

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI

RELATÓRIO FINAL

Disciplina:
Projeto de Robôs
Isaac Jesus

Gustavo Rodrigues (RA 11.121.150-4)
Leonardo Quirino (RA 11.121.422-7)
Lucas Lagoeiro (RA 11.120.316-2)
Matheus Kenji (RA 11.121.088-6)
Turma 670

São Bernardo do Campo
7º semestre / 2024

GUSTAVO RODRIGUES

LEONARDO QUIRINO

LUCAS LAGOEIRO

MATHEUS KENJI

RELATÓRIO FINAL

Relatório final descrevendo o desenvolvimento do projeto realizado durante o semestre para a disciplina Projeto de Robôs, sob a orientação do Prof. Dr. Isaac Jesus da Silva.

São Bernardo do Campo

7º semestre / 2024

RESUMO

Com o passar dos anos maiores quantidades de lixo vêm sendo encontradas espalhadas pelas ruas, calçadas, parques e praias. Diante dessa problemática foi proposto ao grupo a ideia de projetar e desenvolver um robô que fosse capaz de realizar a coleta de dejetos espalhados por lugares abertos e de difícil acesso e os levar para o local mais apropriado de descarte.

O robô, batizado de DaVinci, foi projetado para contar com dois manipuladores com garras como suas ferramentas – para pegar os dejetos, um par de esteiras – para se locomover com mais facilidade, um painel de LCD – para simular um rosto e torná-lo mais amigável, e um LiDar – para servir como seus olhos e mapear o ambiente.

Os primeiros testes do robô desenvolvido foram realizados em um segundo robô. Esse segundo robô foi montado com uma estrutura mais simples, pois foi desenvolvido apenas para testar os componentes eletrônicos e o algoritmo de mapeamento do LiDar antes de realizar a montagem final de DaVinci.

Após a certificação de que os componentes eletrônicos e o algoritmo estavam completamente funcionais, foi realizado a junção da mecânica e da eletrônica para construir o verdadeiro corpo de DaVinci. Com a montagem feita, a próxima etapa foi realizar os testes direcionados a função que o robô deveria cumprir.

A programação de DaVinci foi desenvolvida em ROS2 para que ele fosse capaz de mapear o ambiente com o LiDar, identificar os objetos que são considerados como lixo deixados no ambiente, ir até tais objetos, movimentar seus manipuladores para agarrá-los e então os levar para a área de descarte.

Palavras-chave: robô, DaVinci, LiDar, ROS2, dejetos.

ABSTRACT

Over the years, larger amounts of waste have been found scattered along the streets, sidewalks, parks, and beaches. Faced with this issue, the group proposed the idea of designing and developing a robot capable of collecting debris scattered in open and hard-to-reach places and taking them to the most appropriate disposal location.

The robot, named DaVinci, was designed to feature two claw manipulators as it's tools - for picking up debris, a pair of tracks - for easier mobility, an LCD panel - to simulate a face and make it more friendly, and a LiDAR - to serve as its eyes and map the environment.

The initial tests of the developed robot were conducted on a second robot. This second robot was assembled with a simpler structure, as it was developed only to test the electronic components and the LiDAR mapping algorithm before the final assembly of DaVinci.

After certifying that the electronic components and the algorithm were fully functional, the mechanical and electronic components were combined to build DaVinci's true body. With the assembly completed, the next step was to conduct tests aimed at the robot's intended function.

DaVinci's programming was developed in ROS2 so that it could map the environment with the LiDAR, identify objects considered as waste left in the environment, go to such objects, move its manipulators to grab them, and then take them to the disposal area.

Keywords: robot, DaVinci, LiDAR, ROS2, debris

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. DESENVOLVIMENTO	9
2.1. DESENVOLVIMENTO DA PARTE MECÂNICA	9
2.2. DESENVOLVIMENTO DA PARTE ELÉTRICA	20
2.3. DESENVOLVIMENTO DO <i>SOFTWARE</i>	24
2.4. COMPONENTES UTILIZADOS	24

1. INTRODUÇÃO

Na disciplina Projeto de Robôs, o grupo foi desafiado a desenvolver um protótipo robótico que fosse capaz de solucionar um problema proposto. O projeto deve abranger diversas etapas, desde a idealização do protótipo até a sua implementação, incluindo concepção, planejamento, design, construção, programação e teste. Cada etapa tem seus objetivos específicos, desde definir o propósito e as capacidades do robô até avaliar seu desempenho e corrigir problemas.

É de conhecimento geral que o acúmulo e descarte de lixo em locais errados é um problema que vem crescendo cada vez mais. Hoje em lugares de lazer como praças, parques e praias é muito comum encontrar lixo espalhado por todo o ambiente, o que torna esses espaços menos confortáveis de se estar. Este problema vem crescendo tanto que é comum encontrar lixo espalhado pelas ruas e calçadas também.

Esta problemática é a que foi adotada pelo grupo para ser resolvida por meio de uma solução robótica. Foi pensada na ideia de projetar um robô que fosse capaz de atravessar e analisar esses ambientes, encontrar lixos que estão espalhados e os levar para o local certo de descarte. Então desta ideia nasceu DaVinci.

Figura 1 – Logo do projeto



Fonte: autor

Assim que a problemática foi proposta, o grupo já possuía uma ideia clara de como DaVinci deveria ser e como funcionaria. E para alcançar essa ideia, o robô foi planejado para possuir dois manipuladores para que fosse possível realizar a coleta do lixo espalhado e poder levá-los até o local de descarte, um par de esteiras para poder se locomover com mais facilidade em qualquer ambiente, um RPLiDar S1M1 para servir de visão do robô e mapear o ambiente onde realizará a coleta de lixo, um Raspberry Pi 4 para ser o seu controlador e para que ele tivesse uma aparência mais amigável DaVinci também contaria com um painel de LCD para projetar um rosto.

2. DESENVOLVIMENTO

Com a ideia a ser desenvolvida definida, o projeto foi separado em três frentes, cada uma cuidando de uma parte essencial do projeto. As frentes são:

- Frente de mecânica: é a responsável por criar o design do robô e realizar a sua construção. Isso inclui projetar as peças que irão compor o corpo, pensar nos melhores componentes físicos para a aplicação, escolher os materiais certos para proporcionar resistência e montar o robô de forma que não atrapalhe os componentes eletrônicos e nem a programação do robô;
- Frente de elétrica: é a responsável pelos sistemas eletrônicos e de energia do robô. Isso inclui projetar todo o circuito do robô, selecionar os componentes que melhor atendem à aplicação desejada e garantir uma distribuição de energia necessária para que o robô se mantenha ligado e realize sua tarefa sem falha;
- Frente de programação: é a responsável por desenvolver o *software* que controla o robô e garante a sua funcionalidade. Isso inclui analisar os dados recebidos do LiDar e criar um algoritmo de mapeamento e navegação do robô e garantir que o robô alcance todos os objetivos desejados para ele.

