

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

**PLATAFORMA MECÂNICA ABERTA PARA DESENVOLVIMENTO EM
ROBÓTICA MÓVEL**

CURITIBA
2016

FELIPE AUGUSTO CORDONI

PLATAFORMA MECÂNICA ABERTA PARA DESENVOLVIMENTO EM
ROBÓTICA MÓVEL

Proposta para Trabalho de Conclusão de Curso
do Curso de Tecnologia em Mecatrônica
Industrial da Universidade Tecnológica Federal
do Paraná.

Orientador: Gilson Yukio Sato

CURITIBA
2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela força e sustento o qual me deu em todas as lutas e dificuldades, impaciências na produção do projeto.

Agradeço ao professor orientador Gilson Yukio Sato pela ideia e pelo auxílio em todo o projeto.

Ao servidor Carlos Silvano da Luz do departamento de mecânica pelo auxílio no projeto da plataforma mecânica e no uso dos laboratórios de usinagem, sem seus conselhos e auxílio, o projeto tomaria muito tempo para sua execução.

Ao professor Mario Teske pelos conselhos sobre a estrutura mecânica.

Aos professores Gabriel Kovalhuk e Juliano Mourão do departamento de eletrônica, os quais me prestaram ajuda na eletrônica, programação e utilização do *Raspberry Pi*.

Aos estagiários do departamento de mecânica, Lucas Antônio, Erik, Vitor e Leonardo, os quais me deram um grande e importante apoio para a usinagem da mecânica.

Aos alunos de Engenharia da Computação, Eduardo Tonding e Juliano, que me prestaram grande socorro na programação do sensor ultrassônico.

Aos colegas de curso Thiago Grola e Blancaliz Higashino pelo suporte moral e ajuda importantíssima com o aparelho.

Agradeço aos meus colegas de curso pelo auxílio e força que me prestaram, aos meus pais por todo amor, carinho e força e a todos que de forma direta ou indireta me ajudaram.

RESUMO

CORDONI, Felipe. **Plataforma mecânica aberta para desenvolvimento em robótica móvel**. 2016. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Este trabalho descreve o desenvolvimento de uma plataforma mecânica para robótica móvel. Seu desenvolvimento é justificado pela carência de uma plataforma desse porte de baixo custo e fácil obtenção. Por isso, o projeto foi elaborado utilizando-se um motor padrão de fácil aquisição e a mecânica foi pensada de forma que possa ser fabricada usando máquinas convencionais. O propósito é que a plataforma possa ser facilmente fabricada mesmo em empresas sem alta tecnologia. São descritas também a eletrônica e programação básica desenvolvida para testar a plataforma. Foi elaborado um manual de reprodução, para que a plataforma possa ser construída por interessados em estudar robótica móvel. Tanto o manual quanto os arquivos que permitem a fabricação do sistema serão disponibilizados para que fiquem disponíveis aos potenciais usuários. A plataforma cumpre seu papel básico, ou seja, é possível utilizá-la para o desenvolvimento de robôs móveis, embora apresente algumas falhas menores. A plataforma ainda permite que sejam implementadas melhorias tanto mecânicas quanto eletrônicas.

Palavras-chave: Robótica Móvel. Plataforma didática. Baixo custo.

ABSTRACT

CORDONI Felipe. **Open mechanical platform for the development of projects in mobile robotics**. 2016. 85 f. Course Final Project (Bachelor of Industrial Mechatronics), Academic Departments of Electronics and of Mechanical Engineering, Federal University of Technology - Parana. Curitiba, 2016.

This work describes the development of an open mechanical platform for mobile robotics. It is justified by the lack of such a platform for students that could be easily reproduced and cheap. The platform was designed with a standard motor and its mechanic was projected to be simple enough to be manufactured with conventional machines. A basic microcontroller system was developed to test the platform also. A manual with instructions for the assemblage of the platform was also elaborated. Both, the manual and the CAD files with the design are going to be publish, to allow potential users to manufacture its own device. Despite some minor deficiencies, the platform could be used to the development of didactic mobile robots. The mechanics and electronics of the platform could be easily improved.

Keywords: Mobile Robotics. Didactic Platform. Low cost.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - 3-DX da Pioneer.....	12
Figura 2 - Khepera	12
Figura 3 - QB da Anybots.....	13
Figura 4 - Dr. Robot Sentinel 3.....	14
Figura 5 - Comparação Plataformas	16
Figura 6 - Primeira plataforma aberta.....	18
Figura 7 - Primeira plataforma.....	19
Figura 8 - Segunda plataforma.....	20
Figura 9 - Quarta plataforma	21
Figura 10 - Elaboração da mecânica.....	22
Figura 11 - Vista da parte interna simplificada	23
Figura 12 - Montagem do robô.....	24
Figura 13 - Montagem das paredes	25
Figura 14 - Caixa do rodízio	27
Figura 15 - Cantoneira	28
Figura 16 - Piso.....	29
Figura 17 - Tampa.....	30
Figura 18 - Eixo.....	31
Figura 19 - Encoder.....	32
Figura 20 - Mancal	32
Figura 21 - Parede maior	33
Figura 22 - Parede menor	34
Figura 23 - Roda de borracha Schioppa	34
Figura 24 - Rodízio Gel	35
Figura 25 - Suporte dos sensores óticos.....	36
Figura 26 - Suporte Eletrônica.....	36
Figura 27 - Diagrama eletrônico.....	37
Figura 28 - Driver Motor	39
Figura 29 - Ligação sensores.....	40
Figura 30 - Fluxograma programação	41
Figura 31 - Função Enrosco	42
Figura 32 - Autonomia Frank.....	43
Figura 33 - Visão da plataforma de todos os ângulos	47
Figura 34 - Vista interna do aparelho	48
Figura 35 - Vista explodida.....	49
Figura 36 - Simulação em cômodo.....	52
Figura 37 - Eletrônica completa.....	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	PROBLEMA	8
1.2	JUSTIFICATIVA	9
1.3	OBJETIVOS	9
1.3.1	Objetivo Geral	9
1.3.2	Objetivo Específico	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1	PLATAFORMA DE ROBÓTICA MÓVEL	11
2.2	CARACTERÍSTICAS DE UMA PLATAFORMA MÓVEL	14
2.3	NAVEGAÇÃO	16
3	DESENVOLVIMENTO.....	17
3.1	REQUISITOS GERAIS DO PROJETO	17
3.2	HISTÓRICO DE DESENVOLVIMENTO DO APARELHO	17
3.3	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA MECÂNICA	21
3.4	DETALHAMENTO DO DESENVOLVIMENTO MECÂNICO	23
3.4.1	Componentes Mecânicos.....	26
3.4.1.1	Caixa do rodízio.....	26
3.4.1.2	Cantoneira	27
3.4.1.3	Piso.....	28
3.4.1.4	Tampa	29
3.4.1.5	Eixo.....	30
3.4.1.6	Encoder	31
3.4.1.7	Mancal	32
3.4.1.8	Parede Lateral	33
3.4.1.9	Roda	34
3.4.1.10	Rodízio	35
3.4.1.11	Suporte dos sensores óticos	35
3.4.1.12	Suporte dos módulos eletrônicos.....	36
3.5	ELETRÔNICA PARA TESTE DO SISTEMA MECÂNICO	37
3.6	DETALHAMENTO DO DESENVOLVIMENTO ELETRÔNICO	38
3.7	DETALHAMENTO DO PROGRAMA DE TESTE	40
3.7.1	Fluxograma	41
3.7.2	Funções de Autonomia	42
3.7.3	Funções Auxiliares.....	44
4.	RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES.....	45
4.1	PLATAFORMA FINAL.....	46
4.2	CUSTOS	50

4.3	SIMULAÇÃO DE DESLOCAMENTO	51
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
5.1	DIFICULDADES	53
5.2	TRABALHOS FUTUROS: APRIMORAMENTOS	54
5.2.1	Autonomia	54
5.2.2	Comando de Voz	54
5.2.3	Robô Pessoal.....	55
5.2.4	Comunicação com o Usuário por Dispositivo móvel	55
5.2.5	Robô de Tele Presença	55
	REFERÊNCIAS.....	56
	APÊNDICE A – DIAGRAMA ELETRÔNICO	58
	APÊNDICE B – MANUAL DE REPRODUÇÃO	59

1 INTRODUÇÃO

Hoje em dia, escolas e instituições de ensino estão investindo em formas diferentes de aprendizado, estimulando a criatividade de seus alunos. Dentre estas formas encontra-se a robótica educacional. *Kits* educacionais, como os produtos da *LEGO Education*, buscam facilitar o uso de robótica em sala de aula. A Lego, vem há vários anos trabalhando junto com educadores e especialistas para tornar seus *kits* mais adequados ao ensino (LEGO GROUP, 2014). Esse tipo de material constitui um auxílio educacional que favorece o surgimento de novas ideias e incentiva a criatividade de seus usuários. No entanto, muitos destes *kits* são de alto custo, dificultando o acesso de muitas instituições aos produtos ou ainda das pessoas interessadas em aprender robótica.

Outro material com propósito similar é a plataforma de prototipagem Arduino, que pode ser utilizada por pessoas sem formação em eletrônica ou computação para desenvolver sistemas simples como alarmes ou sistemas de automação residencial.

O presente projeto teve como objetivo o desenvolvimento de uma plataforma mecânica para desenvolvimento de projetos em robótica móvel. A ideia é obter um sistema de custo acessível que possa ser facilmente reproduzido. Assim como o Arduino, o sistema deve ser aberto (*Open Source*) de forma que qualquer pessoa interessada possa fabricá-lo.

1.1 PROBLEMA

Plataformas robóticas móveis são de difícil aquisição, por serem em geral importadas e de alto custo. Existem opções de baixo custo, mas elas não possuem as características das opções mais caras, como por exemplo o número de funções ou a robustez do material da estrutura, dificultando assim seu uso em aplicações mais

avançadas ou de maior fadiga. Na própria UTFPR foram desenvolvidos alguns *kits* para robótica (MILANEZ; RAZERA; PEREIRA, 2008) (KOPP; LINS; BLOISE, 2004), mas no geral eles são para funções específicas e irreprodutíveis.

Portanto existe a falta de uma plataforma mecânica para desenvolvimento de robótica móvel que seja de baixo custo, fácil fabricação e reprodução com recursos disponíveis (materiais e equipamentos) e passível de ser expandido.

1.2 JUSTIFICATIVA

O presente projeto pretendeu desenvolver uma plataforma mecânica móvel que possua autonomia física, embora limitada, para auxiliar alunos e pesquisadores no estudo da robótica móvel. Para isso a plataforma deveria ser desenvolvida para que pudesse ser expandida e aperfeiçoada. Ela deveria ser reprodutível, de fácil acessibilidade (*Open Source*) e custo apropriado para seus interessados. Estimou-se que o custo aproximado de R\$ 1.000,00, equivalente ao de um aparelho eletrônico, seria adequado.

1.3 OBJETIVOS

Seguem os objetivos do projeto.

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma plataforma mecânica para utilização em projetos de robótica móvel com custo acessível e de fácil reprodução.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver a plataforma mecânica.
- Testar a plataforma com um sistema de locomoção autônoma básico.
- Elaborar um manual para a fabricação e montagem da plataforma.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguinte seção aborda tópicos relacionados ao trabalho, como a plataforma desenvolvida pela Pioneer, 3-DX, exemplar de plataforma robótica móvel.

2.1 PLATAFORMA DE ROBÓTICA MÓVEL

Segundo o site do Wikipédia (2015) “um robô móvel é um dispositivo automático que é capaz de se movimentar e interagir em um ambiente definido”. Um robô móvel, diferentemente dos robôs industriais que tem funções específicas (p.ex. manipuladores) e que ficam fixos em um local, movimentam-se e interagem nesse local.

Os robôs móveis podem ser classificados em terrestres, aéreos (*drone* por exemplo) e subaquáticos. Robôs móveis são tema de pesquisa hoje em muitas universidades, algumas com laboratórios específicos de pesquisa. A robótica móvel possui um vasto campo de utilização, desde o uso na limpeza até o uso militar ou em espionagem (WIKIPÉDIA, 2015).

Uma das plataformas robóticas móveis mais usadas, por exemplo, é o P3-DX da Pioneer (Figura 1), empresa da área de robôs móveis. Seu produto básico possui funções simples de deslocamento aplicando o uso de sensores. Possui também alguns equipamentos para ampliação de suas funcionalidades, como a possível utilização de sensor laser, ou de câmera na parte de visão. Possui dentre suas funções a cartografia, tele operação, monitoração, navegação autônoma e cooperação multi-robô. Dentre estas extensões do robô, há ainda a possibilidade da utilização de um braço robótico, o qual manusearia pequenos objetos.

Seu meio de locomoção pode ser alterado para rodas duplas ou quádruplas, ou podem mesmo ser agregados para-choques ao modelo, dependendo do ambiente em que se opera o aparelho (ADEPT MOBILEROBOTS, 2012).



Figura 1 - 3-DX da Pioneer
Fonte: Mihai (2012a)

Outra possibilidade desse modelo é seu uso no desenvolvimento de plataformas de mobilidade para crianças com deficiência motora, projeto executado por pesquisadores do *Ithaca College* (ADEPT MOBILEROBOTS, 2013). O preço de um modelo da Pioneer dependerá das aplicações, configurações e acessórios instalados, mas o valor de base é em torno de 25 a 35 mil dólares (MIHAI, 2012a).

Outra plataforma já criada, com menos funções, é o “Khepera”, de cerca de 5 cm (Figura 2), produzido na Suíça em meados dos anos 90, que utiliza um processador da Motorola e possui como extensão um emissor e receptor de rádio, garra e câmera 2D. Ele ajudou no desenvolvimento da robótica evolutiva (WIKIPÉDIA, 2014).



Figura 2 - Khepera
Fonte: Wikipédia (2014)

Uma possibilidade de aplicação e ampliação diferenciada existente destas plataformas móveis são os robôs de tele presença, como por exemplo, o “QB” da *Anybots*, controlado remotamente, que utiliza uma transmissão de imagem de câmera

pela rede, ideal para ambiente de trabalho. Seu valor de compra pelo site da Anybots é de US\$9.700 dólares. Seu controle pode ser feito por meio de um navegador web. O serviço de conexão está disponível ao uso pessoal e de pequenas e médias empresas. O robô (Figura 3) possui também regulagem da altura de seu painel de visão e uma câmera que filma a sua base e transmite a imagem para o monitoramento pelo usuário no caso de alguma colisão (ANYBOTS, 2014).



Figura 3 – QB da Anybots
Fonte: Anybots (2014)

Outro modelo de robô móvel é o “*Dr. Robot Sentinel 3*” (Figura 4), que custa cerca de US\$11.000. Ele é uma plataforma robótica autônoma, possui GPS, antenas de longo alcance, conectando-se automaticamente pela rede WiFi e tem sua própria base que o permite recarregar-se. Pode ser operado remotamente e possui também transmissão de vídeo por câmera (MIHAI, 2012b).



Figura 4 – Dr. Robot Sentinel 3
Fonte: Dr Robot Inc. (2014)

Poderiam ser listados inúmeros sistemas semelhantes, com suas diversas funções e extensões, no entanto, a maioria deles apresenta custo elevado e são de difícil aquisição, por serem importados. Outras plataformas já foram desenvolvidas, no entanto foram descontinuadas ao fim de seu desenvolvimento e não houve preocupação com a difusão do seu projeto. Projetos desenvolvidos dentro da própria instituição, como protótipo para guerra de robôs (MILANEZ; RAZERA; PEREIRA, 2008) ou o desenvolvimento da estrutura mecânica de uma plataforma robótica móvel (KOPP; LINS; BLOISE, 2004), foram descontinuados e não puderam ser usados como plataformas para desenvolvimentos posteriores.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE UMA PLATAFORMA MÓVEL

Como pôde ser visto anteriormente, algumas características comuns são encontradas nestas plataformas: mobilidade, autonomia, capacidade de expansão, mapeamento, navegação e localização. As plataformas apresentadas possuem

também, diversos equipamentos para extensão de suas funções como câmeras, GPS, etc.,. Podemos compara-los melhor no quadro a seguir.

NOME	CARACTERÍSTICA FÍSICA	FUNÇÕES E CARACTERÍSTICAS	VALOR
3-DX (ADEPT MOBILE ROBOTS, 2016)	Peso - 9Kg Dimensão – 381 x 455 mm Tempo de execução – 30h	Sensor de sonar; cartografia; tele operação; mapeamento; navegação autônoma; comunicação entre robôs	US\$35.000
<i>Dr. Robot Sentinel</i> (DR ROBOT INC., 2014)	Tempo de execução – 12h	Localização; navegação; GPS; carregador; transmissão por câmera; autonomia; sensor de sonar; tela colorida <i>touch</i> de menu; mapeamento.	U\$11.000
Khepera (WIKIPÉDIA, 2014)	Dimensão - 55 mm (diâmetro) x 30mm (altura); Tempo de execução – 45 min	Sensor infravermelho de proximidade; garra; câmera 2D; comunicação a rádio	-
QB (ANYBOTS, 2014)	Dimensão – Espaço de em torno de 300 mm x 300 mm	Controle via Wifi; Sistema de visão e transmissão de imagem;	U\$9.700

	Peso – 14kg	Interface computacional	
--	-------------	----------------------------	--

Figura 5 - Comparação Plataformas
Fonte – Autoria própria

Existem algumas semelhanças entre estas plataformas, nas quais este projeto se baseou, dentre elas a autonomia, navegação, sensoriamento sônico e equipamentos para ampliação das funções, porém com um enfoque na diminuição do custo. Sendo eles todos importados, a acessibilidade diminui ainda mais, por isso se optou por inserir ainda esta característica a plataforma desejada.

2.3 NAVEGAÇÃO

Algumas das características comuns das plataformas para robótica móvel são a capacidade de navegação, a localização e a capacidade de mapeamento. Segundo a Wikipédia (2016), “navegação é a ciência, arte, prática ou tecnologia, de planejar e executar uma viagem de um ponto de partida até seu ponto de destino”. As plataformas apresentadas delimitam rotas ou pontos de destino, traçando medidas e rotas para efetuar o deslocamento, alguns com o uso do GPS, outros pelo mapeamento do local onde se deslocaram, registrando suas dimensões em um banco de dados. Outra característica importante destas plataformas é a autonomia que possibilita a navegação autônoma pelo uso de sensores e mecanismos de reconhecimento do ambiente.

Uma das principais características do robô, que permite a navegação, é a determinação da posição corrente, ou seja, da sua localização, para que ela possa ser comparada com as posições previstas e desejadas. Dentre os dispositivos que auxiliam na determinação local estão o GPS e a bússola (WIKIPÉDIA, 2016).

Esta navegação autônoma das plataformas cria uma independência do manipulador e um aumento no número de funções que podem ser desempenhadas por elas.

3 DESENVOLVIMENTO

Nessa seção é apresentado o processo de desenvolvimento do projeto.

3.1 REQUISITOS GERAIS DO PROJETO

A estrutura deve ser de fácil reprodução, custo abaixo dos modelos exemplificados, próximo a um aparelho eletrônico, como um celular, e acesso facilitado ao seu material. Outro requisito importante é a possibilidade de ser base para futuros projetos e passível de ser aprimorada, também possuindo a capacidade de locomoção física autônoma.

A forma de produção deste produto deve ser acessível e não exigir mão de obra altamente especializada ou máquinas complexas. É necessário que haja um manual para que a plataforma possa ser produzida livremente. O manual deve especificar o material utilizado, possíveis fornecedores e modo de fabricação do mesmo.

3.2 HISTÓRICO DE DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA

A plataforma recebeu desde o início a forma octogonal que possibilita um melhor sensoriamento do ambiente, pois sensores podem ser fixados nos pontos cardeais e colaterais da estrutura para sua orientação e programação. Outra peça decisiva e presente no desenvolvimento inicial foi o motor CC selecionado. Também inicialmente optou-se pelo uso do aço como material da plataforma.

O primeiro protótipo possuía dois motores (Figura 6), um para o torque das rodas traseiras e outro que direcionaria o aparelho. A transmissão foi realizada pelo uso de engrenagens que estariam entre o motor e a engrenagem do eixo.

O nome escolhido para o aparelho foi “Frankenstein”, por ser “maleável” na sua função, e devido a isto foram colocados parafusos de diâmetro maior que o necessário, apenas para estilização. Também foi incluído um furo na parte traseira para ventilação interna.

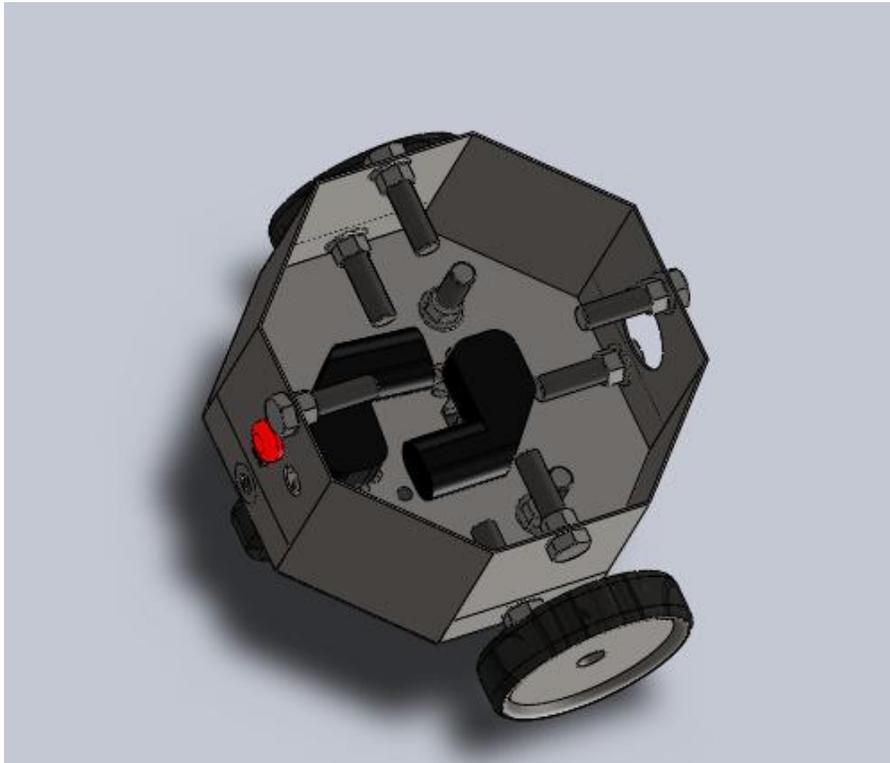


Figura 6 - Primeira plataforma aberta
Fonte – Autoria própria

A Figura 6 mostra os motores ligados nas rodas, um diretamente no rodízio e o outro no eixo pelas engrenagens. Já a Figura 7, mostra a parte inferior do desenho, com os mancais, rodas e rodízios, ainda não bem definidos.

