

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
MINAS GERAIS - *CAMPUS* BETIM
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Jennifer Heloisa Damasceno Dias

**DESENVOLVIMENTO DE UM KIT DIDÁTICO DE ROBÓTICA
EDUCACIONAL INFANTIL DE BAIXO CUSTO BASEADO EM
PLATAFORMA ARDUINO**

Betim
2026

JENNIFER HELOISA DAMASCENO DIAS

**DESENVOLVIMENTO DE UM KIT DIDÁTICO DE ROBÓTICA
EDUCACIONAL INFANTIL DE BAIXO CUSTO BASEADO EM
PLATAFORMA ARDUINO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof^a. M^a. Michelle Mendes Santos

Betim
2026

D541d Dias, Jennifer Heloisa Damasceno.

Desenvolvimento de um kit didático de robótica educacional infantil de baixo custo baseado em plataforma Arduino [manuscrito] / Jennifer Heloisa Damasceno Dias. – 2026.

70 f. : il.

Orientadora: Michelle Mendes Santos.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) – Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Betim, 2026.

1. Robótica na educação. 2. Arduino (Controlador programável). 3. Educação infantil. I. Santos, Michelle Mendes. II. Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Betim. III. Título.

CDU 681.5

Catálogo: Aline M. Sima - CRB-6/2645



INSTITUTO FEDERAL MINAS GERAIS

Campus Betim - Código INEP: 31000576

Rua Itamarati, nº. 140, Bairro São Caetano, CEP: 32677-564, Betim/MG

CNPJ: 10.626.896/0008-49 - Telefone: (31) 3597-6360

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulada **DESENVOLVIMENTO DE UM KIT DIDÁTICO DE ROBÓTICA EDUCACIONAL INFANTIL DE BAIXO CUSTO BASEADO EM PLATAFORMA ARDUÍNO** apresentada pela aluna **Jennifer Heloisa Damasceno Dias (0029763)** do Curso **Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação (Campus Betim)**. Os trabalhos foram iniciados às **18:00** do dia **20/08/2026** pela Professora presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Michelle Mendes Santos** (Orientadora)
- **Arthur Hermano Rezende Rosa** (Examinador Interno)
- **Victor Alves Silva e Melo** (Examinador Interno)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso, passou à arguição da candidata. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:



Aprovado

[] Reprovado

Nota (quando exigido): _____

Observação / Apreciações:

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Michelle Mendes Santos** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Documento assinado digitalmente
gov.br ARTHUR HERMANO REZENDE ROSA
Data: 21/08/2026 15:59:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

BETIM / MG, 20/08/2026

Documento assinado digitalmente
gov.br VICTOR ALVES SILVA E MELO
Data: 21/08/2026 19:20:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
gov.br MICHELLE MENDES SANTOS
Data: 21/08/2026 16:53:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Victor Alves Silva e Melo

Michelle Mendes Santos

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança para superar cada desafio encontrado ao longo desta caminhada.

Por fim, dedico este trabalho à criança que um dia fui, que sonhava em entender como as coisas funcionavam, e a todas as crianças que merecem a oportunidade de descobrir que a tecnologia não é algo distante: ela pode ser criada por elas mesmas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar.

Agradeço ao meu marido, que esteve ao meu lado em muitos momentos, oferecendo apoio, incentivo e auxílio prático durante o desenvolvimento deste projeto. Sua paciência, compreensão e dedicação foram fundamentais, especialmente nas etapas de montagem e testes do protótipo, tornando esta conquista também um pouco sua.

Agradeço ao meu pai, que foi o meu pilar durante toda a trajetória da faculdade, sustentando-me nos momentos difíceis, incentivando-me quando o caminho parecia incerto e fazendo-se presente em cada etapa desta conquista. Seu amor, apoio incondicional e confiança em mim foram essenciais para que eu tivesse forças para continuar e acreditar que seria capaz de chegar até aqui. Esta vitória também é sua.

Agradeço minha mãe e avó pela confiança e certeza transmitidos a mim, pois me ajudou a vencer obstáculos e superar expectativas.

Agradeço a todos os professores que me ajudaram nessa jornada, em especial professor Arthur, professor Alison e professor Hélio, que nos momentos de maior desafio me ampararam e me incentivaram a dar o melhor de mim. Por fim, agradeço à professora Michelle por abraçar meus projetos e sonhos com carinho e me ajudar a trilhar estes caminhos sob a melhor orientação.

“A melhor aprendizagem acontece quando o aprendiz assume o comando.”

Seymour Papert

RESUMO

A robótica educacional tem se destacado como uma importante ferramenta para o desenvolvimento de competências técnicas e socioemocionais, favorecendo metodologias ativas de aprendizagem e aproximando estudantes das áreas de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM). Entretanto, o elevado custo dos kits comerciais disponíveis no mercado e a escassez de materiais didáticos acessíveis ainda representam barreiras para sua ampla adoção em instituições de ensino com recursos limitados.

Diante desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver e implementar o kit didático IFRobot, uma solução de robótica educacional de baixo custo composta por um carrinho robótico, uma biblioteca de programação desenvolvida em português para Arduino e materiais didáticos destinados aos estudantes e professores. O protótipo foi desenvolvido utilizando Arduino Nano, driver de motores TB6612FNG, sensores infravermelhos, sensor ultrassônico HC-SR04, módulo Bluetooth HC-05, buzzer e sistema de iluminação por LEDs.

Os resultados obtidos demonstraram o funcionamento satisfatório das funcionalidades implementadas, incluindo movimentação controlada via Bluetooth, seguimento automático de linha, detecção de obstáculos e acionamento de recursos auxiliares. Além da validação técnica do protótipo, foram desenvolvidos uma biblioteca de programação e materiais didáticos que ampliam o potencial de utilização do kit em atividades de robótica educacional. A análise econômica evidenciou a viabilidade financeira da proposta, com custo estimado de aproximadamente R\$ 223,00, podendo ser reduzido para valores entre R\$ 160,00 e R\$ 180,00 mediante reaproveitamento de materiais e aquisição de componentes em maior escala.

Conclui-se que o kit didático IFRobot constitui uma alternativa técnica, economicamente viável e socialmente relevante para a democratização do acesso à robótica educacional, contribuindo para aproximar teoria e prática e estimular o interesse de estudantes pelas áreas tecnológicas.

Palavras-chave: robótica educacional; Arduino; kit didático; sistemas embarcados; materiais didáticos; automação.

ABSTRACT

Educational robotics has become an important tool for developing technical and socio-emotional skills, promoting active learning methodologies and bringing students closer to the fields of Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM). However, the high cost of commercial educational kits and the lack of accessible teaching materials remain significant barriers to their widespread adoption, especially in educational institutions with limited financial resources.

In this context, this study aimed to develop and implement the IFRobot educational kit, a low-cost educational robotics solution composed of a robotic car, a programming library developed in Portuguese for Arduino, and teaching materials designed for students and teachers. The prototype was developed using an Arduino Nano, a TB6612FNG motor driver, infrared sensors, an HC-SR04 ultrasonic sensor, an HC-05 Bluetooth module, a buzzer, and an LED lighting system.

