



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

CLEITON LUIZ DE SOUZA

EZEQUIEL FIDELIS

PERSEU - PROTÓTIPO DE UMA CABEÇA REMOTA
PAN & TILT PARA BROADCAST

Tubarão

Novembro de 2018

CLEITON LUIZ DE SOUZA
EZEQUIEL FIDELIS

PERSEU - PROTÓTIPO DE UMA CABEÇA REMOTA
PAN & TILT PARA BROADCAST

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica da
Universidade do Sul de Santa Catarina como
requisito parcial à obtenção do título de
Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Me. Roger Zamparette

Tubarão
Novembro de 2018


CLEITON LUIZ DE SOUZA

EZEQUIEL FIDELIS

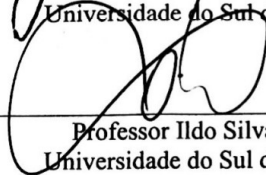
PERSEU - PROTÓTIPO DE UMA CABEÇA REMOTA
PAN & TILT PARA BROADCAST

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão(SC), 29 /11 /2018



Professor e orientador Roger Zamparetti, Me
Universidade do Sul de Santa Catarina



Professor Ildo Silva da Silva, Me
Universidade do Sul de Santa Catarina



Professor Marcos Tonon, Bel
Universidade do Sul de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Nosso muito obrigado à Deus, que alimentou nossas almas com força e tornou esse sonho possível. Somos gratos às nossas famílias, e nossos filhos, Nathan e Ellen que foram compreensivos neste momento decisivo de nossas vidas, aos amigos de sala aqui da UNISUL, que tornaram os dias de aula mais felizes. Gratidão eterna ao nosso orientador Prof. Me. Roger Zamparetti que foi incansável desde o primeiro encontro e nunca negou uma ajuda. Um agradecimento especial para o Prof. Me. Clayton Kindermann que prontamente nos ajudou para o entendimento da Cinemática do Protótipo. Muitas pessoas fizeram parte deste trabalho, citamos com carinho, o Pastor Roberto Ohlweiler que acreditou no projeto e por meio dos *Studios* da ADCTV-Criciúma investiu financeiramente e viabilizou a construção do protótipo. Gratidão a Empresa Jallmec Usinagens na pessoa do empresário Lucas Corrêa e do querido Eduardo Jung Frol, que com muito profissionalismo fabricaram todas as peças mecânicas, inclusive se dispuseram por vários dias, até depois do horário de funcionamento. Também somos gratos à coordenação na pessoa do professor Francisco Duarte de Oliveira juntamente com a professora Adriana Zanini, que deu todo o incentivo para a realização deste sonho. Só temos a agradecer e dizer que esse TCC é de todos que contribuíram.

RESUMO

Em aplicações *broadcast*, como em produções cinematográficas e TV, o uso da tecnologia na movimentação de câmera vem sendo muito empregado, é comum o uso de equipamentos como a cabeça robotizada com o objetivo de proporcionar uma mais ampla aquisição de imagem. Contudo, há uma limitação nas opções de cabeças remotas no mercado brasileiro e as existentes tem poucas funcionalidades e alto custo. Nos casos em que é preciso utilizar um robô para câmeras pesadas e de porte grande, é necessária a importação do equipamento, que devido ao alto valor do câmbio, dos impostos e do inflacionado mercado de equipamentos cinematográficos no âmbito internacional, acabam sendo onerosos para consumidor brasileiro. Neste contexto este trabalho apresenta um protótipo de cabeça remota capaz de controlar os movimentos *pan & tilt* de uma câmera *broadcast* de maneira a encontrar um melhor *trade-off* entre custo e o acesso à tecnologia e que supra a lacuna existente no mercado brasileiro.

Palavras-chave: robótica, audiovisual, cabeça remota.

ABSTRACT

In broadcast applications, such as in cinematographic productions and TV, the use of technology in camera movement has been widely used, it is common to use equipment such as robotized head with the objective of providing a wider image acquisition. However, there is a limitation in the options of remote heads in the Brazilian market and the existent ones have few functionalities and high cost. In cases where it is necessary to use a robot for heavy and large cameras, it is necessary to import the equipment, which due to the high value of the exchange, taxes and inflated market of cinematographic equipment in the international scope, end up being expensive for consumer Brazilian. In this context, this work presents a remote head prototype capable of controlling the *pan & tilt* movements of a broadcast camera in order to find a better trade-off between cost and access to technology and to overcome the existing gap in the Brazilian market.

Keywords: robotics, audiovisual, remote head.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Cabeça Remota VariZoom Cinema Pro-K1	13
Figura 2 - Sistema de coordenadas 3D	18
Figura 3 – Rotação <i>pan & tilt</i>	19
Figura 4 - Rotações em torno dos eixos coordenadas, Y0, Z0.	20
Figura 5 - Rotação em torno de Z0 pelo ângulo ϕ	20
Figura 6 - Rotação em torno de Y0 pelo ângulo θ	21
Figura 7 - Velocidade Angular (ω).....	23
Figura 8 - Momento Angular (L).....	23
Figura 9 - Engrenagens Mesmo RPM	26
Figura 10 - Relação Entre Engrenagens	27
Figura 11 - Etapas de Desenvolvimento.....	28
Figura 12 - Sistema de Controle em Malha Fechada.....	29
Figura 13 - Sistema de Controle em malha aberta.....	30
Figura 14 - Alimentação De Água Para Um Reservatório	31
Figura 15 - Motor de Passo	34
Figura 16 - Motor de Passo híbrido	35
Figura 17 - Eixo de um Motor Híbrido.....	36
Figura 18 - Funcionamento de um Motor Híbrido	36
Figura 19 - Motor de Passo Unipolar	37
Figura 20 - Motor de Passo Bipolar	38
Figura 21 - Wave Drive	38
Figura 22 - Wave Drive - Uma Fase (one phase on).....	39
Figura 23 - Full Drive.....	39
Figura 24 - Full Drive (Duas fases).....	40
Figura 25 - Half Drive	40
Figura 26 - Half Drive	41
Figura 27 - Curva de Velocidade e torque motor de passo	43
Figura 28 - Diagrama de Blocos CI 6600 Toshiba.....	45
Figura 29 - Arduino Uno	47
Figura 30 - Arduino Uno	47
Figura 31 - Microcontrolador	48
Figura 32- IDE Arduino	50

Figura 33 - Fluxograma Software.....	52
Figura 34 - <i>Proteus</i> Simulação de Circuitos.....	53
Figura 35- Ambiente de Simulação <i>PROTEUS</i>	55
Figura 36 - Modelagem mecânica 3D	56
Figura 37 - Mapeamento de Etapas de Projeto Mecânico	57
Figura 38 – Projeto Protótipo Em <i>SOLIDWORKS</i> (vista invisível)	58
Figura 39 - Grua de Filmagem Com Cabeça Robótica	59
Figura 40 - Cabeça Remota em Ferro.....	60
Figura 41 - Eixos e Rolamentos do Protótipo.....	60
Figura 42 - Cabeça Remota em Alumínio	61
Figura 43 - Placa Deslizante de Balanceamento	62
Figura 44 - <i>Proteus</i> Simulação de Circuitos.....	63
Figura 45 - Teste do <i>Hardware</i> e <i>Software</i>	64
Figura 46 - PCB Impresso Em Fenolite	65
Figura 47 - PCB Vista dos Componentes.....	65
Figura 48 - Componentes Empregados a Placa PCB	66
Figura 49 - PCB Finalizada (Vista Superior).	67
Figura 50 - PCB Finalizada (Vista Inferior).....	67
Figura 51 - Projeto do Controle <i>PERSEU</i> (<i>Solidworks</i>).....	68
Figura 52 - Datasheet PMW 350k Sony.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Orçamento Cabeça Remota VariZoom, EUA.....	13
Tabela 2 - Simulação de importação.....	14
Tabela 3 – Comparação de motores elétricos.....	32
Tabela 4 – Sequência de Controle Wave Drive.....	38
Tabela 3 – Sequência de Controle Full Drive.....	39
Tabela 3 – Sequência de Controle Half Drive.....	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	15
1.3	OBJETIVOS	15
1.3.1	Objetivo Geral	15
1.3.2	Objetivos Específicos.....	15
1.4	DELIMITAÇÕES	16
1.5	CODINOME PERSEU	16
1.6	METODOLOGIA E ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	CINEMÁTICA DE UMA CABEÇA ROBÓTICA.....	18
2.1	CINEMÁTICA <i>PAN & TILT</i>	18
2.1.1	Ângulos de <i>Pan & Tilt</i>.	20
2.2	DINAMICA DAS ROTAÇÕES	22
2.2.1	Momento Linear ou quantidade de movimento	22
2.3	RPM	25
2.3.1	RPM em Engrenagens	26
3	SISTEMA DE CONTROLE.....	29
3.1	SISTEMA DE CONTROLE EM MALHA FECHADA	29
3.1.1	Vantagens do sistema de malha fechada:.....	30
3.2	SISTEMA DE CONTROLE EM MALHA ABERTA	30
3.2.1	Vantagens do sistema de malha aberta:.....	31
3.3	SELEÇÃO DO MOTOR ELÉTRICO	32
3.4	MOTOR DE PASSO	33
3.4.1	Características	34
3.4.2	Tipos de motores de passo	35
3.4.3	Tipos de Polos	37
3.4.4	Tipos de ligação	38
3.4.5	Modos de Passo.....	41
3.4.5.1	Passo Completo	42
3.4.5.2	Meio Passo.....	42
3.4.5.3	<i>Microstep</i>	42
3.4.6	Ressonância.....	42

3.4.7	Escolhendo um Motor de Passo	43
3.4.8	Visão geral da tecnologia do driver	44
3.4.9	Efeito da Fonte de Alimentação nos Motores de Passo:	46
3.5	ARDUINO	46
3.5.1	Microcontrolador: (4)	48
3.5.2	Conector USB: (7)	49
3.5.3	Pinos de Entrada e Saída: (1 e 5)	49
3.5.4	Pinos de Alimentação: (6)	49
3.5.5	Botão de Reset: (10).....	49
3.5.6	Conversor Serial-USB e LEDs TX/RX: (8).....	49
3.5.7	Conector de Alimentação: (7).....	49
3.5.8	LED de Alimentação:(3)	50
3.5.9	LED Interno: (2).....	50
3.5.10	Especificações da placa:.....	50
3.5.11	IDE do Arduino	50
3.6	<i>SOFTWARE</i>	51
3.7	AMBIENTE DE SIMULAÇÃO <i>PROTEUS</i>	54
4	DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA MECÂNICA	56
4.1	SOLIDWORKS	56
4.2	DESENVOLVIMENTO ELETRONICO	62
5	CONCLUSÃO.....	69
6	REFERÊNCIAS.....	71
	ANEXOS	74
7	ANEXO A – CUSTO DE FABRICAÇÃO PROTOTIPO PERSEU VER 1.3	75
8	ANEXO B – DESENHO TÉCNICO MECÂNICO PERSEU.....	76
9	ANEXO C – DESENHO TÉCNICO MECÂNICO CONTROLE	88
10	ANEXO D – DIMENSÕES DA CÂMERA SONY PMW 350 K.....	89
11	ANEXO E – DATASHEET TB6600 DRIVE MOTOR DE PASSO	90
12	ANEXO F ARDUINO UNO REV3 SCHEMATIC	92

1 INTRODUÇÃO

O setor audiovisual firma-se com destaque na economia brasileira. O valor adicionado pelo setor cresceu, em termos nominais, 192% entre 2007 e 2014, chegando a R\$ 24,5 bilhões em renda gerada nesse último ano. Em termos reais, o crescimento médio anual foi de 8,8% entre 2007 e 2013, quando a participação do setor no produto interno bruto (PIB) brasileiro foi de 0,54%. O segmento de produção vem apresentando resultados igualmente expressivos, especialmente graças à criação do Fundo Setorial Audiovisual, que conta com orçamento anual aproximando-se de R\$ 1 bilhão, e à aprovação da Lei 12.485/2011, que não apenas promoveu a regulamentação da entrada das empresas telefônicas no ramo de TV paga, mas também estabeleceu quotas de canais brasileiros e de conteúdo nacional mínimo na programação televisiva. Nesse cenário, observam-se a acelerada ampliação da quantidade de horas produzidas, o aumento de canais e programadoras nacionais e, de forma destacada, o crescimento e fortalecimento de produtoras nacionais independentes, com competitividade internacional cada vez maior. (ANCINE, 2016).

O mercado brasileiro de audiovisual profissional é um dos mais promissores para investimento entre os países emergentes, porém apresenta muitos desafios. (TECNOMULTIMIDIA, 2018). Um dos problemas que produtores de audiovisual enfrentam é o acesso à tecnologia na movimentação de câmera. Em ambientes de filmagens específicos onde se faz necessário o uso de equipamentos robustos e sofisticado, as indústrias cinematográficas nacionais optam por importar tais equipamentos, pois no mercado nacional tais equipamentos são limitados e de baixa qualidade. Os principais critérios de compra incluem velocidade, suavidade, capacidade de suportar câmeras e lentes de grande porte, segurança e confiabilidade. Além disso, as produções ao vivo têm o desafio adicional de tornar as câmeras menos perceptíveis pelo público presente.

Quando os produtores necessitam de tais equipamentos se deparam com algumas realidades:

As produções *broadcast* cinematográficas internacionais têm orçamentos muito acima do disponível aqui no mercado nacional. Dados da Ancine revelam que no mercado cinematográfico nacional apenas cinco filmes lançados comercialmente entre 1995 a 2013 tiveram um valor de custo superior a R\$ 8,6 milhões (o dinheiro captado por Guilherme Fontes, entre 1995 e 1999, para produzir "Chatô") e "Xingu" (2012), de Cao Hamburger, foram um deles. Foram 9,73 milhões arrecadados. (GLOBO, 2018).

Em 2016 foram 143 Longas-metragens Brasileiros, dez anos antes, em 2006, esse total era de menos da metade: 71 filmes lançados em salas de cinema (RISTOW, 2018).

O Custo de importação somado com os impostos acrescenta consideravelmente o preço dessas tecnologias.

Figura 1 - Cabeça Remota VariZoom Cinema Pro-K1



Fonte: (VariZoom, 2018)

O robô da figura 1 é fabricado por uma indústria Norte Americana chamada VariZoom. Equipado com rodas de mão para *pan & tilt*. o Cinema Pro-K1 oferece capacidade de controle de movimento extremamente estável e dinâmico em um pacote compacto e acessível. Utilizando sistemas de transmissão potentes, mas silenciosos e anéis deslizantes completos, a cabeça Cinema Pro é capaz de rastrear as ações mais delicadas até as mais intensas com a mesma graça. O controle de lente integrado, a capacidade repetível de 5 eixos, o intervalômetro avançado e os parâmetros de controle de movimento completos são apenas alguns dos destaques. Ainda o produto inclui console de controle, engrenagens encodadas. (VARIZOOM, 2018). A Tabela apresenta 1 o preço desse produto nos EUA.

Tabela 1- Orçamento Cabeça Remota VariZoom, EUA

Equipamento	Preço U\$\$ Fob
VariZoom CinemaPro K1	\$26,995.00

Fonte: (BH VIDEO, 2018)

A Tabela 2 apresenta o valor do equipamento acrescido com os custos de importação, O cálculo foi realizado pela empresa Mercado direto, que é uma empresa do ramo de importações que estuda viabilidade e desembaraço aduaneiro. No cálculo estão considerados os impostos alfandegários e ICMS envolvidos nesse tipo de operação.

Tabela 2 - Simulação de importação

Equipamento	Preço U\$\$	Preço R\$ CIFF
VariZoom CinemaPro K1	US \$26.995,00	
Serviço e Entrega (SC)	US \$1.914,75	R\$ 7.008,00
Imposto Alfandegário e ICMS	US \$41.375,64	45.625,00
Total	US \$41.375,64	R\$ 151.435,00

Dólar EUA R\$3,66

Fonte: (MERCADO DIRETO, 2018)

Outro fator que prejudica a indústria é o acesso a assistência técnica dos equipamentos importados, pois poucas empresas disponibilizam ou mantêm escritórios, técnicos ou engenheiros no Brasil.

Existem diversos robôs de movimento no mercado *broadcast* e cinematográfico mundial, com diversas variações. Este trabalho irá apresentar o projeto e a implementação de uma cabeça remota de movimento *pan & tilt*, que é uma das arquitetura é mais difundida comercialmente devido à sua característica e desempenho na movimentação.

O projeto realizado neste trabalho será focado principalmente no controle remoto dos movimentos *pan & tilt*, através de uma interface que promova um controle intuitivo e responsivo para movimentos suaves e precisos do robô, possibilitando maior flexibilidade na produção.

1.1 JUSTIFICATIVA

No Brasil as cabeças remotas automatizadas estão atraindo cada vez mais a atenção no uso *broadcast* e cinematográfico, devido a suas vantagens na precisão dos movimentos. *Softwares* avançados no sistema de controle apresentam flexibilidade com possibilidades antes

inimagináveis, algoritmos que replicam os movimentos antes configurados por um operador e executam a função desejada na cabeça remota. Tais funções facilitam e diminuem os erros nos estúdios de produção. Neste trabalho de conclusão de curso, foi desenvolvido um produto com o equilíbrio certo entre a perspectiva da câmera e o custo, equilíbrio inexistente no mercado Brasileiro; Ou o equipamento é muito caro, ou de baixa qualidade.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Projetar e construir um protótipo de cabeça remota capaz controlar os movimentos *pan & tilt* de uma câmera *broadcast* de maneira a encontrar um melhor *trade-off* entre custo e a qualidade, suprimindo a lacuna existente no mercado brasileiro de vídeo profissional.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho consiste no projeto e construção de um protótipo de cabeça remota para movimentação de câmera *broadcast*, que exerça movimentos com qualidade e padrões exigidos pelo mercado, através da utilização de *hardwares* já disponíveis no mercado, como micro controladores, drivers e motores capazes de se comunicar e interagir com o *hardware*, exercendo movimentos com qualidade e padrões exigidos pelo mercado. O sistema deve oferecer de forma intuitiva aos operadores a possibilidade de programar movimentação precisa dos eixos da cabeça remota, ou efetuar a mesma tarefa de forma responsiva como, por exemplo, por um joystick. sendo que, para isso, é necessário atingir os seguintes objetivos específicos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Definir a estrutura mecânica e os motores que serão acoplados nas articulações;
- Escolher a arquitetura do sistema eletrônico necessário para o controle adequado dos motores;
- Modelar matematicamente a cinemática e a dinâmica do sistema completo;
- Implementar as técnicas de controle dos motores em malha aberta
- Construir o protótipo;

- Usar operadores de câmera profissionais habituados com equipamentos do gênero para verificar a precisão, suavidade e ergonomia do protótipo;
- Sujeitar o equipamento a testes de campo, levando o equipamento a ambientes de filmagem.
- Analisar a viabilidade econômica de fazer um produto a partir do protótipo.

1.4 DELIMITAÇÕES

Este projeto de desenvolvimento limita-se a projetar e implantar uma cabeça remota que tenha os movimentos controlados de *pan & tilt*, que será instalada nos estúdios da ADC-TV em Criciúma - SC. O *hardware* ideal foi definido por meio de pesquisa e estudos de funcionalidade e viabilidade econômica do projeto.

1.5 CODINOME PERSEU

O codinome Perseu foi atribuído a este trabalho por ser um guerreiro mitológico grego. Um semideus conhecido por ter derrotado e arrancado a cabeça da górgona Medusa, que, posteriormente utilizava essa cabeça como arma de guerra, transformando qualquer um que a olhasse em pedra. Além de ser o fundador da cidade-estado de Micenas, tendo sido ancestral dos imperadores da Pérsia. Como um semideus, Perseu era filho de Zeus com uma mortal, Dânae, filha do rei Acrísio, de Argos. (CABRAL, 2018)

1.6 METODOLOGIA E ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é composto pelas etapas de levantamento bibliográfico das opções de cabeças remotas existentes no mercado nacional e internacional com o objetivo de criar as especificações do protótipo, pesquisa de equipamentos e dispositivos usados em controle de *pan & tilt* a implementação do protótipo, e por fim testes nos sistemas implementados.

O trabalho será desenvolvido observando as seguintes etapas:

A Introdução descreve a fundamentação teórica para a compreensão do trabalho.

O Capítulo 2, apresenta modelagem cinemática e torque exigido. Explicando através de referencial. Apresentando, funcionamento cinético do robô.

No Capítulo 3 fala-se sobre o motor escolhido para aquele torque necessário e dos requisitos de baixo ruído e relativo custo; é apresentado o sistema de controle; dispositivos utilizados, CIs, microcontroladores e afins e fluxograma do programa.

Já o Capítulo 4 apresenta-se o projeto mecânico, as etapas da construção e os resultados obtidos por meio de testes. No capítulo será mostrado os resultados obtidos com a estrutura construída.

Capítulo 5 descreve as conclusões do trabalho e as melhorias pretendidas para as próximas versões. Ao final da monografia estão as Referências Bibliográficas Citadas e os Anexos onde apresenta o custo final, desenho técnico e o datasheet dos equipamentos eletrônicos utilizados no protótipo.

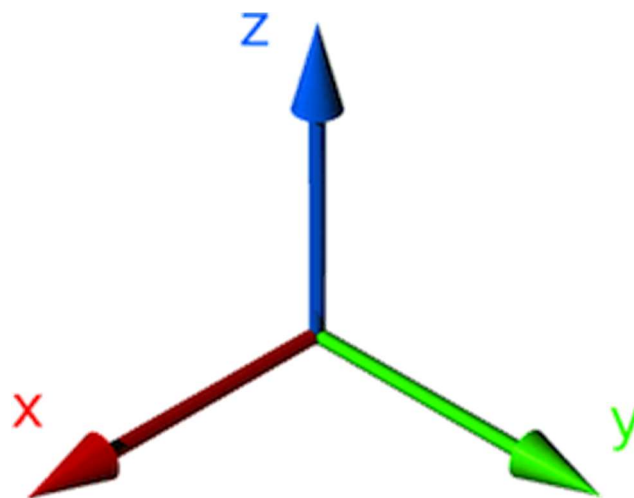
2 CINEMÁTICA DE UMA CABEÇA ROBÓTICA

2.1 CINEMÁTICA *PAN & TILT*

Um robô pode ter vários sistemas de tração diferentes: Engrenagem, rodas e polias. a complexidade pode ser tão elevada quanto se deseje, de modo a atender às especificações. Neste projeto, onde o robô rotaciona em torno de 2 eixos, a exigência do sistema de tração não é elevada, foi implementado o sistema diferencial, que simplifica a tração e a direção, resultando na mecânica simples. A interação entre os diferentes elementos constitui o sistema de tração e direção.

Um espaço vetorial é uma estrutura matemática que é definida por um determinado número de vetores linearmente independentes, também chamados de vetores de base (por exemplo, na Figura 2 há três vetores de base); o número de vetores linearmente independentes define o tamanho do espaço vetorial, portanto, um espaço 3D tem três vetores base, enquanto um espaço 2D teria dois. Estes vetores base podem ser escalados e adicionados para obter todos os outros vetores no espaço. Espaços vetoriais é um tema bastante amplo, e não é o objetivo deste trabalho explicá-los em detalhes, tudo o que precisamos saber para os nossos propósitos é que nossos modelos vivem em um espaço vetorial específico, e é representado com o sistema de coordenadas canônicas 3D (Figura 2). (ALAMI, 2018)

Figura 2 - Sistema de coordenadas 3D



Fonte : (ALAMI, 2018)

A unidade de *pan & tilt* tem dois níveis de liberdade de rotação. Os ângulos são dados em graus ($0^{\circ}..360^{\circ}$) e contados no sentido anti-horário. Para rotações em três dimensões os chamados ângulos de Euler são usados: Pan é o ângulo horizontal ($0^{\circ}..360^{\circ}$) sobre o eixo Z vertical, a inclinação é o ângulo vertical ($-90^{\circ} .. +90^{\circ}$) sobre o eixo Y rotacionado.

Alterando um ângulo de Euler, a entidade gira em torno dos eixos do sistema de coordenadas mundiais.