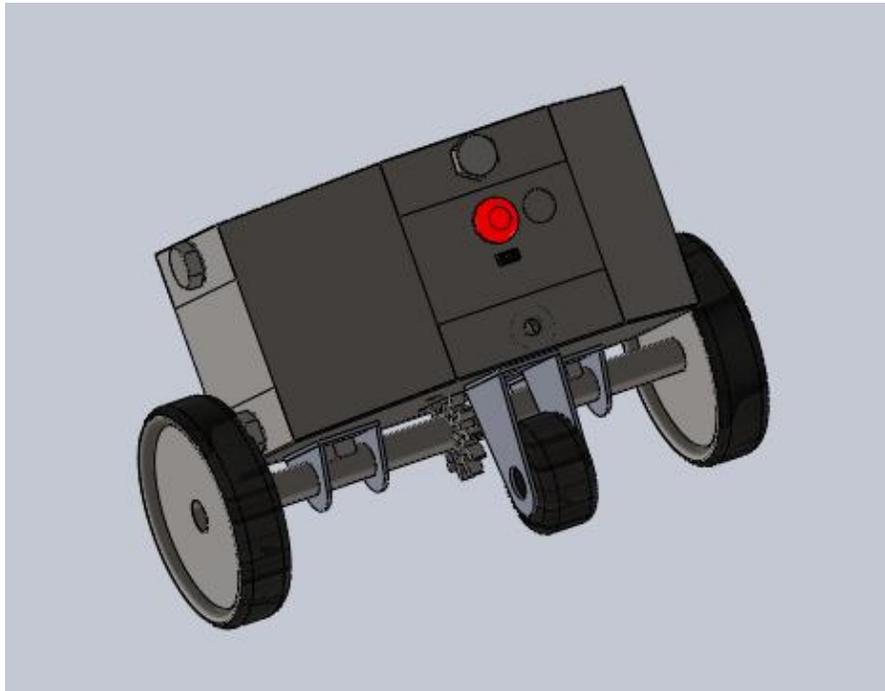


Figura 7 – Primeira plataforma
Fonte – Autoria própria

Na segunda estrutura elaborada (Figura 8), a transmissão de torque foi aprimorada, porém a estrutura do eixo estava acrescentando peso e custo à estrutura. A engrenagem do motor era encaixada diretamente na engrenagem do eixo (que seria usinada no próprio eixo), e esse último estava preso à roda por meio de chapas redondas. As rodas seriam furadas e fixadas por parafuso. Uma modificação considerada importante nesta versão foi o uso de dois rodízios para dar estabilidade ao robô e a centralização das rodas. A mecânica ainda considerada era de aço e as rodas de poliuretano com ferro fundido. Também nesta versão foi implementado o uso de oito sensores no aparelho. A estrutura seria de elevada densidade e custo, porém houve um aumento de estabilidade pela centralização de todo o sistema de transmissão (eixo, rodas, motor) e pelo uso de dois rodízios nas extremidades.

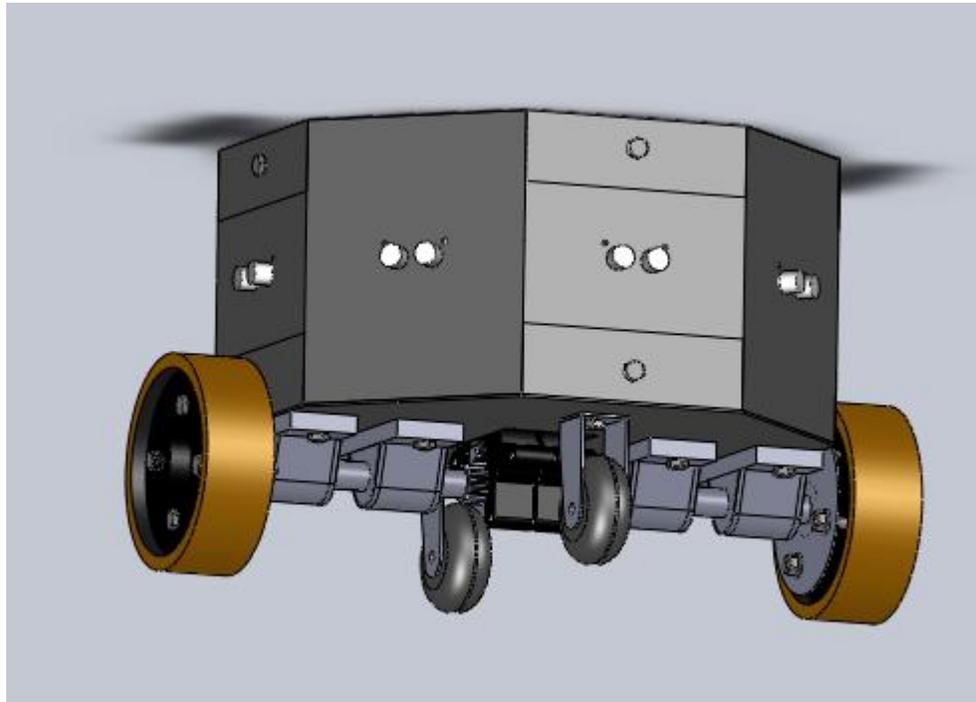


Figura 8 – Segunda plataforma
Fonte – Autoria própria

A partir da terceira versão, a aparência física final foi sendo estabelecida. Entre a terceira e a quarta versão (Figura 9) houve algumas mudanças importantes, como a mudança do material de aço para alumínio, diminuindo assim consideravelmente o peso. A roda de poliuretano das versões anteriores foi substituída na quarta versão por uma de nylon.

As chapas superiores e inferiores que eram fixadas por fora na terceira versão foram diminuídas para serem colocadas por dentro das paredes e a língua de fixação das chapas também foi encurtada para ficar mais discreta. A transmissão do torque do motor também foi melhorada em relação às versões anteriores. O motor passou a ser acoplado diretamente no eixo. Foi feita uma tentativa de fixação do eixo por meio de um mancal feito de nylon, mas essa solução foi descartada.

As primeiras peças internas começaram a ser desenvolvidas, como a “Cantoneira”, a “Caixa do rodízio” e um *encoder* básico, também seriam usados ainda nove sensores ao todo. O uso dos rodízios para melhor estabilidade foi adotada e houve uma melhor disposição dentro do sistema pela inclusão da “Caixa do rodízio”, que possibilita a regulagem de altura.

Nas primeiras definições da quarta versão, um protótipo foi produzido em alumínio, depois de estabelecidas as mudanças necessárias (tipo de roda, tamanho das chapas superior e inferior, etc.) e uma versão mecânica foi produzida em MDF. Nesta versão houve algumas melhorias em relação as anteriores, como a diminuição dos custos e peso, a melhor estabilidade, a definição da aparência física e do dimensionamento das peças.

Ao todo foram desenvolvidas cinco versões, sendo a última com alguns aprimoramentos e mudanças em relação à quarta versão, descritos nas seções seguintes.

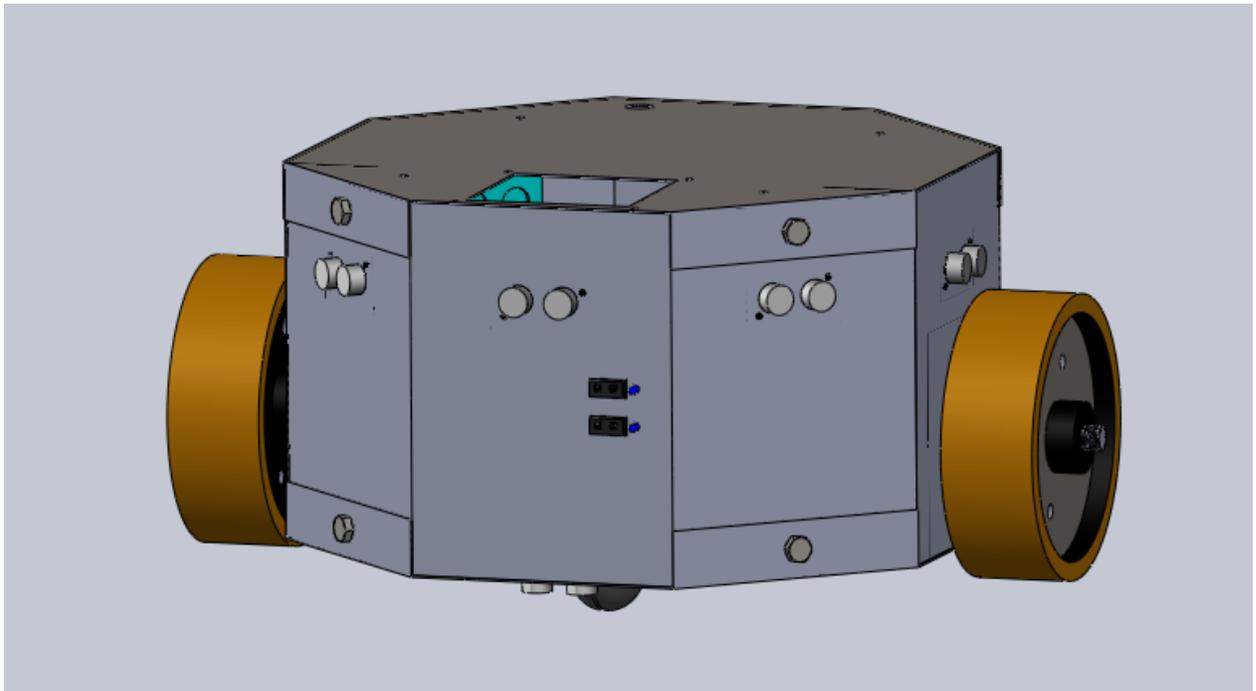


Figura 9 – Quarta plataforma
Fonte – Autoria própria

3.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA MECÂNICA

O desenho elaborado (Figura 10) prevê furos para a utilização de seis sensores, fixação na parte superior para possíveis aprimoramentos, como um braço robótico ou uma câmera embutida. Também prevê furos para passagem de cabeamento.

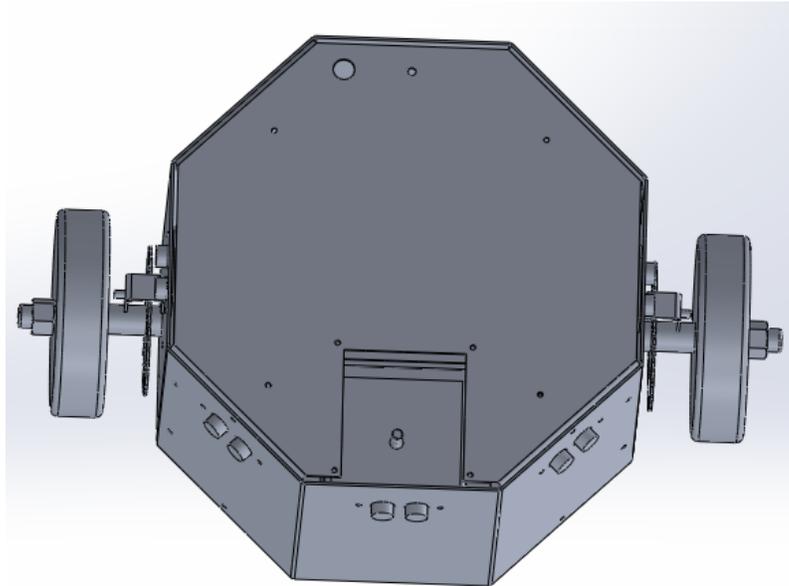


Figura 10 – Elaboração da mecânica
Fonte: Autoria própria

A parte interna foi simplificada e reduzida, assim como o restante da mecânica para diminuir o peso e custo. Na parte interna (Figura 11), estão presentes os motores para locomoção (não representados na figura), mancais comerciais para sustentação do eixo, presos às paredes. Na parte central encontram-se duas caixas fixadas internamente no aparelho, que servem de suporte para os rodízios que equilibram e sustentam o fundo do robô. As rodas encontram-se centralizadas no meio da plataforma para melhor controle, a transmissão de torque se dá pelo uso de um eixo usinado acoplado ao motor.

O perfil octogonal das chapas foi a melhor opção para uso dos sensores e produção. A plataforma pode ser facilmente desmontada tanto pelo lado de cima quanto pelo de baixo e seu perfil octogonal foi dividido em duas partes para possibilitar o manuseio das peças internas (Figura 11).

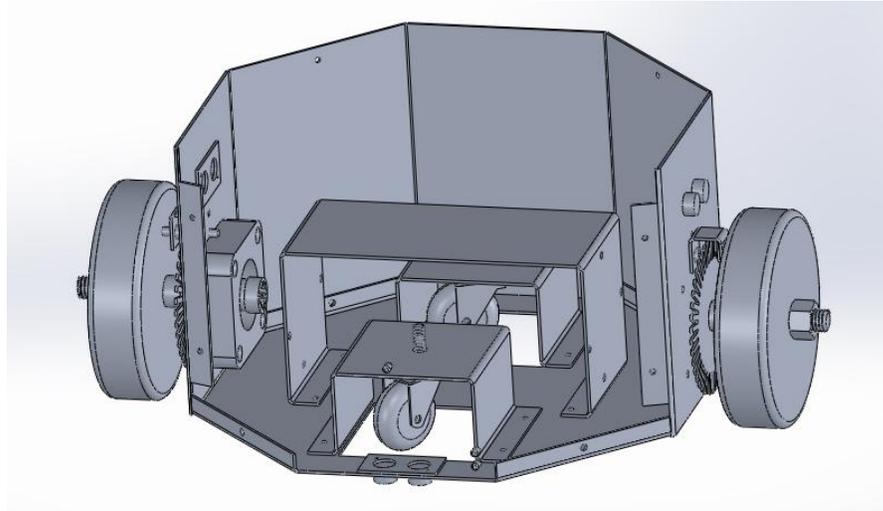


Figura 11 – Vista da parte interna simplificada
Fonte: Autoria própria

3.4 DETALHAMENTO DO DESENVOLVIMENTO MECÂNICO

A composição mecânica foi desenvolvida (Figura 12) com o enfoque na facilidade de fabricação. O material foi escolhido considerando-se o melhor custo/benefício e a sua facilidade de obtenção, por isto foi selecionado o alumínio ao invés do aço, utilizado para maior parte da estrutura, de 2 mm de espessura. O dimensionamento da mecânica foi realizado de forma empírica.

Embora não seja tão barato, o alumínio é comum no mercado, proporciona um melhor acabamento e é mais leve que o aço. Ele foi utilizado nas peças “Caixa do rodízio”, “Cantoneira”, “Piso”, “Tampa”, “Parede maior”, “Parede menor”, “Suporte eletrônico” e “Suporte dos sensores óticos” (APÊNDICE B).

Também nesta última versão se optou por rodas de borracha e um mancal padrão, ao invés das rodas de nylon, que não tinham um atrito adequado com o solo. O mancal, antes usinado em nylon com custo relativamente elevado, foi substituído por um mancal padrão de baixo custo.

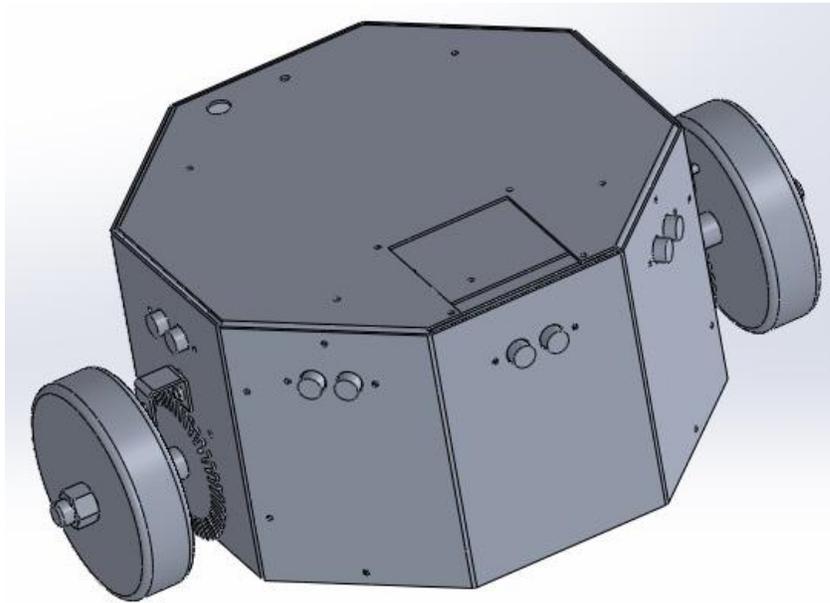


Figura 12 - Montagem do robô
Fonte – Autoria própria

Também os eixos continuaram centralizados para dar ao robô um melhor controle, permitindo ainda que ele faça uma rotação em torno de si mesmo. Para que o robô fosse estável, optou-se por uma estrutura baixa, melhorando a estabilidade com relação às versões anteriores. As rodas foram fixadas no eixo e presas pelo uso de porcas.

Os mancais e os motores foram fixados de forma a obter uma estrutura mais robusta e o giro do eixo mais estável. Furos foram feitos ao lado dos furos de fixação dos sensores ultrassônicos para auxiliar na sua retenção, como por exemplo na utilização de chapas furadas, presas por parafusos contra a parede da estrutura, pressionando assim o sensor. Os motores estão acoplados aos seus eixos por interferência, sem o uso de engrenagens ou correntes, fazendo assim uma transferência direta do torque. Diferentemente das versões anteriores, a transmissão foi simplificada e aprimorada, sendo que o furo no eixo para encaixe do motor não é mais em formato “estrelado”, mas circular, simplificando assim a usinagem.

Os furos foram padronizados para as medidas de 3mm, 4mm e 5mm, com exceção dos furos na parede maior onde é fixado o mancal (8mm e 24mm), dos furos do Suporte dos sensores óticos (8mm) e dos da caixa do rodízio (10mm) na qual estão o furo de fixação do rodízio e os furos dos sensores junto com o furo na tampa para

cabeamento (18mm). A fixação das paredes do “Piso” e da “Tampa” do robô é feita pela utilização de linguetas presentes nas chapas que permanecem na parte interna das paredes. A parede que forma o octógono, foi dividida em duas partes, uma maior e outra menor assim como na terceira versão, em vista da montagem. A parte posterior é menor, com três faces e a traseira é maior com as outras cinco faces. Esta fixação de uma parede na outra também ocorre da mesma forma que as chapas, visando o melhor acabamento (Figura 13).

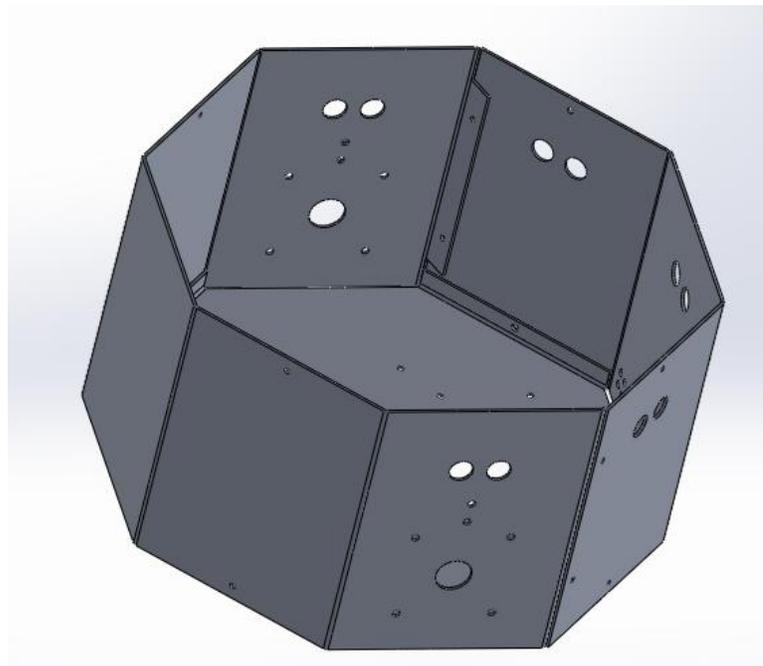


Figura 13 – Montagem das paredes
Fonte: Autoria própria

A tampa possui os quatro furos de fixação para expansões da estrutura e um furo maior para passagem de cabeamento para comunicação com a eletrônica interna, características que possibilitam seu uso como plataforma de desenvolvimento. Um corte retangular ainda está presente no aparelho desde a terceira versão, caso o usuário deseje acrescentar uma placa de circuito impresso com um display de cristal líquido (LCD), por exemplo.

A eletrônica básica pode ser fixada no suporte para eletrônica, que está entre os mancais, sobre a cantoneira. Nesta versão final, ainda foi aprimorada a barreira ótica, utilizando as peças “*Encoder*”, que também foi melhorada para facilitar a reprodução,

“Suporte dos sensores óticos” e os emissores e receptores infravermelho. A barreira ótica na quarta versão era interna, tendo sido colocada ao lado da roda nesta versão final, na parte externa. As melhorias nesta versão em relação à anterior foram o aumento da estabilidade, diminuição do custo e peso, simplificação do desenho mecânico (o que diminui o tempo de produção, assim reduzindo o valor de terceirização da usinagem), melhoria no uso dos sensores e conseqüentemente sua diminuição em número (seis sensores) e o aprimoramento das peças internas (Cantoneira, Caixa do rodízio, etc.).