The results demonstrated the satisfactory operation of the implemented functionalities, including Bluetooth-controlled movement, autonomous line following, obstacle detection, and activation of auxiliary features. In addition to the technical validation of the prototype, a programming library and educational materials were developed, expanding the kit's potential for educational robotics activities. An economic analysis demonstrated the financial feasibility of the proposal, with an estimated cost of approximately BRL 223.00, which can be reduced to values between BRL 160.00 and BRL 180.00 through material reuse and bulk purchasing of components.

It is concluded that the IFRobot educational kit represents a technically feasible, economically viable, and socially relevant alternative for democratizing access to educational robotics, contributing to bridging the gap between theory and practice while encouraging students' interest in technological fields.

Keywords: educational robotics; Arduino; educational kit; embedded systems; teaching materials; automation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Manipulador robótico desenvolvido no projeto de extensão do IFMG.	11
Figura 2 – Robô seguidor de linha proposto por Basoni et al.	12
Figura 3 – Exemplo de kit comercial de Lego.	13
Figura 4 – Exemplo de kit comercial de Modelix.	14
Figura 5 – Configuração inicial do protótipo utilizando Arduino Uno.	19
Figura 6 – Disposição dos componentes eletrônicos durante a montagem do protótipo com Arduino Uno.	20
Figura 7 – Esquema elétrico de ligação dos componentes utilizados no protótipo. . . .	23
Figura 8 – Protótipo durante a fase inicial de desenvolvimento utilizando Arduino Uno.	24
Figura 9 – Montagem dos componentes eletrônicos do protótipo.	25
Figura 10 – Protótipo final do carrinho robótico desenvolvido para o kit IFRobot.	30
Figura 11 – Materiais didáticos desenvolvidos para o kit IFRobot.	31
Figura 12 – Fluxograma da lógica inicial implementada para o sistema segue-linha. . . .	35
Figura 13 – Fluxograma da lógica atualizada do sistema segue-linha.	37
Figura 14 – Interface do aplicativo utilizado para o controle do protótipo.	40
Figura 15 – Sistema de LEDs acionado.	42
Figura 16 – Vista frontal do protótipo final desenvolvido.	44
Figura 17 – Vista superior do protótipo final com destaque para a organização dos compo- nentes eletrônicos.	45
Figura 18 – Esquema elétrico do protótipo.	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Etapas executadas durante o desenvolvimento do projeto.	17
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critérios considerados nos testes do protótipo.	27
Tabela 2 – Componentes empregados no protótipo.	32
Tabela 3 – Comparação entre os trabalhos relacionados e a proposta desenvolvida. . . .	48
Tabela 4 – Custos dos componentes empregados no protótipo desenvolvido.	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CC	Corrente Contínua
HC-05	Módulo Bluetooth HC-05
HC-SR04	Sensor Ultrassônico HC-SR04
IFMG	Instituto Federal de Minas Gerais
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (Diodo Emissor de Luz)
PCB	<i>Printed Circuit Board</i> (Placa de Circuito Impresso)
PID	Proporcional, Integral e Derivativo
RX	Recepção de Dados
STEM	<i>Science, Technology, Engineering and Mathematics</i>
TB6612FNG	Driver de Motores TB6612FNG
TX	Transmissão de Dados

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	Objetivos	7
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo geral</i>	<i>7</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	<i>7</i>
1.2	Justificativa	8
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1	Robótica Educacional	9
2.2	Tecnologias Aplicadas à Robótica Educacional	9
2.3	Trabalhos Relacionados	10
<i>2.3.1</i>	<i>Projeto de Pesquisa com Manipuladores Robóticos</i>	<i>11</i>
<i>2.3.2</i>	<i>Robô Seguidor de Linha para Iniciação à Robótica Educacional</i>	<i>11</i>
<i>2.3.3</i>	<i>Aplicações da Robótica Educacional no Ensino Fundamental</i>	<i>12</i>
<i>2.3.4</i>	<i>Kits Comerciais de Robótica Educacional</i>	<i>13</i>
3	METODOLOGIA	15
3.1	Caracterização da Pesquisa	15
3.2	Pesquisa e Planejamento	15
3.3	Recursos Utilizados	17
3.4	Desenvolvimento do Hardware	18
3.5	Desenvolvimento do Software	21
3.6	Montagem do Protótipo	23
3.7	Desenvolvimento da Biblioteca IFRobot	26
3.8	Elaboração dos Materiais Didáticos	26
3.9	Critérios Considerados nos Testes do Protótipo	27
4	RESULTADOS	29
4.1	Kit Didático IFRobot	29
4.2	Resultados do Sistema de Movimentação	33
4.3	Resultados do Sistema Segue-Linha	34
4.4	Resultados da Comunicação Bluetooth	38
4.5	Resultados dos Sistemas Auxiliares	40

4.6	Análise das Dificuldades Encontradas	42
4.7	Otimização do Protótipo	43
4.8	Discussão dos Resultados	46
4.9	Análise Comparativa da Proposta Desenvolvida	47
4.10	Análise Econômica e Relevância Social do Protótipo	49
5	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	52
5.1	Trabalhos Futuros	54
	REFERÊNCIAS	56
	APÊNDICE A – CÓDIGO-FONTE INICIAL DO SISTEMA SEGUE-LINHA . . .	57
	APÊNDICE B – CÓDIGO-FONTE FINAL DO PROTÓTIPO	65
	APÊNDICE C – CÓDIGO-FONTE DA COMUNICAÇÃO BLUETOOTH	68
	APÊNDICE D – ESQUEMA ELÉTRICO DO PROTÓTIPO	70

1 INTRODUÇÃO

A crescente presença das tecnologias digitais e dos sistemas automatizados tem transformado significativamente a sociedade contemporânea, influenciando a forma como as pessoas estudam, trabalham e se relacionam com o conhecimento. Nesse cenário, a robótica destaca-se como uma das áreas mais representativas do avanço tecnológico, estando presente tanto em aplicações industriais quanto em atividades do cotidiano.

Paralelamente ao crescimento dessas tecnologias, observa-se a necessidade de inseri-las nos ambientes educacionais de maneira acessível e significativa. A robótica educacional surge como uma importante ferramenta pedagógica, permitindo que crianças e adolescentes tenham contato com conceitos relacionados à programação, eletrônica, automação e resolução de problemas por meio de atividades práticas e interativas.

Segundo Cruz (2017), a robótica educacional pode ser considerada uma metodologia ativa capaz de despertar o interesse dos estudantes e desenvolver competências cognitivas e socioemocionais essenciais para sua formação acadêmica e profissional. De maneira semelhante, Santos e Guimaraes (2018) destacam que atividades envolvendo robótica favorecem o raciocínio lógico, a criatividade, a capacidade de resolução de problemas e o trabalho em equipe.

Entretanto, apesar dos benefícios proporcionados por essa abordagem, o elevado custo dos kits comerciais ainda representa uma barreira para sua ampla utilização, especialmente em instituições de ensino com recursos financeiros limitados. Tal realidade evidencia a necessidade do desenvolvimento de alternativas de baixo custo que possibilitem a democratização do acesso às tecnologias educacionais.

