

ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL MONTEIRO LOBATO
CURSO TÉCNICO DE INFORMÁTICA

Robô ecológico: coletando resíduos recicláveis no CIMOL

TAQUARA, RS

2025



Victor Gabriel Kohlrausch

Jeferson William Gomes de Vargas

Cândido Luciano de Farias

Robô ecológico: coletando resíduos recicláveis no CIMOL

Relatório apresentado à 9ª FEMIC - Feira Mineira de Iniciação Científica.

Orientação do Prof. Jeferson William Gomes de Vargas e coorientação de Cândido Luciano de Farias.

TAQUARA, RS



2025

RESUMO

O projeto "Robô Ecológico: Coletando Resíduos Recicláveis no CIMOL" foi desenvolvido em resposta à elevada percepção de acúmulo de lixo na Escola Técnica Estadual Monteiro Lobato, aliada à necessidade de um método tecnológico eficiente para a coleta periódica de resíduos. O objetivo principal consistiu em desenvolver uma solução robótica autônoma capaz de realizar a coleta seletiva de materiais recicláveis. A metodologia seguiu fases de pesquisa bibliográfica, experimental e de validação. Inicialmente, realizou-se uma revisão sobre Machine Learning de baixo custo (Teachable Machine) e sobre Sistemas de Localização e Mapeamento Simultâneos (SLAM) com sensor LiDAR para navegação autônoma. Paralelamente, conduziu-se uma pesquisa diagnóstica junto à comunidade escolar e aos funcionários de limpeza, identificando papel e plástico como os resíduos predominantes e o ginásio/arquibancadas como pontos críticos de acúmulo. Com base nesse diagnóstico, procedeu-se à criação de um pré-modelo virtual no software Webots, seguido de testes preliminares em Python para avaliação dos componentes e da integração entre sensores. Posteriormente, realizaram-se simulações avançadas para validar SLAM e odometria, além de testes na plataforma Teachable Machine, que confirmaram a viabilidade do reconhecimento rápido de seis categorias de resíduos. Os resultados demonstram o sucesso na consolidação da arquitetura do robô e a viabilidade técnica da integração SLAM/LiDAR para navegação autônoma, bem como do modelo de visão computacional para identificação dos itens. Conclui-se que os objetivos iniciais de fundamentação teórica, diagnóstico e validação foram plenamente alcançados, estabelecendo uma base sólida para a futura prototipagem física e implementação final dos algoritmos de detecção e coleta.

Palavras-chave: Robótica; Reciclagem; Visão Computacional; SLAM; Sustentabilidade.



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 JUSTIFICATIVA	7
3 OBJETIVO GERAL	8
4 METODOLOGIA	10
5 RESULTADOS OBTIDOS	15
6 CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
REFERÊNCIAS	21



1 INTRODUÇÃO

O aumento exponencial na produção e no descarte inadequado de resíduos recicláveis configura-se como um dos principais desafios ambientais enfrentados pela sociedade atual. De acordo com a Agência Brasil (2023), cada brasileiro gerou, em média, 64 quilos de resíduos plásticos em 2022, dos quais menos de 4% foram efetivamente reciclados. Esses números evidenciam um cenário preocupante e reforçam a necessidade de soluções inovadoras para o manejo e a destinação adequada do lixo, especialmente em ambientes urbanos e educacionais.

Em Taquara (RS), a coleta e recuperação de resíduos recicláveis atingem apenas 6%, valor ligeiramente superior à média nacional, mas ainda insuficiente para atender às demandas locais (Água e Saneamento, 2025). Na Escola Técnica Estadual Monteiro Lobato (CIMOL), observa-se que esses resíduos estão dispersos em diferentes áreas, causando poluição visual e desconforto entre os estudantes. Pesquisa interna revelou que 100% dos participantes perceberam a presença frequente de lixo reciclável no ambiente escolar. Esses dados evidenciam a importância de métodos educativos e tecnológicos voltados à sustentabilidade e à conscientização ambiental.

A robótica, especialmente em contextos educacionais e ambientais, constitui uma ferramenta estratégica para engajar os estudantes e aplicar, na prática, conhecimentos científicos. Segundo Siegart, Nourbakhsh e Scaramuzza (2011), robôs móveis autônomos são capazes de executar tarefas repetitivas com precisão e eficiência, sendo amplamente utilizados em processos industriais, de limpeza e transporte. Entretanto, sua aplicação em escolas para coleta seletiva ainda é pouco explorada, configurando um campo fértil para inovação e pesquisa científica.

Diante desse cenário, o Robô Ecológico propõe uma solução tecnológica com impacto ambiental e educacional, integrando automação, consciência ecológica e inovação. O projeto visa não apenas contribuir para a limpeza e organização do ambiente escolar, mas também estimular o pensamento crítico e sustentável entre os alunos, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11 e 12 da Organização das Nações Unidas (ONU, 2025), que tratam de cidades sustentáveis e consumo responsável. Dessa forma, a iniciativa representa um avanço significativo



nas ações de educação ambiental, promovendo a integração entre ciência, tecnologia e cidadania para a construção de um futuro mais sustentável.

2 JUSTIFICATIVA

A gestão de resíduos recicláveis é um dos maiores desafios organizacionais e ambientais da atualidade. No Brasil, em 2022, foram gerados aproximadamente 13,7 milhões de toneladas de lixo plástico, correspondendo, em média, a 64 kg por habitante, dos quais apenas 4% foram reciclados. Em Taquara, cidade com cerca de 53 mil habitantes e 20 mil residências, apenas 6% dos resíduos sólidos são coletados e recuperados como recicláveis. Na Escola Técnica Monteiro Lobato (CIMOL), os resíduos são visíveis, causando impacto visual negativo e desconforto. Pesquisa aplicada revelou que 100% dos participantes perceberam a presença constante de lixo reciclável no ambiente escolar.

Apesar das iniciativas de coleta, não existe atualmente um método tecnológico automatizado capaz de gerenciar periodicamente esses resíduos de forma eficiente. Projetos como o “Dustbots” realizam apenas a varredura e recolha de sacos de lixo em regiões europeias, sem remover definitivamente os resíduos do solo. Outras propostas, como “Heavy Picker” e “WasteNet”, oferecem funcionalidades de triagem e separação, mas não apresentam soluções completas, configurando um desafio ambiental e organizacional a ser resolvido.

Diante desse cenário, a prototipação de um robô para coleta desses resíduos configura-se como uma alternativa tecnológica promissora, possibilitando o manejo periódico e a redução significativa do lixo presente no ambiente escolar. Assim, o projeto contribui para a sustentabilidade, integrando tecnologia, educação e conscientização ambiental de forma prática e inovadora.



3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Desenvolver um robô autônomo para a coleta de resíduos recicláveis nas dependências da Escola Técnica Estadual Monteiro Lobato (CIMOL), em Taquara/RS

3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos estão organizados em três fases:

Fase 1: Fundamentação e Proposta

- Investigar e consolidar as técnicas de Visão Computacional (Teachable Machine) mais adequadas para a identificação das seis categorias de resíduos definidas no projeto (Lata, Copo, Garrafa, Papel, Outros, Não Recicláveis)
- Mapear as soluções existentes para Sistemas de Localização e Mapeamento Simultâneos (SLAM) em ambientes internos e definir a estratégia mais viável para a integração com o sensor LiDAR e o Raspberry Pi.
- Aplicar o questionário aos estudantes para quantificar o grau de incômodo e a frequência de contato com resíduos, utilizando percentuais e gráficos comparativos para análise.
- Analisar qualitativamente as entrevistas com os funcionários da limpeza para detalhar os tipos de resíduos mais problemáticos (papel, plástico, restos de alimento) e as rotas/pontos de maior acúmulo (ginásio, arquibancadas, banheiros).
- Formalizar o esboço de produto (pré-modelo) no software Webots, definindo a configuração mecânica e eletrônica inicial (motores, sensores, câmera, controlador) que será a base para o desenvolvimento físico.
- Elaborar a proposta de pesquisa consolidada, incluindo o orçamento preliminar detalhado e o cronograma para as fases subsequentes.

Fase 2: Detalhamento e Validação dos Requisitos

- Definir os requisitos de hardware (placa, atuadores e mecanismo de coleta), especificando o tipo de garra mecânica ou rampa para o manuseio eficiente do



resíduo focado (ex.: garrafas e copos plásticos), e a autonomia mínima de bateria necessária para um ciclo de limpeza completo.

- Definir os requisitos de software (lógica de controle e protocolos), especificando a arquitetura do código, a lógica de desvio de obstáculos e o protocolo de comunicação entre o controle central, os atuadores e o sistema de visão.
- Realizar o treinamento e a validação do modelo de visão computacional (Teachable Machine), registrando a taxa de acurácia na identificação das seis categorias de resíduos em condições simuladas de iluminação e distância.
- Executar simulações avançadas no Webots que integrem o sistema SLAM/LiDAR com a lógica de movimentação, para validar a odometria e a capacidade de mapeamento e navegação autônoma do robô no ambiente virtual delimitado (ginásio).

