

ROBÔ DE LIMPEZA INDUSTRIAL: DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE UM ROBÔ ASPIRADOR AUTÔNOMO EM LINHAS DE PRODUÇÃO DE ENSAQUE

Lucas Agostinho Silva
Lucas Miguel Marciano
Bruno Henrique de Almeida Borges
Yasmin Marine Almeida
Matheus Ribeiro Castilho e Silva

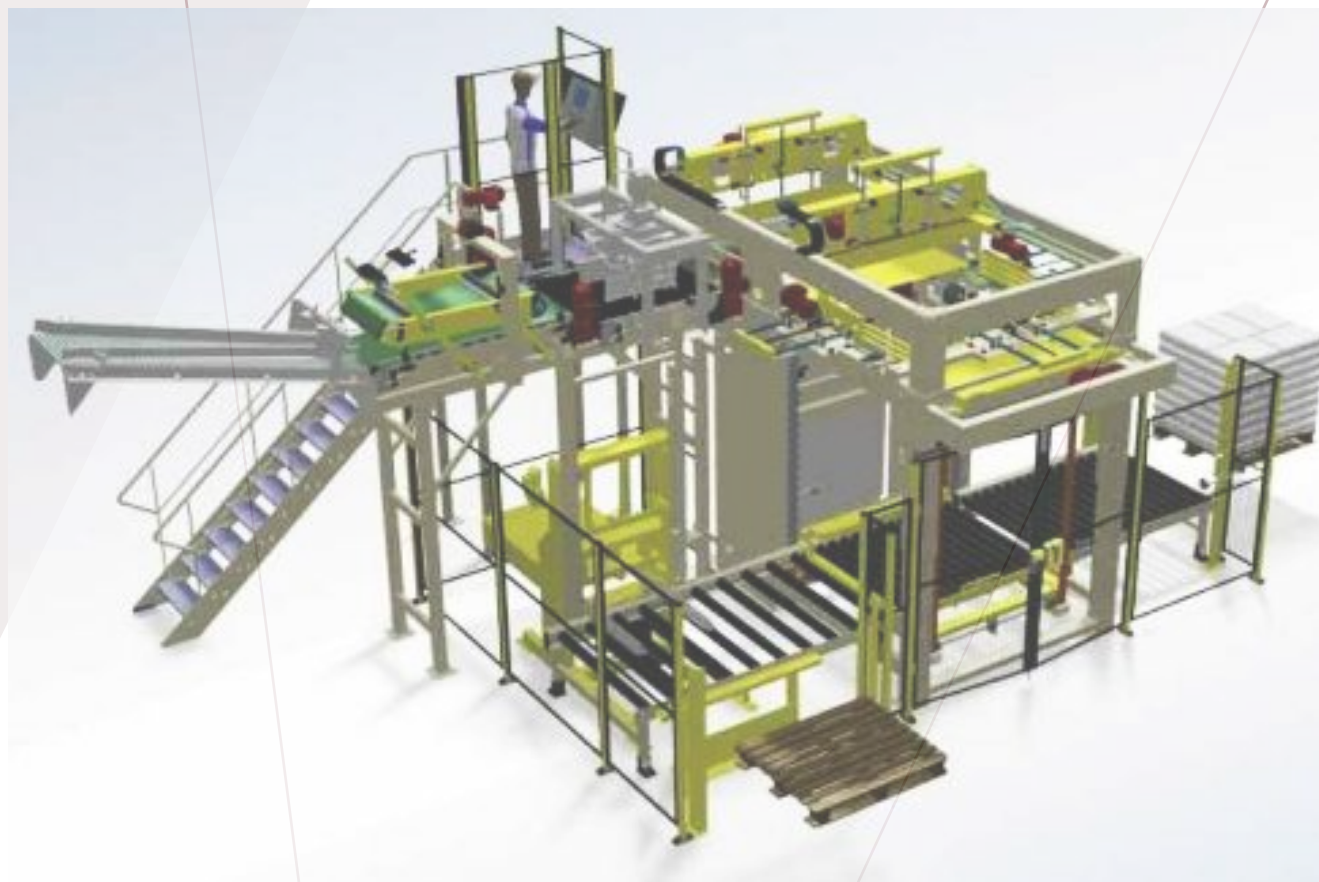
QUAL É O PROBLEMA OBSERVADO?

O INTEGRANTE DO GRUPO LUCAS AGOSTINHO TRABALHA NA EMPRESA BRASKEM QUE POSSUI UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE ENSAQUE.

NESSA ÁREA, POR CONTA DA COMPOSIÇÃO DO SACO QUE ARMAZENA O PELLET, JUNTO COM OS EQUIPAMENTOS QUE POSSUEM PARTES MÓVEIS, PODEM OCORRER OCASIONALMENTE RASGOS NA SACARIA E QUEDA DE PRODUTO NO CHÃO, NECESSITANDO DE LIMPEZA PERIÓDICA, ISSO CAUSA UMA PERDA DE PRODUÇÃO, ALÉM DE EXPOR OS FUNCIONÁRIOS A SITUAÇÕES DE RISCO AO ACESSAR O LOCAL.

QUAL É O NOSSO OBJETIVO?

PROJETAR E MONTAR UM ROBÔ ASPIRADOR AUTÔNOMO PARA LIMPEZA DE PELLETS DENTRO DA PLANTA PE7 DA BRASKEM, ELIMINANDO ESSES DOIS PROBLEMAS.



ETAPAS DO PROJETO:

CONFORME AS NECESSIDADES DO PROJETO LEVANTADAS PELO GRUPO, DECIDIMOS SEPARÁ-LO EM TRÊS ÁREAS:

- **ELÉTRICA:** MONTAGEM DO CIRCUITO DOS MICROCONTROLADORES, MOTORES, SENSORES E CIRCUITOS DE PROTEÇÃO, JUNTAMENTE COM DIMENSIONAMENTO DE BATERIAS DO PROJETO.
- **MECÂNICA:** ENVOLVE TODA A MONTAGEM E DISTRIBUIÇÃO MECÂNICA DO ESPAÇO FÍSICO DO ROBÔ, JUNTAMENTE COM O SISTEMA DE VÁCUO, SUPORTE DOS MOTORES, SENSORES E DA CARCAÇA DO ROBÔ.
- **PROGRAMAÇÃO:** ENVOLVE TODAS AS SIMULAÇÕES, ALÉM DO DESENVOLVIMENTO DAS LÓGICAS DE MAPEAMENTO E NAVEGAÇÃO DO ROBÔ.

ELÉTRICA

PRINCIPAIS MATERIAIS UTILIZADOS:

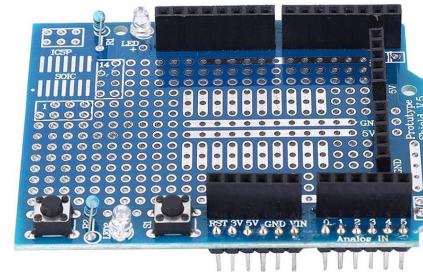
- Motor de tração



- Arduino Uno



- Placa Protoshield



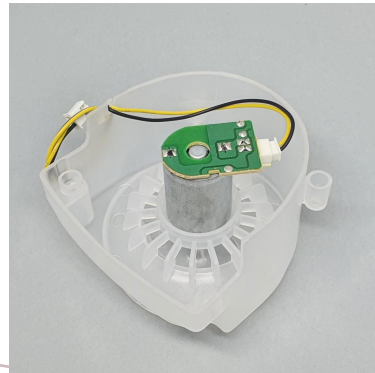
- Motor de pá



- Sensor HC-SR04



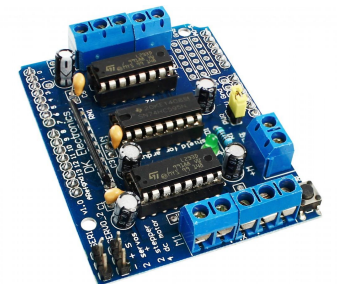
- Motor aspirador



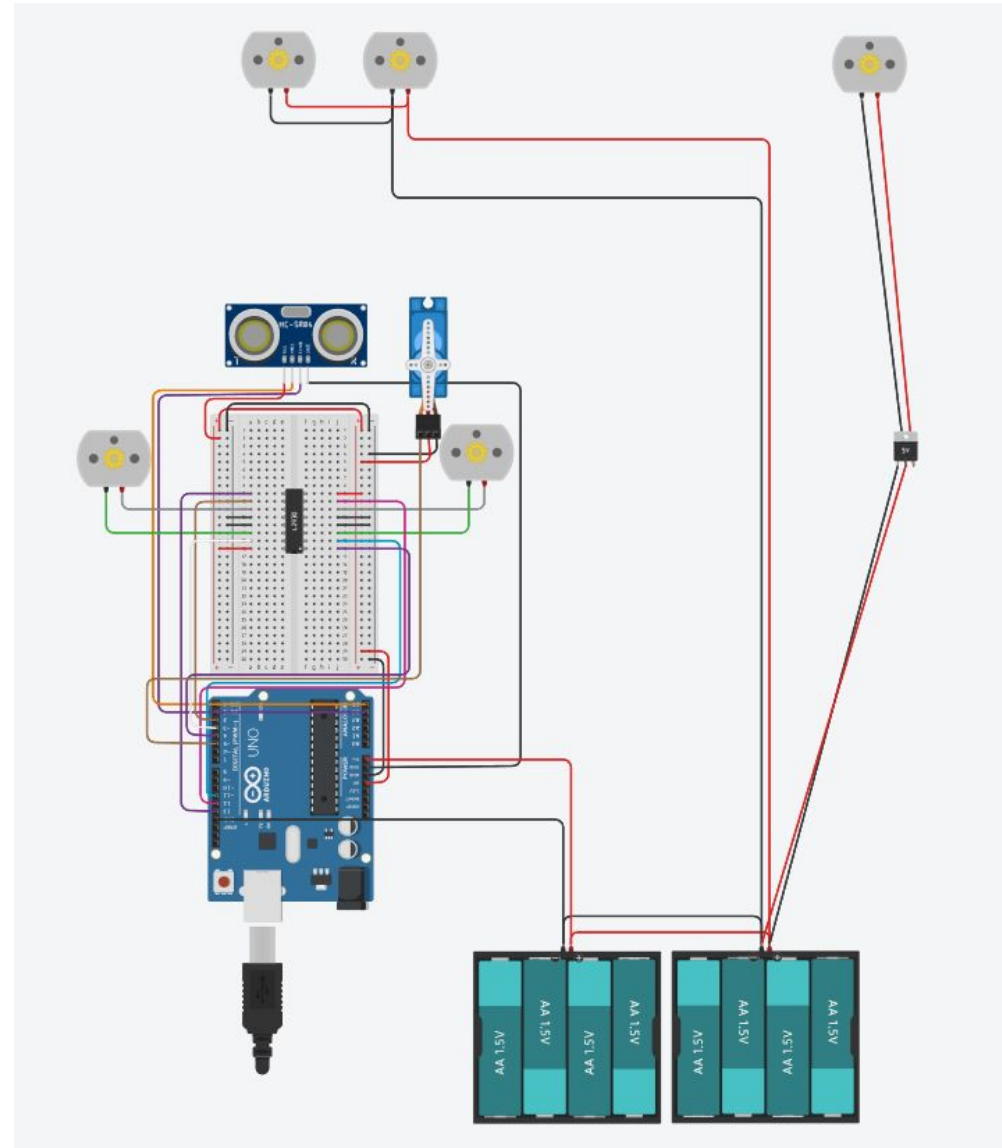