Figura 3 – Rotação *pan & tilt*

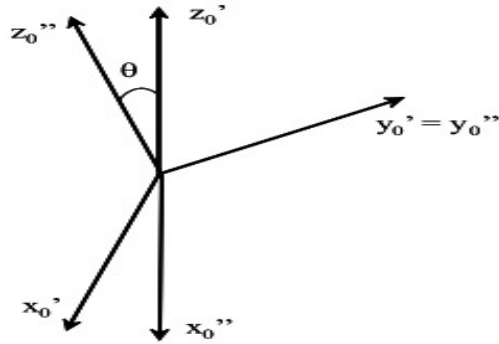


Fonte: (NEXXIS, 2018)

A câmera é rigidamente fixada em sua montagem móvel. O sistema de coordenadas define a localização de referencial físico, como a referência de calibração. O eixo z do sistema de coordenadas de base, Z, é definido como colinear com o eixo de *Pan* e o eixo y é definido para ser colinear com o eixo de inclinação *Tilt*, conforme a Figura 3. O aumento da contagem de passos é definido para aumentar os ângulos de rotação, que por sua vez define a direção dos eixos de rotação pela regra da mão direita. As coordenadas do sistema, gira em torno de Z que é paralelo ao eixo Y.

$$R_{y,\theta} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

Figura 6 - Rotação em torno de Y_0 pelo ângulo θ .



Fonte: (SIQUEIRA, 2018)

Conforme as Equações (1.3) e (1.4) a matriz de rotação é dada pelo o produto das duas matrizes $R_{Z,\varphi}$ e $R_{Y,\theta}$. C

$$(R_{Z,\varphi}, R_{Y,\theta}) = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

$$(R_{Z,\varphi} R_{Y,\theta}) = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \theta & -\sin \varphi & \cos \varphi \sin \theta \\ \cos \theta \sin \varphi & \cos \varphi & \sin \varphi \sin \theta \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

2.2 DINAMICA DAS ROTAÇÕES

Na análise das condições de equilíbrio de um corpo extenso verificamos que:

$$\sum \vec{F} = 0 \quad (1.5)$$

$$\sum \vec{\tau}^0 = 0 \quad (1.6)$$

(1.5) A resultante das forças que atuam sobre o corpo é igual a zero.

(1.6) A soma dos torques produzidos por cada uma das forças em relação a um pólo escolhido arbitrariamente é igual a zero.

Ou seja:

Se o corpo extenso está em equilíbrio estático, ele não translada e nem gira.

2.2.1 Momento Linear ou quantidade de movimento

Se um móvel de massa m desloca-se num determinado instante com uma velocidade v , então ele possui uma certa “quantidade de movimento” naquele instante.

$$\vec{q} = m \cdot \vec{v} \quad (1.7)$$

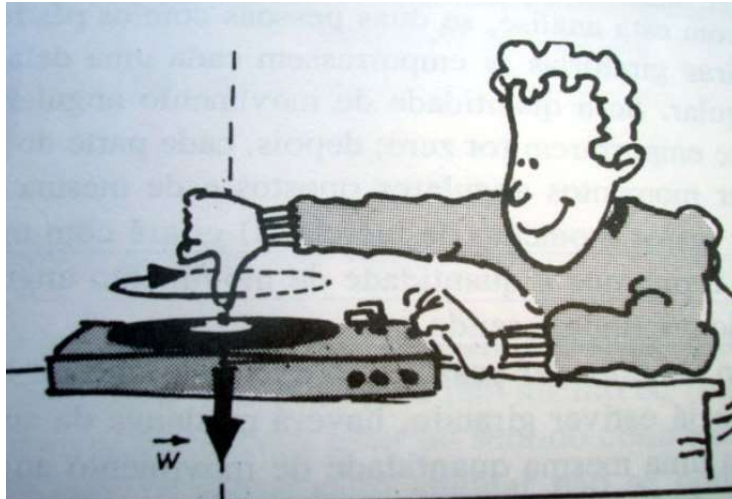
Essa quantidade de movimento (q) Equação (1.7), também denominada de “momento linear”, é uma grandeza vetorial obtida pelo resultado do produto da massa (m) pela velocidade (v) do objeto que se desloca.

O momento linear é uma grandeza relacionada à translação de um corpo de massa m que se move com velocidade v . Neste caso, existe um aspecto inercial associado ao corpo que “dificulta” a variação do momento linear. Verifica-se que quanto maior a sua massa, maior se torna essa dificuldade, independente de como a massa está distribuída no corpo. Do mesmo modo que nas translações, existe uma quantidade de movimento associada às rotações (ou corpos que estão em movimento de rotação). Essa quantidade é chamada de “Momento Angular” ou “quantidade de movimento angular” e dela também resulta uma “Lei de Conservação” que é a lei da Conservação do Momento Angular

Velocidade Angular (ω). A velocidade angular é a rapidez com que o ângulo descrito pelo móvel que gira varia no tempo. A direção e o sentido do

vetor velocidade angular é perpendicular ao plano de rotação e tem o sentido dado pela regra da mão direita (regra do parafuso como também é conhecida), como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Velocidade Angular (ω).



Fonte: (MENDONÇA, 2018)

O momento angular (L) é uma grandeza vetorial associada à velocidade angular do corpo em rotação e à “inércia de rotação”. A inércia de rotação ou momento de inércia (I) é uma grandeza escalar que depende de como a massa circulante ou em rotação está distribuída pelo corpo.

Figura 8 - Momento Angular (L)



Fonte: (MENDONÇA, 2018)

No exemplo Figura 8, a massa circulante (corpo em rotação) é a roda da bicicleta. Seda assim:

$$\vec{L} = I \cdot \vec{\omega} \quad (1.8)$$

\vec{L} é o momento angular;

I é o momento de inércia;

$\forall \omega$ é a velocidade angular.

Como o *momento de inércia* (I) depende da distribuição de massa, ele terá uma expressão diferente para cada corpo sólido. O momento de inércia varia não só de um objeto para outro como também para um mesmo objeto, dependendo da escolha do eixo de rotação. O *momento de inércia* de um objeto de pequenas dimensões como uma pedra girando, presa a um fio, é (1.9):

$$I = mr^2 \quad (1.9)$$

m é a massa do objeto;

r é a distância ao eixo de rotação;

Unidades do Sistema Internacional

O momento de inércia, Equação (1.9) tem como unidade: $= \text{kg} \cdot \text{m}^2$.

Já o momento angular, Equação (1.8) tem como unidade: $= \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}$

A unidade de velocidade angular no S.I é $= \frac{\text{Radiano}}{\text{Segundo}} = \frac{\text{Rad}}{\text{s}}$

Força e Torque são resultantes de aceleração, seja linear ou angular. Um torque total 'igual' ao peso, apenas deixaria o robô parado, com os motores em torque de parada. mesmo se tratando de um servo, que tem velocidade angular constante.

O Torque τ devido a uma força produz variação do momento angular (L) Equação (1.8), num intervalo de tempo. Em outras palavras, o torque representa a taxa de variação do momento angular ou ainda a variação do momento angular no tempo.

Se:

$$\frac{\overrightarrow{\Delta L}}{\Delta t} = \vec{\tau} \quad (1.10)$$

$$\vec{\tau} = I \cdot \left(\frac{\overrightarrow{\Delta \omega}}{\Delta t} \right), \text{com} \dots \left(\frac{\overrightarrow{\Delta \omega}}{\Delta t} \right) = \vec{\gamma} \quad (1.11)$$

A Equação (1.11) também se refere a aceleração angular.

Portanto:

$$\vec{\tau} = I \vec{\gamma} \quad (1.12)$$

Substituindo as Equações temos um torque necessário para o dimensionamento correto dos motores a ser utilizado.

Temos a como transformar o torque (N-m em Kg-cm):

$$\tau_{kg.cm} = \frac{100 \times \tau_{N.m}}{g} \quad (1.13)$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}$$

(MENDONÇA, 2018)

2.3 RPM

Normalmente, os motores possuem velocidade fixa, trabalhando em uma frequência contínua. Este movimento permanece inalterado até a inserção dos conjuntos formados por polias e correias ou por engrenagens que são responsáveis por modificar e adaptar a velocidade original do motor para atender às necessidades operacionais de cada máquina.

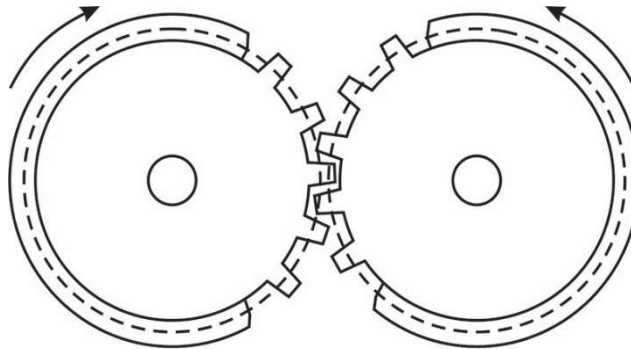
Como por exemplo, um motor que gire a 800 rotações por minuto (RPM) movimentando um equipamento que necessita de apenas de 80 rotações por minuto. Esse processo é possível graças aos diversos tipos de combinações de polias e correias ou de engrenagens, que modificam a relação de transmissão de velocidade entre o motor e as outras partes da máquina. A velocidade dos motores é gerada em RPM (rotações por minuto). Como o nome já diz, a RPM é o número de voltas completas que um eixo, ou uma polia, ou uma engrenagem dá em um minuto.

2.3.1 RPM em Engrenagens

Do mesmo modo, quando o grupo transmissor de velocidade é composto por engrenagens, o que faz modificar a rpm é o número de dentes. É importante saber que, em engrenagens que trabalham juntas, a distância entre os dentes é sempre igual. (REDUTORESIBR, 2018)

Dessa forma, engrenagens com o número igual de dentes apresentam a mesma rpm. Como pode se observar na Figura 3:

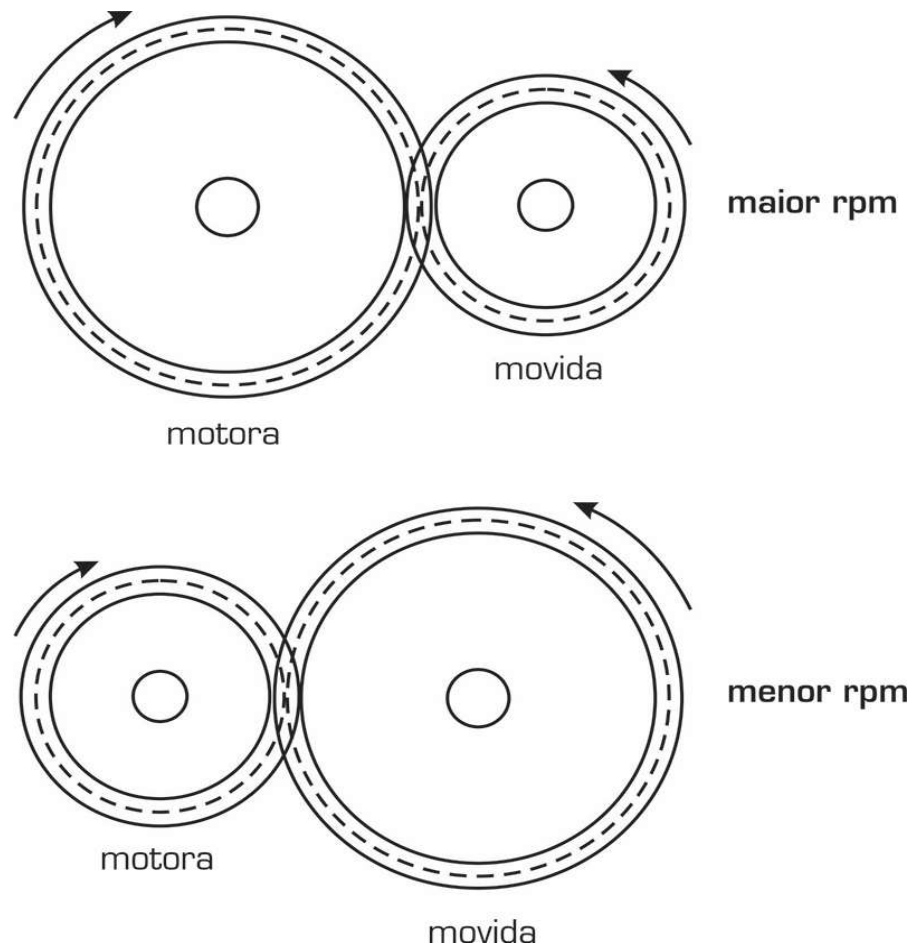
Figura 9 - Engrenagens Mesmo RPM



Fonte: (REDUTORESIBR, 2018)

Engrenagens com números diferentes de dentes apresentam mais ou menos rpm, dependendo da relação entre o menor ou o maior número de dentes das engrenagens motora e movida.

Figura 10 - Relação Entre Engrenagens



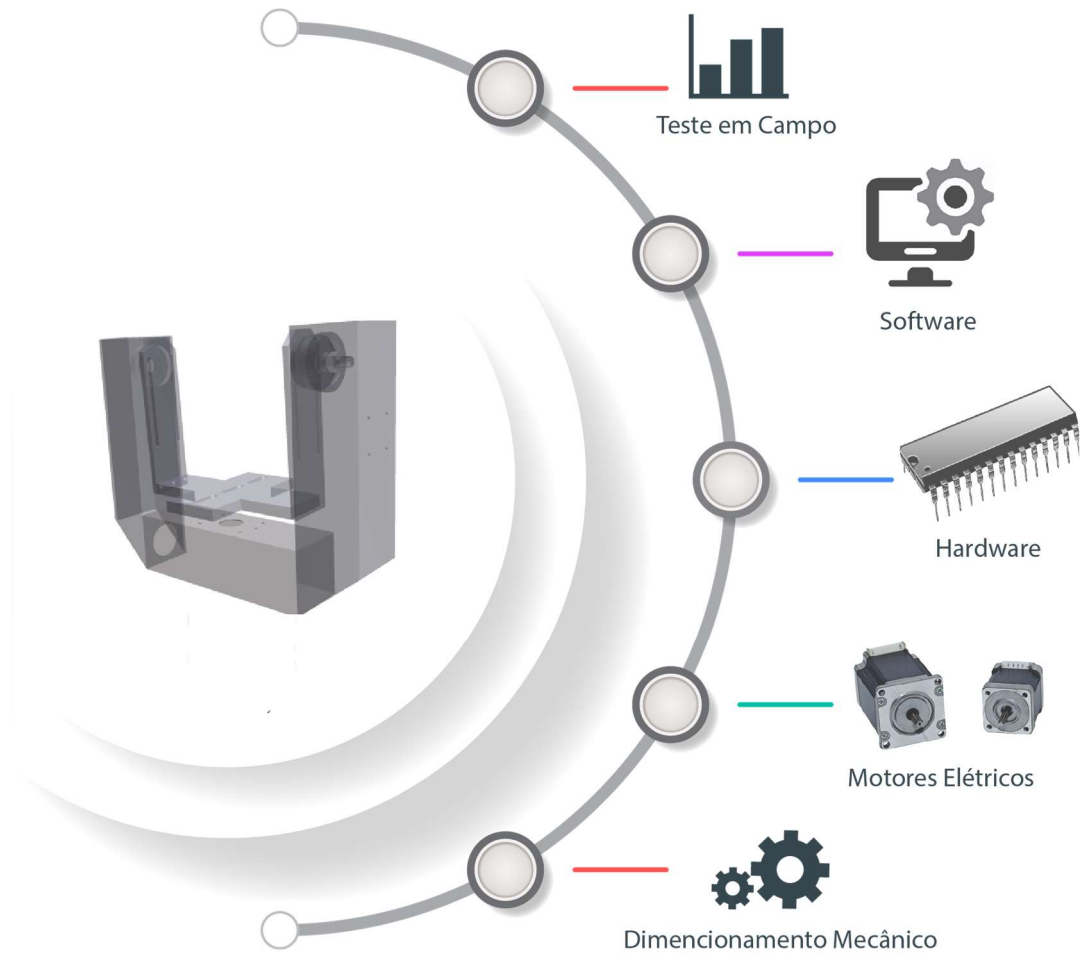
Fonte: (REDUTORESIBR, 2018)

É usada uma expressão matemática, Equação(1.14), para calcular o RPM das engrenagens, onde Z que é o número de dentes da engrenagem, e N refere-se ao valor de RPM. (REDUTORESIBR, 2018)

$$\frac{N^1}{N^2} = \frac{Z^2}{Z^1} \quad (1.14)$$

Definido a cinemática da Estrutura, e já com dados disponíveis como torque necessário para os movimentos de *pan* & *tilt*, apresenta-se a planta simplificada da cabeça remota e as etapas de estudo que resultará na construção e montagem do sistema.

Figura 11 - Etapas de Desenvolvimento



Fonte: Próprio Autor

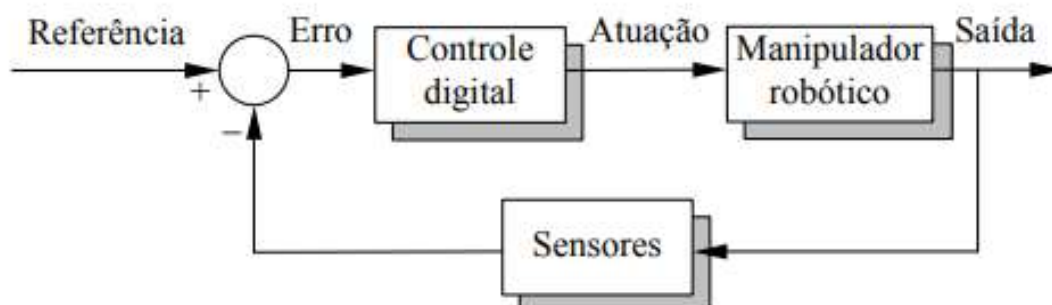
3 SISTEMA DE CONTROLE

O sistema de controle de um robô é realizado por meio de software. Este sistema processa os sinais de entrada e converte estes sinais em uma ação ao qual foi programado. O *software* pode ser desenvolvido em um computador ou em microcontrolador. Neste aspecto, deve-se levar em consideração os pontos fortes e fracos de cada possibilidade. O microcontrolador reduz o custo do projeto, é rápido, dedica-se apenas ao controle do robô, porém possui limitações em relação ao tamanho do *software*. Já o computador possui alta taxa de processamento e maior espaço para a alocação do *software*. Pode-se ainda aplicar uma solução mista, em que a parte mais leve do *software* fica no microcontrolador e a parte de maior processamento fica no computador. O sistema de *hardware* pode constituir, por exemplo, de motores de passos, cabos, dispositivo de entrada, sensores e amplificadores de potência. Um dos fatores mais importantes é a utilização de sensores (Bolton, 1995), pois podem ser dispositivos de um sistema de malha fechada. (CARRARA, 2018)

3.1 SISTEMA DE CONTROLE EM MALHA FECHADA

Consiste em verificar o estado atual do dispositivo a ser controlado e comparar essa medida com um valor pré-definido. Esta comparação resultará num erro, ao qual o sistema de controle fará os ajustes necessários para que o erro seja reduzido a zero. (CARRARA, 2018) Um esquema simples de malha fechada é apresentado em diagrama de blocos na Figura 6

Figura 12 - Sistema de Controle em Malha Fechada



Fonte: (CARRARA, 2018)

3.1.1 Vantagens do sistema de malha fechada:

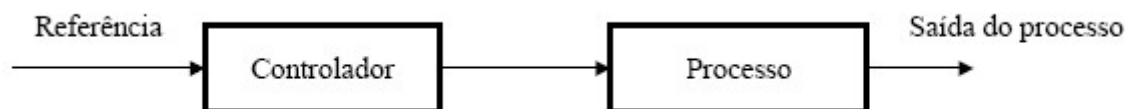
Uma das vantagens é o fato de que o uso da realimentação faz com que a resposta do sistema seja relativamente insensível a distúrbios e variações internas nos parâmetros do sistema. É possível a utilização de componentes relativamente imprecisos e baratos para obter o controle preciso de determinado sistema. São mais vantajosos somente nos casos em que houver distúrbios e/ou alterações não previsíveis nos componentes do sistema. (AFONSO, 2018).

Porém quando existem dificuldades de avaliação na saída ou quando a medição precisa da saída não é economicamente possível. (Por exemplo, na máquina de lavar roupas, seria bastante dispendiosa a instalação de um dispositivo para avaliar se as roupas foram bem lavadas). Sendo assim, em diversos casos adota-se sistema de controle em malha aberta.

3.2 SISTEMA DE CONTROLE EM MALHA ABERTA

Neste tipo de sistemas de controle, a saída não exerce qualquer ação no sinal de controle. Deste modo, a saída do processo não é medida nem comparada com a saída de referência (AFONSO, 2018). A Fig. 13 representa o diagrama de blocos de um sistema deste tipo.

Figura 13 - Sistema de Controle em malha aberta

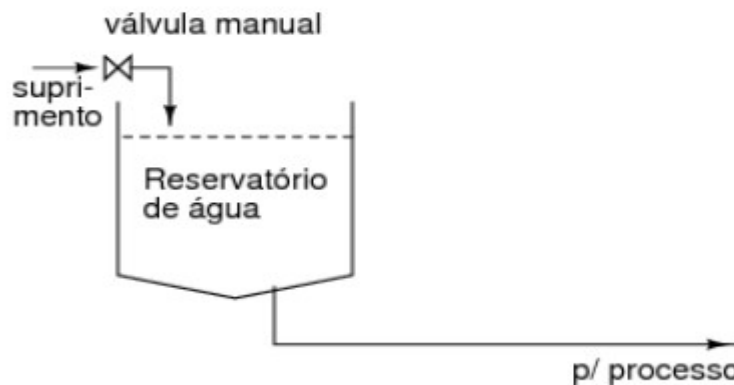


Fonte: (AFONSO, 2018)

Como se pode observar na Figura 7, neste tipo de controle, a saída não é comparado com a entrada de referência. Deste modo, para cada valor da saída irá corresponder uma condição de funcionamento fixa. No entanto, na presença de perturbações, o sistema não irá atingir os objetivos desejados. Na prática, o controle em malha ou malha aberto, somente deve ser utilizado em sistemas para os quais a relação entre a entrada e a saída seja bem conhecida, e que não tenham perturbações internas ou externas significativas. (AFONSO, 2018)

Em um sistema de malha aberta, a ação de controle independe da saída. A Figura 14 dá um exemplo simples: A alimentação de água para um reservatório é comandada por uma válvula manual. Desde que as vazões de suprimento e de processo costumam variar, esse sistema exige a periódica intervenção de um operador para manter o nível de água acima do mínimo necessário e abaixo do máximo (evitar transbordamento).

Figura 14 - Alimentação De Água Para Um Reservatório



Fonte: (AFONSO, 2018)

3.2.1 Vantagens do sistema de malha aberta:

São simples de serem construídos e têm fácil manutenção. São menos dispendiosos do que um sistema correspondente de malha fechada. Não apresentam problemas de estabilidade. (AFONSO, 2018)

Os sistemas em que são conhecidas as variáveis de entrada antecipadamente no tempo, e nos quais não haja perturbações muito significativas, é aconselhável a utilização do controle em malha aberta. Para sistemas que estejam sujeitos a perturbações imprevisíveis e/ou variações não previstas nos componentes do sistema, deve-se utilizar o controle em malha fechada.

Sempre que possível, é aconselhável utilizar uma combinação apropriada de controle em malha aberta e fechada, visto ser normalmente a solução mais econômica, e que fornece um desempenho global do sistema mais satisfatório.

3.3 SELEÇÃO DO MOTOR ELÉTRICO

Para a seleção de um motor, deve-se saber a finalidade do equipamento e as vantagens e desvantagens de diferentes motores.

Para a aplicação em questão verificou-se uma diversidade de motores, como motor de corrente contínua, motor de passo e servo motor, com possibilidades das mais variadas, como potência, aceleração, torque, ruído, resolução e precisão de parada.