3.4.1 Componentes Mecânicos

Essa seção descreve os componentes da estrutura mecânica e sua seleção e detalhamento. As dimensões de cada componente a ser usinado encontram-se no APÊNDICE B.

3.4.1.1 Caixa do rodízio

A caixa do rodízio (Figura 14) foi dimensionada em proporção ao diâmetro de giro do rodízio selecionado, que proporciona mais estabilidade ao aparelho. Com o uso de porcas ou arruelas pode-se regular a altura do rodízio.

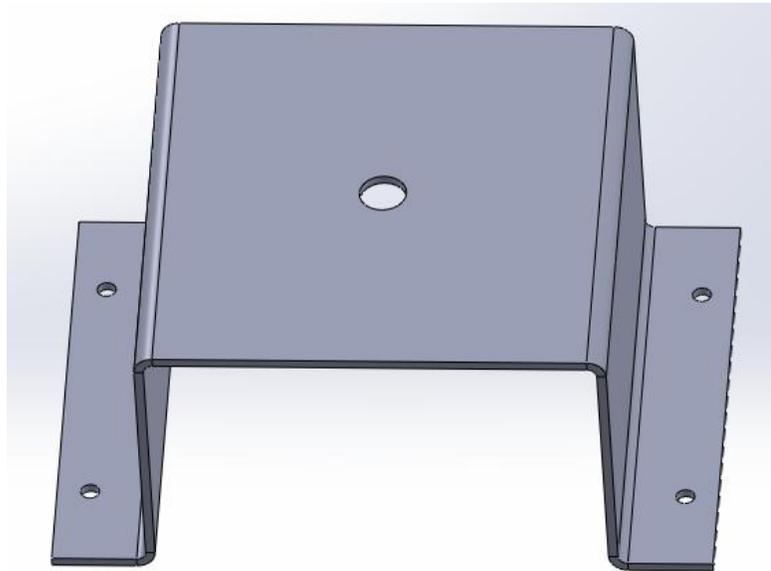


Figura 14 – Caixa do rodízio
Fonte – Autoria própria

3.4.1.2 Cantoneira

A cantoneira foi dimensionada de forma a dar robustez à fixação dos motores nos eixos e também para envolver a bateria. Os dois motores serão fixados nas faces opostas externas da cantoneira (Figura 15).

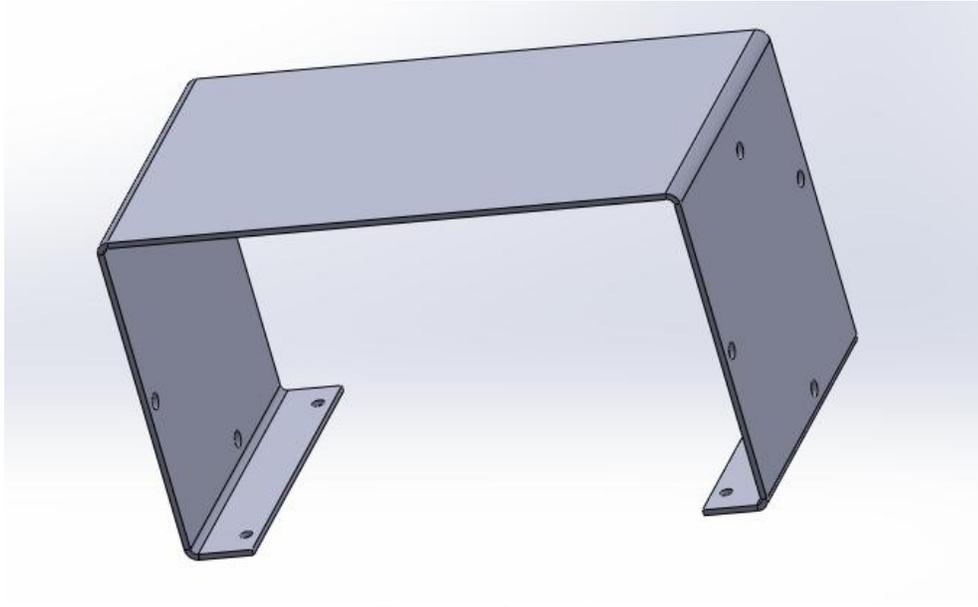


Figura 15 - Cantoneira
Fonte – Autoria própria

3.4.1.3 Piso

O piso (Figura 16) é a base da maior parte da mecânica do dispositivo e nele estão fixados os rodízios, a cantoneira, as bases das paredes e um sensor para medição da altura. Sua dimensão é menor que a do octógono formado pelas paredes laterais para que as linguetas de fixação fiquem abrigadas dentro da estrutura.

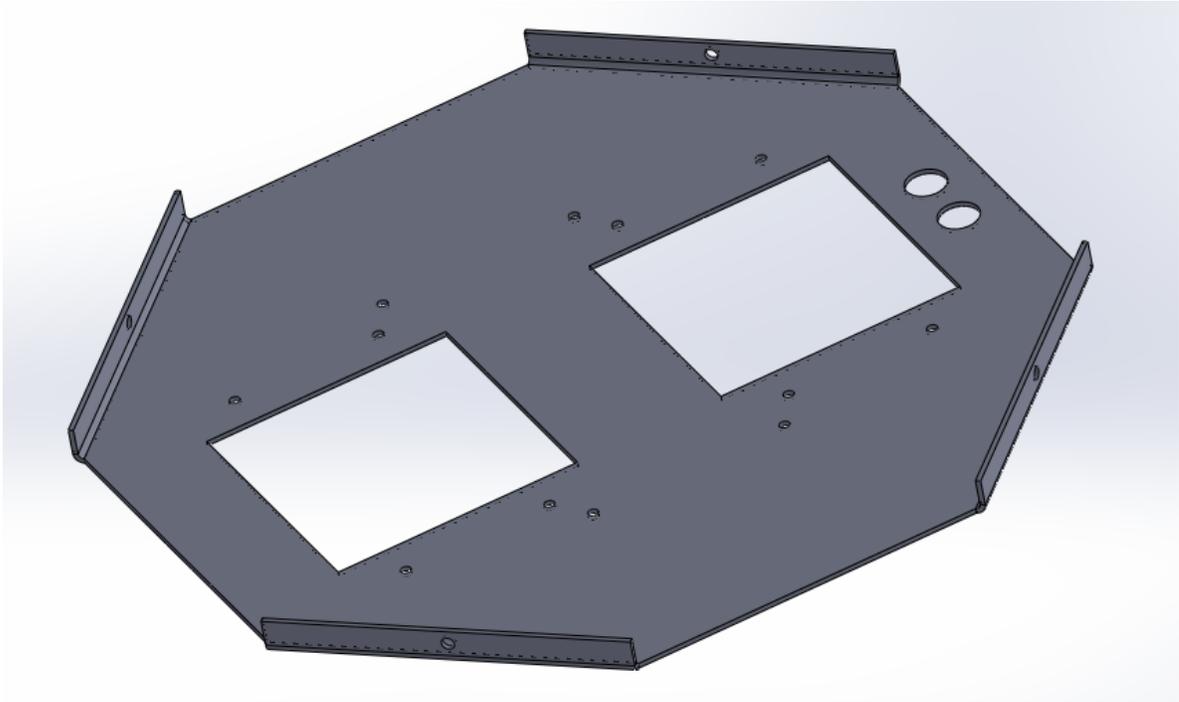


Figura 16 – Piso
Fonte – Autoria própria

3.2.1.4 Tampa

Na tampa (Figura 17) poderá ser colocado o possível aprimoramento que o usuário deseje realizar na estrutura, sendo possível fixar-lhe uma placa eletrônica ou outra estrutura extra usando os quatro furos presentes nela. O cabeamento externo pode ser passado para o interior da estrutura pelo furo de 18 mm.

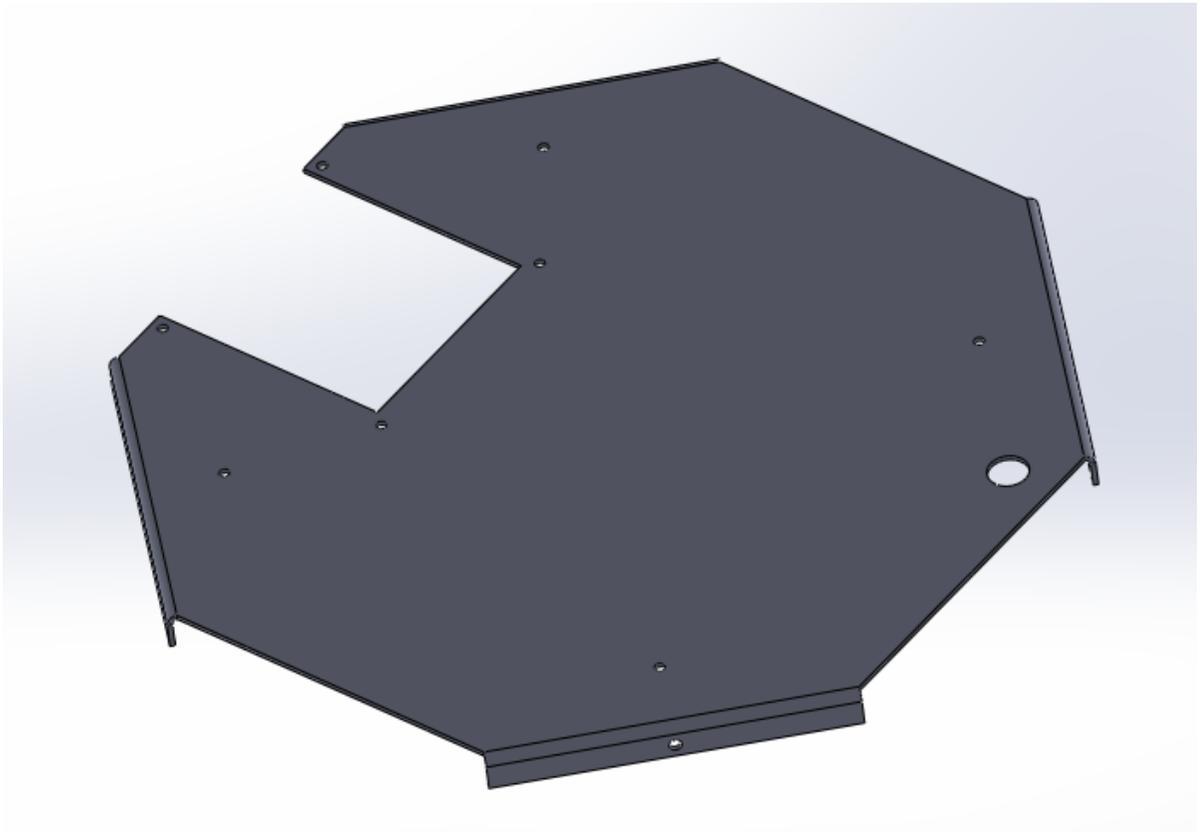


Figura 17 – Tampa
Fonte – Autoria própria

3.2.1.5 Eixo

O eixo projetado transfere diretamente o torque do motor à roda, pois a engrenagem deste esta acoplada diretamente no topo do perfil usinado (Figura 18). O *encoder* também é fixado no eixo por anel elástico e atrito.

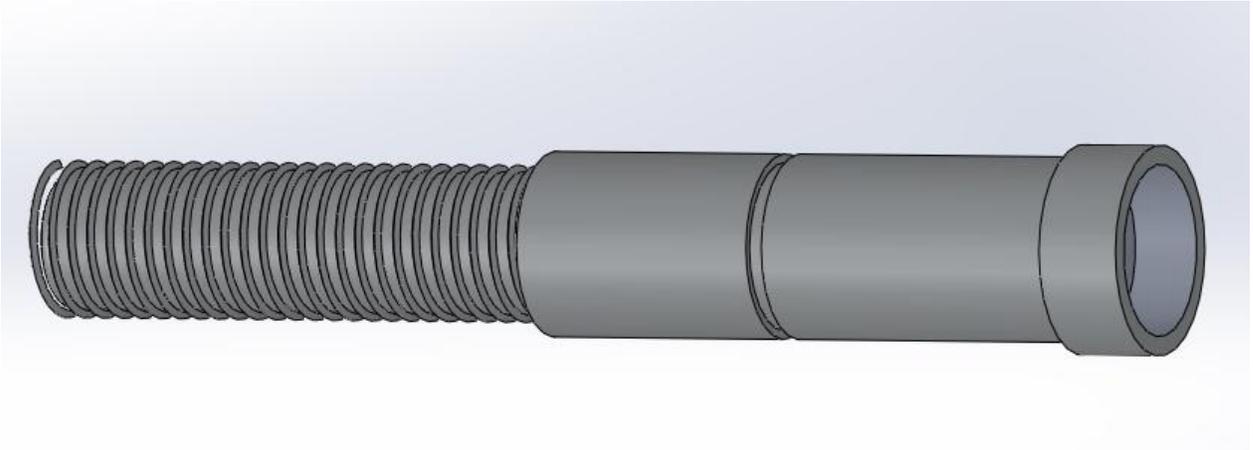


Figura 18 – Eixo
Fonte – Autoria própria

3.4.1.6 *Encoder*

O *encoder* (Figura 19) desenvolvido possui 40 dentes, feito de MDF (pode ser feito do mesmo material que a estrutura, ou substituído por um disco de corte que possua o mesmo diâmetro interno e externo). Ele é utilizado em conjunto com o sensor ótico e o “Suporte dos sensores óticos” para controle do ângulo de giro de cada eixo. Está preso no eixo por interferência e pelo uso de anel elástico preso ao eixo.

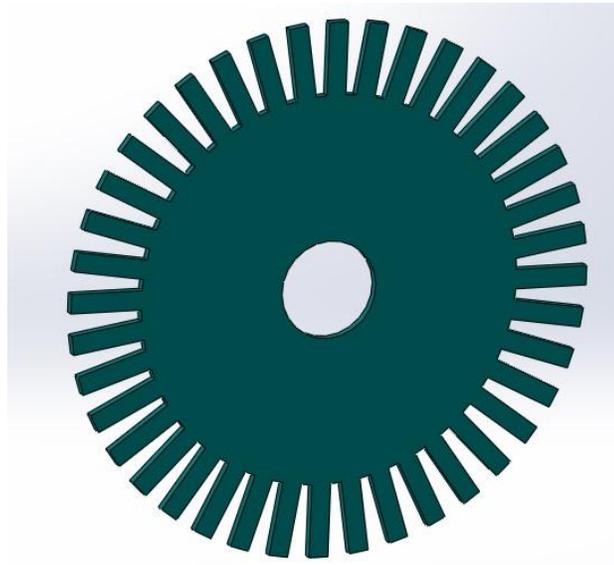


Figura 19 – Encoder
Fonte – Autoria própria

3.4.1.7 Mancal

O mancal sustenta o eixo provendo-lhe estabilidade. O mancal selecionado é da linha F200, a série F204 (Figura 20), para um diâmetro de eixo de 20 mm, um mancal padrão.



Figura 20 – Mancal
Fonte – XRT (2014)

3.4.1.8 Parede Lateral

A parede lateral da estrutura foi dividida em duas partes, sendo que a parte maior (Figura 21) se estende de um eixo ao outro. Nela são fixados os mancais.

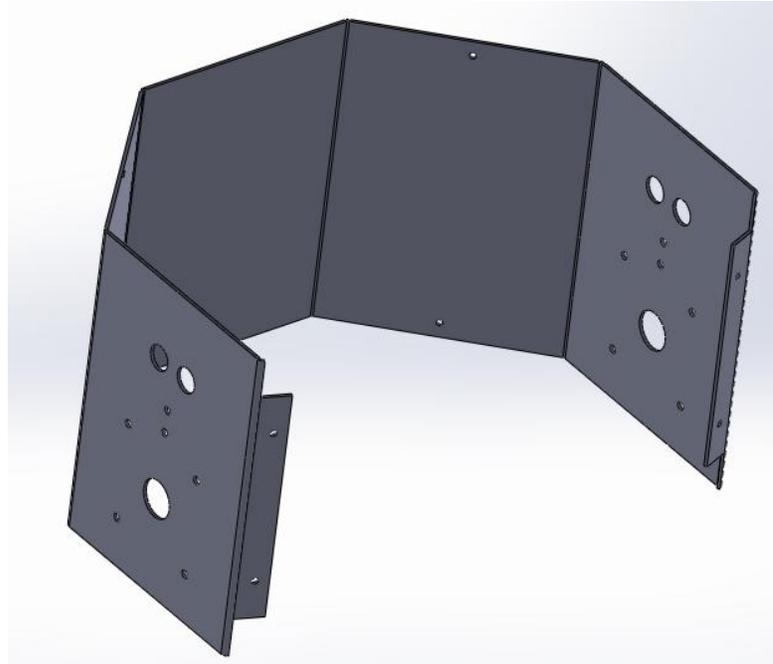


Figura 21 – Parede maior
Fonte – Autoria própria

A parede menor (Figura 22) serve para facilitar a visualização e manuseio da parte interna do aparelho, no caso de sua retirada. Todas as faces são utilizadas para a fixação dos sensores, exceto as faces traseiras, devido ao aparelho não se locomover para trás (exceto em caso de possível queda).

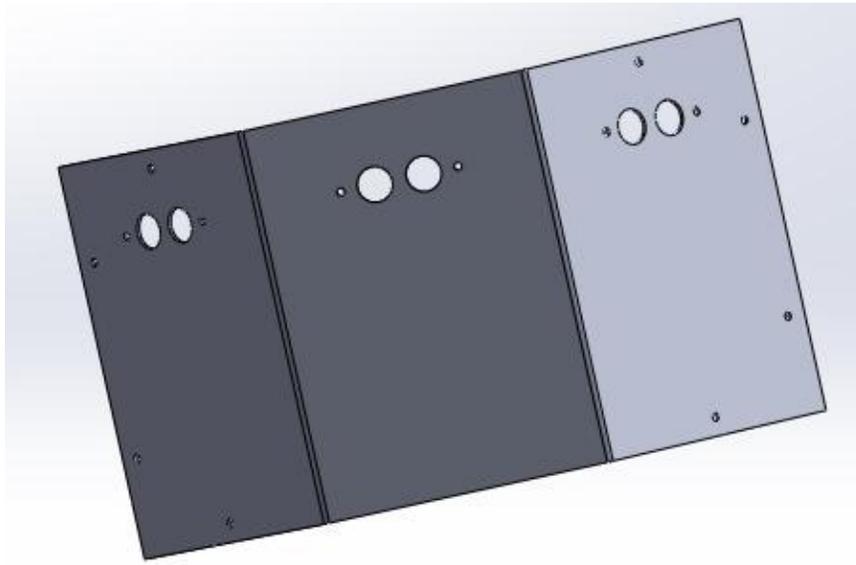


Figura 22 – Parede menor
Fonte – Autoria própria

3.4.1.9 Roda

A roda selecionada é de 6 polegadas de diâmetro, composta de polipropileno e borracha, do fabricante “Schioppa”, código do fabricante: R614PMN (Figura 23).



Figura 23 – Roda de borracha Schioppa
Fonte – Campinas carrinhos & rodízios (2014)

3.2.1.10 Rodízio

O rodízio escolhido (Figura 24) é de 2 polegadas, composto de gel, fabricante “Schioppa”, código do fabricante: MGAE200.



Figura 24 – Rodízio Gel
Fonte – Casa do Borracheiro (2014)

3.4.1.11 Suporte dos sensores óticos

O "Suporte dos sensores óticos" (Figura 25) é utilizado em conjunto com os sensores óticos e o *encoder* para formar a barreira ótica. É utilizado como suporte para os sensores óticos que, através do suporte de plástico do emissor e receptor infravermelho, são inseridos nos furos presentes na peça. Este suporte é preso no furo presente na parede da estrutura, que se encontra acima do furo para o eixo.

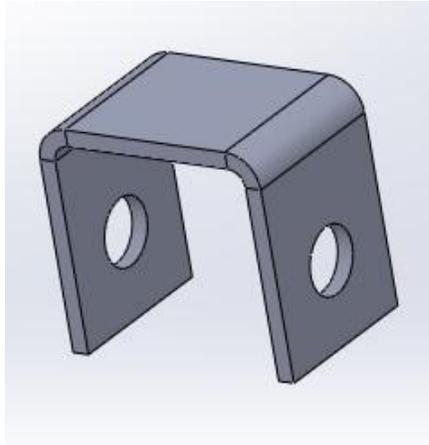


Figura 25 – Suporte dos sensores óticos
Fonte – Autoria própria

3.4.1.12 Suporte dos módulos eletrônicos

O "Suporte dos módulos eletrônicos" foi projetado para a fixação das placas utilizadas na estrutura e as demais placas que possam ser acrescentadas ao projeto (Figura 26). Pode ser fixado na plataforma através dos furos presentes nas dobras das extremidades.

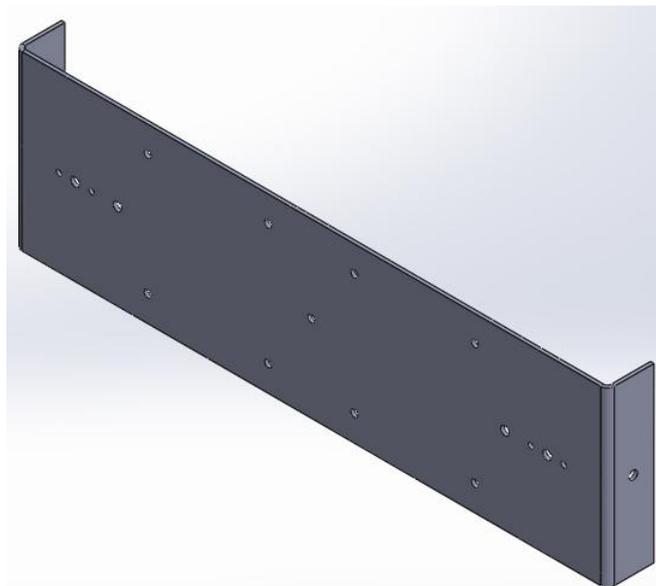


Figura 26 – Suporte Eletrônica
Fonte – Autoria própria

3.5 ELETRÔNICA PARA TESTE DO SISTEMA MECÂNICO

O diagrama de blocos da eletrônica (Figura 27) representa o *hardware* e seu funcionamento. Toda a alimentação do circuito é feita pela bateria, estando presente uma chave que corta a alimentação. Os sensores ultrassônicos, sensores infravermelhos e Ponte H são alimentados por um regulador de tensão de 5V, que por sua vez é alimentado também pela bateria. Os sensores ultrassônicos e infravermelho comunicam-se com o controlador central.

