

Prototipagem e Controlo de tapete de transporte e braço manipulador

Rafael José Coelho Fernandes

Relatório da Dissertação Final apresentada à

Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Instituto Politécnico de Bragança

para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Industrial

Área de especialização em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Prof. Dr. José Alexandre de Carvalho Gonçalves

Prof. Dr. João Eduardo Pinto Castro Ribeiro

Novembro de 2019

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original. “

(Albert Einstein)

Agradecimentos

Este trabalho não poderia ser considerado concluído sem que nele expressasse o meu profundo agradecimento a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a conclusão de esta etapa tão importante.

Agradecimento especial à minha Mãe, por me ter educado da melhor maneira possível e me transmitir muita força e amor durante toda a minha vida, inclusive nesta etapa. Muito Obrigado.

Quero também agradecer ao Professor José Gonçalves e ao Professor João Ribeiro que nunca mediram esforços para garantir o bom desempenho deste trabalho e sempre se mostraram disponíveis para ajudar em tudo. Sou muito grato por todos os ensinamentos.

Aos meus irmãos e cunhado que sempre me incentivaram a correr atrás dos meus objetivos. Por todo o apoio prestado, disponibilidade e ajuda sempre, por quem tenho um enorme sentimento de gratidão.

À minha namorada, Catarina Veiga que esteve sempre do meu lado ao longo desta caminhada, sempre muito paciente e positiva mesmo nos momentos mais difíceis. Obrigado por todo o carinho, força e paciência.

Por último, mas não menos importante, queria agradecer aos meus amigos e todos os intervenientes que de uma ou outra forma contribuíram para que fosse possível a conclusão de este projeto.

Obrigado a todos aqueles que lidaram comigo!

Resumo

Neste documento descreve-se o trabalho desenvolvido para a criação de um modelo didático composto por um braço robótico e um tapete de transporte. O desenvolvimento do trabalho pode ser dividido por duas componentes, o projeto mecânico e fabrico das peças e a componente da eletrónica e controlo.

Inicialmente foi avaliado o braço robótico já existente bem como a cinemática do movimento do braço robótico. Foi analisada a garra já existente e desenvolvida uma nova garra que se adaptasse ao robô e à funcionalidade pretendida. Foi impressa em 3D e realizou-se a montagem da mesma e do servo motor.

Posteriormente foram desenhados vários tipos de tapetes de transporte e analisado o seu movimentos e funcionalidade. Foram impressos alguns modelos até chegar ao modelo final com as dimensões pretendidas. Posteriormente, foi projetada uma roda dentada que funcionasse com os vários elementos do tapete e impressa.

Para o tapete de transporte foi necessário desenvolver uma estrutura que suporte as cargas que serão utilizadas e permita a montagem do tapete. A estrutura foi sendo alterada de acordo com as necessidades que iam surgindo e sendo otimizada.

Tendo já a estrutura foi desenvolvida uma peça que funcionasse como um esticador para o tapete. Foi impressa e foi então que se tentou roscar com um caçonete, mas uma vez que a sua precisão não era das melhores não foi possível. Desenhou-se uma nova peça já com a intenção de utilizar um varão roscado M6 de 60mm. Montou-se os rolamentos e todas as peças da estrutura e tapete.

Para movimentar o tapete utiliza-se um motor DC e para detetar as peças um sensor de medição de distância, a parte do controlo é feita com base no Arduino.

Palavras chave: Braço robótico; Tapete de transporte, Impressora 3D; Controlo; Estrutura; Desenho; Arduíno; Motor DC

Abstract

This document describes the prototype of a didactic model consisting of a robotic arm and a conveyor belt. The work development can be divided into two components, the mechanical design and manufacturing of the parts and the electronics and control component.

In the initial phase the existing robotic arm was evaluated as well as its kinematics of the robotic arm movement. The existing grapple was analyzed and a new gripper that adapted to the robot and the intended functionality was developed. Printed in 3D and assembled, movement based on the servo motor.

Subsequently, various types of conveyor belts were designed, and their movements and functionality analyzed. Some models were printed until reaching the final model with the desired dimensions. Having the conveyor belt, a cog-wheel was designed that worked with the various elements of the carpet.

For the conveyor belt, it was necessary to develop a structure that supports the loads that will be used and allows the assembly of the belt. The structure was changed according to the requirement needs and consequently optimized.

Having the structure already, a piece was developed that functioned as a stretcher for the carpet. It was printed and it was then that one tried to screw it with a thread dies, but since its accuracy was not the best it was not possible. A new piece was designed with the intention of using a 60mm M6 threaded rod. The bearings and all the frame and conveyor belt parts were assembled.

To move the carpet was used a DC motor and to detect the pieces a distance measuring sensor, the control part is made based on the apply of Arduino.

Key-words: Robotic arm; Conveyor belt, 3D Printer; Control; Structure; Drawing; Arduino; DC motor

Índice

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO	13
1.1.1: <i>Geral</i>	13
1.1.2: <i>Específico</i>	13
1.2 ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	15
CAPÍTULO 2: ESTADO DA ARTE	17
2.1 SURGIMENTO E EVOLUÇÃO DO FABRICO ADITIVO	17
2.1.1 <i>Fabrico Aditivo</i>	17
2.1.1 <i>O que é a impressão 3D</i>	17
2.1.2 <i>História</i>	18
2.2 MODELAGEM.....	19
2.3 IMPRESSÃO.....	19
2.3.1 <i>Dicionário de Impressão 3D</i>	20
2.3.2 <i>Tipos de Impressão</i>	22
2.3.3 <i>Propriedades e Materiais dos filamentos</i>	24
2.3.4 <i>Parâmetros de Impressão</i>	25
CAPÍTULO 3: O BRAÇO ROBÓTICO	28
3.1 TIPOS DE ROBÔS	28
3.1.1 <i>Robôs domésticos</i>	28
3.1.2 <i>Robôs médicos</i>	28
3.1.3 <i>Robôs de entretenimento</i>	28
3.1.4 <i>Robôs industriais</i>	28
3.2 ESTRUTURA DE UM BRAÇO ROBÓTICO	29
3.3 BRAÇOS ROBÓTICOS EXISTENTES	29
3.3.1 <i>uArm Swift Pro</i>	29
3.3.2 <i>DOBOT Magician</i>	30
3.3.3 <i>Niryo One</i>	31
3.3.4 <i>Braço robótico em MDF</i>	31
3.4 ARQUITETURA DO BRAÇO UTILIZADO.....	32
3.4.1 <i>Base</i>	32
3.4.1 <i>Braço</i>	33
3.4.1 <i>Antebraço</i>	33
3.4.1 <i>Garra</i>	34

3.5 MOTORES E COMPONENTES	34
3.5.1 Servo motores.....	35
3.5.2 Características dos servos motores utilizados	36
3.5.3 Placa Arduino e Finalidade no Braço Robótico	36
CAPÍTULO 4: O TAPETE DE TRANSPORTE	39
4.1 ESTRUTURA DO TAPETE.....	39
4.2 CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA.....	39
4.2.1 Base da estrutura	40
4.2.2 Junta peças.....	40
4.3 SUPORTES DOS VEIOS	41
4.3.1 Mecanismo de ajuste.....	42
4.3.2 Rolamentos utilizados.....	43
4.3.3 Veios e Rodas dentadas	44
4.4 PROTOTIPAGEM DO TAPETE	45
4.4.1 Modelos iniciais.....	45
4.4.2 Modelo final	46
4.5 MOVIMENTO DO TAPETE E SENSOR DE DISTÂNCIA.....	47
4.5.1 Motor	47
4.5.2 Sensor.....	49
CAPÍTULO 5: CONTROLO DA LINHA.....	51
5.1 ABORDAGENS INICIAIS	51
5.1.1 Teste da garra do robô	51
5.1.2 Teste do Sensor.....	52
5.1.3 Teste Tapete	52
5.2 CONTROLO IMPLEMENTADO	53
CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO	56
6.1 CONCLUSÕES	56
6.2 TRABALHO FUTUROS.....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
ANEXOS.....	62
ANEXO I: DESENHOS COTADOS	62
ANEXO II: CÓDIGO UTILIZADO	75

Lista de Tabelas

Tabela 1– Especificações dos servos motores utilizados [19/21].....	36
Tabela 2 Dimensões do motor escolhido [29]	48
Tabela 3 Especificações gerais [29].	48

Índice de Figuras

Figura 1 Ilustração de exemplo 3D [1].....	17
Figura 2 Chuck Hull junto a um dos protótipos de impressora 3D [3]	18
Figura 3 Logo software utilizado [4].....	19
Figura 4 Conjunto de itens do extrusor [5].....	20
Figura 5 Exemplo de "Skirt" [6].....	21
Figura 6 Exemplo de warping [7].....	21
Figura 7 Exemplos de preenchimento [5].....	22
Figura 8 Altura da camada de 0.2 e 0.1 [mm] [5]	22
Figura 9. FDM-Fusão por deposição do material [5]	23
Figura 10 SLA e DLP [5]	23
Figura 11 SLS - Sinterização seletiva por laser [5]	24
Figura 12 Exemplo de peça com material de suporte.....	26
Figura 13 Braço robótico de 3 e 4 graus de liberdade [9]	29
Figura 14 uArm Swift Pro [11].....	30
Figura 15 DOBOT Magician [12]	30
Figura 16 Niryo One [12]	31
Figura 17 Braço robótico MDF [15].....	31
Figura 18 Componentes do Braço Robótico [17].....	32
Figura 19 Vista da base [17].....	33
Figura 20 Vista explodida do braço [17]	33
Figura 21 Vista explodida do antebraço [17]	34
Figura 22 Mecanismo da garra	34
Figura 23 Servo motor S03NF STD [21]	35
Figura 24 Sinais de controlo do servo motor.....	36
Figura 25 Placa Arduino Uno [22]	37
Figura 26 Fusion3 F400-S utilizada	39
Figura 27 Base da estrutura	40
Figura 28 Sistema Junta Peças.....	41
Figura 29 Suporte dos veios (Modelo inicial)	41
Figura 30 Suporte dos veios (Modelo Final).....	42

Figura 31 Mecanismo de ajuste	42
Figura 32 Mecanismo de ajuste (modelo final).....	43
Figura 33 Rolamento 687 2RS	43
Figura 34 Rolo Tracionado.....	44
Figura 35 Rolo de Tração	44
Figura 36 Roda dentada utilizada	44
Figura 37 Primeiro modelo desenvolvido	45
Figura 38 Segundo modelo desenvolvido	46
Figura 39 Modelo final desajustado	46
Figura 40 Modelo final ajustado.....	47
Figura 41 19:1 Metal Gearmotor	47
Figura 42 Ponte H L298N	48
Figura 43 Sensor Sharp [28].....	49
Figura 44 Ligações do braço e garra	52
Figura 46 Teste do tapete.....	53
Figura 47 Projeto Final e respectivas ligações	53
Figura 48 Fluxograma do funcionamento da programação.....	54

Abreviaturas

3D –Three Dimensional;

ABS – Acrylonitrile butadiene styrene;

CNC – Computer Numeric Control;

CPU – Central Processing Unit;

DC – Direct Current;

DOF- Degree of freedom;

FDM - Fused deposition modeling

MDF - Medium Density Fiberboard;

PSD – Position Sensing Device;

PWM – Pulse Width Modulation;

SLS – Selective laser sintering

CAPÍTULO 1

Capítulo 1: Introdução

O presente trabalho está focado no ensino da automação/mecatrónica, através do desenvolvimento de um tapete de transporte e o controlo de um braço manipulador. Neste capítulo serão apresentadas as bases deste projeto, nas quais estão incluídas a motivação, objetivos e o resumo de cada capítulo deste trabalho.

1.1 Objetivo da dissertação

1.1.1: Geral

O principal objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um tapete de transporte de pequenas dimensões e o respetivo braço robótico para efetuar o transporte de materiais. Este trabalho é realizado para fins didáticos, possibilitando que este venha a ser utilizado para o ensino no IPB ou até mesmo sirva de modelo para a fabricação em série.

1.1.2: Específico

- **Procurar informações de tapetes de transporte industriais;**

Analisar os vários modelos já usados em ambiente industrial, as suas características e referenciar no estado da arte.

- **Desenvolver a sua estrutura;**

Após a pesquisa efetuada, deve-se começar a desenvolver a estrutura para o tapete de transporte para posteriormente inicial o projeto dos elementos do tapete e o mecanismo de transmissão. Para tal, será utilizado o programa SolidWorks®.

- **Transformação do projeto virtual em modelo real 3D;**

O modelo real será obtido através da impressão 3D a partir dos desenhos de projeto efetuados. Posteriormente as peças imprimidas devem ser inspecionadas a fim de retificar aquelas que possuam defeitos funcionais. Posto isto, inicia-se a montagem.

- **Sistema eletrónico e programação;**

Nesta etapa irá ser efetuada a montagem do sensor, do servo motor da garra e motor DC e as respetivas ligações necessárias. Após o passo anterior, será desenvolvido o software de controlo de forma cumprir o objetivo pretendido.

- **Testar a maquete desenvolvida;**

Após efetuar todas as ligações, é realizada toda a programação do braço robótico e do tapete de transporte e testado a fim de verificar se o funcionamento é correto.

- **Melhorias a ser implementadas;**

Posteriormente é analisado todo o projeto e são apontadas algumas sugestões de trabalhos futuros.

1.2 Estrutura do documento

O primeiro capítulo tem como o intuito de apresentar um enquadramento do trabalho, referindo assim os seus objetivos, e uma breve descrição da estrutura da dissertação apresentada, a fim proporcionar ao leitor uma visão do que vai encontrar no documento.

No capítulo 2, encontra-se uma pesquisa da principal tecnologia do trabalho, a impressão 3D bem como um pouco da história de como surgiu até à sua evolução até aos dias de hoje. Aborda-se os diferentes tipos de impressoras e parâmetros importantes.

O capítulo 3, destina-se ao braço robótico, os diferentes braços, os protótipos atuais assim como os passos de construção do utilizado e o material utilizado. É também abordada a construção da nova garra.

No capítulo 4, observa-se o desenvolvimento de um novo tapete de transporte. Inicialmente fala-se da sua arquitetura e dos vários modelos desenvolvidos até ao produto final. É também abordada toda a estrutura base, o sistema de junta peças bem como o sistema de rodas dentadas utilizadas para transmitir o movimento ao tapete. A introdução dos rolamentos de esferas para diminuir o atrito e o sensor de medição de distância.

O capítulo 5 é referente a toda a programação da linha bem como o braço robótico. Todos os testes efetuados e o código implementado para o seu funcionamento.

No capítulo 6 são então apresentadas as respetivas conclusões de todo o trabalho desenvolvido, e também sugestões de trabalho futuro.

CAPÍTULO 2

Capítulo 2: Estado da Arte

2.1 Surgimento e evolução do fabrico aditivo

2.1.1 Fabrico Aditivo

Fabrico aditivo é o processo de criar objetos através de modelos digitais criados em três dimensões. Esta tecnologia baseia-se em fusão a laser, fundição a vácuo e moldagem por injeção. A fusão a laser como o próprio nome indica, utiliza energia a laser concentrada para fundir pós metálico em objetos 3D. É uma tecnologia de fabrico emergente, mais usada na indústria médica e aeroespacial. A fundição a vácuo é utilizada para produzir protótipos de alta qualidade em variedade de resinas de poliuretano.

2.1.1 O que é a impressão 3D

A impressão 3D, comumente associado à prototipagem rápida, é uma forma de tecnologia do fabrico aditivo onde um objeto tridimensional sólido desenhado em software 3D, é criado através da aplicação de matéria-prima, camada a camadas até formar a peça final. A principal característica que distingue de outras máquinas de prototipagem rápida e controlo numérico (CNC), é que o processo de obtenção da peça final não é subtrativo, isto é, não é obtido através do desbaste da matéria prima [1].

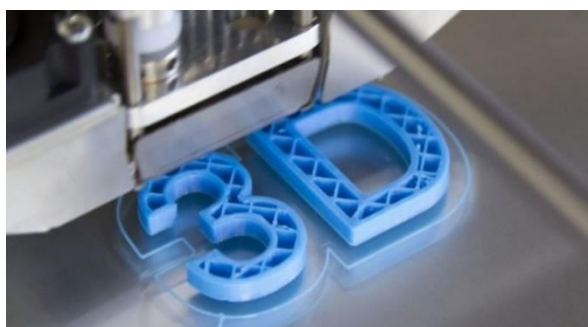


Figura 1 Ilustração de exemplo 3D [1]

Geralmente, são mais rápidas e fáceis de usar comparativamente a outras tecnologias de fabrico aditivo. A impressão 3D tem vindo a avançar nos últimos anos devido à sua diversidade para criar formas geométricas distintas e, principalmente, o baixo custo. É um tema que envolve algum conteúdo que irá ser apresentado, posteriormente, ao longo deste capítulo.