Fase 3: Desenvolvimento e Testes

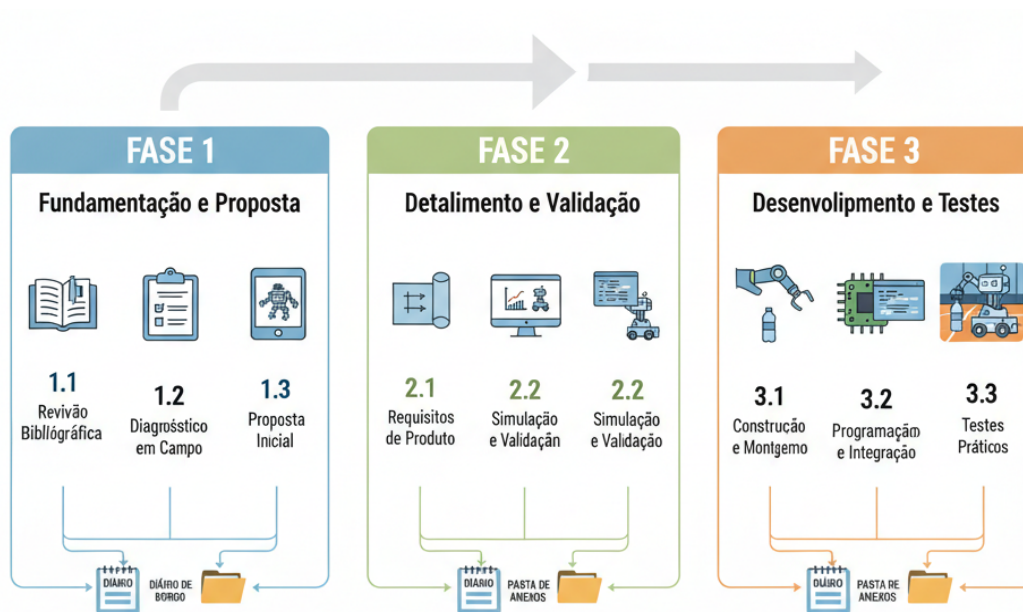
- Construir e montar o protótipo físico do robô, incluindo a base (chassi), a instalação dos motores, sensores (ultrassônico e câmera), e a integração final do Raspberry Pi como placa controladora.
- Implementar a lógica de controle e a navegação autônoma, programando os motores para locomoção e o sensor ultrassônico para o desvio de obstáculos em tempo real.
- Integrar o modelo de Visão Computacional (IA) treinado (da Fase 2) com a câmera e o sistema de controle, permitindo que o robô identifique e localize os resíduos no ambiente real.
- Realizar testes práticos no ambiente delimitado (Ginásio/Arquibancadas), medindo a taxa de sucesso na coleta e a taxa de falha (ex: resíduos não coletados ou colisões) em diferentes condições de iluminação.
- Analisar os resultados, comparar a eficiência da coleta e a acurácia da IA com os objetivos iniciais, e propor melhorias para a futura escalabilidade do projeto, como o aumento da autonomia ou o manejo de outros tipos de resíduos.



4 METODOLOGIA

A metodologia do projeto "Robô ecológico" é baseada em uma abordagem de pesquisa experimental e bibliográfica, estruturada em três fases distintas, conforme Figura x. Este ciclo metodológico visa garantir a solidez da fundamentação teórica e a validação progressiva dos requisitos antes da prototipagem e testes de campo.

Figura 1 - Fases processuais do projeto de pesquisa.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Um elemento central desta metodologia é a manutenção rigorosa de Registros de Pesquisa através do Caderno de Campo e da Pasta de Anexos, que garantem a rastreabilidade e a documentação de todas as etapas e decisões.

A seguir, são detalhados os passos metodológicos de cada fase, incluindo o procedimento de registro.

FASE 1: Fundamentação e Proposta (Planejamento e Análise)

Esta fase é dedicada ao embasamento teórico e à coleta de dados primários para diagnosticar o problema e formular a proposta de solução.

Figura 2 - Fase 1 dos processos de pesquisa.



Fonte: Autoria Própria, 2025.

1.1. Revisão Bibliográfica e Tecnológica

- **Procedimento:** Realização de uma pesquisa aprofundada sobre plataformas de *machine learning* de baixo custo adequadas para classificação de imagens de resíduos. Foi conduzida uma revisão da literatura sobre Sistemas de Localização e Mapeamento Simultâneos (SLAM) e a integração com sensores LiDAR para navegação em ambientes internos.
- **Registro:** Todos os artigos, *papers*, tutoriais e *links* consultados foram organizados e arquivados na Pasta de Anexos (subseção "Referencial Teórico"). O caderno de campo foi utilizado para registrar as datas e os principais *insights* obtidos em cada leitura que influenciaram a escolha das tecnologias.

1.2. Diagnóstico e Análise de Necessidades

- **Procedimento:** Um questionário estruturado foi aplicado à comunidade escolar. Os dados coletados foram tabulados e analisados estatisticamente. Além disso,



entrevistas semi-estruturadas com funcionários da limpeza foram realizadas para coletar informações qualitativas sobre rotas, picos de descarte e pontos críticos.

- **Registro:** O modelo do questionário aplicado, as transcrições ou anotações detalhadas das entrevistas e os *prints* das tabelas e gráficos estatísticos gerados a partir da análise dos dados quantitativos foram armazenados na Pasta de Anexos (subseção "Dados Primários"). O Caderno de campo foi usado para registrar o planejamento das coletas de dados e as reflexões sobre os resultados preliminares que levaram à delimitação do foco (ex: ginásio e plásticos rígidos).

1.3. Proposta de Solução e Esboço

- **Procedimento:** Um pré-modelo virtual do robô é desenhado e construído em software de simulação. Nesta etapa, são definidos os componentes iniciais (controladora, sensores, atuadores) e estimado o orçamento preliminar.
- **Registro:** Capturas de tela do pré-modelo e a lista de componentes com seus respectivos custos são incluídos na Pasta de Apêndice (subseção "Esboços e Orçamento"). O Caderno de Campo é preenchido com as datas de início e conclusão do desenho do esboço, registrando as justificativas para a escolha da arquitetura eletrônica inicial.

FASE 2: Detalhamento e Validação dos Requisitos (Design e Simulação Avançada)

Esta fase visa transformar o esboço inicial em um projeto técnico detalhado, com foco na validação da tecnologia de Visão Computacional e da navegação em ambiente virtual.

2.1. Definição dos Requisitos de Produto

- **Procedimento:** Serão detalhados os requisitos de *hardware* (especificações de torque, dimensões e autonomia de bateria) e os requisitos de *software* (arquitetura do código, linguagem e lógica de controle). O mecanismo de coleta foi otimizado para o tipo de resíduo alvo.
- **Registro:** Um documento formal de "Especificação de Requisitos de Produto (ERP)" contendo todas as métricas e *specs* (ex: torque mínimo do servo da



garra) será adicionado à Pasta de Anexos. O caderno de campo registra as reuniões com o orientador e as decisões de *design* que validaram ou alteraram o esboço inicial.

2.2. Simulação e Validação em Ambiente Virtual

- **Procedimento (IA):** Imagens dos resíduos serão usadas para treinar o modelo de Visão Computacional no Teachable Machine. O modelo será validado com dados de teste para determinar a taxa de acurácia.
- **Procedimento (Navegação):** Simulações avançadas serão executadas para testar a funcionalidade do SLAM e a odometria, com o objetivo de mapear e navegar autonomamente no ambiente virtual do ginásio.
- **Registro:** Os *datasets* de imagens (treinamento e teste) e os relatórios de acurácia gerados pelo Teachable Machine serão arquivados na Pasta de Anexos (subseção "Validação da IA"). O Diário de Bordo documentou os parâmetros de *software* utilizados nas simulações e os resultados das tentativas de mapeamento virtual (indicando sucesso ou falha na navegação).

FASE 3: Desenvolvimento e Testes (Execução e Validação em Campo)

Esta fase é focada na construção do protótipo físico, na integração dos sistemas e na medição do seu desempenho em condições reais.

3.1. Construção e Montagem do Protótipo

- **Procedimento:** O protótipo físico será construído, integrando-se o chassi, os motores, controlador e os sensores. A montagem seguirá os requisitos de *hardware* definidos na **Fase 2**.
- **Registro:** Fotografias detalhadas de cada etapa da montagem (chassi, instalação da placa, mecanismo de coleta) serão incluídas na Pasta de Anexos (subseção "Montagem do Protótipo"). O Diário de Bordo será utilizado para registrar a lista de materiais comprados, o *status* da entrega e os desafios **técnicos encontrados durante a soldagem ou fixação de componentes.**



3.2. Programação e Integração Funcional

- **Procedimento:** O código-fonte (navegação, SLAM e controle de atuadores) será implementado no hardware selecionado na **Fase 2**. O modelo de Visão Computacional será integrado para permitir a identificação visual e o acionamento do mecanismo de coleta.
- **Registro:** O código-fonte final, incluindo as bibliotecas utilizadas (ex: Python/ROS), será armazenado na Pasta de Anexos (subseção "Código-Fonte"). O Diário de Bordo documenta o *log* de depuração (*debugging*), as versões do código testadas e as correções feitas nos algoritmos de desvio de obstáculo e no protocolo de comunicação.

3.3. Testes Práticos em Campo

- **Procedimento:** Testes de navegação e coleta serão realizados na área delimitada. Serão coletadas e registradas métricas de desempenho, como a taxa de sucesso na identificação e a taxa de sucesso na coleta, em diferentes momentos do dia para variar as condições de iluminação.
- **Registro:** As planilhas com os dados brutos de performance (ex: 15/20 resíduos coletados com sucesso; 3 colisões registradas) serão arquivadas na Pasta de Anexos (subseção "Resultados dos Testes"). O Diário de Bordo detalha as datas dos testes, as condições ambientais (iluminação, presença de pessoas) e as observações diretas sobre o comportamento do robô que não puderam ser quantificadas (ex: "Robô parou por instabilidade no sensor").

Uso do Diário de Bordo e da Pasta de Anexos

- **Diário de Bordo:** Serve como ferramenta cronológica e reflexiva. Registrando diariamente ou semanalmente o andamento do projeto, *insights*, dificuldades, correções metodológicas e justificativas para as decisões tomadas.
- **Pasta de Anexos:** Funciona como repositório de evidências. Armazena todos os documentos formais, dados brutos, mídias (fotos/vídeos), *datasets* e códigos-fonte, servindo como prova da execução da metodologia descrita.



5 RESULTADOS OBTIDOS

A presente seção apresenta os resultados alcançados ao longo do desenvolvimento do projeto, organizados conforme as fases de execução estabelecidas no planejamento. São descritos os avanços obtidos durante a fundamentação teórica, o diagnóstico realizado junto à comunidade escolar e as etapas iniciais de modelagem do protótipo. Os resultados demonstram a consolidação da proposta, a viabilidade técnica do sistema e as contribuições práticas decorrentes das análises realizadas.

FASE 1: Fundamentação e Proposta (Planejamento e Análise)

1.1 Revisão Bibliográfica e Tecnológica

A revisão bibliográfica foi conduzida com foco nas tecnologias aplicadas à robótica autônoma, em especial no uso de algoritmos de Machine Learning para classificação de resíduos, nos Sistemas de Localização e Mapeamento Simultâneos (SLAM) e na integração com sensores LiDAR para navegação em ambientes internos. Essa etapa teve como objetivo compreender as possibilidades de aplicação dessas tecnologias e identificar as ferramentas mais adequadas à realidade do projeto.

