

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI

NICOLAS ALAN GROTTI MEIRELES AGUIAR, RA:11.120.562-2; LUCAS MIGUEL MARCIANO, RA: 11.120.069-7; BRUNO DE ALMEIDA BORGES, RA: 11.120.356-8 ;

LUCAS AGOSTINHO SILVA, RA: 11.121.411-0

**NAVTECH**

São Bernardo do Campo

2023

## 1 RESUMO

O projeto consiste no desenvolvimento de um robô omnidirecional equipado com quatro rodas e um sensor lidar, além de componentes eletrônicos para garantir sua autonomia de navegação. O sistema será desenvolvido utilizando a pilha de navegação do ROS 2 (*Robot Operating System 2*), uma plataforma de software amplamente utilizada para a construção de robôs autônomos. O robô terá dois graus de liberdade por roda, resultando em um total de dois graus de liberdade no sistema. Essa configuração permitirá ao robô movimentar-se em qualquer direção com facilidade, tornando-o altamente manobrável e versátil. Um dos principais componentes do robô será o sensor lidar, responsável pela coleta de dados do ambiente em que o robô está inserido. Esse sensor permitirá a identificação de obstáculos, a criação de mapas do ambiente e a navegação autônoma do robô. Além disso, o projeto contemplará o desenvolvimento de uma interface web intuitiva, que possibilitará a interação dos usuários com o robô. Essa interface facilitará o controle e monitoramento do robô, tornando-o acessível mesmo para usuários sem conhecimentos técnicos avançados. O objetivo principal é construir um sistema robusto e eficiente, capaz de realizar tarefas de forma autônoma e eficaz. O robô será projetado para atender a diversas necessidades, como monitoramento de ambientes, entrega de produtos e outras aplicações que possam surgir no futuro. O uso da pilha de navegação do ROS 2 proporcionará um ambiente de desenvolvimento estável e flexível, com suporte a uma ampla variedade de sensores, atuadores e algoritmos de navegação. Isso permitirá a implementação de recursos avançados de localização, mapeamento, planejamento de trajetória e controle do robô.

## 2 DESCRIÇÃO DO PROJETO

O hospital em São Bernardo do Campo solicitou um robô para auxiliar na entrega de alimentos e medicamentos aos pacientes. O robô deve ser capaz de reconhecer o ambiente e localizar cada quarto de acordo com o paciente. Além disso, ele deve garantir que o medicamento correto seja entregue ao paciente adequado. O robô terá dois pares de rodas omnidirecionais para facilitar seus movimentos. A comunicação entre o robô e o paciente será feita por meio de uma interface web, fornecendo informações relevantes sobre os itens entregues. Como referência, serão utilizados os robôs existentes TIAGo® e DeepSoccer.

Os objetivos a serem realizados para o robô são os seguintes:

- a) Navegação por meio de pontos de referência pré-determinados (waypoints).
- b) Navegação por waypoints considerando a presença de obstáculos no ambiente.
- c) Cobertura completa da área designada, garantindo que todas as áreas sejam percorridas.
- d) Realizar a entrega de objetos, como alimentos e medicamentos, aos pacientes.
- e) Monitorar e cuidar de idosos, animais de estimação ou plantas, fornecendo informações e assistência quando necessário.

Operar de forma totalmente autônoma, sem a necessidade de intervenção humana para suas funções básicas. Esses objetivos visam garantir a eficiência e segurança do robô na entrega de alimentos e medicamentos aos pacientes, bem como o cumprimento das restrições alimentares e prescrições médicas específicas de cada paciente.

### 2.1 REQUERIMENTOS PARA O PROJETO

O projeto consiste no desenvolvimento de um robô omnidirecional com quatro rodas, equipado com um sensor LIDAR para navegação. Ele tem como objetivo principal fornecer soluções em diversas áreas, tais como a entrega de alimentos e medicamentos em hospitais, o monitoramento de ambientes para fins de segurança e detecção de incêndios, a assistência a idosos e pessoas com mobilidade reduzida, além do suporte em ambientes industriais, como o transporte de materiais.

O robô será projetado com um chassi robusto, contendo as quatro rodas omnidirecionais para facilitar o deslocamento em diferentes direções. O sensor LIDAR será responsável por detectar obstáculos e mapear o ambiente para uma navegação precisa. O robô também contará com uma interface web para permitir a interação com os usuários.