2.1.2 História

Recuando um pouco no tempo, a impressão 3D surgiu em 1984 foi inventada por Chuck Hull, um engenheiro físico americano do estado da Califórnia, utilizando a estereoligrafia, tecnologia precursora da impressão 3D. Anteriormente, Hull já tinha desenvolvido um ano antes a tecnologia do que viria a ser a máquina, que tinha apenas duas funções principais, sendo uma delas a criação, usando lâmpadas para solidificação de resinas, o primeiro objeto criado pela ferramenta [2, 3]. Uma das primeiras versões comerciais semelhantes às impressoras de depósito por fusão, semelhantes àquelas impressoras 3D domésticas, foi desenvolvida por S. Scott Crump, co-fundador da Stratasys, Ltd, em 1989.



Figura 2 Chuck Hull junto a um dos protótipos de impressora 3D [3]

A principal foi a confeção de partes de plástico de forma rápida já que o processo tradicional demorava cerca de seis a oito semanas e, após a impressão algumas peças, precisavam de ser refeitas várias vezes devido a defeitos no fabrico. Com a produção desses componentes num ambiente controlado, a impressora 3D já destacava desde cedo as duas principais características até hoje, versatilidade e rapidez.

Passados alguns anos, Chuck Hull fundou a 3D Systems Corp., patenteando assim a sua invenção e diversas formas de impressão iniciando assim a comercialização da tecnologia. Tal foi o sucesso que, ainda hoje, a empresa se mantém como uma das líderes do mercado.

Com o passar dos anos e avanço tecnológico as impressoras 3D têm vindo a tornar-se financeiramente acessíveis. Nos anos 90 uma impressora custava cerca de um milhão de euros, atualmente existem modelos que podem ser adquiridos por mil euros. É, atualmente, uma tecnologia utilizada em diversas áreas de produção tanto na saúde como em vários tipos de indústria devido ao seu baixo custo e versatilidade.

2.2 Modelagem

Para que ocorra a impressão de algum objeto 3D é necessário antes de tudo efetuar a modelagem, isto é, criar o modelo e transformar a ideia no ficheiro que posteriormente será lido pela impressora. Existem vários *software* no mercado para o mesmo fim, o *Solidworks*® é um dos mais utilizados em todo o mundo para a modelagem de peças em 3 dimensões. É muito usado para projetos mecânicos e de engenharia devido a sua interface intuitiva e leque de possibilidades.



Figura 3 Logo software utilizado [4]

2.3 Impressão

Uma impressão para ser efetuada é necessário que o dispositivo leia o arquivo com formato *.STL e estabeleça camadas sucessivas de material para construir o modelo através de uma série de secções transversais. Estas camadas são unidas ou fundidas para criar a forma final. O tempo de impressão varia de acordo com o tamanho da peça e complexidade da geometria. A principal vantagem desta técnica é a diversidade de formas geométricas que podem ser criadas.

2.3.1 Dicionário de Impressão 3D

Para melhor entender acerca de impressão 3D é necessário ficar familiarizado com alguns termos usados na comunidade. Existem siglas e palavras diferentes que definem componentes, técnicas e até mesmo erros. Seguidamente vão ser apresentados alguns dos mais comuns.

- **Extrusor** – É o principal conjunto presente em qualquer impressora 3D. É abordado como se fosse um único componente, mas na realidade é um conjunto de itens com o intuito de aquecer o filamento para posteriormente depositar no tabuleiro de impressão. Para melhor ilustrar individualmente os componentes que fazem parte do extrusor deixo a seguinte figura.

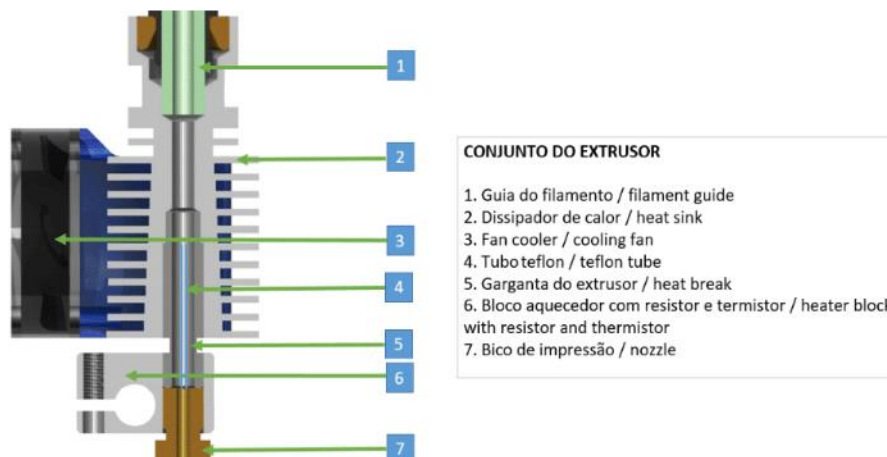


Figura 4 Conjunto de itens do extrusor [5]

- **Skirt** – Normalmente todas as impressões possuem um rebordo externo sem contacto com a peça. Este material é depositado com o propósito de regular o fluxo e eliminar parte do filamento que contém impurezas.

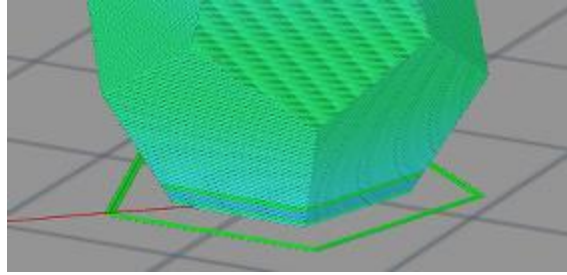


Figura 5 Exemplo de "Skirt" [6]

- **Warping** – Acontece principalmente em peças cujo material é o ABS. Assim que o material começa a arrefecer sofre contração o que, por vezes, pode gerar empenos [7]. É um material crítico nesse sentido devido as características da matéria prima. Para evitar que a peça empene, o melhor é trabalhar sempre com a impressora fechada mantendo a temperatura elevada constante. A título de curiosidade o PLA não sofre tanto com o *warping*.

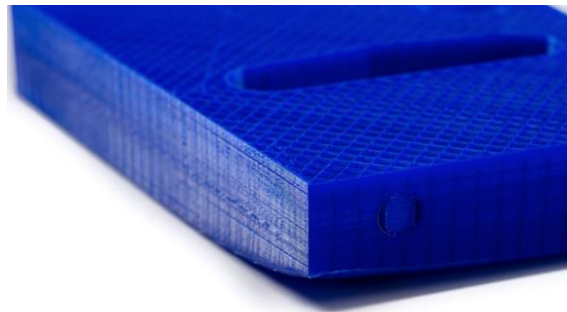


Figura 6 Exemplo de warping [7]

- **STL** – O STL já conhecido de algum tempo através de desenho técnico, é o formato de ficheiro da peça virtual em três dimensões.
- **G Code** – O *G Code* é ao nome dado à linguagem de programação utilizada por computador para comunicar com as impressoras relativamente aos movimentos, quando deve depositar material, quando parar, a velocidade/temperatura entre outros parâmetros.

- **Infill** – Também conhecido como preenchimento, é um parâmetro relevante na definição da peça. É possível criar peças sem preenchimento em que só as paredes são feitas ou então peças 100% maciças dependendo da resistência pretendida para a peça, como podemos observar na figura 7.



Figura 7 Exemplos de preenchimento [5]

- **Layer** – É a altura da camada que vai interferir diretamente na qualidade superficial da peça. Isto é, quanto maior for a altura da camada pior será a resolução. Normalmente as dimensões usadas variam entre 0,05 e 0,03 milímetros.

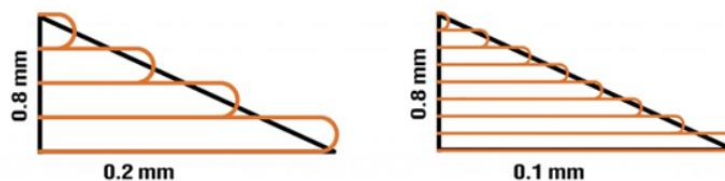


Figura 8 Altura da camada de 0.2 e 0.1 [mm] [5]

2.3.2 Tipos de Impressão

Dentro da impressão, é importante referir que existem diferentes tipos desta tecnologia. FDM, DLP, DLA. São alguns dos modelos que utilizam princípios diferentes na forma de criar peças. Seguidamente passo a explicar detalhadamente cada uma delas.

FDM – Fused Deposition Modeling

O modelo FDM é o mais comum e utilizado, a sigla significa fusão por deposição do material. Basicamente o princípio de funcionamento deste tipo de impressora 3D é o aquecimento do filamento até a fusão. O volume do material derretido é pressionado pelo bico extrusor, sendo este assim depositado na superfície de impressão como podemos ver na figura 2. Geralmente atuam com a resolução entre 0.05 e 0.4 milímetros, que corresponde à altura da camada. Quanto menos o valor, melhor qualidade superficial terá a peça.

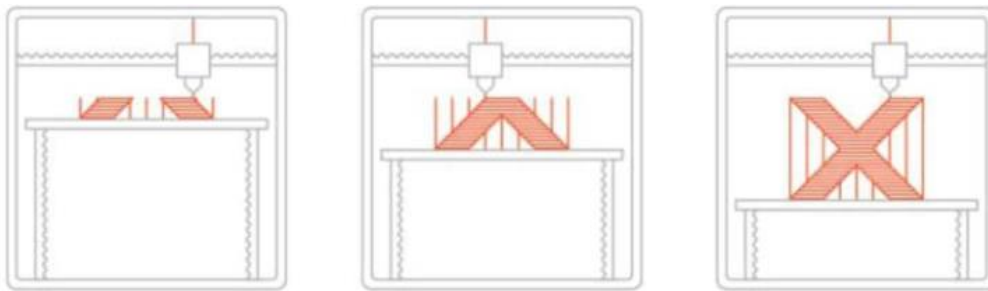


Figura 9. FDM-Fusão por deposição do material [5]

SLA – Stereolithography e DLP – Digital Light Processing

O tipo SLA corresponde à estereolitografia. No processo de fabrico com SLA uma resina de foto polímero é curada por uma fonte de luz.

Outro tipo de impressão 3D, a DLP (Digital Light Processing), também usa o mesmo princípio de funcionamento, no entanto, a principal diferença entre SLA e DLP é a fonte de luz que eles usam para curar a resina, a SLA utiliza laser de pontos, a impressora DLP usa voxel.

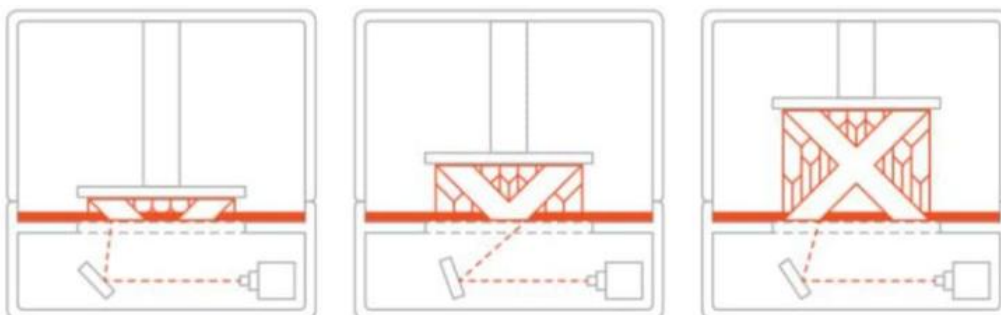


Figura 10 SLA e DLP [5]

SLS – *Selective Laser Sintering*

SLS é outro tipo de impressão 3D. Representa assim Sinterização Seletiva por Laser. Neste método é utilizado uma fonte de energia térmica que induz seletivamente a fusão entre partículas de pó para criar um objeto sólido como na figura 11.

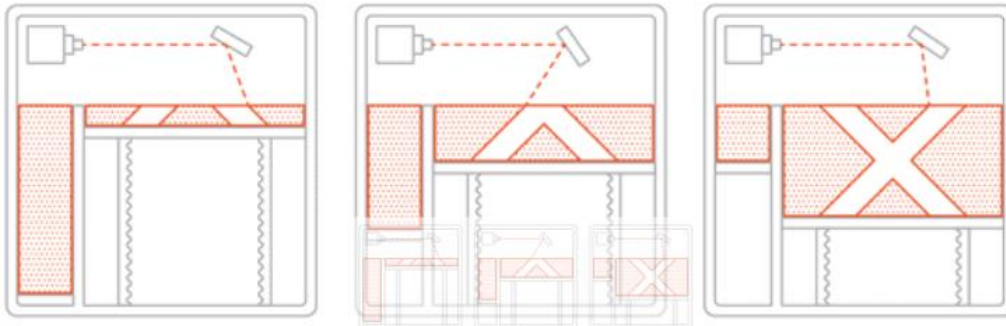


Figura 11 SLS - Sinterização seletiva por laser [5]

2.3.3 Propriedades e Materiais dos filamentos

É extremamente importante conhecer as propriedades dos materiais utilizados pelas impressoras 3D. Na tecnologia FDM, a mais comum de impressão, a matéria-prima é composta por filamentos e o material usado é o PLA e/ou o ABS. Seguidamente vai ser abordado individualmente cada um.

PLA

É um material biodegradável e originado do amido de milho ou de outras fontes renováveis. Tem uma utilização bastante diversificada devido a sua qualidade de impressão e facilidade de uso. Outra vantagem é que este pode ser utilizado em qualquer tipo de máquina, seja aberta ou fechada, com ou sem mesa aquecida.

O filamento PLA para impressora 3D tem elevada dureza e uma ótima qualidade superficial de acabamento. A resistência mecânica com carga estática é alta.

ABS

O outro material bastante utilizado no mundo da impressão 3D é o filamento de ABS. Tem alta resistência mecânica, elevada resistência térmica e facilidade para um acabamento posterior, seja com uma lixa ou com acetona pura.

Para a utilização de este tipo de filamento é necessário que a impressora 3D possua a mesa aquecida e é indicado que a impressora seja fechada para impedir o efeito *Warping* referido anteriormente.

Outros

Existem também outros filamentos para a impressão 3D, a 3D Lab fabrica e fornece além dos dois tipos já citados, HIPS (solúvel) e Wood. A indústria também tem vindo a desenvolver outras matérias interessantes como o filamento de carbono e até mesmo filamentos especiais para impressão 3D de metal.

2.3.4 Parâmetros de Impressão

É importante perceber minimamente os parâmetros de impressão 3D e saber configurar na altura de imprimir as peças para estas não ficarem defeituosas ou de fraca qualidade. Posteriormente, vão ser abordados alguns dos mais relevantes.

Velocidade de impressão

A velocidade de impressão 3D é um dos principais parâmetros. Aumentar essa velocidade de forma irresponsável, sem conhecer as limitações da máquina. Normalmente máquinas mais robustas conseguem velocidades mais elevadas sem comprometer a qualidade da impressão. Quanto maior for a velocidade, maior é a vibração da máquina o que diminui a precisão. Uma impressora 3D profissional a velocidade de impressão recomendada é até 120mm/s, isto dependendo sempre do detalhe pretendido.

Altura da camada

A altura da camada é a resolução da peça, isto é, quanto maior for a altura pior será a qualidade superficial. Normalmente a altura varia de 0,05 a 0,4 [mm]. É crucial que a primeira camada seja de boa qualidade uma vez que as camadas depositadas posteriores serão sobre a primeira camada, que funciona como estrutura. A mesa tem de estar alinhada e o fluxo de material que sai do bico tem de ser o correto, nem em excesso nem em falta.

Suporte de impressão

O suporte de impressão 3D deve ser utilizado quando uma camada deve ser criada sem que haja camadas inferiores em contacto com a mesa para a sustentação. O material de suporte deve ser mais ou menos denso consoante necessário. Esta variação pode ter impacto na qualidade da peça na área de contacto, na facilidade de remoção do suporte, assim como, o tempo de impressão.



Figura 12 Exemplo de peça com material de suporte

Sentido de impressão

O sentido de impressão é na verdade o posicionamento das peças. Mesmo não sendo uma configuração como os anteriormente referidos, tem uma elevada importância na qualidade da peça e resistência bem como a geração de material de suporte.

Geralmente, a resistência da peça impressa na direção transversal às camadas é maior do que na direção longitudinal. Outro ponto importante é a qualidade. Se a peça não for posicionada corretamente é necessário mais material de suporte e, posteriormente, nessa área pode ficar com qualidade inferior além de maior gasto de material e tempo de impressão.