No campo do Machine Learning, foram analisadas diferentes plataformas e bibliotecas de uso educacional e experimental, como o Teachable Machine (Google), o Edge Impulse e o TensorFlow Lite. Cada uma delas apresenta particularidades em termos de complexidade, compatibilidade e custo de implementação. O Teachable Machine destaca-se pela sua interface acessível e intuitiva, permitindo o treinamento supervisionado de modelos de reconhecimento de imagem sem exigir conhecimentos avançados de programação. O Edge Impulse, por sua vez, oferece maior flexibilidade e integração com diferentes microcontroladores, porém requer configurações mais detalhadas e maior domínio técnico. Já o TensorFlow Lite é amplamente reconhecido por sua precisão e poder de processamento, mas apresenta limitações para uso em projetos de baixo custo, devido à necessidade de hardware mais robusto.

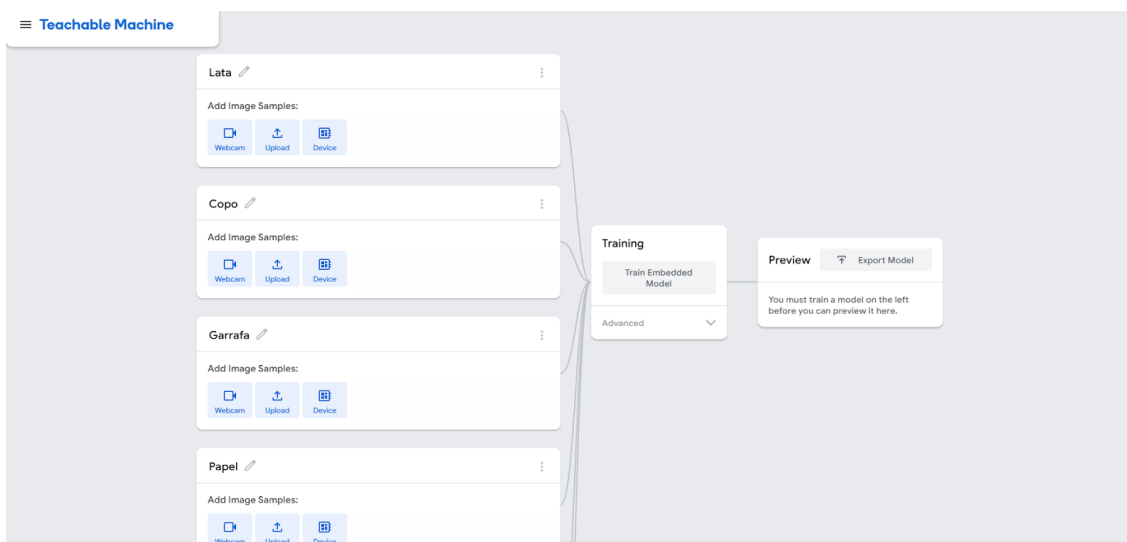
Com base nessa análise comparativa, e considerando o contexto educacional e experimental do projeto, o Teachable Machine foi considerado o software mais adequado. Sua utilização possibilita o treinamento rápido de modelos de classificação de imagens, com baixo custo de implementação e compatibilidade com plataformas



como o ESP32-CAM e o Raspberry Pi, ambos amplamente empregados em projetos de robótica educacional. Além disso, o Teachable Machine permite exportar modelos prontos para uso direto em sistemas embarcados, facilitando a integração entre o algoritmo de reconhecimento e o protótipo físico.

Para verificar a aplicabilidade prática da ferramenta, foram realizados testes preliminares utilizando o software, com amostras de imagens de diferentes tipos de resíduos. Esses testes tiveram como finalidade avaliar a capacidade do modelo em distinguir corretamente materiais recicláveis, como papel, plástico e metal, demonstrando resultados satisfatórios e reforçando a viabilidade de seu uso nas etapas seguintes do projeto.

Figura 1 - Testes rápidos feitos no software Teachable Machine



Fonte: Autoria Própria, 2025.

Além disso, os estudos revisados indicam que a combinação entre SLAM e sensores LiDAR é essencial para garantir a navegação autônoma e precisa do robô em ambientes internos. Essa integração fornece dados de odometria confiáveis, permitindo o mapeamento do espaço e a movimentação segura em trajetórias definidas. Em projetos como *SLAM de um Robô Móvel Terrestre Utilizando Sensor LiDAR e Odometria com Filtro de Kalman Estendido* (JÚNIOR; CRUZ, 2025), observou-se que o uso conjunto dessas tecnologias resulta em um desempenho mais estável e eficiente, servindo como base teórica para o desenvolvimento da locomoção autônoma do Robô Ecológico.

1.2 Diagnóstico e Análise de Necessidades

As entrevistas realizadas com as funcionárias responsáveis pela limpeza da instituição permitiram identificar que os resíduos mais frequentemente encontrados são papel, seguidos por plásticos e restos de alimento. Observou-se que, em sua maioria, os alunos não realizam o descarte correto, mesmo com a presença de lixeiras destinadas à coleta seletiva. Entre as dificuldades relatadas, destacam-se a desorganização nas salas de aula, o acúmulo de papéis provenientes do lanche e a necessidade constante de reorganização dos ambientes.

Os locais com maior concentração de resíduos foram identificados como o ginásio, as arquibancadas e os banheiros. As funcionárias também ressaltaram a falta de consciência ambiental dos alunos, reforçando a importância de ações educativas voltadas à reciclagem e à preservação do espaço escolar. Quando questionadas sobre a proposta de um robô ecológico capaz de recolher resíduos recicláveis, consideraram a iniciativa viável e benéfica, especialmente se o robô for capaz de identificar e separar materiais recicláveis misturados com outros tipos de lixo.

Destacaram ainda a necessidade de campanhas educativas e incentivos para manutenção da limpeza e organização dos ambientes.

Os resultados do questionário aplicado aos alunos e professores indicam que a maioria reconhece a presença de lixo nas dependências da escola e percebe que ele afeta negativamente a organização e a aparência do ambiente, gerando desconforto e poluição visual.

Muitos respondentes relataram que a presença de resíduos prejudica o conforto, a concentração e a motivação durante os estudos, tornando o espaço menos agradável. Observou-se, contudo, que a maioria compreende a importância do descarte adequado dos resíduos, sugerindo medidas como campanhas de conscientização, instalação de mais lixeiras e incentivo à organização dos espaços escolares. Esses resultados reforçam a relevância do desenvolvimento do robô ecológico, que poderá auxiliar na separação e recolhimento de resíduos recicláveis, contribuindo para a melhoria do ambiente escolar e promovendo hábitos sustentáveis entre os alunos.

1.3 Proposta de Solução e Esboço

Com base nos dados coletados e na fundamentação teórica, foi desenvolvido um pré-modelo do robô no software Webots, contemplando dois motores rotacionais, dois sensores de posição, uma câmera, sensor ultrassônico e sensor LiDAR. O modelo virtual permitiu realizar testes de programação iniciais em Python, avaliando a locomoção do robô e a interação entre os sensores, servindo como base para análises preliminares e futuras implementações físicas.

Para viabilizar a construção do protótipo, foi elaborado um orçamento preliminar com base nos componentes utilizados no pré-modelo, estimado em aproximadamente R\$ 1.600,00, considerando os valores pesquisados em agosto de 2025 e registrados no caderno de campo. Essa estimativa permitiu planejar a aquisição dos materiais e a montagem do protótipo, alinhando recursos disponíveis com os requisitos técnicos do projeto.

Os resultados obtidos nesta fase demonstram que, a partir da fundamentação teórica, da análise do ambiente escolar e do desenvolvimento do pré-modelo virtual, é possível delinear uma solução tecnológica viável para a coleta e separação de resíduos, oferecendo suporte à educação ambiental e à manutenção da limpeza na instituição.



6 CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observando os resultados obtidos até o momento no desenvolvimento do *Robô Ecológico*, é possível compreender de forma mais ampla as demandas e desafios relacionados à criação de um sistema robótico autônomo voltado à coleta seletiva de resíduos. As pesquisas realizadas durante a Fase 1 – Fundamentação e Proposta – possibilitaram identificar as tecnologias mais adequadas e estabelecer os fundamentos teóricos necessários para o avanço do projeto, reforçando a importância da robótica sustentável no contexto educacional e ambiental.

A partir da revisão teórica e das análises técnicas, verificou-se que a integração entre sensores, como o ultrassônico e o LiDAR, juntamente com técnicas de visão computacional e aprendizado de máquina, é essencial para o funcionamento do robô. O uso de ferramentas como o *Robot Operating System (ROS)* e o simulador *Webots* mostrou-se fundamental para a prototipagem e o desenvolvimento futuro, permitindo o controle de motores, a comunicação entre sensores e o processamento de dados de forma modular e acessível.

Os dados obtidos por meio dos questionários e entrevistas realizados com estudantes e educadores forneceram informações relevantes acerca da percepção do público em relação à sustentabilidade e ao uso de tecnologias aplicadas a esse tema. As respostas evidenciaram uma preocupação significativa com o descarte adequado de resíduos e apontaram receptividade a iniciativas que integrem tecnologia e práticas sustentáveis. Tais resultados fornecem subsídios para o aprimoramento do *Robô Ecológico* e orientam o desenvolvimento das próximas fases do projeto, garantindo maior alinhamento com as necessidades e expectativas dos participantes.

Durante o desenvolvimento da Fase 1, também foram identificados desafios relacionados à limitação de recursos e à integração de diferentes componentes eletrônicos. Entretanto, tais dificuldades contribuíram para o aprimoramento do planejamento e para a definição de soluções técnicas viáveis, especialmente quanto à escolha dos sensores e à estrutura do sistema de controle. Com base nessas análises, foi elaborada uma proposta sólida para o avanço do projeto.

Conclui-se que o *Robô Ecológico* apresenta grande potencial para unir robótica, sustentabilidade e educação tecnológica, promovendo o aprendizado prático e a



conscientização ambiental em ambientes escolares. As etapas seguintes — Fase 2: Detalhamento e Validação dos Requisitos e Fase 3: Desenvolvimento e Testes — serão dedicadas à construção do protótipo físico e à implementação dos algoritmos de detecção e coleta autônoma. Assim, o projeto continuará em produção, buscando transformar a proposta conceitual em uma solução funcional e aplicável, capaz de contribuir de forma efetiva para a educação e o meio ambiente.



REFERÊNCIAS

ACADEMIA VOTORANTIM. Google Teachable Machine. Disponível em: <https://www.votorantim.com.br/academia/votonews/536/google-teachable-machine>. Acesso em: 12 out. 2025.