Além disso, o carrinho de controle remoto ocupa lugar especial no imaginário infantil, frequentemente associado à curiosidade, à diversão e ao desejo de explorar o funcionamento dos objetos ao seu redor. Transformar esse objeto tradicionalmente relacionado ao entretenimento em uma ferramenta de aprendizagem representa uma oportunidade de aproximar a tecnologia do cotidiano das crianças, despertando o interesse pelas áreas de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM).

Diante desse cenário, o presente trabalho propõe o desenvolvimento e teste de um kit didático de robótica educacional de baixo custo, utilizando tecnologias abertas e componentes amplamente disponíveis no mercado nacional. O kit desenvolvido é composto por um carrinho robótico, utilizado como recurso prático para o ensino de robótica, por uma biblioteca de programação desenvolvida em português para a plataforma Arduino e por materiais didáticos destinados aos estudantes e professores. O carrinho robótico é capaz de operar tanto em modo manual, por meio de comunicação Bluetooth, quanto em modo autônomo, utilizando sensores infravermelhos para seguir linha e sensor ultrassônico para detecção de obstáculos, sendo utilizado para validar as funcionalidades propostas para o kit.

A proposta busca demonstrar que é possível desenvolver soluções tecnológicas acessíveis,

funcionais e replicáveis, contribuindo para a democratização do acesso à robótica educacional e para o estímulo do interesse de crianças e adolescentes pelas áreas tecnológicas.

1.1 Objetivos

1.1.1 *Objetivo geral*

Desenvolver e testar um kit didático de robótica educacional de baixo custo, composto por um carrinho robótico, uma biblioteca de programação em português para Arduino e materiais didáticos de apoio ao ensino, utilizando tecnologias abertas e componentes amplamente disponíveis no mercado nacional, com potencial de aplicação em atividades de ensino, extensão e divulgação científica voltadas ao público infantil.

1.1.2 *Objetivos específicos*

- Desenvolver um robô terrestre com movimento por rodas capaz de operar em modo manual por meio de comunicação Bluetooth;
- Implementar um sistema autônomo de seguimento de linha utilizando sensores infravermelhos;
- Incorporar um sensor ultrassônico para detecção de obstáculos e aumento da segurança operacional do protótipo;
- Integrar sistemas auxiliares, como *buzzer* e iluminação por LEDs, ampliando as possibilidades de interação com o usuário;
- Desenvolver uma biblioteca de programação em português para Arduino, visando simplificar a implementação das funcionalidades do kit e facilitar o aprendizado de estudantes iniciantes;
- Elaborar materiais didáticos destinados aos estudantes e professores para auxiliar a utilização do kit em atividades de robótica educacional;
- Testar o funcionamento das funcionalidades implementadas;
- Realizar uma análise econômica do protótipo, verificando sua viabilidade como alternativa de baixo custo aos kits comerciais de robótica educacional;
- Demonstrar o potencial do sistema desenvolvido como ferramenta de apoio ao ensino de conceitos relacionados à programação, eletrônica, automação e sistemas embarcados.

1.2 Justificativa

A inserção da robótica nos ambientes educacionais representa uma importante estratégia para aproximar estudantes das tecnologias que moldam a sociedade contemporânea. Entretanto, a elevada complexidade e o alto custo dos kits disponíveis comercialmente limitam o acesso de grande parcela da população a experiências práticas relacionadas à programação, eletrônica e automação.

Nesse contexto, o desenvolvimento de soluções acessíveis assume papel fundamental na democratização do conhecimento tecnológico. A utilização de plataformas abertas e componentes de baixo custo possibilita a criação de ferramentas educacionais capazes de despertar a curiosidade, estimular a criatividade e desenvolver competências essenciais para o século XXI.

Além da relevância pedagógica, destaca-se o potencial motivador da proposta. O carrinho de controle remoto é um objeto presente no imaginário de muitas crianças, associado ao brincar, à descoberta e à experimentação. Ao transformar esse brinquedo em um instrumento de aprendizagem, cria-se a oportunidade de despertar vocações e mostrar que a tecnologia não deve ser percebida apenas como algo a ser consumido, mas também como algo que pode ser compreendida, modificada e criada pelos próprios estudantes.

Outro aspecto relevante refere-se à viabilidade econômica da proposta. Enquanto kits comerciais de robótica frequentemente apresentam custos elevados, o sistema desenvolvido neste trabalho utiliza componentes amplamente disponíveis no mercado nacional, permitindo sua reprodução com investimento significativamente inferior. Além do protótipo robótico, o kit desenvolvido inclui uma biblioteca de programação em português e materiais didáticos de apoio, ampliando as possibilidades de utilização em escolas públicas, projetos de extensão universitária e iniciativas voltadas à popularização da ciência.

Dessa forma, justifica-se a realização deste trabalho por sua contribuição técnica, educacional e social, demonstrando que é possível desenvolver kits didáticos funcionais, economicamente viáveis e adequados à realidade das instituições de ensino brasileiras. Ao integrar hardware, software e materiais didáticos em uma única proposta, o trabalho busca contribuir para a democratização do acesso à robótica educacional e para a formação de estudantes mais criativos, críticos e preparados para os desafios tecnológicos do futuro.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Robótica Educacional

A robótica educacional tem se consolidado como uma importante ferramenta pedagógica, permitindo que estudantes desenvolvam conhecimentos técnicos e competências socioemocionais por meio de atividades práticas e interativas. Diferentemente das metodologias tradicionais centradas na transmissão passiva do conhecimento, essa abordagem estimula a participação ativa dos alunos na construção de soluções para problemas reais.

Do ponto de vista das teorias da aprendizagem, Piaget (1976) defende que o conhecimento é construído progressivamente a partir da interação do indivíduo com o meio. Dessa forma, atividades que incentivam a manipulação de objetos e a resolução de desafios concretos favorecem o desenvolvimento intelectual dos estudantes.

Complementando essa perspectiva, Rubtsov, Isaev e Konokotin (2022) destacam a importância das interações sociais e das atividades coletivas para o desenvolvimento das capacidades reflexivas e comunicativas das crianças. Segundo os autores, a aprendizagem é favorecida pela participação em atividades colaborativas, envolvendo a interação entre estudantes e adultos no processo de construção do conhecimento.

Santos *et al.* (2021) discute as contribuições do construtivismo e do construcionismo para a robótica educacional, destacando a importância da participação ativa dos estudantes na construção de conhecimentos por meio da criação e manipulação de objetos. Nesse contexto, a robótica educacional permite que crianças e adolescentes assumam papel protagonista durante o processo de aprendizagem, desenvolvendo autonomia, criatividade e pensamento crítico.

As metodologias ativas também desempenham papel importante nesse cenário. Silva *et al.* (2024) destaca que estratégias pedagógicas centradas na participação efetiva do estudante favorecem o engajamento e o desenvolvimento de competências essenciais para sua formação. De maneira semelhante, Bacich e Moran (2018) destacam que atividades baseadas em projetos possibilitam a integração entre teoria e prática, promovendo aprendizagens mais significativas.