Tabela 3 – Comparação de motores elétricos

	Motor CC	Servo Motor	Motor de Passo
Velocidade (1)	Alta	Média	Baixa
Torque (2)	Zero/Alto	Baixo/Alto	Alto/Médio
Facilidade de Controle (3)	Fácil	Complexo	Média
Precisão (4)	Nenhuma	Muito alta	Alta
Durabilidade (5)	Média	Média	Ótima
Requer Manutenção (6)	Sim	Sim	Não

Fonte: (SANTOS, 2018)

- 1- Motores de Passo perdem passos em altas velocidades, já Servos Motores conseguem altas rotações por usarem para movimentar-se da mesma forma que os Motores de Corrente contínua.
- 2- Motores de Corrente contínua e Servo-Motores não conseguem se manter em uma posição fixa estando ligados, apenas o Motor de Passo tem esta característica. Entretanto é possível usar Servo-motores para tal fim, entretanto é necessário fazer com que este "corrija" sua posição na tentativa de manter-se parado o que é pouco prático uma vez que seu torque a baixas velocidades é pequeno.
- 3- Motores de Corrente contínua apenas precisam ser ligados para começar a funcionar, motores de passo requerem pulsos em determinada ordem para se movimentar, o que requer um "driver" para o mesmo. Servo motores, no entanto, requerem um *hardware* mais complexo que analise os dados como posicionamento e velocidade e envie as instruções de forma que o motor "mova" para a posição requisitada.
- 4- Motores de Corrente Contínua não possuem nenhum controle de posicionamento; os Motores de Passo podem ser controlados de forma a fazer movimentos discretos (passos); Servo-Motores podem fazer movimentos mais suaves que Motores de Passo (possuem maior resolução), bem como é possível fazer um controle de posicionamento com o mesmo.
- 5- Motores de passo são extremamente duráveis uma vez que não usa escovas ao contrário de Motores de Corrente Contínua ou Servo Motores (que é um Motor de Corrente Contínua com controle de posicionamento). Este último ainda pode ter problemas com o aparato ótico que faz o controle do posicionamento (encoder).

(SANTOS, 2018)

Especificações iniciais da planta apresentam exigências de precisão na movimentação, velocidade e torque mínimo para a movimentação do robô, buscou-se então um motor com um torque de 8kg cm, considerando a natureza de movimentação e o peso da estrutura juntamente com o peso da câmera. Seguindo o requisito de baixo ruído exigidos pela indústria cinematográfica, pois em SET'S de filmagens o ruído é uma variável em consideração.

Para a aplicação em questão verificou-se que o motor de passo é o mais adequado. Pois possuem como vantagem em relação aos outros tipos de motores disponíveis os seguintes pontos:

- Seguem uma lógica digital: Diz-se que o motor de passo segue uma lógica digital, pois seu acionamento é feito através de pulsos elétricos que ativam sequencialmente suas bobinas, fazendo o rotor se alinhar com as mesmas e assim provocando um deslocamento do mesmo.

- Alta precisão em seu posicionamento: O posicionamento do motor de passo é preciso uma vez que o rotor sempre se movimentará em ângulos bem determinados, chamados “passos” cujo erro de posicionamento é pequeno e não-cumulativo (em geral 5%).

- Precisão no torque aplicado: As variações no torque aplicado por um motor de passo são pequenas, tendo em vista seu funcionamento.
- Excelente resposta a aceleração e desaceleração: O movimento que um motor de passo produz é resultado das ativações em sequência “ de suas bobinas. A resposta para tais solicitações de aceleração e desaceleração é rápida pois o rotor se alinha rapidamente com a(s) bobina(s) que se encontra(m) energizada(s).

(SANTOS, 2018)

3.4 MOTOR DE PASSO

Um motor de passo é um motor elétrico síncrono e sem escovas que converte pulsos digitais em rotação mecânica do eixo. Cada revolução do motor de passo é dividida em um número discreto de etapas, em muitos casos, em 200 etapas, e o motor deve receber um pulso separado para cada etapa. O motor de passo só pode dar um passo de cada vez e cada passo é do mesmo tamanho. Como cada pulso faz com que o motor gire um ângulo preciso, tipicamente $1,8^\circ$, a posição do motor pode ser controlada sem qualquer mecanismo de feedback. À medida que os pulsos digitais aumentam em frequência, o movimento do passo se transforma em rotação contínua, com a velocidade de rotação diretamente proporcional à frequência dos pulsos. Os motores de passo são usados todos os dias em aplicações industriais e comerciais

por causa de seu baixo custo, alta confiabilidade, alto torque em baixas velocidades e uma construção simples e robusta que opera em praticamente qualquer ambiente.

Figura 15 - Motor de Passo



Fonte: (WOTIOM, 2018)

3.4.1 Características

- Inexistência de escovas – os motores de passo não possuem escovas. Os comutadores e escovas dos motores convencionais são os componentes que apresentam a maioria das falhas e ainda podem criar arcos que são indesejáveis e perigosos em alguns ambientes.

- Independência da carga – os motores de passo giram com uma dada velocidade independentemente da carga, desde que a carga não exceda o torque do motor.

3. Posicionamento em malha aberta – Os motores de passo se movem com incrementos ou passos que podem ser quantificados. Desde que o motor funcione com o torque especificado, a posição do eixo é conhecida a todo tempo sem necessidade de um mecanismo de realimentação.

- Torque Estacionário – Os motores de passo são capazes de manter o eixo estacionário, desde que o seu torque seja respeitado.

- Excelente resposta a partida, parada e a reversão de movimento.

- Muito confiável, pois não há escovas de contato no motor. Portanto, a vida útil do motor de passo depende simplesmente da vida útil do rolamento.

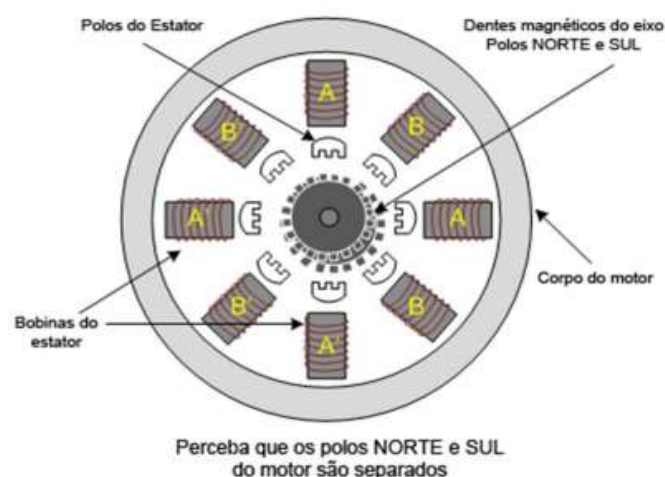
- O ângulo de rotação do motor é proporcional ao pulso de entrada.

- Posicionamento e repetibilidade precisos do movimento, uma vez que os bons motores de passo têm uma precisão de 3 a 5% de um passo e este erro não é cumulativo de um passo para o seguinte.
- A resposta dos motores de passo aos pulsos de entrada digital fornece controle de malha aberta, tornando o motor mais simples e menos dispendioso de controlar.
- É possível obter rotação síncrona de velocidade muito baixa com uma carga diretamente acoplada ao eixo.
- Uma ampla faixa de velocidades de rotação pode ser realizada, pois a velocidade é proporcional à frequência dos pulsos de entrada. (FEIS UNESP, 2018)

3.4.2 Tipos de motores de passo

Existem três tipos básicos de motores de passo: relutância variável, ímã permanente e híbrido. Essa discussão se concentrará no motor híbrido, uma vez que esses motores de passo combinam as melhores características dos motores de relutância variável e de ímã permanente. Eles são construídos com pólos de estator com vários dentes e um rotor de ímã permanente. Motores híbridos padrão têm 200 dentes de rotor e giram em ângulos de degrau de $1,8^\circ$. Como eles exibem alto torque estático e dinâmico e operam com taxas de passos muito altas.

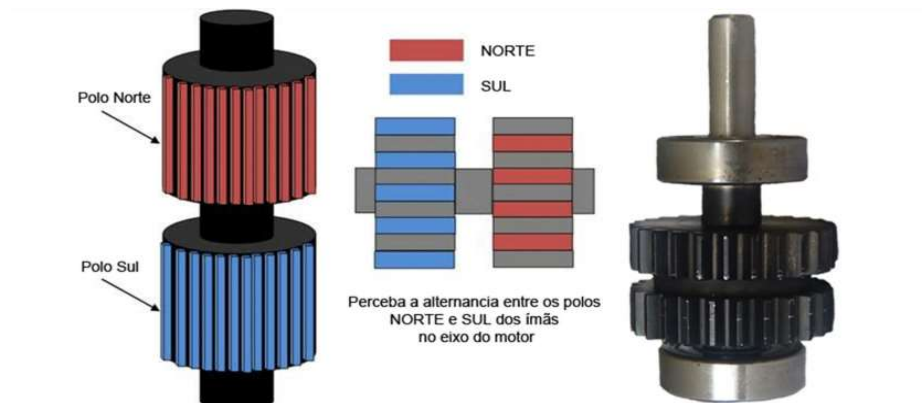
Figura 16 - Motor de Passo híbrido



Fonte: (FEIS UNESP, 2018)

O eixo do motor é construído com dois grupos de dentes, um com o POLO SUL saliente e o outro com o POLO NORTE, de modo que os dentes fiquem alternados

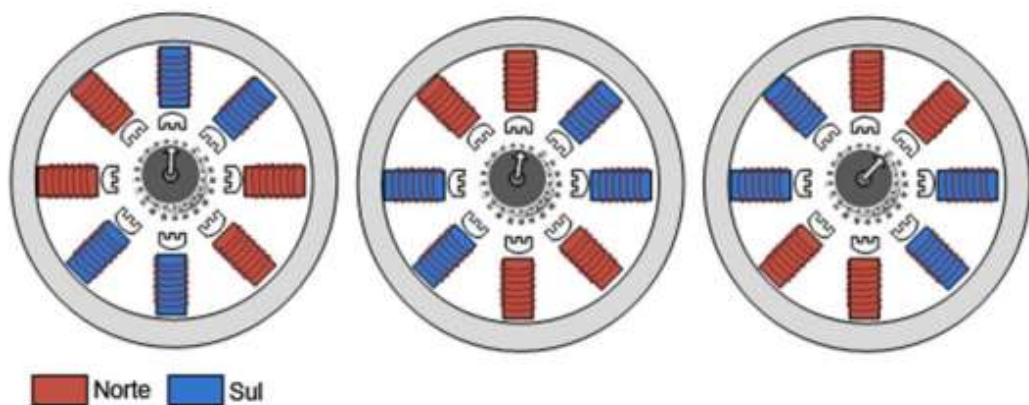
Figura 17 - Eixo de um Motor Híbrido.



Fonte: (FEIS UNESP, 2018)

As bobinas devem ser ligadas em sequência para o eixo poder girar.

Figura 18 - Funcionamento de um Motor Híbrido

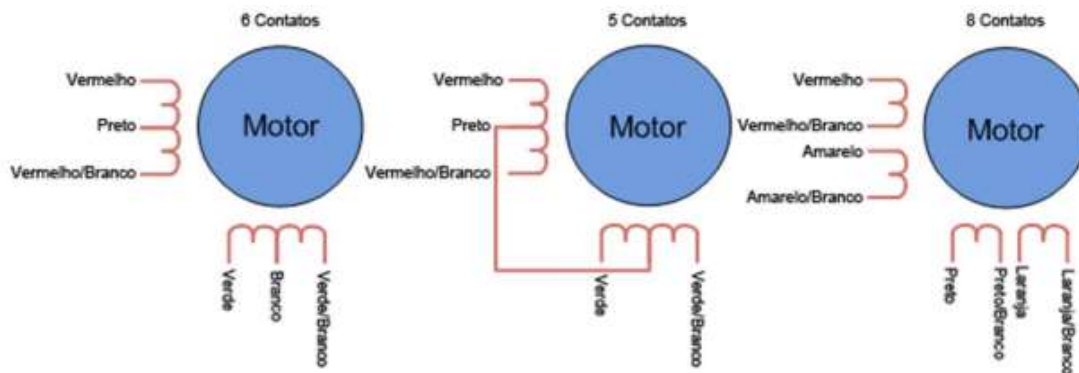


Fonte: (FEIS UNESP, 2018)

3.4.3 Tipos de Polos

Motores de passo, geralmente têm duas fases e podem ser unipolares ou bipolares.

Figura 19 - Motor de Passo Unipolar

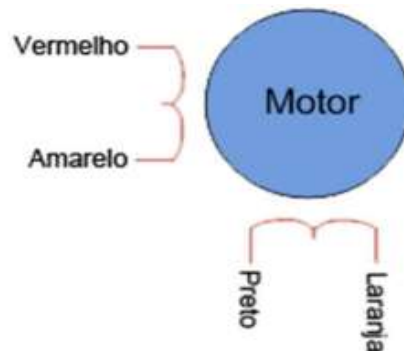


Fonte: (FEIS UNESP, 2018)

Nos motores de passo unipolares são usados dois enrolamentos por fase e costumam ter um contato em comum, resultando em cinco, seis ou oito conexões. Nos modelos onde a conexão comum dos dois pólos é separada, são seis conexões externas e nos modelos onde a conexão comum é soldada internamente, são cinco conexões externas. Os de oito conexões externas contêm a conexão em comum dos dois pólos separada e facilitam a ligação em série ou paralela das bobinas. Eles são chamados de unipolares e facilitam o projeto por não necessitar de ligação reversa nos pólos. Os modelos com cinco ou seis conexões têm as bobinas ligadas em série e necessitam da capacidade de reverter as ligações entre as bobinas.

Ligação reversa é um tipo de ligação muito comum entre motores onde os polos A e B das bobinas podem ser ligados ao positivo e negativo respectivamente, ou invertida, negativo e positivo respectivamente. Os motores de passo bipolar usam uma ligação por pólo, Figura 20, e necessitam que o circuito de controle possa reverter o sentido da corrente para acionar as bobinas de forma correta. Fonte: (FEIS UNESP, 2018)

Figura 20 - Motor de Passo Bipolar

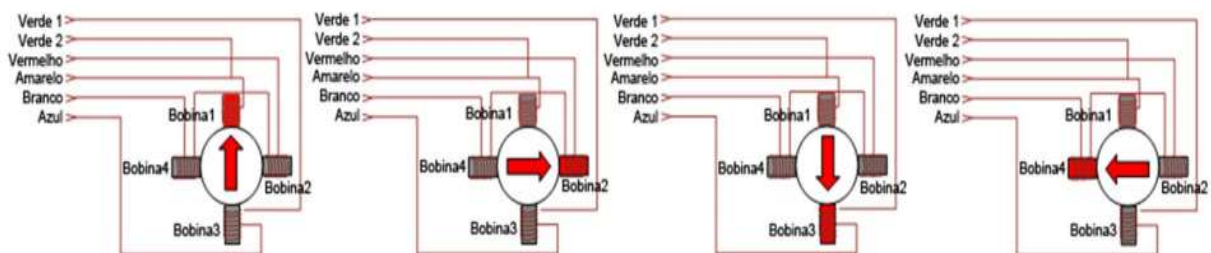


Fonte: (FEIS UNESP, 2018)

3.4.4 Tipos de ligação

Wave Drive - Liga uma bobina por vez, com menor consumo de energia, porém, com menor torque.

Figura 21 - Wave Drive



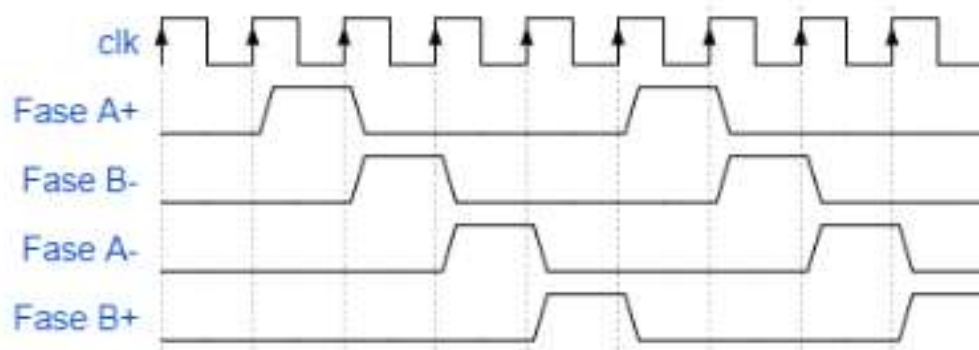
Fonte: (FEIS UNESP, 2018)

Tabela 4— Sequência de Controle Wave Drive

Nº do passo	B3	B2	B1	B0	Decimal
1	1	0	0	0	8
2	0	1	0	0	4
3	0	0	1	0	2
4	0	0	0	1	1

Fonte: (SANTOS, 2018)

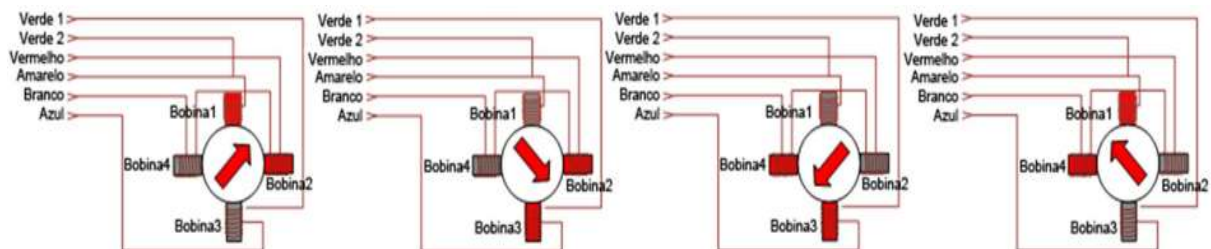
Figura 22 - Wave Drive - Uma Fase (one phase on)



Fonte: (Robo Core, 2018)

Full Drive - Liga duas bobinas por vez, com maior consumo de energia e maior torque.

Figura 23 - Full Drive



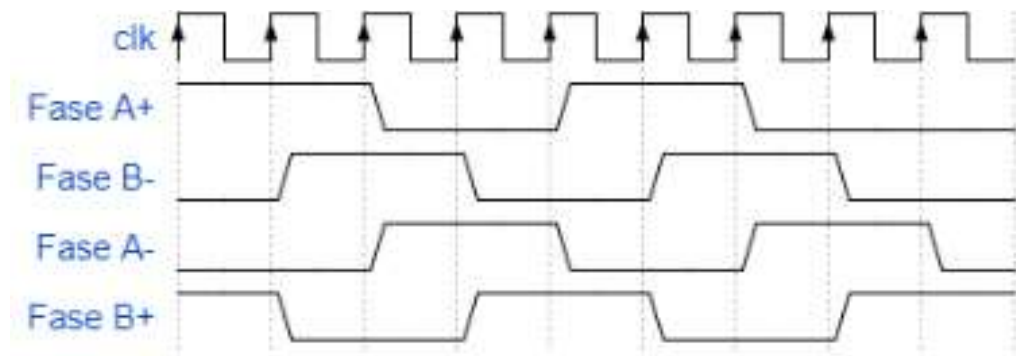
Fonte: (FEIS UNESP, 2018)

Tabela 5 – Sequência de Controle Full Drive

Nº do passo	B3	B2	B1	B0	Decimal
1	1	1	0	0	12
2	0	1	1	0	6
3	0	0	1	1	3
4	1	0	0	1	9

Fonte: (SANTOS, 2018)

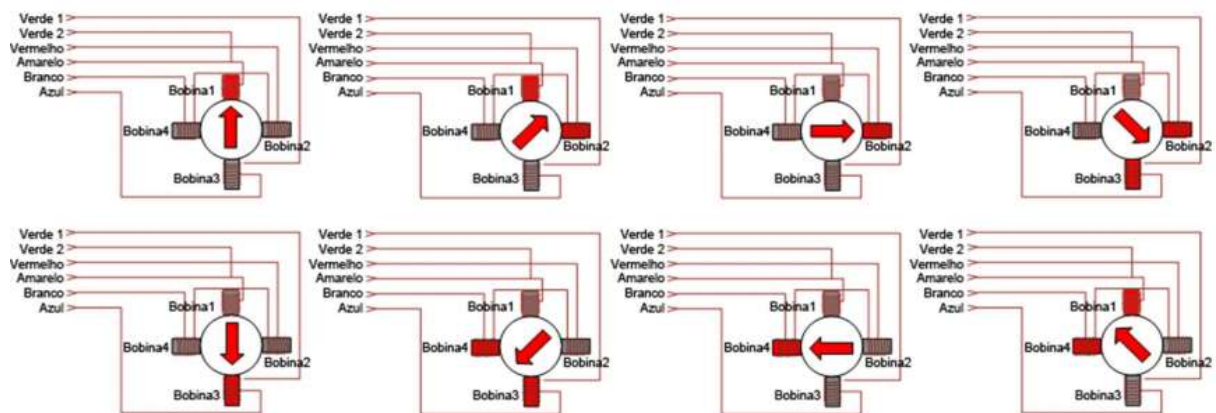
Figura 24 - Full Drive (Duas fases)



Fonte: (Robo Core, 2018)

Half Drive - Alterna a ligação de uma e duas bobinas por vez, dobrando a quantidade de passos necessários para o motor girar 360° , porém, é menos veloz.

Figura 25 - Half Drive



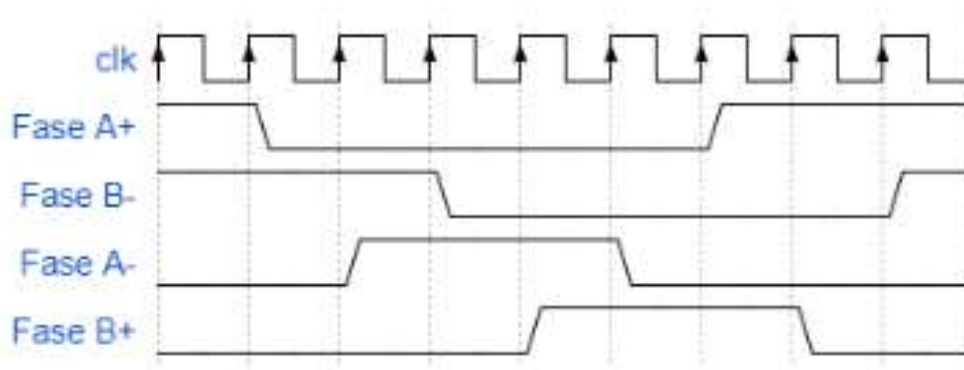
Fonte: (FEIS UNESP, 2018)

Tabela 6 – Sequencia de Controle Half Drive

Nº do passo	B3	B2	B1	B0	Decimal
1	1	0	0	0	8
2	1	1	0	0	12
3	0	1	0	0	4
4	0	1	1	0	6
5	0	0	1	0	2
6	0	0	1	1	3
7	0	0	0	1	1
8	1	0	0	1	9

Fonte: (SANTOS, 2018)

Figura 26 - Half Drive



Fonte: (Robo Core, 2018)

3.4.5 Modos de Passo

Os "modos de passo" do motor de passo incluem *Full*, *Half* e *Microstep*. O tipo de saída do modo de passo de qualquer motor de passo depende do design do driver. Muitos fabricantes oferecem driver's de motor de passo com modos de meia e meia etapa selecionáveis por chave, bem como unidades de *microstepping* com resoluções selecionáveis por chave ou selecionáveis por *software*.

3.4.5.1 Passo Completo

Os motores de passo híbridos padrão têm 200 dentes de rotor ou 200 passos completos por rotação do eixo do motor. Dividindo os 200 degraus no 360° de rotação é igual a um ângulo de degrau de $1,8^\circ$. Normalmente, o modo de passo completo é alcançado energizando os dois enrolamentos enquanto inverte a corrente alternadamente. Essencialmente, um pulso digital do driver é equivalente a um passo.

3.4.5.2 Meio Passo

Half step significa simplesmente que o motor de passo está girando a 400 passos por revolução. Neste modo, um enrolamento é energizado e então dois enrolamentos são energizados alternadamente, fazendo com que o rotor gire a metade da distância, ou $0,9^\circ$. Embora forneça aproximadamente 30% menos torques, o modo de meio passo produz um movimento mais suave do que o modo de passo total.