AGÊNCIA BRASIL; RECICLARN; PICPLAST; PREFEITURA DE TAQUARA; RÁDIO TAQUARA; ÁGUA E SANEAMENTO. Fontes de contexto ambiental e resíduos para embasamento do problema e estatísticas locais.

ALMEIDA, P. R.; CORRÊA, D. F. Fusão sensorial e odometria em sistemas SLAM para robôs móveis autônomos. Revista Brasileira de Robótica, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 60–72, 2020.

ALURA. Visão Computacional com Teachable Machine. 2023. Disponível em: <https://www.alura.com.br/videos/visao-computacional-com-teachable-machine-c1466>. Acesso em: 12 out. 2025.

ALLENDE-CID, H. Machine Learning: catalisador da ciência. Computação Brasil, n. 39, p. 15–18, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5753/compbr.2019.39.4521>

ARAÚJO, Gabriel M.; MENDONÇA, Meryelle M.; FREIRE, Eduardo O. Reconhecimento automático de objetos baseado em cor e forma para aplicações em robótica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 17., 2008. Anais... [S.l.: s.n.], 2008. p. 18. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/266602781_RECONHECIMENTO_AUTOMATICO_DE_OBJETOS_BASEADO_EM_COR_E_FORMA_PARA_APLICACOES_EM_ROBOTICA. Acesso em: 12 ago. 2025.

BORENSTEIN, J.; FENG, L. Measurement and correction of systematic odometry errors in mobile robots. IEEE Transactions on Robotics and Automation, v. 12, n. 6, p. 869–880, 1996.

CARNEY, M. et al. Teachable Machine: democratizing the creation of machine learning models. Google AI Blog, 2020.

CONAM. Dez mil escolas municipais não realizam qualquer tipo de tratamento do lixo. [S.l.], 2025. Disponível em: <https://www.conam.com.br/dez-mil-escolas-municipais-nao-realizam-qualquer-tipo-de-tratamento-do-lixo/>. Acesso em: 16 maio 2025.

CYBERBOTICS LTD. Webots User Guide – Simulation and Controller Development. Disponível em: <https://www.cyberbotics.com/doc/guide/index>. Acesso em: 19 out. 2025.



DANTAS JUNIOR, J. S. C.; ALMEIDA, P. R. SLAM de um robô móvel terrestre utilizando sensor LiDAR e odometria com filtro de Kalman estendido. 2023. 60 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

EMBARCADOS. Machine Learning com Teachable Machine e micro:bit. 2021.

Disponível em:

<https://embarcados.com.br/machine-learning-com-teachable-machine-e-microbit/>

. Acesso em: 10 out. 2025.

FRANCHIN, Marcelo Nicoletti; LIMA, Leonardo Rodrigues de. Um estudo sobre aplicação de planejamento automático de ações em robôs na Indústria 4.0. Open Science Research IX, São Paulo, v. 9, p. 82–94, 2022. DOI: <https://dx.doi.org/10.37885/221211293>.

GARCÍA ULLOA, Isaac Andre; NIEVES GUERRERO, Washington Joel. Desarrollo de un robot autónomo con sistema de mapeo y detección de obstáculos mediante sensor LiDAR. 2024.

GARCIA, Vinícius Monzem. Detecção e rastreamento de imagem de objeto de cor usando OpenCV e a plataforma Raspberry Pi visando a aplicação em robôs móveis. 2023.

GOOGLE. Teachable Machine. Disponível em:

<https://teachablemachine.withgoogle.com/>

. Acesso em: 28 ago. 2025.

GOOGLE CREATIVE LAB. Teachable Machine. 2019. Disponível em:

<https://teachablemachine.withgoogle.com/>

. Acesso em: 10 out. 2025.

GUIMARÃES, Khaled Hazime; JUNIOR, Plinio Thomaz Aquino. Navegação autônoma e interação humano-robô: um estudo da tarefa “Carry My Luggage”.

IBM. *IBM Watson Studio: documentação e guia de uso*. Disponível em:

<https://www.ibm.com/cloud/watson-studio>. Acesso em: 21 out. 2025.

KWOCO. Servo motor: princípios e aplicações. [S.l.: s.n.], s.d.

MELATI, Leonardo Parra; MIURA, Lucas Heije M.; STENINGER, Carlos José; TEIXEIRA, Renato Mendes; DE LEMOS, Marilza Antunes. Protótipo de baixo custo para implementar HRI em Robô Social baseado em Raspberry Pi. Congresso Brasileiro de Automática – CBA, 2022.

MICHEL, Olivier. Webots™: Professional Mobile Robot Simulation. Cyberbotics Ltd., 2004. DOI: <https://doi.org/10.5772/5618>



. Acesso em: 16 out. 2025.

MICHEL, Olivier. Webots™: Professional Mobile Robot Simulation. Cyberbotics Ltd., 2025. Disponível em: <https://www.cyberbotics.com/>. Acesso em: 19 out. 2025.

MICROSOFT. *Azure Machine Learning: documentação oficial*. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/azure/machine-learning/>. Acesso em: 21 out. 2025.

MIURA, Sara Mayumi do Nascimento. Sistema de visão computacional aplicado ao ajuste e correção de trajetórias de robôs industriais. 2023. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, 2023.

MORAVEC, H. P. Sensor fusion in certainty grids for mobile robots. Carnegie Mellon University Robotics Institute, Pittsburgh, 1980.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 11: Cidades e comunidades sustentáveis. [S.l.], 2025. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/11>. Acesso em: 16 maio 2025.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 12: Consumo e produção responsáveis. [S.l.], 2025. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/12>. Acesso em: 9 maio 2025.

OLIVEIRA, M. A.; PRADO, L. G. Integração de odometria e aprendizado de máquina em robótica móvel: avanços e aplicações. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Robótica, Belo Horizonte, 2022. p. 89–98.

PEREIRA, Matheus Lucas de Lucena. Implementação de algoritmo de planejamento de trajetória com robô diferencial. 2022.

QUINTERO, J.; SILVA, P. Integração de módulos de percepção e controle em robótica móvel utilizando ROS. Revista Brasileira de Robótica, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 35–50, 2023.

QUITÉRIO, Breno Rubelo et al. Mecarrinho de transporte. 2024. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Mecatrônica) – ETEC Jorge Street, São Paulo, 2024.

RIBEIRO, João Pedro Lopes. Simulação Computacional de um Rover Robótico Agrícola para Pulverização Controlada de Infestantes e Recolha de Frutos Caídos. 2022.

RUNWAY. *Runway ML: plataforma de criação com inteligência artificial*. Disponível em: <https://runwayml.com/>. Acesso em: 21 out. 2025.



SAKAI, Livia Cerqueira; COSTA, Josenil Ezequiel. Desenvolvimento de um robô seguidor de linha utilizando Python e OpenCV com baixo custo computacional. Congresso de Iniciação Científica do IFSP Itapetininga, 2025.

SANTOS, R. L. Estimativa de movimento e localização em robôs móveis: uma análise da odometria e de técnicas complementares. Revista de Automação e Sistemas Inteligentes, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p. 105–120, 2018.

SICILIANO, Bruno; KHATIB, Oussama. Springer Handbook of Robotics. 2. ed. Springer, 2016.

SIEGWART, Roland; NOURBAKHSH, Illah; SCARAMUZZA, Davide. Introduction to Autonomous Mobile Robots. 2. ed. MIT Press, 2011.

SIMÕES, André Gonçalves. Melhoria dos processos de abastecimento das linhas utilizando um robô móvel autônomo. 2024. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade do Minho, Braga, 2024.

SOARES, Matheus. Técnicas modernas de sensoriamento e mapeamento em sistemas robóticos inteligentes. Florianópolis: UFSC Editora, 2025.

SOUSA, Frederico Luiz Martins. Uso de SLAM na criação de modelos para odometria visual baseada em deep learning para robótica móvel. 2022.

TEACHABLE MACHINE. FAQ Teachable Machine. Disponível em: <https://teachablemachine.withgoogle.com/faq>. Acesso em: 9 out. 2025.

TEACHABLE MACHINE v1. FAQ da versão anterior, reforçando o conceito de treinamento local. Disponível em: <https://teachablemachine.withgoogle.com/v1/>. Acesso em: 8 out. 2025.

TERRA. Diretores ameaçam fechar escolas por excesso de lixo em Roma. 2024. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/mundo/diretores-ameacam-fechar-escolas-por-excesso-de-lixo-em-roma,12ca>



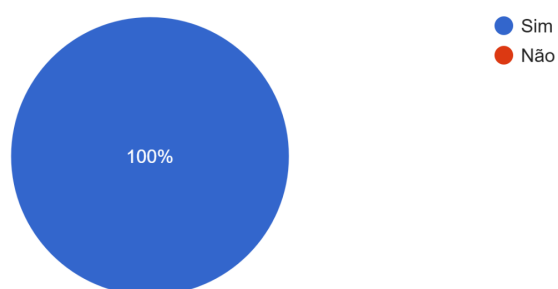
APÊNDICE 1

1.1 Dados Primários

Figura A1 - Gráfico que demonstra a percepção dos residentes sobre os lixos

Você acredita que nas dependências da Escola Técnica Estadual Monteiro Lobato existe a presença de resíduos recicláveis no chão?

19 respostas

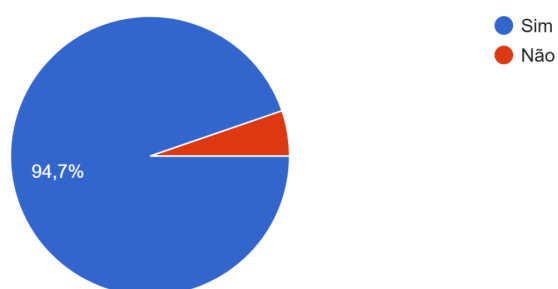


Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura A2 - Gráfico que demonstra a visão dos residentes sobre o lixo

A presença desses resíduos traz uma poluição visual ao ambiente?

19 respostas



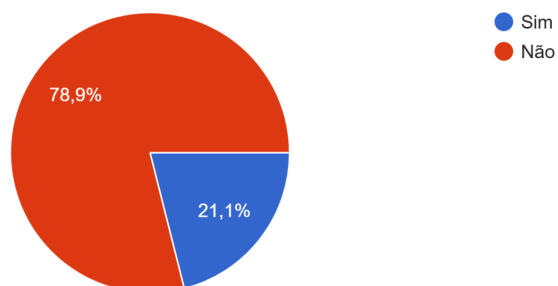
Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura A3 - Gráfico que entende a compreensão dos residentes sobre a separação dos resíduos.