Dessa forma, observa-se que a robótica educacional transcende o simples ensino de conceitos técnicos, constituindo-se como uma ferramenta capaz de estimular o interesse pelas áreas STEM, favorecer o desenvolvimento integral dos estudantes e aproximar a escola das demandas tecnológicas da sociedade contemporânea.

2.2 Tecnologias Aplicadas à Robótica Educacional

A utilização de plataformas abertas de desenvolvimento tem se consolidado como uma importante estratégia para o ensino de programação, eletrônica e automação. Entre essas plataformas, o Arduino destaca-se pela facilidade de utilização, ampla disponibilidade de documentação

e reduzido custo de aquisição, características que contribuíram significativamente para sua popularização em ambientes educacionais e de prototipagem.

O projeto Arduino surgiu na Itália em 2005 com o objetivo de disponibilizar uma ferramenta acessível para estudantes e profissionais interessados no desenvolvimento de sistemas interativos. Segundo Banzi e Shiloh (2015), a plataforma foi concebida para simplificar o processo de desenvolvimento de projetos eletrônicos, permitindo que usuários com diferentes níveis de experiência pudessem criar aplicações capazes de interagir com o ambiente por meio de sensores e atuadores.

A popularização do Arduino também está associada ao conceito de hardware livre. Diferentemente de plataformas proprietárias, o Arduino disponibiliza seus esquemáticos, ambiente de desenvolvimento e documentação técnica de forma aberta, possibilitando que usuários compreendam seu funcionamento interno e adaptem o sistema às suas necessidades específicas.

McRoberts (2018) destaca que a simplicidade do ambiente de desenvolvimento do Arduino favorece sua utilização em atividades introdutórias relacionadas à programação e à eletrônica. Segundo o autor, a possibilidade de obtenção de resultados rápidos por meio da experimentação prática contribui para a motivação dos estudantes e para a redução das barreiras iniciais frequentemente encontradas durante o processo de aprendizagem.

De maneira semelhante, Monk (2017) ressalta que projetos desenvolvidos com Arduino permitem que conceitos abstratos sejam transformados em aplicações concretas, favorecendo a compreensão de conteúdos relacionados à lógica de programação, leitura de sensores e acionamento de dispositivos eletrônicos.

No contexto educacional, Vazzi (2017) afirma que atividades práticas envolvendo o Arduino aproximam os conteúdos teóricos da realidade dos estudantes, estimulando metodologias ativas de aprendizagem e favorecendo o desenvolvimento do raciocínio lógico.

A adoção de plataformas abertas reforça a proposta de democratização do acesso às tecnologias educacionais, permitindo que estudantes não apenas utilizem recursos digitais, mas também compreendam seu funcionamento e desenvolvam suas próprias soluções tecnológicas. Nesse sentido, ferramentas como o Arduino apresentam elevado potencial para aplicação em projetos de robótica educacional de baixo custo, especialmente em instituições com recursos financeiros limitados.

2.3 Trabalhos Relacionados

Diversos projetos têm demonstrado o potencial da robótica educacional como ferramenta de apoio ao processo de ensino e aprendizagem. A análise dessas iniciativas permite compreender diferentes abordagens utilizadas na construção de kits didáticos, além de identificar características que contribuíram para o desenvolvimento da proposta apresentada neste trabalho.

2.3.1 Projeto de Pesquisa com Manipuladores Robóticos

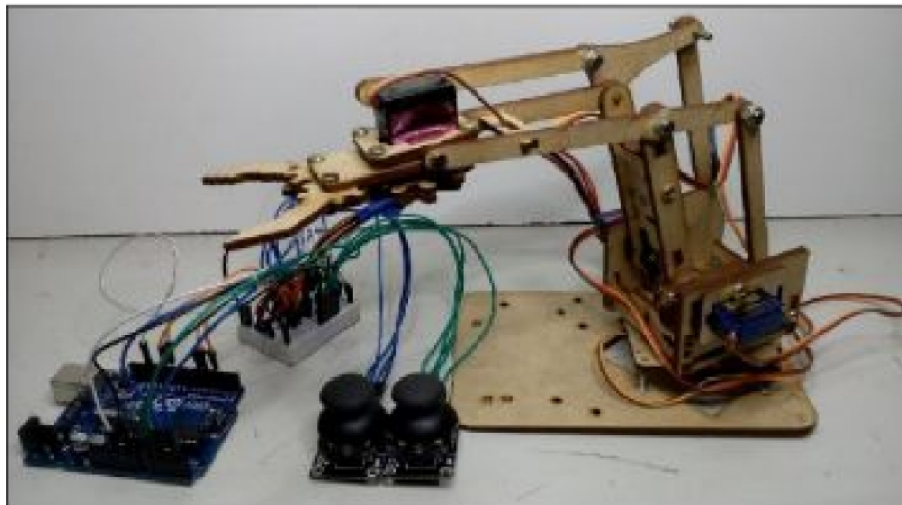
Um dos trabalhos que serviram de inspiração para o presente estudo foi o projeto de pesquisa desenvolvido no Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), voltado à construção e programação de manipuladores robóticos para fins educativos.

O projeto teve como objetivo introduzir conceitos de programação, eletrônica e automação a estudantes da educação básica por meio de atividades práticas e interativas. Utilizando componentes de baixo custo e a plataforma Arduino, os participantes eram incentivados a compreender o funcionamento dos sistemas robóticos e a desenvolver soluções para desafios propostos.

Segundo Silva *et al.* (2019), a interação direta com o protótipo contribuiu para o desenvolvimento do raciocínio lógico, da criatividade e da capacidade de resolução de problemas, além de estimular o interesse pelas áreas de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM).

Embora o projeto tenha utilizado manipuladores robóticos fixos, observa-se significativa convergência com a proposta apresentada neste trabalho, especialmente no que se refere à utilização de tecnologias abertas e à democratização do acesso à robótica educacional.

Figura 1 – Manipulador robótico desenvolvido no projeto de extensão do IFMG.



Fonte: Adaptado de Silva et al. (2019).

2.3.2 Robô Seguidor de Linha para Iniciação à Robótica Educacional

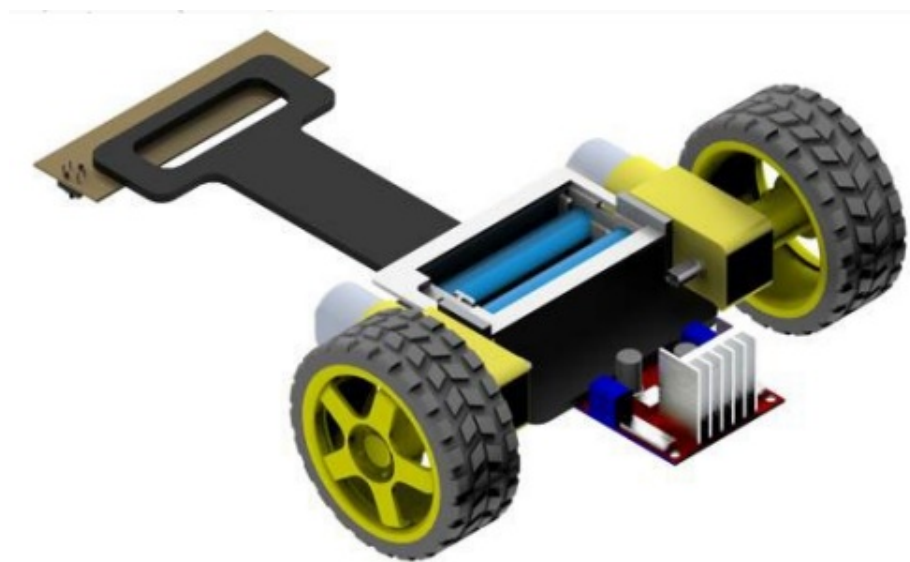
Basoni *et al.* (2022) desenvolveu um robô seguidor de linha com o objetivo de facilitar a introdução à robótica educacional por meio de uma proposta de baixo custo e fácil reprodução. O sistema foi construído utilizando Arduino Nano, sensores ópticos e componentes eletrônicos amplamente disponíveis no mercado.