O *driver* de controle dos motores utilizado é uma Ponte H de relés. No aparelho de teste, porém, convencionou-se utilizar de uma bateria portátil de 5V para ligar o Arduino ao invés de alimentá-lo pela própria bateria do sistema, porém, este pode ser alimentado também pela própria bateria.

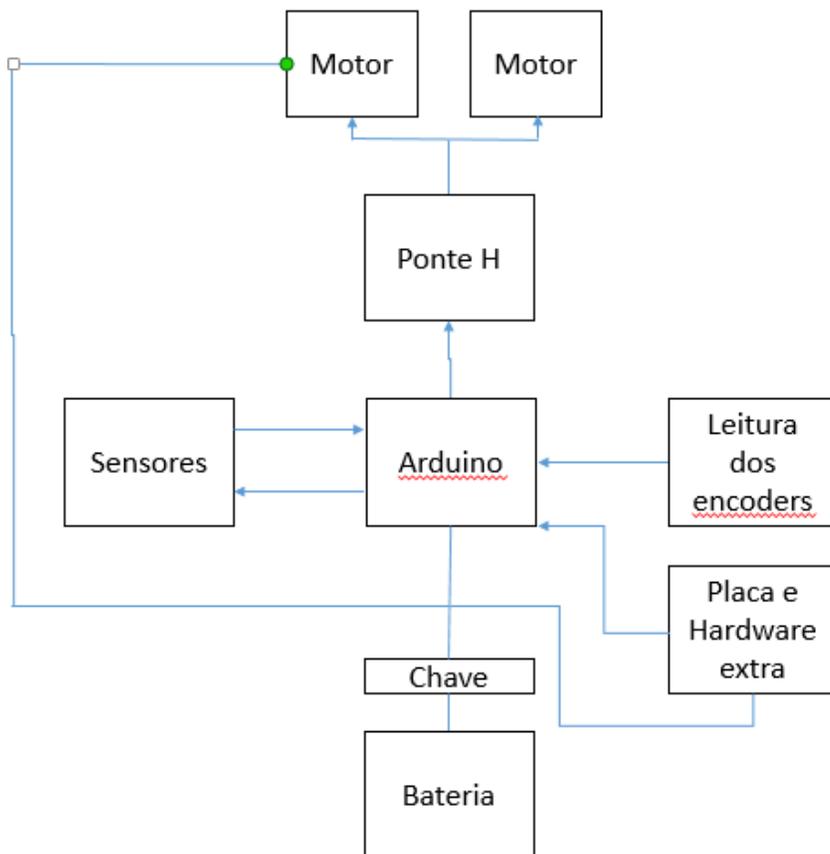


Figura 27 – Diagrama eletrônico
Fonte: Autoria própria

3.6 DESENVOLVIMENTO ELETRÔNICO

Na eletrônica do protótipo, optou-se por componentes de menor custo e que simplificassem a placa central, na qual estão presentes as ligações dos sensores ultrassônicos, ópticos e o driver do motor.

A ponte H projetada, por exemplo, foi feita de relés, de acordo com a especificação da corrente do motor, por ter sido a forma de controle do motor mais adequada a reprodução. Seu acionamento é feito pelos transistores BC548 que são chaveados pelo Arduino. Durante o desenvolvimento foram utilizados o driver L298, ponte H de transistor e ponte H com opto acopladores, tendo sido o resultado mais satisfatório o *driver* de relés.

O motor escolhido foi o motor CC da marca “Mabuchi”, modelo JC/LC-578VA (utilizado em vidros elétricos, lado esquerdo e direito), devido ao baixo custo, disponibilidade e potência. Ele é um motor comum no mercado e potente para sua função, seu controle acontece por meio da ponte H, possibilitando a troca do sentido da rotação (Figura 28). O Arduino envia um sinal por uma de suas portas, acionando o relé que inicialmente está ligado ao neutro, caso a porta 22 seja acionada e a 23 do Arduino desligada, girará o motor esquerdo em um sentido, caso contrário, o motor girará no sentido inverso, da mesma forma isso ocorre com o motor direito, controlado pelas portas 24 e 25. Este sinal do Arduino é enviado ao BC548 que permite a passagem de corrente para a bobina do relé, ativando-o.

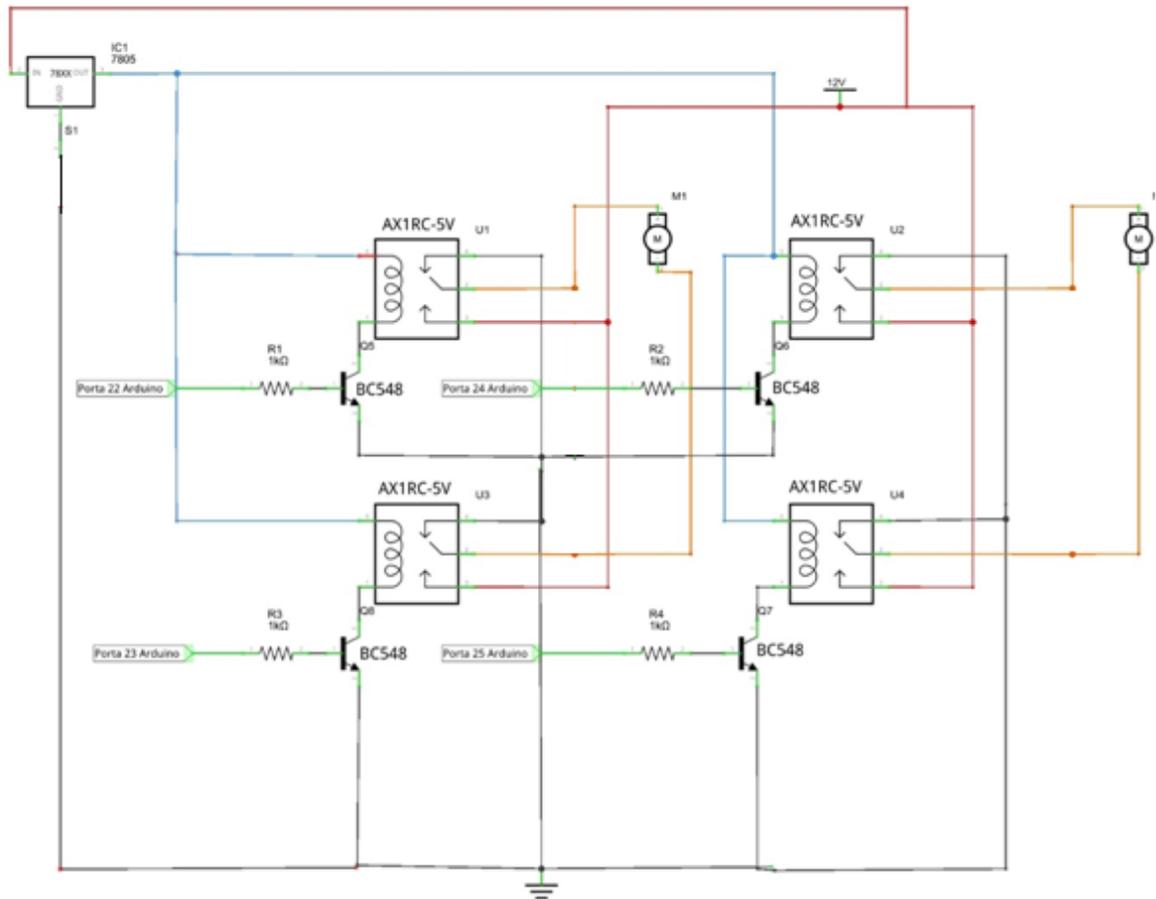


Figura 28 - Driver Motor
Fonte – Autoria própria

A plataforma utiliza ao todo seis sensores ultrassônicos do modelo “HC-SR04”, os quais são acionados um por vez. O Sensor selecionado era o que melhor atendia os requisitos do projeto de acessibilidade e baixo custo, sua ligação pode ser vista na Figura 29, seguindo na ordem da esquerda para a direita: 5V, porta de saída do Arduino para ativar o sinal no sensor, porta de entrada do Arduino para recebimento do sinal do sensor, GND (terra).

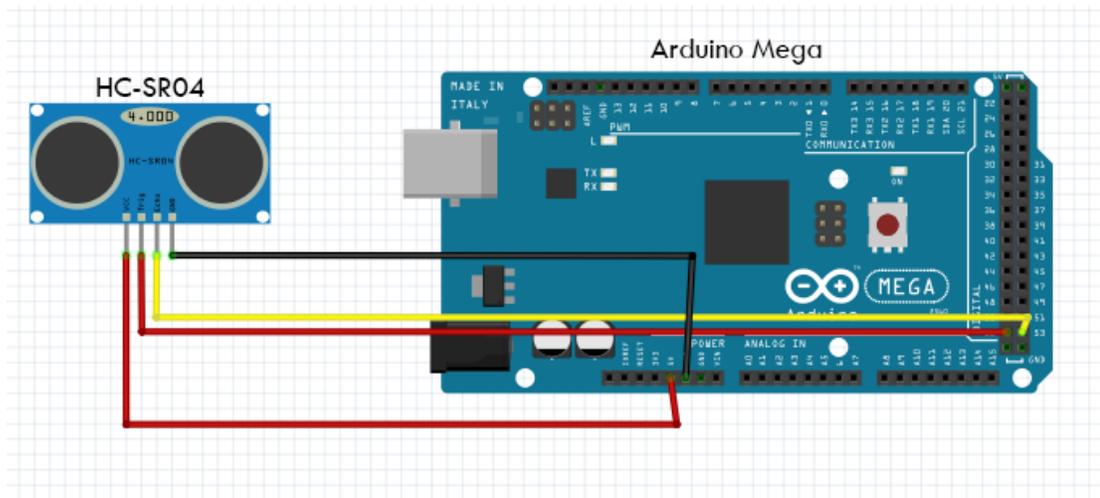


Figura 29 - Ligação sensores
Fonte – Autoria própria

Também para o controle do sistema, estão sendo utilizados dois sensores infravermelhos com *encoders* que fornecem a contagem do ângulo girado, quando necessário. As barreiras ópticas encontram-se fixadas aos “Suporte dos sensores óticos”. A bateria selecionada foi uma bateria selada, de 12V, utilizada também em *nobreaks* e alarmes, encontra-se por dentro da peça “Cantoneira” que a envolve e pode ser recarregada por carregador próprio e de forma manual.

O controlador central utilizado foi a plataforma de prototipagem Arduino, por ser mais acessível, comum e barata. Nas versões preliminares a placa utilizada era o *Raspberry PI*, mas devido aos incidentes de queima, difícil aquisição, alto custo, dificuldade de programação e maior complexidade para configuração das suas saídas aos outros componentes, ela foi substituída.

3.7 DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

O programa de teste está dividido, segundo sua função, por blocos. A função “*Setup*” configura os motores e outras extensões. Na função “*Loop*”, a principal do programa, os motores são acionados, e a cada ciclo de tempo são executados outros blocos como o “rastreamento”, que capta a distância pelos sensores e faz a varredura

inicial, a “autonomia”, que caso seja necessário executa os desvios, “enrosco”, quando há um objeto próximo que impede a movimentação do robô. As demais funções são executadas por estes blocos principais.

3.7.1 Fluxograma

As funções principais do programa são acionadas depois que o sistema é alimentado. Quando iniciado o programa, as configurações da placa e suas saídas são definidas e é chamada a função principal do robô (*Loop*) que processará o rastreamento dos sensores para valores iniciais de referência. Caso os valores estejam dentro dos valores aceitáveis, o aparelho continua sua locomoção frontal. A cada período de tempo pré-determinado, o robô reiniciará a leitura dos HC-SR04 (sensor ultrassônico). Depois deste rastreamento das distâncias, caso elas indiquem proximidade de um objeto, a plataforma acionará a função "Autonomia", na qual são tomadas medidas de desvio. O robô novamente realiza uma varredura, até que esteja fora de risco de colisão (Figura 30).



Figura 30 - Fluxograma programação
Fonte: Autoria própria

3.7.2 Funções de Autonomia

O programa possui duas funções de desvio, a "Autonomia" e o "Enrosco". O "Enrosco" é uma função que executa movimentos para os casos em que a função de "Autonomia" não consegue desviar de um obstáculo. Nesta função, o robô executa um deslocamento que permite andar em uma faixa paralela a que estava.

O robô detecta um obstáculo a frente por exemplo, no sensor a nordeste, a uma distância menor que 8 cm. Ele moverá a roda direita para trás por 1 s, depois as duas rodas por 0,5 s e novamente a roda esquerda por 1 s, alinhando-se assim, em uma rota paralela a utilizada anteriormente a detecção do obstáculo (Figura 31). Esta função possui verificação para colisão no sensor norte, nordeste e noroeste, sendo que a colisão norte, o aparelho andar para trás enquanto a distância for menor que 18 cm.

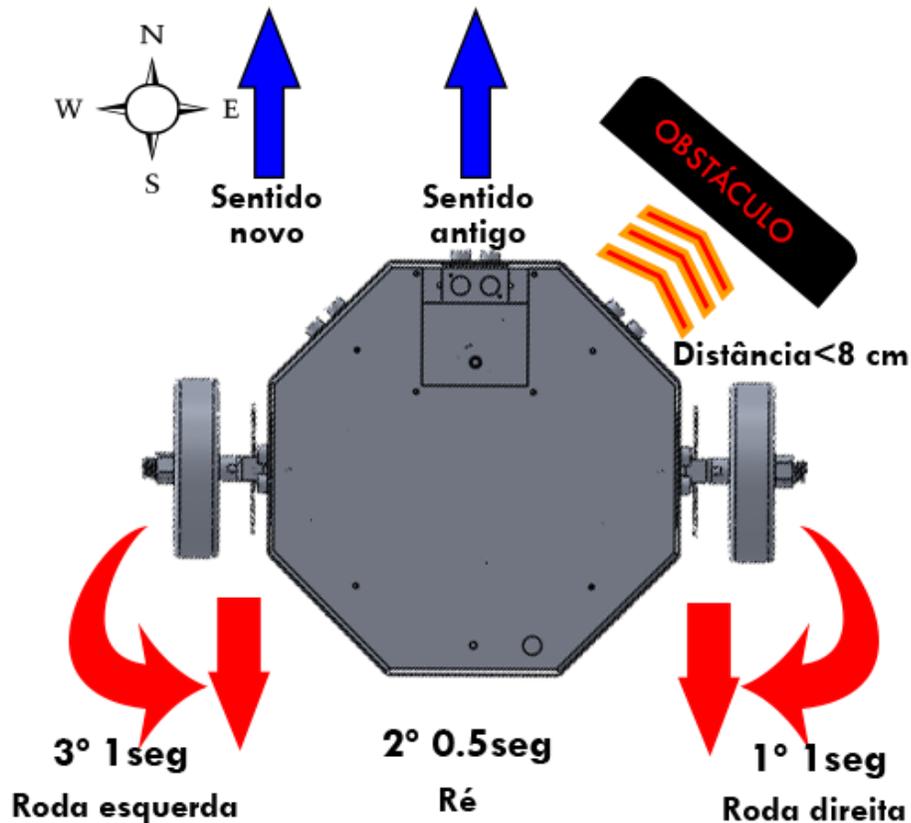


Figura 31 - Função Enrosco
Fonte – Autoria própria

Já a "Autonomia" é dividida em diferentes etapas: Sensor de altura, sensor frontal, sensor nordeste e sensor noroeste. O robô locomove-se frontalmente, porém quando a distância limite é atingida dentro do ciclo de tempo, a função é executada e os valores verificados.

Por exemplo, o robô baterá a frente, porém o sensor também está no seu limite a nordeste e a noroeste, que é de 18 cm, a plataforma se distanciará andando para trás e girará 180 graus (Figura 32).

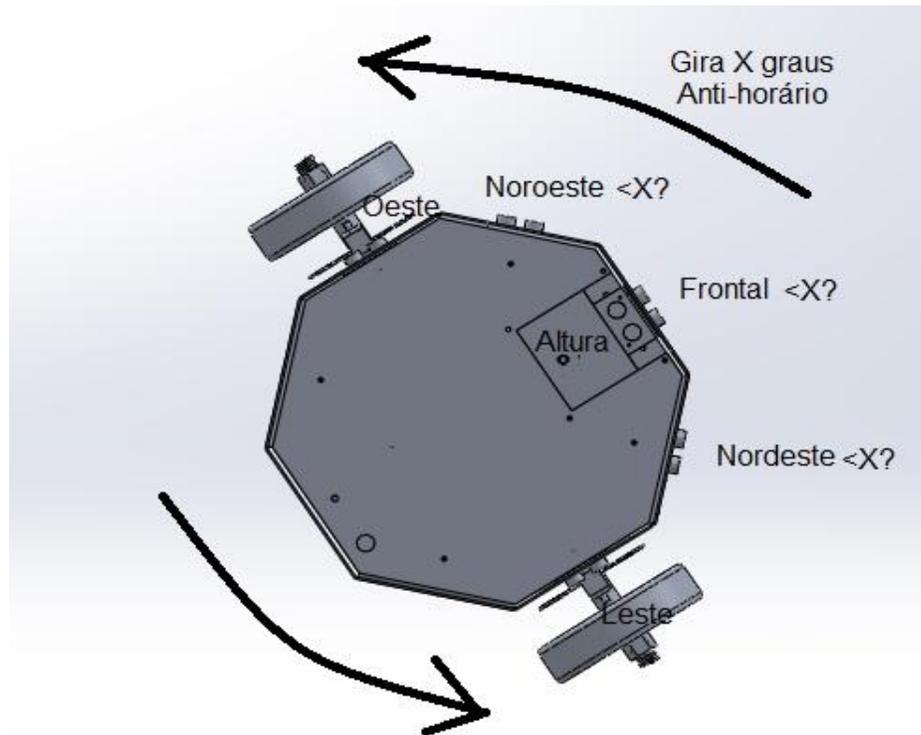


Figura 32 - Autonomia Frank
Fonte – Autonomia própria

Dentro de cada etapa da função, existe uma verificação dos demais sensores, na qual o robô analisará por onde é possível se locomover, podendo assim fazer movimentos de 15, 45, 90 e 180 graus em torno de si. Após isto fará uma nova leitura dos sensores, comparando os valores e tomando novas medidas, caso seja possível, retornará à locomoção frontal. A contagem do angulo é feita pela função "Contagemesq", que utiliza a barreira ótica para contagem dos cortes de sinal, sendo que cada ângulo corresponde a um certo valor de pulsos.

3.7.3 Funções Auxiliares

Outras funções utilizadas no *software* são a “Contagemesq”, “Contagemdir”, “Rastreamento” e “Stop”.

As funções "Contagemesq" e "Contagemdir" realizam a leitura dos *encoders* utilizados nas rodas esquerda e direita, respectivamente. No entanto, apenas a leitura da roda esquerda é realmente utilizada, tendo sido criada outra função para um possível controle de velocidade. A contagem das rodas funciona pelo sistema chamado “sinaleiro”, quando o receptor infravermelho acusa sinal, uma variável recebe valor 1, quando o sinal desaparece, ela é zerada e uma outra variável de incremento que se inicia em 0, é incrementada em uma unidade, esse incremento apenas acontece caso a variável tenha sido igualada a 1, se não, o incremento continua no mesmo valor, eliminando assim um incremento infinito na variável.

Já a função "Rastreamento", faz uma varredura nos sensores, um por vez, iniciando a verificação no sensor de altura que está na chapa inferior, depois para o sensor norte, nordeste, leste, oeste e por fim, noroeste. Uma função própria do Arduino efetua o cálculo da distância percorrida pelo robô e a converte em centímetros. Esses valores são utilizados no restante do programa.

A função "Stop" é uma função simples de desligamento das portas de controle da ponte H, ou seja, os motores são desligados, esta função é chamada pelos blocos que executam a função "Autonomia".

4. RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES

Um dos propósitos do trabalho era possibilitar que um potencial usuário construísse uma plataforma mecânica para robótica móvel sem precisar recorrer a serviços de fabricação sofisticados, a um custo compatível com um equipamento eletrônico doméstico. Embora haja limitações no processo final de construção da plataforma, esse objetivo foi atingido.

O deslocamento do robô, porém, não é perfeito em todas as circunstâncias. Por exemplo, no caso de o rodízio de sustentação estar perpendicular ao seu movimento, ocorrerá um arrasto da estrutura ou mesmo o giro em falso das rodas. Isso poderia ser resolvido com um rodízio de esfera, por exemplo, que é mais dificilmente encontrado no mercado.

Ainda quanto ao deslocamento frontal, existe a possibilidade do robô percorrer uma rota levemente angulada ao invés de andar em linha reta, principalmente em um percurso mais longo. Isso deve ocorrer devido aos motores não serem idênticos e também pela mecânica usinada não ser perfeitamente balanceada. Isto poderia ser solucionado pela correção da velocidade das rodas pelo uso da “modulação de largura de pulso”, também chamado de PWM. Para possibilitar isso, foram previstos *encoders* em cada eixo.

Outro resultado a se considerar seria na programação. Quando o robô depara-se com um obstáculo que seus sensores não conseguem detectar, ele poderá ficar retido no obstáculo, com suas rodas girando em falso. Por exemplo, o robô pode ficar preso embaixo de uma cadeira, cujo vão das pernas seja menor que sua largura. Este caso em particular deverá ser resolvido caso se necessite de um sistema mais autônomo. Uma tentativa de ajuste foi implementada, mas com os resultados foram insatisfatórios. Essa tentativa foi feita pela alteração da lógica de programação, com o monitoramento dos sensores. Se eles apresentassem os mesmos valores em três ciclos seguidos de varredura, o robô assumiria que ele estava retido em algum obstáculo. No entanto, essa solução prejudica o deslocamento em campo aberto, no qual os valores permaneceriam os mesmos e o aparelho faria movimentos estultos.