CAPÍTULO 3

Capítulo 3: O Braço Robótico

3.1 Tipos de robôs

Existem muitas maneiras para definir diferentes tipos de robôs. A principal razão dessas diferenças é a visão dos investigadores e professores da área da robótica sobre o que deve ser ensinado na robótica. Normalmente, quando se fala em robôs, geralmente, associamos a robôs industriais, mesmo não sendo os únicos que existem, negligenciado, assim, os outros tipos. Ao dividir robôs por tipos, há duas maneiras possíveis de o fazer. Podem ser divididos em tipos pela sua aplicação ou então pela forma como eles se movem (ou não se movem). É recomendável até estas duas classificações juntas.

3.1.1 Robôs domésticos

Inclui diferentes dispositivos destinados a executar tarefas em residências ou até mesmo empresas, tais como aspiradores robóticos, varredores e limpadores de piscina. Além dos referidos anteriormente, alguns robôs de vigilância podem também ser considerados robôs domésticos se usados nesse ambiente.

3.1.2 Robôs médicos

Tal como o próprio nome indica, são usados na medicina e instituições médicas. São geralmente robôs de cirurgia.

3.1.3 Robôs de entretenimento

Esta é talvez a categoria mais ampla. Começa com robôs de brinquedo e termina com modelos mais realistas, como braços de robôs articulados utilizados como simuladores de movimento usados para o entretenimento.

3.1.4 Robôs industriais

Como referido anteriormente, os robôs industriais são os mais relevantes e usados num ambiente de fabrico industrial. Geralmente, são braços articulados especificamente desenvolvidos para aplicações como manuseio de materiais, pintura, soldadura e outras [8].

3.2 Estrutura de um braço robótico

Um braço robótico é normalmente classificado segundo o número de “juntas”, ou “graus de liberdade” que possuem. A base no caso de giratória é conhecida como “Waist” ou mesmo “Base”. O responsável por levantar ou baixar o braço na vertical é o ombro ou “Shoulder”. O que movimenta o braço para a frente ou para trás é o cotovelo ou “Elbow”. A pinça ou “gripper” varia de acordo com a função pretendida, neste caso, funciona como garra ou “Claw” abre e fecha para apanhar objetos [9, 10]. Na figura 13, pode-se observar dois modelos distintos de um braço robótico.

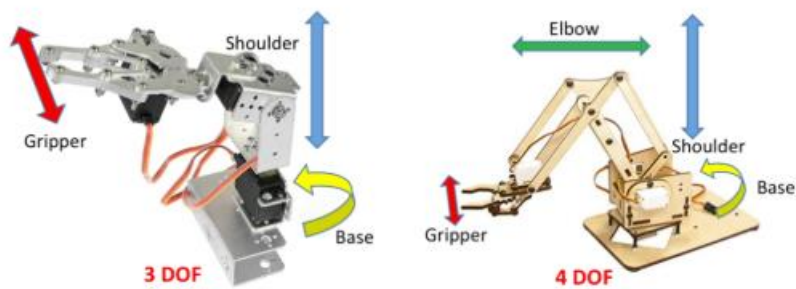


Figura 13 Braço robótico de 3 e 4 graus de liberdade [9]

3.3 Braços robóticos existentes

Existe uma grande diversidade de braços robóticos já desenvolvidos no mercado, cada um com as suas particularidades. Para melhor abordar este tema convém fazer uma breve pesquisa dos mesmos, para, de forma mais sustenta, selecionar o robot mais adequado aos objetivos requeridos. Seguidamente, serão apresentados alguns modelos que já foram desenvolvidos.

3.3.1 uArm Swift Pro

O uArm Swift trata-se de uma plataforma de braço robótico antropomórfico desenvolvido pela UFACTORY, e tem a particularidade de ter utilidades distintas, uma vez que, é possível alternar entre pega de sucção, laser, impressora 3D e etc. É utilizado

para fins educacionais, capaz de apanhar objetos de até 500g com uma repetibilidade de 0.2 [mm] e quatro graus de liberdade [13].

A figura 14 representa o uArm Swift Pro.



Figura 14 uArm Swift Pro [11]

3.3.2 DOBOT Magician

O DOBOT Magician é um braço robótico multifuncional usado na educação prática, que permite a instalação de diferentes ferramentas para diversas funções como, por exemplo, gravação a laser, escrita e desenho e impressão 3D. É de baixo custo, suporta mais de 20 linguagens de programação com o peso de 500g e tem uma repetibilidade de 0.2 mm. Como bom desempenho em design de hardware e software, o DOBOT Magician ganhou o CES 2018 Innovation Award, iF DESIGN AWARD 2018, Red Dot Design Award 2018 [12].

Na figura 15 observa-se o DOBOT Magician.



Figura 15 DOBOT Magician [12]

3.3.3 Niryo One

O Niryo One é também um braço robótico antropomórfico como os apresentados anteriormente, com a particularidade de este ter 6 eixos e ser totalmente impresso em 3D, podendo ser personalizado. A programação é feita com Arduino e Raspberry Pi e é muito usado por alunos a trabalhar com pequenas linhas de montagem. Pesa 3.2 kg e tem uma repetibilidade de 1 mm [14].

Na figura 16 observa-se o Niryo One.



Figura 16 Niryo One [12]

3.3.4 Braço robótico em MDF

Existem também alguns projetos simples em MDF de baixo custo, com o intuito de iniciar a aprendizagem de como controlar servomotores através de ARDUINO. A estrutura é feita através do corte a laser de MDF de 3mm de espessura, possui 4 servomotores e 3 graus de liberdade [15].

A figura 17 ilustra um exemplo de um braço em MDF.

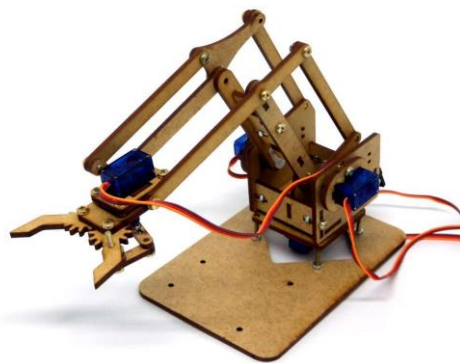


Figura 17 Braço robótico MDF [15]

3.4 Arquitetura do braço utilizado

O braço robótico utilizado foi desenvolvido anteriormente por um aluno de mestrado, uma vez que este cumpria todos os requisitos pretendidos, não faria sentido utilizar outro. Possui uma estrutura de fácil compreensão, uma vez que, tem apenas 3 graus de liberdade e a garra é fixa.

As peças foram todas impressas através da impressora 3D, marca Fusion 3, modelo F400-S. Além destes elementos, foi também utilizado um rolamento 606zz, 25 microesferas de 6mm de diâmetro, parafusos, porcas e anilhas [17].

Na figura 18 é possível observar a vista explodida dos componentes do braço robótico.

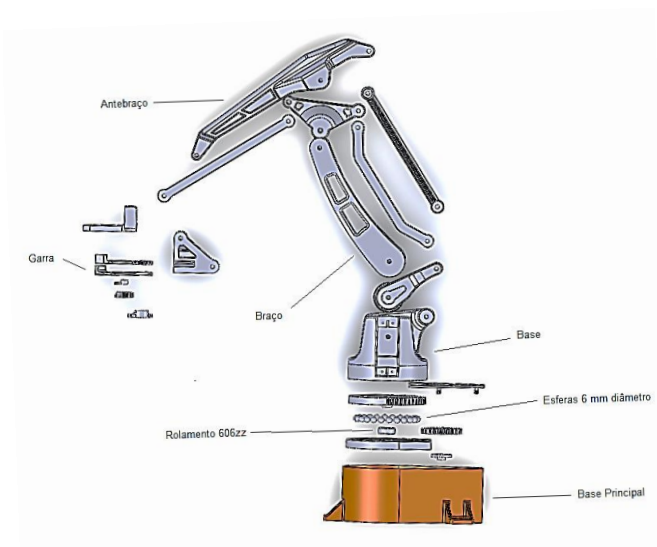


Figura 18 Componentes do Braço Robótico [17]

3.4.1 Base

A base tem como função principal possibilitar a rotação para ambos os lados e suporte da estrutura. É composta por 5 peças, 25 esferas de 6mm de diâmetro e um rolamento 606zz [17]. A figura 19 ilustra a vista explodida da base.

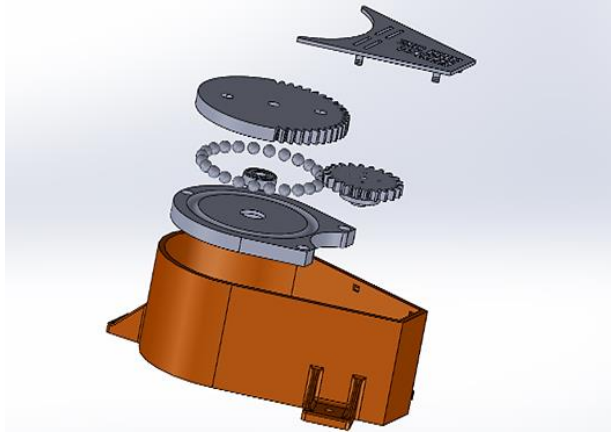


Figura 19 Vista da base [17]

3.4.1 Braço

O braço é um componente pertencente à estrutura que possibilita o movimento vertical e é composto através da junção de 4 peças.

Na figura 20 pode-se observar o braço.

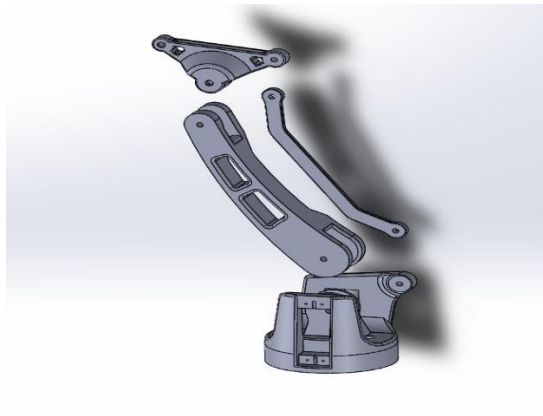


Figura 20 Vista explodida do braço [17]

3.4.1 Antebraço

O antebraço pertence ao braço robótico e é composto pela união de 3 elementos que faz com que realize a aproximação ou afastamento do objeto pretendido. A figura 21 representa a vista explodida do componente.



Figura 21 Vista explodida do antebraço [17]

3.4.1 Garra

A garra, tem como função agarrar os objetos, foi o único elemento que foi alterado uma vez que tinha alguma folga, possivelmente, no mecanismo das rodas dentadas. Foi, então, desenvolvida uma nova garra e feita a respetiva montagem para, posteriormente, verificar o seu funcionamento e o retificar, caso seja necessário. Na figura 22 ilustra a sua vista.

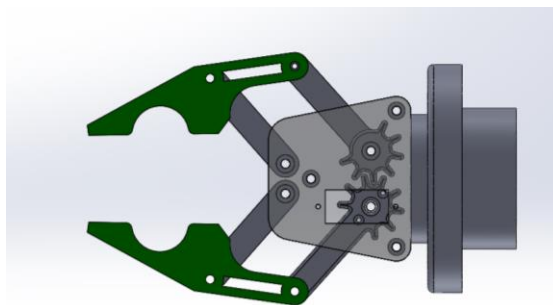


Figura 22 Mecanismo da garra

3.5 Motores e Componentes

Para que o braço robótico se possa movimentar é necessário utilizar quatro servo motores, cada um com a sua função. Um, para a base, que permite a rotação para a esquerda e para a direita, outro para o braço, outro para o antebraço e, por último, na garra que permite abrir e fechar. Uma vez montados na estrutura do braço robótico é necessário ler os valores e controlar os servomotores, para tal, utiliza-se um Arduino.

3.5.1 Servo motores

O servo motor é um dispositivo eletromecânico muito utilizado na robótica, que permite controlar a sua posição angular através de um sinal PWM (*Pulse Width Modulation*) [18]. Na figura 23 é possível visualizar um servo motor utilizado.



Figura 23 Servo motor S03NF STD [21]

Controlo de um Servo Motor

O servo motor é alimentado com tensões de 5 V e recebe um sinal de PWM (*Pulse Width Modulation*), este sinal pode ter 0 V ou 5 V. O circuito de controlo do servo motor fica a monitorizar este sinal em intervalos de 20 ms, se dentro deste intervalo ele percebe uma alteração do sinal de 0 V para 5 V durante 1 ms até 2 ms ele altera a posição do seu eixo para coincidir com o sinal que recebeu.

- Um sinal de 1 ms corresponde a uma posição do braço do servo todo a esquerda ou 0°
- Um sinal de 1,5 ms é o que chamamos de posição central do servo ou 90°
- Um sinal de 2 ms corresponde a uma posição do braço do servo todo a direita ou 180° [20]

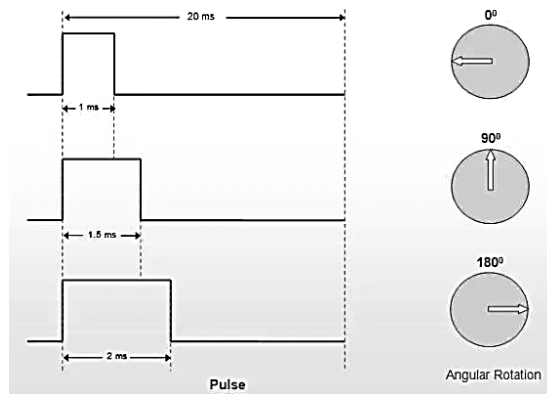


Figura 24 Sinais de controle do servo motor

3.5.2 Características dos servos motores utilizados

Como já tinha sido referido anteriormente, para o correto funcionamento do braço robótico são utilizados 3 servo motores S03NF STD e 1 Micro servo Gs-9025MG.

Na tabela 1 pode-se ver as especificações do servo motores utilizados.

Tabela 1– Especificações dos servos motores utilizados [19/21].

DFServo S03NF STD		GS-9025 MG	
Speed 6V:	0.18 sec/60°	Speed 6V:	0.10 sec/60°
Stall torque 6V:	4.0 kg·cm	Stall torque 6V:	2.5 kg·cm
Speed 4.8V:	0.23 sec/60°	Speed 4.8V:	0.12 sec/60°
Stall torque 4.8V:	3.4 kg·cm	Stall torque 4.8V:	2.3 kg·cm
Lead length:	270 mm	Lead length:	180 mm

3.5.3 Placa Arduino e Finalidade no Braço Robótico

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrónica de baixo custo e fácil acessibilidade que permite enviar e receber informações de quase todos os outros sistemas eletrónicos. A plataforma é composta pelo Hardware e Software e uma vez que é *open-source*, qualquer um pode utilizar sem ter de pagar os direitos de autor.

Na figura 25 pode-se observar uma placa de Arduino UNO.

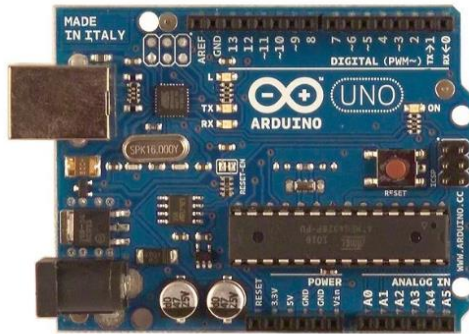


Figura 25 Placa Arduino Uno [22]

O hardware do Arduino é simples e eficiente. Seguidamente vai-se abordar a sua constituição [22].

- **Fonte de Alimentação** – Faz com que receba energia externa, filtre e converta a entrada em duas tensões reguladas e filtradas;
- **Núcleo CPU** - Microcontrolador responsável por todo o processamento;
- **Entradas e Saídas** – A CPU tem diversos “dispositivos” embutidos dentro do *chip*.
- **Pinos com Funções Especiais** – Alguns pinos possuem hardware embutido para funções especiais.
- **Firmware** – Programa que se carregamos dentro da CPU com instruções de funcionamento da placa. [24]

A placa Arduino tem como finalidade o controlo dos 4 servo motores presentes no braço através da programação desenvolvida.

CAPÍTULO 4

Capítulo 4: O Tapete de Transporte

4.1 Estrutura do tapete

Na arquitetura da estrutura que viria a suportar o tapete de transporte, optou-se por desenvolver uma estrutura simples, funcional e com uma boa relação qualidade/custo.

Toda a sua inteira criação foi desenvolvida utilizando o *software* SolidWorks® para obter as peças em formato digital e, posteriormente, todos os elementos do tapete de transporte foram fabricados numa impressora 3D. Esta, é da marca Fusion3, modelo F400-S e utiliza a tecnologia de impressão FDM, referida anteriormente. A figura 26 representa a impressora 3D utilizada.



Figura 26 Fusion3 F400-S utilizada

4.2 Construção da estrutura

Após toda a criação desenvolvida no SolidWorks® foi necessário proceder à impressão 3D das peças e efetuar uma inspeção visual das mesmas, a fim de verificar e retirar algumas imperfeições resultantes da impressão. Foi, também, verificado se as dimensões estavam corretas, uma vez que, foram utilizados 4 rolamentos 687 2RS. Posteriormente, para a montar toda a estrutura foram utilizados parafusos M3, com 16mm de comprimento.