- Botão de Emergência



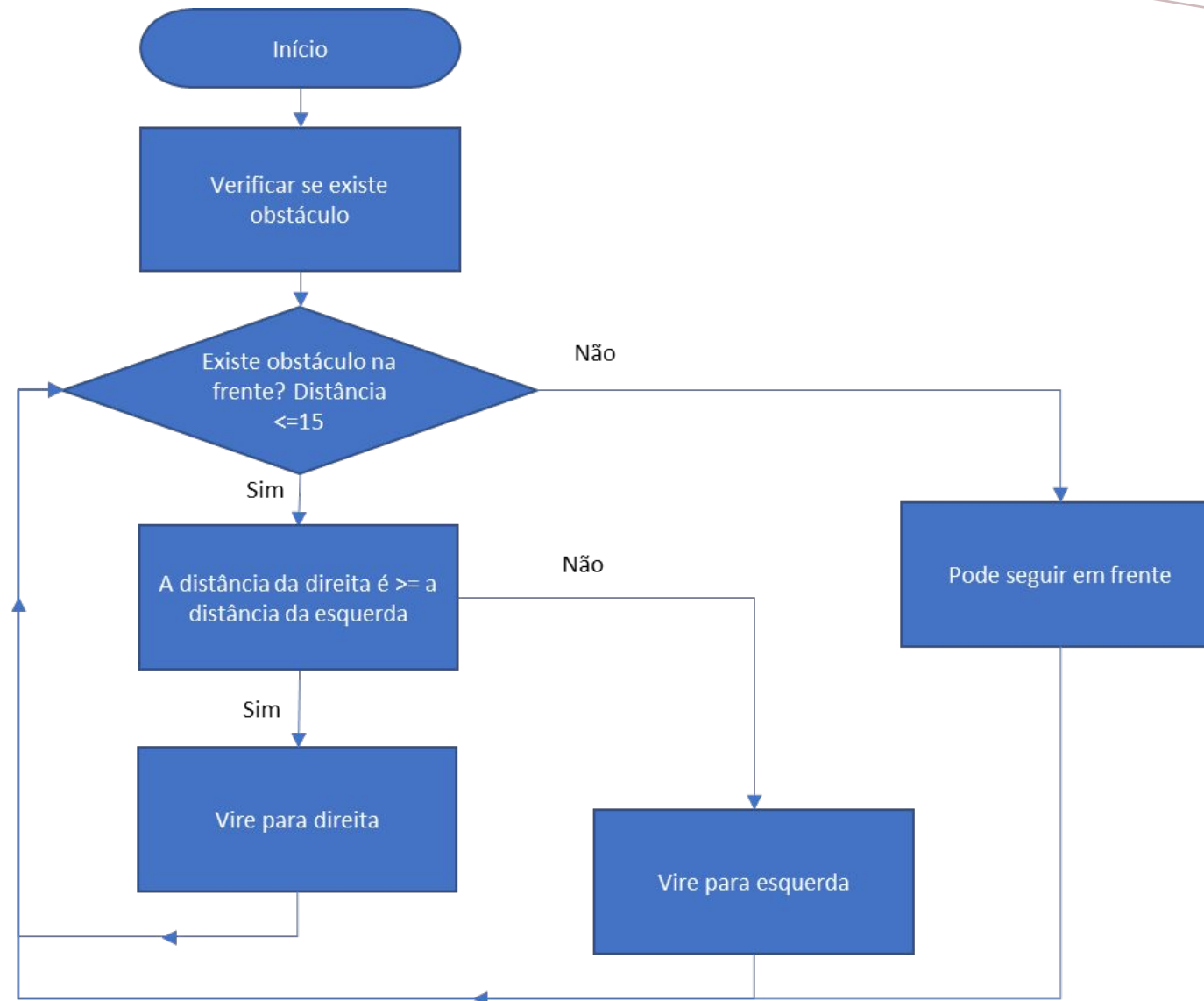
- Ponte H L293D



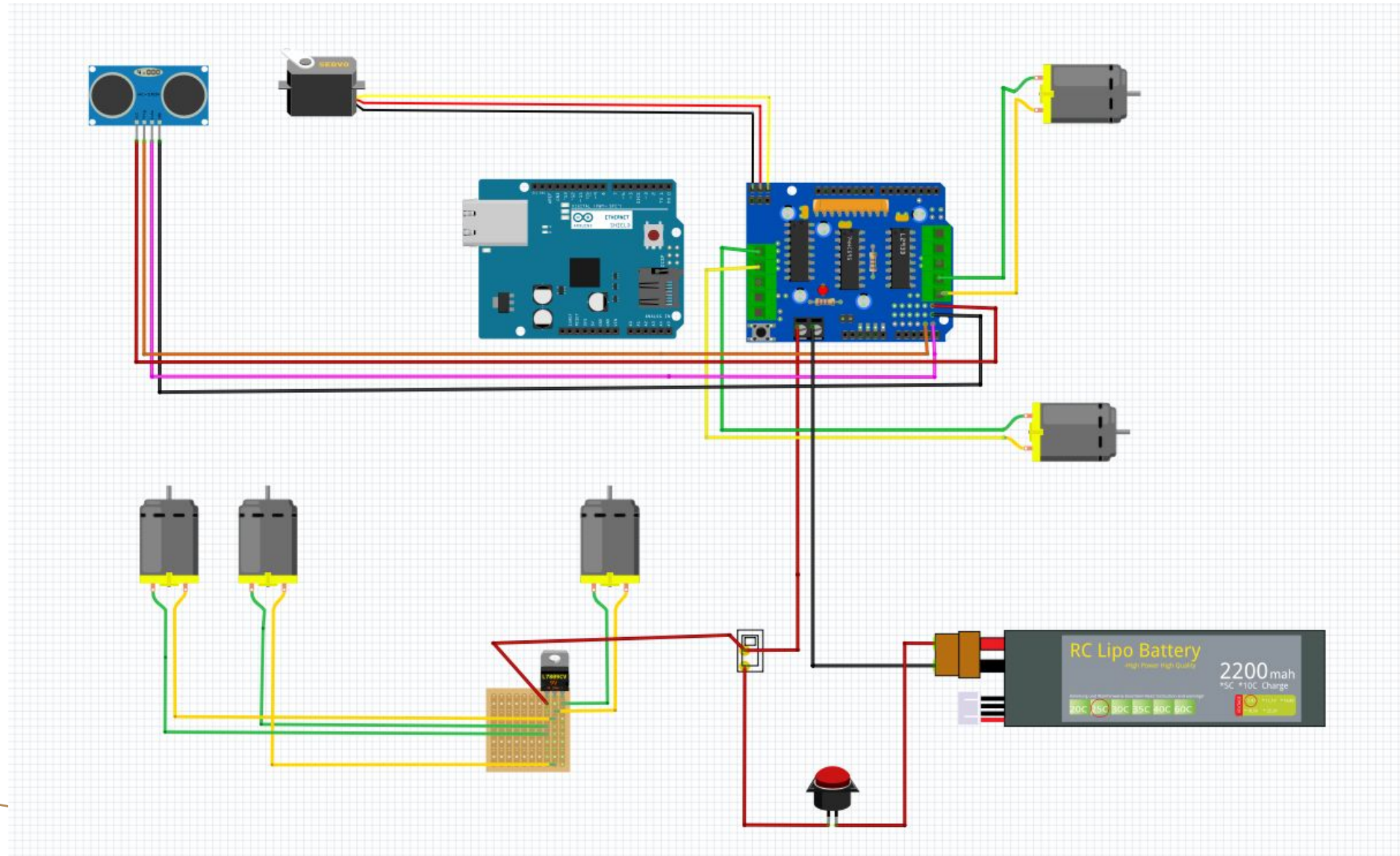
Primeiro teste elétrico - Tinkercad:



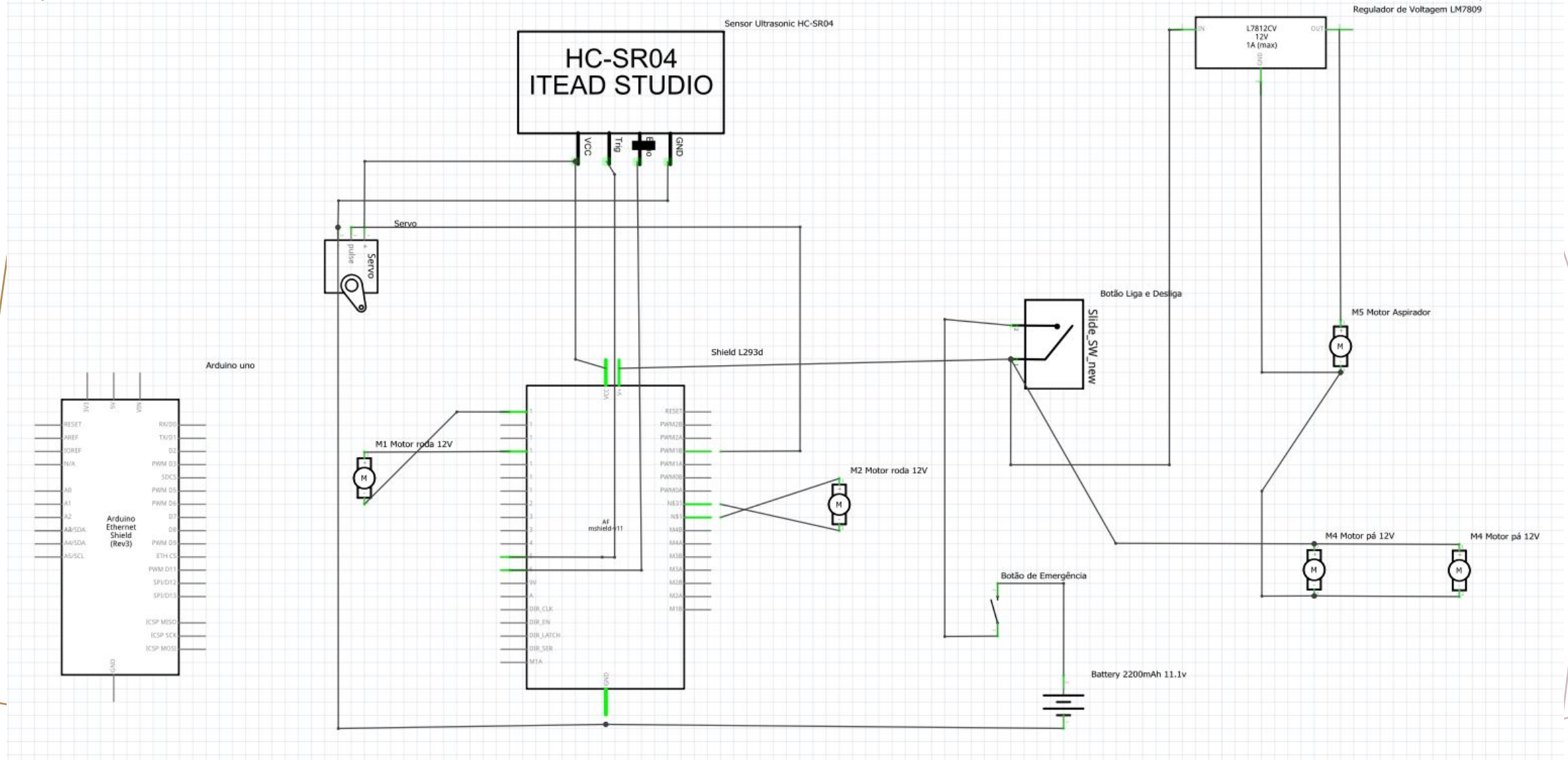
Fluxograma:



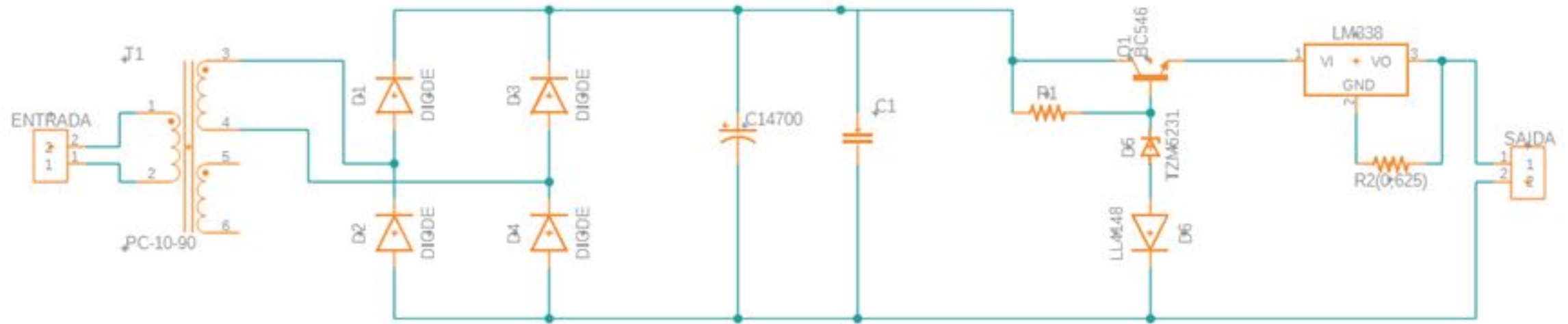
Fritzing:



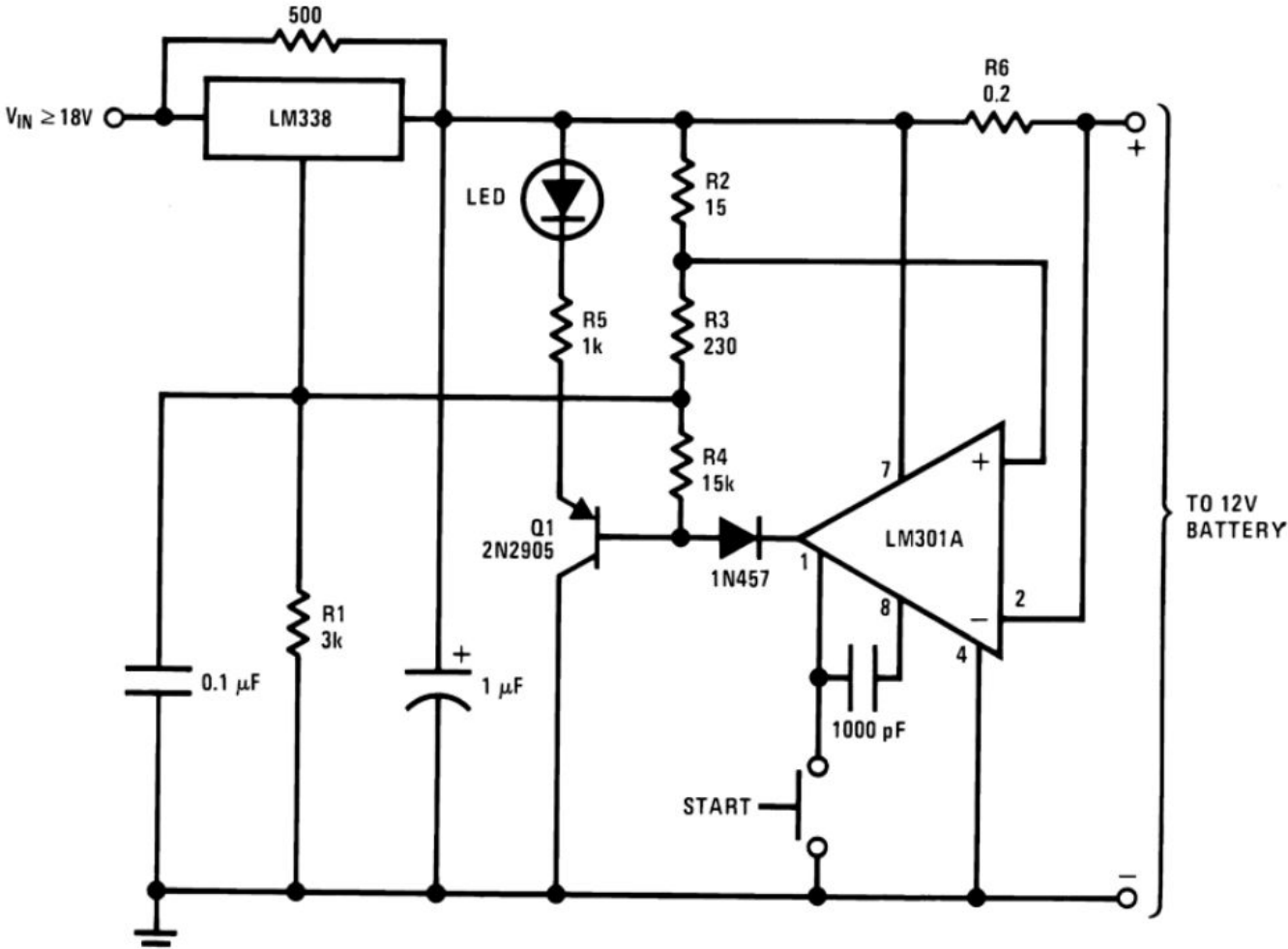
Circuito final:



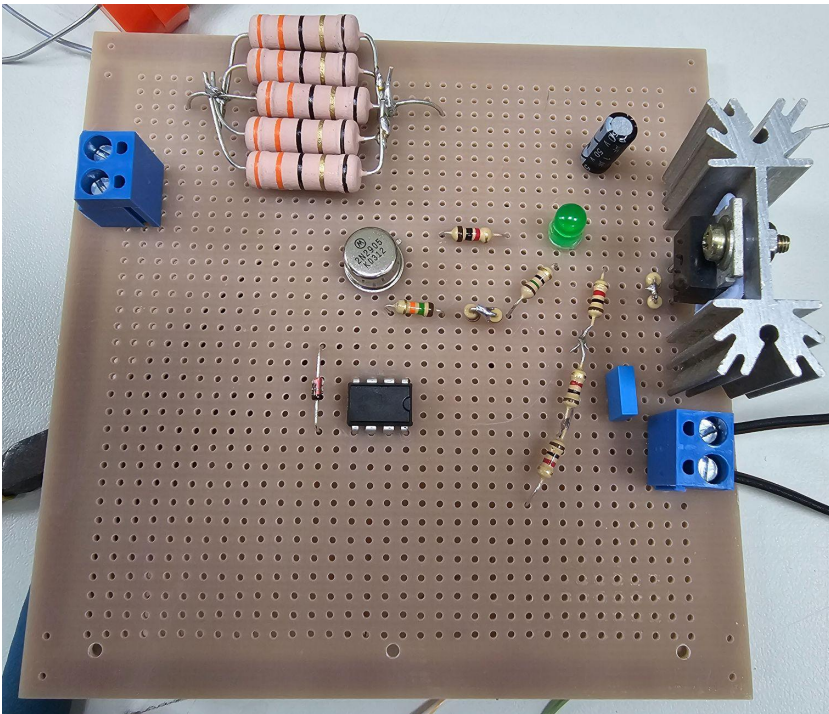
Circuito de Carregamento:



Circuito de Carregamento:



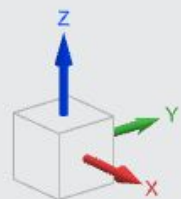
Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

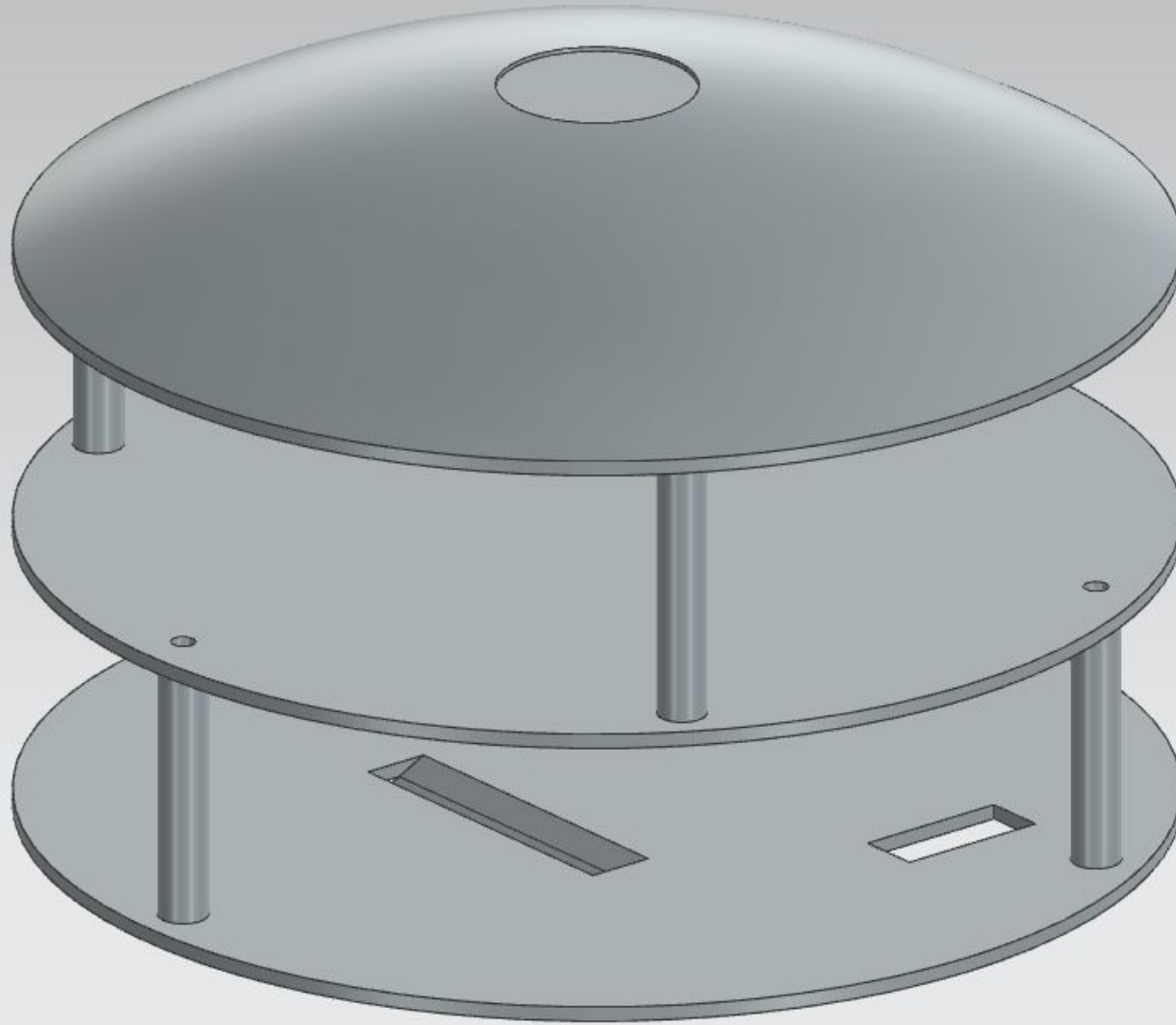
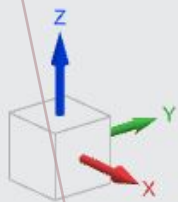