Outra limitação na funcionalidade do robô, imposto pelo programa de controle, é que um obstáculo poderá não ser detectado por estar fora do período de rastreamento (os sensores são ativados, um de cada vez). Ou seja, dependendo da velocidade de deslocamento, o robô não detectará um obstáculo antes de chocar-se com ele.

O melhor tipo de superfície para a movimentação do robô, devido a sua altura e ao desgaste das rodas, são os pisos lisos e com boa aderência ao solo, como lajotas. O robô é incapaz de subir rampas íngremes com quinas salientes ou pequenos degraus, pois como testado, suas rodas perderão contato com o solo.

Como resultado do trabalho, pode-se observar a evolução técnica do seu proponente, refletida na própria evolução do protótipo. Foram elaboradas novas soluções a cada versão do protótipo, visando torná-lo mais fácil de fabricar e diminuindo seu custo. Foram feitas simplificações na mecânica, na eletrônica e na programação, com o mesmo objetivo.

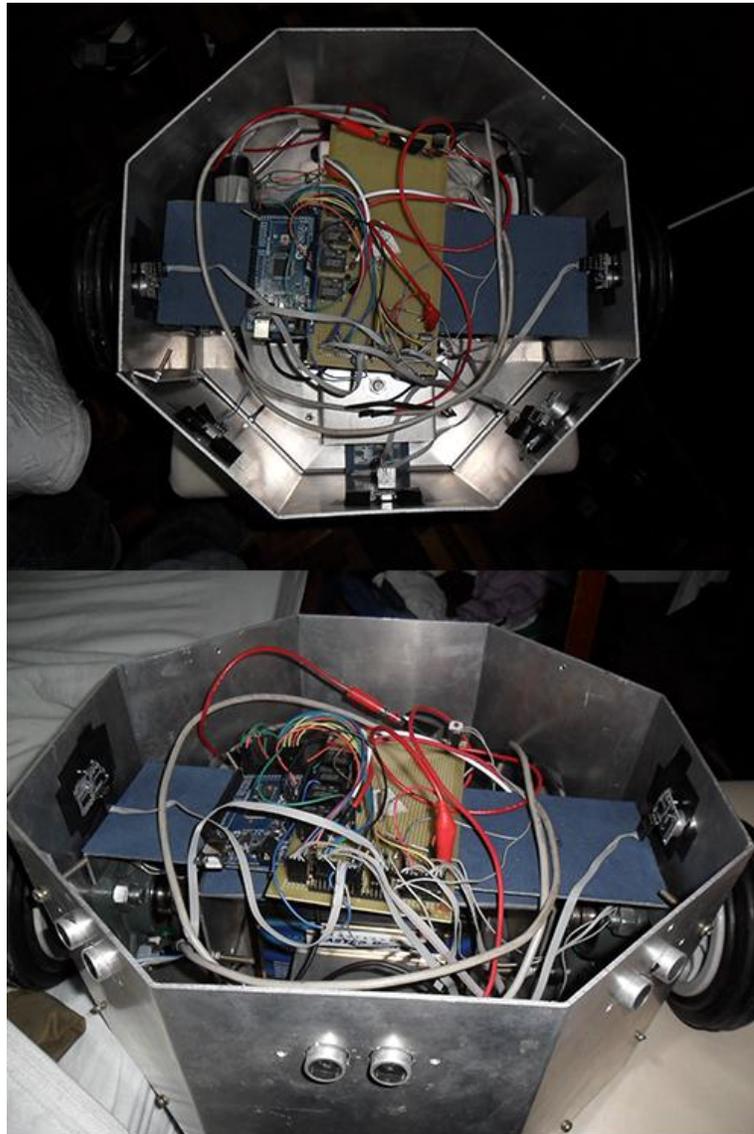
4.1 PLATAFORMA FINAL

A plataforma foi reproduzida em sua quinta versão (Figura 33), possuindo um peso total (mecânica e eletrônica) de 10kg.



Figura 33 – Visão da plataforma de todos os ângulos
Fonte – Autoria própria

É possível visualizar na Figura 34, a parte interna da plataforma, na qual se fez o uso de E.V.A. para isolamento elétrico, com todos os sensores (exceto da base), os motores, Arduino e a placa central. A ligação dos sensores com a placa central foi feita com cabos *flat*, as ligações na placa central e Arduino foram feitas com o uso de *jumpers* macho-fêmea e as ligações dos motores e da bateria foram feitas com cabos de 3mm de espessura.



Visão Interna

Figura 34 - Vista interna do aparelho
Fonte – Autoria própria

Na fabricação, constatou-se a facilidade de aquisição e montagem de toda a estrutura. Os materiais puderam ser adquiridos em lojas muito próximas ao centro de Curitiba.

Na terceirização da usinagem, o desenho para corte foi repassado para uma empresa que cortou a laser as chapas que foram repassadas para que outra empresa as dobrasse.

A plataforma foi montada e ligada com sucesso, porém constatou-se que a mecânica, por ter sido feita sem folgas, precisa ser adequadamente produzida, caso contrário as peças não se encaixarão com facilidade.

A montagem em si não é tão fluente e fácil, pelo fato do espaço interior ser reduzido. Por isso, existe uma ordem de montagem a ser seguida, que pode ser encontrada no Apêndice B - Manual de Reprodução.

As peças podem ser visualizadas na Figura 35, próximas aos seus respectivos membros de montagem.

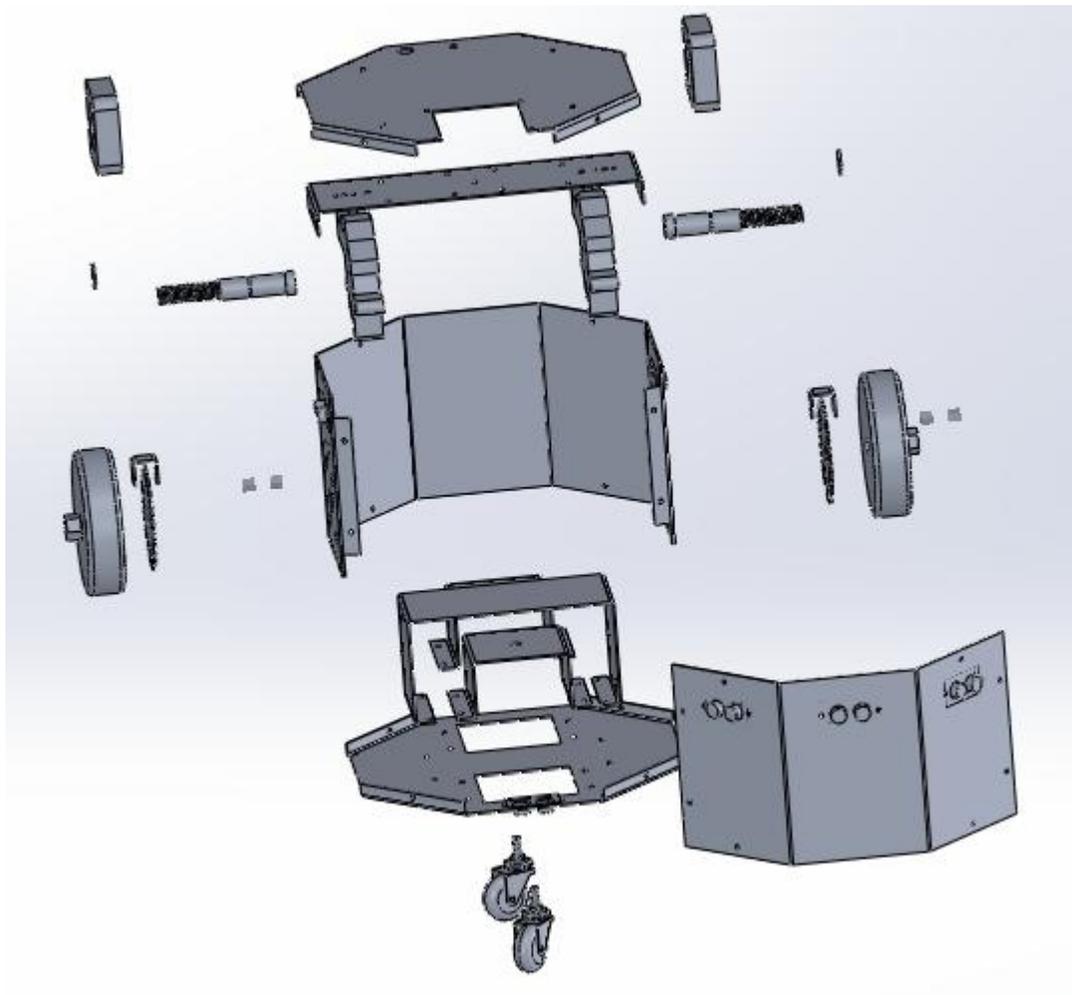


Figura 35 - Vista explodida
Fonte – Autoria própria

4.2 CUSTOS

A Tabela 1 apresenta os custos reais, gastos com a plataforma completa que foi produzida.

Uma das versões anteriores da plataforma foi produzida também em MDF, seu valor total foi em torno de R\$500,00, sendo que apenas de gastos na terceirização da usinagem o valor foi de R\$30,00. A estrutura física (peças usináveis excetuando o eixo) foi feita em máquina de corte a laser.

Parte	Nome	Valor
Mecânica	Chapa de alumínio espessura 2mm	Incluso no valor do corte terceirizado
	Barra de aço 25mm x 300mm	Incluso no valor do torneamento
	2 x Roda de Borracha 6 polegadas aro PP, 120Kg, Schioppa	R\$ 57,00
	2 x Rodízios gel, 2 polegadas, Schioppa	R\$ 26,00
	2 x Mancais	R\$ 40,00
	Porcas, parafusos e arruelas	R\$ 17,96
	Mecânica	Total: R\$140,96
Eletrônica	Chave alavanca pequena	R\$ 3,25
	2m Cabo Flat IDE	R\$ 5,60
	6 x Sensor de distância Ultrassônico HC-SR04	R\$ 90,00
	2 x Receptor e Emissor IR	R\$ 7,35
	4 x Terminal Faston Fêmea com isolamento	R\$ 1,68
	Placa perfurada 100x150	R\$ 9,77
	2 x Barra de pinos 1x40 180 graus	R\$ 1,10
	70 x Terminal MODU dourado 10 unidades	R\$ 7,00
	EVA 5 um (para isolamento)	R\$ 10,90
	4 x Relé + 4 x BC548	R\$ 19,90
	2 x Motor Vidro Elétrico Mabuchi 12V - JC/LC-578VA	R\$ 60,00
	Arduino Mega 2560	R\$ 60,00
	Bateria Master Power 12V 7Ah	R\$ 65,00
	Eletrônica	Total: R\$ 341,55

Material	Total material	Total: R\$ 482,51
Usinagem	Corte de chapa a laser + Chapa 2mm	R\$ 559,79
	Dobra das chapas	R\$ 255,00
	Usinagem dos 2 eixos	R\$140,00
	Corte a laser de 2 <i>encoders</i> de MDF	R\$ 20,00
	Usinagem terceirizada	Total: R\$ 974,79
TOTAL	CUSTO TOTAL	R\$1.457,30

Tabela 1 – Custo Real
Fonte – Autoria própria

4.3 SIMULAÇÃO DE DESLOCAMENTO

Na simulação de funcionamento feita na Figura 36, é possível observar o deslocamento do robô e as estratégias de desvio de obstáculos usadas por ele, estando em um cômodo fechado com objetos e uma escada. Existem setas identificando o sentido do movimento, também outras setas duplas demonstrando a detecção do sensor no aparelho, segue nesta ordem o deslocamento:

1. Bate no sentido nordeste, gira 15° anti-horário;
2. Bate no sentido nordeste, gira 15° anti-horário;
3. Executa uma locomoção frontal;
4. Bate na direção norte, afasta-se até ter no mínimo 20 cm de distância e gira 90° anti-horário;
5. Executa uma locomoção frontal;
6. Bate na direção norte, afasta-se até ter no mínimo 20 cm de distância e gira 90° anti-horário;
7. Enrosca na direção nordeste, afasta a roda esquerda, da ré e afasta a roda direita;
8. Executa uma locomoção frontal;
9. Enrosca na direção nordeste, afasta a roda esquerda, da ré e afasta a roda direita;
10. Executa uma locomoção frontal;

11. Detecta altura maior que 9 cm no sensor da base, para o aparelho, se afasta até o sensor acusar valor menor que 9 cm e gira 90° sentido horário;

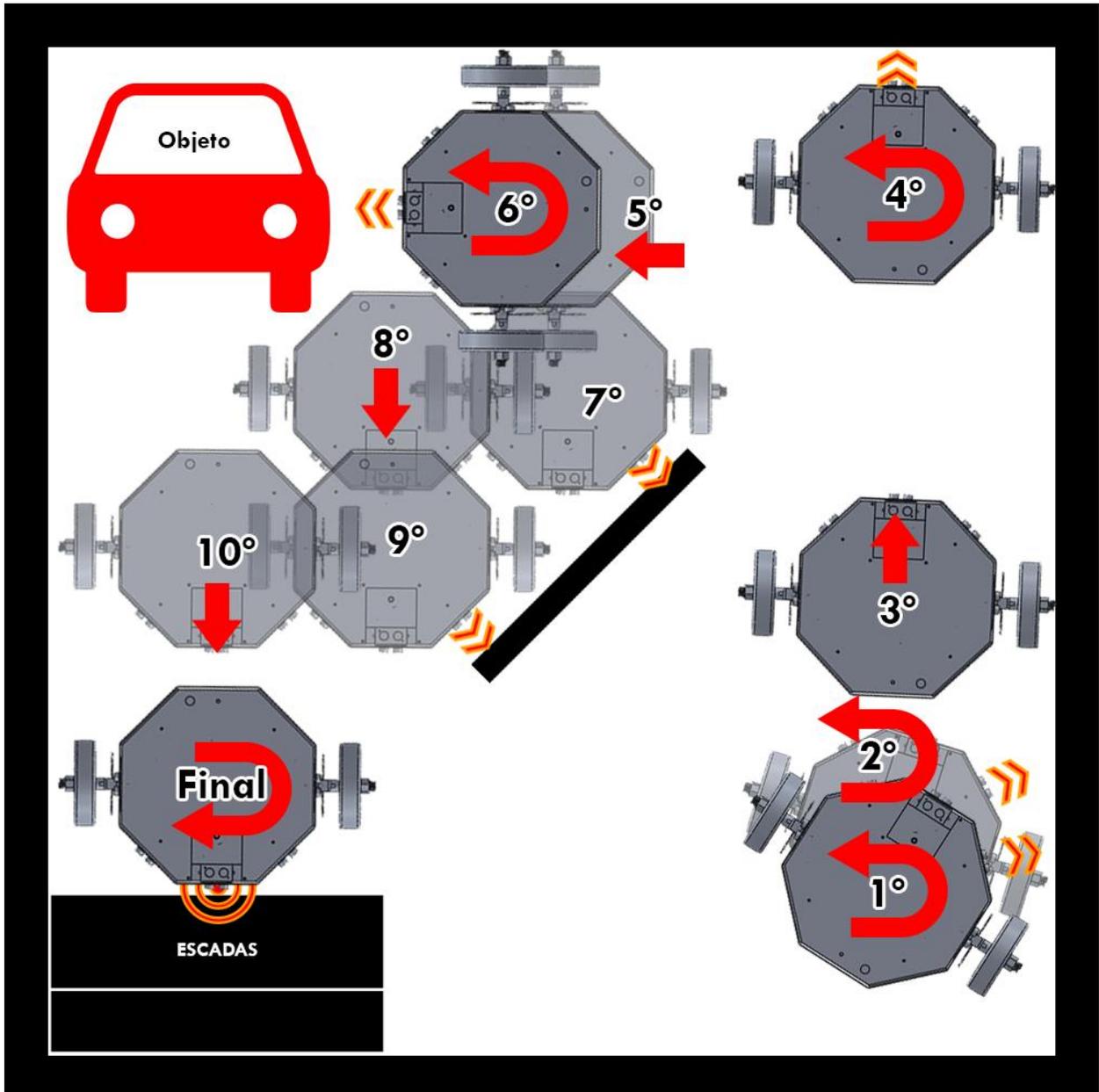


Figura 36 - Simulação em cômodo
Fonte – Autoria própria

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações finais foram divididas em duas subseções: “Dificuldades” ocorridas no desenvolvimento do aparelho e possíveis trabalhos futuros e aprimoramentos da mesma plataforma na seção “Trabalhos futuros: possibilidades e aprimoramentos”.

5.1 DIFICULDADES

As maiores dificuldades ocorreram durante o desenvolvimento da estrutura mecânica e do *driver* do motor. Para usinagem do primeiro protótipo da mecânica fez-se necessária a utilização das ferramentas, laboratórios e máquinas da Universidade, o que acarretou um tempo de atraso, pois as ferramentas eram inadequadas. A burocracia no uso do laboratório de usinagem prejudicou um pouco, pois eram necessárias assinaturas de professores que por vezes não eram encontrados, ou mesmo e principalmente a necessidade de professores supervisionando ou estagiários que efetuassem a usinagem, ainda os horários de uso dos laboratórios e a disponibilidade destes mesmos estagiários e professores atrasaram o desenvolvimento. A localização dos laboratórios e o barulho da usinagem das chapas reduziam os horários de utilização, pois ele poderia ser usado para este fim apenas em horários livres de aulas.

Outro problema foi com o desenvolvimento da parte eletrônica, principalmente do *driver* dos motores. Os maus contatos na placa dificultavam os testes, causando falhas intermitentes e de difícil diagnóstico. Também houve dificuldade na aquisição da antiga placa de controle central, o *Raspberry*, por isso, ao final, optou-se por utilizar a placa Arduino, mais barata e acessível.

5.2 TRABALHOS FUTUROS: APRIMORAMENTOS

Algumas possibilidades de aprimoramentos foram analisadas. Dentre os aprimoramentos futuros estão:

1. Aumento da autonomia do robô, com possibilidade de interação com o usuário;
2. Aplicação de comandos de voz;
3. Robô Pessoal;
4. Comunicação do usuário com o aparelho por dispositivo a distância (relógio, etc.);
5. Utilização como robô de tele presença;

5.2.1 Autonomia

O aumento da autonomia do robô, como outros modelos que possuem possibilidade de interação com os usuários. O “Asimo” da Honda por exemplo, consegue responder perguntas básicas.

5.2.2 Comando de Voz

O uso do comando de voz associado com técnicas de inteligência artificial poderia melhorar a interação humano-máquina possibilitando o robô responder perguntas básicas.

5.2.3 Robô Pessoal

Um robô pessoal poderia dar respostas básicas ao seu operador baseado em funções como agenda, despertador, gravador de voz, filmagem, etc., prestando um auxílio básico ao seu usuário.

5.2.4 Comunicação com o Usuário por Dispositivo móvel

Uma das possibilidades de aprimoramento seria o desenvolvimento e uso de um dispositivo para comunicação com o robô, como uma pulseira, relógio ou mesmo semelhante a um celular, com tela, menu e escolha de funções para o aparelho, a comunicação poderia ocorrer por *bluetooth*, rádio frequência ou mesmo Wifi. Existem módulos de transmissão de dados que poderiam ser acopladas ao controlador central, Arduino. Também, pelo mesmo dispositivo, poderia ser feita a emissão de sinal, no qual o robô pudesse seguir o dono.

5.2.5 Robô de Tele Presença

Como já citado na seção 2.1 – Plataforma de Robótica Móvel, o robô de tele presença seria uma opção a se desenvolver, para uso pessoal e mesmo seu uso em áreas importantes como a área médica, aplicando-se uma câmera e um monitor. Isto é possível com a utilização da placa *Raspberry PI*, que já vem com conexão para câmera e monitor.

REFERÊNCIAS

ADEPT MOBILE ROBOTS. **Pioneer P3-DX**. [S.L.]:Adept MobileRobots, 2013. Disponível em: <<http://www.mobilerobots.com/ResearchRobots/PioneerP3DX.aspx>>. Acesso em: 28 abr. 2014.

ADEPT MOBILE ROBOTS. **Research Robots Specifications**. [S.L.]:Adept MobileRobots, 2016. Disponível em: <<http://www.mobilerobots.com/ResearchRobots/ResearchMatrix.aspx>>. Acesso em: 23 jun. 2016.

ADEPT MOBILE ROBOTS. **Robots News**. [S.L.]:Adept MobileRobots, 2012. Disponível em: <http://mobilerobots.com/Files/newsletter_archive/newsletter-2012-march/#tots>. Acesso em: 28 abr. 2014.

ANYBOTS. **Products**. [S.L.]: Anybots, 2014. Disponível em: <<https://www.anybots.com/products/>>. Acesso em: 14 abr. 2014.

CAMPINAS CARRINHOS E RODÍZIOS. **Rodas**. Campinas carrinhos e rodízios, 2014. Disponível em: <<http://www.campinascarrinhos.com.br/produtos/rodas/>>. Acesso em: 03 dez. 2014.

CASA DO BORRACHEIRO. **Rodas**. Casa do Borracheiro, 2014. Disponível em: <www.casadoborracheiro.net.br>. Acesso em: 03 dez. 2014.

DR ROBOT INC. **Products**. [Toronto, Canadá.]:Dr Robot Inc, 2014. Disponível em: <http://www.drrobot.com/products_item.asp?itemNumber=sentinel3>. Acesso em: 12 sep. 2014.

KOPP, Eduardo Eugenio Zago, LINS, Ivan Semchechem, BLOISE, Rafael Fabio. **Desenvolvimento de uma plataforma mecânica de um robô móvel**. 2004. Monografia (Graduação) - Curso Superior de Tecnologia em Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

LEGO GROUP. **About us: LEGO Education Worldwide**. 2014. Disponível em: <<http://education.lego.com/en-us/about-us/lego-education-worldwide>>. Acesso em: 04 aug. 2014.