O autor destaca que o protótipo foi concebido para auxiliar professores e estudantes em atividades relacionadas à programação, eletrônica e automação, promovendo experiências práticas capazes de despertar o interesse pelas áreas tecnológicas.

Apesar das semelhanças existentes entre o trabalho citado e a proposta apresentada nesta pesquisa, observa-se que o sistema desenvolvido pelos autores concentra-se na utilização do robô seguidor de linha como ferramenta de apoio ao ensino de programação e automação.

No presente trabalho, além do desenvolvimento do robô, foi elaborada uma biblioteca de programação em português para Arduino e materiais didáticos destinados aos estudantes e professores. Essas características ampliam o potencial educacional do kit desenvolvido, permitindo sua utilização tanto em atividades práticas quanto como recurso de apoio ao processo de ensino e aprendizagem. O protótipo também incorpora funcionalidades adicionais, como controle manual por Bluetooth, detecção de obstáculos utilizando sensor ultrassônico, *buzzer* e iluminação por LEDs.

Figura 2 – Robô seguidor de linha proposto por Basoni et al.



Fonte: Adaptado de Basoni et al. (2022).

2.3.3 Aplicações da Robótica Educacional no Ensino Fundamental

Além dos trabalhos apresentados anteriormente, estudos têm demonstrado a utilização da robótica educacional e da plataforma Arduino em atividades desenvolvidas com estudantes do Ensino Fundamental brasileiro.

Silva e Barbosa (2021) apresentaram uma experiência de robótica educacional livre desenvolvida com estudantes do 9º ano de uma escola pública, utilizando a plataforma Arduino e componentes de hardware livre. A proposta explorou atividades relacionadas à Matemática e à Física, incluindo a utilização de sensores ultrassônicos, permitindo aos estudantes participar de etapas de construção, programação e experimentação dos protótipos desenvolvidos.

De forma semelhante, Costa *et al.* (2023) relatou uma experiência de introdução à robótica com programação em Arduino realizada com estudantes do Ensino Fundamental. A atividade foi estruturada como uma oficina voltada ao contato inicial dos participantes com conceitos

de robótica, programação e eletrônica, evidenciando o potencial da plataforma como recurso acessível para a aproximação dos estudantes com as tecnologias digitais.

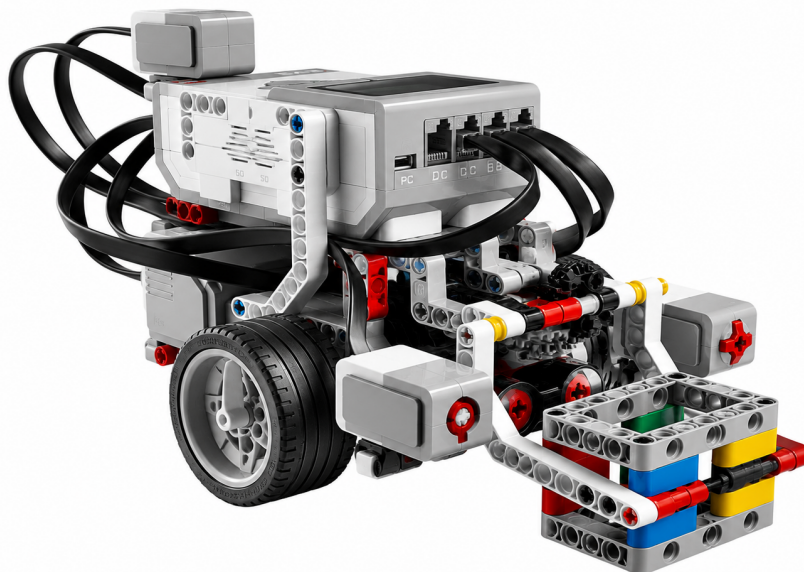
Essas experiências reforçam a possibilidade de utilização de plataformas abertas e componentes de baixo custo no contexto da educação básica. Entretanto, diferentemente das propostas centradas principalmente em oficinas ou atividades específicas, o presente trabalho busca reunir o protótipo robótico, uma biblioteca de programação em português e materiais didáticos destinados aos estudantes e professores em uma proposta integrada de kit didático para robótica educacional.

2.3.4 Kits Comerciais de Robótica Educacional

Entre os kits comerciais mais difundidos destacam-se soluções desenvolvidas por empresas como Lego Education e Modelix. Esses sistemas apresentam elevado potencial pedagógico, oferecendo materiais estruturados, manuais didáticos e diferentes possibilidades de montagem.

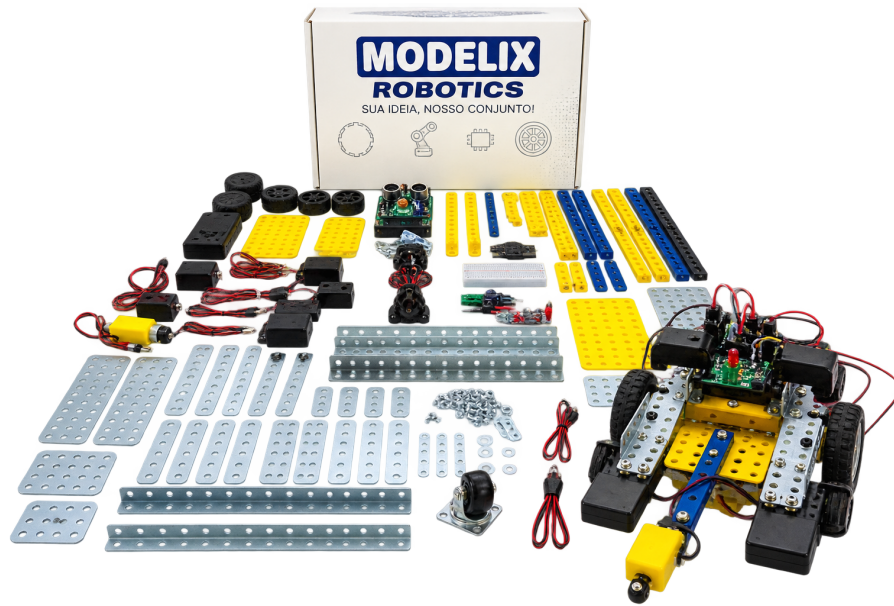
Entretanto, o elevado custo associado à aquisição desses kits pode dificultar sua ampla adoção, especialmente em escolas públicas e instituições com recursos financeiros limitados. Como ilustrado nas Figuras 3 e 4, esses kits são compostos por diferentes elementos mecânicos, eletrônicos e estruturais, possibilitando a realização de atividades com variados níveis de complexidade. Dessa forma, podem ser utilizados desde atividades introdutórias até propostas mais avançadas de robótica, permitindo que os estudantes desenvolvam projetos de acordo com seu nível de conhecimento e progressão durante o processo de aprendizagem.