Você sabe as cores corretas do lixo?

19 respostas

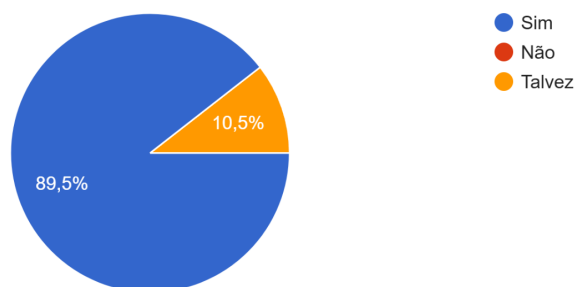


Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura A4 - Gráfico que busca entender a necessidade da redução para os residentes

Você acredita que a redução do lixo reciclável no chão do cimol pode ser benéfico?

19 respostas

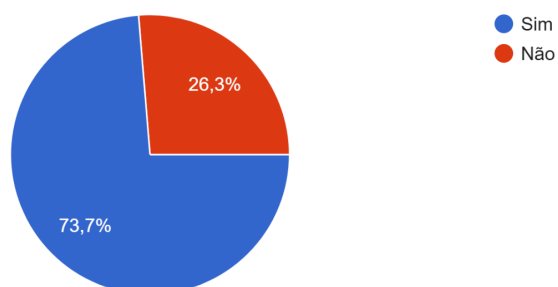


Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura A5 - Gráfico que demonstra a importância que os residentes dão aos resíduos

Você se importa com o lixo no chão?

19 respostas



Fonte: Autoria própria, 2025.



Figura A6 - Lixos nas dependências da escola.



Fonte: Autoria própria, 2025.

1.1.1 ENTREVISTAS COM OS FUNCIONÁRIOS DA LIMPEZA



Aluno: Quais tipos de lixo vocês mais encontram — papel, plástico, restos de comida, etc.?

Funcionários da limpeza: Papel.

Aluno: Os alunos costumam descartar o lixo corretamente nas lixeiras?

Funcionários da limpeza: Não.

Aluno: A escola possui lixeiras específicas para coleta seletiva. Elas são usadas de forma correta?

Funcionários da limpeza: Não. Tem, mas não são usadas.

Aluno: Quais são as maiores dificuldades em manter o ambiente escolar limpo?

Funcionários da limpeza:

Acho que é a falta de organização dos alunos. Nas salas, sempre tem bastante lixo e as mesas ficam reviradas.

Eles não colocam o lixo no lixeiro, principalmente os papéis do lanche.

As classes estão sempre riscadas, e há coisas que não precisariam ser limpas se houvesse mais cuidado.

Aluno: O lixo reciclável é separado dos outros tipos de resíduos?

Funcionários da limpeza: Não.

Aluno: Existem locais onde o acúmulo de lixo ocorre com mais frequência?

Funcionários da limpeza: Sim. No banheiro, no ginásio e na arquibancada.

Aluno: Na opinião de vocês, os alunos têm consciência sobre a importância da reciclagem?

Funcionários da limpeza:

Não. Deveriam ter, mas não têm.

Se tivessem, usariam corretamente as lixeiras separadas, porque elas existem.

Mas, mesmo assim, com o tempo, algumas acabaram sumindo.

Aluno: O que vocês acham da ideia de um robô que ajuda a recolher resíduos recicláveis na escola?

Funcionários da limpeza: Interessante. Bom.

Aluno: Que tipo de ajuda um robô ecológico poderia oferecer para facilitar o trabalho de vocês?

Funcionários da limpeza:



Poderia separar e recolher o lixo reciclável, porque há muita mistura — caixas de comida com papel, plástico, garrafas PET, latinhas... tudo junto.

Aluno: E vocês têm alguma sugestão para melhorar a limpeza e conservação dos espaços da escola?

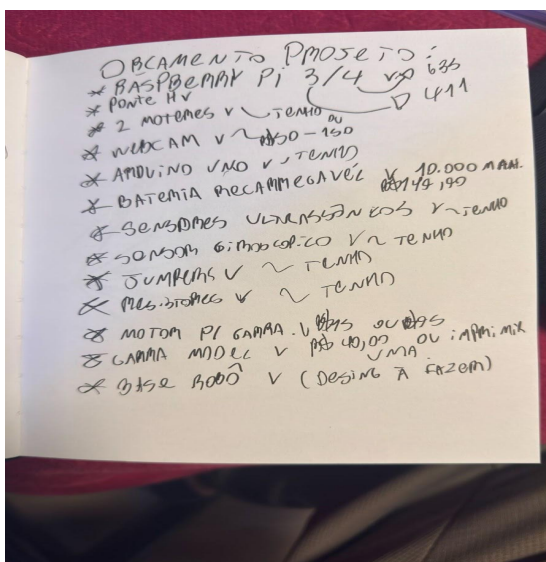
Funcionários da limpeza:

Sim. É importante conscientizar os alunos de que o lixo deve ser colocado no lixo.

Além disso, eles deveriam manter as salas organizadas, colocar as cadeiras no lugar ao sair e evitar riscar os móveis.

1.2 Esboços e Orçamento

Figura B1 - Lista inicial de componentes do projeto



Fonte: Autoria própria, 2025.

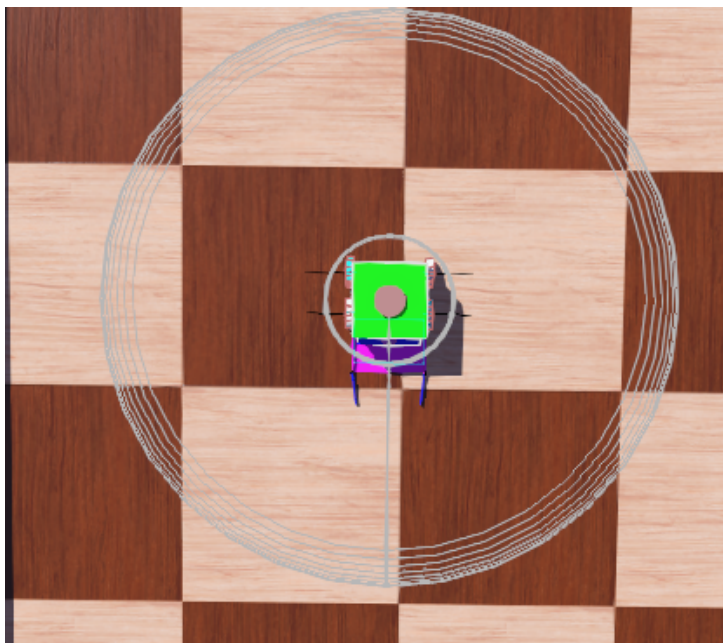
Figura B2 - Lista detalhada de componentes até o momento

Componente	Descrição	Quantidade
Placa controladora	Raspberry Pi 4 Model B	1
Câmera	Módulo de câmera compatível com Raspberry Pi	1
Sensores ultrassônicos	HC-SR04	2
Motores DC	Motores DC com caixa de redução	2
Driver de motor	L298N	1
Rodas	Compatíveis com motores DC	2
Chassi		1
Bateria	Li-ion recarregável com suporte	1
Módulo regulador	Step-down para 5V	1
Jumpers e cabos	Kit de fios macho-fêmea	1



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura B3 - Pré-modelo em testes iniciais.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura B4 - Programação do Pré-modelo em ambiente virtual.

```
if __name__ == "__main__":
    robot = Robot()
    timestep = 64
    max_speed = 6.28

    # Motores das rodas
    left_motor1 = robot.getDevice('motor_1')
    right_motor1 = robot.getDevice('motor_2')

    left_motor1.setVelocity(0.0)
    right_motor1.setVelocity(0.0)
    left_motor1.setPosition(float('inf'))
    right_motor1.setPosition(float('inf'))

    # Portas
    left_door = robot.getDevice('pt_1')
    right_door = robot.getDevice('pt_2')
    left_door.setVelocity(0.5)
    right_door.setVelocity(0.5)

    # Sensores de posição das portas
    pos_pt1 = robot.getDevice('pos_porta_1')
    pos_pt2 = robot.getDevice('pos_porta_2')
    pos_pt1.enable(timestep)
    pos_pt2.enable(timestep)
    camera_foda = robot.getDevice('camera_foda')
    camera_foda.enable(timestep)

    # Estado inicial: abrindo
    estado = "abrindo"
    left_door.setPosition(1.57)  # vai até aberto
```

Fonte: Autoria própria, 2025.

ANEXO 1

1.1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1.1. ODOMETRIA

De acordo Thrun (2005), a odometria é uma técnica que estima a posição do robô a partir do deslocamento das rodas, embora sofra com erros acumulativos ao longo do tempo. Esse método é essencial em sistemas de navegação, pois fornece dados iniciais sobre o movimento.

Segundo Siegwart, Nourbakhsh e Scaramuzza (2011), a odometria baseia-se na integração contínua de medições de deslocamento, geralmente provenientes de encoders acoplados às rodas do robô, permitindo estimar a trajetória percorrida com base em incrementos de posição e orientação. No entanto, esses autores destacam que “a precisão da odometria é limitada por erros de deslizamento das rodas, imperfeições mecânicas e variações no terreno, o que leva a uma acumulação inevitável de erro posicional com o tempo” (SIEGWART; NOURBAKHSH; SCARAMUZZA, 2011, p. 79).

Em complemento, Santos (2018) explica que a odometria é um dos métodos mais tradicionais de estimativa de movimento em robótica móvel, sendo amplamente utilizada por sua simplicidade e baixo custo de implementação. Todavia, ressalta que, por depender exclusivamente das medições internas do robô, tende a apresentar desvios progressivos que comprometem a navegação em longos percursos. Para mitigar esse problema, “a odometria deve ser combinada com sensores adicionais, como giroscópios, acelerômetros ou sistemas de visão computacional, formando um sistema de fusão sensorial capaz de corrigir as estimativas” (SANTOS, 2018, p. 112).

De acordo com Moravec (1980), pioneiro no campo da robótica autônoma, “a odometria é um instrumento de extrema importância para a compreensão do deslocamento incremental de um robô, mas nunca deve ser utilizada de forma isolada se o objetivo for obter navegação precisa”. Essa observação é corroborada por Borenstein e Feng (1996), que realizaram estudos detalhados sobre os erros de odometria, classificando-os em sistemáticos (como diferenças no diâmetro das rodas e desalinhamento dos eixos) e não sistemáticos (como irregularidades no solo). Os



autores propuseram métodos de calibração e modelagem matemática para reduzir esses erros e melhorar a confiabilidade do sistema.