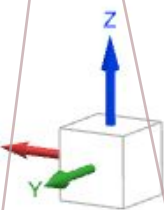
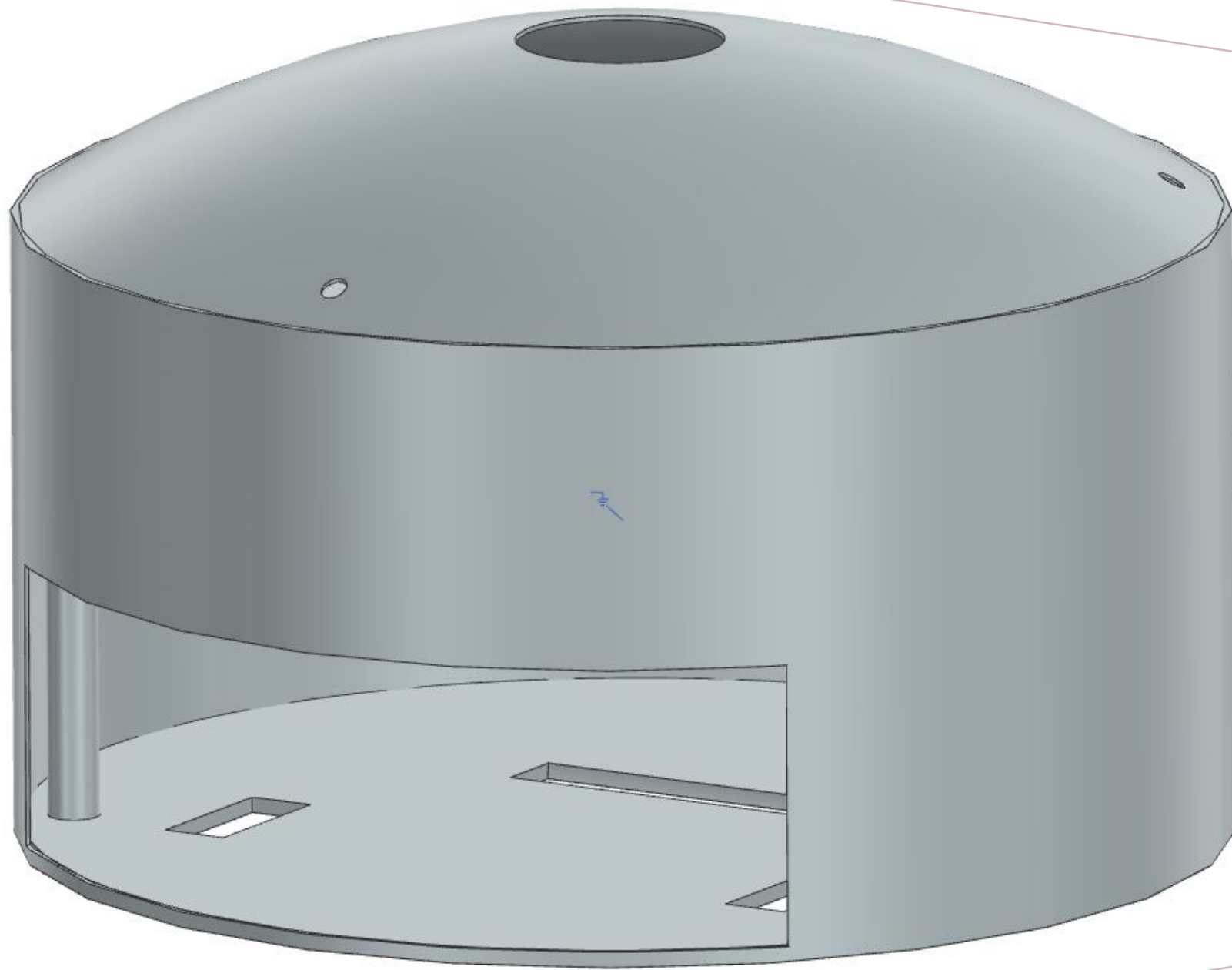


MECÂNICA

- O CORPO DO ROBÔ E ALGUNS DE SEUS COMPONENTE SERÃO FEITOS ATRAVÉS DE UM SOFTWARE CHAMADO **NX®**, DE PROPRIEDADE DA SIEMENS®.
- COM OS ARQUIVOS CAD PRONTOS, SERÁ INICIADA A FABRICAÇÃO DAS PEÇAS E DEMAIS COMPONENTES POR MEIO DE **IMPRESSÃO 3D**.
- A IMPRESSÃO 3D FOI A ESCOLHIDA POR CONTA DA SUA PRATICIDADE PARA CONFEÇÃO DE PEÇAS E ESTRUTURAS ALÉM DE SER EXCELENTE PARA PARAMETRIZAÇÕES EM FASES INICIAIS DE PROJETOS E SEUS PROTÓTIPOS.
- REFERENTE AO MATERIAL UTILIZADO, SERÁ O QUE ESTIVER DISPONÍVEL PARA O USO DENTRO DOS LABORATÓRIOS DA FEI, MAS SERÁ PRIORIZADO O USO **ABS** CASO SEJA POSSÍVEL O USO, PRINCIPALMENTE POR CONTA DE SER UM FILAMENTO MUITO DIFUNDIDO, ALÉM DE **SUPORTAR ALTOS NÍVEIS DE ESTRESSE MECÂNICOS E IMPACTOS**.









