveria ter embutido um código de conversão de coordenadas cartesianas para coordenadas polares, para que pudesse ser utilizado um software e um fatiador (programa que gera o código G para uma fatia do sólido) amplamente utilizado. O firmware que foi escolhido com estes requisitos e será carregado no Arduino Mega 2560 é o Marlin 360, um firmware Marlin modificado para utilizações em bases circulares, como impressoras Delta, e Polares por exemplo. Sabendo que este firmware faz

a conversão de coordenadas cartesianas para coordenadas polares além de todos os requisitos que um firmware comum possui, como controle de temperatura, tradução do código G em comandos para os motores, este serve perfeitamente para os propósitos deste trabalho.

O software escolhido para o processamento do modelo STL (*STereoLithography*, formato de arquivos para CAD da criado pela 3D Systems) e ligação com o fatiador, além do IHM da máquina será o *Repetier-Host* (REPETIER, 2015) que é compatível com a maioria dos *firmwares* para *RepRap* utilizados. Este software possui a opção de escolher o fatiador (*slicer*) desejado para fatiar o arquivo STL, formando assim um conjunto de códigos G para o comando da máquina, como por exemplo o *Slic3r*. Vale lembrar que este código G gerado pelo fatiador é feito em coordenadas cartesianas e o firmware faz a conversão em coordenadas polares posteriormente. A solução final pode ser vista na Figura 6.

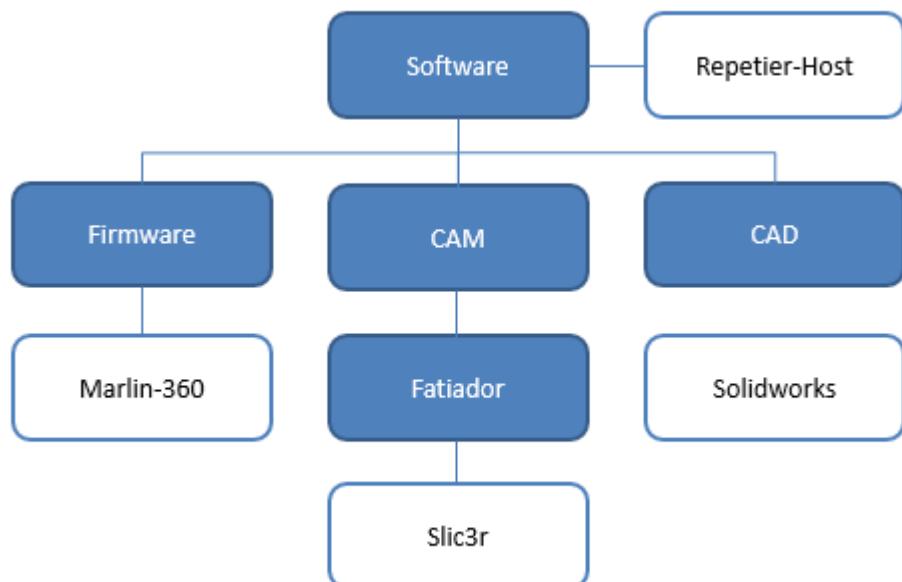


Figura 6: Solução escolhida de Software. Fonte própria.

3.4.1. Integração

1.1.1. O *shield RAMPS1.4*, possui uma interface simples para a integração dos periféricos. Esta já inclui pinos dispostos para os drives dos motores, para os

finals de curso, conectores para a fonte, a ponta aquecida, tela de LCD e termíster. Ela possui também os conectores da cama aquecida, opção de utilizar dois motores no eixo Z e opção de utilizar duas extrusoras como pode ser visto no anexo 7.1. Entretanto, o projeto não irá utilizá-los, como mencionado anteriormente.

3.5. Alternativas Consideradas

3.5.1. Estrutura

Foi considerado duas alternativas quanto a estrutura da máquina. A primeira é o formato de portal como mostrado na Figura 7. Onde a extrusora está bi apoiada e translada em um eixo R. O eixo R translada verticalmente no eixo Z, movido por dois motores de passo.

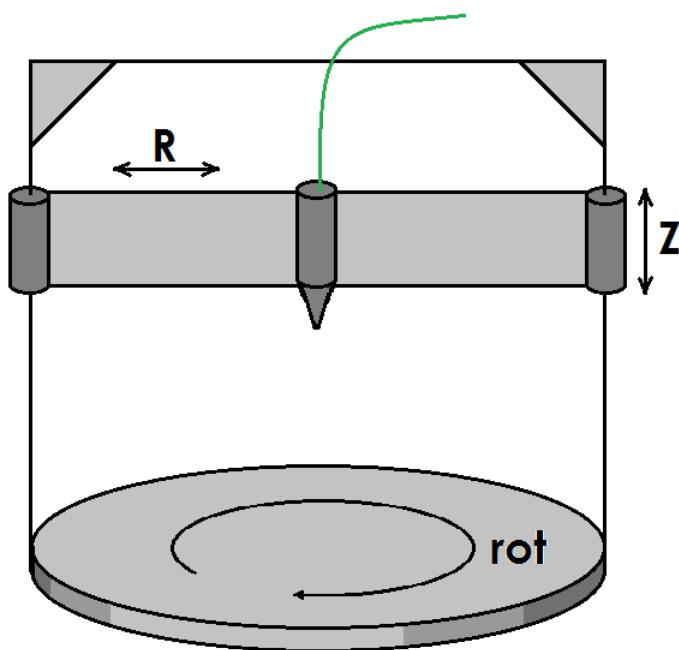


Figura 7: Estrutura tipo portal. Fonte própria.

A segunda opção é a estrutura do tipo bandeira mostrada na Figura 8. Onde o bocal translada no eixo R e este translada no eixo Z por apenas um motor de passo. Para esta configuração, a extrusora deve estar localizada fora da estrutura e ligada ao bocal através

de um cabo. Essa modificação é feita para reduzir a massa movida do mecanismo, já que esta está em balanço.

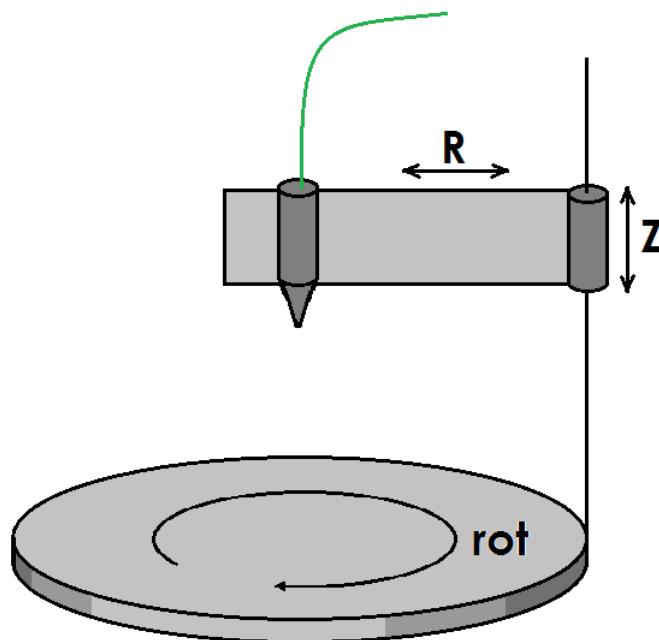


Figura 8: Estrutura tipo bandeira. Fonte própria.

3.5.2.Critérios de Análise

Para a análise da melhor solução a ser desenvolvida, foi usada uma matriz de decisão levando os seguintes critérios em consideração:

- Inércia Movida: Trata-se da massa total que é movida por um ou mais eixos de movimentação, quanto maior esta massa, pior é sua nota. Peso: 3
- Volume de Trabalho: Trata-se do volume útil de trabalho em comparação ao volume total da máquina. Quanto maior a máquina para um mesmo volume útil, pior é a nota. Peso: 2
- Custo: Neste quesito leva-se em conta a quantidade de peças envolvida no mecanismo. Quanto mais peças para um mecanismo, mais caro será este mecanismo e, portanto, menor sua nota. Peso: 3
- Rigidez: Trata-se de uma análise qualitativa da rigidez da máquina, mais tarde será feita uma análise quantitativa da solução escolhida. Peso: 2

- Peso: Trata-se da massa total da máquina para um mesmo volume de trabalho, leva em conta a quantidade de peças envolvidas e a volume ocupado pela máquina. Peso: 3
- Montagem: Trata-se da facilidade de montagem da máquina. Por se tratar de um projeto que será de tecnologia aberta, ela deve ser de fácil montagem. Peso: 2

3.5.3. Matriz de decisão

Fazendo a análise qualitativa dos critérios acima citados, chegou-se na seguinte matriz de decisão:

Tabela 1- Matriz de decisão. Fonte Própria

Critério	Peso	Portal	Bandeira
Inércia Movida	3	6	9
Volume de Trabalho	2	9	10
Custo	3	5	9
Rigidez	2	10	7
Peso	3	5	8
Montagem	2	7	9
Total:		100	130

As notas são justificadas da seguinte forma:

- Inércia movida: Neste quesito, a nota do mecanismo do tipo bandeira se sobrepõe ao tipo portal pois no tipo portal a massa a ser movimentada no eixo z é muito maior que no tipo bandeira, pois as barras da estrutura seriam mais longas e teria um segundo apoio a ser também movimentado.