Em resumo, a frente de mecânica cuida dos parâmetros físicos do robô, a frente de elétrica cuida de todo o circuito e energização do robô e a frente de programação cuida do *software* e funcionalidade do robô. Após a separação das 3 frentes o verdadeiro desenvolvimento do projeto começou.

2.1. DESENVOLVIMENTO DA PARTE MECÂNICA

Como mencionado antes, desde que a ideia foi proposta, já havia uma imagem de como deveria ser a aparência final de DaVinci. Então o ponto de partida da frente de mecânica foi desenvolver um modelo 3D que mostrasse como o robô deveria se parecer.

Porém, antes da modelagem ser realizada, o formato do corpo e da cabeça do robô já havia sido decidida. Tendo como base o problema que DaVinci irá solucionar, foi decidido reutilizar peças de antigos robôs da equipe Robô FEI, que seriam jogadas fora, para compor o seu corpo. As seguintes duas peças foram selecionadas:

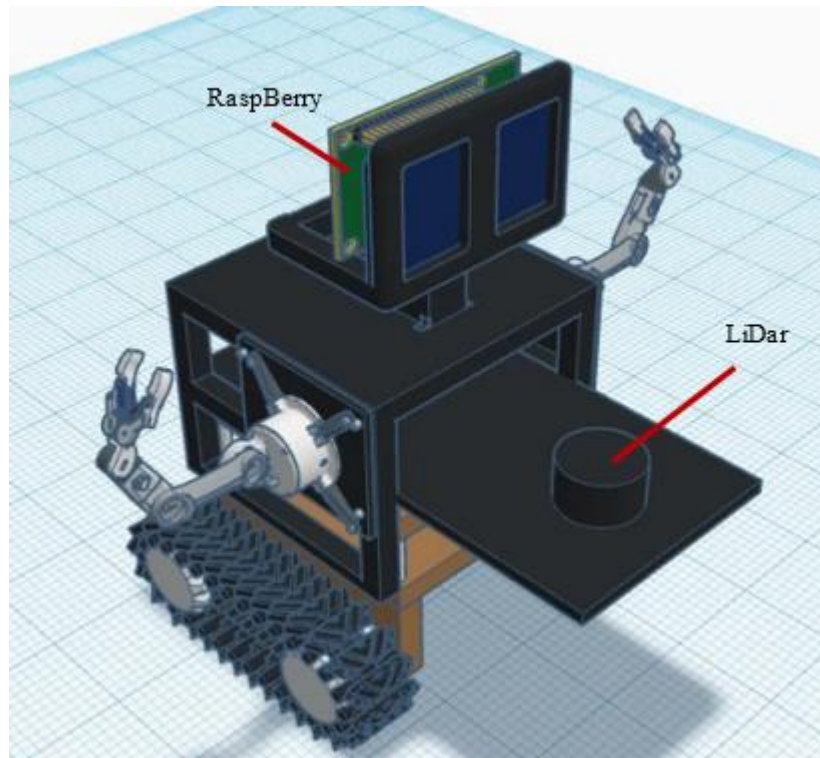
Figura 2 – Peças reutilizadas em DaVinci



Fonte: autor

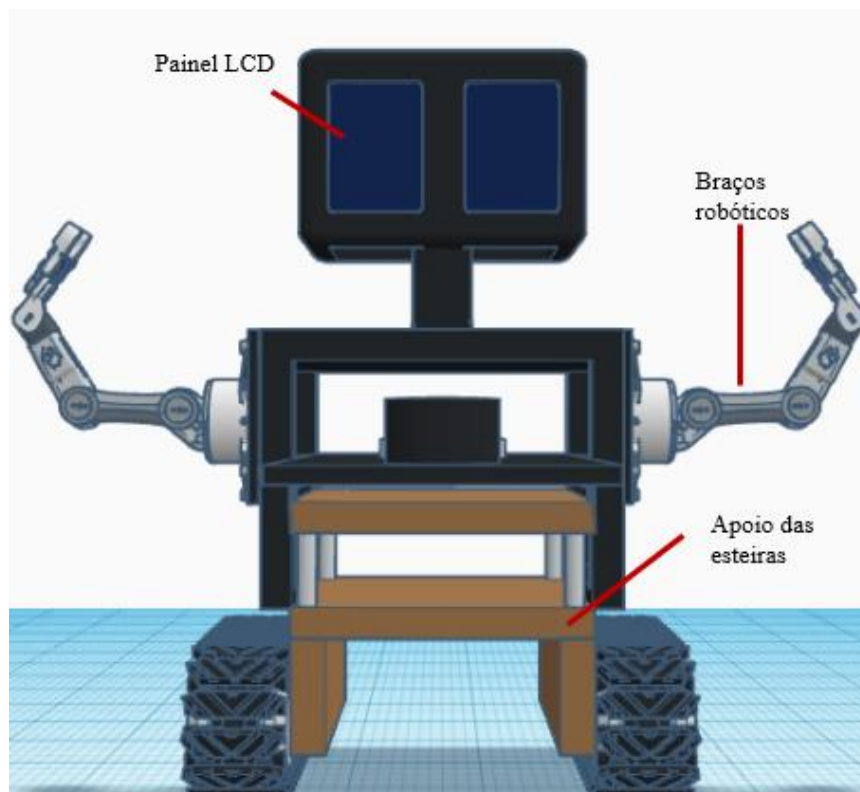
Ambas as peças eram os peitos de antigos robôs humanoides, e foram selecionadas, principalmente a peça da cabeça, pois o formato se casava com a ideia inicial da aparência do robô. A partir dessas duas peças a modelagem foi desenvolvida, e esse foi o resultado:

Figura 3 – Vista isométrica do robô



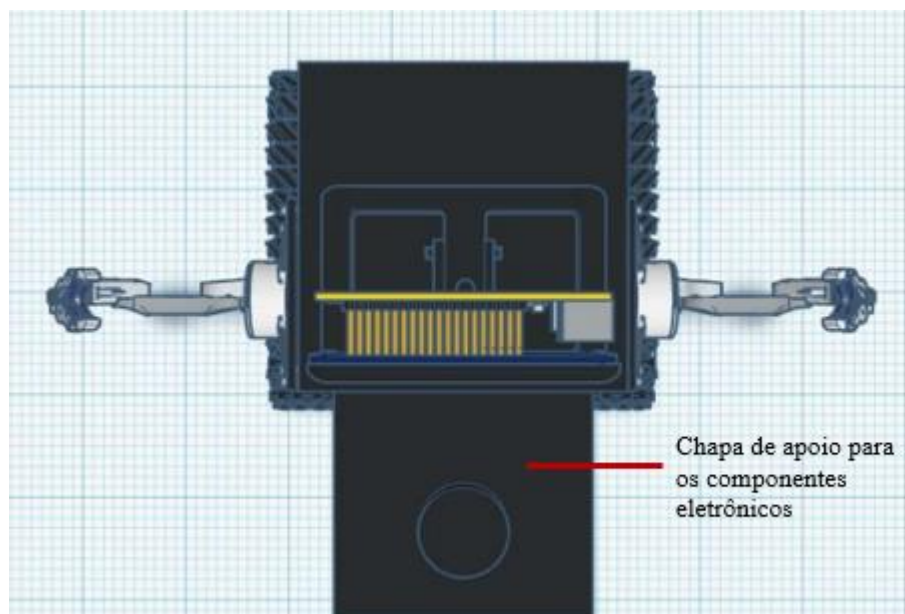
Fonte: autor

Figura 4 – Vista frontal do robô



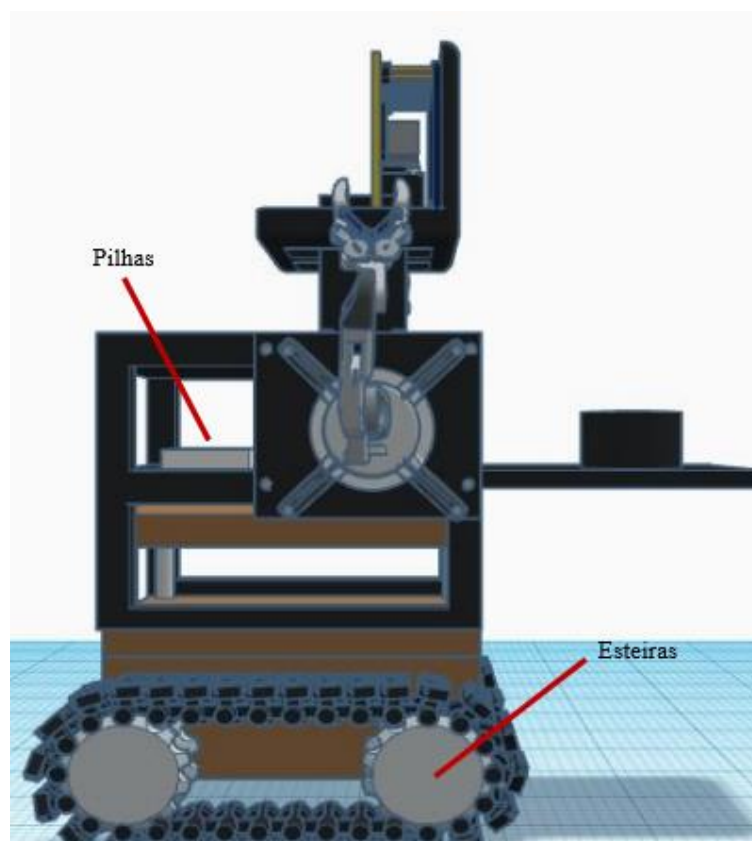
Fonte: autor

Figura 5 – Vista superior do robô



Fonte: autor

Figura 6 – Vista lateral do robô



Fonte: autor

Este modelo 3D foi realizado por meio do site Tinkercad, e foi feito no começo do projeto. Devido à algumas circunstâncias e necessidades a aparência do robô não se tornou totalmente igual ao modelo, mas também não se desviou do desejado. As mudanças mencionadas serão mais bem elaboradas ao decorrer do relatório.

No laboratório reservado para a confecção do projeto, havia a disposição do grupo dois braços robóticos com garras como ferramentas. Então a única coisa que restava para realizar a montagem da primeira forma de DaVinci eram as esteiras, “suas pernas”. Antes de chegar na esteira definitiva, houve duas candidatas. A primeira foi uma impressão 3D de uma esteira e suas engrenagens, porém, quando foi realizada a junção das peças ela se quebrou. A segunda candidata foi uma esteira de borracha cedida por um colega, porém, ela estava antiga e se despedaçando. Então foi comprada uma esteira de marca genérica pela internet que atendia todos os requisitos desejados.

A peça que serviria de cabeça teve uma parte cortada fora, para que assim houve espaço para o painel LCD, ela foi conectada ao corpo por meio de outra pela reutilizada de um antigo robô da Robô FEI. A conexão entre a cabeça e o pescoço foi feita com um parafuso, e o pescoço foi ligado ao corpo por 4 cantoneiras. Para encaixar os manipuladores, inicialmente, foram feitos quatro furos no corpo (dois em cada lado) de forma que ficassem alinhados com os furos já existentes na base dos braços. A esteira comprada vinha com um suporte de MDF para sua montagem, então desse suporte foi utilizado as duas chapas de madeira, que ligavam a engrenagens às rodas de cada esteira, para facilitar na integração dela ao corpo.

Então essa foi a primeira montagem do robô, chamada pelo grupo de DaVinci mark I:

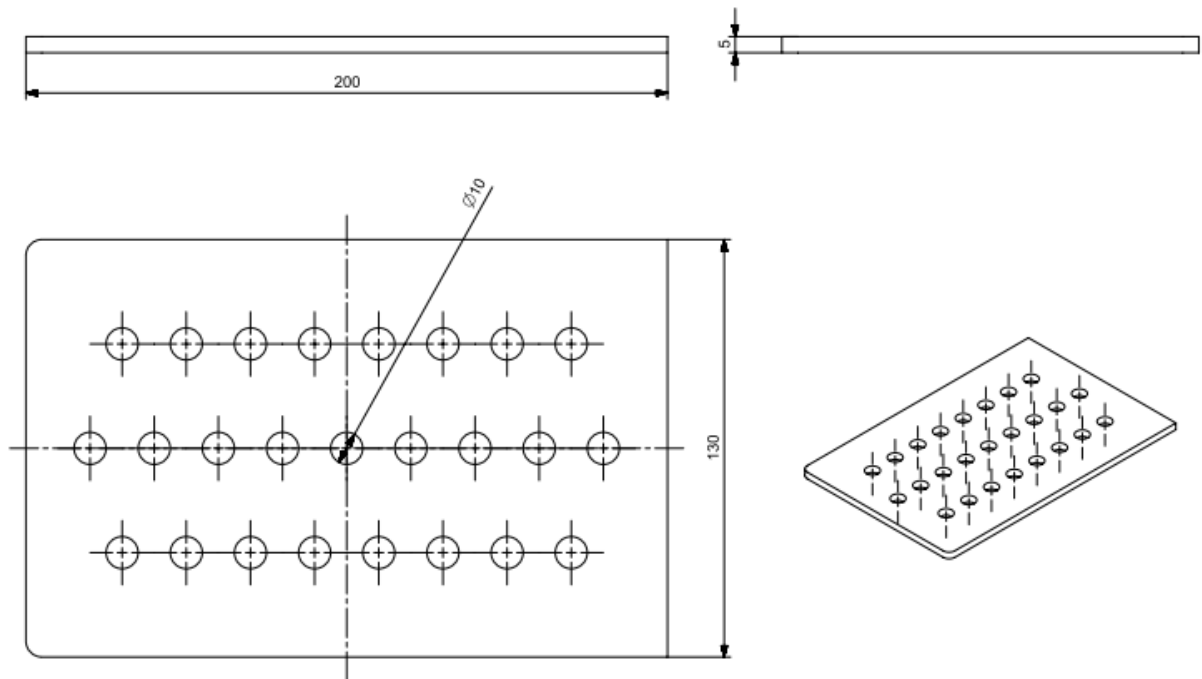
Figura 7 – DaVinci mark I



Fonte: autor

O próximo passo da montagem era projetar uma chapa para se encaixar no meio do corpo de DaVinci, ela deveria ser longa e resistente o suficiente para segurar os componentes eletrônicos do robô. A chapa foi projetada por meio do *software* NX, e seu design é comum, contendo o diferencial de furos espalhados por ela para realizar a passagem de fios, para garantir sustentação, a chapa foi imprimida em material ABS preto. Abaixo será mostrado o desenho técnico da chapa.

Figura 8 – Desenho técnico da chapa projetada



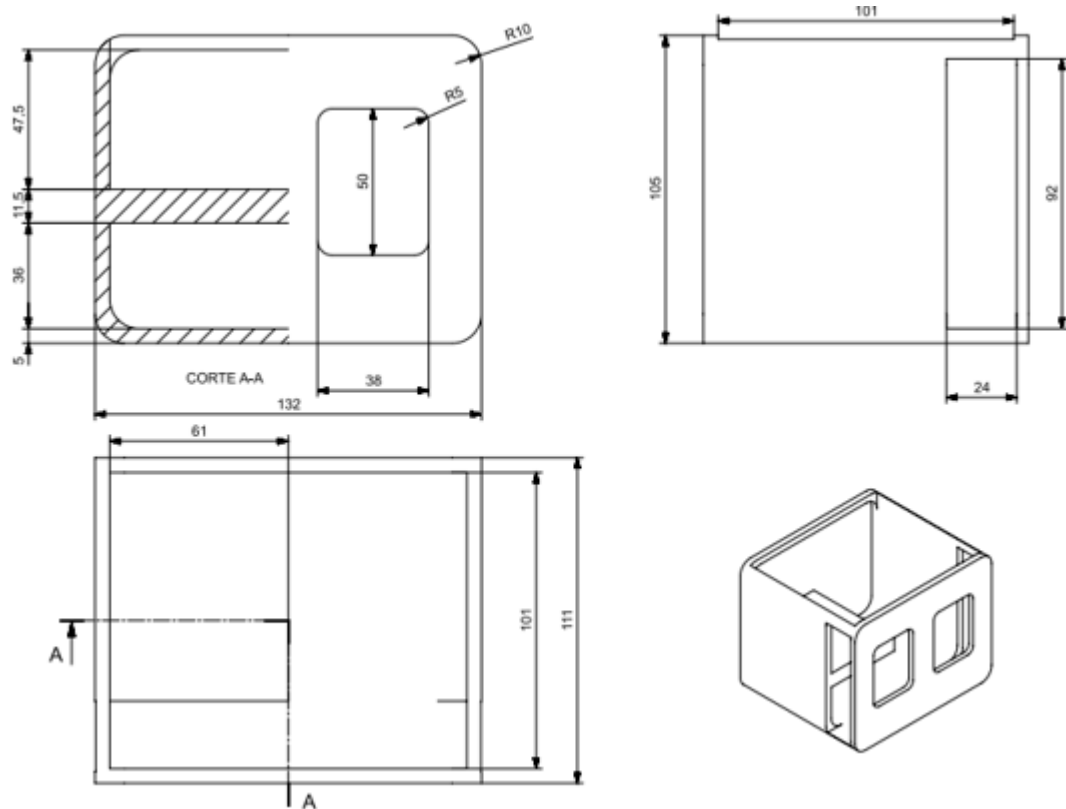
Fonte: autor

Ao decorrer do projeto, se viu a necessidade de usar um segundo microcontrolador (um Arduino) para controlar os braços de DaVinci. Porém, na chapa projetada não havia espaço para comportar os dois microcontroladores juntos dos outros componentes, e uma solução para o problema precisou ser desenvolvida.

A solução surgiu quando o painel LCD ia ser preso na cabeça. Mesmo que uma parte considerável da cabeça tenha sido removida para realizar essa conexão, não havia uma forma de realizar a conexão de maneira que o painel se encaixa-se perfeitamente para que as partes elétricas do painel fossem cobertas e a tela ficasse no espaço dos olhos.

Então, a partir da cabeça original, foi projetada uma segunda cabeça. O tamanho e a largura dela foram projetados com base nas medidas do painel LCD, para garantir que o “rosto” de DaVinci ficasse da maneira desejada desde o começo. Em relação ao comprimento, foi feito um pouco maior que a cabeça original, para que os dois microcontroladores pudessem ser fixados na cabeça e deixar mais espaço na chapa. Como não caberiam um do lado do outro e para não fazer uma cabeça muito larga, uma plataforma foi feita para que o Raspberry ficasse sobre. Abaixo está o desenho técnico da cabeça.

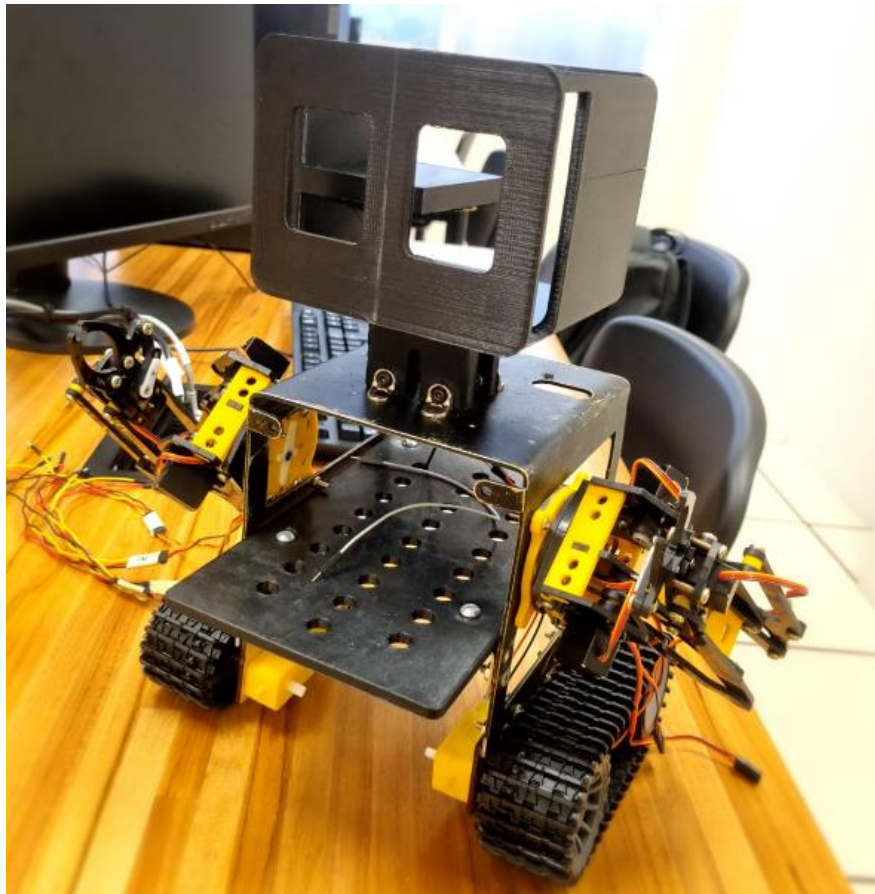
Figura 9 – Desenho técnico da cabeça projetada