Creality Sermoon D1



Generic PLA
1.2mm

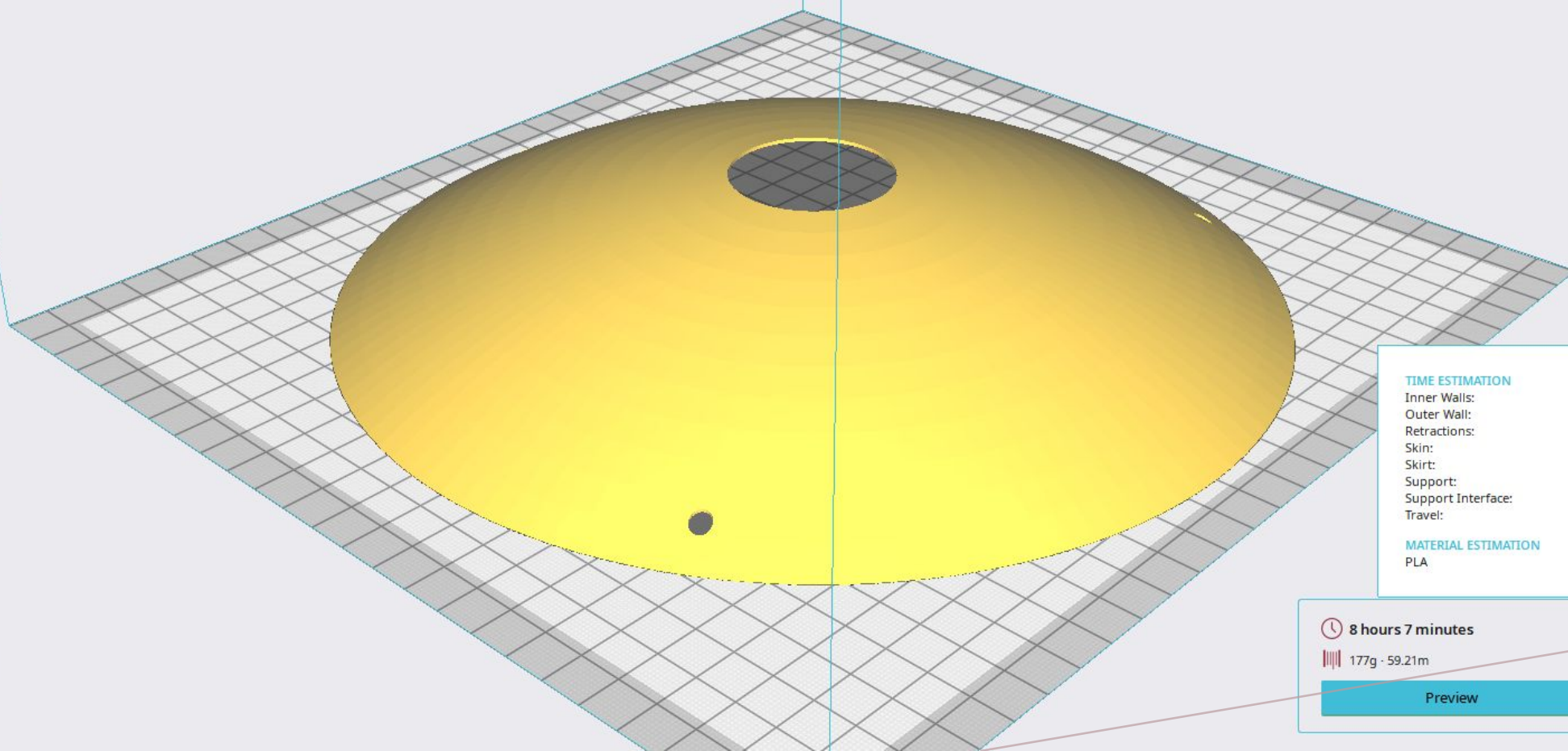


Draft Quality - 0.2mm

60%

On

Off



Object list

TCC230MM_CUPULA_REV01.....

CSD1_TCC230MM_CUPULA_REV01

230.0 x 230.0 x 33.5 mm



TIME ESTIMATION

Inner Walls:	00:06	1%
Outer Wall:	01:27	18%
Retractions:	00:52	11%
Skin:	00:07	2%
Skirt:	00:04	1%
Support:	05:10	64%
Support Interface:	00:11	2%
Travel:	00:08	2%

MATERIAL ESTIMATION

PLA	59.21m	177g	€ 0.00
-----	--------	------	--------

8 hours 7 minutes

177g - 59.21m


Preview

Save as Cr

15



PROGRAMAÇÃO



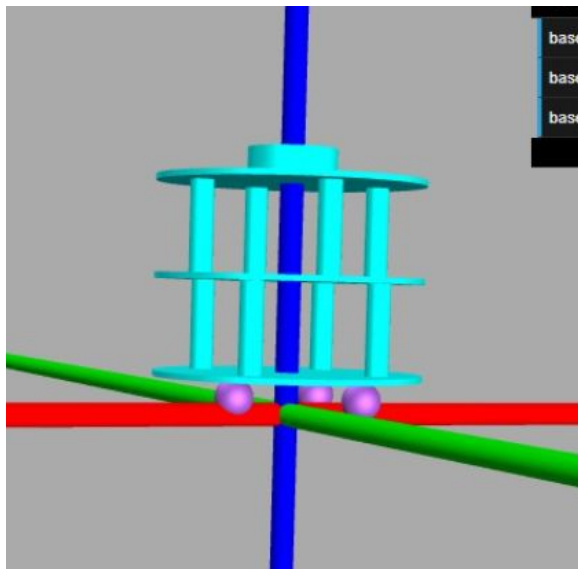
The background image shows a collaborative work environment. A person with curly hair is seated at a desk, looking at a laptop. Another person is standing behind them, and a third person is in the foreground, partially visible. The laptop screen displays a Java program with comments and code. The word 'PROGRAMAÇÃO' is written in large, white, serif font across the center of the image.

```
1 // For Code:
2 // Prints "Hello, World" on the screen.
3
4 # Java HelloWorld
5 # Hello, World
6
7 # Comments in coding are very important.
8 # Always comment code so anybody can work on your code.
9
10 #####
11
12 public class HelloWorld {
13
14     public static void main(String[] args) {
15         // Prints "Hello, World" to the screen/monitor
16         System.out.println("Hello, World");
17     }
18 }
19
20
21
22
23
24
```

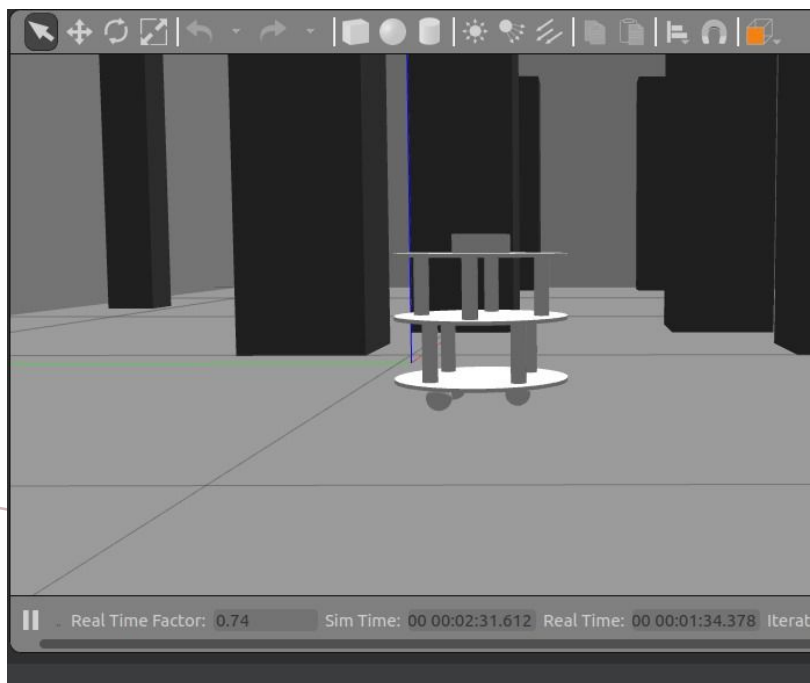
SOFTWARES UTILIZADOS:

- Ubuntu 22.04 Jammy Jellyfish
 - ROS 2 Humble Hawksbill
 - NAV 2
 - SLAM toolbox
 - Gazebo
 - RVIZ
- Com a instalação completa do Ubuntu e o software do ROS2 foram instalados os pacotes extras do NAV2, SLAM toolbox e Gazebo para preparação do sistema onde será feito o projeto;
 - Utilizando então as medidas tiradas da linha de ensaio da Braskem foi montado a simulação no software gazebo;
 - Juntamente foi desenvolvido a URDF do robô para utilização futura;
 - Com o auxílio do SLAM toolbox e um código de controle via teclado foi gerado o mapa virtual interno do robô que será usado para sua localização usando Método de Monte Carlo;
 - Foi então implementado utilizando NAV2 a programação autônoma do robô, com base nos métodos de Monte Carlo, A* expandido, algoritmo de Dijkstra, RPP (Regulated Pure Pursuit), VP (Vector Pursuit) e DWB (Dynamic Window Approach).