3.4.5.3 Microstep

Microstepping é uma tecnologia de motor de passo relativamente nova que controla a corrente no enrolamento do motor a um grau que subdivide ainda mais o número de posições entre os polos. As unidades de micro interrupção OMEGA são capazes de dividir uma etapa completa ($1,8^\circ$) em 256 *microsteps*, resultando em 51.200 passos por revolução ($0,007^\circ$ / etapa). *Microstepping* é normalmente usado em aplicações que exigem posicionamento preciso e movimentos mais suaves em uma ampla gama de velocidades. Como o modo de meio-passo, o *microstepping* fornece aproximadamente 30% menos torque que o modo *full-step*. (OMEGA, 2018)

3.4.6 Ressonância

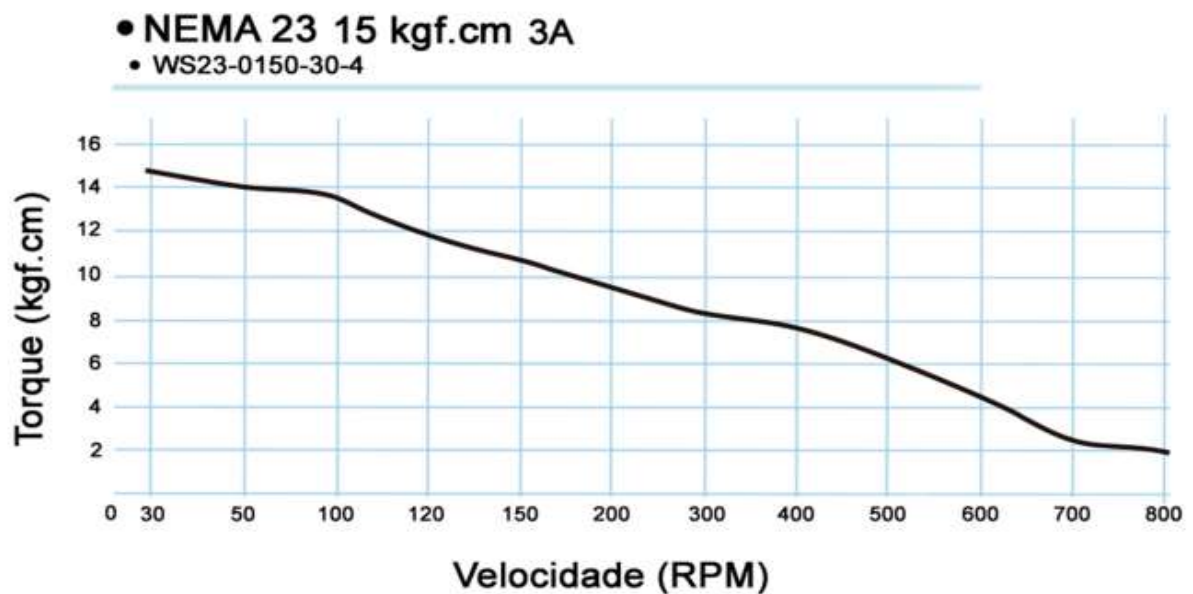
Os motores de passo possuem uma frequência de ressonância natural uma vez que pode ser modelado como um conjunto massa-mola. Quando se acionamento está próximo desta frequência pode ocorrer uma mudança audível no seu ruído bem como um aumento na sua vibração. Este ponto de ressonância varia com a aplicação e a carga, mas ocorre entre 70 a 120 passo por segundo. Em casos severos o motor pode perder passos nesta frequência. A forma de evitar este problema é evitar esta faixa de frequência. O acionamento por meio passo (*half*

stepping) e micro passos reduzem este tipo de problema. Em aceleração da velocidade, a zona de ressonância deve ser ultrapassada o mais rapidamente possível. (FEIS UNESP, 2018)

3.4.7 Escolhendo um Motor de Passo

A escolha de um motor de passo depende dos requisitos de torque e velocidade da aplicação. Utiliza-se a curva de velocidade de torque do motor (encontrada nas especificações de cada fabricante) para seleccionar um motor que fará o trabalho. Cada acionamento passo a passo mostra as curvas de velocidade de torque para os motores recomendados da unidade. (OMEGA, 2018)

Figura 27 - Curva de Velocidade e torque motor de passo



Fonte: (WOTIOM, 2018)

Como é possível observar no gráfico acima, quanto maior é o RPM, menor é o torque do motor independentemente do tipo da ligação. Em termos práticos, isso ocorre devido à inércia do rotor, que limita o seu tempo de resposta, comparado com o campo magnético gerado pelo estator. É por isso que os motores de passo não são recomendados para velocidades elevadas.

O torque é um detalhe importante no dimensionamento do motor de passo. Quando o eixo de um motor com escova, por exemplo, é travado, a corrente aumenta consideravelmente e é possível detectar a imobilidade. No caso do motor de passo, se o eixo for travado, o

acionamento continua igual, mas o rotor "pula" passos. Isso significa que o torque do motor de passo deve ser sempre superior ao esforço necessário, senão ele deixa de ser preciso e requer algum tipo de sensoramento, como um encoder.

Dimensionado o torque do motor de passo para o protótipo em questão, foi levando em consideração o peso estimado da estrutura de 10kg e da câmera 6 Kg (Anexo D). Sendo necessário um torque de 12 Kg.cm

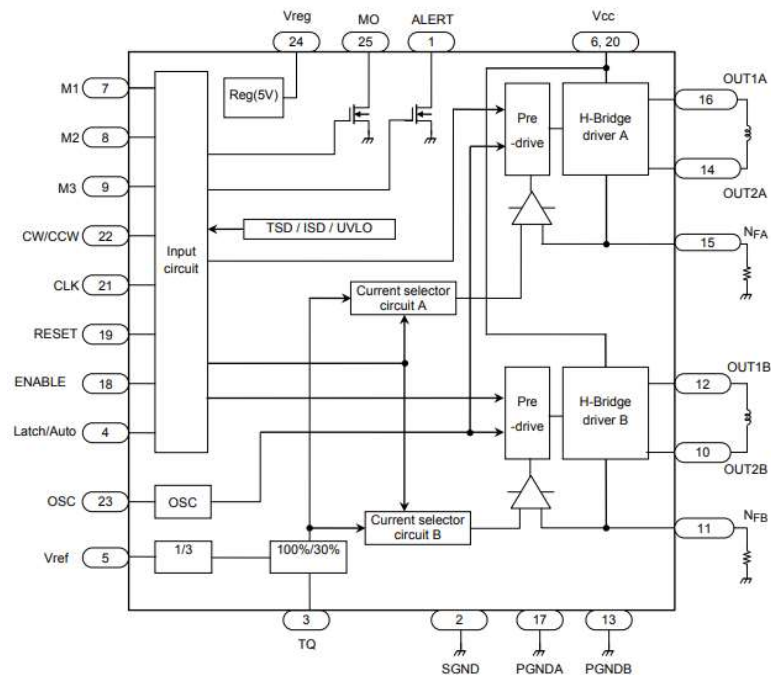
3.4.8 Visão geral da tecnologia do driver

Um driver é um circuito eletrônico responsável por amplificar sinais digitais de baixa potência para o acionamento de um atuador. Para o acionamento das bobinas de um motor de passo, os drivers são compostos por um sistema de chaveamento utilizando transistores ou MOSFETs formando uma ligação de ponte H (PAZOS, 2002)

Diversos fabricantes de semicondutores possuem Cis(circuitos integrados) específicos para o acionamento de motores de passo. A utilização deste tipo de componente resulta na simplificação do sistema de acionamento e facilita a integração com o sistema de controle.

O CI TB6600 fabricado pela Toshiba funciona por meio de duas pontes H, controladas por um sistema PWM que permite a configuração da largura de pulso de acionamento. Ainda permite a configuração do acionamento das bobinas dividindo em até 16 vezes o passo do motor, aumentando assim a sua resolução. A voltagem máxima de chaveamento é de 36 V e a corrente máxima de saída é de 4.5 A (TOSHIBA, 2018)

Figura 28 - Diagrama de Blocos CI 6600 Toshiba



Fonte: (TOSHIBA, 2018)

O driver do motor de passo recebe sinais de passo e direção do indexador ou do sistema de controle e os converte em sinais elétricos para executar o motor de passo. Um pulso é necessário para cada passo do eixo do motor. No modo de passo completo, com um motor padrão de 200 passos, são necessários pulsos de 200 passos para completar uma volta. A velocidade de rotação é diretamente proporcional à frequência de pulso. Alguns drivers possuem um oscilador on-board que permite o uso de um sinal analógico externo ou joystick para definir a velocidade do motor. (OMEGA, 2018).

O desempenho de velocidade e torque do motor de passo é baseado no fluxo de corrente do condutor para o enrolamento do motor. O fator que inibe o fluxo, ou limita o tempo necessário para a corrente energizar o enrolamento, é conhecido como indutância. Os efeitos da indutância, a maioria dos tipos de circuitos de acionamento são projetados para fornecer uma quantidade maior de tensão do que a tensão nominal do motor. Quanto maior a tensão de saída do driver, maior o nível de torque vs. velocidade. Geralmente, a tensão de saída do acionador (tensão de barramento) deve ser classificada de 5 a 20 vezes maior que a taxa de tensão do motor. Para proteger o motor de ser danificado, o acionamento do motor de passo deve ter limitação de corrente para a classificação de corrente do motor de passo. (OMEGA, 2018)

3.4.9 Efeito da Fonte de Alimentação nos Motores de Passo:

É sabido que o driver de motor de passo, mantém a corrente constante, ou melhor dizendo, para promover a transição da polaridade da bobina, o driver modula o sinal com a corrente transitando de zero a nominal ajustada no driver. Em tese, não há consumo de corrente acima da ajustada pelo driver. Uma boa fonte de alimentação tem a função de garantir a corrente e ofertar potência. Bem, até então, nenhuma novidade, mas é importante sabermos que uma fonte com tensão de corrente contínua (CC), maior facilita o motor de passo atingir a corrente máxima em tempos mais rápidos. Como resultado será possível atingir velocidades maiores com uma tensão CC maior. Na prática, considerando o mesmo motor, o mesmo driver, a mesma corrente, porém com alimentação CC diferente, teremos resultados diferentes. Por isso, a recomendação de usar uma fonte CC com uma tensão mais alta em aplicações que necessitam velocidades altas. Já para rotações abaixo de 4 RPS não se percebe a diferença. (KALATEC, 2018).

Levando em consideração o tempo para elaboração do projeto e o orçamento envolvido, todo o design do *Hardware* e o *Software* foi desenhado em uma plataforma open-Soure de *hardware* e *software* flexíveis e fáceis de usar.

Para a aplicação em questão fez se o uso do *Hardware* Arduino.

3.5 ARDUINO

Arduino é uma plataforma formada por dois componentes: A placa, que é o *Hardware* que será utilizado para construir projeto e o Arduino IDE, onde escreve-se o código de programação que é o *Software* onde todos os comandos são enviados ao *hardware*. Falando em termos práticos, o Arduino é um pequeno computador que pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos ligados a ele, interagindo com o ambiente por meio de *hardware* e *software*. Para programar o Arduino (fazer com que ele faça o que deseja) utiliza-se seu IDE (Ambiente Integrado de Desenvolvimento), que é um *software* onde podemos escrever um código numa linguagem semelhante a C/C++ que será traduzida, após a compilação, num código compreensível pelo Arduino. A maior vantagem dessa plataforma de desenvolvimento sobre as demais é a sua facilidade de utilização: (ARDUINO, 2018)

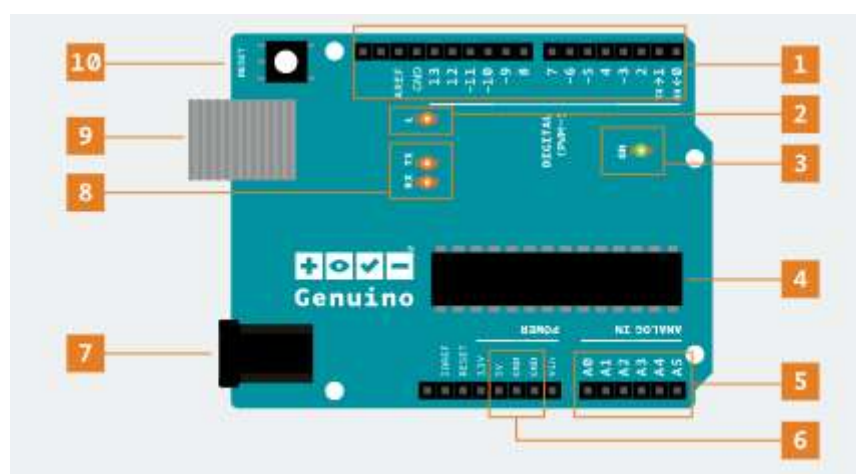
Figura 29 - Arduino Uno



Fonte: (ARDUINO, 2018)

O *hardware* do Arduino é simples, porém muito eficiente. Vamos analisar a partir desse momento o *hardware* do **Placa UNO Rev. 3**. Ele é composto pelos seguintes blocos:

Figura 30 - Arduino Uno



Fonte: (ARDUINO, 2018)

- 1. Pinos digitais
- 2. Pino 13 LED .
- 3. LED de energia Indica que está recebendo energia
- 4. Microcontrolador ATmega O coração da placa.
- 5. Pinos Analog in
- 6. GND e pinos de 5V Use esses pinos para fornecer energia de + 5V e aterramento

- 7. Conector de energia . Pode aceitar tensões entre 7-12V.
- 8. LEDs TX e RX Estes LEDs indicam a comunicação entre o Arduino o computador.
- 9. Porta USB
- 10. Botão Redefinir

3.5.1 Microcontrolador: (4)

Figura 31 - Microcontrolador



Fonte: (BAÚ DA ELÉTRICA, 2018)

Muito associado a processadores o microcontrolador é mais do que somente uma unidade central de processamento (CPU, do inglês *Central Processing Unit*), ele possui periféricos que o tornam capaz de exercer muitas funções sem depender de muitos outros componentes a ele conectados. Pode se dizer que um microcontrolador é uma espécie de computador, constituído de um processador (CPU), memória de armazenamento de programa, memória para armazenamento de variáveis, além de alguns possuírem periféricos para comunicação, conversão analógico/digital etc, e como um computador é programado por meio das chamadas linguagens de programação, como a linguagem C. (AURELIANO, 2018)

Esse é o cérebro do Arduino. Um computador inteiro dentro de um pequeno chip. Este é o dispositivo programável que roda o código que enviamos à placa.

Existem várias opções de marcas e modelos de microcontroladores, nessas placas foram adotados os microcontroladores da Microchip, que inicialmente eram produzidos pela Atmel, mas especificamente a linha ATmega. O modelo UNO, por exemplo, usa o microcontrolador ATmega328.

3.5.2 Conector USB: (7)

Conecta a placa ao computador. É por onde o computador e o Arduino se comunicam com o auxílio de um cabo USB, além de ser uma opção de alimentação da placa.

3.5.3 Pinos de Entrada e Saída: (1 e 5)

Pinos que podem ser programados para agirem como entradas ou saídas fazendo com que o Arduino interaja com o meio externo. O UNO R3 possui 14 portas digitais (I/O), 6 pinos de entrada analógica e 6 saídas analógicas (PWM).

3.5.4 Pinos de Alimentação: (6)

Fornecem diversos valores de tensão que podem ser utilizados para energizar os componentes do seu projeto. Devem ser usados com cuidado, para que não sejam forçados a fornecer valores de corrente superiores ao suportado pela placa.

3.5.5 Botão de Reset: (10)

Botão que reinicia a placa.

3.5.6 Conversor Serial-USB e LEDs TX/RX: (8)

Para que o computador e o microcontrolador conversem, é necessário que exista um chip que traduza as informações vindas de um para o outro. Os LEDs TX e RX acendem quando o Arduino está transmitindo e recebendo dados pela porta serial respectivamente.

3.5.7 Conector de Alimentação: (7)

Responsável por receber a energia de alimentação externa, que pode ter uma tensão de no mínimo 7 Volts e no máximo 20 Volts e uma corrente mínima de 300mA. Recomendamos 9V, com um pino redondo de 2,1mm e centro positivo. Caso a placa também esteja sendo alimentada pelo cabo USB, ele dará preferência à fonte externa automaticamente.

3.5.8 LED de Alimentação:(3)

Indica se a placa está energizada.

3.5.9 LED Interno: (2)

LED conectado ao pino digital 13.

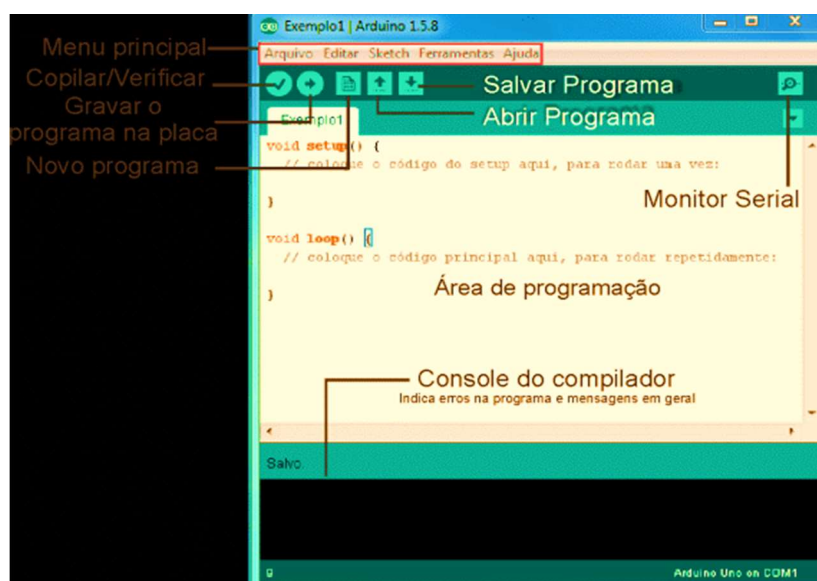
3.5.10 Especificações da placa:

Nesta placa o microcontrolador ATmega328 é utilizado, estes dispõem de 32kb de memória flash e 2kb de SRAM. De maneira simples a memória flash é o local na qual nosso programa será salvo, já a SRAM é a memória na qual nossas variáveis serão salvas. A diferença básica entre esses dois tipos de memória é que a flash não perde seus dados caso o Arduino seja desligado ou reiniciado o mesmo não é válido para a SRAM. (VIDA DE SILICIO, 2018)

3.5.11 IDE do Arduino

Em resumo, é um programa simples de se utilizar e de entender com bibliotecas que podem ser facilmente encontradas na internet. As funções da IDE do Arduino são basicamente três: permitir o desenvolvimento do *software*, de enviá-lo à placa para que possa ser executado e de interagir com a placa Arduino.

Figura 32- IDE Arduino



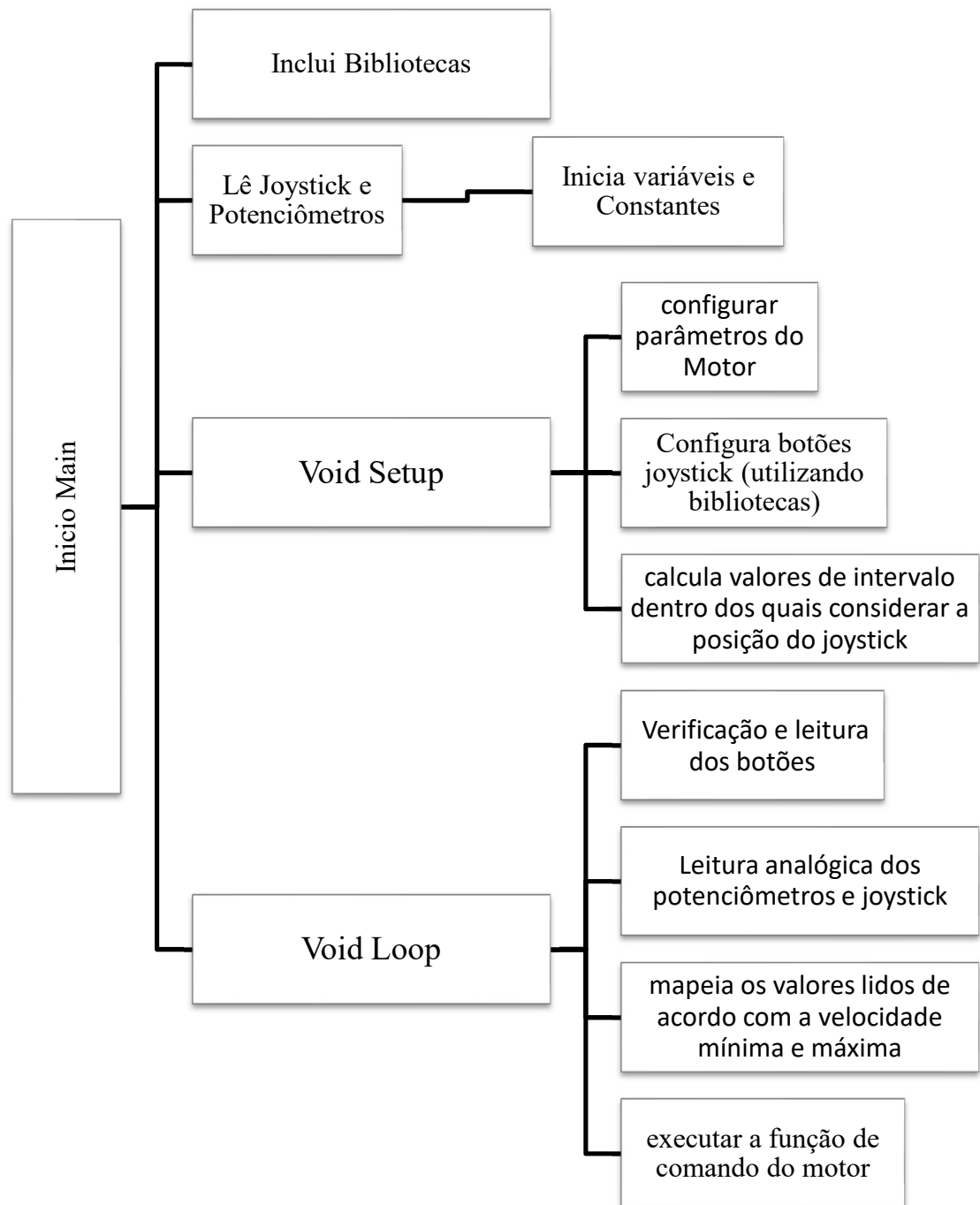
Fonte: (VIDA DE SILICIO, 2018)

3.6 *SOFTWARE*

O *Software* foi desenvolvido no ambiente integrado do Arduino, que por fim se conecta ao *hardware* do Arduino que carrega o programa e se comunica com ele.

Elaborou-se um fluxograma do programa afim de uma melhor compreensão do funcionamento do *software*. Segue na Figura 33.

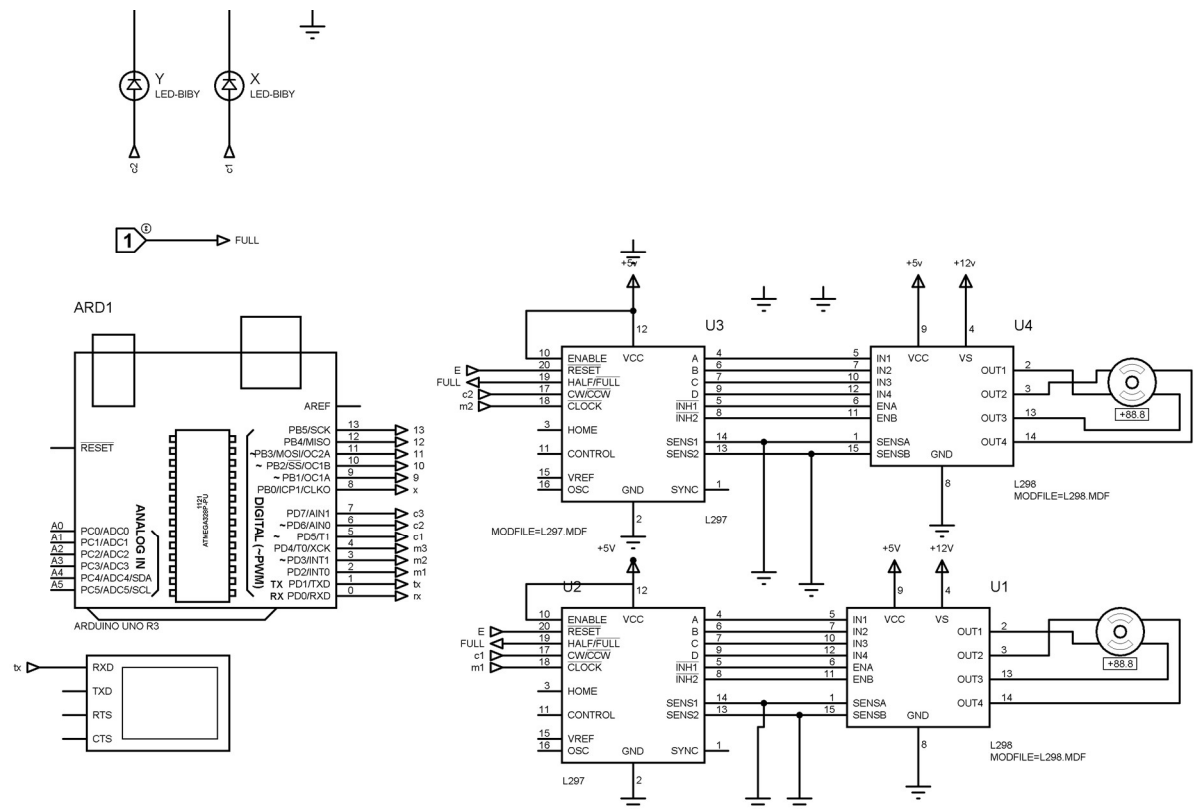
Figura 33 - Fluxograma Software



A finalidade do *software* é integrar-se com a planta e o *Hardware* proporcionando ao usuário facilidade na operação do robô, com comandos manuais por meio de joystick e potenciômetros, os mesmos definem a velocidade, aceleração e direção da câmera.