- Volume de trabalho: O volume de trabalho é bastante similar nas duas estruturas, porém para um mesmo volume de trabalho, teria um volume adicional da estrutura do tipo portal.
- Custo: A estrutura do tipo portal possui um apoio, um fuso, uma guia, e um motor de passo a mais que a solução do tipo bandeira, encarecendo o produto.
- Rigidez: Neste quesito, a estrutura do tipo portal se sobrepõe em relação ao tipo bandeira já que o eixo R não estaria em balanço, e sim sobre uma estrutura bi apoiada, melhorando assim a rigidez da máquina.
- Peso: O peso da estrutura do tipo portal é maior, pela maior quantidade de peças, como descrito anteriormente.
- Montagem: a estrutura do tipo portal possui uma montagem mais elaborada e complexa do que a estrutura do tipo bandeira, graças à maior quantidade de peças, e ao fato de serem necessários ajustes entre os dois fusos do eixo Z.

Tendo em vista estas considerações, a solução da estrutura escolhida foi a do tipo bandeira.

3.5.4. Material extrudado

Muitos materiais, como ABS e policarbonato, necessitam que a plataforma onde o material é depositado seja aquecida. Garantindo assim a adesão do material. Além da temperatura, a aderência do material também depende da superfície. Fitas adesivas como a Fita Crepe Profissional para pintura Scotch Blue da 3M são utilizadas para cobrir a superfície da plataforma e tem mostrado uma aderência adequada (HORVATH, 2014). Entretanto PLA não necessita que a plataforma seja aquecida e adere bem à fita.

O PLA também é amplamente utilizado para impressões 3D, derivado do milho sendo assim biodegradável. O material permite sua extrusão a temperaturas mais baixas (entre 190 e 210 graus Celsius). Entretanto ele pode amolecer a temperaturas mais baixas também. Assim deve-se levar em conta esse fato quando utilizar este material (HORVARTH, 2014).

Alguns materiais utilizados em impressão 3D possuem um cheiro forte, principalmente o PLA. Recomenda-se manter a máquina em lugares arejados.

Quanto ao material, foi decidido que a máquina irá imprimir PLA, pela simplicidade de não necessitar de uma plataforma aquecida e possuir uma boa aderência.

3.6. Solução Final

A solução escolhida foi uma estrutura do tipo bandeira, portanto com um eixo rotativo θ , um eixo que se movimenta no raio R . Há um mancal em uma extremidade e com a outra extremidade em balanço. Há também um eixo que se movimenta no sentido vertical Z , com somente um motor de passo.

Para se reduzir o peso sobre esta estrutura e minimizar assim os efeitos deste balanço, a solução encontrada foi colocar o motor de passo e o sistema acoplado de extrusão fora do eixo em balanço, acoplado na lateral da máquina, e no eixo R em balanço somente o bico aquecido para fazer a efetiva extrusão do material. Para fazer a tração do material, será utilizado um tubo flexível de diâmetro interno aproximadamente de 1,75 mm (diâmetro também do filamento) que guiará o filamento mantendo-o tracionado até o bico aquecido.

3.6.1. Análise Cinemática

A análise cinemática básica do problema foi feita da seguinte forma: Foi definido três eixos de movimentação $\theta (t)$, $R (t)$, e $Z(t)$ definidos pelas equações (1), (2) e (3).

$$\theta (t) = K_1 \cdot \alpha_1 \quad (1)$$

$$R (t) = K_2 \cdot \alpha_2 \quad (2)$$

$$Z (t) = K_3 \cdot \alpha_3 \quad (3)$$

Sendo:

- K_1 a relação de engrenamento no eixo θ
- α_1 é a rotação do motor de passo do eixo θ

- K_2 o raio da polia ligada ao motor de passo do eixo R
- α_2 é a rotação do motor de passo do eixo R
- K_3 o avanço do fuso no eixo Z
- α_3 é a rotação do motor de passo do eixo Z

Fazendo esta análise de posicionamento é possível a análise de velocidades dos eixos, descritos pelas equações (4), (5) e (6). E também as equações das acelerações em (7), (8) e (9).

$$\dot{\theta}(t) = K_1 \cdot \dot{\alpha}_1 \quad (4)$$

$$\dot{R}(t) = K_2 \cdot \dot{\alpha}_2 \quad (5)$$

$$\dot{Z}(t) = K_3 \cdot \dot{\alpha}_3 \quad (6)$$

$$\ddot{\theta}(t) = K_1 \cdot \ddot{\alpha}_1 \quad (7)$$

$$\ddot{R}(t) = K_2 \cdot \ddot{\alpha}_2 \quad (8)$$

$$\ddot{Z}(t) = K_3 \cdot \ddot{\alpha}_3 \quad (9)$$

3.6.2. Análise Mecânica

A análise mecânica da estrutura foi feita considerando o modelo onde o eixo R é representado por duas barras cilíndricas engastadas. O pior caso deste modelo seria uma massa, correspondente à massa do bico aquecido e do suporte do bico, equivalente a aproximadamente 100g, na extremidade não suportada deste eixo. Foi considerado também o eixo Z como uma viga engastada.

O diagrama do corpo livre do eixo R está representado na Figura 9.

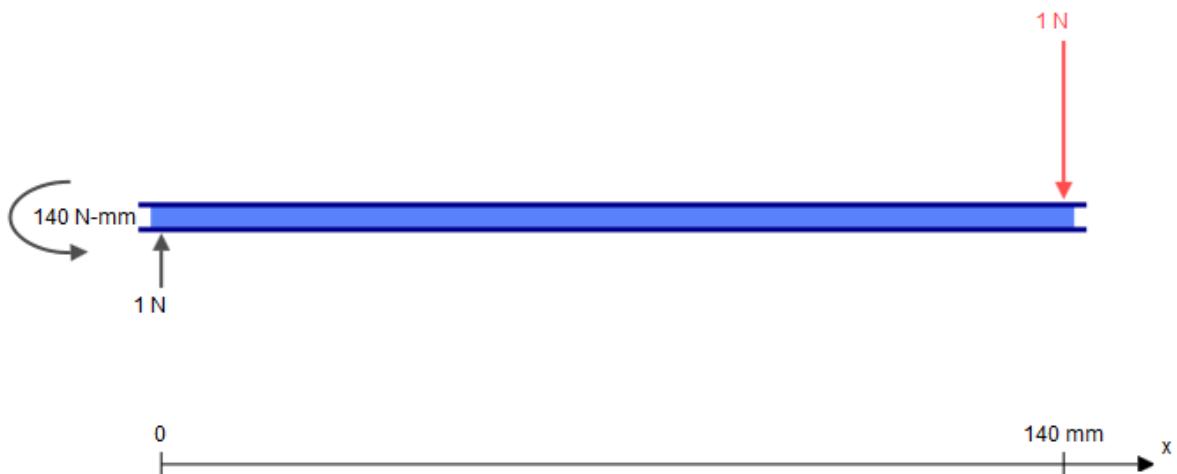


Figura 9: Diagrama de Corpo Livre eixo R (BEAM, 2015).

Fazendo a análise para uma só barra carregando metade da massa, tem-se que a deformação máxima da guia seria dada pela equação (10).

$$\delta = \frac{FL^3}{3EI} \quad (10)$$

Sendo que:

$$I = \frac{\pi r^4}{4} \quad (11)$$

Substituindo os dados para eixo de 10mm de diâmetro de aço 1040 nas equações tem-se:

$$F = \frac{m}{2} \cdot g = 0,05 \cdot 9,8 = 0,49N$$

$$E = 211GPa = 211 \cdot 10^9 Pa$$

$$r = \frac{D}{2} = 5 \text{ mm} = 0,005m$$

$$L = 140 \text{ mm} = 0,14m$$

Com estes dados chegou-se a uma deformação máxima de 4,32719 μm , abaixo do que foi considerado aceitável para o projeto.

O modelo que pode ser visto na Figura 10 que é regido pelas equações (12), (13), (14) e (15) (ENGINEERING, 2015).

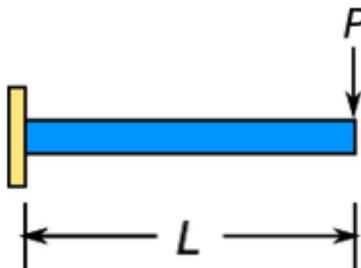


Figura 10: Modelo para a simulação estática do eixo (ENGINEERING, 2015)

$$\delta = \frac{Px^2}{6EI} (3L - x) \quad (12)$$

$$\theta = \frac{Px}{2EI} (2L - x) \quad (13)$$

$$M = P(x - L) \quad (14)$$

$$V = P \quad (15)$$

A partir deste modelo obtém-se a tabela 2 de deformação, onde o x é a distância do esforço ao suporte engastado.