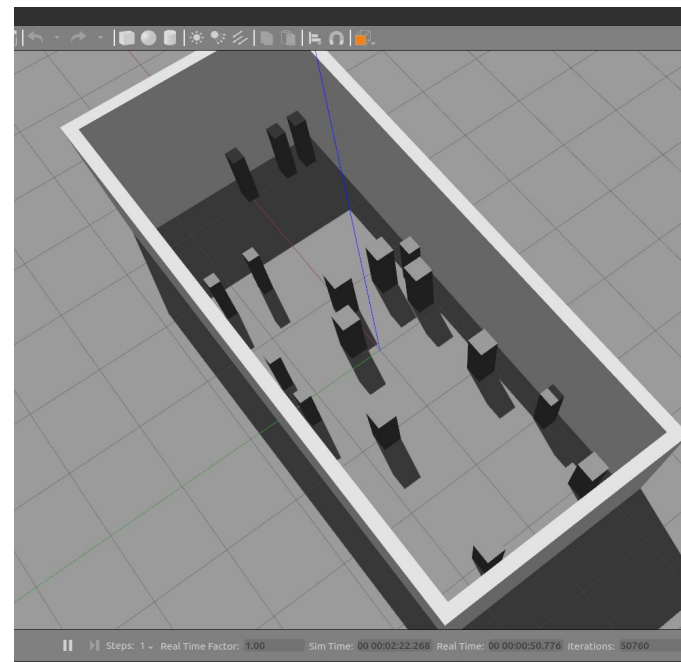
SIMULAÇÃO:



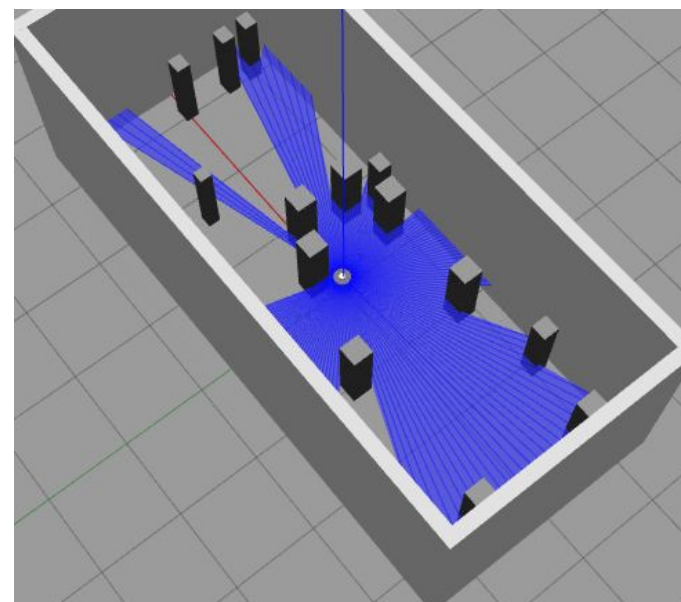
URDF



*Robô
simulado*

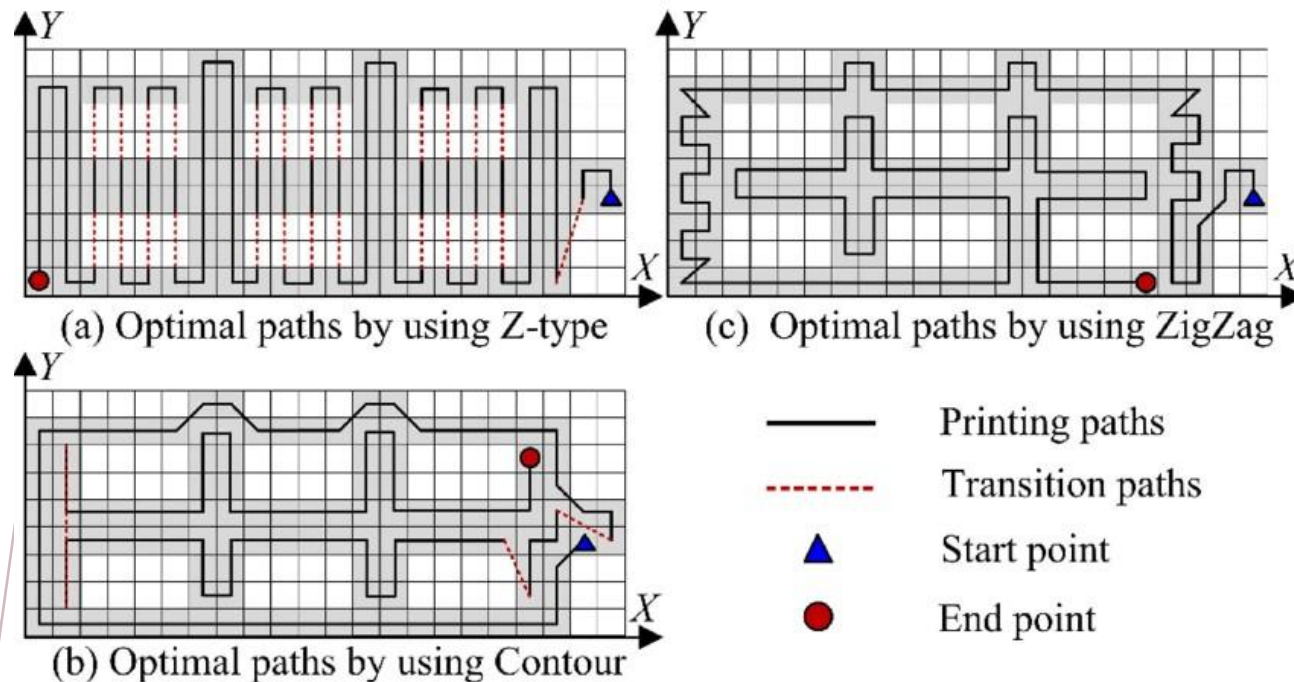


*Mapa do
Gazebo com
medidas reais*



*Simulação
rodando*

Método PPCR

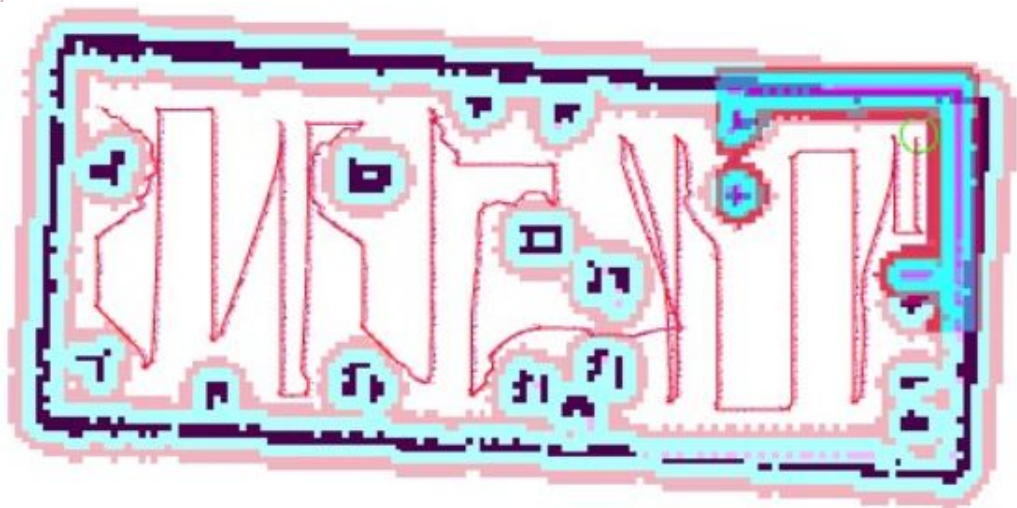


Método utilizado para definição da forma de planejamento e tipo de caminho:

- A forma de planejamento utilizada foi a pattern method por ser muito parecida com A* e djikstra
- Juntamente com isso é proposto 4 formas de navegar com o robô:
 - Aleatória
 - Zig-zag horizontal
 - Zig-zag vertical
 - Por contorno

Trajetos feitos

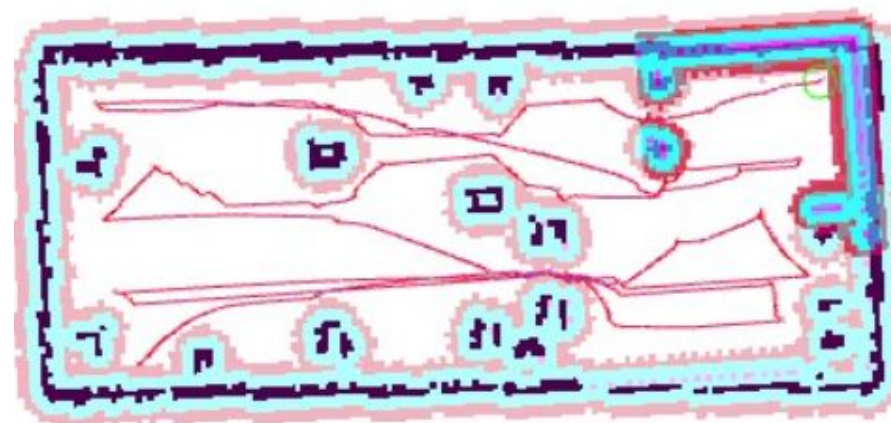
Trajetória de zig-zag vertical



Trajetória de contorno



A **trajetória de zig-zag horizontal** foi descartada na segunda fase de testes devido às grandes áreas que não eram percorridas.