Antes de iniciar integração do *software* ao *hardware*, fez-se uso de uma ferramenta de simulação computacional para auxiliar na montagem circuito eletrônico e no dimensionamento ideal dos componentes eletrônicos. Abaixo na Figura 34 confere-se a simulação efetuada para o controle de dois motores de passo.

Figura 34 - Proteus Simulação de Circuitos



Fonte: Próprio Autor

3.7 AMBIENTE DE SIMULAÇÃO *PROTEUS*

O *software* do *PROTEUS VSM* é uma ferramenta ideal para os estudantes e profissionais que desejam desenvolvimento de aplicações analógicas e digitais. Ele permite desenvolvimento completo de projetos através esquemáticos, simulações e layout's (PCB).

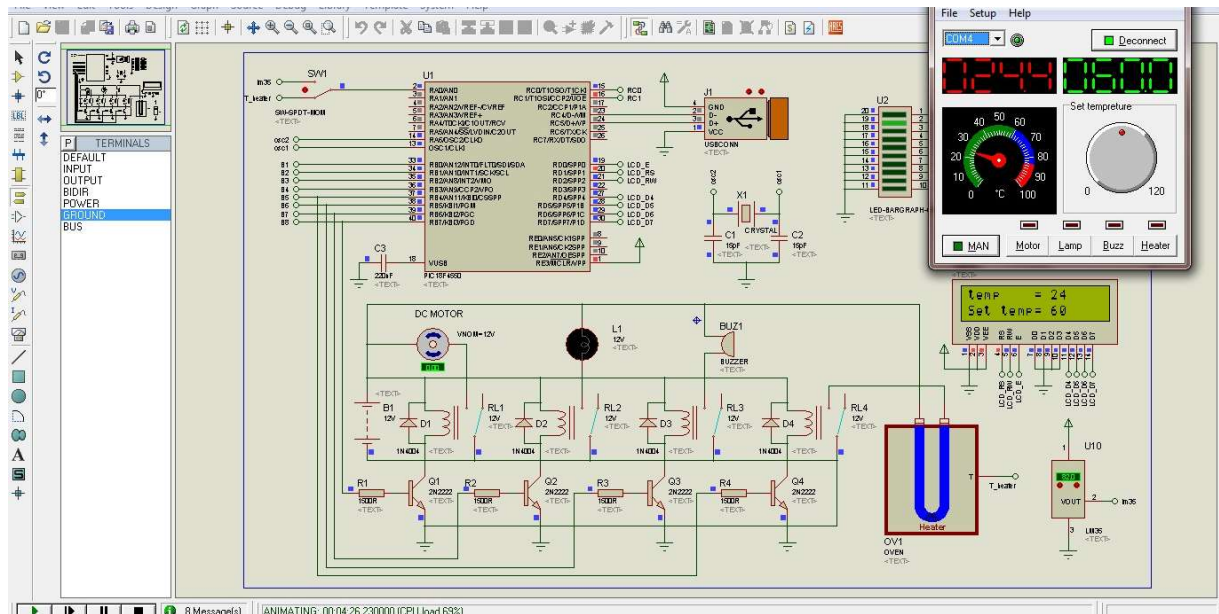
O grande diferencial do *PROTEUS* com relação a outros *softwares* é a capacidade de simular circuitos elétricos e circuitos microcontrolados, pois além de fornecer componentes animados, também possui as ferramentas necessárias para depurar o *software* desenvolvido para o microcontrolador, acompanhando seu comportamento na simulação do *hardware*. No *PROTEUS*, quatro módulos trabalham em conjunto fornecendo todas as ferramentas necessárias para o processo de desenvolvimento, veja abaixo quais são eles:

- **ISIS – *Intelligent Schematic Input System*** (Sistema de entrada de esquemático inteligente) Ferramenta para desenvolvimento de esquemáticos, sendo possível gerar projetos e relatórios, entre outras funcionalidades relativas a desenvolvimento de esquemáticos.
- **VSM – *Virtual System Modeling*** (Modulação de Sistema Virtual) Este módulo é responsável pelas simulações e animações de componentes e, principalmente, na utilização de microcontroladores, já que é através desta tecnologia que é possível emular microcontroladores no *PROTEUS*. O VSM trabalha em conjunto com o ISIS, permitindo que diretamente no esquemático sejam utilizados componentes animados, como motores, led's, display's, etc.
- **PRO-SPICE – *SPICE3F5*** para simulação matemática O PRO-SPICE também trabalha em conjunto com o ISIS, utilizando modelos matemáticos SPICE, permitindo que na simulação sejam utilizados instrumentos e gráficos.
- **ARES – *Advanced Routing and Editing Software*** (Roteamento Avançado e Edição de *software*) O desenvolvimento de layout's (PCB) é realizado no ARES, onde através de uma interface própria, podemos importar o netlist do ISIS, definir padrão de trilhas, pad's, vias, etc. O ARES permite desenvolver projetos de um até 16 layers, roteamento automático, auto-placement, etc.

Quatro módulos trabalham no *PROTEUS*, efetivamente têm dois ambientes de trabalho, sendo o ISIS responsável pelo esquemático, simulação e animação de componentes e o ARES ferramenta para o desenvolvimento do layout.

O *software* de desenho e simulação *PROTEUS VSM* é uma ferramenta útil. Ele permite o desenho de circuitos empregando um entorno gráfico no qual é possível colocar os símbolos representativos dos componentes e realizar a simulação de seu funcionamento sem o risco de ocasionar danos aos circuitos.

Figura 35- Ambiente de Simulação *PROTEUS*



Fonte: (LABCENTER, 2018)

A simulação pode incluir instrumentos de medição e a inclusão de gráficos que representam os sinais obtidos na simulação. (ANACOM ELETRÔNICA LTDA, 2018).

O que mais interesse despertou é a capacidade de simular adequadamente o funcionamento dos microcontroladores mais populares (PICS, ATMEL-AVR, etc.)

Também tem a capacidade de passar o desenho a um programa integrado chamado ARES no qual se pode levar a cabo o desenvolvimento de placas de circuitos impressos.

4 DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA MECÂNICA

Antes de realizar-se o desenvolvimento e a construção do protótipo da cabeça remota, foi efetuado uma pesquisa afim de verificar normas que regem a construção desse tipo de equipamento. Foi constatado que não normas específicas que regulamentam a construção do mesmo. Da mesma maneira que nenhuma norma ativa esta catalogada na lista da ABNT.

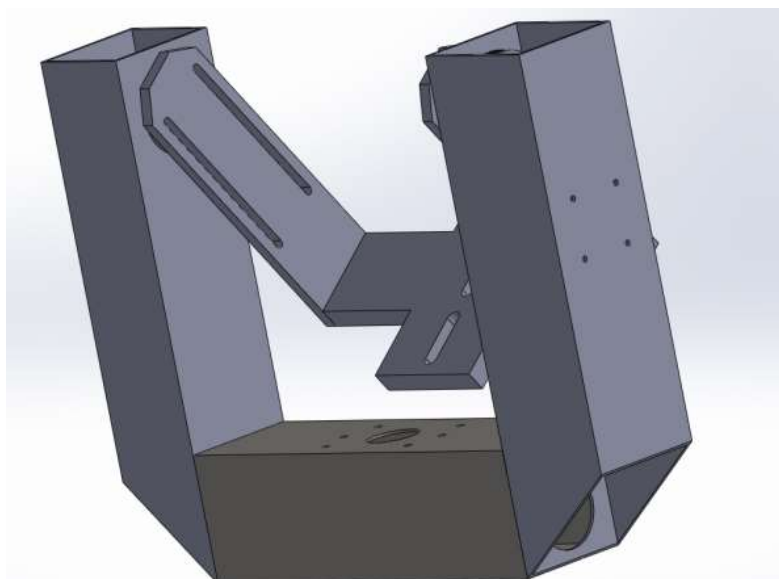
Com dados disponíveis como o peso e dimensão da câmera a ser utilizada no protótipo (ANEXO D), foi projetado uma estrutura mecânica em *software* 3D *Solidworks* conforme a Figura 36.

4.1 SOLIDWORKS

SolidWorks é um software de CAD (*computer-aided design*), desenvolvida pela *SolidWorks Corporation*, adquirida em 1997 pela *Dassault Systèmes S.A.*

O *SolidWorks* baseia-se em computação paramétrica, criando formas tridimensionais a partir de formas geométricas elementares. No ambiente do programa, a criação de um sólido ou superfície tipicamente começa com a definição de topologia em um esboço 2D ou 3D. A topologia define a conectividade e certos relacionamentos geométricos entre vértices e curvas, no esboço e externos ao esboço. (SOLIDWORKS, 2018)

Figura 36 - Modelagem mecânica 3D



Fonte: Próprio autor

O desenvolvimento de um projeto é iniciado com sua planificação, dividindo suas etapas em tarefas para o alcance do melhor resultado. Esta divisão de tarefas, também chamada de mapeamento de processos. A imagem abaixo mostra o mapeamento de processos do projeto.

Figura 37 - Mapeamento de Etapas de Projeto Mecânico



Fonte: Próprio Autor

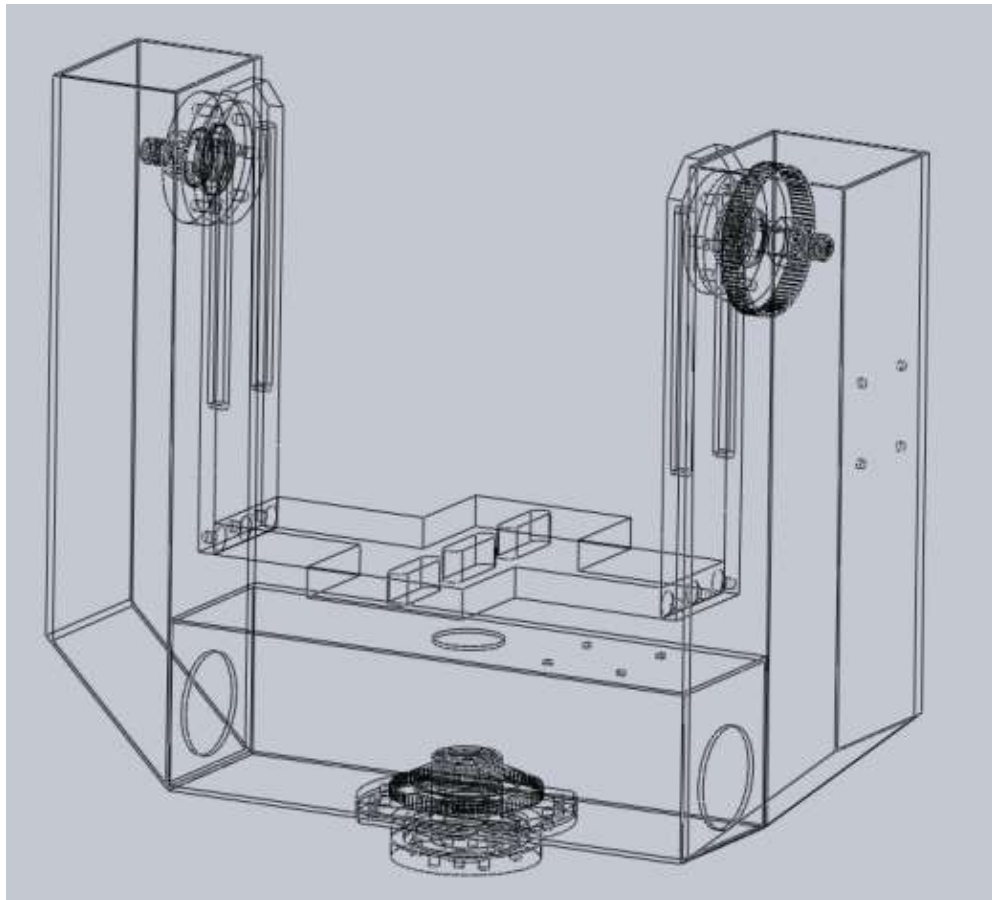
O dimensionamento e escolha de matérias de todas as peças envolvidas na construção do equipamento se deu por meio de cálculos matemáticos efetuados em *software*.

Depois de testes de esforço mecânico e de movimento, chegou-se à conclusão que o material ideal a ser utilizado para construir o protótipo, é o alumínio. Em termos de comparação, o aço é mais resistente e mais pesado. Já o alumínio tem um pouco menos de resistência, porém é mais leve e apresenta maior versatilidade. No entanto, o alumínio é mais caro que o aço. Para se ter uma ideia, no projeto de uma mesma plataforma em alumínio e aço,

serão obtidos custos diferentes: o alumínio pode ser cerca de 10 a 15% mais caro que o aço. Porém, o uso do alumínio compensa por suas inúmeras vantagens. (SIEMBRA, 2018).

A primeira peça a ser construída é a estrutura U que é a base onde serão fixados todos os componentes mecânicos responsáveis pelos movimentos dos eixos *pan & tilt*, Como os eixos, rolamentos e engrenagens.

Figura 38 – Projeto Protótipo Em *SOLIDWORKS* (vista invisível)



Fonte: Próprio Autor

Definido todo o projeto (ANEXO B), partiu-se para a construção mecânica do Perseu onde o objetivo final é a obtenção de um produto com qualidade de movimentação e confiabilidade na operação, onde o mesmo deve ser leve. Que posteriormente pode ser implantando em diversas variações de equipamentos auxiliares como grua de filmagem, tripé de câmera e *Traveling* robótico.

Figura 39 - Grua de Filmagem Com Cabeça Robótica



Fonte: (EGRIPMENT, 2018)

No início da construção deste protótipo constatou-se algumas dificuldades, pois o processo de fabricação compreende algumas variáveis que não estão incluídas no projeto, como a variação dos materiais (matéria prima, aço e alumínio), ferramentas e máquinas disponíveis para a usinagem do mesmo.

Em reunião com a equipe envolvida no projeto, optou-se por construir uma planta mecânica toda em ferro idêntica ao protótipo final, pois a matéria prima que é o ferro tem um custo acessível, assim abrindo uma margem para erro até encontrar as melhores dimensões por meio de testes prático.

Por meio de testes e mudanças no projeto inicial que foram efetuados na estrutura construída em ferro, em 60 dias chegou-se na arquitetura mecânica ideal. Onde obteve-se melhores resultados no quesito movimento e suavidade.

Figura 40 - Cabeça Remota em Ferro



Fonte: Próprio Autor

Figura 41 - Eixos e Rolamentos do Protótipo



Fonte: Próprio Autor

A precisão e suavidade dos movimentos de *pan & tilt* atenderam aos requisitos do projeto, porem o peso da estrutura ficou muito acima do padrão que exige a indústria cinematográfica. A estrutura ficou com 17kg.

Com todas as peças em dimensão real construídas em ferro, procedeu-se a construção do mesmo em material alumínio.

Figura 42 - Cabeça Remota em Alumínio



Fonte: Próprio Autor

Como pode-se ver na Figura 42 o peso da estrutura diminuiu aproximadamente 7 kg . uma redução considerável.

Uma placa adaptadora deslizante de 16mm balanceia a câmera para frente e para trás, para cima e para baixo, ajustando o posicionamento do centro de gravidade. Conforme a Figura 43.

Figura 43 - Placa Deslizante de Balanceamento



Fonte: Próprio Autor

4.2 DESENVOLVIMENTO ELETRONICO

Antes de executar a montagem física do circuito, inicia-se a simulação via *software* a fim de obter os resultados desejados, antecipando o funcionamento do projeto, sendo assim ganha-se eficiência na construção do mesmo, pois na simulação a um entendimento melhor do circuito, localizando de maneira fácil problemas no funcionamento do mesmo.

Figura 45 - Teste do *Hardware* e *Software*



Fonte: Próprio Autor

Posteriormente foi construído a placa PCB, em ambiente de *software protheus*.

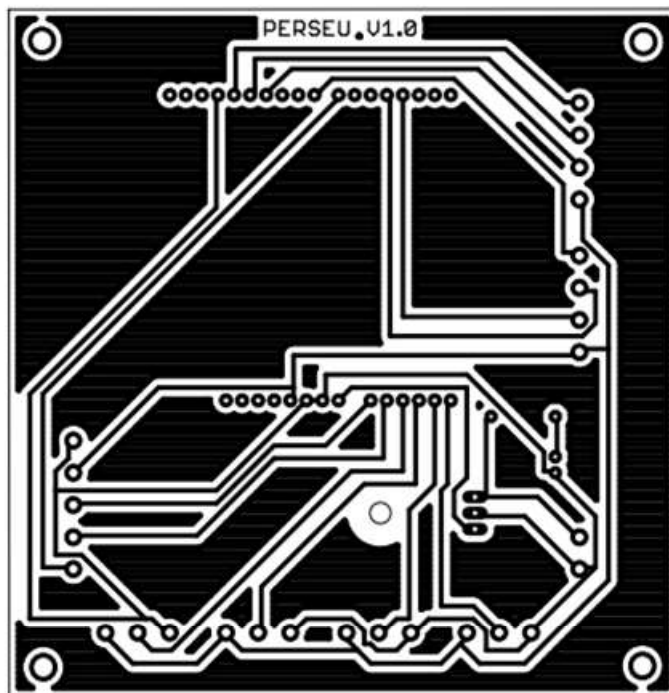
Sendo uma das mais eficientes atualmente, a placa PCB tem esse nome para abreviar a expressão inglesa *Printed Circuit Board*, que significa justamente placa de circuito impresso. Ela apresenta ainda diversos benefícios para os equipamentos onde são instaladas, começando por sua versatilidade.

É na placa PCB profissional que serão montados e soldados os diversos componentes do projeto eletrônico. As tecnologias mais comuns são face simples e dupla face, porém é possível produzir placas de circuito impresso com diversas camadas internas. O aspecto visual será o mesmo, sendo possível ver apenas as duas camadas externas, porém é possível minimizar e otimizar os circuitos eletrônicos interligando diversas camadas com furos ou vias de passagem.

Esse fato traz muito mais segurança e eficiência para o projeto. Também aumenta a sua versatilidade, podendo ser utilizadas em diversos tipos de equipamentos. (MICROPRESS, 2018)

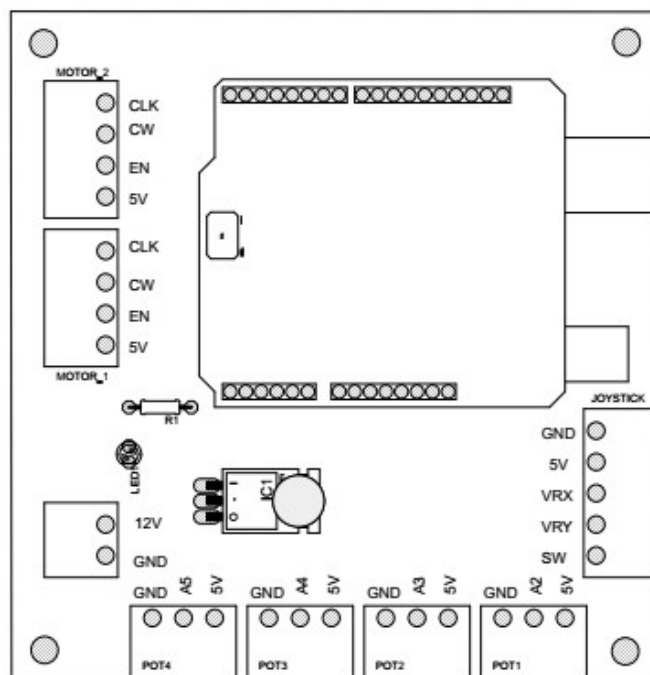
Para a construção e impressão da placa PCB, contou-se com a ajuda do Co Orientador: Prof. Me. Marcos Tonon que prontamente ajudou no projeto e fabricação.

Figura 46 - PCB Impresso Em Fenolite



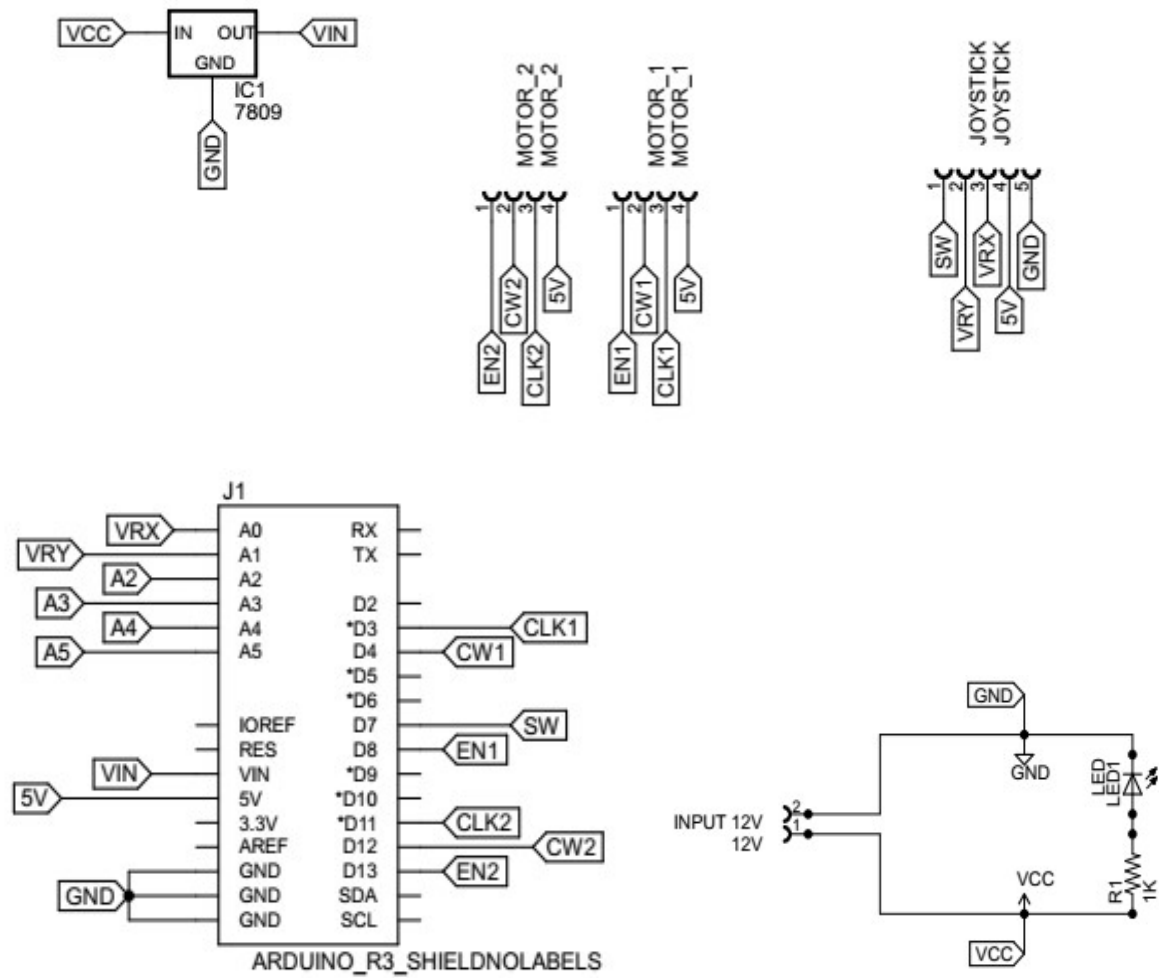
Fonte: Próprio Autor

Figura 47 - PCB Vista dos Componentes



Fonte: Próprio Autor

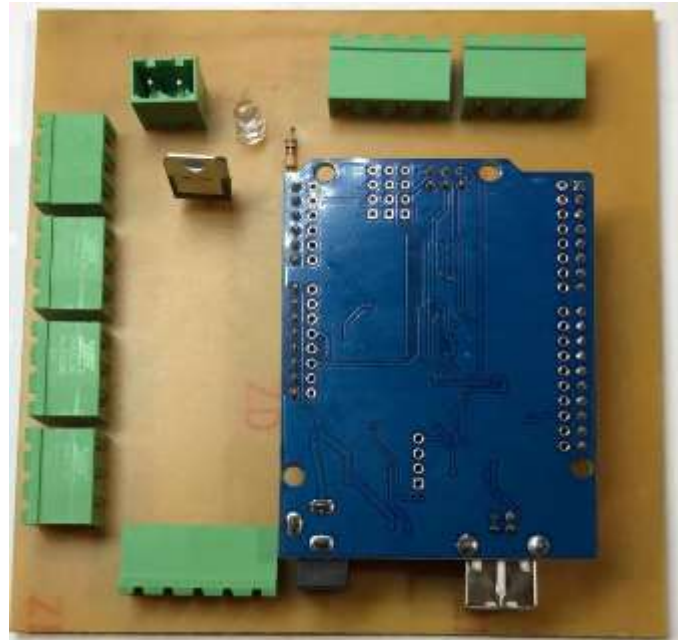
Figura 48 - Componentes Empregados a Placa PCB



Fonte: Próprio Autor

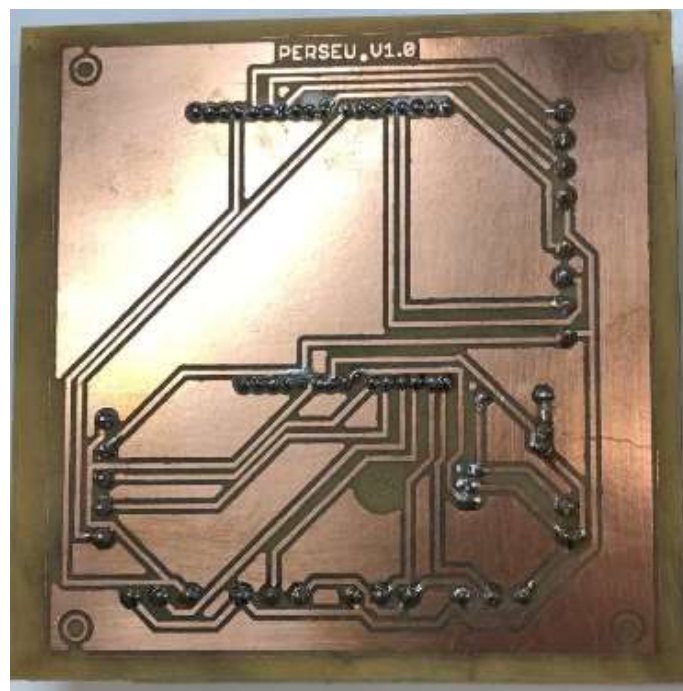
Em seguida foi soldado todos os componentes eletrônicos do projeto na placa conforme a Figura 49 e 50.