4.2.1 Base da estrutura

Para o suporte da estrutura optou-se por criar uma base simples e funcional. É, então, formada por três colunas iguais e uma mais alta, com o objetivo de posicionar o sensor de distância, todas elas têm a forma quadrangular, como se pode observar na figura 27. As colunas estão ligadas através de duas vigas transversais e quatro longitudinais conferindo, assim, maior rigidez à base da estrutura.

A figura 27 ilustra a base montada.

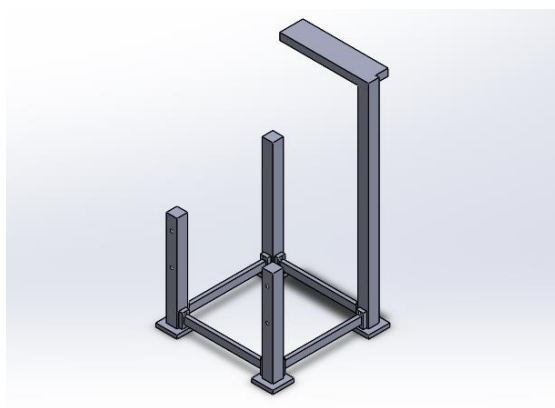


Figura 27 Base da estrutura

4.2.2 Junta peças

A fim de direcionar as peças e agilizar o processo do braço robótico, foi montado um sistema que se destina a direcionar as peças que, posteriormente, irão ser detetadas pelo sensor de distância. No fim, há um estreitamento que faz com que as peças cheguem todas na mesma posição ao braço robótico, facilitando, assim, o seu trabalho. Na figura 28 observa-se a estrutura com o sistema junta peças.



Figura 28 Sistema Junta Peças

4.3 Suportes dos veios

Inicialmente, para suportar os veios desenvolveu-se uma viga aparafusada à coluna que possui uma junção com outra viga. Duas vigas são simples e têm apenas o suporte para o rolamento onde entra o veio, as outras duas tem um sistema de ajuste. Todo o sistema foi desenvolvido de acordo com as exigências e de forma prática.

A figura 29 ilustra todo o sistema de suporte dos veios.

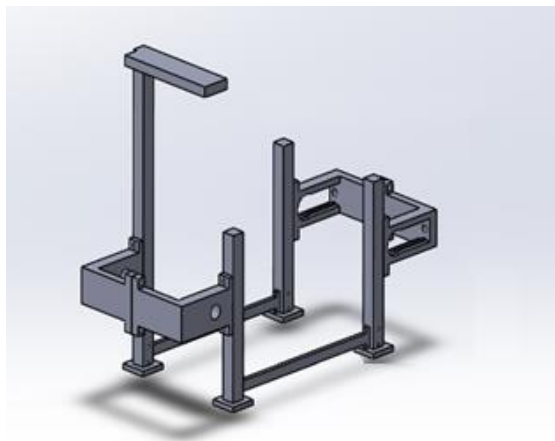


Figura 29 Suporte dos veios (Modelo inicial)

Após alguns imprevistos na impressão das peças, nomeadamente o tempo demorado e a fraca qualidade acabamento, fez-se uma avaliação dos resultados obtidos e concluiu-se que, em algumas zonas das peças utilizou-se demasiado material. Este excesso dificultava a impressão e aumentava o custo.

Foi então desenhado um modelo otimizado, mantendo-se a mesma rigidez da estrutura, diminuindo o tempo de fabrico das peças. O modelo final é apresentado na figura 30

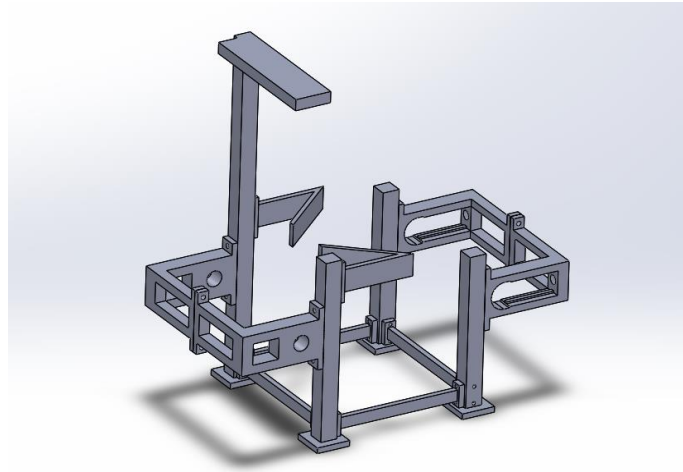


Figura 30 Suporte dos veios (Modelo Final)

4.3.1 Mecanismo de ajuste

O mecanismo de ajuste do tapete, foi desenvolvido a fim de funcionar como um esticador e permitir ajustar a dimensão do tapete, assim como, manter o mesmo sempre em tensão. Para isso, foi desenhada uma peça como um “Olhal com parafuso” com um orifício para encaixar o rolamento, e uma porca para roscar como mostra a figura 31.

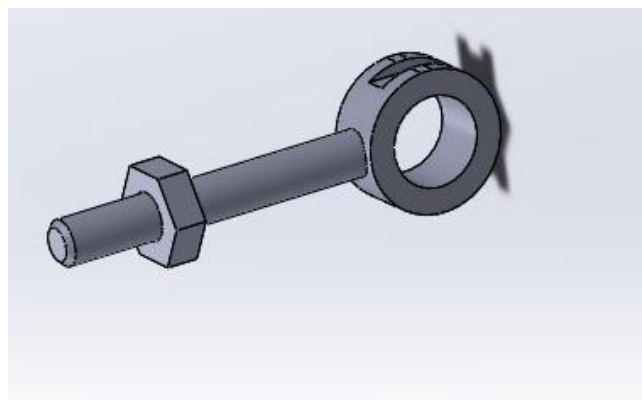


Figura 31 Mecanismo de ajuste

Após a impressão, com um caçonete fêmea M8 procedeu-se à criação da rosca do parafuso. Uma vez que a peça não estava totalmente direita, não foi possível efetuar a rosca e teve de se proceder à alteração da peça.

Optou-se, então, por desenhar uma nova peça onde fosse possível abrir rosca com um macho e, assim, usar um varão roscado M6 com 60mm de comprimento. Utilizou-se, também, uma anilha e uma porca como se pode observar na figura 32, que representa o aspecto final do mecanismo de ajuste.

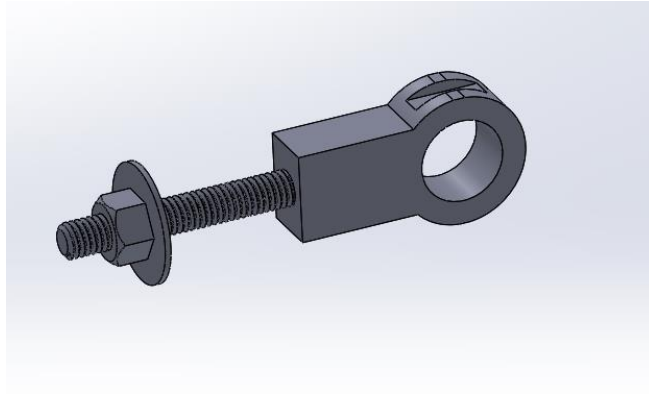


Figura 32 Mecanismo de ajuste (modelo final)

4.3.2 Rolamentos utilizados

Foram também utilizados quatro rolamentos rígidos de esferas (687 2RS) a fim de diminuir o atrito e conseguir uma velocidade mais linear. Dois rolamentos são usados no sistema de juntar peças e os outros dois no suporte dos veios.

Na figura 33 observa-se o rolamento utilizado e as respetivas dimensões [25]

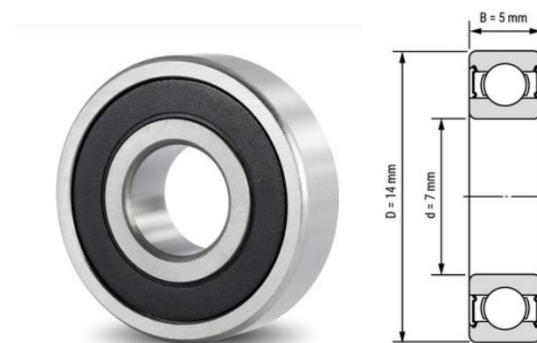


Figura 33 Rolamento 687 2RS

4.3.3 Veios e Rodas dentadas

Foram utilizados dois veios, um de tração e outro é tracionado. A diferença entre ambos é que o rolo de tração é ligeiramente mais comprido, uma vez que, estará ligado ao suporte do motor. Em ambos são inseridas duas rodas dentadas, tal como se poderá ver posteriormente.

Na figura 35 observa-se o rolo de tração e na figura 34 o rolo tracionado.

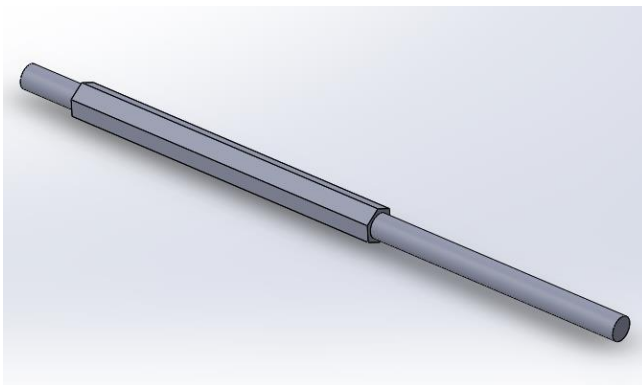


Figura 35 Rolo de Tração

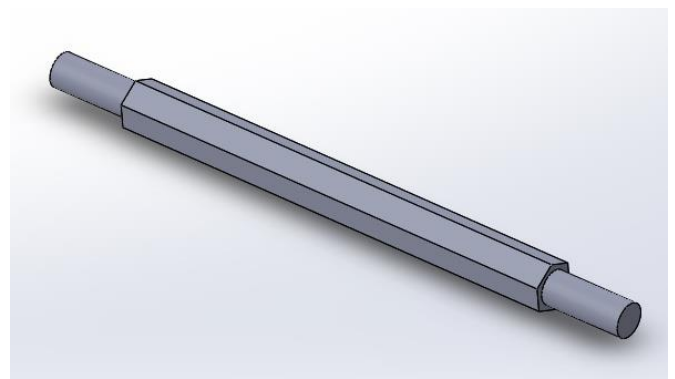


Figura 34 Rolo Tracionado

As rodas dentadas não têm dimensões normalizadas, uma vez que, tinham de funcionar de acordo com o tapete desenvolvido e com os rolos. Foi, então, projetada uma roda dentada que funcionasse em sincronia com os elementos do tapete de transporte.

Na figura 36 é possível observar a roda dentada utilizada.

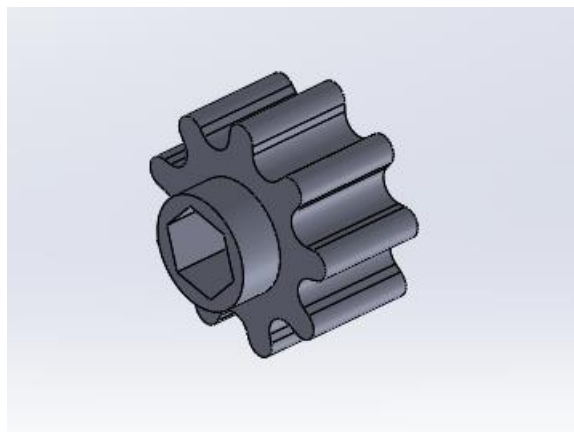


Figura 36 Roda dentada utilizada

4.4 Prototipagem do tapete

Para a construção do tapete foram efetuados vários modelos até chegar ao projeto final. Desde logo, teria de obedecer às características que foram definidas inicialmente: ser pratico, funcionar com as rodas dentadas e modular, isto é, ser contruído por módulos permitindo assim variar o tamanho caso seja necessário.

Foi um processo iterativo e bastante demorado até se chegar ao modelo final e que cumpre todos os requisitos impostos.

Posteriormente irão ser apresentados alguns modelos desenvolvidos.

4.4.1 Modelos iniciais

O primeiro modelo projetado foi inspirado numa pulseira de aço de um relógio uma vez que o princípio seria o mesmo, apenas teria de ser “oco” na parte inferior para possibilitar a engrenagem da roda dentada e conferir, assim, o movimento.

Era composto por duas peças distintas, uma peça base e um pino de fixação. Não era funcional uma que dificilmente seria possível funcionar com as rodas dentadas e, assim, ser movimentado pelo motor, como se pode observar na figura 37.

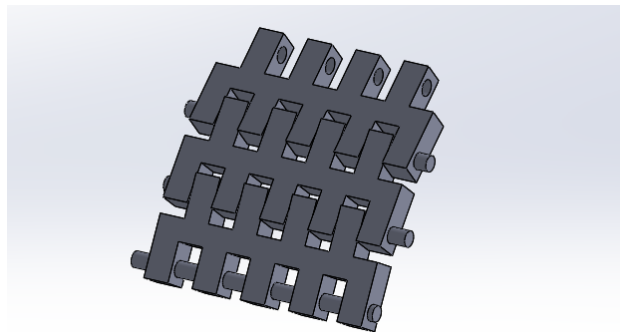


Figura 37 Primeiro modelo desenvolvido

O segundo modelo foi desenvolvido com a mesma ideia do primeiro, mas com um desenho totalmente diferente e, já a pensar na engrenagem da roda dentada, uma vez que tinha ocorrido essa limitação no protótipo anterior. Uma vez que era uma peça de dimensões bastante reduzidas e com superfícies curvas era muito difícil ter um bom acabamento na impressão 3D. Na figura 38 observa-se o segundo modelo.

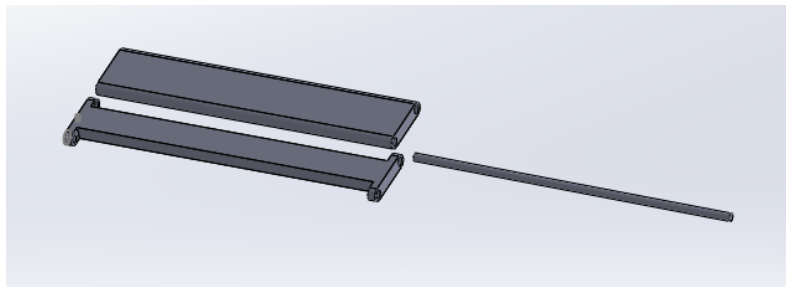


Figura 38 Segundo modelo desenvolvido

4.4.2 Modelo final

O modelo final foi então uma “junção” de ambos os modelos anteriores referidos em termos de desenho tornou-se um modelo prático e funcional. Após a impressão 3D da peça, verificou-se que o desenho e acabamento estavam bem, mas a peça era grande e para funcionar com a roda dentada projetada e fabricada, o que levaria a alterar toda a estrutura já desenvolvida anteriormente.

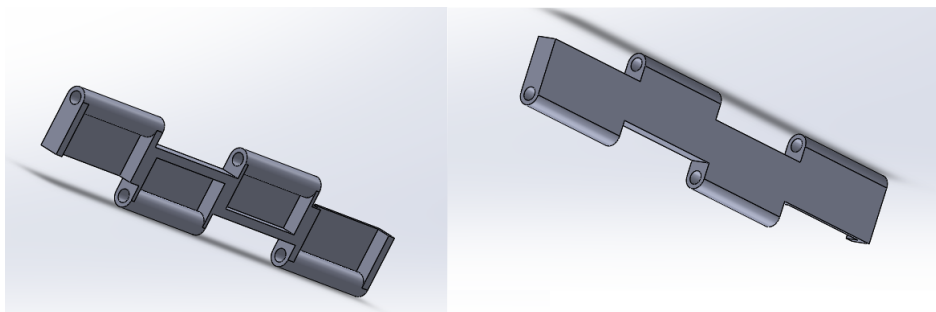


Figura 39 Modelo final desajustado

Optou-se, então, por manter a mesma geometria, apenas reduzindo a escala dos elementos do tapete, de modo a engrenar com a roda dentada. Para unir os elementos, foi

utilizado arame com 1.8 mm de diâmetro. Obteve-se então o modelo presente na figura 40.