Em termos de hardware, os principais componentes incluirão o chassi com as rodas, o sensor LIDAR para detecção e mapeamento, um computador embarcado para processamento e controle do robô, bem como um sistema de comunicação para possibilitar a interação por meio da interface web.

A montagem do robô envolverá a construção do chassi e a fixação das rodas, seguida pela instalação do sensor LIDAR. Os componentes de hardware serão conectados ao computador embarcado, e serão realizados testes de funcionamento e ajustes necessários.

No aspecto do software, será desenvolvido um sistema de navegação para controlar o movimento do robô de forma autônoma. Além disso, será implementada uma interface web para interação com os usuários, permitindo comandos e recebendo informações. Algoritmos específicos serão programados para a realização das tarefas de entrega de alimentos e medicamentos. Os componentes de hardware serão integrados ao software, e serão realizados testes e ajustes necessários.

Os testes serão conduzidos para verificar a navegação e a detecção de obstáculos utilizando o sensor LIDAR, bem como a correta entrega de alimentos e medicamentos. Também serão realizados testes de interação por meio da interface web e de integração entre os componentes de hardware e software.

A documentação do projeto será composta por uma descrição técnica de todos os componentes e funcionalidades do robô, um guia de montagem detalhado, uma documentação do software contendo descrição dos algoritmos e instruções de uso, além de registros dos testes realizados e seus resultados. Outros documentos relevantes, como manuais de operação e manutenção, também serão elaborados.

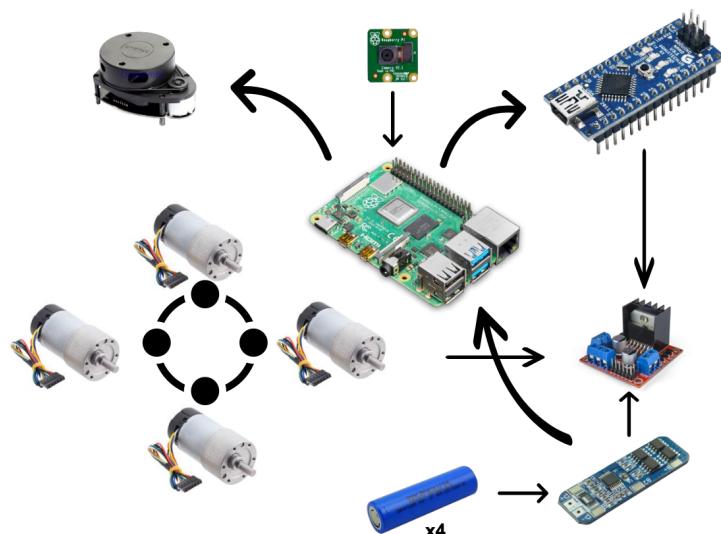
Por fim, será preparada uma apresentação para demonstrar o funcionamento e os recursos do robô. Serão destacadas as aplicações possíveis e os benefícios oferecidos pelo robô, explicando o design, os componentes de hardware, o software e os testes realizados.