MIHAI, DAN. **Telepresence Robots Reviewed – Part 2.**[S.L.]:Smashing Robotics, 2012a. Disponível em: <<http://www.smashingrobotics.com/telepresence-robots-reviewed-part-2/>>. Acesso em: 28 abr. 2014.

MIHAI, DAN. **Wheeled Mobile Robot Development Platforms: Dr. Robot Sentinel3 WiFi mobile development platform.**[S.L.]:Smashing Robotics, 2012b. Disponível em: <<http://www.smashingrobotics.com/wheeled-mobile-robot-development-platforms-from-budget-to-full-featured/>>. Acesso em: 12 sep. 2014.

MILANEZ, André Luiz, RAZERA, Lucas Ricardo Pereira, PEREIRA, Rodrigo Tolentino. **Desenvolvimento de um robô protótipo que atenda às normas da competição gerra de robôs.** 2008. Monografia (Graduação) - Curso Superior de Tecnologia em Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

WIKIPÉDIA. **Khepera Mobile Robot.** [S.L.]:Wikipédia, 2014. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Khepera_mobile_robot#Original_version>. Acesso em: 12 sep. 2014.

WIKIPÉDIA. **Navegação.** [S.L.]:Wikipédia, 2016. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Navega%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 08 jun. 2016.

WIKIPÉDIA. **Robô Móvel.** [S.L.]:Wikipédia, 2015. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Rob%C3%B4_m%C3%B3vel>. Acesso em: 06 jun. 2016.

XRT. **Mancal de rolamento UCF.** [S.L.], 2014. Disponível em: <<http://precise-bearing.com.br/7-2-ucf-pillow-block-bearing.html>>. Acesso em: 21 abr. 2016.

APÊNDICE B – MANUAL DE REPRODUÇÃO

**PLATAFORMA MECÂNICA ABERTA PARA
DESENVOLVIMENTO EM ROBÓTICA MÓVEL**
MANUAL DE REPRODUÇÃO

Felipe Augusto Cordoni

Versão 1: maio de 2016

TABELA DE FIGURAS

Figura 1 - Plataforma móvel montada	3
Figura 2 - Parte interna da plataforma.....	4
Figura 3 - Vista explodida, primeira montagem	5
Figura 4 - Segundo passo da primeira montagem	6
Figura 5 - Montagem das últimas peças	8
Figura 6 - Encoder.....	16
Figura 7 - Caixa do rodízio	17
Figura 8 – Cantoneira.....	18
Figura 9 - Chapa inferior	19
Figura 10 - Chapa superior.....	20
Figura 11 - Suporte dos sensores óticos.....	21
Figura 12 - Parede menor	22
Figura 13 - Parede maior	23
Figura 14 - Suporte eletrônica.....	24
Figura 15 – Eixo	25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	3
2	MANUAL DE MONTAGEM	5
3	MATERIAIS DE AQUISIÇÃO	10
4	DESENHOS TÉCNICOS	15

1 INTRODUÇÃO

Nesse documento é descrito a forma de reprodução da “Plataforma de desenvolvimento para a robótica móvel”, vulgo “Frankenstein”, uma plataforma a ser implementada com materiais facilmente acessíveis e produção simplificada. Sua estrutura mecânica montada deverá ficar semelhante figura abaixo.

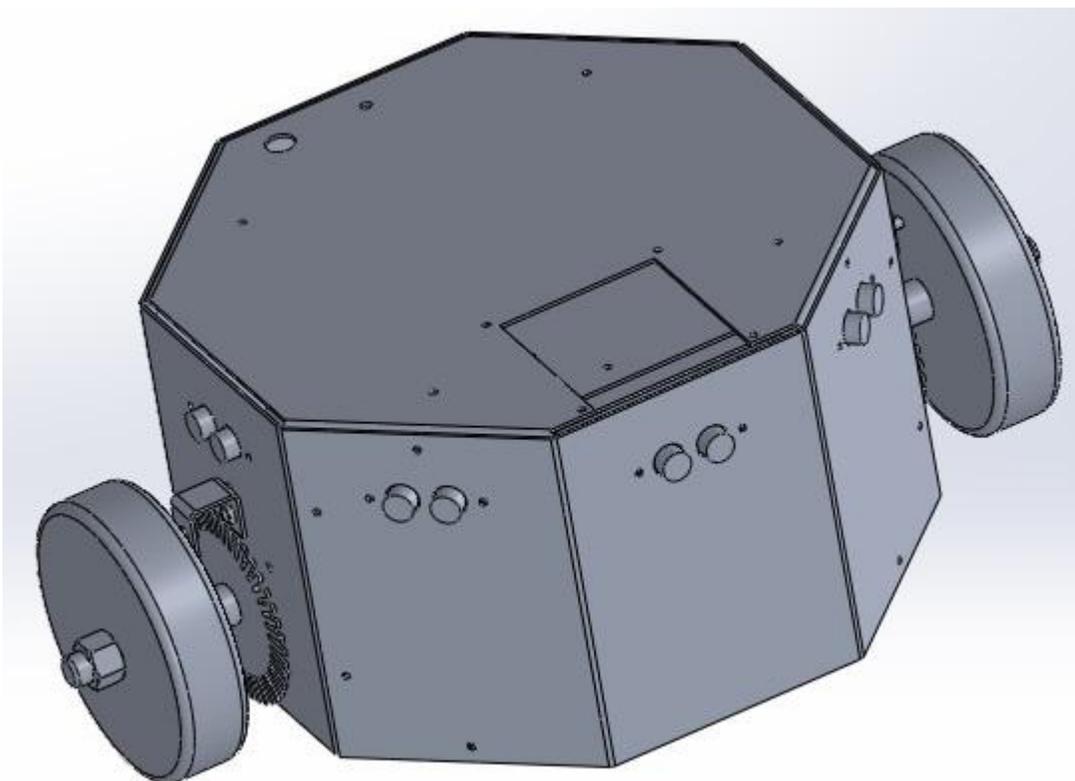


Figura 1 - Plataforma móvel montada
Fonte – Autoria própria

A área interna deverá estar semelhante à figura abaixo (motor não representado).

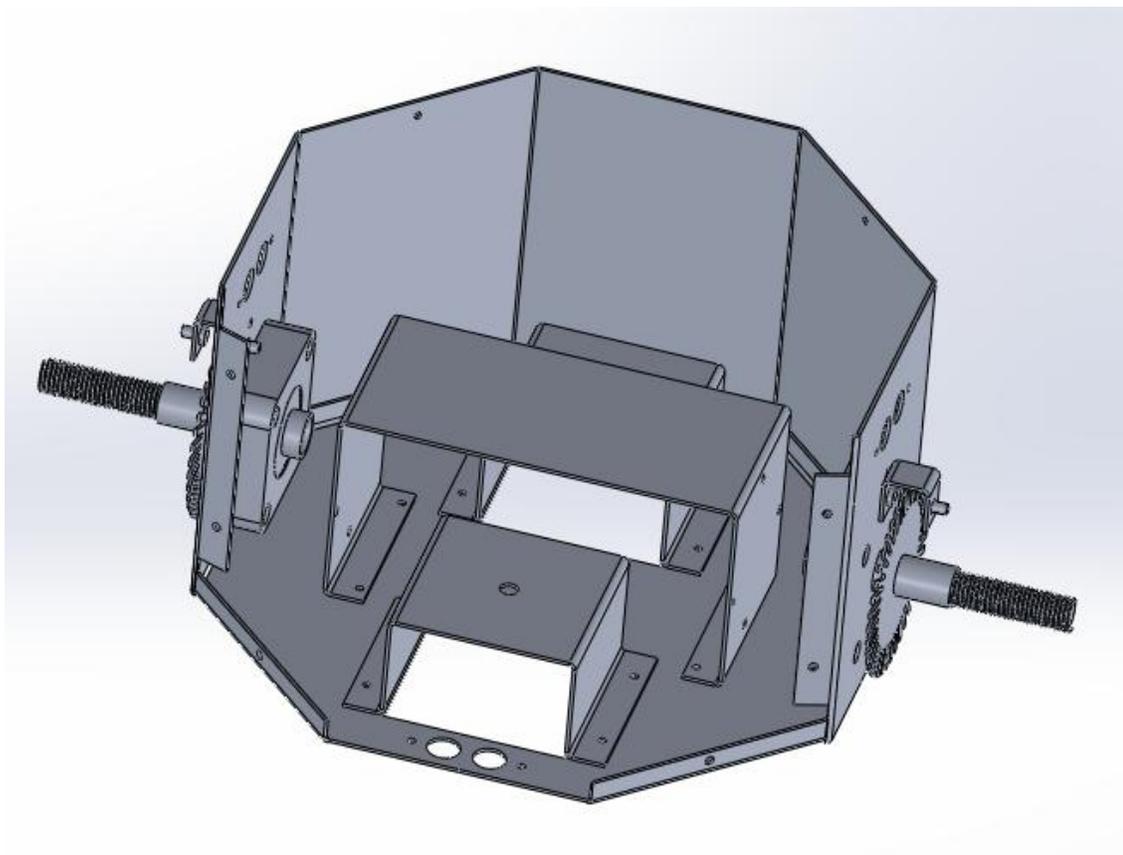


Figura 2 - Parte interna da plataforma
Fonte – Autoria própria

Tendo em conta essas representações da estrutura, e pelo desenvolvimento da plataforma, identificou-se uma ordem mais apropriada de montagem do aparelho que será apresentada a seguir, passo-a-passo.

2 MANUAL DE MONTAGEM

A primeira etapa da montagem pode ser vista na figura 3.

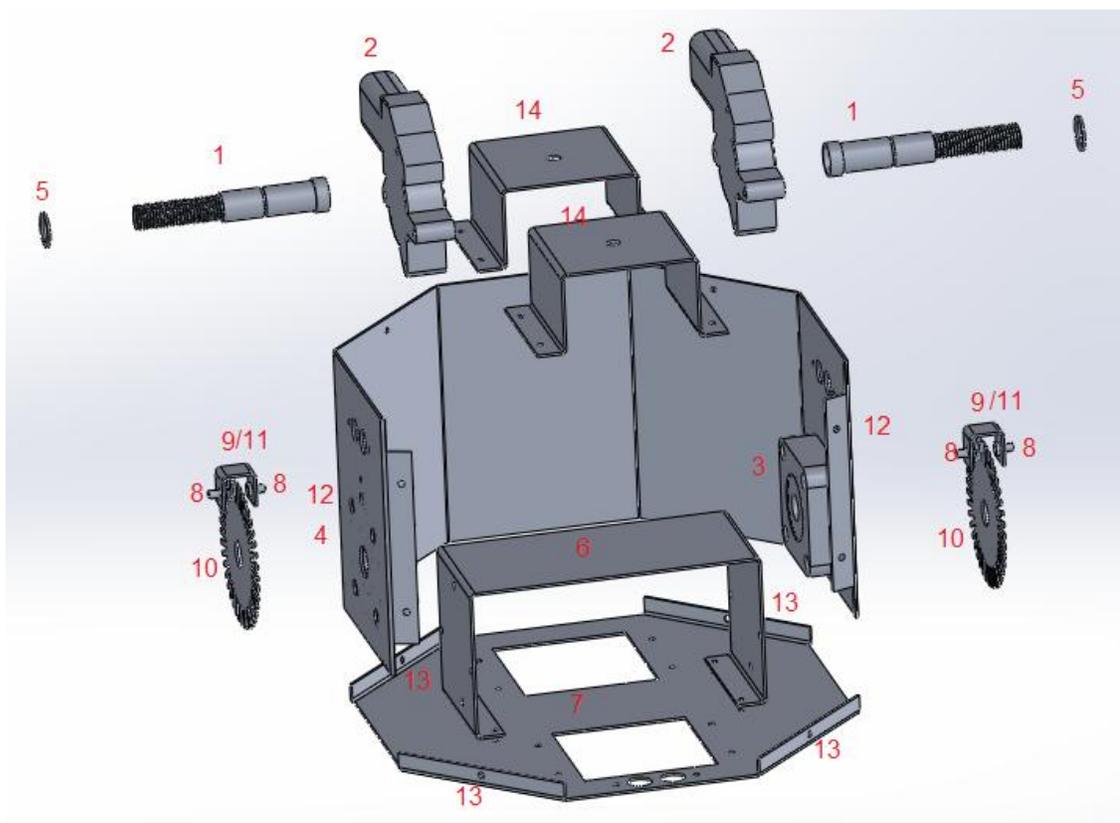


Figura 3 - Vista explodida, primeira montagem
Fonte – Autoria própria

A instalação das peças pode ser seguida conforme os números em cada componente. Inicialmente os eixos (1) devem ser acoplados nas engrenagens dos motores (2) até cobri-las por inteiro, recomenda-se o uso de uma marreta de borracha para que não haja danos nas peças. A fixação é feita por pressão.

A seguir, os mancais (3) devem ser fixados nas paredes dos furos (4) por meio dos parafusos de 10mm (não representados na figura). A parte do mancal mais lisa e paralela deve ficar voltada à parede, a outra na qual está a porca de fixação do eixo deve ficar voltada para o centro da parte interna do aparelho.

Após isto, a junção do eixo com o motor (1 e 2) deve ser anexada ao mancal (3). O eixo deve passar por inteiro, até a sua cabeça encostar no mancal. Agora já preso às paredes da estrutura (4), os parafusos de pressão que estão no mancal devem ser bem

apertados contra o eixo (1) (pode ser realizado depois da fixação do motor (2) na cantoneira (6), devido às orientações dos furos), lembrando que a parte mais comprida do motor, seu corpo / cauda, que não tem a engrenagem, deve ficar orientada para trás conforme pode ser visto na figura 2. Em seguida, as arruelas (5) podem ser presas com o uso de um alicate de bico no canal do eixo (1), as quais impedirão o deslocamento do *encoder* (10).

A próxima fixação será da cantoneira (6) com o piso (7). Seus parafusos de 4mm devem ser postos por baixo e bem apertados por porca. Pressione bem com o uso de alicate e chave Philips, pois este é o local onde ficará a bateria. Depois da montagem dos mesmos (6 e 7), o conjunto deve ser posto por dentro do anterior (1 a 5), como pode ser visto na figura a seguir (ele deve ficar semelhante ao desenho, tanto com relação a montagem como quanto a orientação das peças).

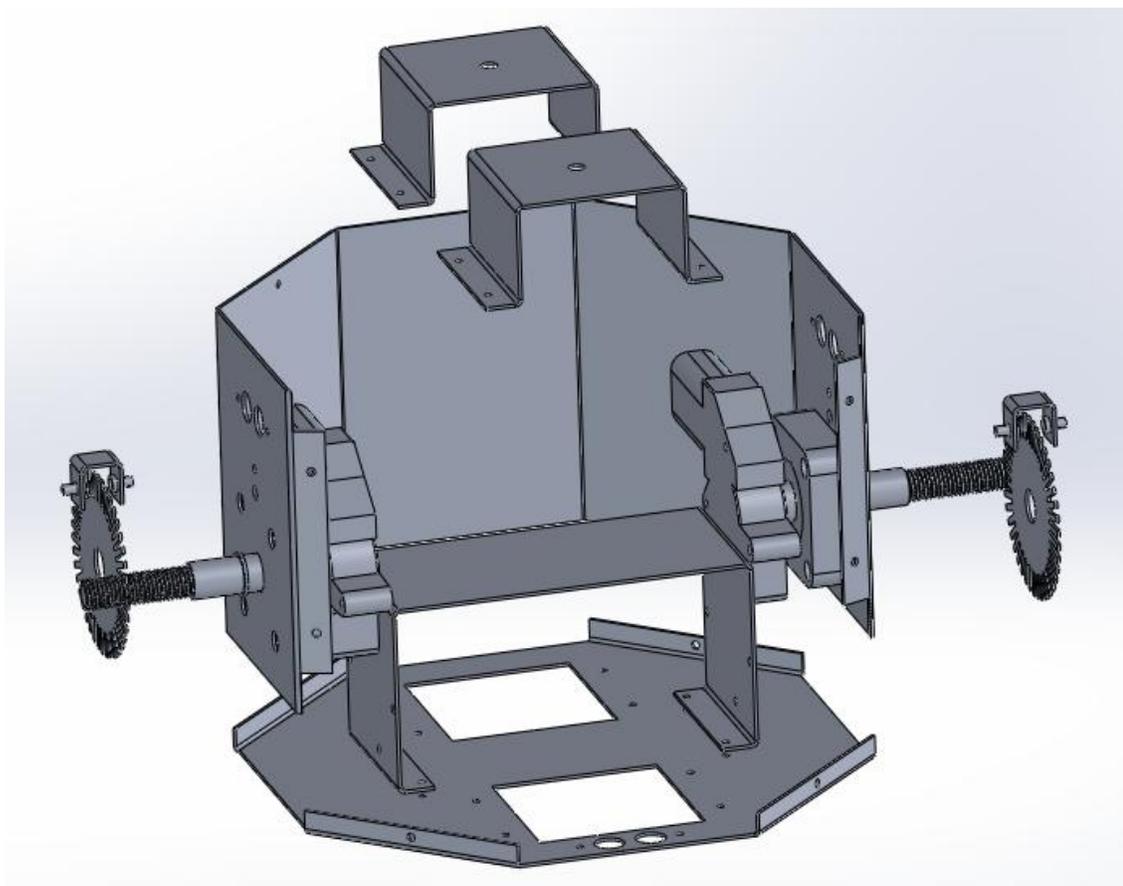


Figura 4 - Segundo passo da primeira montagem
Fonte – Autoria própria

Ainda utilizando-se da representação acima, nota-se que os furos de fixação do motor (2) devem estar concêntricos aos da cantoneira (6), para que possam ser ligados por parafusos de 5mm e porcas. Esta fixação deve ser a mais firme possível, pois a movimentação do motor pode soltá-lo da estrutura.

Nesse novo conjunto de montagem, insira o suporte do sensor infravermelho (8) no Suporte dos sensores óticos (9), com sua cabeça voltada para dentro do Suporte dos sensores óticos conforme na figura 3. As partes que ficarão expostas devem já ser presas pela própria porca de plástico do conjunto do suporte, a outra será colocada posteriormente.

Pegue este conjunto (8 e 9, ou 11) e o *encoder* (10) e insira o disco no eixo (1) até encostar no anel elástico (5), estando o este disco por dentro do conjunto. Ele ficará preso ao eixo por interferência, prenda-os (11) no furo da parede (12), utilize um alicate de bico fino para rosquear contra o furo, depois de inteiramente preso, utilize a porca do suporte (8) que não foi colocada e prenda bem por dentro.

A fixação da base (6 e 7) é feita pelos furos da parte de trás (13) da estrutura com parafusos de 4mm nos furos da parte de baixo da parede (4). Com isso faltará apenas a inserção das caixas do rodízio (14) na base (7). Elas foram deixadas por último por não afetarem a ordem de montagem. Sua fixação assim como os furos da base (13) nas paredes do aparelho (4) será por parafusos de 4mm, feita de fora para dentro, com suas respectivas porcas por dentro. É também importante que esta fixação da caixa dos rodízios na base (14 e 7) esteja bem firme, pois devido à movimentação e trabalho dos rodízios ela pode se afrouxar com o tempo. Vale salientar a necessidade da instalação da bateria por dentro da cantoneira antes delas serem colocada nas caixas dos rodízios. A estrutura primária deverá parecer com a figura 2.

O passo seguinte é a montagem das peças restantes. Aqui é necessário dar prioridade à fixação das “linguetas” laterais que estão na parede menor. Como se pode ver pela numeração na figura seguinte, a primeira fixação será do rodízio.

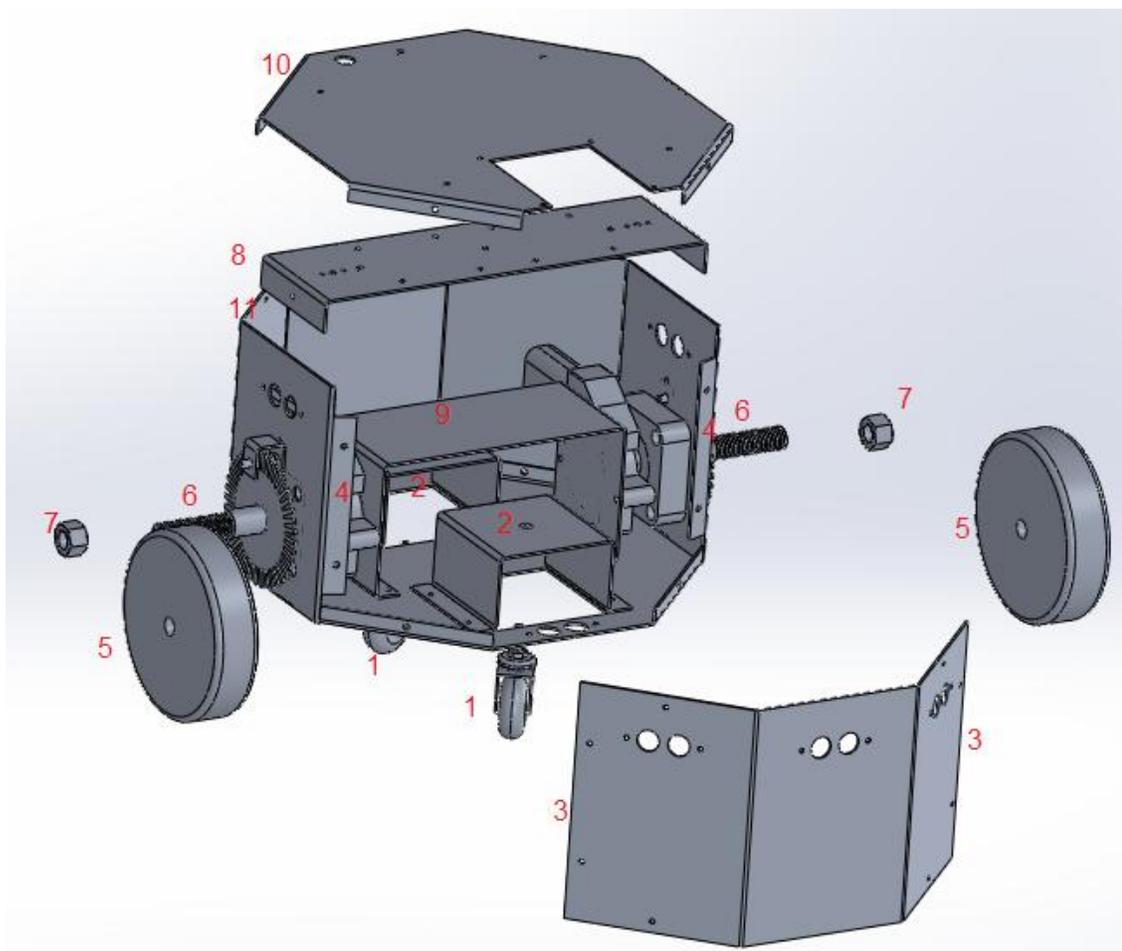


Figura 5 - Montagem das últimas peças
Fonte – Autoria própria

Seguindo a numeração acima, será ligado primeiramente o rodízio (1) no furo da “caixa do rodízio” (2), de baixo para cima, lembrando que esta fixação deverá estar bem firme também, para que quando o robô estiver em funcionamento, o rodízio não se arraste.