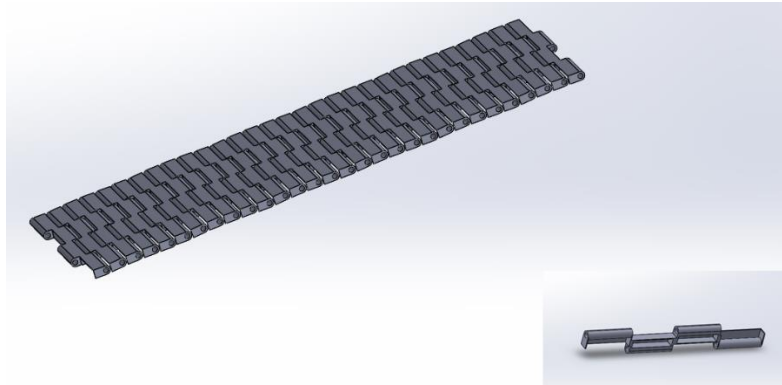


Figura 40 Modelo final ajustado

4.5 Movimento do tapete e Sensor de distância

4.5.1 Motor

Optou-se por utilizar um motor DC para transmitir o movimento ao tapete. O motor DC utilizado foi o 19:1 Metal Gearmotor 37dx52L mm com 64 ciclos por rotação Encoder.

Este motor DC de 12V possui uma caixa redutora metálica com a relação exata de 18,75:1 com um *encoder* integrado que fornece uma resolução de 64 contagens por rotação do eixo do motor, o que corresponde a 1200 contagens por rotação do eixo de saída da caixa redutora. A figura 41 ilustra o motor usado onde é possível ver a caixa redutora. Na tabela 2 e 3 observa-se as dimensões e especificações gerais [29, 30].



Figura 41 19:1 Metal Gearmotor

Tabela 2 Dimensões do motor escolhido [29]

Size:	37D x 64L mm
Weight:	210 g
Shaft diameter:	6 mm

Tabela 3 Especificações gerais [29].

Gear ratio:	19:1
Free-run speed @ 12V:	500 rpm
Free-run current @ 12V:	300 mA
Stall current @ 12V:	5000 mA
Free-run speed @ 6V:	256 rpm
Free-run current @ 6V:	250 mA
Stall current @ 6V:	2500 mA

De forma a controlar a velocidade do motor utilizou-se um *driver* motor Ponte H L298n. Este *driver* é baseado no *chip* L298N, e é utilizado para controlar cargas indutivas como relés, motores DC e motores de passo. Com este *driver* é possível controlar, independentemente, a velocidade e rotação de 2 motores DC ou 1 motor de passo [30, 31]. Na figura 42 observa-se a ponte H utilizada no controlo do motor DC.



Figura 42 Ponte H L298N

Especificações:

- Tensão de Operação: 4~35v;
- *Chip*: ST L298N;
- Possibilidade de controlar 2 motores DC ou 1 motor de passo;
- Corrente de Operação máxima: 2A por canal ou 4A max;
- Tensão: 5v / Corrente: 0~36mA;
- Limites de Temperatura: -20 a +135°C;
- Potência Máxima: 25W;
- Dimensões: 43 x 43 x 27mm;
- Peso: 30g [33].

4.5.2 Sensor

O sensor infravermelho utilizado foi o SHARP GP2Y0A21YK0F, composto por uma combinação integrada de PSD (sensor sensível de posição), emissor infravermelho e um circuito de processamento de sinal. A distância é dada por um valor de tensão analógico que facilita muito a leitura usando microcontroladores como Arduino [28].

Neste trabalho, em específico, a função do sensor é detectar a existência de um objeto para fornecer a informação ao braço robótico [27]. A figura 43 representa o sensor utilizado.



Figura 43 Sensor Sharp [28]

Posteriormente vão ser referidas as especificações e aplicações deste sensor [26].

Especificações

- Alcance de medição de distância: 10 a 80 cm;
- Dimensões: 29.5x13x13.5mm;
- Corrente de consumo: 30 mA;
- Tensão elétrica: 4.5 a 5.5V.

Aplicações

- Interruptores sem toque (equipamentos sanitários, controlo de iluminação, etc.);
- Robot de limpeza;
- Sensor de poupança de energia (multibanco, máquina de fotocópias, máquinas de venda)

CAPÍTULO 5

Capítulo 5: Controle da linha

5.1 Abordagens iniciais

Após a montagem de toda a estrutura e do tapete, a fase seguinte serviu para efetuar todas as ligações correspondentes aos servomotores, motor DC e sensor SHARP. Para tal, foi necessário utilizar uma fonte de alimentação para o motor DC, com o valor de 6 V para alimentar os servos motores e o Arduíno que estará ligado ao computador que funcionara como fonte de alimentação ao sensor SHARP uma vez que este está ligado à placa do Arduíno. Para efetuar o controle do motor DC foi utilizada uma Ponte H.

Posteriormente a toda a ligação, foram então programados o braço robótico e o tapete de transporte, uma vez que o seu funcionamento está interligado. Para a programação do braço robótico irá ser utilizada a biblioteca *braccio*, possibilitando que o braço se mova com comandos simples.

5.1.1 Teste da garra do robô

Uma vez que o robô utilizando já tinha sido contruído anteriormente por outro aluno de mestrado, efetuou-se alguns testes experimentais a fim de avaliar o comportamento dos servomotores relativamente à estrutura mecânica do robô. Para o efeito, foi implementado um código no Arduíno visando testar o comportamento do braço. Na figura 44 observa-se as ligações efetuadas para testar o braço robótico.

Posteriormente, uma vez que foi desenvolvida uma nova garra foram efetuados vários testes ao servo motor para determinar a suas restrições mecânicas. O valor limite para o servo da garra foi de 0° a 180°. No código foi também testado e alterado a abertura da garra a fim de possibilitar um melhor “aperto” nas peças vindas do tapete.

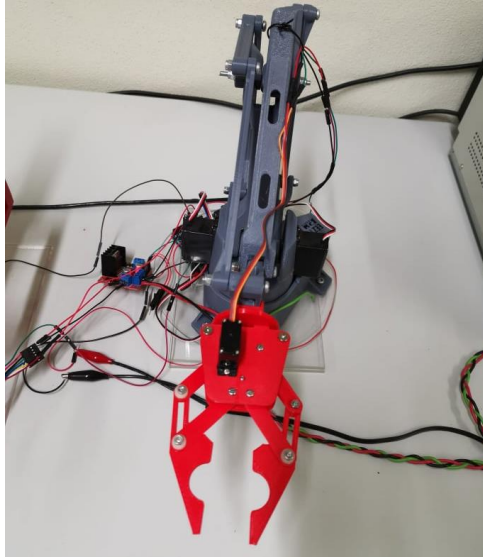


Figura 44 Ligações do braço e garra

5.1.2 Teste do Sensor

De forma a garantir o bom funcionamento do sensor, optou-se por testar previamente o sensor de forma independente. Para se realizar o teste foi necessário recorrer a um código desenvolvido para o Arduino. Através do código desenvolvido, pode-se ler os valores no Monitor Série do programa Arduino. De referir que esses valores variam consoante a distância a que se encontram os objetos.

Posteriormente o sensor foi fixado na posição de trabalho a fim de detetar as peças que são transportadas no tapete.

5.1.3 Teste Tapete

Após a montagem e os vários testes mecânicos realizados anteriormente, foi necessário testar o tapete de transporte nas condições a que iria funcionar. Para tal, optou-se por testar apenas o motor, verificando se este se movimentava sem interrupções.

De forma a realizar o teste foi utilizada uma ponte H e uma fonte de alimentação. A ponte H utilizada é baseada no integrado L298, suportando tensões entre 6 a 35 V, podendo ser controlado a velocidade do motor e a sua direção. O motor utilizado é de 12 V, contudo, a velocidade adequada para a rotação do motor regista-se a uma tensão

inferior. Sendo esta controlada através da modulação de largura de impulso ou reduzindo a tensão para um mínimo de 6 V. O controlo do motor foi realizado em malha aberta.

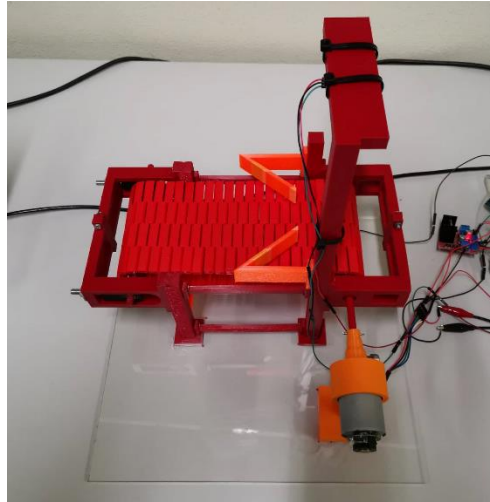


Figura 45 Teste do tapete

5.2 Controlo implementado

Após todos os componentes serem testados individualmente e comprovado o seu correto funcionamento, procedeu-se, então, à programação final. Para tal, é necessário efetuar as ligações de todos os componentes para todo o protótipo funcione em harmonia.

Na figura 46 é possível observar o projeto final, braço robótico e tapete de transporte com as ligações efetuadas.

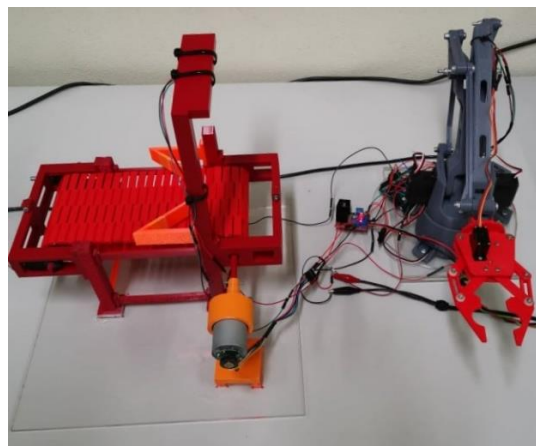


Figura 46 Projeto Final e respetivas ligações

Com o controlo final implementado, tem-se como objetivo colocar uma peça no momento em que o tapete está em movimento, se esta não estiver muito centrada será encaminhada pelas guias de junta peças. No momento que o sensor SHARP detetar a peça o tapete irá parar de imediato e o braço robótico inicia o movimento na direção da peça. Assim que o braço estiver perto da peça, este irá fechar a garra a fim de agarrar a peça e movimentá-la para o lado esquerdo do tapete, uma posição predefinida. Assim que chegar na posição desejada, a garra irá abrir para que a peça caia, depois de a largar, o braço fica em posição de repouso. Uma vez que o processo está completo, o motor irá ser novamente acionado e será repetida esta sequência.

Na figura 47 pode ser observado um fluxograma que ilustra o funcionamento deste protótipo didático.

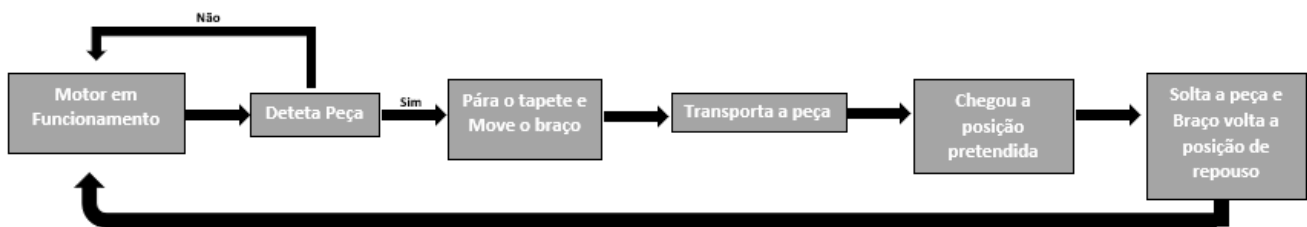


Figura 47 Fluxograma do funcionamento da programação

CAPÍTULO 6

Capítulo 6: Conclusões e Trabalho futuro

6.1 Conclusões

Os principais objetivos de este trabalho eram projetar e contruir uma nova estrutura, bem como, o respetivo tapete de transporte e contruir uma nova garra para o braço robótico já existente. O objetivo foi alcançado uma vez que o modelo didático está funcional.

Através do software CAD/CAE *Solidworks*® foi possível efetuar todos os modelos tridimensionais usados e efetuar simulações do movimento dos componentes mecânicas. Com esta ferramenta foi possível avaliar os pontos mais críticos e otimizar a geometrias dos elementos estruturais de forma a reduzir o peso e mantendo a resistência e funcionalidade.

A impressão 3D demonstrou ser a escolha adequada para este projeto didático, uma vez que o material confere uma boa resistência, baixo peso e apresentou uma solução de baixo custo para o fabrico das peças pretendidas. Tendo-se, por isso, verificado uma boa relação qualidade/preço. Contudo, a impressão 3D tem, também, algumas limitações, nomeadamente, quando as peças a produzir têm dimensões ou orifícios muito pequenos, devido à baixa resolução do processo, verificaram-se defeitos que inviabilizaram a utilização dessas peças, obrigando, constantes reparações e/ou a optar por soluções alternativas.

Foi possível verificar que a garra desenvolvida se mostrou funcional, mas tem alguma dificuldade em agarrar peças distintas das utilizadas no projeto.

O Arduíno foi uma escolha adequada uma vez que utiliza uma programação acessível e trata-se de um componente de baixo custo. Através deste, foi possível controlar os servos motores e obter a leitura do sensor Sharp utilizado, recorrendo à biblioteca utilizada no controlo do braço robótico designada por *Braccio*. A utilização de servo motores em trabalhos que envolvam alguma precisão demonstrou ser uma opção viável uma vez que conferem uma movimentação do braço robótico excelente.

A escolha do motor DC para transmitir movimento ao tapete de transporte foi adequada, uma vez que ao utilizar rolamentos de esferas o coeficiente de atrito diminuiu bastante o que proporcionou que a velocidade fosse regular e o tapete se movimentasse corretamente.

6.2 Trabalho Futuros

Como melhoramentos futuros sugere-se a utilização de outro braço robótico com uma melhor precisão e repetibilidade que possua uma garra mais robusta uma vez que as impressas em 3D com estas dimensões possuem sempre alguma folga. Relativamente ao tapete de transporte, uma vez que é modular poderia ser aumentado e contruído duas peças iguais que funcionassem como umas calhas para o tapete não oscilar no centro devido ao seu tamanho. Seria interessante também a programação que possibilitasse a divisão de peças consoante o tamanho, se fossem da dimensão X o braço robótico colocava do lado esquerdo se fosse do tamanho Y do lado direito.

Referências bibliográficas

- [1]”<https://pplware.sapo.pt/gadgets/hardware/5-dicas-comprar-impressora-3d/>”
(consultado dia 11/6/19)
- [2] Melba Kurman: Fabricated - The New World of 3D Printing by Hod Lipso, 2013
- [3]”<https://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2014/04/descubra-como-surgiu-impressora-3d.html>” (consultado dia 20/6/19)
- [4] “<https://www.brandsoftheworld.com/logo/solidworks-1?original=1>” (consultado dia 20/6/19)
- [5]”<https://3dlab.com.br/>” (consultado dia 22/6/19)
- [6] “<https://guides.auraria.edu/c.php?g=567257&p=3907433>” (consultado dia 20/6/19)
- [7]”<http://apm-designs.com/combating-the-most-common-3d-printing-problems-a-troubleshooting-guide/>” (consultado dia 1/7/19)
- [8]”<https://www.tecnologiae.com.br/tipos-robos-humanos-industriais-insetos-etc/>”
(consultado dia 6/7/19)
- [9]”<https://www.arduinoportugal.pt/braco-robotico-desenvolvimento-do-projeto/>”
(consultado dia 8/7/19)
- [10] Siciliano, B.; Sciavicco, L.; Villani, L.; Oriolo, G. Robotics: Modelling, Planning and Control. 1st edition. Springer Science & Business Media, 2009.
- [11] “<https://store.ufactory.cc/products/uarm>” (consultado dia 13/7/19)
- [12]”<https://www.dobot.cc/dobot-magician/product-overview.html>” (consultado dia 20/7/19)
- [13] UFACTORY, uArm STEAM Education Brochure,2017
- [14] “<https://niryo.com/niryo-one/>” (consultado dia 21/7/19)

- [15] “<https://blog.eletrogate.com/kit-braco-robotico-mdf-com-arduino/>” (consultado dia 2/8/19)
- [16] “<https://www.arduinoportugal.pt/o-que-e-arduino/>” (consultado dia 15/8/19)
- [17] Oliveira, Carlos - Prototipagem e controlo de plataforma robotizada educativa, 2018.
- [18] Feis Unesp. Servo Motor, 2013.
- [19] “<https://www.pololu.com/product/519/specs>” (consultado dia 26/8/19)
- [20] Foresti, Henrique Braga – Desenvolvimento de um robô bípede autônomo. Pós-graduação. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2006.
- [21] “<http://www.goteckrc.com/ProductShow.asp?ID=13>” (consultado dia 29/8/19)
- [22] “<https://www.filipeflop.com/produto/placa-uno-r3-cabo-usb-para-arduino/>”
- [23] “<https://portal.vidadesilicio.com.br/o-que-e-servomotor/>” (consultado dia 10/9/19)
- [24] Leo, Louis – Working Principle of Arduino and Using it as a Toll for Study and Researche(2016).
- [25]”<https://www.kugellager-express.de/miniature-deep-groove-ball-bearing-687-2rs-7x14x5-mm>” (consultado dia 12/9/19)
- [26]”<https://www.robo-core.net/loja/sensores/sensor-de-distancia-infra-vermelho-sharp-10-80cm>” (consultado dia 15/9/19)
- [27] P. Malheiros, J. Gonçalves, P. Costa, Towards a more accurate model for an infrared distance sensor. International Symposium on Computational Intelligence for Engineering Systems ISEP-Porto Portugal, 18-19 November 2009.
- [28]”http://www.sharpworld.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf” (consultado dia 15/9/19)
- [29]”<https://www.robotpishop.com/index.php/robotics/robot-sensors/sharp-gp2y0a21yk0f-10-80cm-infrared-distance-sensor.html>” (consultado dia 22/9/19)

[30] Kennedy, Catherine Victoria – The Battery Charging Hand-Powered Washing Machine, 2015. Senior Desing Project.