Figura 49 - PCB Finalizada (Vista Superior).



Fonte: Próprio Autor

Figura 50 - PCB Finalizada (Vista Inferior).

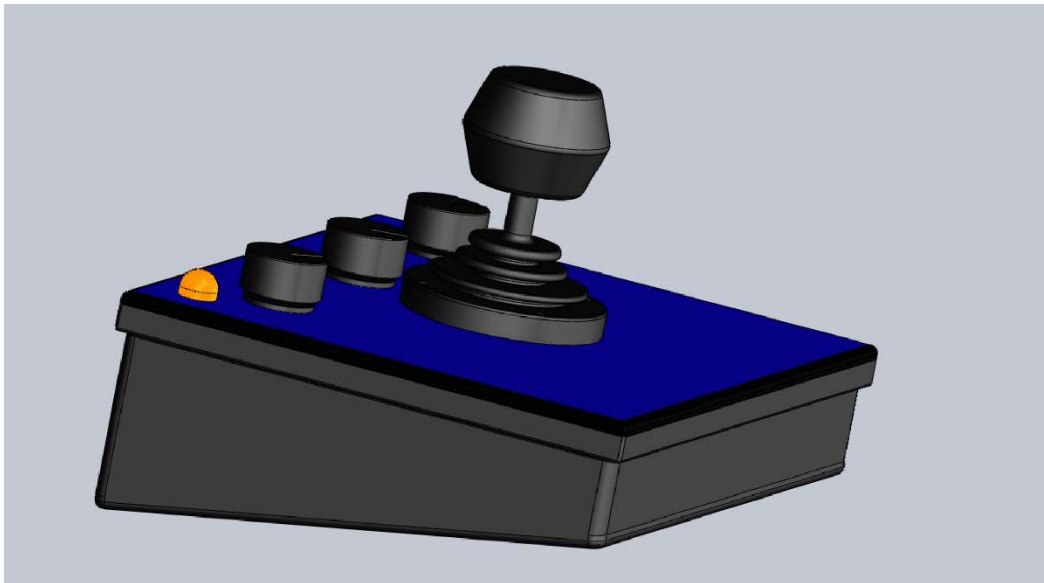


Fonte: Próprio Autor

Esta placa foi adicionada a um painel de controle móvel, onde se dá os comandos de movimento do protótipo.

O controle de velocidade altamente variável pode ser obtido operando o *joystick* e os controles de velocidade de *pan & tilt*.

Figura 51 - Projeto do Controle *PERSEU* (Solidworks)



Fonte: Próprio Autor

Finalizamos com êxito a construção mecânica do robô e a integração entre os componentes eletrônicos do projeto. Assegurando um equilíbrio, evitando o travamento do motor e da unidade durante os movimentos de inclinação, o *PERSEU* oferece trabalho de câmera suave em todos os momentos.

A Viabilização do protótipo em questão só se deu, por conta de uma parceria firmada com o Studio de produção da Igreja Assembleia de Deus ADCTV – Criciúma /SC, onde o projeto, os materiais, os componentes eletrônicos, e a mão de obra da construção foi toda custeada pelos mesmos. No **ANEXO A** encontra-se a lista de custo, com todos os itens do projeto. A Parceria tornou-se viável pois um equipamento semelhante fez-se necessário nas produções ao vivo. O Perseu será utilizado nas transmissões dos cultos e será uma ferramenta importante na captação de imagens.

5 CONCLUSÃO

O trabalho atendeu aos objetivos, onde:

Foi definido a estrutura mecânica e os motores que foram acoplados nas articulações, a implementação e escolha da arquitetura do sistema eletrônico necessário para o controle adequado dos motores em malha aberta foi concluída com êxito, pôr fim a construção do protótipo, onde nesta etapa alguns problemas atrasaram o prazo final de conclusão, cita-se aqui:

A abertura do motor de passo para a usinagem. Afim de não efetuar o mesmo processo nas engrenagens de redução, optou-se por fazer no eixo do motor, porem o processo não pode ser feito sem o uso de ferramentas adequadas, por conta da magnetização do seu núcleo, conforme o fabricante:

Por seu ROTOR ser magnetizado, recomendamos aos usuários de MOTORES DE PASSO que nunca os desmontem, pois, no momento em que o ROTOR se separar do ESTATOR, cerca de 40% da sua força magnética será perdida. (FLATECK, 2018).

Problemas relacionado ao drive do motor de passo *Microsteps*. De inicio optou-se pelo drive Toshiba TB6600 com uma resolução máxima de 1/16, mas devido a ruídos indesejáveis fez-se necessário um drive de maior resolução, levando em consideração a viabilidade econômica do projeto, optou-se pelo drive WOTION WD-56, com uma resolução mais fina, chegando a 1/256, sendo que cada passo será dividido em 256 vezes, trazendo mais precisão e suavidade ao *PERSEU*.

A maquete do protótipo foi alterada diversas vezes, iniciando-se com um modelo de ferro, onde constatou-se que o peso seria um problema, e foi evoluindo até chegar-se em um modelo de alumínio, mais leve que o modelo inicial e com um melhor acabamento estético.

Afim de um produto de maior qualidade, alterações no modelo mecânico e eletrônico serão feitas no projeto futuro, deve-se implementar um sistema em malha fechada, *encoder's* serão incluídos, afim de realimentar o sistema, para posteriormente salvar posições, para que com apenas um comando o operador possa replicar movimentos complexos, antes armazenados na memória do equipamento. Buscamos um microcontrolador, mais versátil onde o controle pode ser feito a distância, sem a necessidade de cabos interligando o controlador até a cabeça.

No modelo mecânico pesquisas irão continuar buscando diminuir o peso do equipamento.

O trabalho vai prosseguir a fim de ser aprimorado, mas firma-se que a finalidade, baseados na nos modelos de cabeça remota existentes no mercado, apresentando suas características mecânicas, materiais, procedimentos para escolha de arquitetura ideal, desenvolvimento do modelo em *software* 3D *SolidWorks*, construção de um protótipo e desenvolvimento de um programa básico de acionamento e controle dos motores, tenham sido atendidos.

6 REFERÊNCIAS

- FEIS UNESP. (06 de Outubro de 2018). *Feis Unesp*. Fonte: <http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/aula3-motor-de-passo-2013-1-13-03-2013-final.pdf>
- KALATEC. (06 de Outubro de 2018). *Kalatec Automação*. Fonte: <http://www.kalatec.com.br/definicao-de-motor-de-passo/>
- MERCADO DIRETO. (05 de Maio de 2018). Acesso em 05 de Maio de 2018, disponível em Mercado Direto: www.mercadodireto.com/express/finalcostcalculatorcatpage.asp
- OMEGA. (10 de Outubro de 2018). *Omega*. Fonte: Omega: https://www.omega.com/prodinfo/stepper_motors.html
- REDUTORESIBR. (14 de Novembro de 2018). Fonte: <http://www.redutoresibr.com.br/pt/Noticia/como-se-calcula-a-rpm-em-polias-e-engrenagens->
- VIDA DE SILICIO. (06 de Outubro de 2018). Fonte: Vida de Silicio: <https://portal.vidadesilicio.com.br/o-que-e-arduino-e-como-funciona/>
- AFONSO, A. P. (14 de Novembro de 2018). *Sistemas de Controle*. Fonte: <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAenKIAE/sistemas-controle>
- ALAMI, M. (07 de Novembro de 2018). Fonte: http://www.codinglabs.net/article_world_view_projection_matrix.aspx
- ANACOM ELETRÔNICA LTDA. (10 de Outubro de 2018). *Apostila Proteus*. Fonte: ANACOM ELETRÔNICA LTDA: http://www.eletrojota.com.br/Download/Aquivos%20para%20DOWLOADS/MANUAIS%20Proteus_Anacon.pdf
- ANCINE. (2016). *A economia criativa e o mercado audiovisual*. Rio de Janeiro: Observatório Brasileiro do Cinema e do Audiovisual – OCA. Fonte: BNDS: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/animacao-audiovisual>
- ARDUINO. (05 de Outubro de 2018). Fonte: www.arduinoportugal.pt
- ARDUINO. (20 de junho de 2018). Acesso em 20 de Junho de 2018, disponível em <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>
- AURELIANO, A. (17 de Junho de 2018). Acesso em 17 de Junho de 2018, disponível em <https://fiozera.com.br/microcontroladores-914a59cbf7de>
- AURELIANO, A. (17 de Junho de 2018). Fonte: <https://fiozera.com.br/microcontroladores-914a59cbf7de>
- BAÚ DA ELÉTRICA. (17 de Junho de 2018). Acesso em 17 de Junho de 2018, disponível em Baú da Elétrica: <http://www.baudaeletronica.com.br/motores/motor-de-passo>
- BAÚ DA ELÉTRICA. (17 de Junho de 2018). Fonte: <http://www.baudaeletronica.com.br/motores/motor-de-passo>

- BH VIDEO. (05 de Maio de 2018). Acesso em 05 de Maio de 2018, disponível em BH Video: www.bhphotovideo.com/c/product/658862-REG/VariZoom_VZCINEMAPRO_K1_CinemaPro_Talon_Master_Motion.html).
- CABRAL, P. (17 de NOVEMBRO de 2018). Fonte: www.hipercultura.com/mitologia-aventuras-perseu/
- CALEIRO, J. P. (19 de Junho de 2018). Fonte: Exame Abril: <https://exame.abril.com.br/economia/de-bolly-a-nollywood-as-4-megaindustrias-de-cinema-do-mundo/>
- CARRARA, V. (14 de Novembro de 2018). *UDESC*. Fonte: http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/silas/materiais/Apostila_de_Robotica.pdf
- EGRIPMENT. (14 de Novembro de 2018). Fonte: egripment.com/products/cranes/tdt/
- FLATECK. (04 de DEZEMBRO de 2018). *MOTOR DE PASSO*. Fonte: <http://www.flateck.com.br/servicos/detalhe/motor-de-passo/>
- GLOBO. (19 de Junho de 2018). *O globo*. Fonte: <https://oglobo.globo.com/cultura/filmes/os-filmes-brasileiros-mais-caros-nos-ultimos-20-anos-14681635>
- LABCENTER. (10 de Outubro de 2018). *Labcenter*. Fonte: [Labcenter: https://www.labcenter.com/](https://www.labcenter.com/)
- MENDONÇA, C. (19 de Novembro de 2018). Fonte: www.ufjf.br/joaouxiii/files/2009/02/dinamica-das-rotacoes.pdf
- MICROPRESS. (14 de Novembro de 2018). Fonte: <http://www.micropress.com.br/informacoes/placa-pcb-profissional.php>
- MOTA, A. (19 de Junho de 2018). Acesso em 19 de Junho de 2018, disponível em Portal vida de Silício: <https://portal.vidadesilicio.com.br/driver-motor-com-ponte-h-l298n/>
- NEXXIS. (19 de Novembro de 2018). Fonte: <https://nexxis.com.au/product/ca-zoom-ptz-100-camera/>
- PAZOS, F. (2002). *Automação de sistemas e robótica*. Rio de Janeiro: AXCEL BOOKS. Fonte: Automação de sistemas e robótica.
- REIS, F. (17 de Junho de 2018). *boson treinamentos*. Fonte: boson treinamentos: <http://www.bosontreinamentos.com.br/eletronica/curso-de-eletronica/como-funciona-uma-ponte-h-controle-direcional-de-motores-dc/>
- RISTOW, F. (19 de Junho de 2018). Fonte: O Globo: <https://oglobo.globo.com/cultura/filmes/apesar-de-producao-recorde-brasileiro-ainda-ve-pouco-filme-nacional-21055382>
- Robo Core. (06 de Outubro de 2018). *Tutorial Motor de Passo*. Fonte: <https://www.robocore.net/tutorials/97.html>

- SANTOS, F. B. (2018). *Programa de Educação Tutorial PET-TELE*. Niterói, RJ: Universidade Federal Fluminense.
- SIEMBRA. (21 de Outubro de 2018). Fonte: <https://www.siembra.com.br/noticias/qual-o-perfil-ideal-para-o-seu-projeto-aco-ou-aluminio/>
- SILVEIRA, C. B. (17 de Junho de 2018). Fonte: Citisystems: <https://www.citisystems.com.br/motor-cc/>
- SIQUEIRA, A. A. (19 de Novembro de 2018). Fonte: <http://www.mecatronica.eesc.usp.br/wiki/upload/4/46/Aula3IRI2009.pdf>
- SOLIDWORKS. (18 de Novembro de 2018). Fonte: www.solidworks.com
- SONY. (14 de Novembro de 2018). Fonte: <https://pro.sony/s3/cms-static-content/file/56/1237485156256.pdf>
- TECNOMULTIMIDIA. (19 de junho de 2018). Fonte: Tecnomultimidia: <http://www.tecnomultimidia.com.br/mercado-brasileiro-audiovisual-movimenta-1-bi-us.html>
- TOSHIBA. (10 de Outubro de 2018). *TOSHIBA TB6600HG*. Fonte: TOSHIBA: https://www.google.com.br/search?q=TB6600+TOSHIBA&source=lnms&sa=X&ved=0ahUKEwj2zObw2vXdAhWxt1kKHQ_MByIQ_AUICSgA&biw=1366&bih=577&dpr=1#
- VARIZOOM. (20 de Junho de 2018). Acesso em 20 de Junho de 2018, disponível em Varizoom: <https://www.varizoom.com/product/vzcinemapro-k1/>
- WOTIOM. (10 de Outubro de 2018). Fonte: <http://www.wotiom.com>

ANEXOS

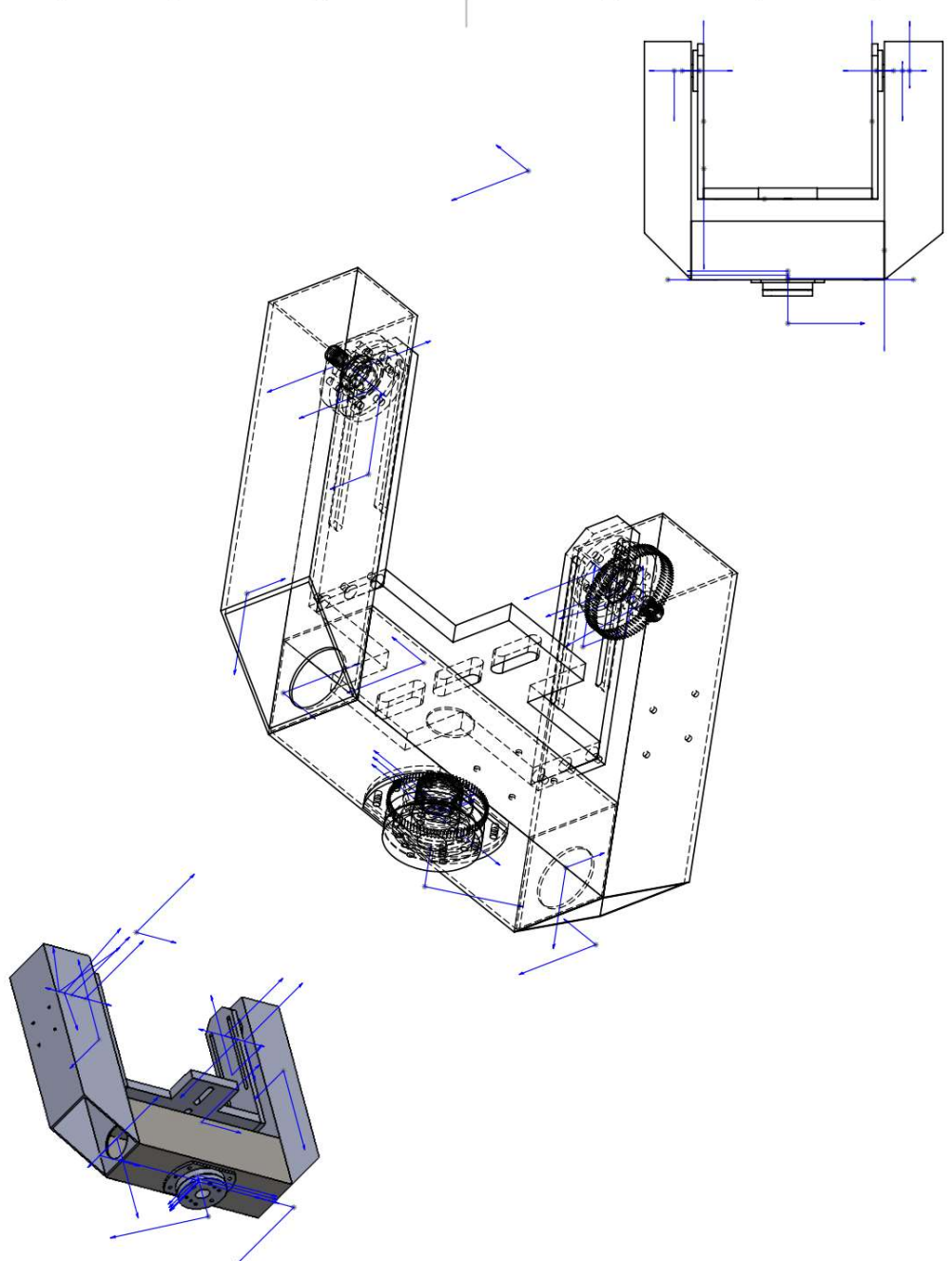
7 ANEXO A – CUSTO DE FABRICAÇÃO PROTOTIPO PERSEU VER 1.3

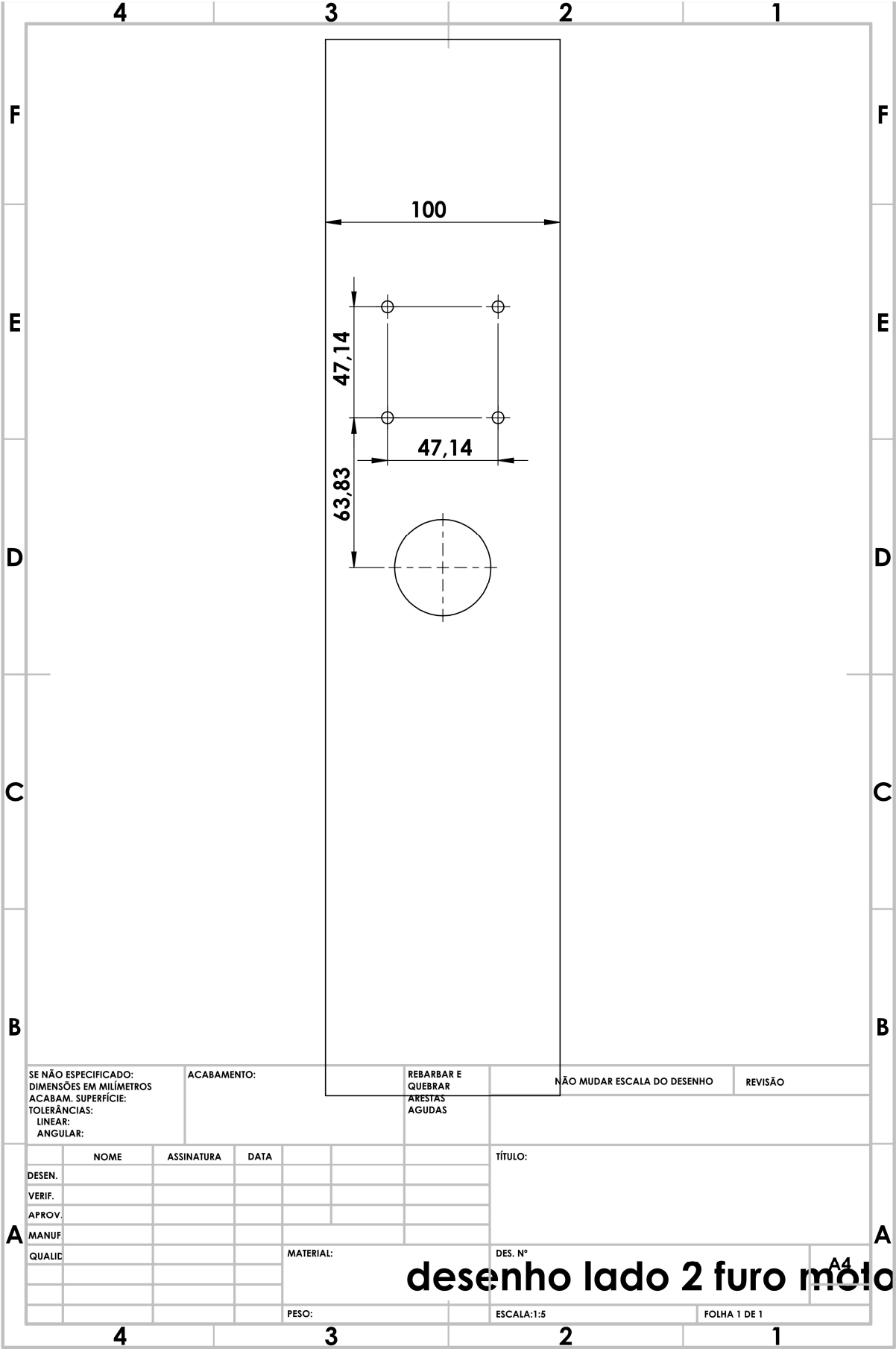
CABEÇA ROBOTICA ADCTV				
Item	Quantidade	Valor Unitario	Valor Total	
52 HORAS DE USINAGEM ALUMINIO +	1	R\$ 3.300,00	R\$ 3.300,00	
MATERIAIS E FERRAMENTAS USINAGEM	1	R\$ 850,00	R\$ 862,00	
COMPONENTES ELETRONICO CURTO CIRCUITO	1	R\$ 864,10	R\$ 864,10	
MOTORES COMPRA O1	2	R\$ 155,00	R\$ 310,00	
MOTORES COMPRA O2	2	R\$ 155,00	R\$ 310,00	
COMPRA CASA DAS FERAGENS	1	R\$ 31,54	R\$ 31,54	
COMPRA ENGRENAGEM EXECUTE	1	R\$ 333,23	R\$ 333,23	
COMPRA ENGRENAGEM ATI	1	R\$ 90,00	R\$ 90,00	
DIVERSOS (COMBUSTIVEL)	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00	
DIVERSOS 2 (ALIMENTAÇÃO)	1	R\$ 122,00	R\$ 122,00	
COMPONENTES ELETRONICOS PCB 1 - PROESE	1	R\$ 82,00	R\$ 82,00	
COMPONENTES ELETRONICOS PCB 2 - PROESE	1	R\$ 122,00	R\$ 122,00	
Total			R\$ 6.526,87	