Fonte: autor

Para conectar a chapa ao corpo, foram feitos 4 furos na chapa alinhados com 4 furos feitos no corpo do robô, então ela foi presa com auxílio de 8 parafusos e 4 cantoneiras. Para a conexão da nova cabeça, foi feito um furo no meio de sua base e o mesmo parafuso que prendia a cabeça original foi usado para fixar a nova. Com isso a nova montagem do robô estava feita, e essa foi chamada pelo grupo de DaVinci mark II.

Figura 10 – DaVinci mark II



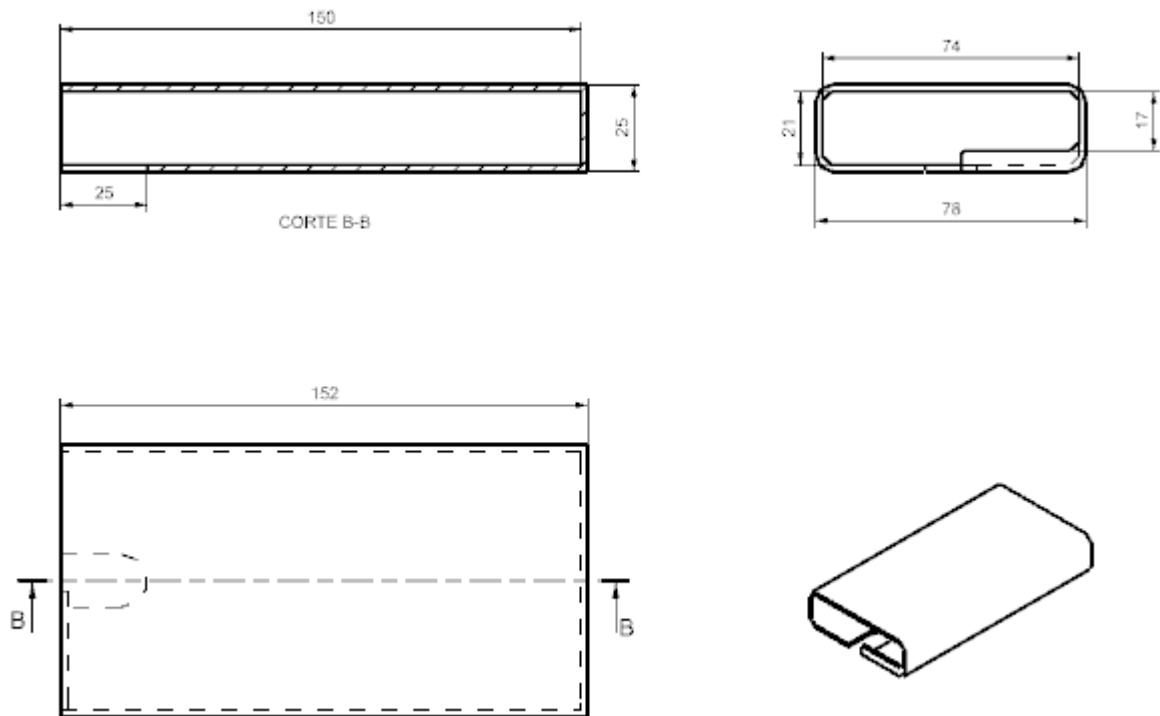
Com DaVinci quase pronto, ainda havia algumas pequenas coisas a serem feitas para aperfeiçoarem seus aspectos físicos e garantir 100% de eficácia em sua funcionalidade. O painel LCD e os microcontroladores ainda precisavam ser fixados à cabeça, havia a necessidade de criar um suporte para o *powerbank* que alimenta o robô e fazer uma correção para a parte inferior dele.

A fixação do painel e dos microcontroladores foi feita de forma simples, já que o painel LCD e o Raspberry possuem furos especialmente para realizar a fixação onde quer que sejam utilizados, então bastou marcar a posição em que eles ficariam, abrir os furos e realizar a fixação com parafusos. Agora para fixar o Arduino na base da cabeça, foi utilizado fita 3M, já que o Arduino utilizado está em um *case*.

Além das duas pilhas que alimentam o robô, ele também tem como fonte de alimentação um *powerbank*. A ideia inicial para manter o *powerbank* no corpo, era a utilização de enforcadores que passariam pelos buracos projetados na chapa de apoio e segurariam o carregador portátil na parte inferior dela. Porém, ao decorrer da montagem teve que se pensar em uma outra maneira, já que os componentes eletrônicos cobriam os buracos. Então foi projetado um suporte

especialmente para guardar o *powerbank*, e ele foi conectado à chapa com fita 3M, já que furar não seria possível sem danificar os circuitos do robô. Abaixo está o desenho técnico desse suporte.