[31] “<https://www.pololu.com/product/1442/specs>” (consultado dia 22/9/19)

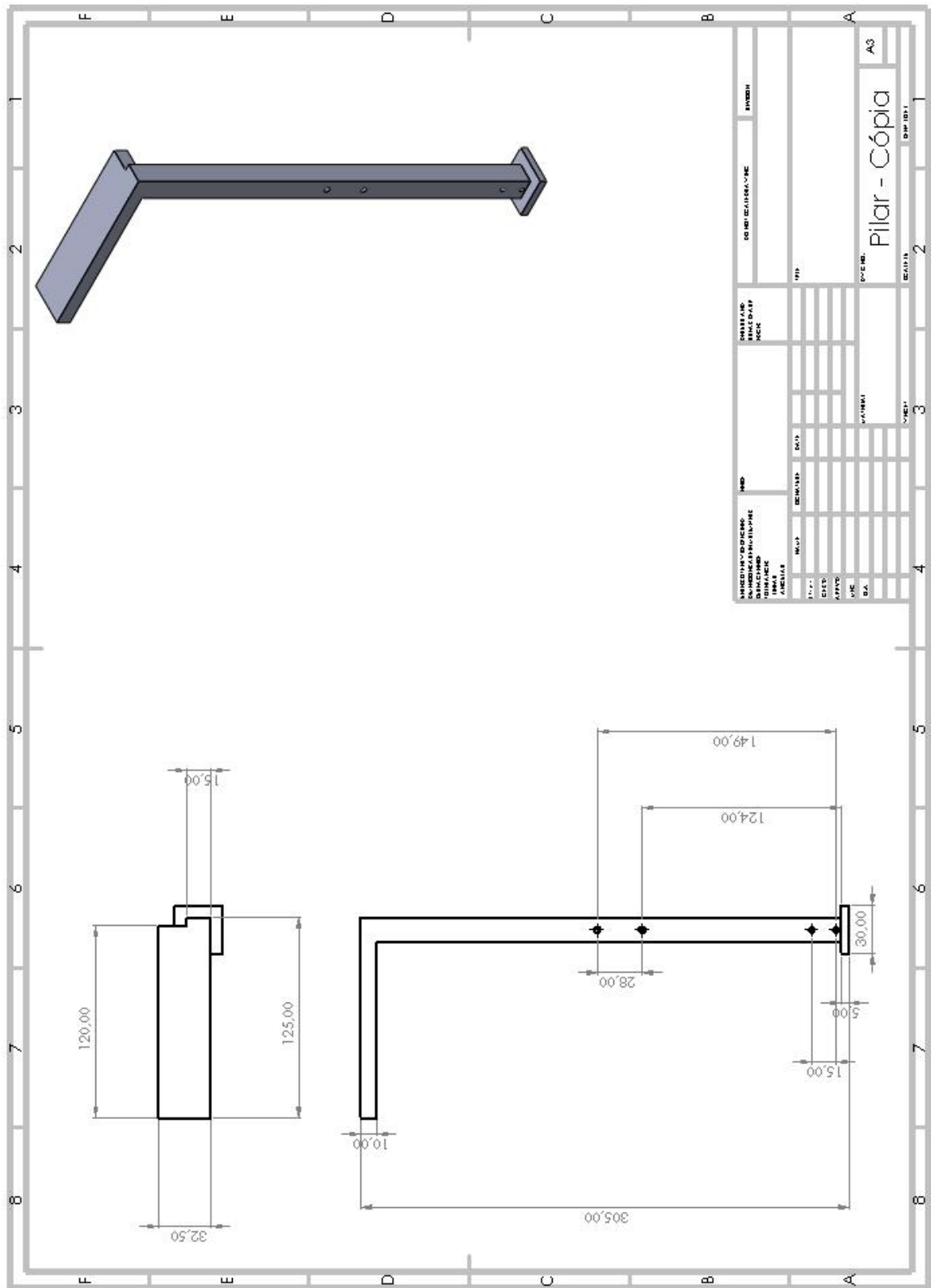
[32] “<https://www.filipeflop.com/blog/motor-dc-arduino-ponte-h-l298n/>” (consultado dia 24/9/19)

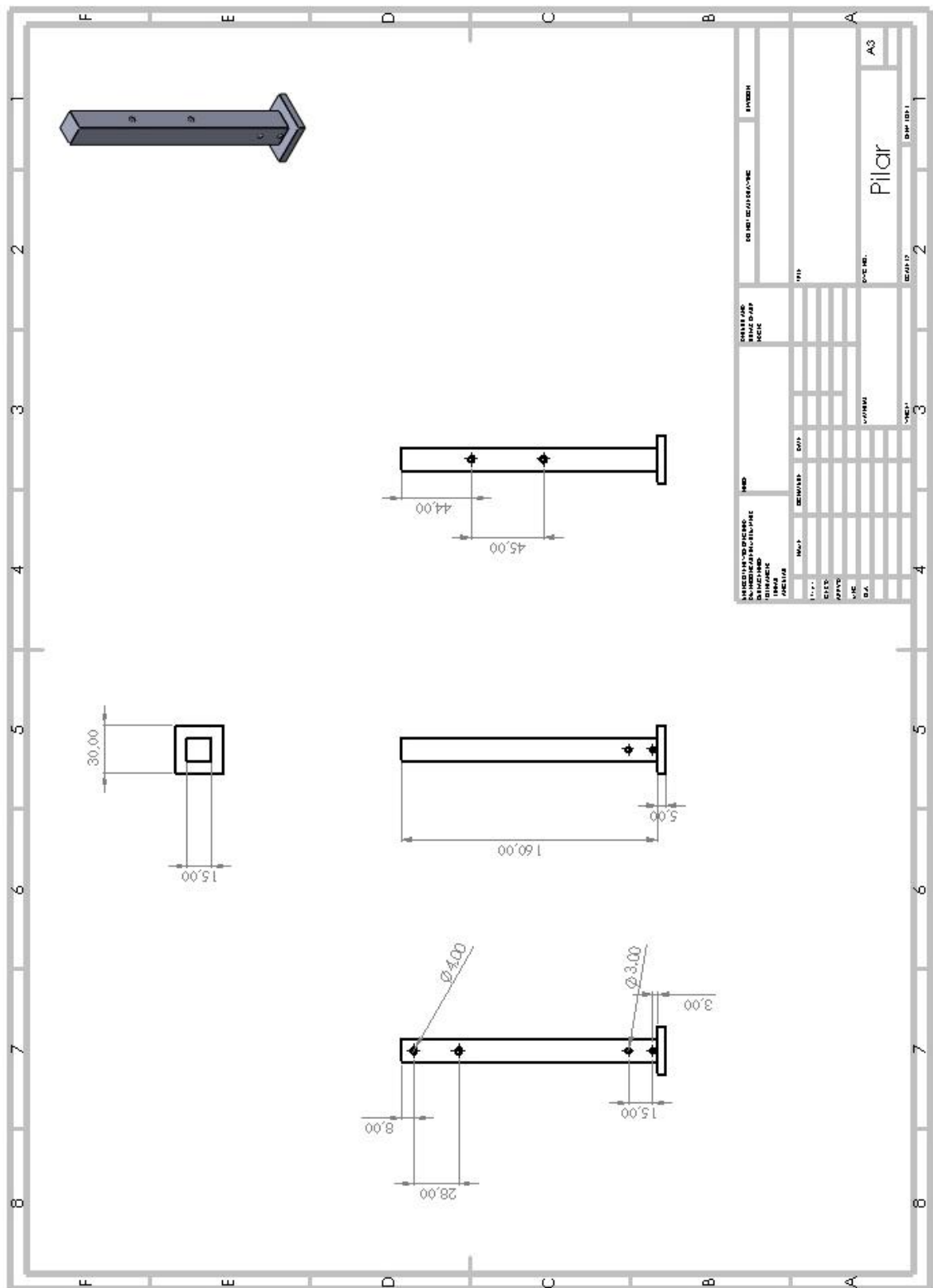
[33]”<https://www.arduinoportugal.pt/modulo-ponte-h-l298n-primeiro-passo-montar-robo-arduino/>” (consultado dia 24/9/19)