### 3 CIRCUITO ELETRÔNICO

#### 3.1 DIAGRAMA DO CIRCUITO

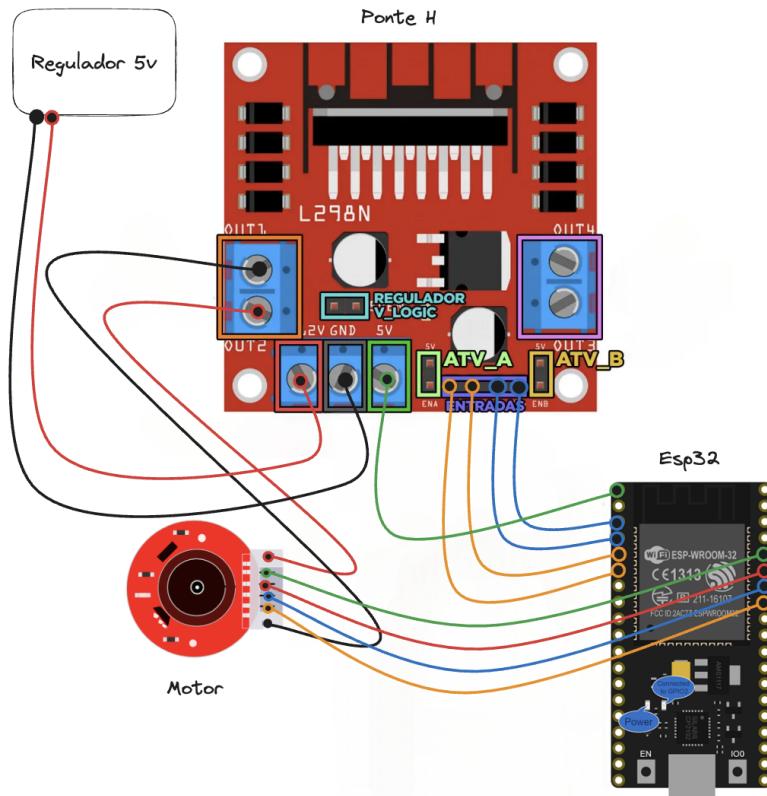
O diagrama apresentado ilustra uma versão base para a montagem do robô, representando os principais componentes envolvidos no projeto, excluindo fios, conectores e outros componentes adicionais que possam ser incorporados posteriormente. Essa estrutura simplificada foi concebida com o propósito de estabelecer uma base para as conexões e a disposição dos componentes essenciais do robô, permitindo uma visualização inicial da interação entre eles.

Figura 1 – Diagrama do Circuito



A seguir, apresento o diagrama mais detalhado referente ao circuito do motor com encoders, o qual é o único circuito desenvolvido para o projeto em questão.

Figura 2 – Diagrama do Circuito



### 3.2 LISTA DOS COMPONENTES ELETRÔNICOS

- a) Raspberry Pi 4B 64 bits ARM
- b) 5V Regulator
- c) Main power switch
- d) Momentary switch
- e) Terminal strip
- f) Various wires
- g) Appropriate connectors
- h) Breadboard
- i) ESP32
- j) 4x12V DC Motors w/ encoders
- k) Motor driver board
- l) RPLidar S1
- m) Panel mount connectors
- n) 3d printer

- o) Cooling Raspberry Pi
- p) Various crimp tools and their connectors
- q) Soldering iron and solder
- r) Multimeter
- s) Various screwdrivers
- t) Portable keyboard/mouse/screen
- u) Fasteners and adhesives (cable ties, screws, bolts, tape, etc.)
- v) Rotary Tool/Dremel (hand tools or other power tools can also be used)
- w) 18650 Battery Holder 4 Slots
- x) 4x Battery 3.7V
- y) 4x Omniwheel

### 3.3 ESPECIFICAÇÕES DOS COMPONENTES ELETRÔNICOS

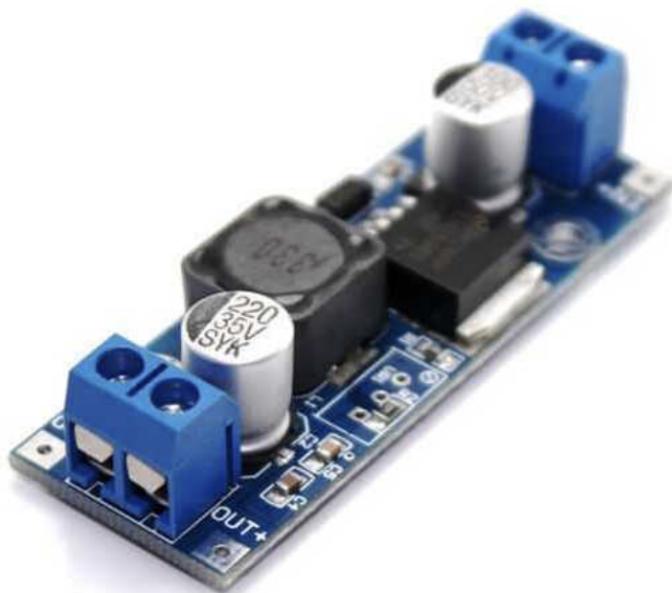
Raspberry Pi 4B 64 bits ARM: 64 bits (ARM ou x86) e, de preferência, tenha pelo menos 4 GB de RAM.