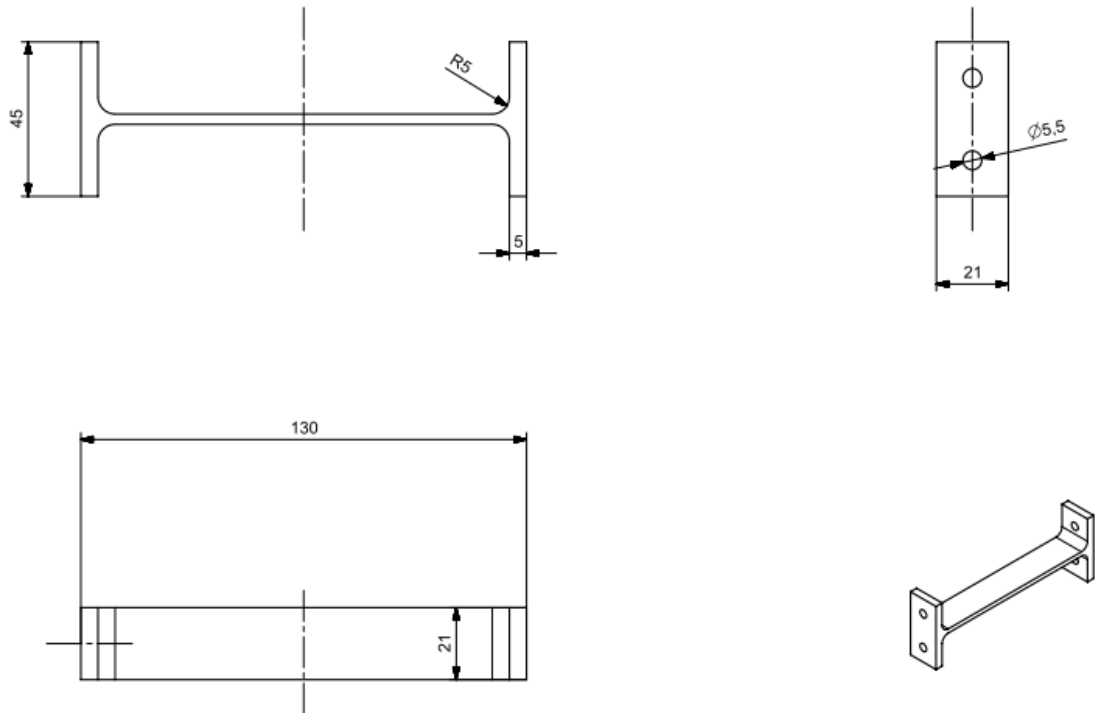
Figura 11 – Desenho técnico do suporte projetado



Fonte: autor

Pelo corpo de DaVinci ser uma peça reutilizada de outro robô, ele conta com algumas imperfeições. Apesar da maioria delas não gerar nenhum tipo de problema para o robô, seja estrutural ou de desempenho, a parte inferior do corpo possui uma deformação que a deixa mais aberta que o tamanho do corpo. Para resolver isso foi desenvolvida uma peça de correção que juntasse os dois lados internos do robô, a peça tem a largura do corpo para realizar a correção e foi feita no material ABS preto, já que é a peça estrutural e o material é resistente. A correção foi fixada na base do robô com 4 parafusos, como ela já foi projetada com os furos, só foi necessário furar o corpo e prender a correção. Abaixo está o desenho técnico da correção.

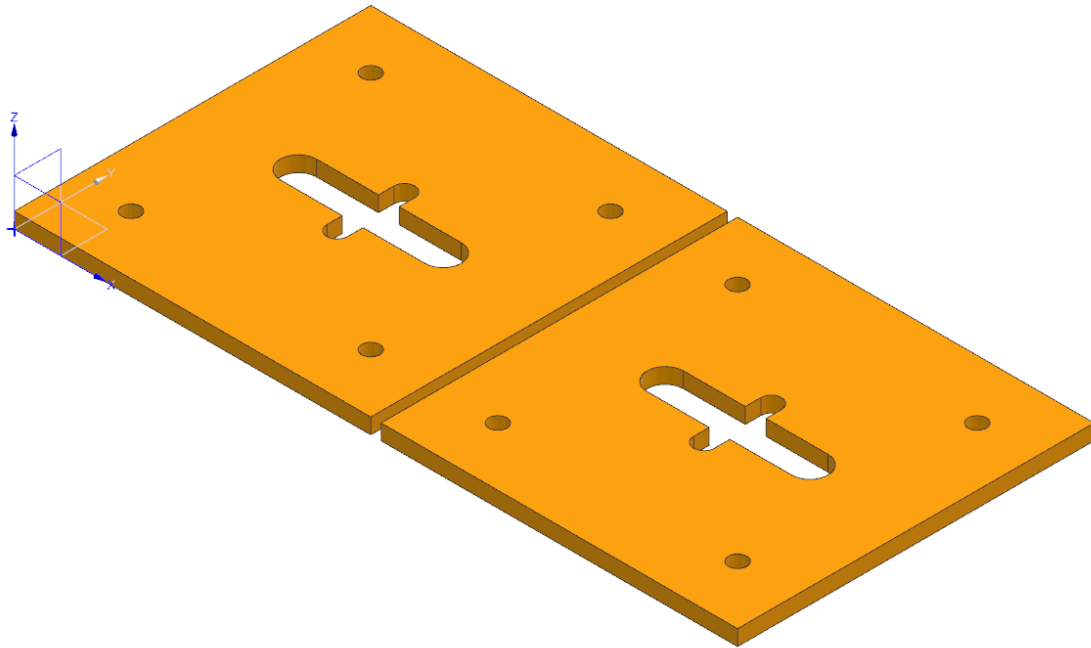
Figura 12 – Desenho técnico da correção projetada



Fonte: autor

Agora a última coisa que faltava para finalizar a mecânica do robô era projetar duas chapas para os manipuladores. No começo não tinha se visto necessidade de fazer uma ou até mesmo utilizar as que vem junto do braço, mas elas não servem somente para fixação do braço, elas também os fixam na sua posição 0. Pela chapa original ter um comprimento maior que o do corpo do robô, foi projetada uma nova chapa com base nela. As chapas novas foram presas com os parafusos usados anteriormente para prender os braços, já que os mesmos furos de antes foram utilizados. Abaixo o modelo 3D da chapa projetada.

Figura 13 – Chapas de fixação para os braços robóticos



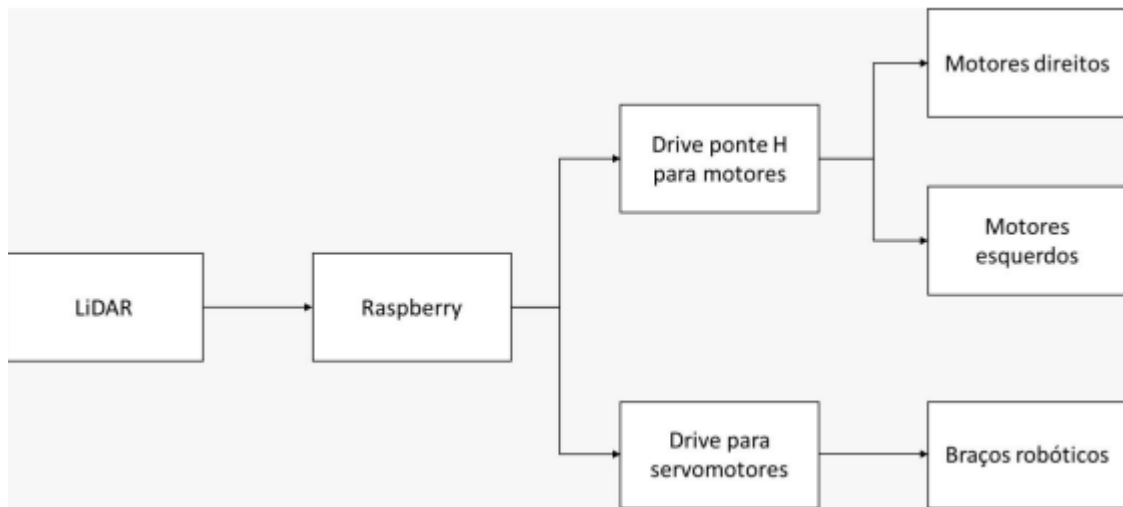
Fonte: autor

Com isso o trabalho da frente de mecânica estava terminado, e DaVinci tinha seu corpo pronto para operar em conjunto com os trabalhos das frentes de mecânica e de programação, para cumprir seus objetivos. Essa é aparência final de DaVinci, chamada pelo grupo de mark III.