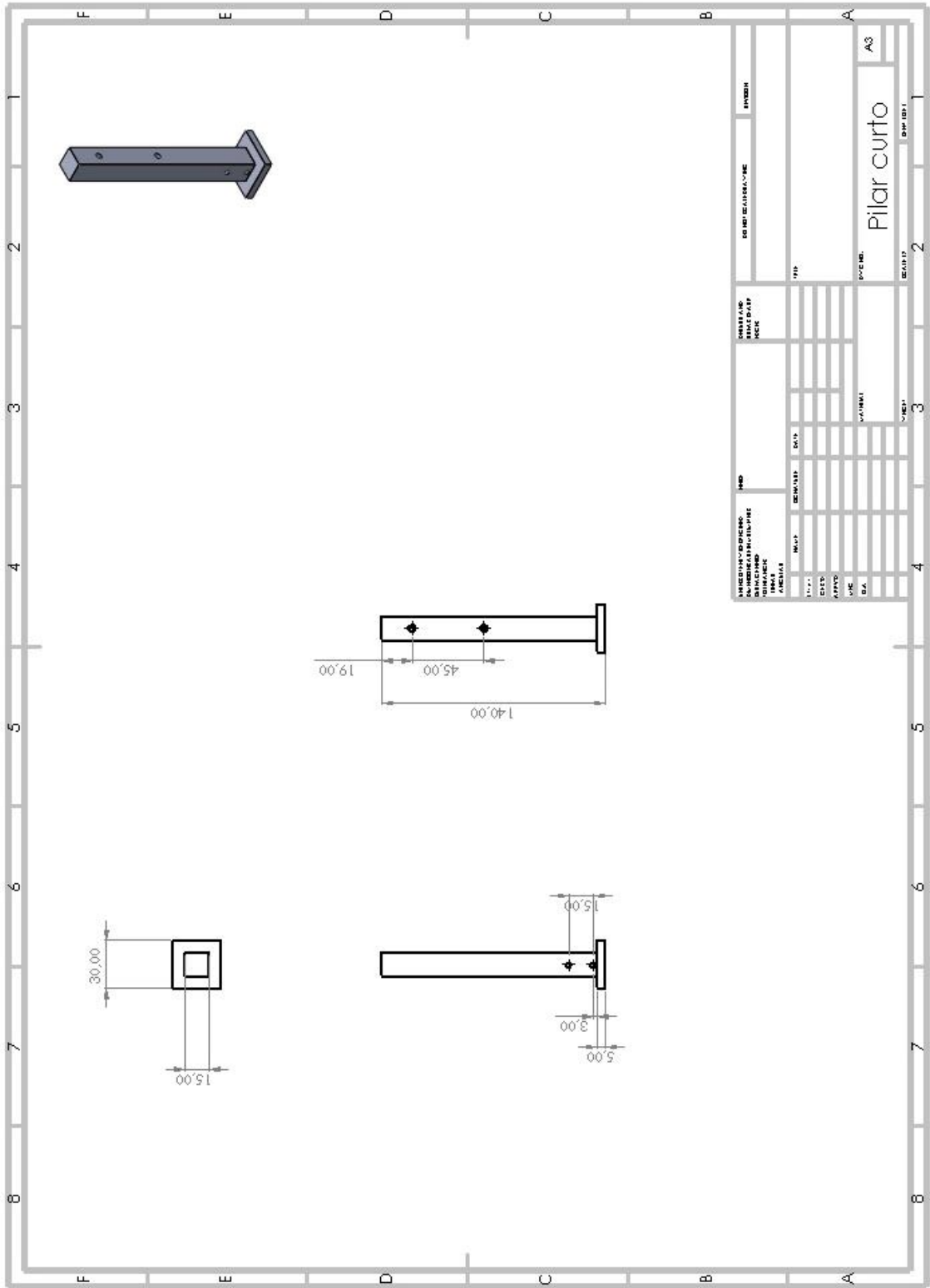
ANEXOS

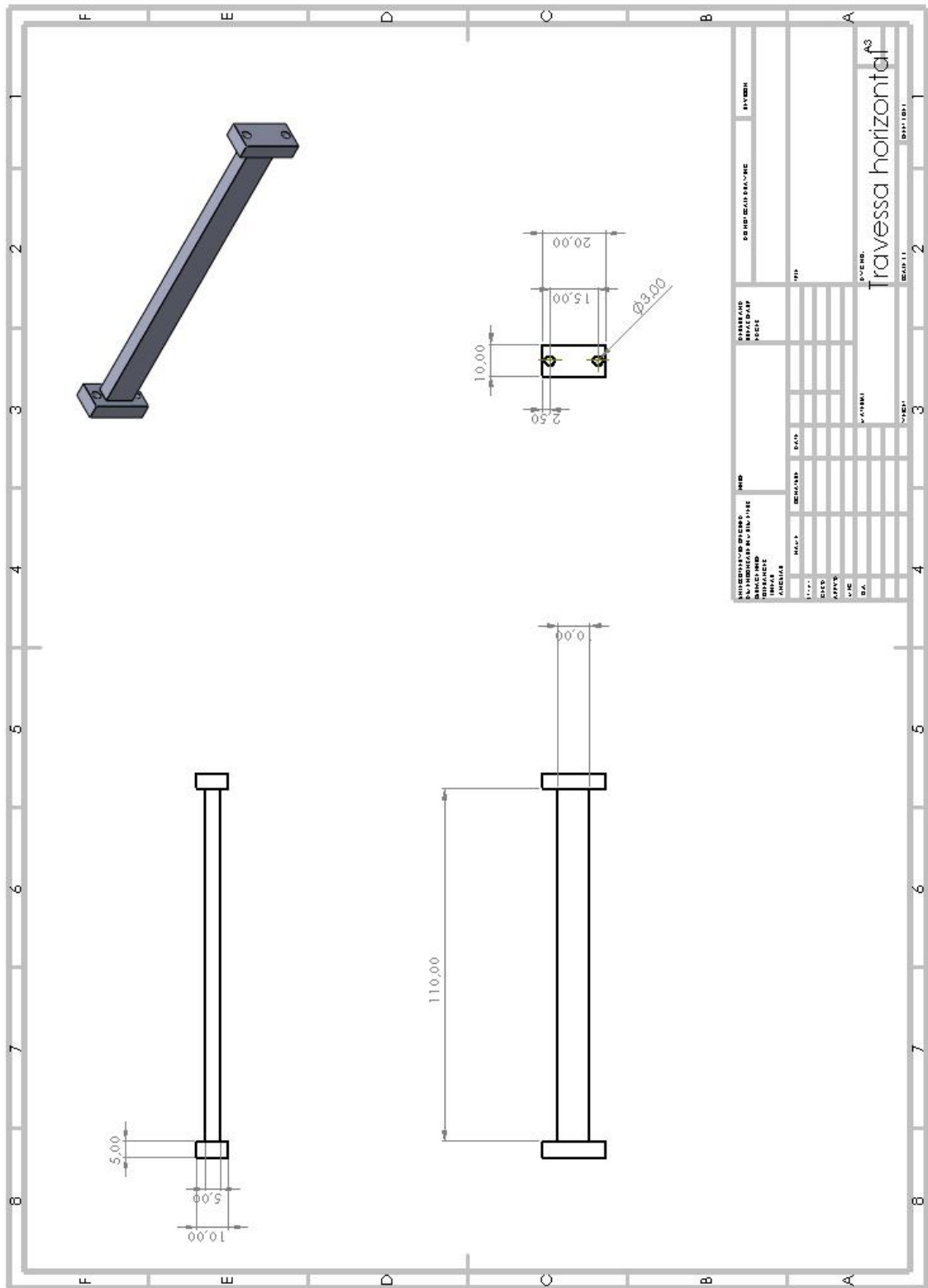
Anexos

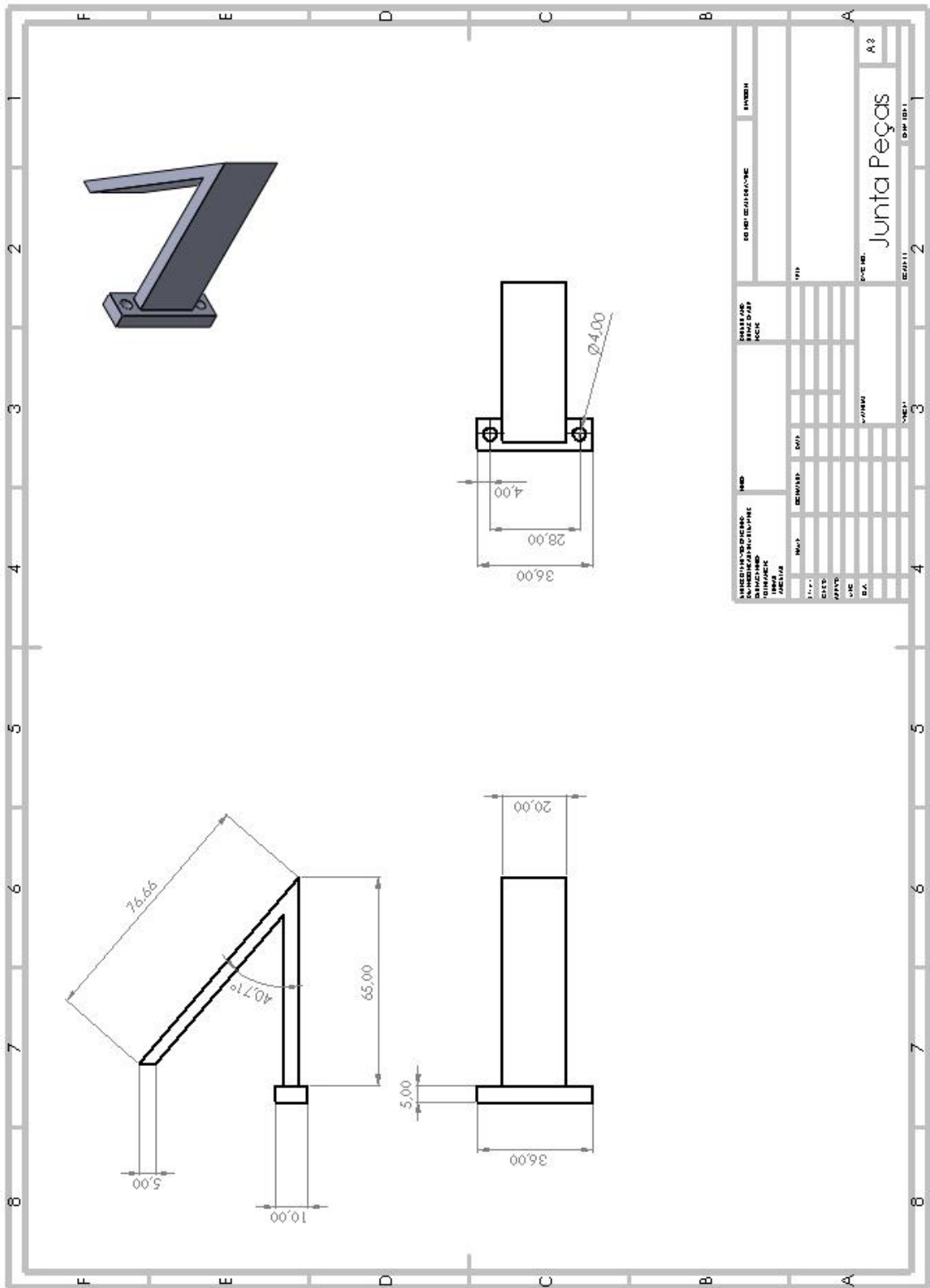
Anexo I: Desenhos cotados

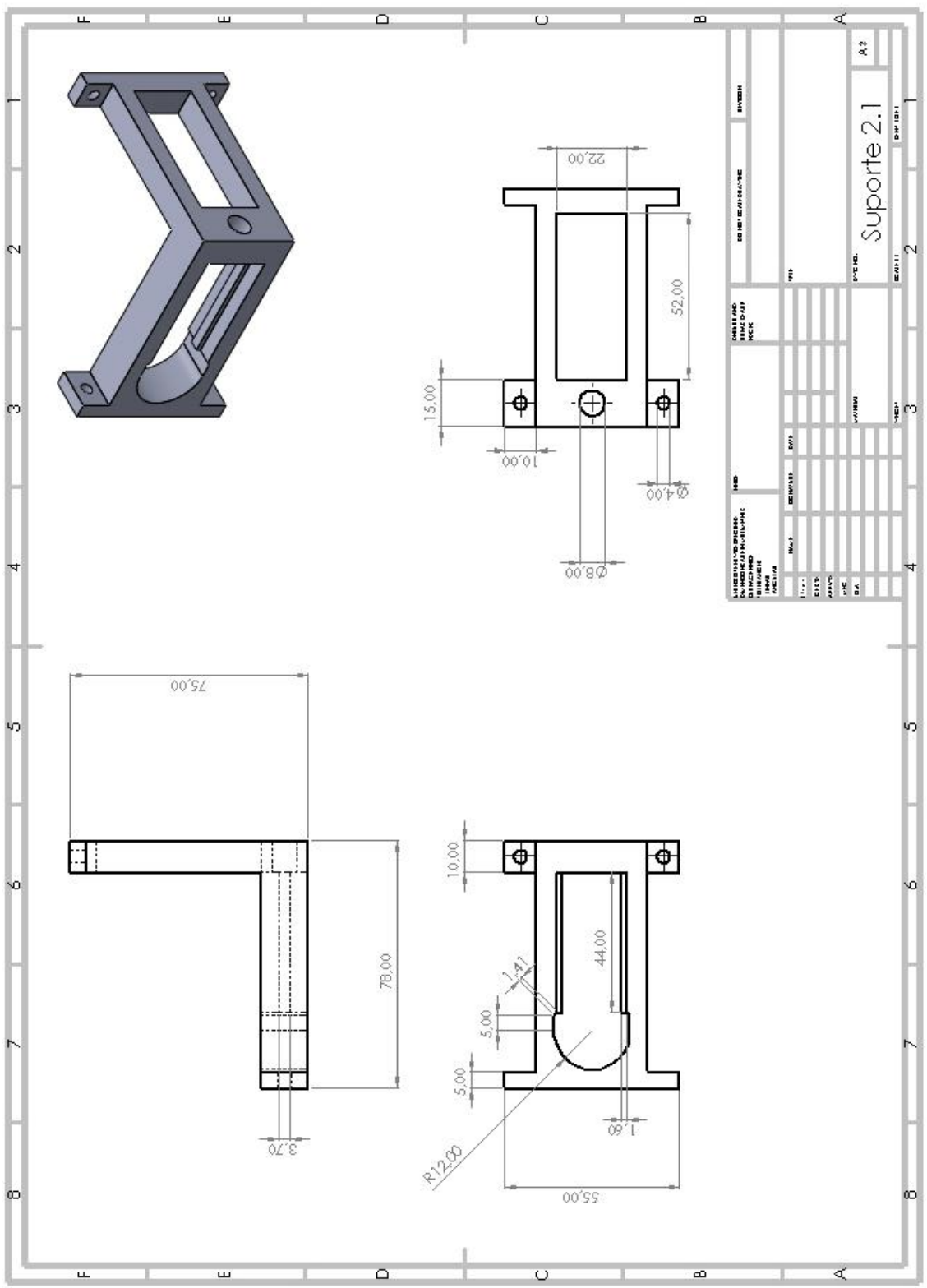


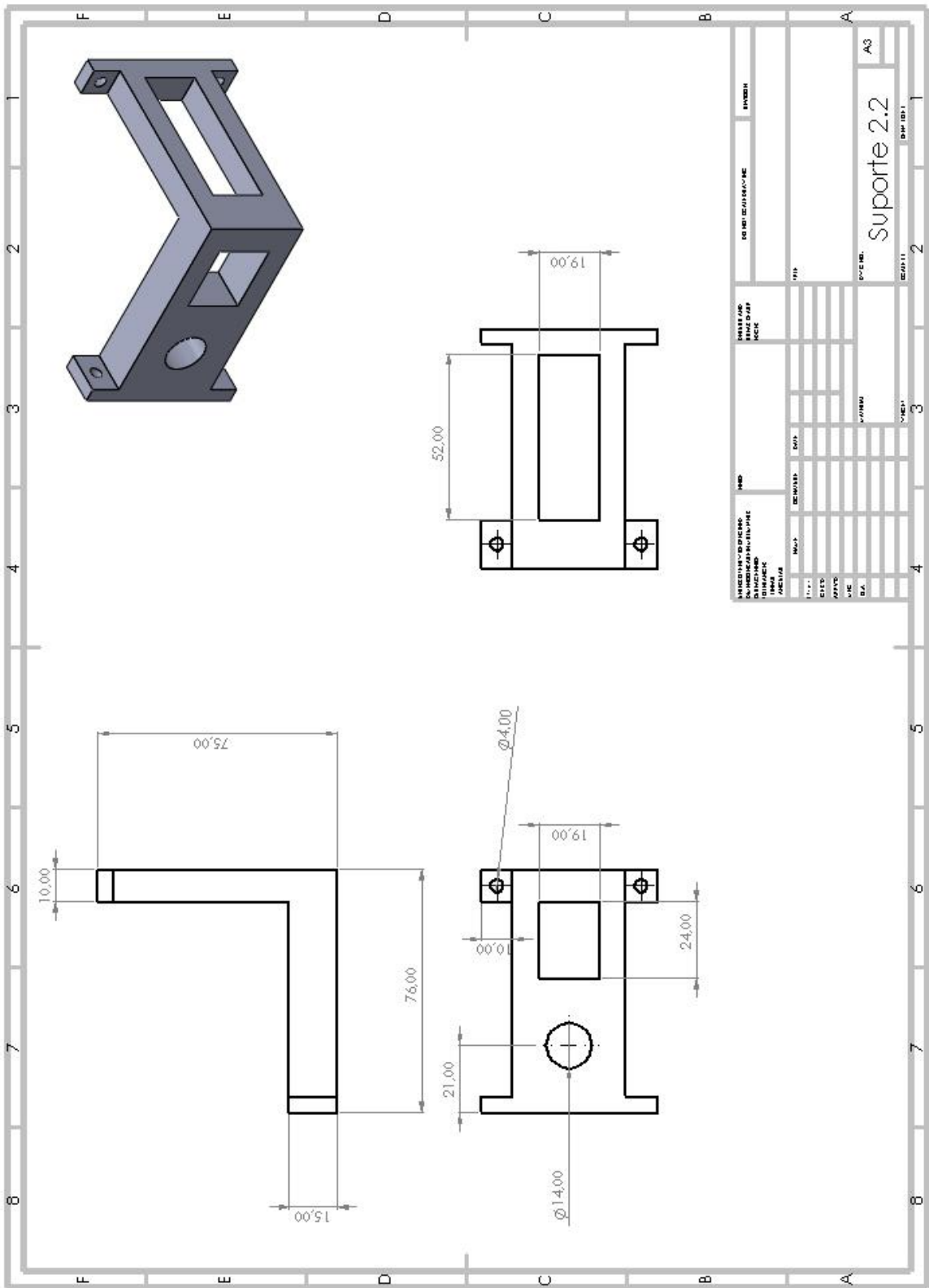


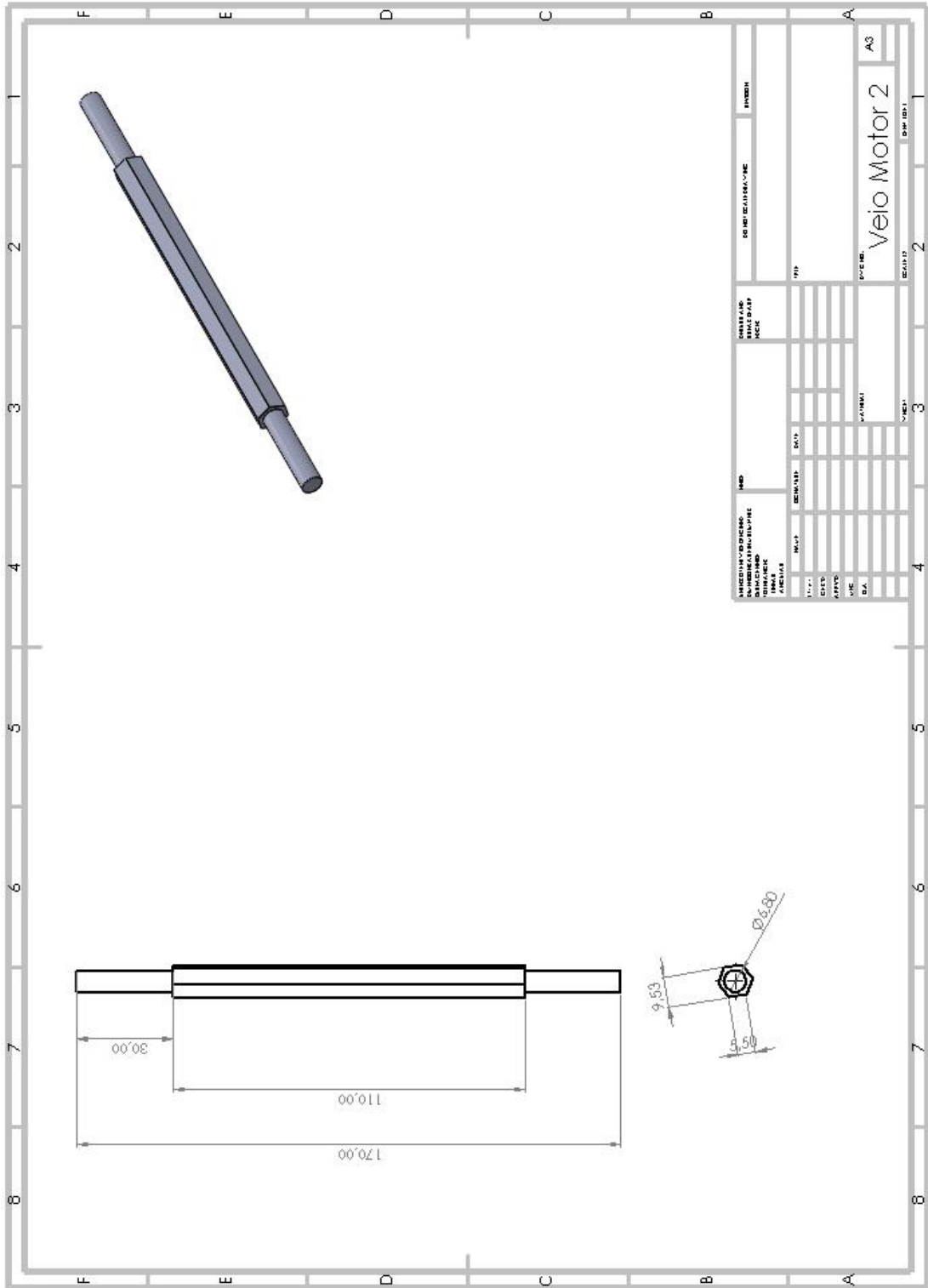


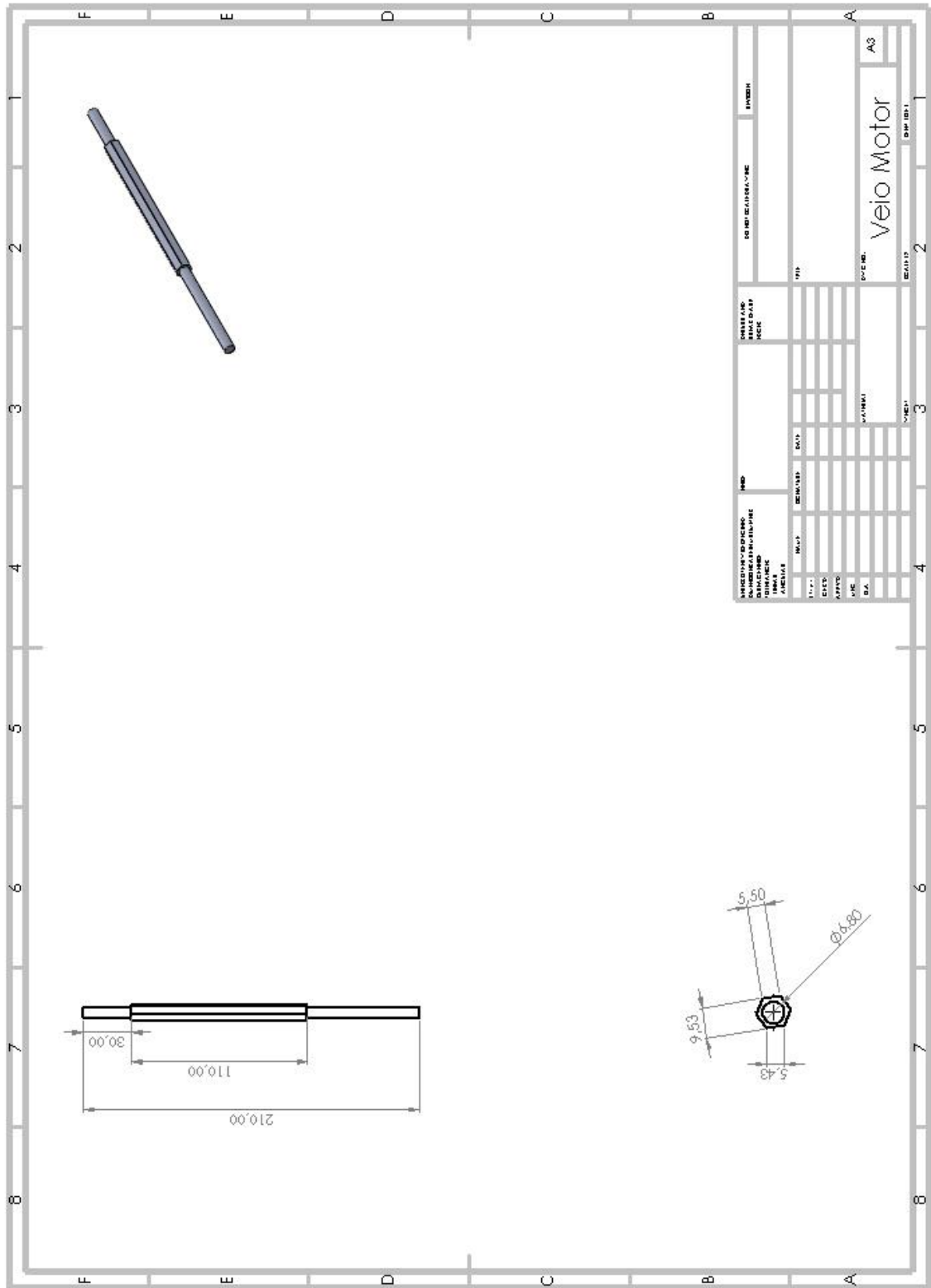


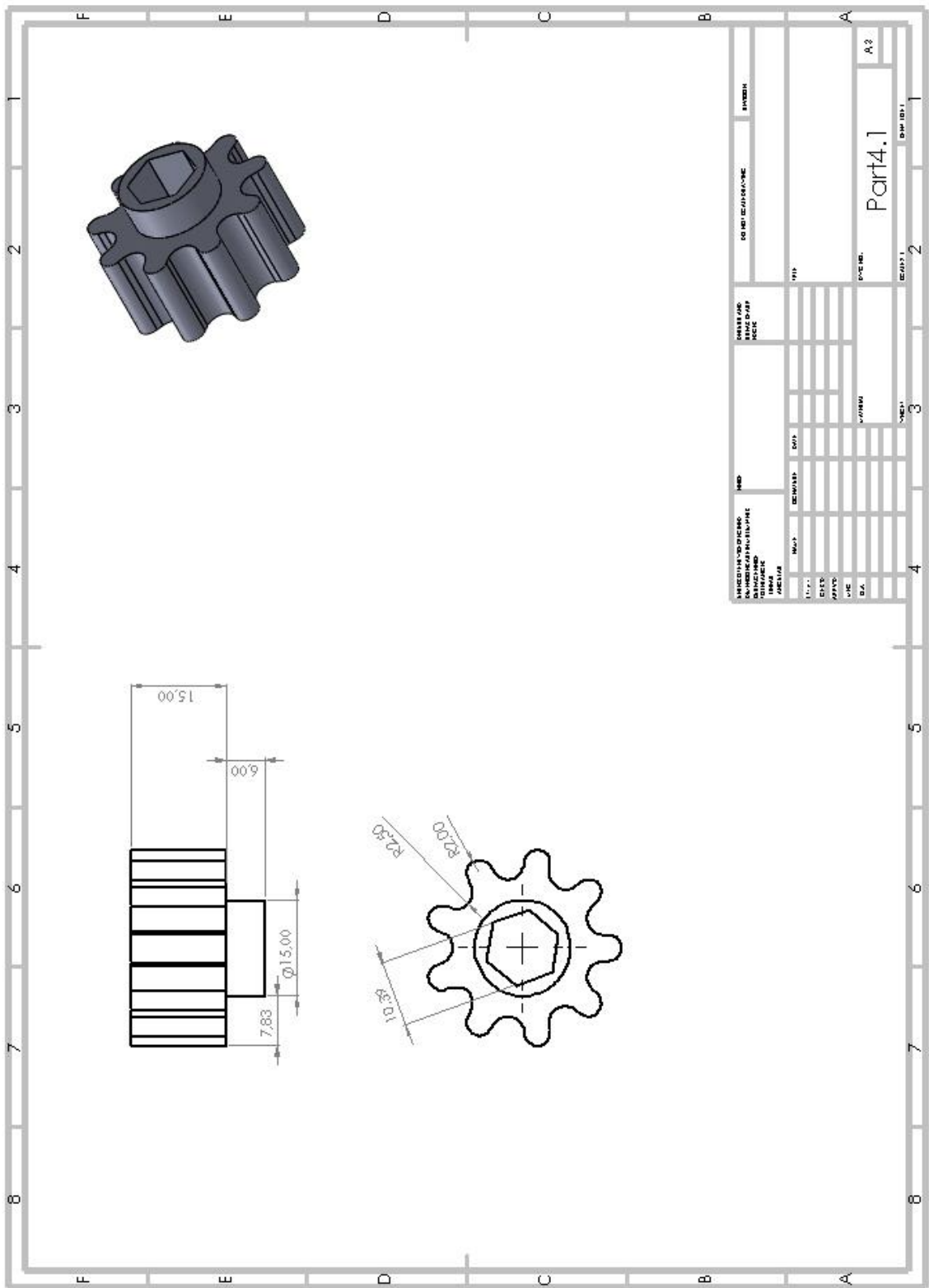


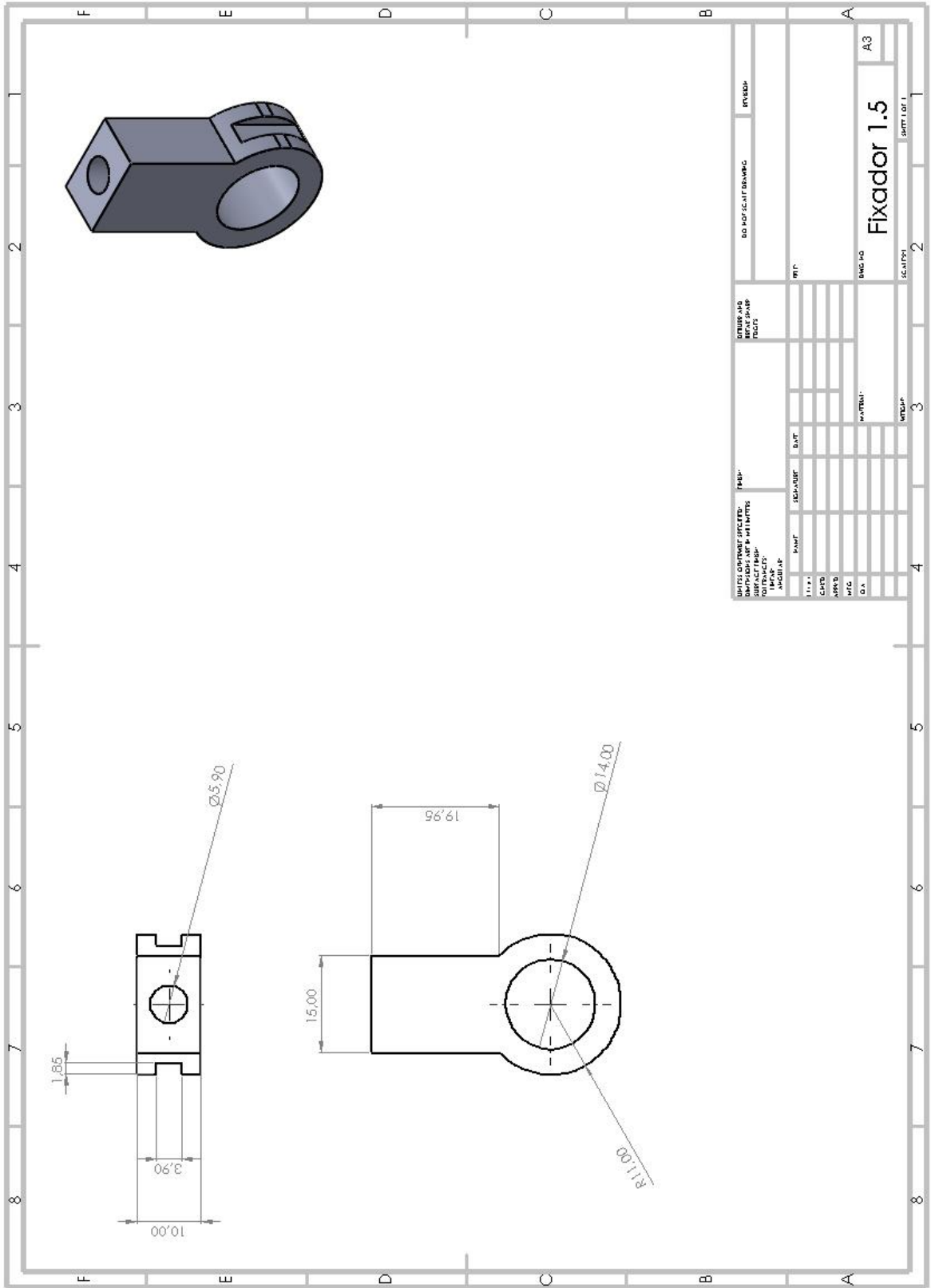


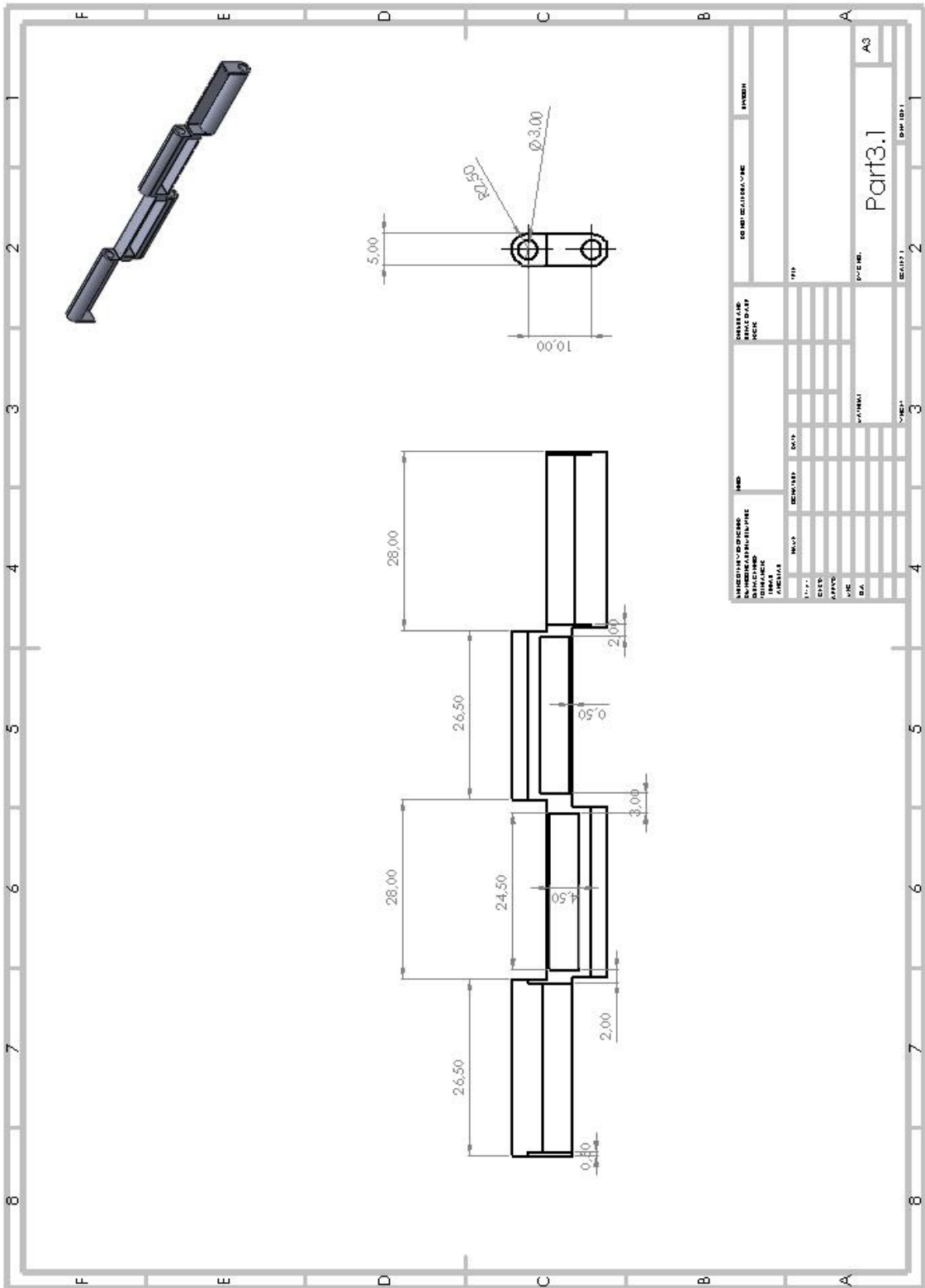












Anexo II: Código Utilizado

```
/*
```

```
simpleMovements.ino
```

This sketch simpleMovements shows how they move each servo motor of Braccio

This example is in the public domain.

```
*/
```

```
#include <Braccio.h>
```

```
#include <Servo.h>
```

```
Servo base;
```

```
Servo shoulder;
```

```
Servo elbow;
```

```
Servo wrist_rot;
```

```
Servo wrist_ver;
```

```
Servo gripper;
```

```
Servo myservo; // create servo object to control a servo
```

```
const int analogInPin = A0; // Analog input pin that the potentiometer is attached to
```

```
int sensorValue = 0; // value read from the pot
```

```
void setup() {
```

```
    //Initialization functions and set up the initial position for Braccio
```

```
    //All the servo motors will be positioned in the "safety" position:
```

```
    //Base (M1):90 degrees
```

```
    //Shoulder (M2): 45 degrees
```

```
    //Elbow (M3): 180 degrees
```

```
    //Wrist vertical (M4): 180 degrees
```

```
    //Wrist rotation (M5): 90 degrees
```

```

//gripper (M6): 10 degrees

// myservo.attach(5); // attaches the servo on pin 9 to the servo object

pinMode(2, OUTPUT);