Tabela 2: Simulação estática do Eixo R (ENGINEERING, 2015)

X (m)	Deformação (m)	Inclinação (°)	Momento (kNm)
0.000	0.00	0.00	-7.0e-5
0.014	6.40e-8	5.15e-4	-6.3e-5
0.028	2.47e-7	9.76e-4	-5.6e-5
0.042	5.36e-7	1.38e-3	-4.9e-5
0.056	9.18e-7	1.73e-3	-4.2e-5
0.070	1.38e-6	2.03e-3	-3.5e-5
0.084	1.91e-6	2.28e-3	-2.8e-5
0.098	2.49e-6	2.47e-3	-2.1e-5
0.112	3.11e-6	2.60e-3	-1.4e-5

0.126	3,76e-6	2.68e-3	-7.0e-6
0.140	4.42e-6	2.71e-3	0.0

Para o eixo Z, foi utilizado o modelo de uma viga engastada, com os esforços resultantes do eixo R atuando nesta análise, este modelo pode ser visto na **Error! Reference source not found..**

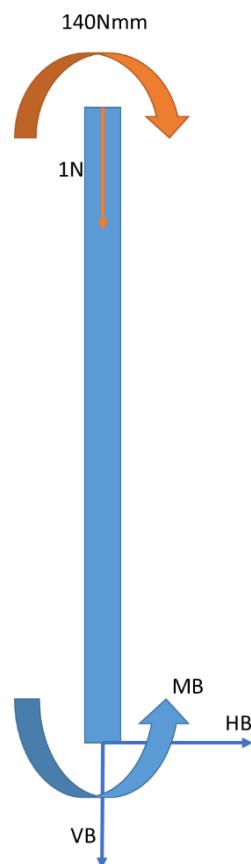


Figura 11- Diagrama de corpo livre para a análise do eixo Z. Fonte própria

Calculando as reações na base B temos que:

- Reações horizontais nulas: $HB=0$
- Reações verticais: $VB= -1 \text{ N}$
- Momento fletor: $MB=140 \text{ Nmm}$

Foi decidido sobre a utilização de duas guias lineares de 10 mm tanto no eixo Z como no eixo R sendo suficiente.

3.6.3. Torque e rotações

Analizando os esforços dinâmicos do mecanismo, consegue-se saber quais são os torques dos motores, e as rotações para os requisitos citados.

Considerando-se desprezível a força de atrito com as guias, e a inexistência de forças de corte, de acordo com Adamowski (ADAMOWSKI, 2005)

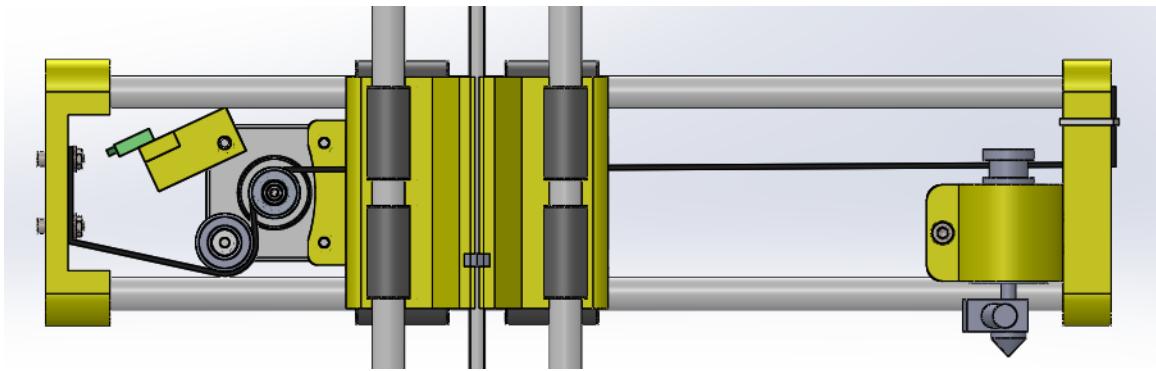


Figura 12 Eixo R com extrusora, fim de curso, polia e correia. Fonte Própria

De acordo com a Figura 12, pode-se concluir a equação (16), sendo F_t a força de tração na correia.

$$F_t = m \cdot \ddot{R} \quad (16)$$

Levando em consideração que a massa movida é de 100g, ao substituir na equação (16) tem-se que:

$$F_t = 0,1 \cdot 5 = 0,5N$$

Considerando-se o torque do motor é representado pela equação (17).

$$T = r_{polia} \cdot F_t \quad (17)$$

Ao substituir os valores na equação (17), tem-se que:

$$T = 0,02 \cdot 0,5 = 0,01Nm = 10Nmm$$

Em relação ao eixo Z pode-se dizer que a força para movimentação da massa é:

$$F_z = m (g + \ddot{Z})$$

Considerando-se uma massa movida pelo eixo Z de 300g:

$$F_z = 0,3(9,8 + 5) = 4,44N$$

Utilizando-se um fuso M5 com passo de 0,8 mm temos que um avanço vertical de 5 m/s equivale a 6250 rad/s, sendo esta a condição máxima de trabalho.

Para calcular o torque necessário, de acordo com Adamowski tem-se as equações (19) e (20) onde J_p a inércia da massa movida e J_f a inércia do fuso.

$$J_p = (m_m + m_P) \left(\frac{P}{2\pi} \right)^2 \quad (19)$$

$$J_f = mf \left(\frac{d_f}{2} \right)^2 \quad (20)$$

Substituindo-se os valores tem-se que $J_p = 1,187 \cdot 10^{-8} kgm^2$ e $J_f = 3,2 \cdot 10^{-6} kgm^2$. A inércia conjugada é portanto a soma das duas e equivale a $J_p = 3,21 \cdot 10^{-6} kgm^2$.

A inércia do motor de passo (NEMA 17) também deve ser levado em consideração, para isso verificamos o catálogo (PBCLINEAR, 2015) e chegamos a uma inércia do motor de $J_r = 5,7 \cdot 10^{-6} kgm^2$. Aplicando à equação (21) do torque do motor tem-se que $T_z = 35Nm$.

$$T_z = \alpha_3 \cdot (J_r + J_c) \quad (21)$$

Para o eixo θ definiu-se por exemplos anteriores uma relação de engrenamento de 10/36. Para que a velocidade seja compatível com o esperado, temos que para um raio de 5mm a aceleração linear máxima é de 2 m/s². Isto corresponde a uma aceleração angular máxima de 400 rad/s² pela equação (22).

$$\theta_{MAX}^{\ddot{\cdot}} = \frac{a}{r} \quad (22)$$

Com a relação das engrenagens, isto corresponde a uma aceleração máxima no motor de passo (α_{MAX}) de 7776,47 rad/s² pela equação (7).

Estimando a massa do disco que rotacional no eixo θ e sabendo que o momento de Inércia de um disco I_D pode ser visto na equação (23). Portanto I_D é 2,5.10⁻⁴kgm².

$$I_D = \frac{mr^2}{2} \quad (23)$$

Sabe-se que o torque movido (T_{movido}) é 0,1 Nm pela equação (24) e o torque do motor (T_{motor}) é 190 Nmm pela equação (25).

$$T_{movido} = \theta_{MAX} \cdot I_D \quad (24)$$

$$T_{motor} = \frac{T_{movido}}{K_1} \quad (25)$$

3.6.4.Finais de curso

Os finais de curso foram posicionados na parte inferior do eixo Z e na extremidade oposta ao bico aquecido no eixo R. O fim de curso do eixo R pode ser visto na figura 12, mostrada anteriormente e o do eixo Z pode ser visto na fFigura 13. Estes acionados para a segurança da máquina e são do tipo chave de contato que pode ser utilizada normalmente aberta ou normalmente fechada. Neste projeto será utilizado como normalmente aberta. Enviando o sinal ao Arduino quando pressionada.

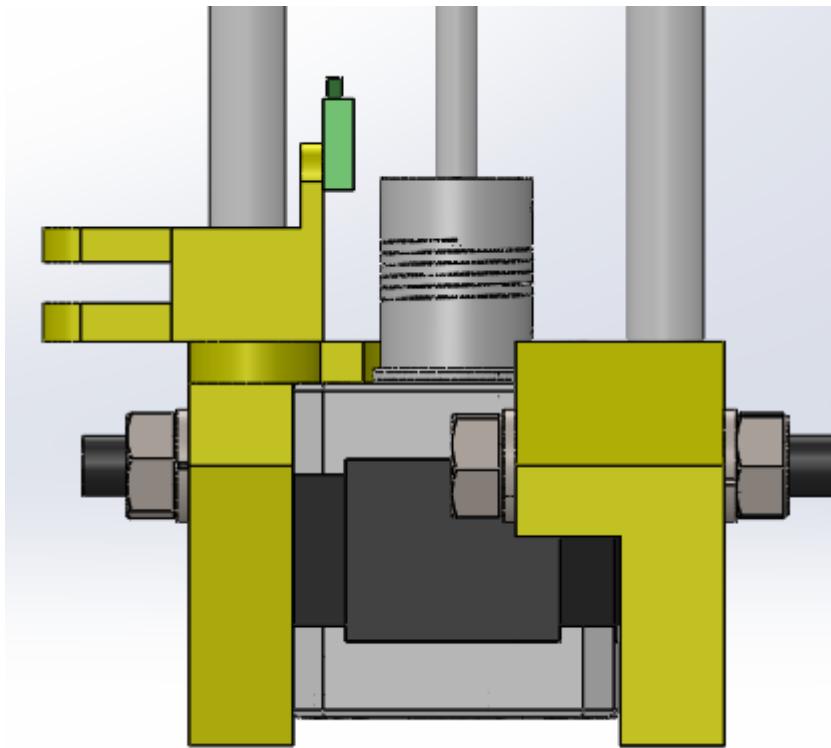


Figura 13: Fixação do fim de curso no eixo Z. Fonte própria.