M|

Tes|

Tra|

Testes de planejadores utilizando A* expandido

A* expandido e DWB

Trajetória	Tempo de execução (minutos)	Tempo fora do percurso (minutos)	Precisão (%)
Horizontal	14:58	5:01	66,48
Vertical	19:04	6:20	66,78
Contorno	20:07	10:53	45,89

A* expandido e VP

Trajetória	Tempo de execução (minutos)	Tempo fora do percurso (minutos)	Precisão (%)
Horizontal	11:07	1:42	84,71
Vertical	9:42	1:55	80,24
Contorno	8:16	0:48	90,32

A* expandido e RPP

Trajetória	Tempo de execução (minutos)	Tempo fora do percurso (minutos)	Precisão (%)
Horizontal	19:35	5:12	73,45
Vertical	35:25	10:04	71,58
Contorno	20:06	5:06	74,63

Testes de planejadores utilizando algoritmo de Dijkstra

Algoritmo de Dijkstra e DWB

Trajatória	Tempo de execução (minutos)	Tempo fora do percurso (minutos)	Precisão (%)
Horizontal	10:57	2:58	72,89
Vertical	16:46	3:36	78,53
Contorno	18:21	7:44	57,86

Algoritmo de Dijkstra e VP

Trajatória	Tempo de execução (minutos)	Tempo fora do percurso (minutos)	Precisão (%)
Horizontal	9:09	1:24	84,70
Vertical	8:13	1:16	84,58
Contorno	7:12	0:40	90,74

Algoritmo de Dijkstra e RPP

Trajatória	Tempo de execução (minutos)	Tempo fora do percurso (minutos)	Precisão (%)
Horizontal	18:37	5:58	67,95
Vertical	30:40	4:47	84,40
Contorno	19:07	4:16	77,68

Testes de trajetória utilizando algoritmo de Dijkstra e VP

Trajétória zig-zag vertical

Trajétória	Tempo de execução (minutos)	Tempo fora do percurso (minutos)	Precisão (%)
Teste 1	8:34	1:40	80,55
Teste 2	7:55	0:44	90,74
Teste 3	8:10	1:27	82,25
Teste 4	7:31	0:38	91,57
Teste 5	7:42	1:26	81,38
Teste 6	7:20	1:11	83,86

Trajétória espiral retangular

Trajétória	Tempo de execução (minutos)	Tempo fora do percurso (minutos)	Precisão (%)
Teste 1	7:05	0:23	94,59
Teste 2	7:27	0:55	87,91
Teste 3	7:04	0:43	89,86
Teste 4	7:21	1:03	85,71
Teste 5	8:42	1:58	77,39
Teste 6	7:55	1:04	86,53

Testes utilizando algoritmo de Dijkstra e VP na trajetória de zig-zag vertical

Testes para tempo médio de limpeza e precisão			
Nº do teste	Tempo de execução (minutos)	Tempo fora do percurso (minutos)	Precisão (%)
Teste 1	8:34	1:40	80,55
Teste 2	7:55	0:44	90,74
Teste 3	8:10	1:27	82,25
Teste 4	7:31	0:38	91,57
Teste 5	7:42	1:26	81,38
Teste 6	7:20	1:11	83,86
Teste 7	10:21	1:03	89,86
Teste 8	7:54	1:10	85,23
Teste 9	6:59	0:47	88,78
Teste 10	7:11	0:41	90,49
Média:	7:58	1:05	86,47



*Porque não
utilizar um
simples robô
aspirador
doméstico ou
algum outro
robô?*

NORMAS E PRÉ-REQUISITOS:

- POSSUIR BOTÃO DE EMERGÊNCIA;
- MODO DE CONTROLE E RECUPERAÇÃO À DISTÂNCIA;
- DETECÇÃO DE OBSTÁCULO SEM CONTATO FÍSICO COM O MESMO.



BENEFÍCIOS:

- AUTÔNOMO;
- TAMANHO REDUZIDO;
- CUSTO BAIXO.



MÉTRICAS UTILIZADAS:

TEMPO DE LIMPEZA: Tempo médio atual de parada da linha de produção é de 30 minutos a cada limpeza, fora liberação para início e finalização do trabalho. Na simulação, o robô percorreu o caminho completo pela área enquanto desviava dos objetos em uma média de **7 minutos e 58 segundos, e uma precisão de 86,47%.**

TAMANHO DO ROBÔ: Dimensões finais **230øx260mm**, com essa medidas nosso robô estaria entre os menores modelos domésticos comercializados, além de ser **muito menor** que os modelos industriais que possuem em média um diâmetro de 460mm. Porém, isso resultou em uma altura superior a qualquer modelo comercial, mesmo o modelo industrial mais alto possui apenas 20,4mm de altura.

NORMAS: Apenas um robô aspirador comercializado atualmente se adequa a todas as normas assim como o nosso robô, sendo ele o **DRC300Z** da empresa Makita. Em comparação com o projeto ele é **mais avançado**, tendo mais sensores o que torna sua localização e navegação mais precisos, possuindo um controle próprio, além de uma tela e botões para seleção de funções diretamente no robô. Esses avanços são refletidos diretamente no preço, iniciando em **R\$12.500,00.**

DISCUSSÕES:

AO LONGO DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO, CONSEGUIMOS, ATRAVÉS DE **SIMULAÇÕES** E AJUSTES ÀS NORMAS E METODOLOGIAS, **COMPROVAR A EFICÁCIA** DO ROBÔ CRIADO PARA APLICAÇÃO NO ESTUDO DE CASO NA EMPRESA. A SIMULAÇÃO DA NAVEGAÇÃO DEMONSTROU QUE, USANDO OS ALGORITMOS CRIADOS, O ROBÔ **PODERIA ACESSAR ATÉ OS ESPAÇOS MAIS ESTREITOS** DA LINHA PARA REALIZAR A LIMPEZA.

EM RELAÇÃO À PARTE **MECÂNICA** DO PROJETO, **OBTEMOS O RESULTADO PREVISTO**, CONFORME EVITADO NO NOSSO AVANÇO. APESAR DO **CONTRATEMPO** CAUSADO PELA MANUTENÇÃO DAS IMPRESSORAS DO LABORATÓRIO, CONSEGUIMOS SOLUCIONAR ESSA QUESTÃO EM UM PERÍODO APROPRIADO PARA NÃO PREJUDICAR A PRODUÇÃO DA ESTRUTURA BÁSICA DO PROJETO, ONDE SERIAM INSTALADOS OS COMPONENTES ESSENCIAIS PARA O SEU FUNCIONAMENTO ADEQUADO, SERIA DESENVOLVIDA TAMBÉM UMA PAREDE PARA ENVOLVER O ROBÔ, MAS ACHAMOS MELHOR RETIRÁ-LA DO PROJETO.

CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS:

EM SÍNTESE DO QUE FOI EXPOSTO, O NOSSO **PROJETO** APRESENTA CAPACIDADE PARA APLICAÇÃO NA **INDÚSTRIA**. NO ENTANTO, HÁ CERTOS ASPECTOS QUE PRECISAM SER **MELHORADOS** PARA ASSEGURAR UMA MELHOR APLICAÇÃO E ADAPTAÇÃO DO USUÁRIO.

ABAIXO LISTAMOS ALGUNS **PONTOS FORTES** E **MELHORIAS** A SEREM APLICADOS:

PONTOS FORTES:

- BAIXO CUSTO;
- EFICÁCIA E SEGURANÇA PARA O ESTUDO DE CASO APLICADO;
- MATERIAIS DE FÁCIL ACESSO.

MELHORIAS:

- VERSÃO COM **MAIOR DIÂMETRO** PARA ÁREAS ONDE O ESPAÇO NÃO É LIMITADO;
- ADIÇÃO DE **MAIS SENSORES** PARA AUMENTO DA PRECISÃO DA NAVEGAÇÃO;
- IMPLEMENTAÇÃO DE **DISPLAY** PARA USUÁRIO SELECIONAR PROTOCOLOS DE LIMPEZA E TER FEEDBACK EM TEMPO REAL DO ROBÔ;
- AUTOMAÇÃO DO **ESVAZIAMENTO** DO RESERVATÓRIO.
- REAPROVEITAMENTO DO AR DO SISTEMA DE SUCÇÃO PARA RESFRIAR O RASPBERRY PI.

Obrigado