Nesse momento, é necessário medir a altura do robô em relação ao chão, para definir a quantidade de arruelas necessária para manter a estabilidade do robô. Por isso, é imprescindível o uso de uma arruela de 10mm na parte superior da fixação com uma porca de 10mm e na parte de baixo da caixa do rodízio. Recomenda-se o uso de duas arruelas de 16mm, para que a espessura combinada de ambas esteja em torno de 3 ou 4mm.

A próxima ação a fazer é acoplar a chapa menor (3), frontal, nas linguetas da chapa dos eixos (4) pelos furos das laterais, marcados na figura. É necessário que esta

fixação antecedida as da tampa e do piso, no caso de a usinagem não garantir os furos estarem alinhados. Esta montagem será feita com parafusos de 4mm e porcas. Seguindo, poderão ser colocadas as rodas (5) nos eixos (6), se for necessário utilize arruelas de 16mm para distanciar as rodas da barreira ótica. As arruelas devem ser bem presas com as porcas (7) de 16mm para as rodas girarem junto com o eixo.

O suporte da eletrônica (8) poderá ser colocado por dentro, em cima da cantoneira (9). Ele deverá ser isolado eletricamente dos componentes eletrônicos. Também a parte interna da cantoneira (9) deve ser isolada, pois envolverá a bateria. Recomenda-se o uso de E.V.A. (Espuma Vinílica Acetinada). Assim, depois de colocada a chapa de suporte para a eletrônica, os sensores (não representados na figura) podem ser colocados nos furos das paredes. Depois, a estrutura deve ser fechada com a tampa (10). Todos os furos devem ser presos com parafusos de 4mm e porcas. Também os orifícios do piso devem ser fixados. A composição resultante deve se assemelhar a figura 1.

3 LISTA DE MATERIAIS

O robô possuiu um custo de estrutura mecânica e usinagem de em torno de R\$1.100,00, excetuando toda a eletrônica.

A seguir são listados os componentes pertencentes a estrutura mecânica que podem ser comprados:

Nome	Quantidade
1. Rodas de borracha, 6 polegadas de diâmetro, aro PP, para 120Kg, Schioppa, código: R614PMN	2
2. Rodízios gel, 2 polegadas, giratório, tipo espiga, Schioppa, código: MGAE200	2
3. Mancais linha F204 com rolamento para eixo de 20mm.	2
4. Porcas e parafusos 4mm (estrutura inteira).	25
5. Porcas e parafusos 5mm (fixação do motor).	8
6. Porcas e parafusos 10mm (fixação do mancal na parede).	8
7. Porcas 10mm (fixação do rodízio).	2
8. Arruelas 10mm (fixação do rodízio).	2
9. Arruelas 16mm (regulagem de altura do rodízio e fixação roda no eixo).	8
10. Anéis elástico 18mm (fixação <i>encoder</i> no eixo).	2
11. Suportes de plástico (Conjunto – Suporte, porca e encaixe interno) para LED 5mm.	4

Tabela 1 – Materiais para aquisição
Fonte – Autoria própria

Abaixo, a lista onde podem ser adquiridos os mesmos (mesma numeração anterior) e seu valor:

Número	Nome	Endereço	Contato	Valor
1	Casa do Borracheiro	Rua Des Westphalen, 2520 - Rebouças, Curitiba - PR, 80220-030	(41) 3332- 2332	R\$28,50 unidade
2	Mundo dos Parafusos	R. Pres. Faria, 571 - Centro, Curitiba - PR,80020-290	(41) 3024- 3654	R\$13,00 unidade
	Casa do Borracheiro	Rua Des Westphalen, 2520 - Rebouças, Curitiba - PR, 80220-030	(41) 3332- 2332	
3	Rolpasa Rolamentos	Av. Senador Salgado Filho, 5085 - Uberaba, Curitiba - PR, 81510-001	(41) 3371- 1100	R\$20,00 unidade (Segunda linha)
4-10	Mundo dos Parafusos	R. Pres. Faria, 571 - Centro, Curitiba - PR,80020-290	(41) 3024- 3654	Em torno de R\$20,00
	Pioneira dos Parafusos	Av. Pref. Erasto Gaertner, 1039 - Bacacheri, Curitiba - PR, 82515-000	(41) 3351- 4200	
11	Beta Comercial	Av. Sete de Setembro, 3561 - Centro, Curitiba - PR, 80250-250	(41) 3233- 2425	Em torno de R\$4,00
	Paresteck Eletrônica	Rua 24 de Maio, 297 - Loja 03 - Centro, Curitiba - PR, 80230-080	(41) 3014- 3600	

Tabela 2 – Local de aquisição dos materiais
Fonte – Autoria própria

A seguir a tabela com as peças necessárias, mas que são usinadas:

Nome	Possíveis modos de produção	Quantidade
1. <i>Encoders</i> (MDF) com 40 dentes	Corte a laser; Router; Fresadora CNC;	2
2. Caixas de rodízio (Alumínio)	Corte a laser; Router; Fresadora CNC; Dobradeira;	2
3. Cantoneira (Importante isolar eletricamente com uso de E.V.A.) (Alumínio).	Corte a laser; Router; Fresadora CNC; Dobradeira;	1
4. Chapa inferior / Piso (Alumínio)	Corte a laser; Router; Fresadora CNC; Dobradeira;	1
5. Chapa superior / Tampa (Importante isolar eletricamente com uso de E.V.A.) (Alumínio).	Corte a laser; Router; Fresadora CNC; Dobradeira;	1
6. Paralamas (Alumínio)	Corte a laser; Router; Fresadora CNC; Dobradeira;	2
7. Parede Menor (Alumínio)	Corte a laser; Router; Fresadora CNC; Dobradeira;	1
8. Parede Maior (Alumínio)	Corte a laser; Router; Fresadora CNC; Dobradeira;	1
9. Suporte da Eletrônica (Importante isolar eletricamente com uso de E.V.A.) (Alumínio).	Corte a laser; Router; Fresadora CNC; Dobradeira;	1
10. Eixos (Aço)	Torno mecânico; torno CNC;	2

Tabela 3 – Peças para usinagem
Fonte – Autoria própria

Abaixo, a lista onde podem ser produzidos os mesmos (mesma numeração anterior) e seu valor:

Número	Nome	Endereço	Contato	Modo de Produção	Valor
1	Talh'Arte Arte em Madeira	R. Pedro Siemens, 596 - Xaxim, Curitiba - PR, 81830- 020	(41) 3779-5335 E-mail: marciotalharte@hotmail.com	Corte a Laser	R\$20,00 Par
2-9	Modelcorte CNC Router e Laser	R. Treze de Maio, 486, Pinhais – PR	(41) 3339-0531 E-mail: modelcorte@gmail.com	Corte a Laser Com chapa inclusa	R\$559,79 Corte com chapa de alumínio
	Grazia Estruturas Metálicas Ltda.	R. José Batista dos Santos, 2890 – CIC, Curitiba – PR	(41) 3245-6545 E-mail: grazia_grazia@brturbo.com.br	Dobradeira	R\$170,00 por hora (Total de R\$255,00, 1h e meia)
10	Tornearia RRGE – Edson Rei Thomaz	R. Simão Brante, 1300 – Uberaba, Curitiba - PR	(41) 3082-4353	Torno mecânico	R\$140,00 (o par, incluso material)

Tabela 4 – Local para usinagem das peças
Fonte – Autoria própria

A partir desta lista, o usuário poderá adquirir os materiais da primeira tabela, conforme a orientação dos locais correspondentes na segunda tabela. Já na terceirização do serviço, os desenhos técnicos que se encontram a seguir, na próxima seção, podem ser entregues às empresas da tabela 4 (ou outras), sendo necessário para cada peça o respectivo tipo de usinagem, que como descrito na tabela: 1 – Encoder, pode ser feito no uso do corte a laser em MDF (ou mesmo alumínio); 2 à 9 – Todas as demais peças da estrutura em alumínio podem ser feitas em CNC, Router, corte a laser, ou mesmo de forma manual, como com o uso de brocas, prensa mecânica e dobradeira; 10 – Eixo, pode ser feito em torno CNC ou torno mecânico. Estando estas peças produzidas, podem então ser montadas conforme a orientação acima.

4 DESENHOS TÉCNICOS

Abaixo estão os desenhos técnicos da estrutura mecânica para usinagem, sua disposição se encontra na mesma ordem em que foram listados na tabela 3.