O curso que cada eixo possui para se deslocar é definido no software da Repetier. Neste é possível adicionar uma máquina e configurar as dimensões do volume de trabalho.

3.6.5. Transmissão do eixo R

Para manter o sincronismo do motor em um espaço reduzido, foi utilizado uma polia e correia aberta. Para conferir tensão a correia foi colocado um rolamento 608ZZ para garantir um maior ângulo de contato como mostrado anteriormente na Figura 12. Esta correia está fixada por parafusos a perfurando e cinta de nylon na outra extremidade.

3.7. Testes

Com a máquina montada foi possível efetuar testes para verificar o desempenho da mesma. Os testes foram feitos em etapas demostradas a seguir.

3.7.1.Movimentação Manual

Com auxílio do software *Repetier-host*, é possível movimentar cada eixo pelo *jog*, comando que possibilita selecionar quanto será movimentado a cada comando. Assim é possível comparar o com o deslocamento real. Este teste é feito com cada eixo, com *jogs* de 1, 5 e 10 mm.

3.7.2.Movimentação Automática

Com o auxílio do *Repetier-host* e do *Slic3r*, peças testes de foram impressas para aferir se as dimensões impressas e comparar com o esperado. Duas peças teste são utilizadas. As peças de teste são cilindro de $\varnothing 10 \times 10$ mm e um cubo de $10 \times 10 \times 10$ mm.

4.CONCLUSÃO

A construção dos componentes mecânicos e sua integração com o subsistemas elétricos e eletrônicos foi realizada com sucesso. A máquina tem um desempenho razoável na sua movimentação, mas não com a qualidade desejada ainda.

Há necessidade de melhorias e refinamento da calibração dos motores e melhora do controle do sistema. A estrutura mecânica desenvolvida é bem estável e não se movimenta com dificuldade. Levando em conta do que foi mencionado, a máquina ainda possui fatores a serem melhorados, mas seu funcionamento cumpre o objetivo.

5.REFERÊNCIAS

- (ADAMOWSKI, 2015) Adamowski J.C. Sistema de movimentação de uma máquina CNC – Controlador, drivers e motores. Disponível em <<http://sites.poli.usp.br/d/PMR2450/aula4.pdf>>. Acesso em 05 jun. 2015.
- (ARDUINO, 2015) Arduino. Arduino Board Mega 2560. Disponível em <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>>. Acesso em 21 out. 2015
- (B9, 2015) B9 Creator. B9Creator V1.2. Disponível em <<http://shop.b9creator.com/collections/3d-printers/products/b9c-asm-v1-2>>. Acesso em 21 mar. 2015.
- (BEAM, 2015) Beam Calculator. Disponível em: <<http://bendingmomentdiagram.com/solve/>>. Acesso em 15 jun. 2015.
- (BOWYERS, 2011) Bowyers, A – RepRap Handout. Disponível em <<http://sourceforge.net/p/reprap/code/HEAD/tree/trunk/users/adrian/Dissemination/reprap-handout-2011.pdf?format=raw>>. Acesso em 20 mar. 2015.
- (BRITANNICA, 2012) Encyclopaedia Britannica. Disponível em <<http://global.britannica.com/EBchecked/topic/1800296/selective-laser-sintering>>. Acesso em: 20 mar. 2015.
- (CLIEVER, 2015) Cliever. Impressora 3D Cliever CL1. Disponível em <<http://www.clever.com.br/produto/impressora-3d-clever-cl1-1>>. Acesso em: 22 mar. 2015.
- (ENGINEERING, 2015) Engineering Calculator – Beam Bending Calculator. Disponível em <http://www.engineeringcalculator.net/beam_calculator.html>. Acesso em 15 jun. 2015.
- (EVANS, 2012) Evans, B. Practical 3D Printers: The Science and Art of 3D printing. 1^a edição. Apress. 2012. 332p. (Technology in Action).
- (FLUX, 2015) Flux Integration. Disponível em <www.fluxintegration.com>. Acesso em: 21 mar. 2015.

(HIRZEL, 2015) Hirzel, T. PWM. Disponível em <<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM>>. Acesso em 20 out. 2015.

(HORVATH; 2014) Horvath, J. Mastering 3D Printing: Modeling, Printing, and Prototyping with RepRap-Style 3D Printers, Apress 2014, ISBN 978-1-4842-0026-1

(JACOBS, 1992) Jacobs, P. F. Rapid Prototyping & Manufacturing: Fundamentals of StereoLithography. 1^a edição. USA: Society of Manufacturing Engineers. 1992. 434p.

(MAKERBOT, 2015).Makerbot Replicator Desktop 3D Printer. Disponível em <<https://store.makerbot.com/replicator>>. Acesso em 22 mar. 2015.

(OPEN SOURCE, 2015) Open Source Iniciative. The Open Source Definition. Disponível em <<http://opensource.org/definition>>. Acesso em 05 abr. 2015.

(PBCLINEAR,2015) Stepper Motor Support Document. Disponível em: <<http://www.pbclinear.com/Download/DataSheet/Stepper-Motor-Support-Document.pdf>>. Acessado em 05 jun. 2015.

(POLAR 3D, 2015) Polar 3D. Disponível em <<http://polar3d.com>>. Acesso em 20 mar 2015.

(REPETIER, 2015) Repetier – Repetier-Host. Disponível em <<http://www.repetier.com/documentation/repetier-host>>. Acesso em 05 abr. 2015.

(REPRAP, 2014) RepRap. About. Disponível em <<http://reprap.org/wiki/About>>. Acesso em: 20 mar. 2015.

(REPRAP, 2015) – RepRap. RAMPS 1.4. 20 Fev. 2015. Disponível em <http://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4>. Acesso em 01 abr. 2015.

(ROSTOCK, 2012) Rostock. Disponível em <www.reprap.org/wiki/Rostock>. Acessado em 21 mar. 2015.

(SETHI3D, 2015)Sethi AiP. Impressora Sethi3D AiP. Disponível em <<http://www.sethi.com.br/blog/impressora-sethi3d-aip>>. Acesso em: 20 mar. 2015.

(STEELE, 2013) Steele, W. PiMaker 3D Printer - Files. Disponível em <<http://www.thingiverse.com/thing:128700/#files>>. Acesso em jan. 2015.

(TANGIBLE, 2015) Tangible Engineering USA Corporation: Solidator <<http://www.solidator.com/3D-Printer.html>>. Acesso em 21 mar. 2015.

(UNDERWOOD, 2011) Underwood, N. Wiring of RAMPS 1.4 – RepRap Wiki. <<http://reprap.org/mediawiki/images/6/6d/Rampswire14.svg>>. Acesso em ago. 2015.

6.APÊNDICES

6.1. BILL OF MATERIALS (BOM)

6.1.1. Componentes Eletrônicos e elétricos

Quantidade	Componente
1	Arduino Mega 2560
2	Chaves de contato NA
1	Display LCD
4	Drivers A4988
1	Fonte chaveada 12V 30A
1	RAMPS 1.4
1	Tomada macho
	Fios