Figura 3 – Exemplo de kit comercial de Lego.



Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de imagens dos fabricantes.

Figura 4 – Exemplo de kit comercial de Modelix.



Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de imagens dos fabricantes.

Nesse contexto, embora esses kits ofereçam diferentes possibilidades pedagógicas e recursos para o desenvolvimento de atividades de robótica, o investimento necessário para sua aquisição pode representar uma barreira para que um maior número de estudantes tenha acesso a esse tipo de tecnologia educacional.

Nesse sentido, o desenvolvimento de alternativas baseadas em plataformas abertas e componentes de baixo custo representa uma estratégia importante para ampliar o acesso às tecnologias educacionais, permitindo que um número maior de estudantes participe de atividades relacionadas à robótica.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento do presente trabalho. As atividades foram conduzidas de maneira sequencial e incremental, permitindo que cada funcionalidade do sistema fosse implementada, testada e validada individualmente antes da integração completa do protótipo.

A metodologia adotada teve como objetivo reduzir a ocorrência de falhas, facilitar a identificação de problemas e proporcionar maior controle sobre cada etapa do desenvolvimento. Dessa forma, foi possível acompanhar a evolução do projeto desde a definição da proposta até a obtenção de um carrinho robótico funcional destinado à aplicação em contextos de robótica educacional.

O desenvolvimento do trabalho envolveu etapas de pesquisa bibliográfica, planejamento, seleção dos materiais, desenvolvimento do *hardware* e do *software*, montagem do protótipo, realização de testes e validação das funcionalidades implementadas.

3.1 Caracterização da Pesquisa

Quanto à sua natureza, esta pesquisa caracteriza-se como aplicada, uma vez que buscou desenvolver uma solução prática para contribuir com a democratização do acesso à robótica educacional por meio da construção de um kit didático de baixo custo.

Do ponto de vista dos objetivos, o estudo possui caráter exploratório e descritivo. Exploratório porque envolveu a investigação de diferentes abordagens relacionadas à robótica educacional, plataformas abertas e sistemas embarcados. Descritivo por apresentar detalhadamente as etapas de desenvolvimento, montagem e validação do protótipo construído.

Em relação aos procedimentos técnicos, a pesquisa foi desenvolvida por meio de levantamento bibliográfico e abordagem experimental. A pesquisa bibliográfica possibilitou a fundamentação teórica necessária ao desenvolvimento do trabalho, enquanto a etapa experimental permitiu a construção do protótipo, a realização dos testes e a análise do desempenho das funcionalidades implementadas.

3.2 Pesquisa e Planejamento

O desenvolvimento deste trabalho teve início com a definição dos objetivos do projeto e o levantamento dos requisitos necessários para a construção do carrinho robótico. Buscou-se desenvolver um protótipo funcional utilizando componentes eletrônicos de baixo custo e amplamente disponíveis no mercado nacional, capazes de atender às funcionalidades pretendidas sem comprometer a viabilidade econômica da proposta.

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de compreender os principais conceitos relacionados à robótica educacional, robótica móvel, sistemas embarcados e

plataformas abertas de desenvolvimento. Foram consultados artigos científicos, livros, manuais técnicos, documentações oficiais e materiais disponibilizados por comunidades especializadas em Arduino.

Essa etapa permitiu identificar diferentes abordagens para implementação de sistemas segue-linha, métodos de comunicação sem fio e estratégias de integração entre sensores e atuadores, subsidiando as decisões técnicas adotadas ao longo do projeto.

A partir dessas informações, foram estabelecidos os requisitos funcionais do protótipo, definidos como:

- realizar movimentação controlada por meio de motores de corrente contínua;
- operar em modo autônomo utilizando algoritmo segue-linha;
- permitir controle remoto através de comunicação Bluetooth;
- disponibilizar recursos auxiliares, como sinalização luminosa e sonora;
- detectar obstáculos por meio de sensor ultrassônico;
- utilizar componentes de fácil aquisição e baixo custo.

Também foram considerados aspectos relacionados à facilidade de programação, manutenção do sistema, possibilidade de reprodução em ambientes educacionais e potencial para futuras expansões do projeto.

Além do desenvolvimento do protótipo robótico, definiu-se que o kit didático seria complementado por uma biblioteca de programação desenvolvida em português para a plataforma Arduino e por materiais didáticos destinados aos estudantes e professores. Esses recursos foram incorporados ao projeto com o objetivo de facilitar sua utilização em atividades de robótica educacional.

Após a definição dos requisitos, foi elaborado o planejamento geral das atividades, contemplando desde a aquisição dos componentes até a realização dos testes finais e elaboração da documentação técnica do trabalho.

Quadro 1 – Etapas executadas durante o desenvolvimento do projeto.

Etapas	Descrição
1	Levantamento bibliográfico e definição dos objetivos do projeto.
2	Seleção e aquisição dos componentes eletrônicos utilizados no protótipo.
3	Desenvolvimento e validação individual do hardware.
4	Desenvolvimento do software embarcado e implementação das funcionalidades do protótipo.
5	Montagem e integração dos componentes do carrinho robótico.
6	Desenvolvimento da biblioteca IFRobot para a plataforma Arduino.
7	Elaboração dos materiais didáticos destinados aos estudantes e professores.
8	Validação experimental do kit didático e análise dos resultados obtidos.

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

3.3 Recursos Utilizados

Os materiais empregados no desenvolvimento do presente trabalho estão apresentados a seguir.

- 1 Arduino Uno R3;
- 1 Arduino Nano;
- 1 Driver de motores TB6612FNG;
- 1 Chassi para robô de duas rodas;
- 2 Motores de corrente contínua com caixa de redução;
- 3 Sensores infravermelhos TCRT5000 para o sistema segue-linha;
- 1 Módulo Bluetooth HC-05;
- 1 Sensor ultrassônico HC-SR04;
- 1 *buzzer* passivo;
- 4 LEDs para sinalização;
- 4 Resistores para limitação de corrente dos LEDs;
- 1 Protoboard para montagem experimental;
- *Jumpers* para interligação dos componentes;

- 2 Baterias de 9 V do tipo Super Alcalina (1 destinada à alimentação do circuito lógico e 1 destinada à alimentação dos motores;
- Conectores e elementos de fixação mecânica.

Além dos recursos físicos empregados na construção do protótipo, foram desenvolvidos uma biblioteca de programação para Arduino e materiais didáticos destinados aos estudantes e professores, utilizados como recursos de apoio ao processo de ensino e aprendizagem.