Condições de pagamento - já Pago por ADCTV

Responsavel técnico : Cleiton Luiz	Responsavel técnico : Ezequiel Fidelis
Mobile: +55 48 99979-3772	Mobile: +55 48 99853 1480
cleitonluizsouza@hotmail.com	ezequiel.fidelis00@gmail.com

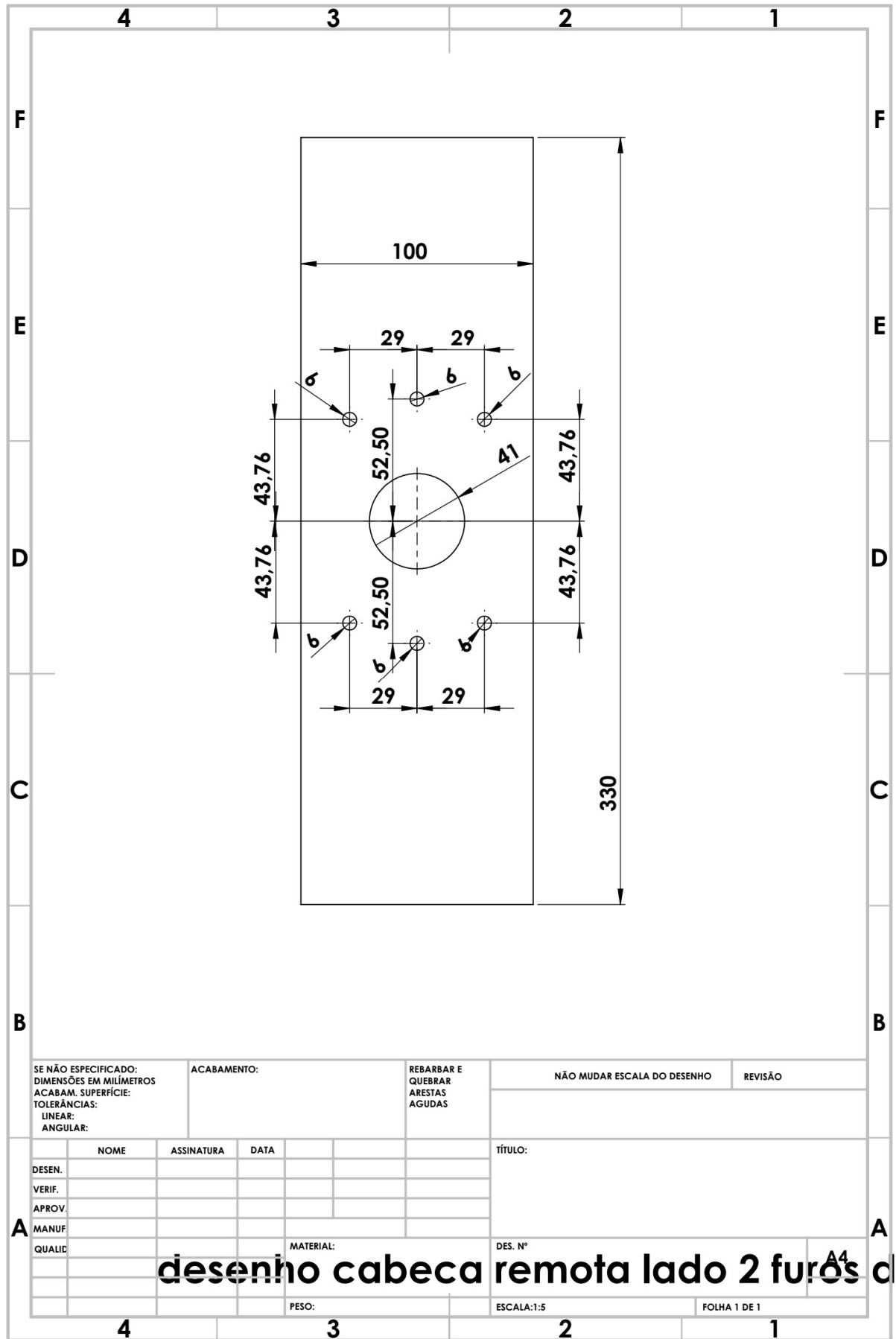
8 ANEXO B – DESENHO TÉCNICO MECÂNICO PERSEU

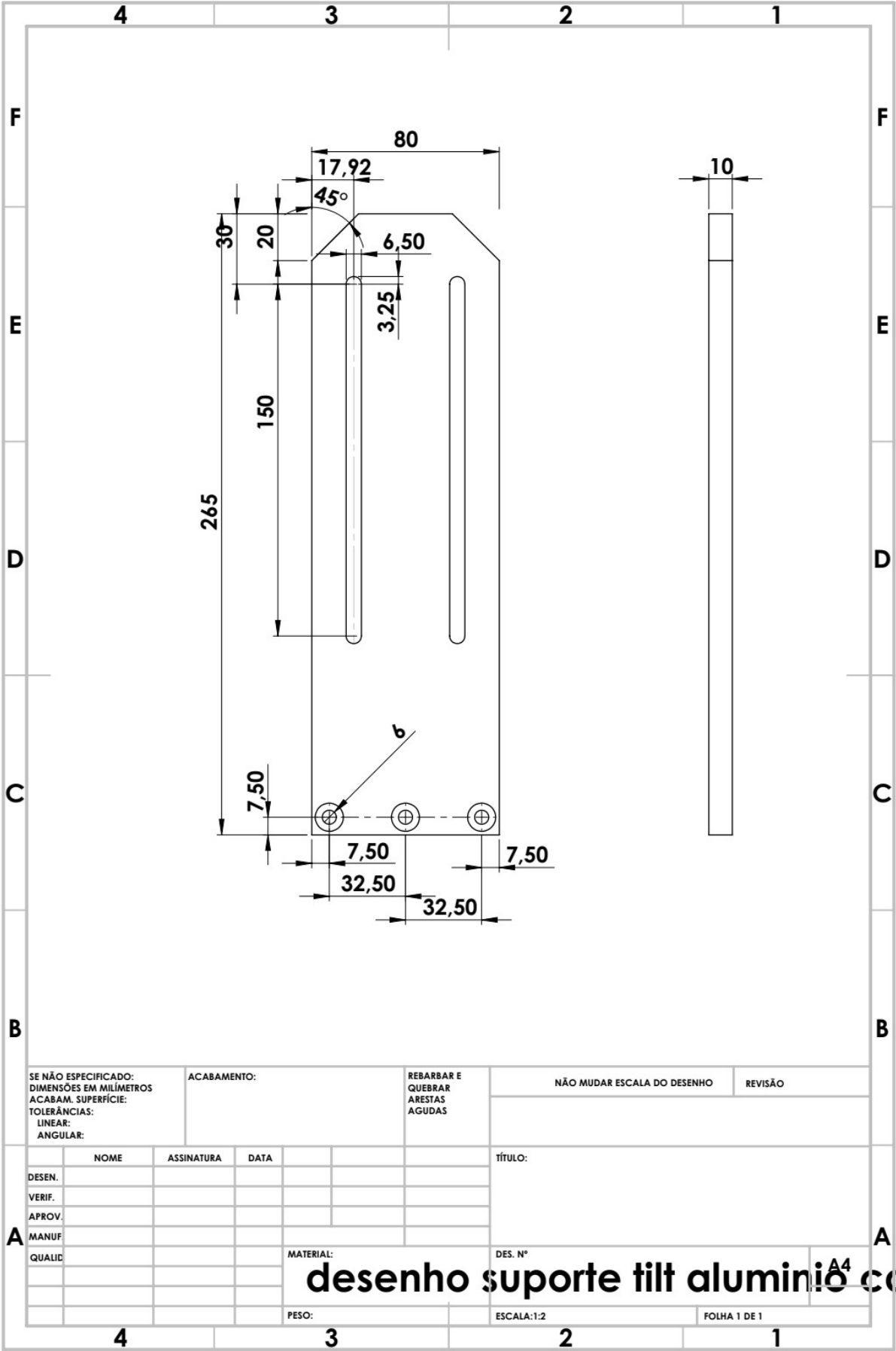
4	3	2	1																																										
F			F																																										
E			E																																										
D			D																																										
C			C																																										
B			B																																										
																																													
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:		ACABAMENTO: REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS																																											
		NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO																																											
		REVISÃO																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 10%;">NOME</th> <th style="width: 20%;">ASSINATURA</th> <th style="width: 10%;">DATA</th> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 10%;"></th> </tr> <tr> <td>DESEN.</td> <td>Cleiton</td> <td>10/08</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APROV.</td> <td>TCC</td> <td>10/08</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MANUF.</td> <td>Ezequiel</td> <td>10/08</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>QUALID.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		NOME	ASSINATURA	DATA					DESEN.	Cleiton	10/08					VERIF.							APROV.	TCC	10/08					MANUF.	Ezequiel	10/08					QUALID.							TÍTULO: <h3 style="text-align: center;">Desenho tecnico mecanico</h3>	
NOME	ASSINATURA	DATA																																											
DESEN.	Cleiton	10/08																																											
VERIF.																																													
APROV.	TCC	10/08																																											
MANUF.	Ezequiel	10/08																																											
QUALID.																																													
MATERIAL: <h3 style="text-align: center;">Aluminio</h3>		DES. Nº <h2 style="text-align: center;">Montagem TCC</h2>																																											
PESO: 10kg		ESCALA: 1:10																																											
FOLHA 1 DE 1		A4																																											
4	3	2	1																																										

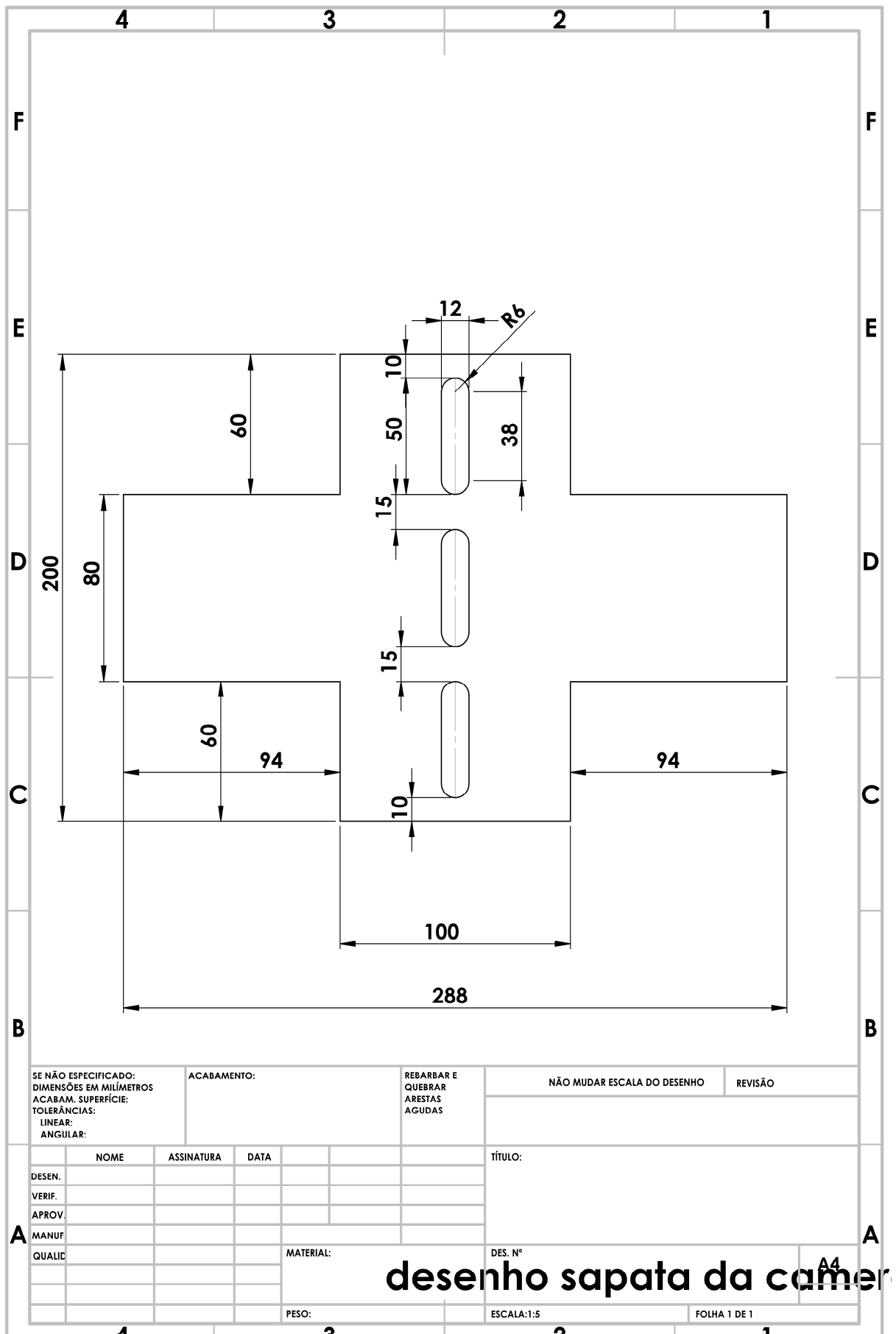


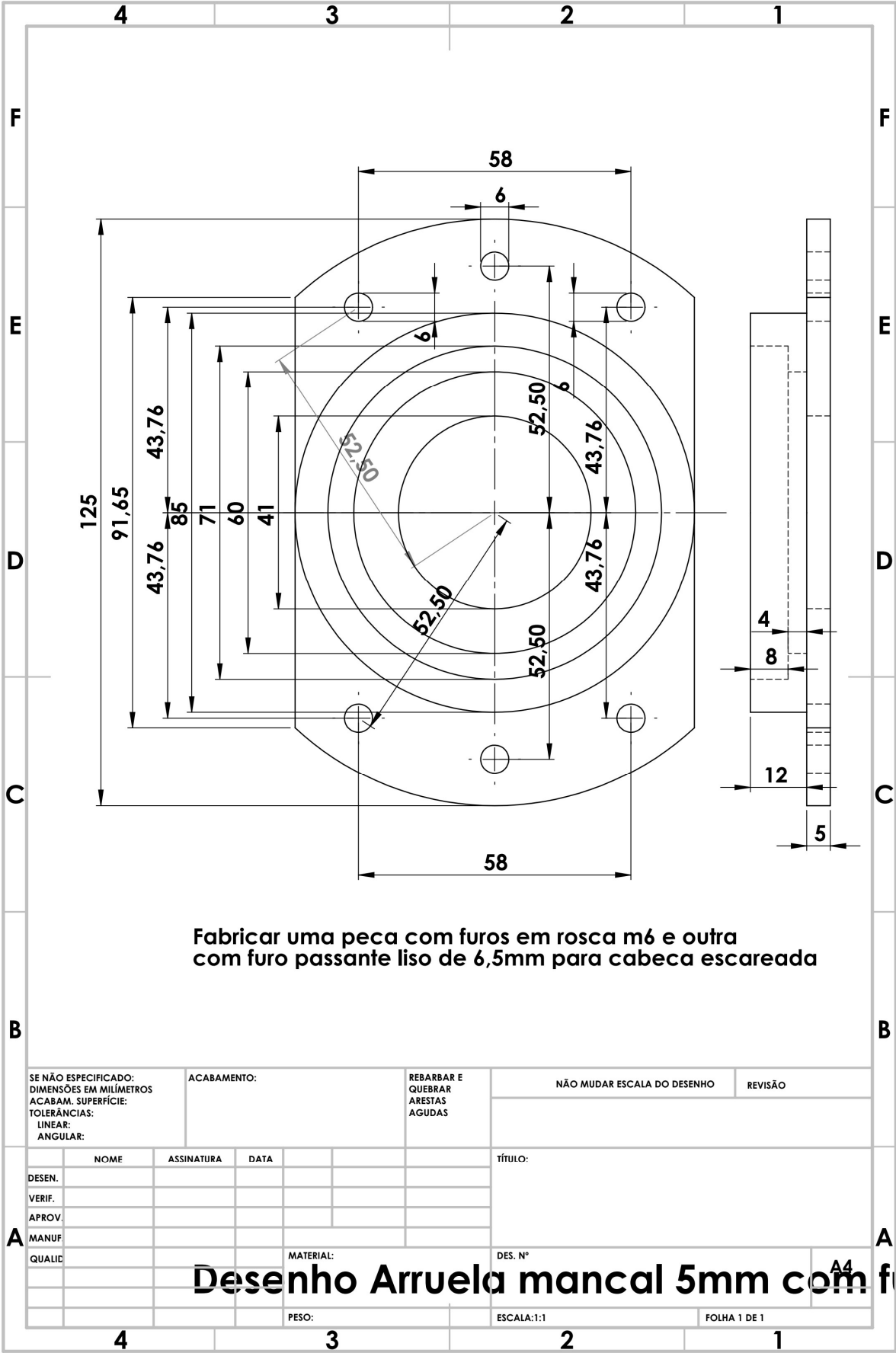
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:		ACABAMENTO:		REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS		NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO		REVISÃO	
NOME		ASSINATURA		DATA		TÍTULO:			
DESEN.									
VERIF.									
APROV.									
MANUF.									
QUALID.						DES. Nº		A4	
						ESCALA: 1:5		FOLHA 1 DE 1	