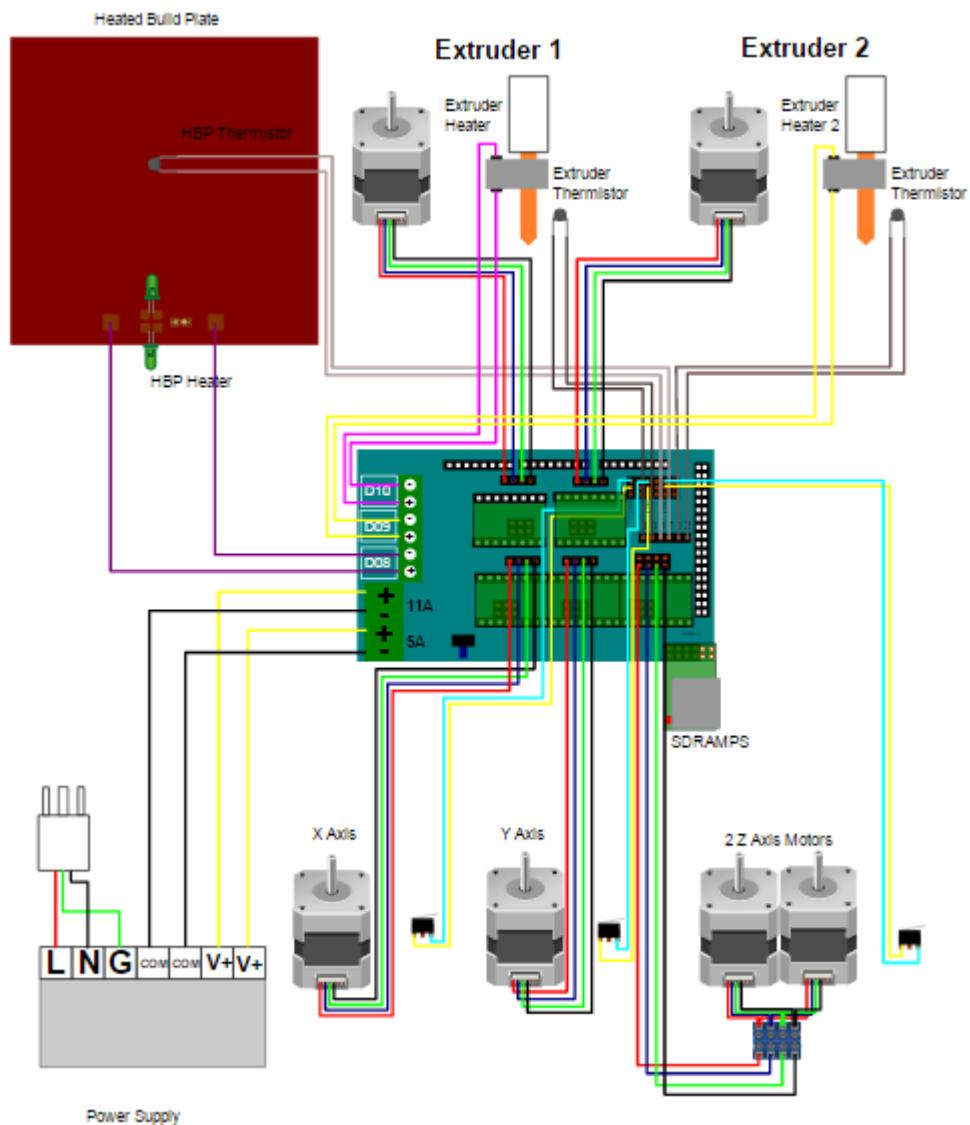
6.1.2. Componentes Mecânicos

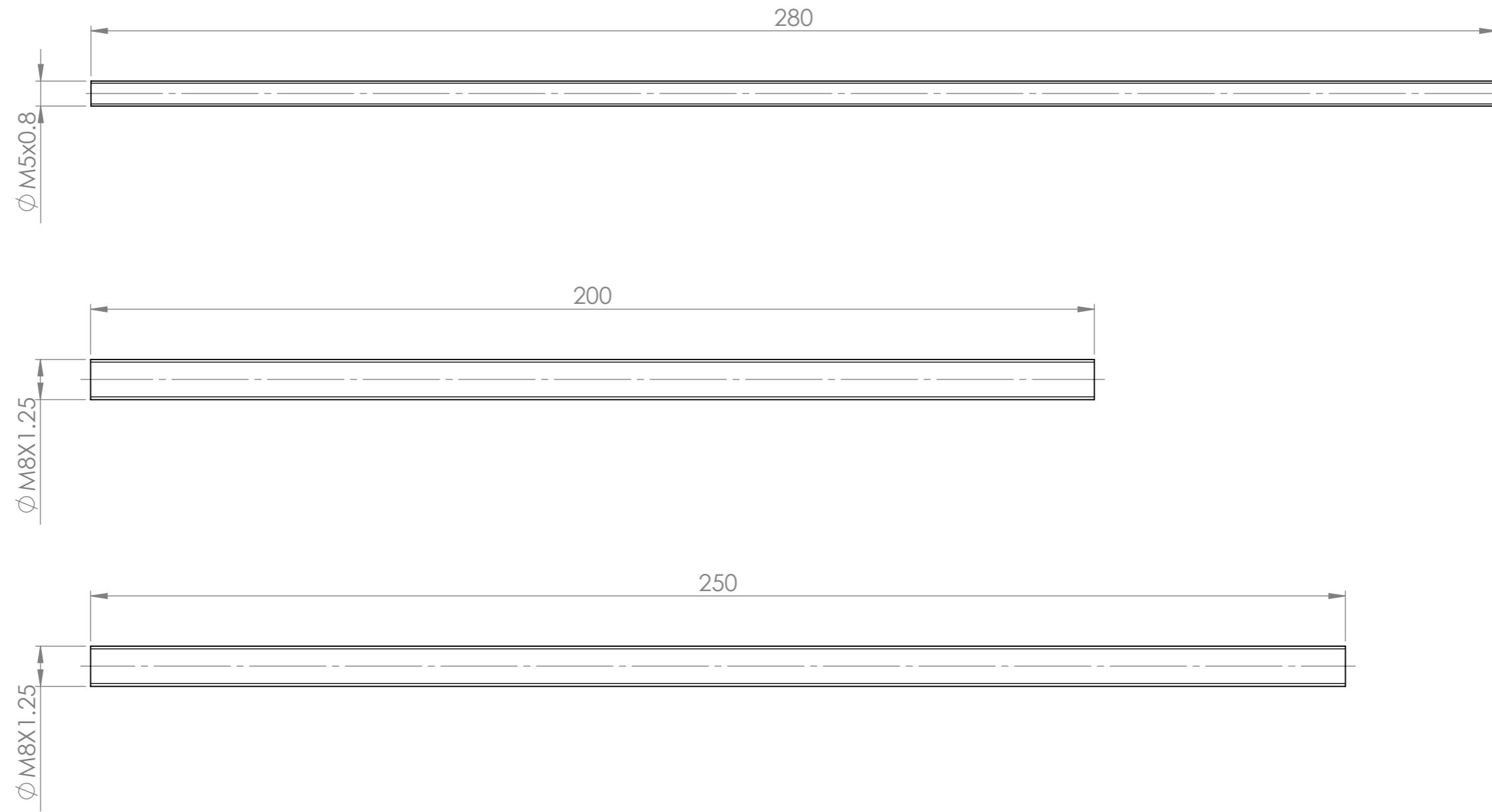
Quantidade	Componente
1	Acoplamento flexível 5/5mm
8	Arruelas de pressão M8
2	Arrulas M3
1	Base do eixo Z
1	correia
2	Eixo retificados Ø10h7 comprimento 320mm
2	Eixo retificados Ø10h7 comprimento 380mm
1	Eixo rosulado M5x0.8x280
1	Eixo rosulado M8x1.25x200
1	Eixo rosulado M8x1.25x250
1	Engrenagem 10 dentes
1	Engrenagem de 36 dentes
1	Fita plástica
1	Bico aquecido 12V/ 40W com ponta de 0.4mm, filamento de 1.75mm e termistor 100K
1	Mesa de acrílico
4	Motor NEMA 17
2	Parafuso M3x0.5x12
5	Parafuso M4x0.7x20
1	Parafuso M8 com recartilhagem
1	Polia de 17 dentes

1	Porca M5
4	Porcas auto-travantes M4
2	Porcas M3
8	Porcas M8
7	Rolamentos 608ZZ
8	Rolamentos lineares LM10UU
1	Suporte da RAMPS
1	Suporte de acrílico
1	Suporte do fim de curso Z
1	Suporte da extrusora
1	Suporte do eixo R e extrusora
1	Suporte Eixo R e correia
1	Suporte do fim de curso
1	Suporte do motor do eixo Z
1	Suporte do eixo Z