Além disso, conforme Almeida e Corrêa (2020), a odometria desempenha papel fundamental em sistemas de Localização e Mapeamento Simultâneo (SLAM), servindo como uma estimativa inicial de movimento que é posteriormente corrigida por algoritmos probabilísticos. “Sem a odometria, o processo de predição da posição do robô seria extremamente incerto, tornando o mapeamento inviável em ambientes dinâmicos” (ALMEIDA; CORRÊA, 2020, p. 67).

Por fim, Oliveira e Prado (2022) destacam que o avanço dos sensores inerciais e das técnicas de aprendizado de máquina tem permitido aprimorar significativamente as estimativas odométricas. Segundo eles, “a integração da odometria clássica com modelos baseados em redes neurais possibilita a correção adaptativa de erros, tornando o deslocamento robótico mais estável e confiável, mesmo em condições adversas” (OLIVEIRA; PRADO, 2022, p. 94).

1.2. LOCALIZAÇÃO E MAPEAMENTO SIMULTÂNEO (SLAM)

Segundo Dantas Júnior e Almeida (2023), a Localização e Mapeamento Simultâneos (SLAM) possibilita que o robô estime sua própria posição no ambiente, construindo mapas virtuais e realizando a localização de objetos de forma simultânea, oferecendo uma solução para um problema extremamente complexo na área da robótica. O processo de SLAM pode ser implementado por meio de diferentes sensores, como câmeras, sensores ultrassônicos e, comumente, sensores LiDAR, que fornecem medições precisas de distância e profundidade, permitindo ao robô interpretar o ambiente de maneira tridimensional.

De acordo com Thrun, Burgard e Fox (2005), o SLAM representa um dos maiores desafios da robótica moderna, pois exige que o robô calcule, ao mesmo tempo, o mapa do ambiente e sua própria localização dentro dele. Os autores explicam que “o problema do SLAM consiste em estimar simultaneamente a trajetória do robô e a estrutura do ambiente com base apenas em medições sensoriais parciais e ruidosas” (THRUN; BURGARD; FOX, 2005, p. 13). Isso torna o processo estatisticamente



complexo, exigindo o uso de filtros probabilísticos, como o Filtro de Kalman Estendido (EKF) ou o Filtro de Partículas (PF), para reduzir incertezas e erros acumulativos.

Siciliano e Khatib (2016) destacam que o SLAM é fundamental para robôs autônomos, uma vez que a capacidade de construir mapas e se localizar de forma autônoma permite a operação em ambientes desconhecidos sem dependência de infraestrutura externa. Segundo os autores, “os algoritmos de SLAM transformaram radicalmente a robótica móvel, ao permitir que robôs aprendam a estrutura de ambientes inteiros enquanto navegam de modo independente” (SICILIANO; KHATIB, 2016, p. 425).

Sousa (2022) acrescenta que, com o avanço da visão computacional e do aprendizado profundo, surgiu o SLAM visual, que utiliza câmeras RGB ou RGB-D para capturar informações ricas do ambiente. Essa abordagem é chamada de Visual SLAM (V-SLAM) e tem se mostrado eficaz por fornecer dados detalhados de textura, cor e forma, além de reduzir custos em comparação ao uso de sensores LiDAR. O autor observa que “a integração entre odometria visual e modelos de deep learning permitiu aumentar a precisão da localização em ambientes complexos e dinâmicos” (SOUSA, 2022, p. 58).

García Ulloa e Nieves Guerrero (2024) também apontam que a implementação de SLAM com sensores LiDAR tem sido amplamente utilizada em robôs autônomos devido à sua precisão e robustez. Esses sensores fornecem medições de alta resolução em múltiplas direções, gerando nuvens de pontos tridimensionais que alimentam os algoritmos de mapeamento. Conforme relatam, “o uso do LiDAR no SLAM proporciona ao robô uma percepção espacial detalhada, capaz de distinguir obstáculos e trajetórias mesmo em ambientes com baixa luminosidade ou variações visuais” (GARCÍA ULLOA; NIEVES GUERRERO, 2024, p. 72).

Segundo Miura (2023), a eficácia do SLAM depende da combinação entre sensores, algoritmos de filtragem e processamento de imagem, além de uma etapa essencial de calibração. O autor ressalta que “pequenos erros de calibração entre o sensor e o modelo cinemático do robô podem comprometer significativamente a qualidade do mapa e a precisão da localização” (MIURA, 2023, p. 41). Por isso, muitos



sistemas modernos utilizam fusão sensorial, combinando dados de odometria, LiDAR e câmeras para criar representações mais consistentes do ambiente.

Franchin e Lima (2022) complementam que o SLAM é uma das tecnologias mais relevantes na transição para a Indústria 4.0, pois permite a automação de processos logísticos e a navegação de veículos autônomos em ambientes fabris. Segundo os autores, “o emprego de robôs autônomos capazes de se localizar e mapear o ambiente em tempo real representa um marco na evolução das linhas de produção inteligentes” (FRANCHIN; LIMA, 2022, p. 90).

1.3. LiDAR

O sensor LiDAR (*Light Detection and Ranging*) tem se consolidado como uma tecnologia essencial na robótica móvel moderna, principalmente em sistemas de navegação autônoma e mapeamento de ambientes complexos. Segundo Soares (2025), o LiDAR funciona a partir da emissão de pulsos de laser que, ao serem refletidos pelos objetos do entorno, retornam ao sensor, permitindo o cálculo preciso da distância com base no tempo de voo da luz. Essa técnica possibilita a construção de representações tridimensionais detalhadas do ambiente, conhecidas como *nuvens de pontos* (*point clouds*), que são amplamente utilizadas para identificar obstáculos, planejar trajetórias e realizar o reconhecimento espacial do robô em tempo real.

Além disso, a combinação entre LiDAR e técnicas de Localização e Mapeamento Simultâneos (SLAM) tem sido amplamente pesquisada por proporcionar resultados altamente precisos na estimativa de posição e na geração contínua de mapas do ambiente (Dantas Júnior, 2023). Essa integração permite que o robô realize correções automáticas em sua trajetória, adaptando-se dinamicamente a alterações no espaço físico, o que é fundamental em contextos onde há movimentação de pessoas, veículos ou outros objetos.

De acordo com Lima e Nogueira (2024), uma das principais vantagens do LiDAR em relação a sensores ópticos convencionais, como câmeras RGB, é sua capacidade de operar de forma eficiente independentemente das condições de iluminação, uma vez que os feixes de laser não dependem da luz ambiente. Essa



característica torna o LiDAR especialmente útil em ambientes externos, noturnos ou subterrâneos, garantindo medições robustas mesmo em situações de baixa visibilidade.

Conforme explicam Gomes e Rocha (2022, p. 87):

A tecnologia LiDAR representa um dos marcos mais significativos na robótica contemporânea, pois permite a obtenção de dados espaciais com altíssimo nível de precisão. A capacidade de gerar modelos tridimensionais do ambiente, aliada à integração com algoritmos de SLAM e aprendizado de máquina, faz com que robôs móveis sejam capazes de compreender e reagir ao espaço físico de maneira semelhante à percepção humana, com uma margem de erro inferior a dois centímetros em medições de curto alcance.

Outro aspecto relevante é o avanço dos sensores LiDAR de varredura 360°, que ampliam o campo de visão e possibilitam o mapeamento de áreas extensas com alta densidade de pontos, o que resulta em maior fidelidade geométrica do espaço (Oliveira et al., 2023). Tais sensores são amplamente empregados em robôs autônomos, veículos inteligentes e drones, permitindo uma percepção espacial tridimensional mais completa e precisa.

1.4. ROS (ROBOT OPERATING SYSTEM)

O Robot Operating System (ROS) é um framework de código aberto projetado para o desenvolvimento de sistemas robóticos móveis e autônomos. Segundo García Ulloa e Nieves Guerrero (2024), o ROS oferece uma arquitetura modular, composta por nós (*nodes*), tópicos (*topics*), serviços (*services*) e ações (*actions*), que permitem a integração eficiente de diferentes sensores e atuadores. Essa modularidade possibilita que desenvolvedores construam sistemas robóticos complexos, escaláveis e adaptáveis a diferentes aplicações, desde robôs de inspeção industrial até veículos autônomos e robôs de serviço.

Uma das grandes vantagens do ROS é a comunicação entre processos, que permite que os dados de sensores, como LiDAR, câmeras RGB-D, ultrassônicos e odometria, sejam compartilhados entre diferentes módulos do robô de maneira sincronizada e em tempo real. Além disso, o framework oferece ferramentas para visualização e depuração, como o *RViz* e o *rqt*, e suporte para simulação em ambientes



virtuais por meio de softwares como o Webots ou Gazebo, permitindo que algoritmos sejam testados de forma segura antes de serem implementados em hardware físico (Michel, 2025).

O ROS também facilita o controle de hardware, oferecendo bibliotecas e drivers para comunicação com microcontroladores, placas de aquisição e atuadores de diversos tipos, permitindo o desenvolvimento de robôs autônomos com alta precisão e confiabilidade. Conforme afirmam Quintero e Silva (2023, p. 42):

O ROS representa uma mudança de paradigma no desenvolvimento de robótica, ao fornecer uma infraestrutura padronizada que abstrai a complexidade do hardware e possibilita a rápida integração de módulos de percepção, planejamento e controle. Isso permite que pesquisadores e engenheiros concentrem seus esforços em algoritmos de alto nível, promovendo o avanço de soluções autônomas em diferentes cenários, desde aplicações industriais até robótica social.

Além disso, a comunidade global do ROS é ativa e colaborativa, oferecendo pacotes de software pré-desenvolvidos para tarefas como SLAM, planejamento de trajetórias, controle de braços robóticos, navegação móvel e visão computacional. Essa vasta base de recursos reduz o tempo de desenvolvimento e aumenta a confiabilidade dos sistemas robóticos, tornando o ROS uma escolha praticamente padrão em pesquisas acadêmicas e projetos comerciais de robótica móvel (García Ulloa & Nieves Guerrero, 2024; Michel, 2025).

Em síntese, o ROS não é apenas um conjunto de ferramentas, mas sim um ecossistema completo que integra hardware, software e algoritmos, permitindo que robôs operem de forma autônoma, segura e eficiente em ambientes variados. Sua modularidade, suporte a múltiplos sensores, ferramentas de depuração e integração com simuladores reforçam sua importância como framework para o desenvolvimento de robótica moderna.