A seleção dos componentes buscou equilibrar desempenho, disponibilidade comercial, facilidade de integração e baixo custo, aspectos fundamentais para a proposta de desenvolvimento de um kit didático acessível e passível de reprodução em diferentes contextos educacionais.

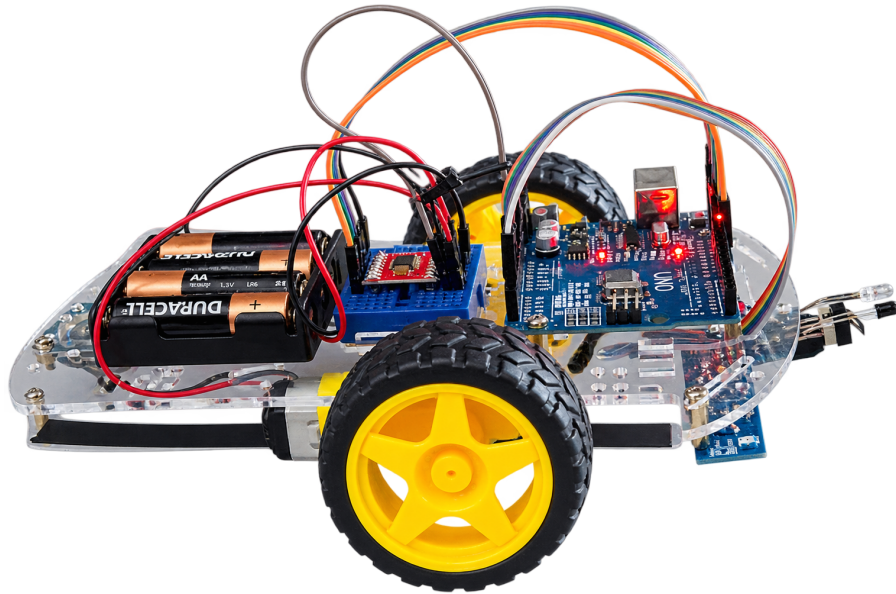
3.4 Desenvolvimento do Hardware

Concluída a etapa de planejamento, iniciou-se o desenvolvimento do hardware do protótipo. Inicialmente, todos os componentes eletrônicos foram avaliados individualmente, permitindo verificar seu funcionamento antes da integração ao sistema completo.

A primeira configuração do carrinho robótico foi desenvolvida utilizando a plataforma Arduino Uno como unidade central de processamento. A escolha ocorreu devido à ampla utilização dessa placa em aplicações acadêmicas, à facilidade de programação e à vasta disponibilidade de materiais de apoio voltados ao ensino de sistemas embarcados.

A utilização do Arduino Uno permitiu a implementação e validação das principais funcionalidades propostas para o sistema, incluindo o acionamento dos motores, o algoritmo segue-linha, a comunicação Bluetooth e os sistemas auxiliares de sinalização luminosa e sonora. A configuração inicial do protótipo utilizando essa plataforma pode ser observada na Figura 5.

Figura 5 – Configuração inicial do protótipo utilizando Arduino Uno.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

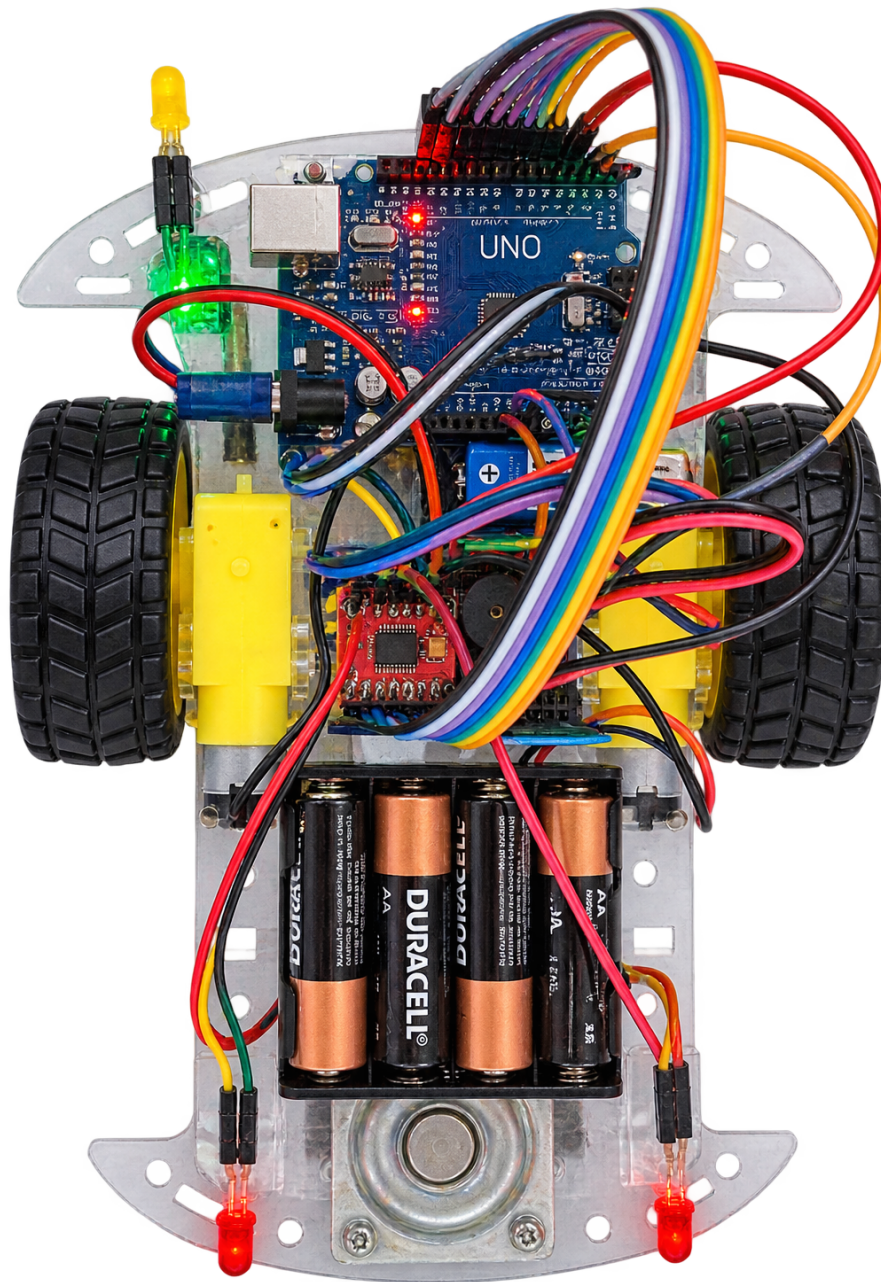
O sistema de tração foi constituído por dois motores de corrente contínua acoplados ao chassi do veículo. O acionamento desses motores foi realizado por meio do driver TB6612FNG, responsável pelo controle do sentido de rotação e da velocidade de cada motor.

Para a implementação do sistema segue-linha foram utilizados três sensores infravermelhos instalados na parte frontal do carrinho. Esses sensores foram responsáveis pela identificação do contraste entre a linha escura utilizada como referência e a superfície clara da pista de testes.