desenho lado 2 furo móto

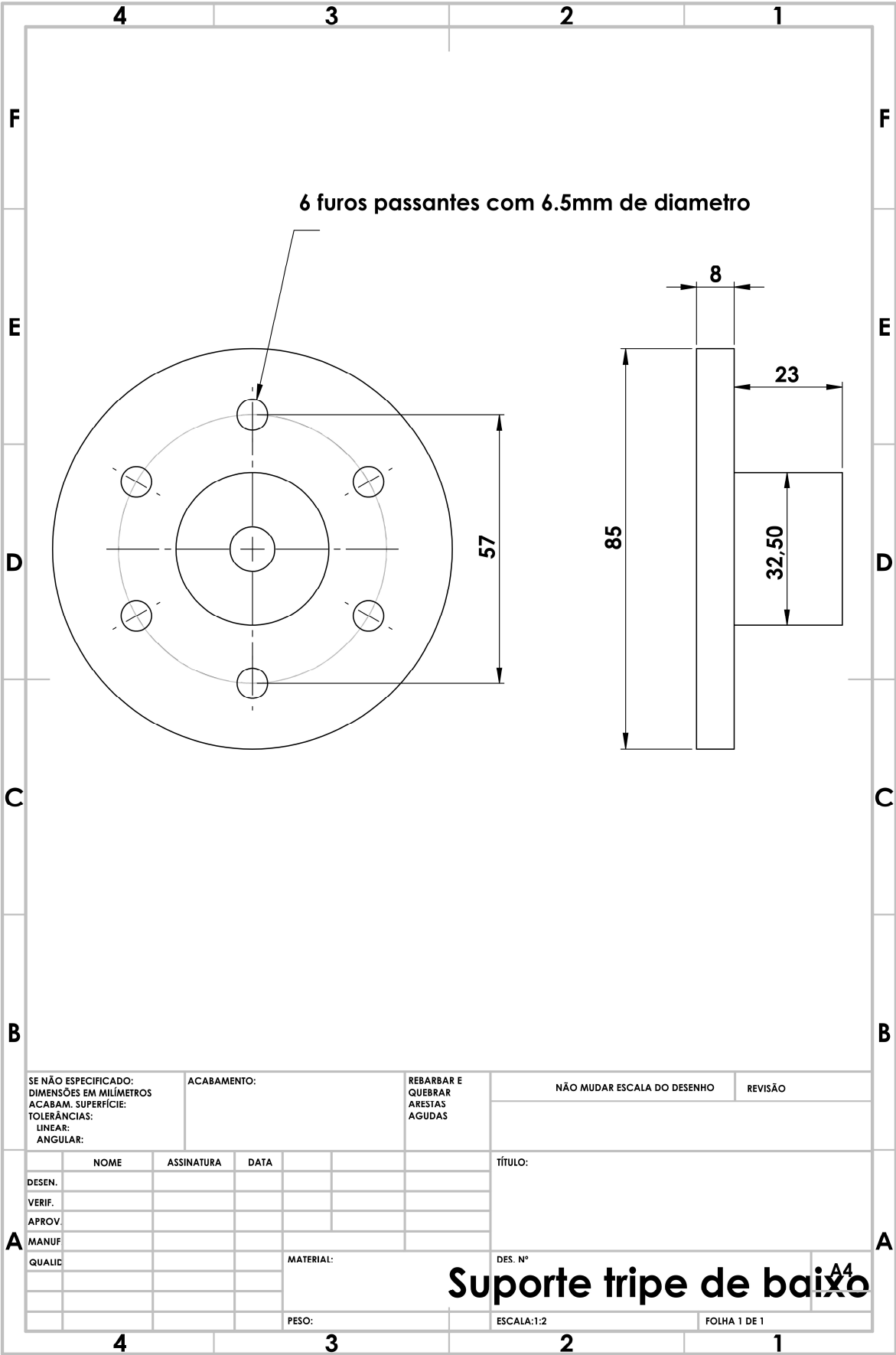


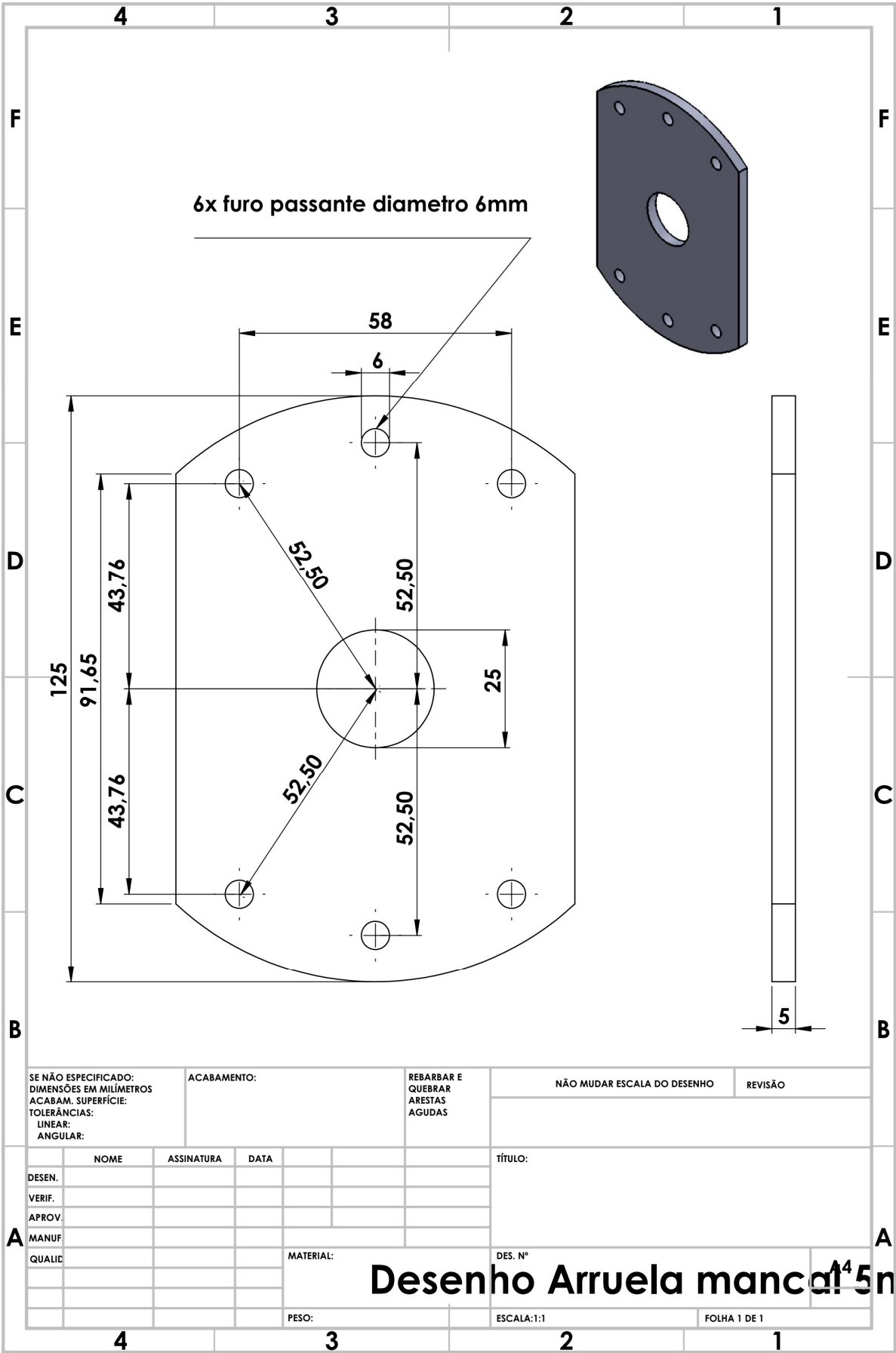


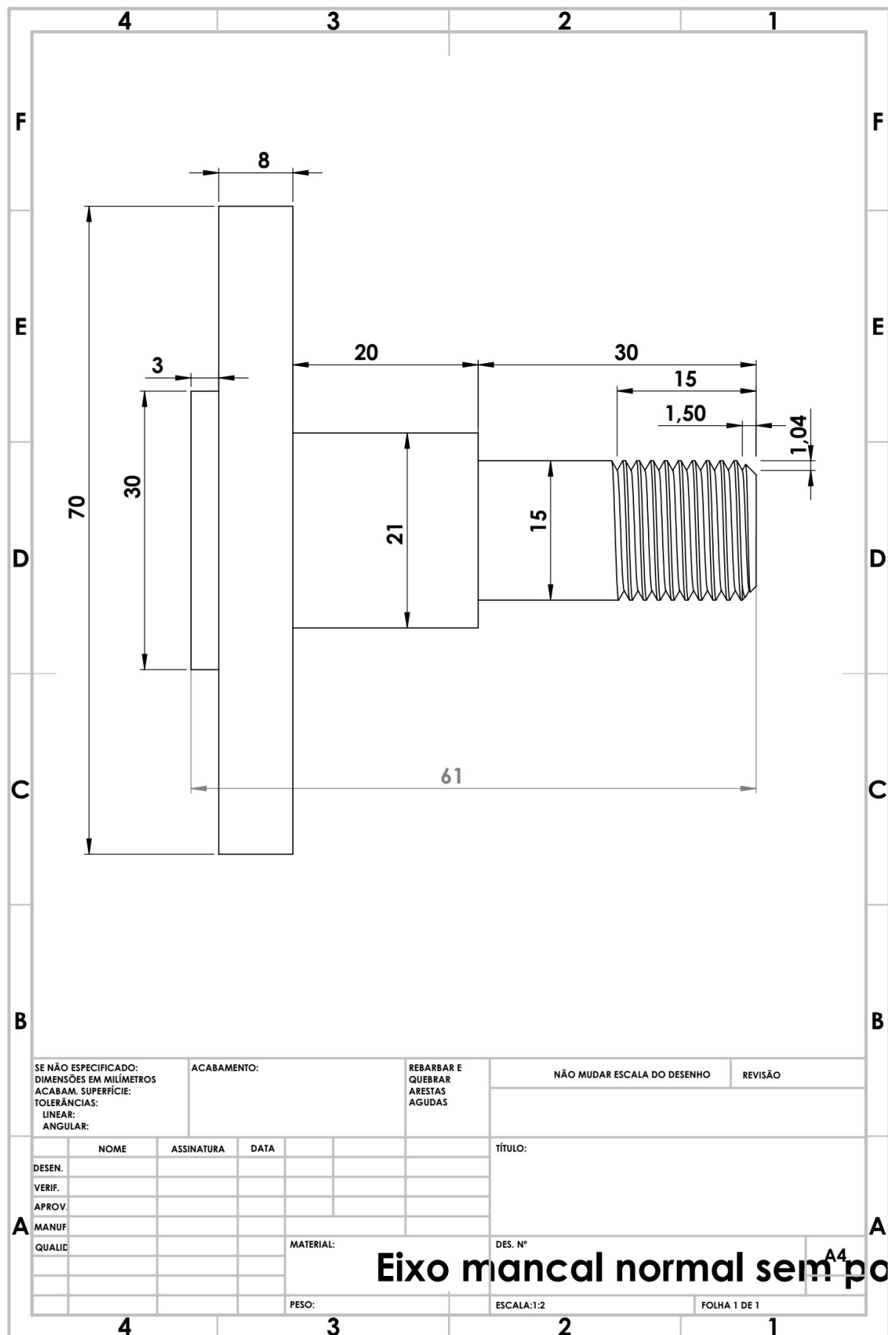


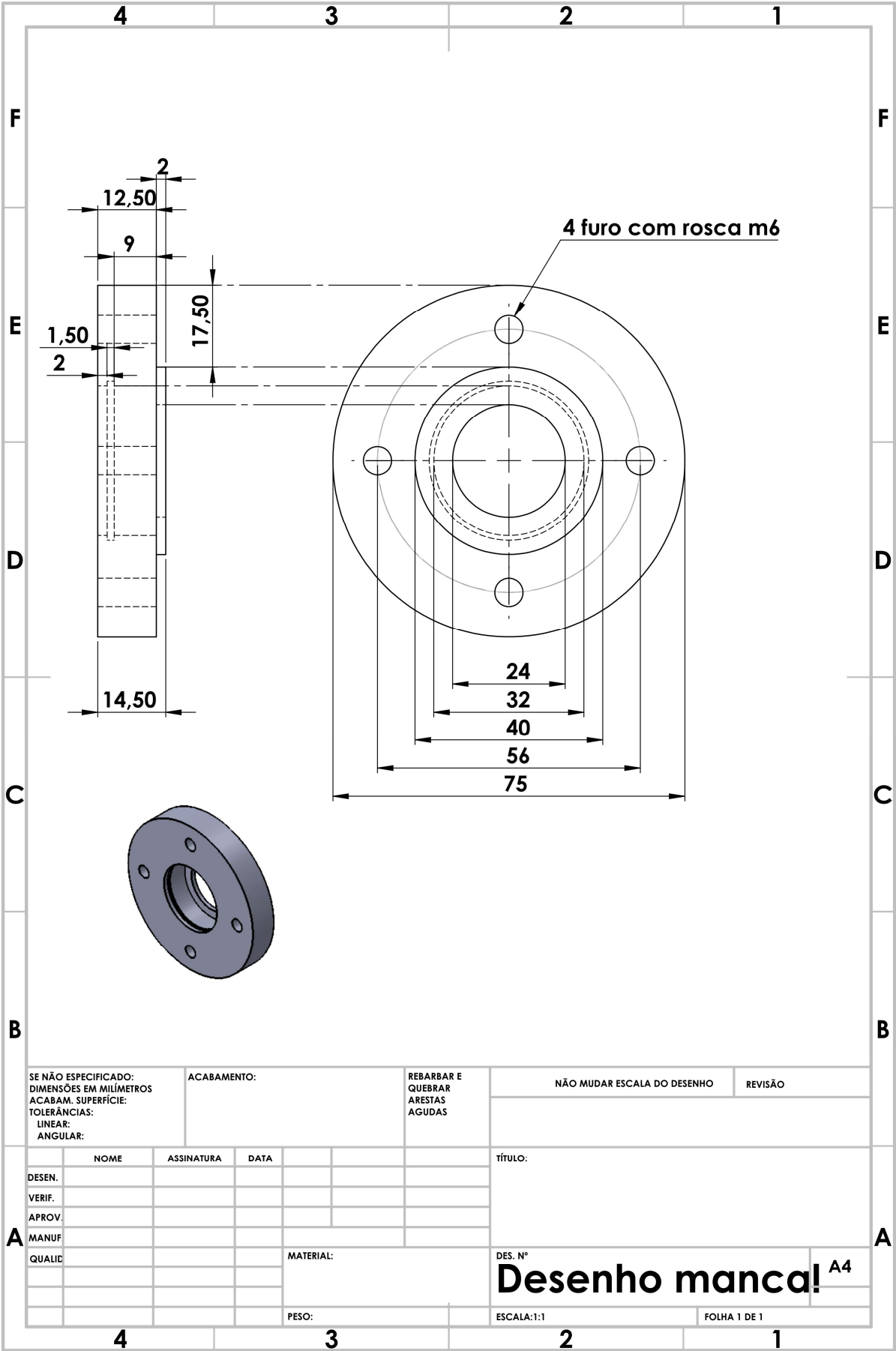


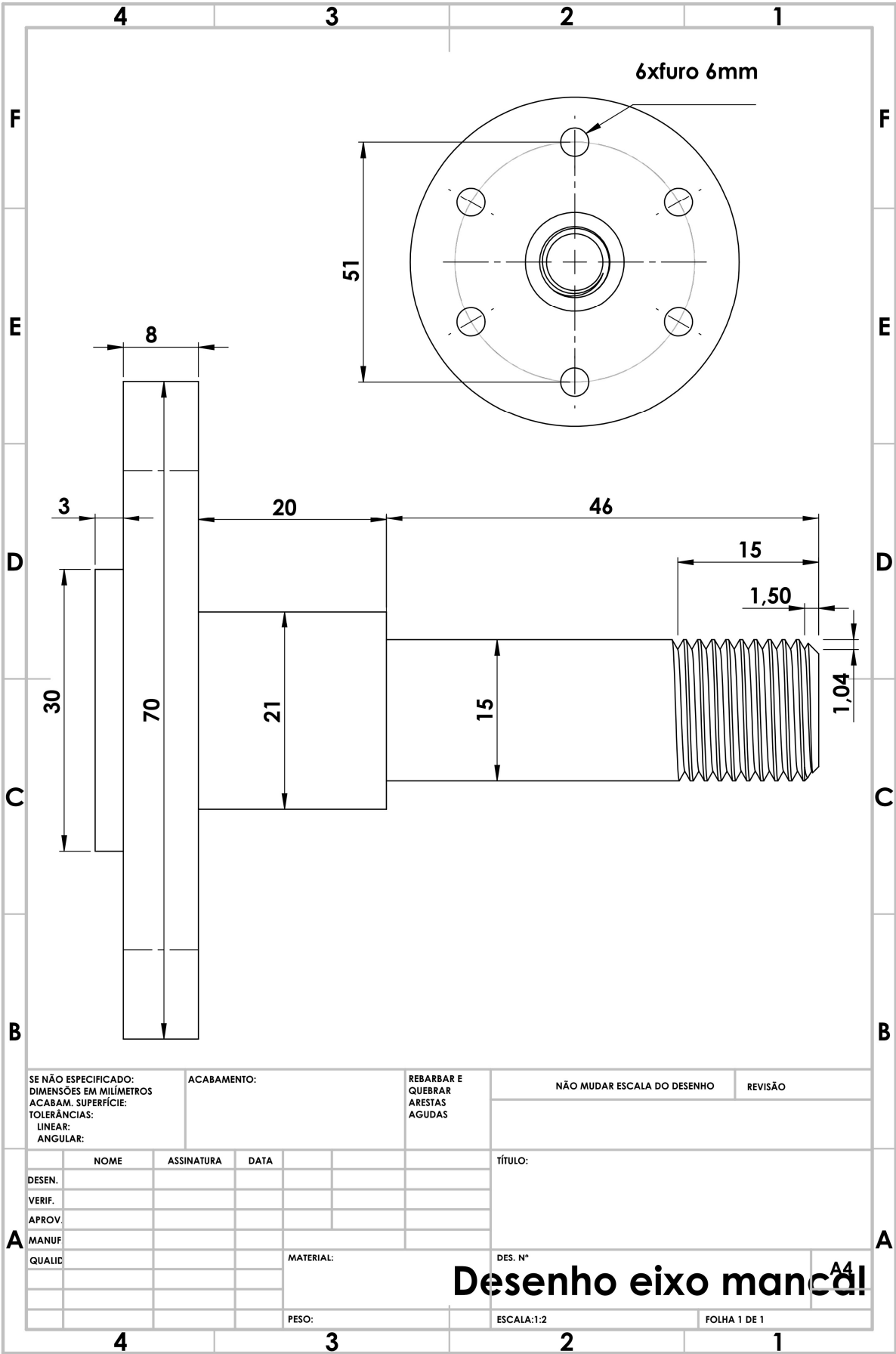
Desenho Arruela mancal 5mm com fu



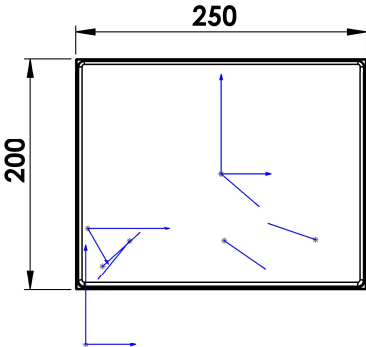
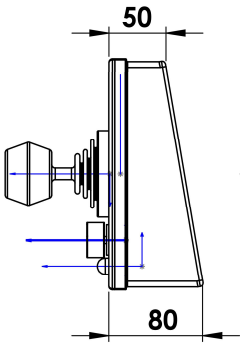
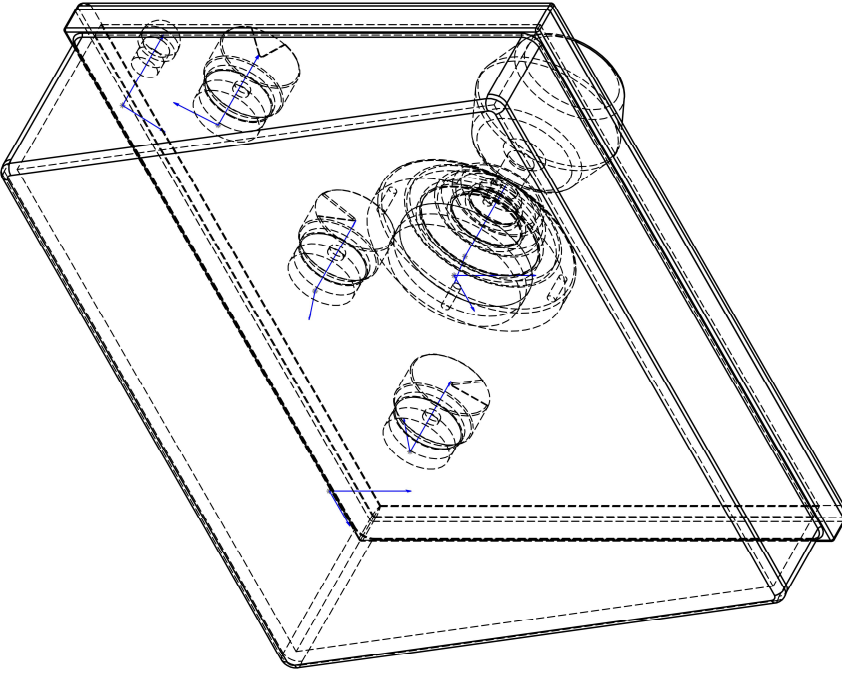








9 ANEXO C – DESENHO TÉCNICO MECÂNICO CONTROLE

4	3	2	1
F			F
E			E
D			D
C			C
B			B
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:		ACABAMENTO:	REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS
		NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO	REVISÃO
A	NOME	ASSINATURA	DATA
DESEN.			
VERIF.			
APROV.			
MANUF.			
QUALID.			
		MATERIAL:	TÍTULO:
		PESO:	DES. N°
		ESCALA: 1:5	FOLHA 1 DE 1
4	3	2	1

Controle

A4

10 ANEXO D – DIMENSÕES DA CÂMERA SONY PMW 350 K

Figura 52 - Datasheet PMW 350k Sony



Specifications

	PMW-350K, PMW-350L *1	PMW-320K, PMW-320L *1
General		
Mass	3.2 kg (7 lb 1 oz) (without lens), 6.3 kg (13 lb 14 oz) (with LCD VF, AF lens, Mic, BP-GI95 battery, one SxS PRO memory card)	
Dimensions (W x H x D)	124 x 269 x 332 mm (5 x 10 5/8 x 13 1/8 inches) without projection (body)	
Power requirements	DC 12 V	
Power consumption	Approx. 18 W (with supplied viewfinder, lens, and microphone while recording), Approx. 15 W (body while recording)	
Operating temperature	0°C to 40°C (32°F to 104°F)	
Storage temperature	-20°C to +60°C (-4°F to +140°F)	
Battery operating time	Approx. 310 min with BP-GI95 battery	
Recording format (Video)	MPEG-2 Long GOP HQ mode: VBR, maximum bit rate: 35 Mbps, MPEG-2 MP@HL SP mode: CBR, 25 Mbps, MPEG-2 MP@H-14 SD mode (option): DVCAM	MPEG-2 Long GOP HQ mode: VBR, maximum bit rate: 35 Mbps, MPEG-2 MP@HL SP mode: CBR, 25 Mbps, MPEG-2 MP@H-14 SD mode: DVCAM
Recording format (Audio)	HD mode: Linear PCM (4 ch, 16-bit, 48-kHz), SD mode (option): Linear PCM (2 ch, 16-bit, 48-kHz)	HD mode: Linear PCM (4 ch, 16-bit, 48-kHz), SD mode: Linear PCM (2 ch, 16-bit, 48-kHz)
Barcodes	NTSC: 123001 PAL: 123002	NTSC: 123001 PAL: 123002

Fonte: (SONY, 2018)

11 ANEXO E – DATASHEET TB6600 DRIVE MOTOR DE PASSO



SnailShop.cz

BL-TB6600-V1.2

ovladač krokového motoru

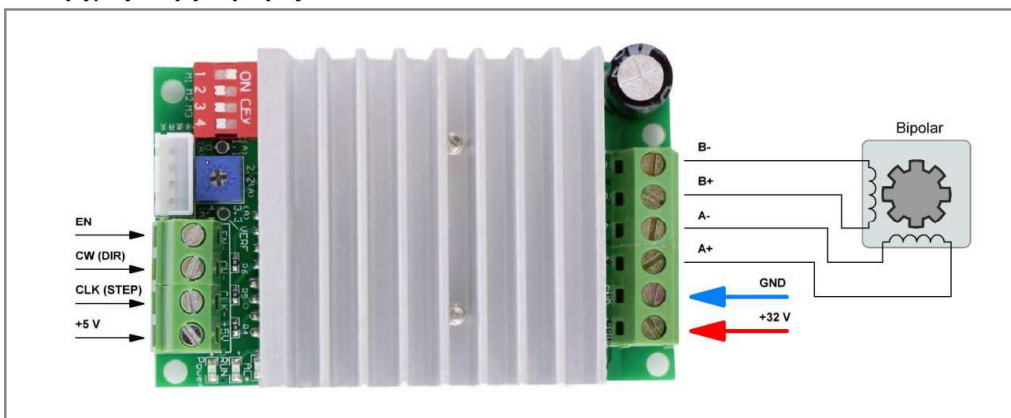
Základní vlastnosti

Modul je určen pro řízení jednoho bipolárního krokového motoru signály STEP a DIR. Obsahuje obvody pro mikrokrokování a zmenšení pracovního proudu při nečinnosti, které omezí přehřívání motoru. Řídící vstupy jsou opticky odděleny, na vstupu STEP je použit vysokorychlostí obvod 6N137.

- Rozsah napájecího napětí: +8 až 42 V (stejnoseměrné)
- Doporučené pracovní napětí: max. +32 V
- Maximální výstupní proud: 4,5 A
- Celkový odpor v sepnutém stavu (R_{on}) = 0,4 Ω (typ.)
- Mikrokrokování: 1/2, 1/4, 1/8 a 1/16 základního kroku
- Maximální vstupní napětí všech vstupů: +7 V
- Maximální frekvence na vstupu STEP: 200 kHz
- Frekvence PWM regulace proudu: 40 kHz
- Vestavěné pull-down rezistory na vstupech: 100 k Ω (typ.)
- Velikost: 8 x 5 x 3,5 cm
- Váha: 120 g



Vstupy, výstupy a připojení motoru:



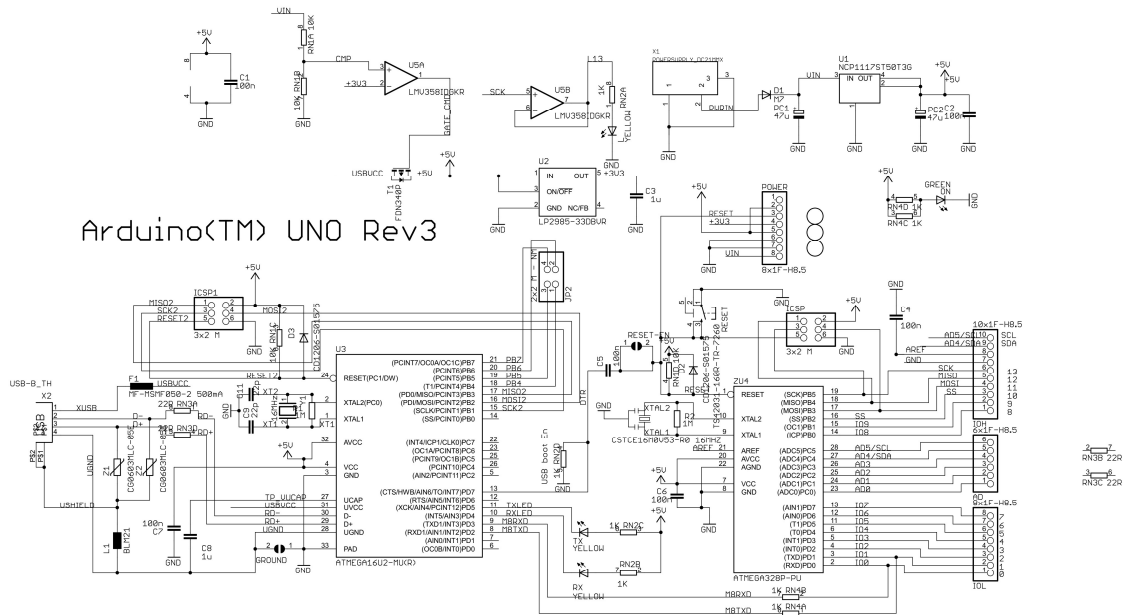
NÁZEV PINU	FUNKCE	POPIS
GND		Záporný pól napájecího zdroje
+32 V	vstup	Kladný pól napájecího zdroje. Napětí +8 až 42 V
+5 V	vstup	Společné napájení optických oddělovacích členů
CLK (STEP)	vstup	Krok se provede po sestupné hraně impulsu
CW (DIR)	vstup	Logická úroveň 1 nebo 0 určuje směr otáčení motoru
EN	vstup	Logická úroveň 0 povoluje činnost výkonových obvodů. Činnost vnitřních logických obvodů není tímto vstupem ovlivněna.
A+, A-	výstup	Výstup pro připojení prvního vinutí motoru
B+, B-	Výstup	Výstup pro připojení druhého vinutí motoru

Nastavení mikrokrokování:

M1	M2	M3	VELIKOST KROKU
OFF	OFF	ON	Celokrok (Full step)
OFF	ON	OFF	1/2 základního kroku (Half step) typu A *)
OFF	ON	ON	1/2 základního kroku (Half step) typu B *)
ON	OFF	OFF	1/4 základního kroku (Quarter step)
ON	OFF	ON	1/8 základního kroku (Eighth step)
ON	ON	OFF	1/16 základního (Sixteenth step)

*) Viz katalogový list obvodu TB6600

12 ANEXO F ARDUINO UNO REV3 SCHEMATIC



Reference Designs ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS. Arduino DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Arduino may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." Arduino reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information. ARDUINO is a registered trademark.

Use of the ARDUINO name must be compliant with <http://www.arduino.cc/en/Main/Policy>

www.arduino.cc/en/uploads/Main/Arduino_Uno_Rev3-schematic.pdf