7. ANEXO

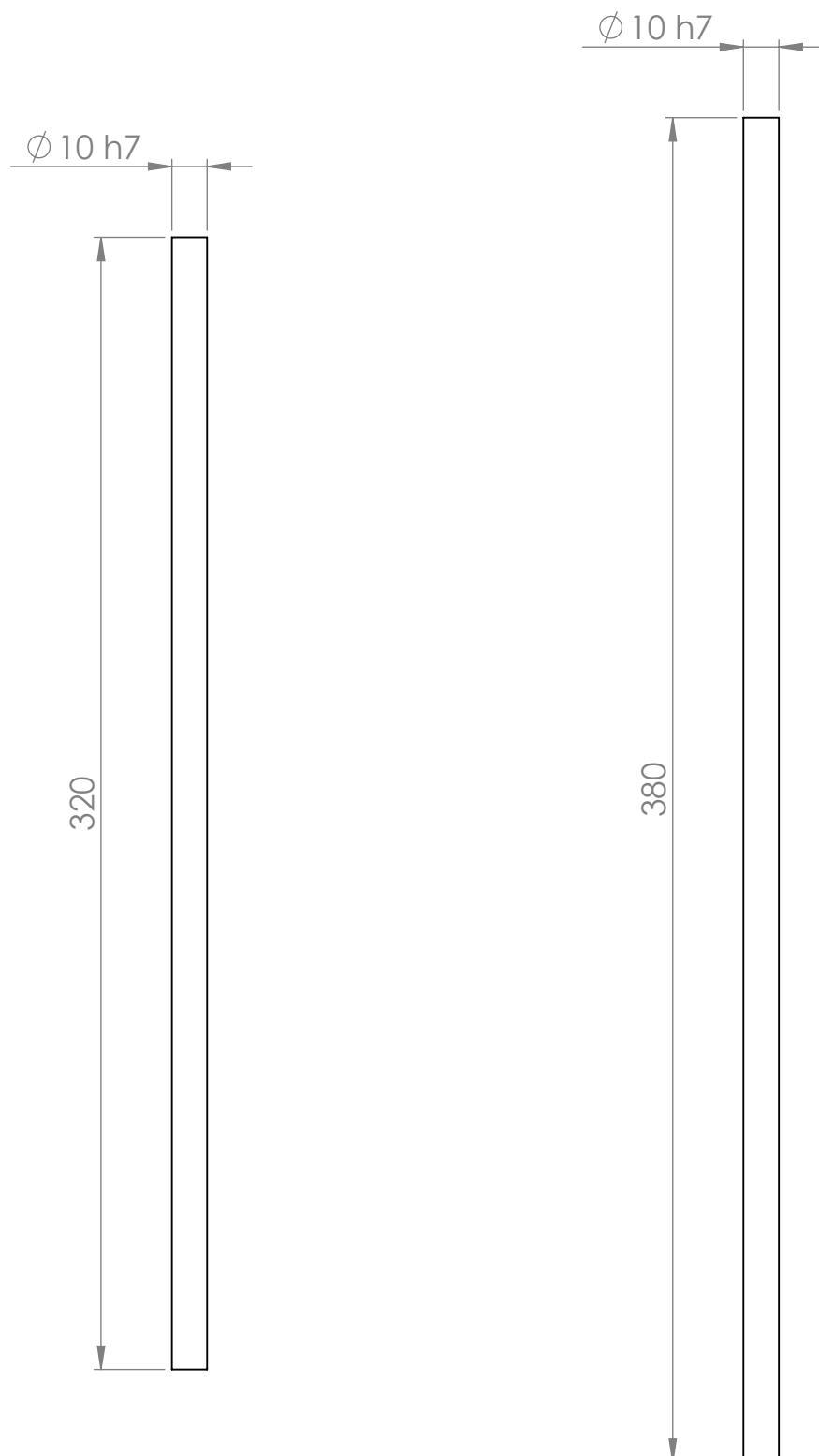
7.1. Diagrama de ligação do RAMPS 1.4





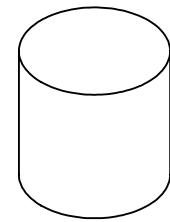
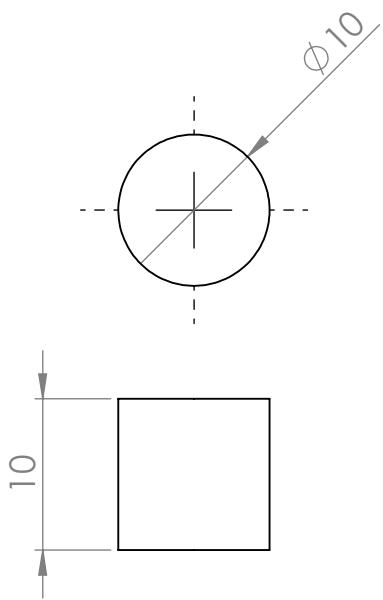
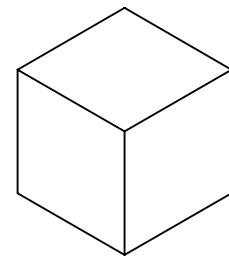
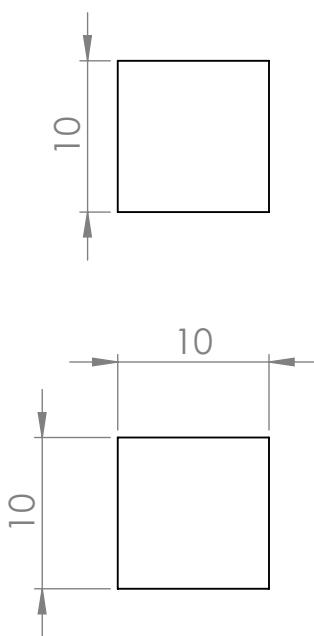
Quantidade: 1 unidade de cada

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:			DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE: Eixos roscado	
CHK'D							
APP'D							
MFG							
Q.A							
				MATERIAL:	DWGS NO.	DT - eixos roscados	A3
				Aço	SCALE:1:1	SHEET 1 OF 1	
				WEIGHT:			



Quantidade: 2 unidades de cada

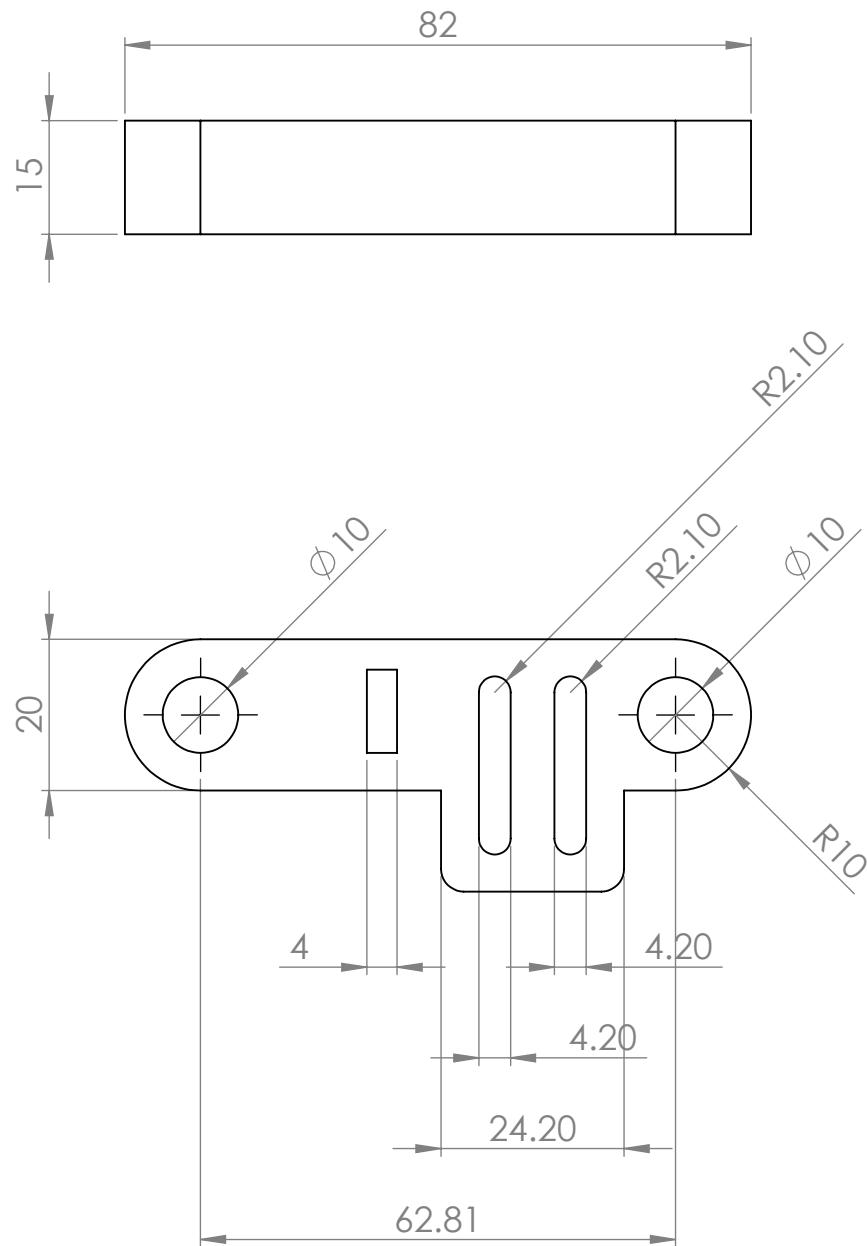
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:			DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE				
CHK'D					TITLE: Eixos R e Z		
APPV'D							
MFG							
Q.A			MATERIAL: Aço 1040	DWG NO.	DT - eixos	A4	
			WEIGHT:	SCALE:1:2	SHEET 1 OF 1		



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:			DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE				
CHK'D							
APP'D							
MFG							
Q.A					MATERIAL: PLA	DWG NO. DT - peca teste	A4
					WEIGHT:	SCALE:2:1	SHEET 1 OF 1