Figura 3 – Raspberry Pi



5V Regulator: Conversor buck de modo chaveado de 12V para 5V.

Figura 4 – 5V Regulator



Momentary switch:

- a) O corpo é de plástico preto com o LED embutido. Existem dois contatos para o botão e dois contatos para o LED, um marcado com + e outro com -. A tensão direta do LED é de cerca de 2,2 V, portanto, conecte um resistor de 220 a 1000 ohm em série, como faria com qualquer outro LED, à sua fonte de alimentação de 3 V ou superior.
- b) 4,6g

Figura 5 – Momentary switch



:

- a) O ESP32 é um microcontrolador de baixo custo e baixo consumo de energia com Wi-Fi e Bluetooth integrados. Ele é baseado no chip ESP32-S2FH4 da Espressif Systems, que é um chip de 32 bits de baixa potência com dois núcleos Xtensa LX7 que podem ser executados em até 240 MHz, com 32=0 KB de SRAM e 128 KB de ROM.

Figura 6 – ESP32



4x12V DC Motors w/ encoders:

- a) Machifit 25GA370 DC 12V Micro Gear Reduction Motor 25mm Eixo Estendido com Suporte de Montagem e Roda.
- b) Material: Metal
- c) Tensão: DC 12V
- d) Resistência ao desgaste, forte resistência à torção, transmissão suave, compacta estrutura.
- e) Eixo duplo em forma de D.

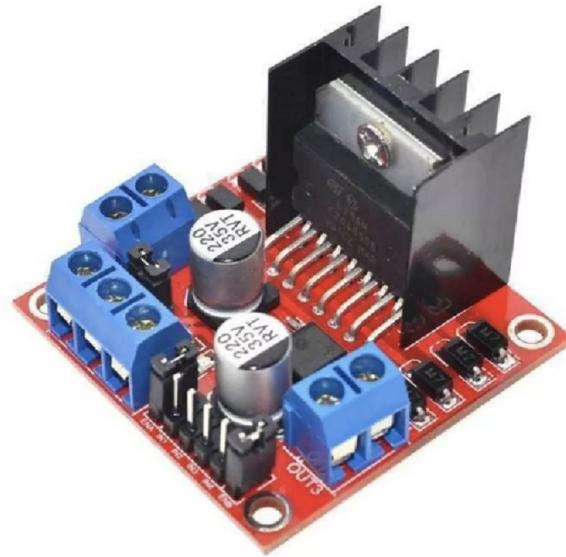
Figura 7 – 4x12V DC Motors w/ encoders



Motor driver board:

- a) Double H bridge drive.
- b) Chip: L298N (ST NEW)
- c) Logical voltage: 5V
- d) Drive voltage: 5V-35V
- e) Logical current: 0mA-36mA
- f) Drive current: 2A (MAX single bridge) Storage temperature: -20 to +135
- g) Max power: 25W
- h) 30g

Figura 8 – Motor driver board



#### RPLidar S1:

- O RPLIDAR S1 é a próxima geração de sensores de varredura a laser 360 ° desenvolvidos pela SLAMTEC. Ele pode assumir o desafio de ambientes externos e internos e é o sensor ideal em termos de desempenho, preço e tamanho.

Figura 9 – RPLidar S1



#### 18650 Battery Holder 4 Slots:

- Tipo de bateria: 3 baterias de 3,7 V 18650; Material: Plástico e metal duráveis

- b) Mola metálica com design de pino para fácil instalação e conveniente para trabalho de bricolage de circuito elétrico
- c) Caixa de suporte de bateria de alta qualidade para fácil soldagem e conexão
- d) Ótimos itens para manter suas baterias padrão ou recarregáveis juntas e seguras.

Figura 10 – 18650 Battery Holder 4 Slots



## 4 DESIGN DO ROBÔ

O design do robô foi cuidadosamente desenvolvido com base nas características do *TurtleBot*, que oferece vantagens em termos de simplicidade, modularidade e custo acessível. Essa escolha estratégica possibilita uma fácil manipulação e aprimoramento do robô ao longo do tempo, proporcionando flexibilidade e adaptabilidade.