2.2. DESENVOLVIMENTO DA PARTE ELÉTRICA

Assim como o começo do desenvolvimento mecânico começa a partir de um modelo tridimensional do que se deseja, o desenvolvimento elétrico começa com um diagrama idealizando como será a eletrônica do robô. Então o primeiro trabalho da frente de elétrica foi desenvolver esse diagrama com base no que acreditava ser necessário para realizar a montagem do circuito no começo do projeto.

Figura 14 – Diagrama inicial da eletrônica do robô

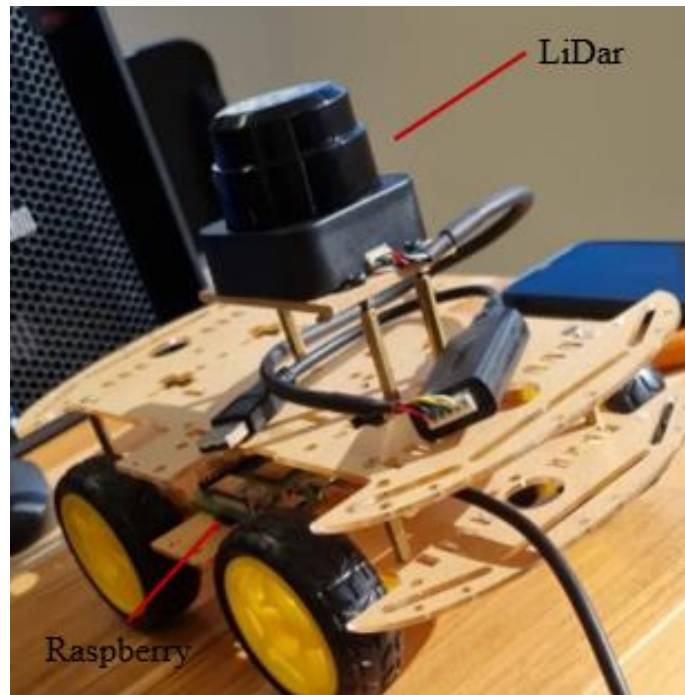


Fonte: autor

O diagrama descreve que, ao ligar o robô, o LiDar iniciaria o mapeamento do ambiente e então enviaria os dados obtidos ao Raspberry. O microcontrolador, então, realizaria a análise dos dados e enviaria sinais para a ponte H para poder se comunicar com os motores e levar o robô até a posição desejada. O mesmo seria feito para os drive dos servomotores dos braços robóticos, mas a informação transmitida seria qual movimento os manipuladores deveriam fazer.

Como mencionado na parte de desenvolvimento mecânico, houve a necessidade de comprar as esteiras para o robô. Isso gerou um problema, pois a entrega tinha estimativa de 1 mês para ser realizada. Então para não perder tempo, o grupo decidiu montar um segundo robô para realizar os primeiros testes eletrônicos e de *software*. O segundo robô era bem simples, pois se tratava do clássico Kit Chassi 4WD para Arduino. Nele foi montado o primeiro circuito, que integrava o LiDar com o Raspberry e a ponte H L298N dos motores do kit.

Figura 15 – Robô montado com Kit Chassi 4WD



Quando a montagem da mark 1 de DaVinci foi realizada, a frente de elétrica começou a desenvolver a parte do circuito que faria a integração dos braços ao microcontrolador. Para que os manipuladores funcionassem, dois componentes eletrônicos deveriam ser integrados no circuito: o módulo I2C para controlar os servomotores dos braços e um redutor de tensão. O grupo só tinha acesso ao redutor de tensão, e teve que comprar o controlador dos braços, mas felizmente a entrega levou 3 dias e não atrapalhou no desenvolvimento do projeto.

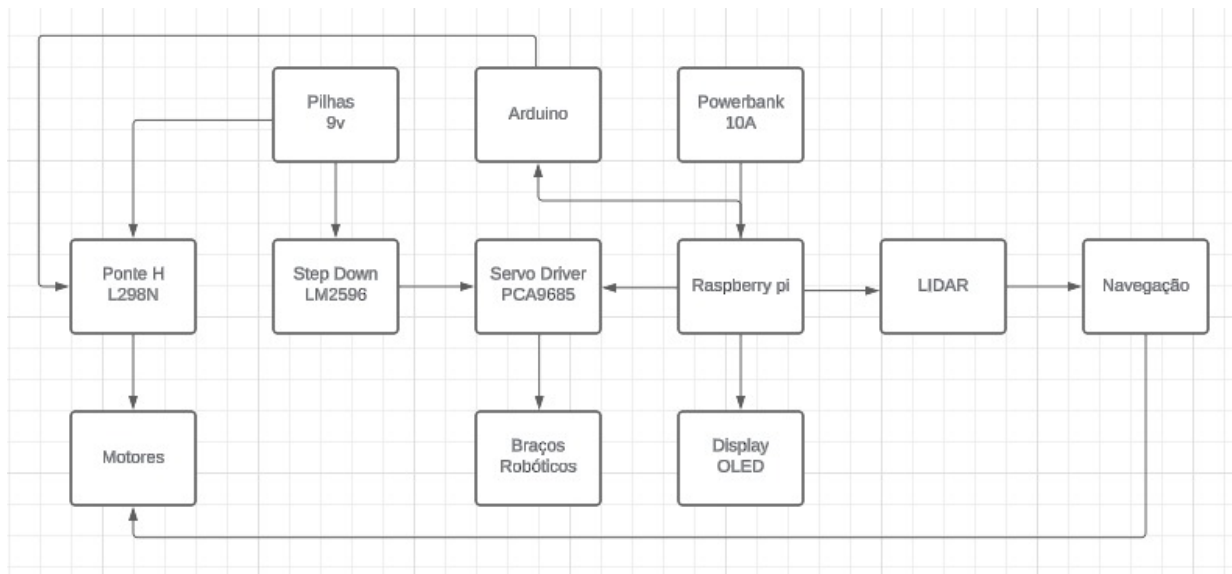
Ao começar a montagem do circuito dos braços com o controlador e o redutor de tensão, foi descoberto que o modelo dos braços utilizados não era capaz de se comunicar diretamente com o Raspberry. Então diante desse problema, foi chegada à conclusão de integrar um segundo microcontrolador no sistema, um Arduino, para realizar essa comunicação.