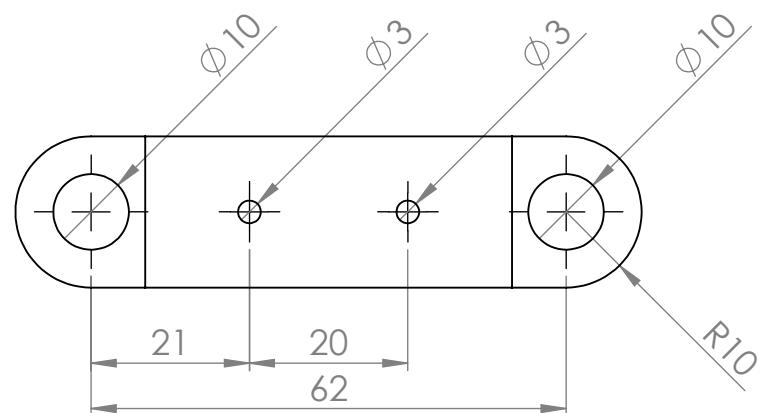
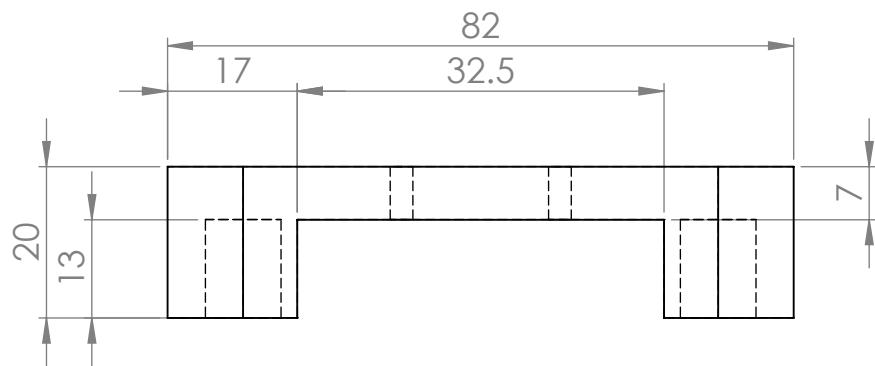
Peça de Teste

DT - peca teste



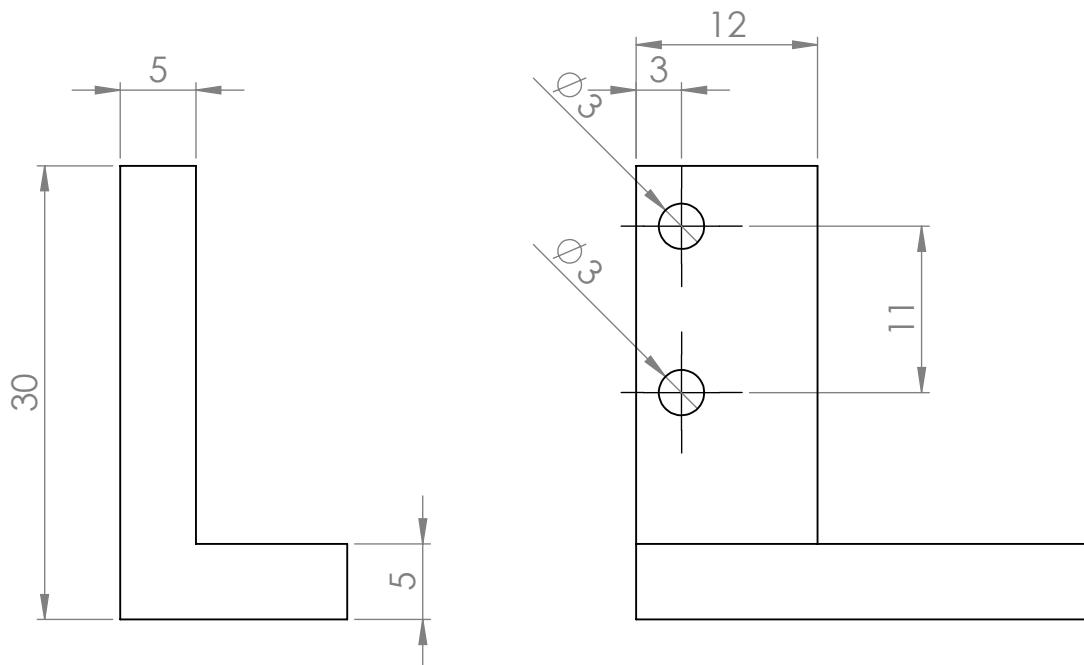
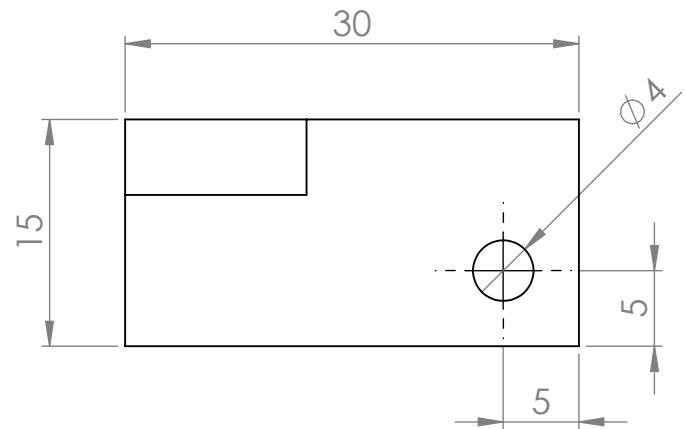
Quantidade: 1 unidade

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING		REVISION
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE		TITLE:		
CHK'D					Suporte Eixo R e extrusora		
APP'D							
MFG							
Q.A				MATERIAL: ABS	DWG NO.	DT - X-carriage - a A4	
				WEIGHT:	SCALE:1:1	SHEET 1 OF 1	



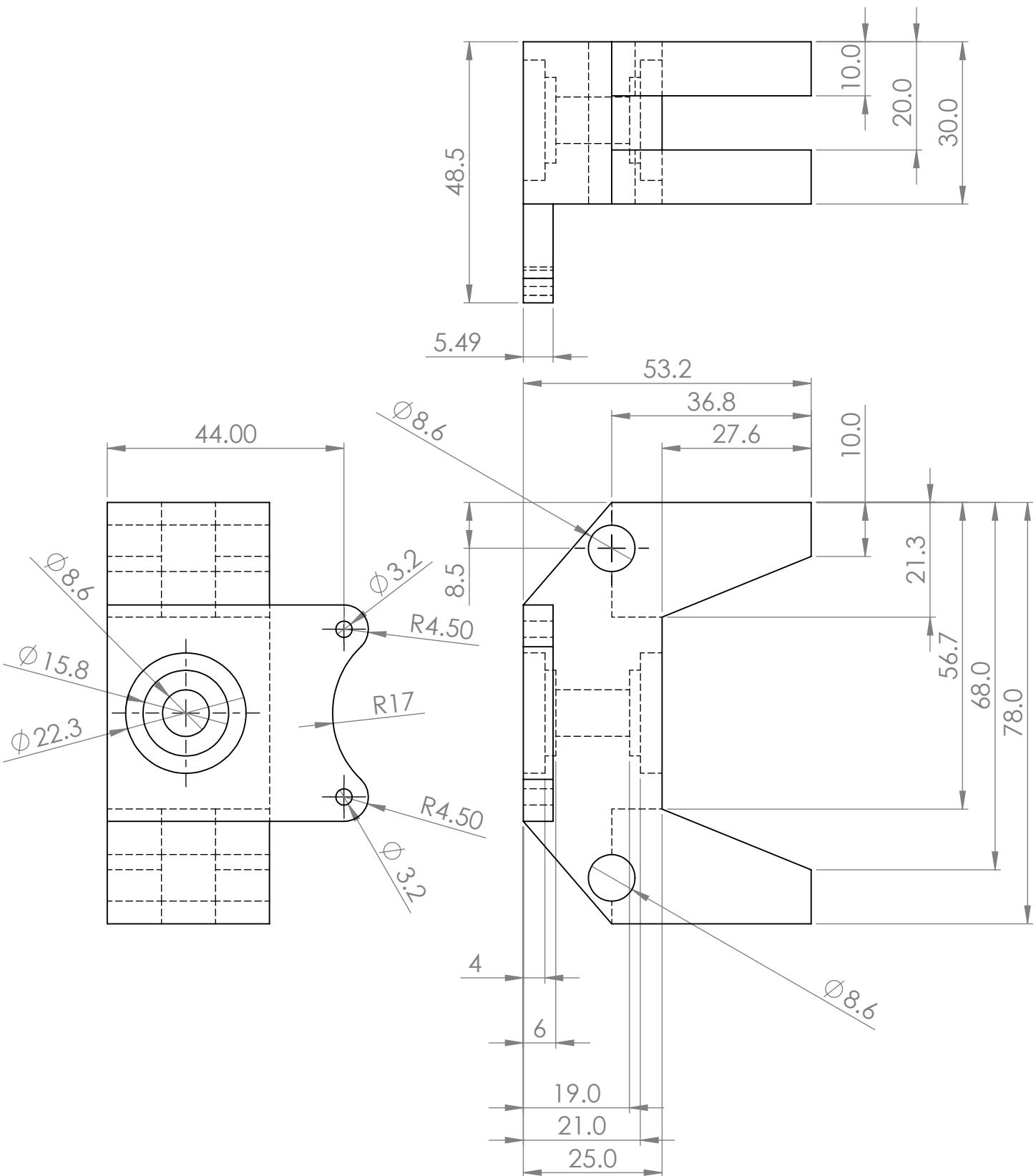
Quantidade: 1 unidade

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:			DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN	SIGNATURE	DATE				TITLE:			
CHK'D						Suporte Eixo R e correia			
APP'D						DT - X-end - a			
MFG						A4			
Q.A					MATERIAL: ABS	DWG NO.			
					WEIGHT:	SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1	