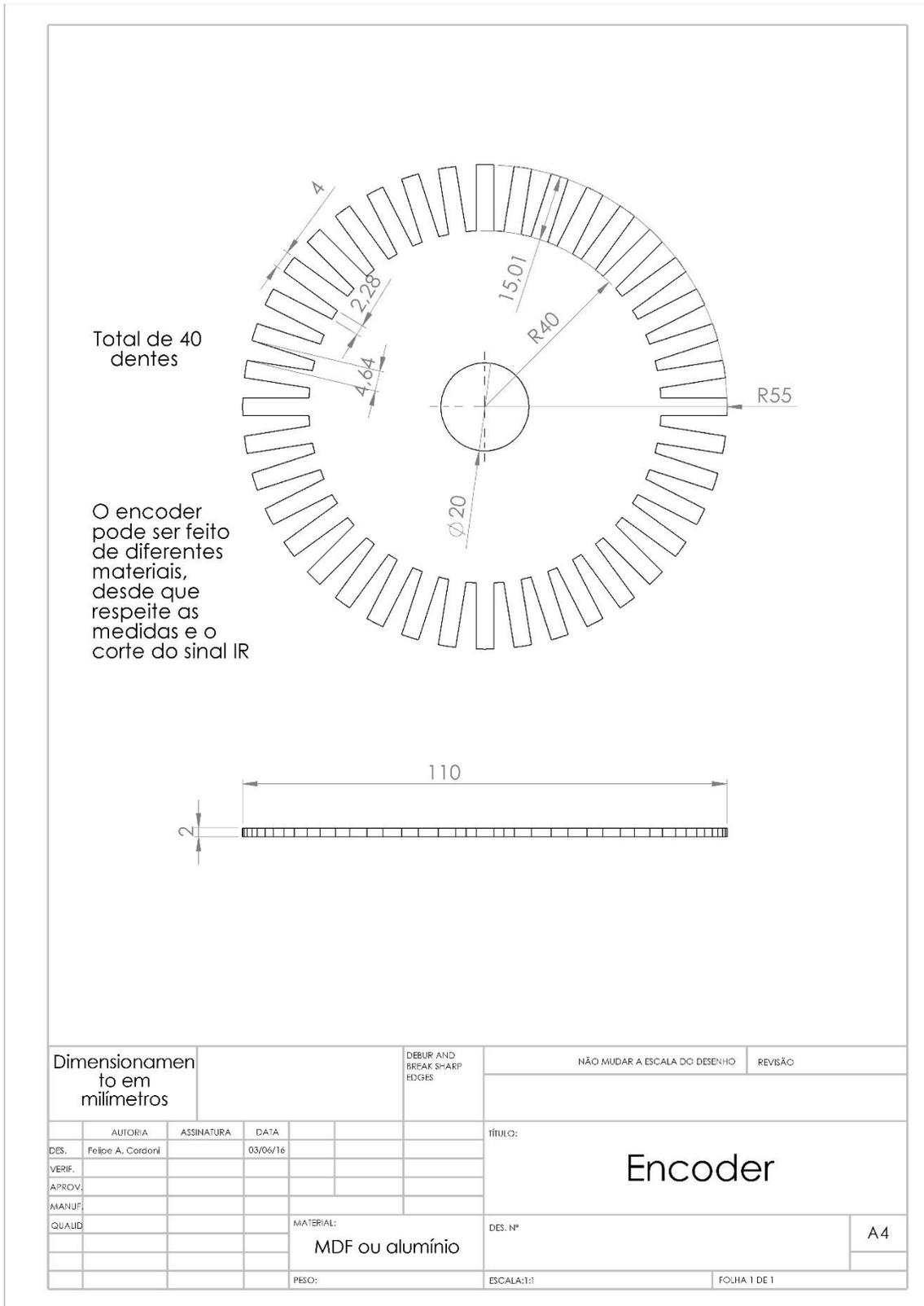


Figura 5 - Encoder
 Fonte – Autoria própria

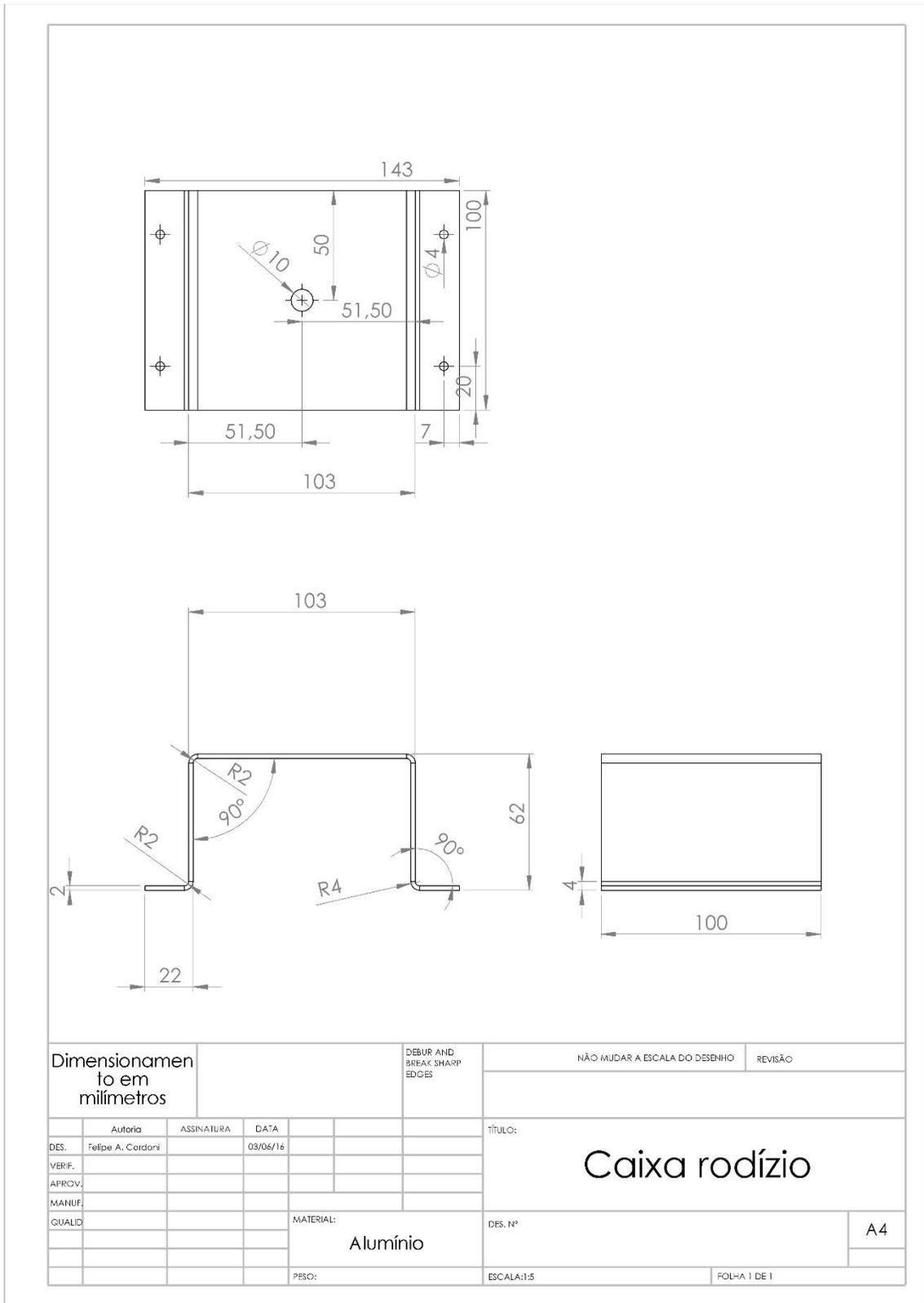


Figura 6 - Caixa do rodízio
 Fonte – Autoria própria

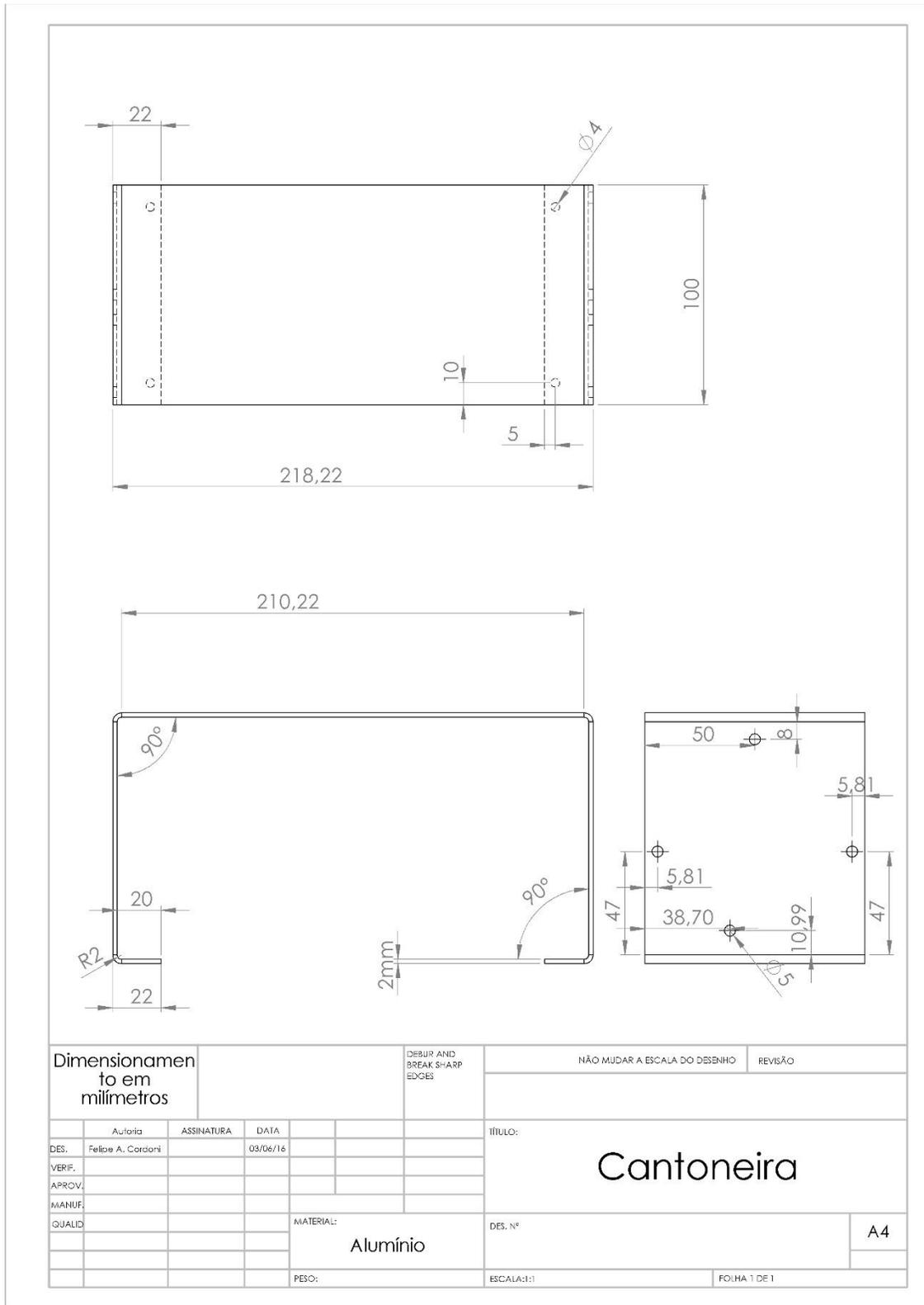


Figura 7 – Cantoneira
Fonte – Autoria própria

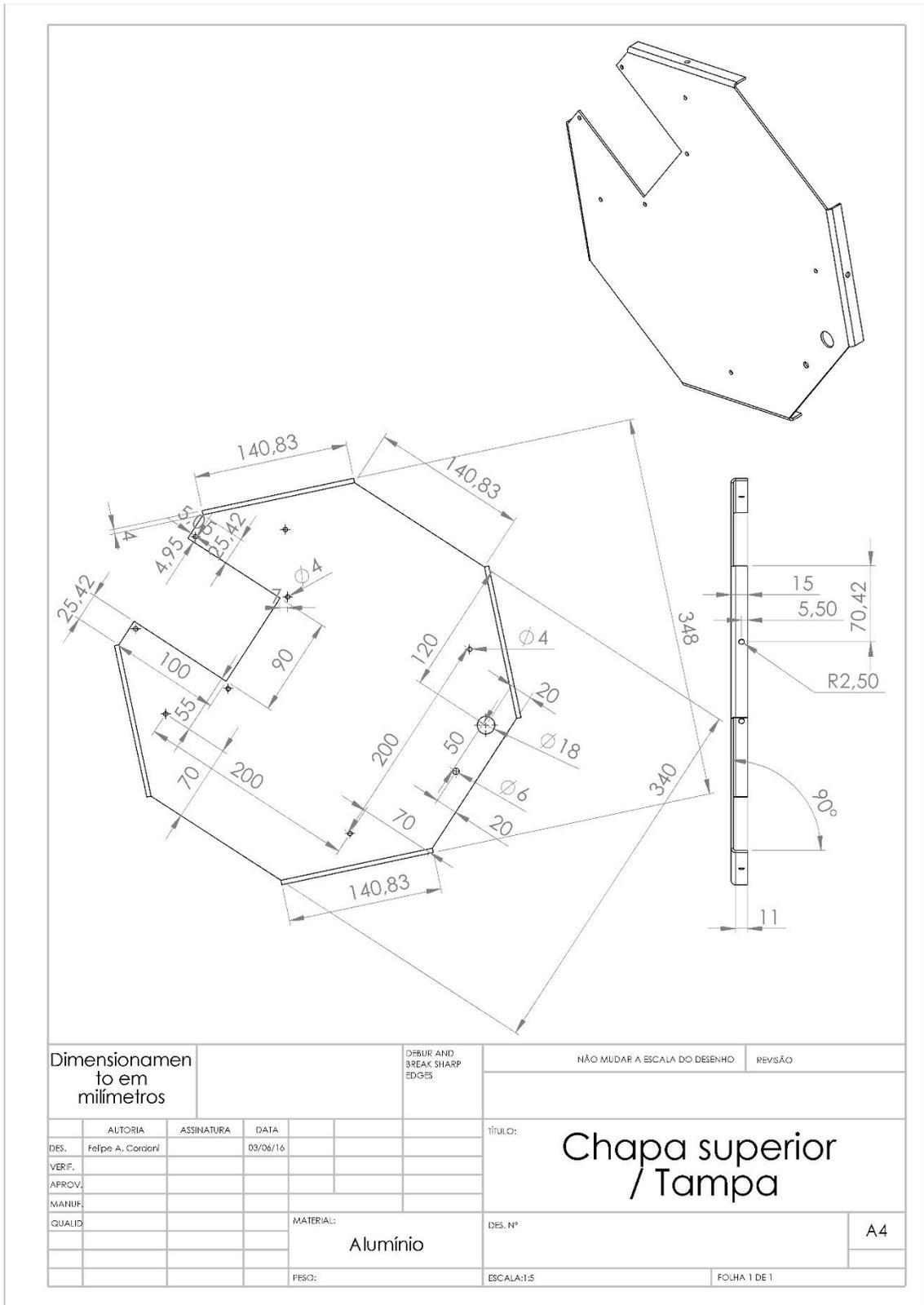


Figura 9 - Chapa superior
Fonte - Autoria própria

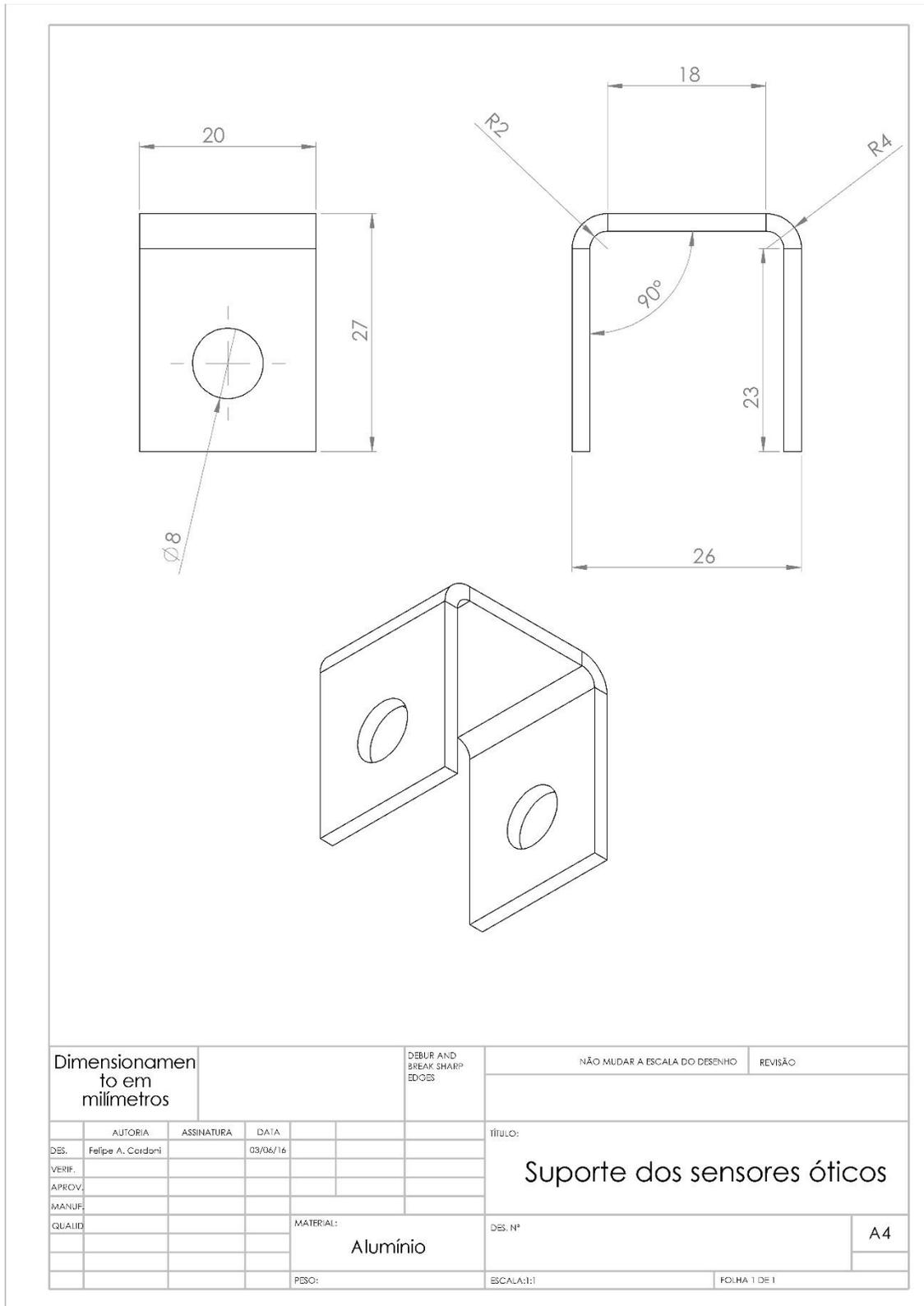


Figura 10 – Suporte dos sensores óticos
Fonte – Autoria própria

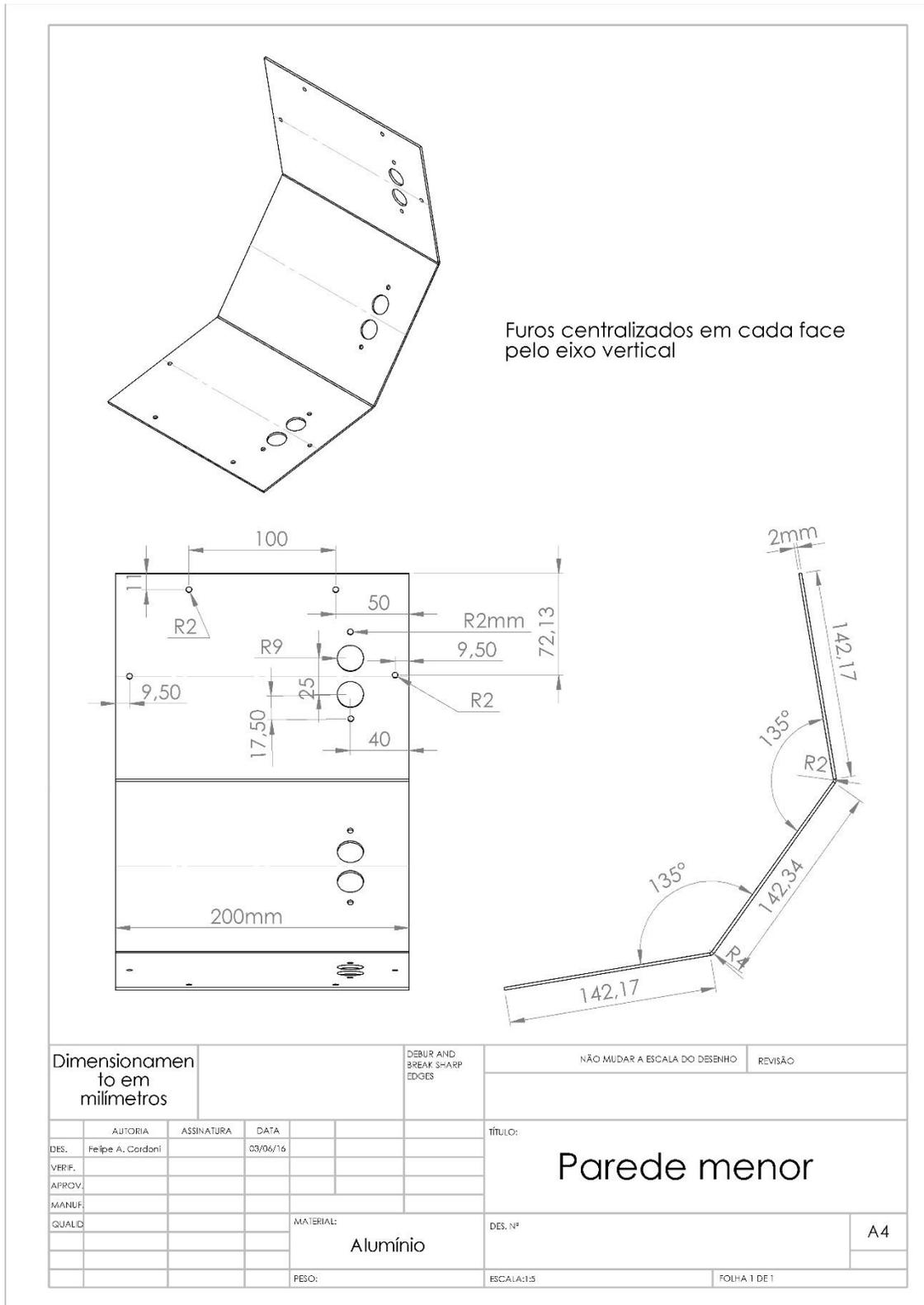


Figura 11 - Parede menor
 Fonte – Autoria própria

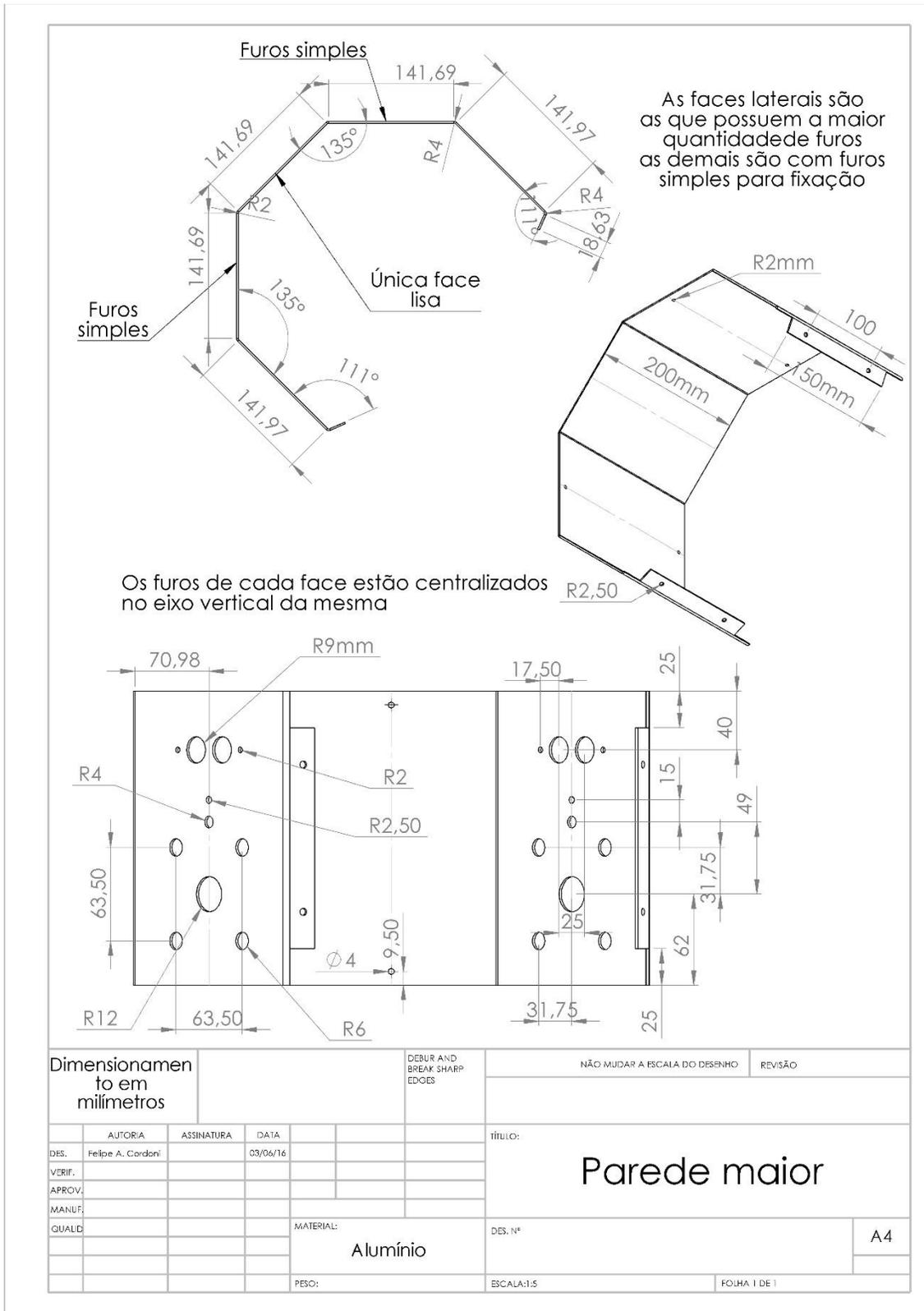


Figura 12 - Parede maior
Fonte – Autoria própria

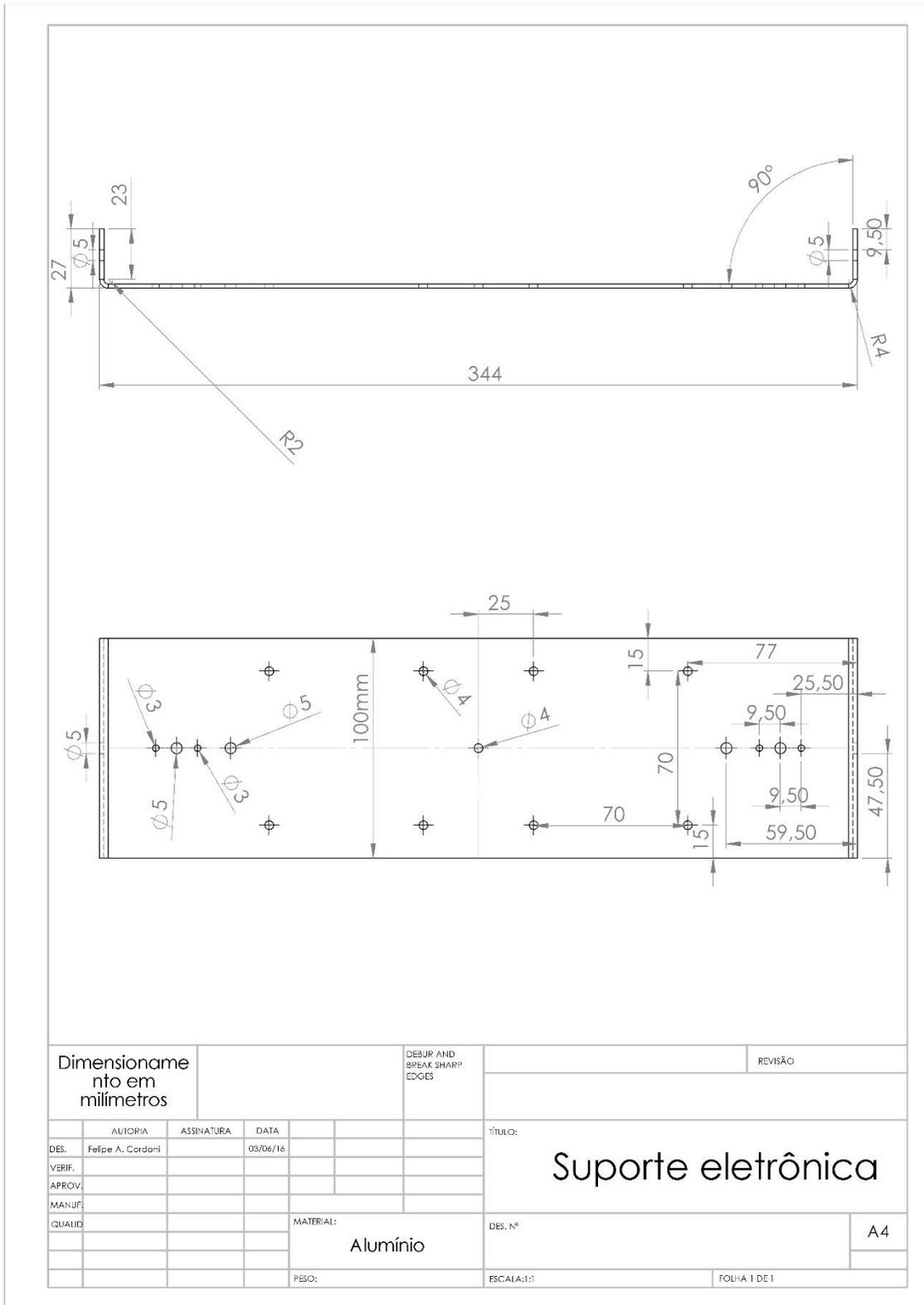


Figura 13 - Suporte eletrônica
 Fonte – Autoria própria

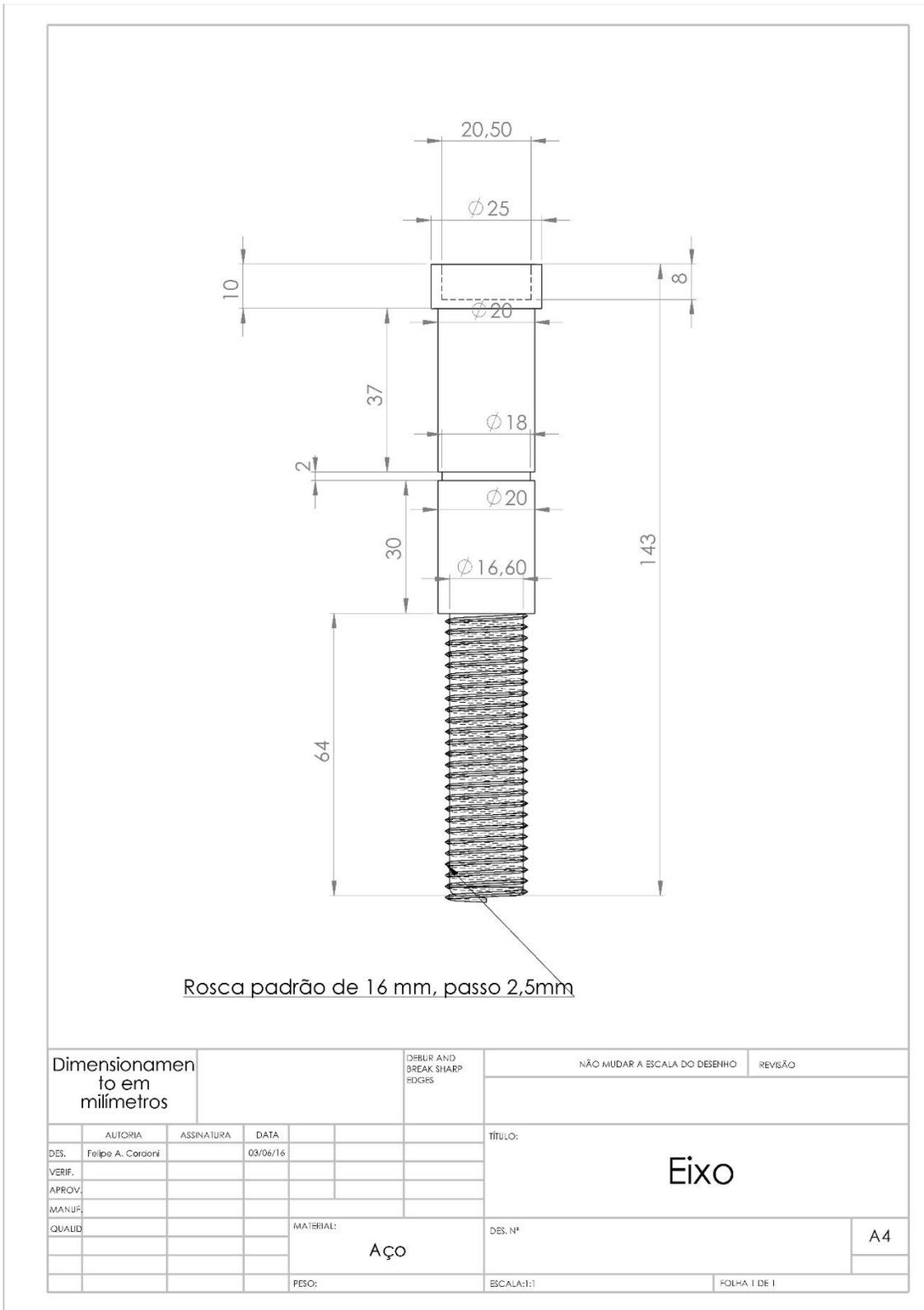


Figura 14 – Eixo
Fonte – Autoria própria