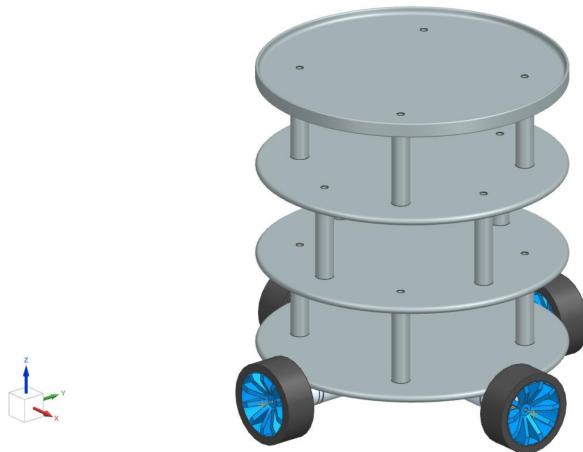
Uma das principais características do design é a integração de quatro rodas omnidirecionais. Essa escolha permite que o robô se mova em qualquer direção, facilitando a sua locomoção e manobrabilidade. Com a capacidade de mover-se lateralmente, diagonalmente e girar no próprio eixo, o robô torna-se altamente versátil em ambientes variados.

A modularidade é um aspecto fundamental do design, permitindo a fácil integração de componentes eletrônicos, sensores e atuadores. Isso possibilita a incorporação de funcionalidades adicionais ao robô, como detecção de obstáculos, mapeamento e navegação autônoma. Além disso, a modularidade facilita a substituição ou atualização de componentes específicos, caso necessário, sem afetar todo o sistema do robô.

O baixo custo é um fator importante no projeto do robô, tornando-o acessível para uma ampla gama de aplicações. Ao utilizar componentes de custo acessível e materiais comuns, o projeto visa viabilizar a replicação e adoção do robô em diferentes cenários e projetos.

No geral, o design do robô baseado no *TurtleBot* oferece uma solução eficiente e flexível para a construção de um robô de baixo custo e de fácil manuseio. Ele combina a simplicidade do *TurtleBot*, a capacidade de movimentação das rodas omnidirecionais e a modularidade para possibilitar melhorias contínuas e personalizações de acordo com as necessidades específicas de cada projeto.

Figura 11 – Robot



- a) BASE x3 – 250mm de Diâmetro, com 6 mm de espessura.
- b) PILARES entre os andares – 70mm de altura, com 10mm de Diâmetro.
- c) PRATO SUPERIOR – 250 de diâmetro com 6mm de espessura.

Para a construção dos andares do robô, será utilizado MDF com uma espessura padrão de 6mm, amplamente utilizado no mercado. Essa escolha proporciona uma boa resistência e durabilidade aos andares, ao mesmo tempo em que mantém um peso relativamente baixo. Os andares serão cortados com o auxílio de uma cortadora a laser da FEI, garantindo precisão nos cortes e um acabamento de qualidade.

Quanto aos pilares do robô, eles serão fabricados utilizando uma impressora 3D e o material escolhido é o ABS. O ABS é um material plástico comumente utilizado na impressão 3D devido à sua resistência e durabilidade. Essa escolha assegura a estabilidade e robustez dos pilares, fornecendo suporte adequado para os andares do robô.

Ao combinar o MDF cortado a laser com os pilares impressos em 3D de ABS, o projeto do robô busca equilibrar a resistência estrutural com a facilidade de fabricação. Essa abordagem permite a criação de um robô sólido e estável, capaz de suportar os componentes eletrônicos, sensores e atuadores necessários para o seu funcionamento adequado.

## 5 ROS (*ROBOT OPERATING SYSTEM*)

O avanço da robótica tem revolucionado diversos setores da sociedade, desde a indústria até a medicina, passando pela exploração espacial e até mesmo pelos nossos lares. Por trás dessa evolução, existe uma tecnologia crucial chamada ROS (*Robot Operating System*, em inglês), que desempenha um papel fundamental na construção e no funcionamento de robôs modernos.

O ROS é uma plataforma de software de código aberto desenvolvida especificamente para a robótica. Ele fornece um conjunto abrangente de ferramentas, bibliotecas e padrões que permitem a criação de sistemas robóticos avançados. Sua popularidade tem crescido exponencialmente, tornando-se um padrão de fato na indústria robótica.