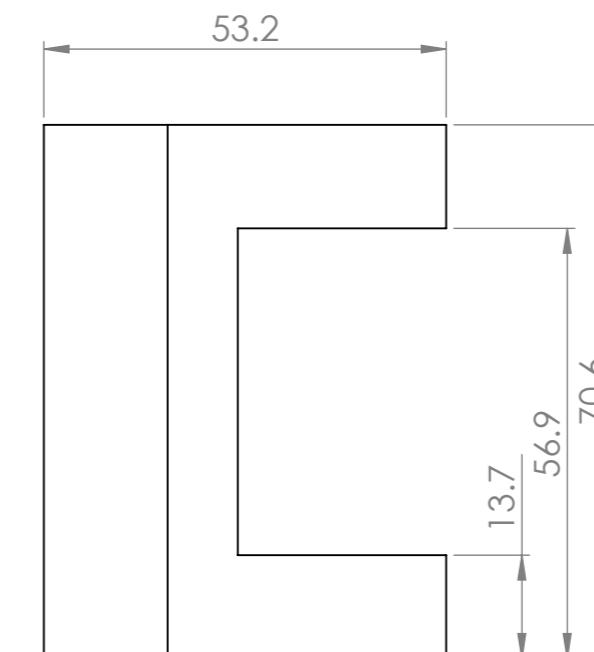
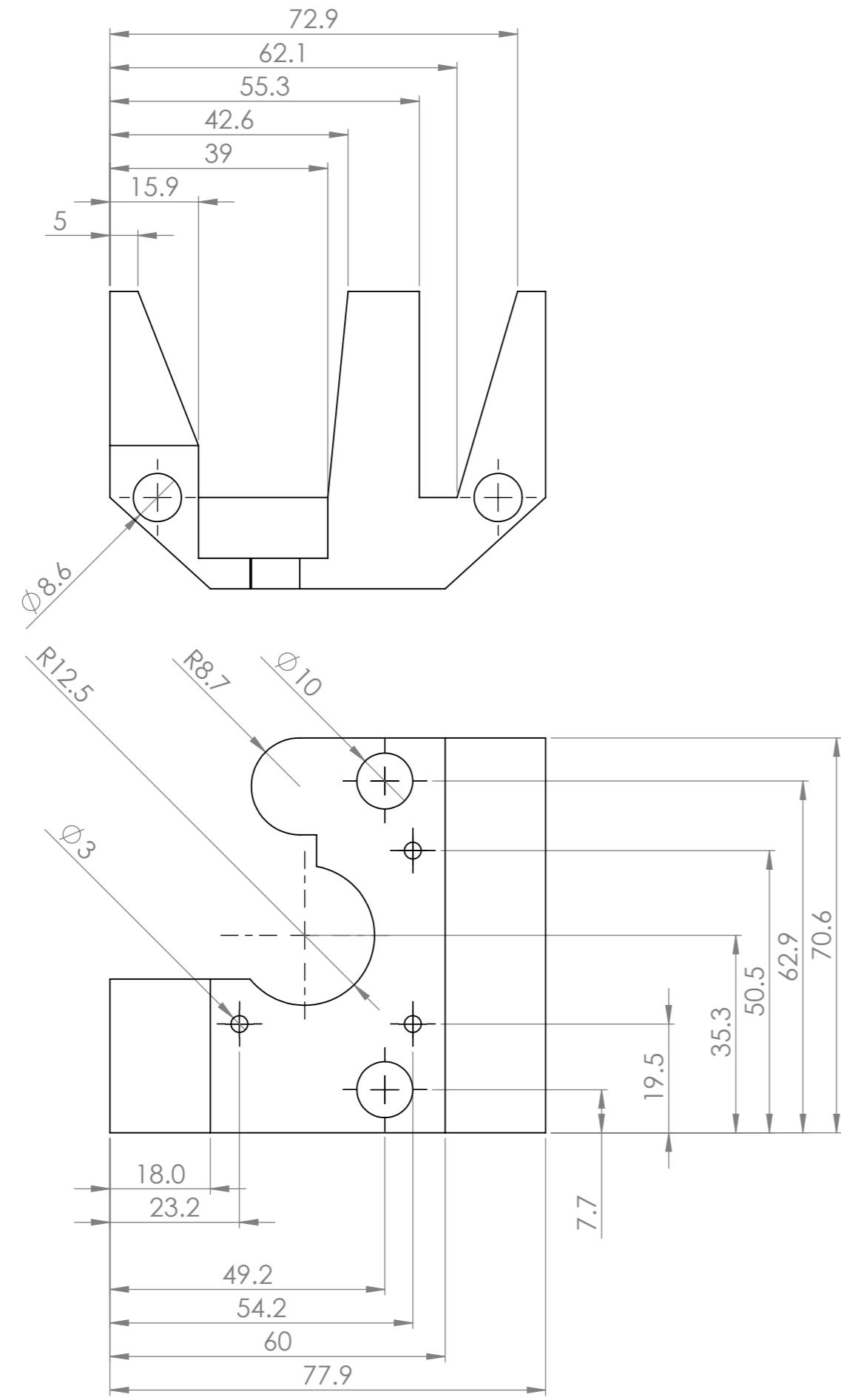
Quantidade: 1 unidade

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING		REVISION
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:		
CHK'D						Suporte do fim de curso		
APP'D								
MFG								
Q.A					MATERIAL:	DWG NO:		
					ABS	DT - X-endstop-holder		A4
				WEIGHT:		SCALE:2:1	SHEET 1 OF 1	



Quantidade: 1 unidade

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:			DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE				
CHK'D						TITLE: Suporte do motor do eixo Z	
APPV'D							
MFG							
Q.A				MATERIAL: ABS	DWG NO.	DT - Y-Base - a	A4
				WEIGHT:	SCALE:1:1	SHEET 1 OF 1	



Quantidade: 1 unidade

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISHED:

DEBUR AND BREAK SHARP

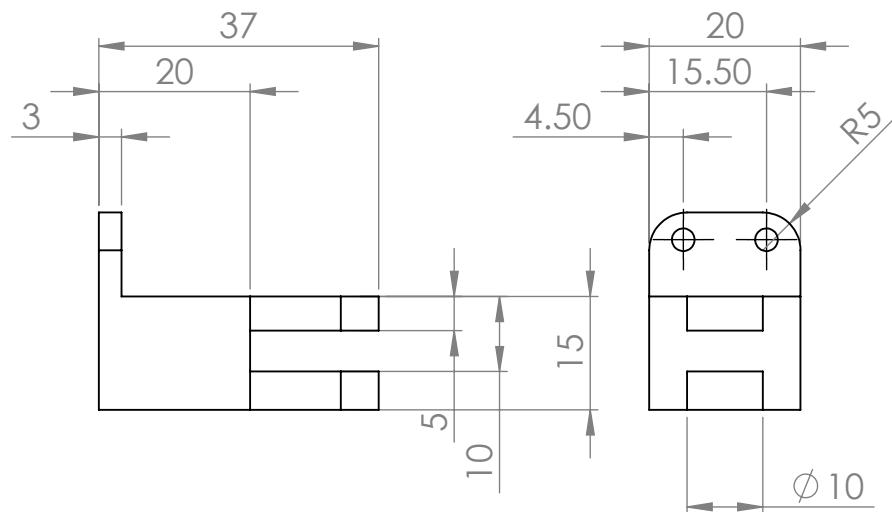
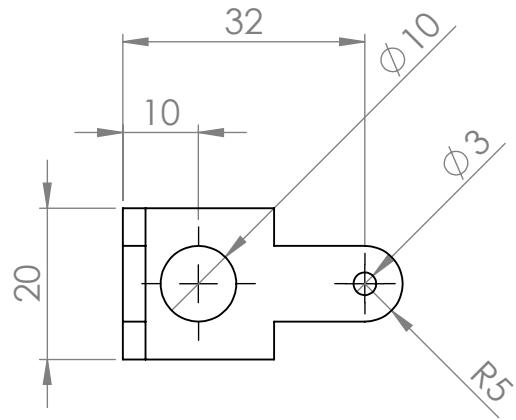
2024 RELEASE UNDER E.O. 14176

1000

EE. Suporte do eixo Z

DT - Z base

A3



Quantidade: uma unidade

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING		REVISION
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE		TITLE:		
CHK'D					Suporte do fim de curso Z		
APP'D							
MFG							
Q.A				MATERIAL:	DWG NO.		
				ABS	DT - Z endstop holder ^{A4}		
				WEIGHT:	SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1