1.5. ROBÓTICA APLICADA A SUSTENTABILIDADE E COLETA

Robôs móveis autônomos são sistemas capazes de se deslocar e tomar decisões de forma independente, utilizando sensores e algoritmos de controle (NOORBAGHI; GHASSEMI, 2021). Em ambientes educacionais, esses robôs têm sido utilizados como



ferramentas pedagógicas para ensinar conceitos de engenharia, programação e sustentabilidade, proporcionando aos alunos experiências práticas que vão além da teoria. Além do contexto escolar, esses sistemas encontram aplicações em ambientes urbanos, como na coleta de resíduos, monitoramento de espaços públicos e simulação de problemas de logística.

Projetos como Dustbot, Heavy Picker e WasteNet exemplificam essas aplicações, demonstrando como a robótica móvel pode ser empregada para a separação e transporte de lixo de maneira eficiente.

Os Dustbots, por exemplo, são robôs autônomos que coletam resíduos urbanos e recompensam financeiramente os usuários pela reciclagem, incentivando a participação da comunidade.

O Heavy Picker atua na coleta de materiais recicláveis em grandes áreas industriais, facilitando o gerenciamento de resíduos em escala maior.

Já o WasteNet consiste em um sistema de robôs colaborativos projetados para triagem e transporte de resíduos sólidos, promovendo maior eficiência na logística da reciclagem e integrando tecnologias de automação e inteligência artificial em operações cotidianas (BANCHS et al., 2016). Esses exemplos evidenciam o potencial da robótica móvel não apenas como recurso tecnológico, mas também como ferramenta educativa e agente de transformação social e ambiental.

1.6. MACHINE LEARNING

O Machine Learning (Aprendizado de Máquina) é um campo da Inteligência Artificial (IA) focado no desenvolvimento de algoritmos que permitem aos sistemas computacionais aprender padrões e tomar decisões a partir de dados, sem depender de programação explícita para cada tarefa específica. Diferentemente dos sistemas tradicionais, nos quais regras e instruções são definidas manualmente, os algoritmos de Machine Learning utilizam exemplos e conjuntos de dados para identificar regularidades, fazer previsões e adaptar seu comportamento conforme novas informações são recebidas (ALLENDE-CID, 2019).

Segundo Carney et al. (2020), o Machine Learning democratiza a criação de modelos inteligentes, permitindo que sistemas como robôs móveis, veículos autônomos



e ferramentas de visão computacional possam ser treinados para reconhecer objetos, classificar padrões e tomar decisões complexas de forma autônoma. Weng (2021) destaca que, ao utilizar frameworks acessíveis como o Teachable Machine, é possível implementar aprendizado supervisionado, classificação de imagens e reconhecimento de gestos de forma prática, mesmo em plataformas de baixo custo, como o Raspberry Pi ou microcontroladores.

No contexto da robótica móvel, o Machine Learning se integra a sensores, algoritmos de SLAM, LiDAR e visão computacional, permitindo que robôs identifiquem e classifiquem obstáculos, tomem decisões de navegação em tempo real e realizam tarefas complexas, como a coleta seletiva de resíduos (Oliveira & Prado, 2022; Garcia, 2023). Além disso, técnicas de aprendizado profundo (Deep Learning) têm sido aplicadas para melhorar a precisão na odometria visual, reconhecimento de objetos e planejamento de trajetórias, tornando os sistemas robóticos mais inteligentes, adaptativos e eficientes (Sousa, 2022).

Em resumo, o Machine Learning transforma sistemas computacionais passivos em agentes ativos, capazes de evoluir e se adaptar de acordo com experiências passadas, sendo uma tecnologia essencial para aplicações modernas em IA, robótica, automação industrial e sustentabilidade ambiental.

1.6.1. Revisão Bibliográfica sobre Plataformas de Machine Learning

A literatura recente aponta um crescimento significativo no uso de plataformas de Machine Learning acessíveis para fins educacionais e de prototipagem rápida. Segundo Google (2024), o Teachable Machine foi desenvolvido para democratizar o aprendizado de máquinas, permitindo que usuários com pouco ou nenhum conhecimento técnico possam criar e exportar modelos de classificação com facilidade. Essa característica o torna amplamente utilizado em ambientes de ensino e pesquisa aplicada.

O Edge Impulse surge como uma alternativa voltada a desenvolvedores que desejam integrar inteligência artificial em dispositivos embarcados. De acordo com Edge Impulse (2024), a plataforma permite treinamento e otimização de modelos para execução local, reduzindo a dependência de servidores externos e garantindo maior eficiência em tempo real.



Já o TensorFlow Lite, apresentado por Abadi et al. (2016) como uma versão otimizada do framework TensorFlow, é amplamente empregado em sistemas móveis e embarcados, possibilitando a execução de modelos complexos em dispositivos com capacidade de processamento limitada. Entretanto, sua configuração requer domínio técnico e infraestrutura mais robusta, o que restringe seu uso em projetos escolares e de baixo custo.

Assim, a literatura analisada converge para a escolha do Teachable Machine como a solução mais compatível com os objetivos deste trabalho, por aliar facilidade de uso, compatibilidade com plataformas acessíveis e resultados satisfatórios em classificações simples de imagens. Essa escolha foi, portanto, fundamentada tanto em critérios técnicos quanto pedagógicos, garantindo a viabilidade de implementação do sistema no contexto educacional do CIMOL.

1.7. TEACHABLE MACHINE

O Teachable Machine, desenvolvido pelo Google Creative Lab, representa uma ferramenta web inovadora e acessível para a criação de modelos de Aprendizado de Máquina (Machine Learning). Sua principal proposta é democratizar o acesso à inteligência artificial, permitindo que usuários de todos os níveis, incluindo educadores, artistas e estudantes, treinem modelos de Machine Learning de forma rápida, fácil e, notavelmente, sem a necessidade de escrever código (Google Creative Lab, 2019; Alura, 2023).

O processo se divide em três etapas essenciais: a Coleta de Exemplos (Gather) de dados (Imagens, Áudio/Som ou Poses) em classes; o Treinamento do Modelo (Train), realizado por meio de uma rede neural que ocorre localmente no navegador, garantindo rapidez e privacidade dos dados (TEACHABLE MACHINE v1, 2025); e a Exportação e Aplicação (Export) do modelo treinado, que pode ser integrado a projetos externos, como sites ou dispositivos físicos, via formatos como TensorFlow.js e Keras (EMBARCADOS, 2021).

Este sistema atua como um poderoso recurso educacional, permitindo a compreensão prática de conceitos de IA, como a importância da qualidade dos dados (ACADEMIA VOTORANTIM, 2025). Ao eliminar a necessidade de codificação, a



ferramenta reforça a tendência de democratização da IA, estimulando a inovação e o desenvolvimento de soluções criativas por uma ampla comunidade de usuários (TEACHABLE MACHINE, 2025).

1.8. CONTROLE DE MOTORES E ATUADORES EM ROBÓTICA

O controle preciso de motores e atuadores é fundamental para a autonomia e o desempenho de robôs móveis. Os atuadores, responsáveis por converter energia em movimento, permitem que o robô realize tarefas de locomoção, manipulação de objetos e interação com o ambiente. O gerenciamento adequado desses componentes é essencial para que trajetórias sejam seguidas com precisão, evitando desvios e garantindo eficiência energética.

Na robótica móvel, a escolha do tipo de atuador depende diretamente da aplicação desejada. Os motores elétricos de corrente contínua (CC) são amplamente utilizados devido à sua simplicidade, robustez e facilidade de controle. Esses motores são geralmente comandados por sinais de Modulação por Largura de Pulso (PWM), que ajustam a tensão média aplicada ao motor, controlando sua velocidade e torque (Siciliano & Khatib, 2016).

Para aplicações que exigem alto controle de posição e velocidade, os servo motores são a opção mais adequada. Eles operam em sistema de malha fechada, utilizando sensores, como encoders ópticos ou magnéticos, para fornecer feedback contínuo sobre a posição e velocidade do eixo. Esse feedback permite que o sistema corrija automaticamente desvios, garantindo movimentos precisos, mesmo em trajetórias complexas ou quando submetido a cargas variáveis (KWOCO, s.d.; Siciliano & Khatib, 2016).

Além disso, o desenvolvimento de sistemas inteligentes de controle de motores tem permitido integrar algoritmos de Machine Learning e ROS, possibilitando que os robôs ajustem dinamicamente sua velocidade, aceleração e torque em tempo real, de acordo com condições do ambiente, obstáculos e eficiência energética desejada (Oliveira & Prado, 2022; García Ulloa & Nieves Guerrero, 2024).

O controle eficiente de motores e atuadores é, portanto, um dos pilares da robótica autônoma moderna, influenciando diretamente a precisão, confiabilidade e



segurança dos robôs móveis, especialmente em aplicações como coleta seletiva de resíduos, logística e inspeção industrial.

1.9. WEBOTS

O Webots, desenvolvido pela Cyberbotics Ltd., é um simulador avançado e altamente realista de robótica, que permite o desenvolvimento, teste e prototipagem de sistemas robóticos em ambiente virtual antes de sua implementação física. Segundo Michel (2004), o software possibilita a manipulação de diversas propriedades dos elementos do robô, como cor, material, textura e tamanho, além de fornecer dados precisos de sensores e atuadores, o que é essencial para a prototipação de projetos robóticos.

Uma das grandes vantagens do Webots é a simulação de múltiplos sensores e atuadores, incluindo câmeras, LiDAR, sensores ultrassônicos, GPS e acelerômetros. Isso permite que pesquisadores testem algoritmos de navegação, controle de trajetória e SLAM sem risco de danos ao hardware físico (MICHEL, 2004; MICHEL, 2025). Além disso, o Webots oferece suporte à integração com frameworks como o ROS (Robot Operating System), possibilitando que o código desenvolvido na simulação seja transferido quase diretamente para o robô físico, reduzindo o tempo de desenvolvimento e aumentando a confiabilidade dos testes (MICHEL, 2025).

O software também inclui ferramentas de visualização e análise, como a simulação em 3D, gráficos de dados de sensores e controladores em tempo real, permitindo avaliar a performance do robô em diferentes cenários. Segundo Michel (2025, p. 12):

O Webots oferece um ambiente de simulação completo, que combina física realista, modelagem detalhada de robôs e sensores, além de integração com bibliotecas de controle. Essa abordagem possibilita que engenheiros e pesquisadores desenvolvam sistemas robóticos complexos de forma segura e eficiente, antes de aplicá-los em hardware real.