pinMode(4, OUTPUT);

Serial.begin(115200);

Braccio.begin();

Braccio.ServoMovement(30,      150, 120, 10, 0, 180, 15);

digitalWrite(2, HIGH);

digitalWrite(4, LOW);

}

void loop() {

  /*

  Step Delay: a milliseconds delay between the movement of each servo. Allowed values
  from 10 to 30 msec.

  M1=base degrees. Allowed values from 0 to 180 degrees

  M2=shoulder degrees. Allowed values from 15 to 165 degrees

  M3=elbow degrees. Allowed values from 0 to 180 degrees

  M4=wrst vertical degrees. Allowed values from 0 to 180 degrees

  M5=wrst rotation degrees. Allowed values from 0 to 180 degrees

  M6=gripper degrees. Allowed values from 10 to 73 degrees. 10: the toungue is open,
  73: the gripper is closed.

  */

  sensorValue = analogRead(analogInPin);

  Serial.println(sensorValue);

  if (sensorValue > 500)

```

```

{
    digitalWrite(2, LOW);

    digitalWrite(4, LOW);

    //(step delay, M1, M2, M3, M4, M5, M6);

    Braccio.ServoMovement(20,      25, 110, 15, 0, 0, 150);

    //Wait 1 second

    delay(1000);

    Braccio.ServoMovement(20,      25, 70, 33, 0, 0, 150);

    //Wait 1 second

    delay(1000);

    Braccio.ServoMovement(20,      25, 70, 33, 0, 0, 0);

    //Wait 1 second

    delay(3000);

    Braccio.ServoMovement(20,      25, 110, 15, 0, 0, 0);

    //Wait 1 second

    delay(1000);

    Braccio.ServoMovement(20,      170, 110, 15, 0, 0, 0);

    //Wait 1 second

    delay(1000);

    Braccio.ServoMovement(20,      170, 110, 15, 0, 0, 150);

    //Wait 1 second

    delay(2000);

    digitalWrite(2, HIGH);

```

```
digitalWrite(4, LOW);
```

```
}
```

```
}
```