Uma das principais razões pelas quais o ROS é tão importante na construção de robôs é a sua natureza modular e flexível. Ele adota uma abordagem baseada em nós (nodes) e troca de mensagens para facilitar a comunicação e a integração entre os diferentes componentes do robô. Isso permite que desenvolvedores de software e engenheiros construam sistemas complexos dividindo-os em módulos menores e interconectados, facilitando a depuração, o teste e a manutenção.

Outra vantagem significativa do ROS é a sua ampla comunidade de desenvolvedores e entusiastas. Através de fóruns, grupos de discussão e repositórios de código, é possível compartilhar conhecimento, colaborar em projetos e ter acesso a uma vasta biblioteca de pacotes e bibliotecas de software já desenvolvidos. Isso acelera o processo de desenvolvimento e permite que os construtores de robôs aproveitem soluções existentes, evitando a necessidade de reinventar a roda em cada projeto.

Além disso, o ROS oferece suporte a uma ampla variedade de plataformas de hardware e sistemas operacionais, permitindo a interoperabilidade e o uso de componentes de diferentes fornecedores. Essa flexibilidade é essencial para a integração de sensores, atuadores, controladores e outros dispositivos em um único sistema robótico coeso.

Outro aspecto relevante do ROS é a sua capacidade de simulação. Com o uso de ferramentas como o Gazebo, os desenvolvedores podem criar modelos virtuais dos robôs e testar suas funcionalidades em um ambiente simulado antes mesmo de construí-los fisicamente. Isso reduz custos, aumenta a segurança e permite aprimorar o projeto antes da implementação real.

Em resumo, o ROS desempenha um papel crucial na construção de robôs ao fornecer uma plataforma flexível, modular e de código aberto. Sua natureza colaborativa e sua ampla comunidade de desenvolvedores ajudam a acelerar o progresso da robótica, permitindo a

construção de sistemas mais avançados e a solução de desafios complexos. Com o ROS, a construção de robôs se torna mais acessível, eficiente e inovadora, impulsionando o avanço da tecnologia e ampliando as possibilidades da robótica em diversas áreas de aplicação.

## 5.1 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

O sistema utilizado no projeto foi dividido em pacotes, seguindo uma estrutura similar ao ROS (*Robot Operating System*). O pacote principal, chamado navtech, contém todo o sistema de simulação e navegação do robô.

A estrutura do pacote ‘navtech’ é a seguinte:

- a) A pasta *config* contém todas as especificações do robô para mapeamento e navegação, além de possuir o mapa do ambiente e um arquivo de *RViz* para visualização do robô.
- b) A pasta *launch* contém os arquivos de lançamento do robô, que são utilizados para iniciar a simulação do robô. Os principais arquivos são *navigation.launch* e *simulation.launch*, que são utilizados para iniciar a navegação e a simulação do robô, respectivamente.
- c) As pastas *test* e *worlds* contêm os arquivos de teste e os arquivos de mundo, respectivamente.

Para configurar o ambiente, é necessário ter o *Docker* instalado em sua máquina, pois todo o sistema é construído em cima de um *container*. Você pode encontrar as instruções de instalação do Docker em *Docker*. O arquivo *Makefile* contém todos os comandos necessários para a execução do sistema. Para executar o sistema, basta abrir o terminal e executar o comando *make run*.

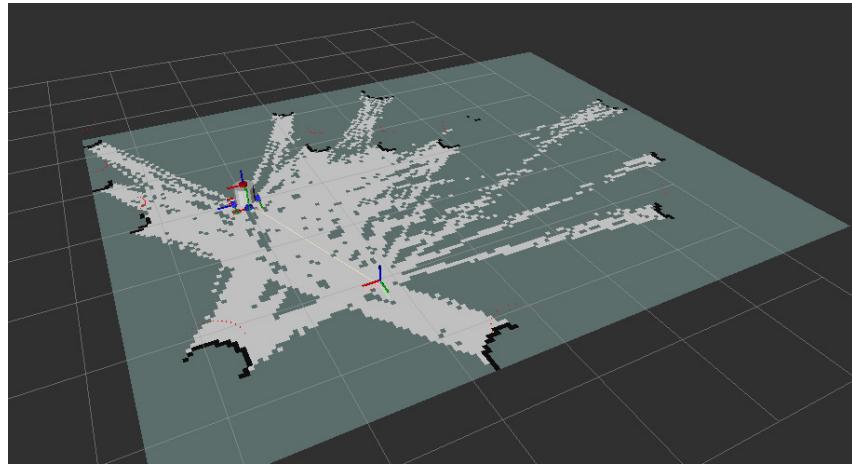
Isso iniciará a simulação juntamente com o objetivo do robô, que é passar por todos os waypoints, demonstrando a navegação do robô. Certifique-se de ter todas as dependências e requisitos de software instalados antes de executar o sistema. Para mais informações e detalhes sobre o projeto, consulte a documentação disponível na pasta *docs*.