A última etapa para concluir a montagem de toda a parte elétrica do robô era determinar como seria feita a alimentação. Desde o início, havia a ideia de utilizar um *powerbank* para alimentar o Raspberry Pi. Inicialmente, foi decidido que a alimentação seria dividida em duas partes: a alimentação da ponte H e a alimentação do Raspberry Pi. Assim, os primeiros cálculos de tensão foram iniciados. Para o Raspberry Pi, o consumo médio de corrente foi estimado em 0.5A, para o Arduino em 0.2A, para o Display OLED em 0.1A e para o LiDar em 1A, totalizando um consumo de corrente de 1.8A para o *powerbank*. Como os *powerbanks* comuns fornecem uma tensão de saída de 5V, mantivemos essa como referência. Verificamos que o *powerbank* de um membro do grupo atendia às especificações mínimas.

Para a alimentação da ponte H, a faixa de tensão exigida pelos motores foi definida como sendo de 5 a 7V, e a corrente necessária para alimentar os 8 servomotores é de 4000mA ($500\text{mA} \times 8$), além de 500mA para a ponte H. Decidimos então utilizar duas pilhas de 3V e 6800mA que já tínhamos disponíveis no laboratório.

Chegada à conclusão de como a alimentação seria feita, a frente de elétrica refez o diagrama da eletrônica do robô, esse novo conteúdo todas as alterações que foram realizadas durante o desenvolvimento do projeto. Esse é o diagrama final:

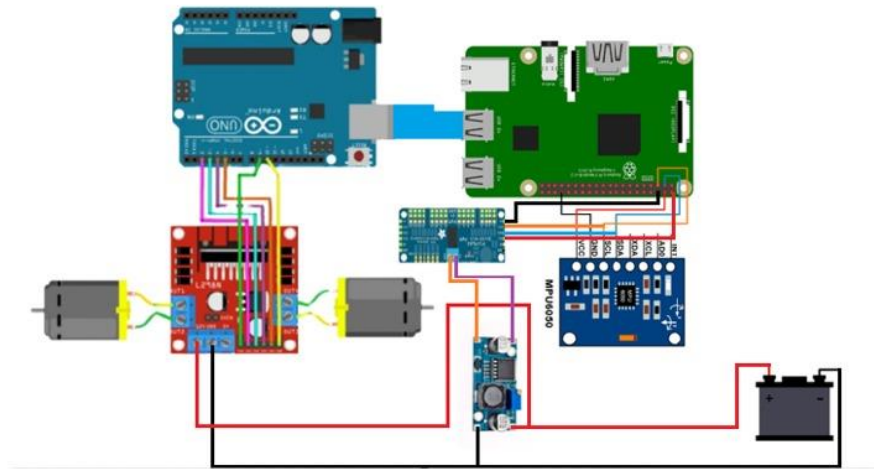
Figura 16 – Diagrama final da eletrônica do robô



Fonte: autor

Finalmente a montagem do circuito elétrico do robô foi integrada na mark III de DaVinci, e ficou dessa forma:

Figura 17 – Esquemático dos componentes elétricos



Fonte: autor

2.3. DESENVOLVIMENTO DO *SOFTWARE*

A desenvolver...

2.4. COMPONENTES UTILIZADOS

Esses foram todos os componentes utilizados na mark III de DaVinci:

RPLIDAR S1M1:

- R\$ 3250,00
- Alcance de escaneamento de 0.05m até 12m
- Área de trabalho: 0 – 360°
- Frequência de coleta de amostra de 5kHz
- Frequência de scanearmento 10kHz
- Resolução angular de 0.72° O LIDAR será utilizado como meio de mapear o local de trabalho do robô

para encontrar os objetos que serão descartados.

2 Motores DC 3-6V com caixa de Redução e Eixo Duplo:

- Faixa de tensão de trabalho de 3-6V
- Máxima velocidade de operação (3V): 90+-10% [rpm]
- Mínima velocidade de operação (6V): 200+-10% [rpm]
- Torque: 0.15Nm ~ 0.60Nm
- Stall Torque(6V): 0.8kg.cm
- Relação da caixa de Redução: 1:48
- Dimensões do motor: 70x22x18 mm
- Peso: 30.6g

- R\$ 8,45 cada

O motor DC será utilizado para rotacionar as rodas do robô para movimenta-lo.

Raspberry Pi 4:

- Processador 64-bit, quad-core, 1.5GHz - Portas USB
- Conector Gigabit Ethernet com compatibilidade PoE
- Chip WiFi de 2.4GHz e 5GHz
- Bluetooth 5.0
- Duas portas micro HDMI
- R\$ 578,45

O raspberyy será utilizado como microcontrolador embarcado.

2X Braço Robótico do modelo RoboARM:

- R\$ 199,90 cada
- Ergue cargas de até 80g
- 4 servomotores 9g cada
- Possui rolamentos com esfera, fornecendo uma rotação suave de sua estrutura
- Faixa de tensão de trabalho: ~5V - Extensão máxima de 22cm
- Área de trabalho de 180° O braço robótico será utilizado para o robô coletar o lixo.

Chassi de alumínio do robô:

O chassi será usado como “corpo” do robô.

4X Rodas guias:

- Diâmetro de 38 mm 2X Esteiras de borracha
- O robô se movimentará através de um par de esteiras Ponte H L298N
- Dimensões: 43x43x27mm
- Potência máxima: 25W
- Corrente lógica: 0~36mA
- Tensão Lógica: 4.5V~7V
- Corrente máxima de operação: 2 A por canal
- Tensão de Operação: 4.5V~46V

2X Esteiras de plástico:

O robô se movimentará através de um par de esteiras

Ponte H L298N:

- Dimensões: 43x43x27mm
- Potência máxima: 25W
- Corrente lógica: 0~36mA
- Tensão Lógica: 4.5V~7V

- Corrente máxima de operação: 2 A por canal
- Tensão de Operação: 4.5V~46V

A ponte H será utilizada para conseguirmos rotacionar o motor nas duas direções.

PCA9685:

- 16 pinos para controlar servo motores
- R\$47,99

O PCA9685 será utilizado para controlar os servos motores dos manipuladores simultaneamente.

2X Pilhas de Lítio:

- Tensão nominal 3,7V
- Tensão máxima 4,2V
- Capacidade nominal 2200mAh
- Taxa de descarga 2C
- Dimensões: 65x18mm
- Peso: 49g - R\$49,00

As baterias de lítio fornecerão tensão e corrente necessárias para alimentar o nosso robô.

MPU-6050:

- R\$22,00
- Dimensões: 2,1x1,6x0,3 cm
- Tensão de operação: 3-5V
- Faixa do acelerômetro: $\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16g$

A MPU-6050 será usada na navegação do robô.

Plataforma de ABS:

Usada para servir como base para alguns dos componentes elétricos/eletrônicos.

Chapas de MDF:

Usadas para ligar as esteiras ao corpo do robô