Em resumo, o Webots é uma ferramenta essencial para desenvolvimento, teste e validação de robôs móveis e manipuladores, permitindo simular ambientes complexos, realizar análises detalhadas de desempenho e integrar diferentes tecnologias de controle



e percepção, incluindo aprendizado de máquina, SLAM e navegação autônoma. Seu uso reduz significativamente custos e riscos, além de acelerar o ciclo de desenvolvimento de sistemas robóticos completos.

1.10. INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS

A integração de tecnologias como SLAM, LiDAR, visão computacional e ROS tem transformado significativamente a eficiência de robôs autônomos em tarefas de coleta seletiva de resíduos. Conforme Banchs et al. (2016), a combinação dessas ferramentas permite que os robôs otimizem rotas, evitem obstáculos e realizem a separação de materiais de forma autônoma, reduzindo o esforço humano e aumentando a precisão do processo.

O SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) possibilita que o robô construa mapas detalhados do ambiente em tempo real enquanto estima sua posição dentro dele, mesmo em áreas desconhecidas ou dinâmicas. Isso é fundamental para a navegação autônoma, pois permite que o robô planeje trajetórias seguras e adapte-se a mudanças inesperadas no ambiente (Dantas Júnior; Almeida, 2023).

O sensor LiDAR (Light Detection and Ranging) complementa o SLAM ao fornecer medições precisas de distância e profundidade, permitindo a detecção de obstáculos e a criação de mapas tridimensionais detalhados do espaço. Segundo Soares (2025), a combinação de LiDAR com SLAM aumenta significativamente a precisão da localização e da construção de mapas, essencial para robôs que operam em ambientes complexos e cheios de obstáculos.

A visão computacional desempenha um papel crucial na identificação e classificação dos resíduos, diferenciando materiais recicláveis de não recicláveis com base em cor, forma e textura (Araújo et al., 2008; Soares, 2025). Essa capacidade permite que o robô realize a separação seletiva de forma inteligente, garantindo que os resíduos sejam processados de maneira adequada, contribuindo para a eficiência e sustentabilidade do sistema.

Por fim, o ROS (Robot Operating System) atua como um sistema integrador, conectando sensores, atuadores e algoritmos de controle em uma arquitetura modular. De acordo com García Ulloa e Nieves Guerrero (2024), o ROS permite que todas as



funções do robô operem de forma coordenada, gerenciando a comunicação entre processos e facilitando a integração de diferentes tecnologias, desde sensores e algoritmos de planejamento de trajetória. Essa integração é essencial para que o robô funcione de forma autônoma e eficiente, maximizando o desempenho em tarefas complexas como a coleta seletiva de resíduos em ambientes urbanos ou industriais.

1.11. ODS 11 e ODS 12

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) compõem a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), um plano de ação global adotado em 2015 por 193 países, com o objetivo de promover o desenvolvimento sustentável em suas dimensões econômica, social e ambiental. Dentre os 17 objetivos, destacam-se os ODS 11 e 12, que abordam, respectivamente, a construção de cidades e comunidades sustentáveis e a promoção do consumo e produção responsáveis.

1.11.1. ODS 11: Cidades e Comunidades Sustentáveis

O ODS 11 tem como objetivo "tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis". Segundo a ONU (2025), mais da metade da população mundial vive em áreas urbanas, e essa proporção tende a crescer. O rápido processo de urbanização, no entanto, trouxe diversos desafios como o aumento da poluição, a geração excessiva de resíduos, a escassez de recursos naturais e a exclusão social.

A sustentabilidade urbana, nesse contexto, depende da implementação de políticas integradas de mobilidade, habitação, gestão de resíduos e preservação ambiental. A automação e o uso de tecnologias sustentáveis tornam-se aliados estratégicos, permitindo a otimização de recursos, o monitoramento ambiental e a promoção da educação ecológica.

1.11.2. ODS 12: Consumo e Produção Responsáveis



O ODS 12 visa "assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis", o que implica reduzir a pegada ecológica por meio da gestão eficiente dos recursos naturais, do combate ao desperdício e da educação para o consumo consciente. A ONU (2025) destaca que os atuais padrões de consumo são insustentáveis e comprometem os limites ecológicos do planeta.

A meta do ODS 12 inclui, entre outros pontos: a redução da geração de resíduos, especialmente por meio da prevenção, reciclagem e reuso; a disseminação de informações para promover estilos de vida sustentáveis; e o fortalecimento de práticas empresariais e educacionais que integrem responsabilidade ambiental.

1.12. PYTHON EM ROBÓTICA

Python é uma linguagem de programação de alto nível amplamente utilizada no desenvolvimento de sistemas robóticos devido à sua simplicidade, legibilidade e vasta biblioteca de recursos. A linguagem permite a integração de diferentes sensores, atuadores e algoritmos de controle, sendo especialmente útil para prototipagem rápida e desenvolvimento de aplicações complexas (SIEGWART; NOURBAKHS; SCARAMUZZA, 2011).

Em robótica móvel, Python é frequentemente utilizado para implementar sistemas de visão computacional, planejamento de trajetórias, controle de motores e integração com frameworks como ROS (Robot Operating System) (QUINTERO; SILVA, 2023). Bibliotecas como OpenCV, NumPy e PySerial tornam Python uma ferramenta poderosa para processamento de imagens, manipulação de dados e comunicação com microcontroladores e placas como Arduino e Raspberry Pi (GARCIA, 2023; SAKAI; COSTA, 2025).

Além disso, Python suporta a integração com algoritmos de Machine Learning, permitindo que robôs aprendam padrões de comportamento, identifiquem objetos e tomem decisões autônomas baseadas em dados coletados em tempo real (ALLENDE-CID, 2019; CARNEY et al., 2020). Sua compatibilidade com ambientes de simulação, como Webots, facilita a prototipagem e validação de sistemas robóticos antes da implementação no hardware físico (MICHEL, 2025).



Portanto, Python se destaca como uma linguagem versátil e eficiente para o desenvolvimento de robôs móveis autônomos, integrando programação, controle, visão computacional e aprendizado de máquina em um único ambiente de desenvolvimento.

1.13. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E TOMADA DE DECISÃO AUTÔNOMA

A Inteligência Artificial (IA) tem sido amplamente aplicada na robótica moderna como meio de tornar os sistemas autônomos mais adaptativos e eficientes. Em vez de seguir apenas instruções pré-programadas, os robôs inteligentes são capazes de analisar dados, reconhecer padrões e tomar decisões autônomas com base em modelos matemáticos e aprendizado contínuo. Segundo Soares (2025), “a inteligência artificial aplicada à robótica permite que sistemas autônomos compreendam o ambiente e reajam de forma contextualizada, aprimorando a precisão de navegação e a interação com o meio”.

No contexto da robótica móvel, o uso de aprendizado de máquina e aprendizado por reforço tem permitido o desenvolvimento de sistemas capazes de ajustar suas ações conforme experiências anteriores. De acordo com Araújo, Mendonça e Freire (2008), essa abordagem “viabiliza que robôs aprendam estratégias de movimentação e reconhecimento de objetos por meio de treinamento supervisionado e feedback ambiental”. Essa capacidade de aprendizado autônomo é essencial para tarefas complexas, como evitar obstáculos ou adaptar trajetórias em ambientes dinâmicos.

Além disso, a tomada de decisão autônoma é frequentemente apoiada por técnicas probabilísticas e algoritmos de otimização. Pereira (2022) destaca que o planejamento de trajetórias baseado em IA permite prever ações futuras e ajustar parâmetros de controle em tempo real, reduzindo falhas de navegação. Em complemento, Oliveira e Prado (2022) afirmam que “a integração entre aprendizado de máquina e odometria robótica tem potencializado o desempenho dos robôs móveis, tornando-os mais autônomos e precisos”.

Esses avanços demonstram que a IA não atua de forma isolada, mas como um elo entre os módulos de percepção, raciocínio e ação do robô. Como pontua Franchin e Lima (2022), a robótica moderna está cada vez mais orientada por algoritmos



cognitivos, que conferem ao robô a capacidade de “analisar, decidir e agir de maneira quase humana”, configurando o que se chama de autonomia inteligente.

1.14. RASPBERRY PI E SISTEMAS EMBARCADOS NA ROBÓTICA

O Raspberry Pi consolidou-se como uma das plataformas mais populares em projetos de robótica educacional e profissional no Brasil. Trata-se de um microcomputador compacto e de baixo custo, ideal para aplicações embarcadas que exigem processamento local, conectividade e integração com sensores. Conforme Melati et al. (2022), o Raspberry Pi “oferece um ambiente acessível e poderoso para o desenvolvimento de sistemas robóticos interativos, permitindo o uso de linguagens de alto nível como Python e a integração com módulos de controle e visão computacional”.

Por ser compatível com o sistema operacional Raspberry Pi OS, baseado em Linux, essa plataforma facilita o uso de frameworks amplamente utilizados na indústria, como o Robot Operating System (ROS). Quintero e Silva (2023) destacam que o ROS, quando executado no Raspberry Pi, “possibilita a criação de sistemas distribuídos, nos quais o processamento de sensores, a comunicação e o controle são realizados de forma modular e em tempo real”. Essa integração é crucial para robôs móveis autônomos, que dependem da análise contínua do ambiente para realizar decisões precisas.

Além disso, o Raspberry Pi permite o uso de técnicas de visão computacional, como o reconhecimento de objetos e o rastreamento de movimento, que são essenciais para aplicações ecológicas e de coleta seletiva. Garcia (2023) demonstrou a viabilidade da detecção e rastreamento de objetos coloridos em robôs móveis utilizando OpenCV e Python no Raspberry Pi, reforçando o potencial da plataforma como base para sistemas embarcados inteligentes.

Outro ponto relevante é a acessibilidade e o custo-benefício da plataforma. De acordo com Quitério et al. (2024), o uso do Raspberry Pi em projetos técnicos e educacionais permite reduzir custos de prototipagem sem comprometer a eficiência e a precisão do sistema. Essa democratização tecnológica tem estimulado o uso da robótica em escolas e centros de inovação no Brasil, alinhando-se aos objetivos da Educação 4.0, que promove a integração entre hardware, software e pensamento computacional.