## 5.2 NAVEGAÇÃO ROS2

A navegação é uma habilidade fundamental para os robôs. Ela permite que eles se movam de um ponto a outro e evitem obstáculos. No entanto, como um robô sabe onde está, para onde deve ir e como evitar colidir com qualquer coisa em seu caminho?

Neste documento, discutiremos o processo de navegação dos robôs, que é semelhante ao dos humanos. Para se mover de um ponto a outro, o robô precisa realizar os seguintes passos:

Figura 12 – Robot



- a) *Mapeamento*: O robô precisa conhecer o local em que está e construir um mapa dele.
- b) *Localização*: Em seguida, ele precisa saber onde está no ambiente em relação ao mapa criado.
- c) *Planejamento de caminho*: O robô precisa planejar a melhor rota para se mover entre dois pontos, levando em consideração o mapa criado e sua posição atual.
- d) *Controle do robô e prevenção de obstáculos*: Por fim, o robô precisa enviar mensagens para as rodas ou outros dispositivos de movimento para seguir o caminho planejado, evitando obstáculos no caminho.

Todos esses processos são complexos para construir do zero. É aí que o ROS (Robot Operating System) ajuda a construir robôs de forma mais eficiente. O ROS possui pacotes pré-construídos para navegação, permitindo que os desenvolvedores se concentrem em personalizar e otimizar a navegação para o seu robô específico.

- a) Carregue, sirva e armazene mapas de ambiente ('Map Server')
- b) Localize o robô no mapa ('AMCL')
- c) Planeje um caminho de A a B contornando obstáculos ('Nav2 Planner')
- d) Controle o robô conforme ele segue o caminho ('Nav2 Controller')
- e) Converta os dados do sensor em uma representação do mundo com reconhecimento de obstáculos ('Nav2 Costmap 2D')
- f) Compute comportamentos de recuperação em caso de falha ('Nav2 Recoveries')

- g) Gerenciar o ciclo de vida dos servidores ('Nav2 Lifecycle Manager')
- h) plug-ins para habilitar seus próprios algoritmos e comportamentos personalizados ('Nav2 BT Server')

### 5.3 CONCLUSÃO

Em conclusão, o projeto proposto visa desenvolver um robô omnidirecional equipado com quatro rodas e sensor Lidar. Com um design robusto e funcional, o robô apresenta diversas aplicações práticas, como a entrega de alimentos e medicamentos em hospitais, o monitoramento de ambientes para segurança e detecção de incêndios, a assistência a idosos e pessoas com mobilidade reduzida, além do suporte em ambientes industriais, como o transporte de materiais.

Através do uso do sensor Lidar, o robô é capaz de realizar a navegação de forma precisa, detectando obstáculos e mapeando o ambiente. Seu sistema de locomoção com quatro rodas omnidirecionais proporciona uma ampla liberdade de movimento.

O projeto contempla a montagem dos componentes de hardware, incluindo o chassis com as rodas e a instalação do sensor Lidar. Além disso, serão desenvolvidos algoritmos de navegação para o controle autônomo do robô. Testes exaustivos serão realizados para verificar a funcionalidade do robô, tanto em termos de navegação quanto na entrega de alimentos e medicamentos.

Com uma documentação técnica completa, incluindo descrição dos componentes, instruções de montagem e detalhes dos algoritmos de navegação, o projeto oferece uma solução eficiente e versátil para atender às necessidades de diversas áreas. Através de uma apresentação detalhada, será possível demonstrar o funcionamento e os recursos do robô, destacando suas aplicações potenciais e os benefícios que ele proporciona.