Também foram incorporados ao sistema o módulo Bluetooth HC-05, responsável pela comunicação sem fio com dispositivos móveis, o sensor ultrassônico HC-SR04 para detecção de obstáculos, LEDs destinados à sinalização luminosa e um *buzzer* passivo utilizado para emissão de sinais sonoros.

À medida que os componentes foram integrados ao chassi, verificou-se que as dimensões físicas do Arduino Uno dificultavam a organização das conexões elétricas, aumentavam a quantidade de cruzamentos entre os cabos e ocupavam espaço considerável no interior do protótipo. A disposição dos componentes e das conexões elétricas durante essa etapa de desenvolvimento pode ser observada na Figura 6.

Figura 6 – Disposição dos componentes eletrônicos durante a montagem do protótipo com Arduino Uno.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Diante dessa limitação, após a validação funcional do sistema, optou-se pela substituição do Arduino Uno pelo Arduino Nano. A migração ocorreu sem alterações significativas na lógica de programação desenvolvida, uma vez que ambas as plataformas apresentam compatibilidade em relação aos recursos necessários para execução do projeto.

Embora a substituição da placa não tenha implicado alterações na estrutura física do chassi, a diferença dimensional entre as plataformas contribuiu para uma montagem mais com-

pacta e organizada. O Arduino Uno apresenta dimensões aproximadas de 68,6 mm × 53,4 mm, enquanto o Arduino Nano possui aproximadamente 45 mm × 18 mm. Dessa forma, a utilização do Arduino Nano contribuiu para a redução do espaço ocupado pela unidade de controle, para a diminuição do comprimento das interligações e para uma disposição visualmente menos poluída dos componentes e condutores elétricos.

A adoção do Arduino Nano proporcionou melhor aproveitamento do espaço disponível, redução do comprimento das interligações elétricas e maior organização dos componentes sobre o chassi, resultando em um conjunto mais compacto e adequado às características do kit didático proposto.

A configuração final do protótipo e os resultados obtidos a partir dessa modificação são apresentados no Capítulo 4.

3.5 Desenvolvimento do Software

Após a validação inicial dos componentes eletrônicos utilizados no projeto, iniciou-se o desenvolvimento do software responsável pelo gerenciamento das funcionalidades do carrinho robótico. A programação foi realizada utilizando o ambiente de desenvolvimento Arduino IDE, empregando linguagem baseada em C/C++.

A elaboração do código ocorreu de maneira incremental, permitindo que cada funcionalidade fosse implementada e testada individualmente antes da integração ao sistema completo. Essa abordagem mostrou-se fundamental para a identificação de erros, correção de falhas e aprimoramento contínuo das rotinas desenvolvidas.

Inicialmente, foram implementadas as funções responsáveis pelo controle dos motores de corrente contínua por meio do driver TB6612FNG. Foram desenvolvidas rotinas específicas para os movimentos básicos do veículo, incluindo deslocamento para frente, marcha à ré, curvas à esquerda, curvas à direita e parada completa.

A modularização dessas funções contribuiu para a organização do código, facilitando sua manutenção e possibilitando futuras expansões do sistema.

Após testar os movimentos básicos, iniciou-se o desenvolvimento do algoritmo responsável pelo modo autônomo de operação. O sistema segue-linha foi programado para interpretar continuamente as informações provenientes dos sensores infravermelhos instalados na parte frontal do carrinho.

Durante os testes iniciais, observou-se a necessidade de realizar sucessivos ajustes na lógica de interpretação dos sensores, em função das características da pista e das condições de iluminação do ambiente. Essas adaptações permitiram aprimorar o comportamento do sistema e aumentar a confiabilidade do algoritmo de seguimento de linha.

A versão final do sistema utilizou três sensores infravermelhos posicionados na região

frontal do protótipo, responsáveis pela identificação da trajetória de referência e pela execução automática das correções de direção necessárias à manutenção do percurso. A lógica implementada e testada para a programação do segue-linha é apresentada na Seção 4.3.

Posteriormente, foi incorporado ao software o controle remoto via Bluetooth. O módulo HC-05 foi configurado para estabelecer comunicação serial com o microcontrolador, permitindo a recepção de comandos enviados por meio de um aplicativo instalado em smartphone.

Cada caractere recebido pela comunicação Bluetooth correspondia a uma função específica do sistema. Dessa forma, tornou-se possível controlar o deslocamento do veículo, interromper seus movimentos e acionar dispositivos auxiliares diretamente pelo telefone celular.

Ao longo do desenvolvimento, verificou-se a necessidade de aperfeiçoar a lógica de operação entre os modos manual e autônomo. Inicialmente, a alternância entre os modos ocorria por meio do envio de comandos específicos pelo aplicativo Bluetooth.

Entretanto, visando proporcionar maior praticidade durante a utilização do kit didático, optou-se por implementar uma estratégia na qual o carrinho inicia automaticamente em modo autônomo após ser energizado. Quando uma conexão Bluetooth é estabelecida, o sistema passa a operar em modo manual, permanecendo nessa condição até que o equipamento seja desligado e reinicializado.

Essa abordagem simplifica a experiência do usuário e reduz a necessidade de comandos adicionais durante a operação do protótipo.

Também foram implementadas rotinas destinadas ao acionamento dos sistemas auxiliares. Os LEDs responsáveis pela sinalização luminosa passaram a responder a comandos específicos do aplicativo, enquanto o *buzzer* foi programado para emitir sinais sonoros associados a diferentes condições de funcionamento do sistema.

Além disso, foi incorporado ao software o monitoramento do sensor ultrassônico HC-SR04. Esse recurso permitiu a identificação de obstáculos posicionados à frente do carrinho, promovendo a interrupção automática do deslocamento e o acionamento do *buzzer* sempre que objetos fossem detectados dentro da distância previamente estabelecida.

Ao final dessa etapa, obteve-se um software modular e funcional, capaz de integrar todas as funcionalidades propostas para o protótipo. A partir da implementação e validação das principais funcionalidades do carrinho robótico, foi desenvolvida uma biblioteca de programação para Arduino, reunindo funções utilizadas durante o projeto em uma estrutura organizada e de fácil utilização. O objetivo dessa biblioteca é simplificar a programação do kit didático e facilitar sua aplicação em atividades de robótica educacional, especialmente por estudantes iniciantes.

O código-fonte completo desenvolvido neste trabalho encontra-se nos Apêndices, possibilitando a reprodução das funcionalidades implementadas e futuras adaptações para diferentes contextos educacionais.

3.6 Montagem do Protótipo

Concluídas as etapas de desenvolvimento do hardware e do software, iniciou-se a montagem completa do robô. A construção do protótipo foi realizada inicialmente utilizando uma protoboard e cabos do tipo *jumper*, estratégia que possibilitou alterações rápidas nas conexões elétricas e facilitou a substituição de componentes durante a fase experimental.

Embora essa configuração não represente uma solução definitiva para aplicações comerciais, sua utilização mostrou-se adequada ao contexto acadêmico do projeto, permitindo maior flexibilidade durante o processo de desenvolvimento, rápida identificação de falhas e realização de modificações nas conexões elétricas sem a necessidade de reconstrução completa do circuito.

A Figura 7 apresenta o esquema elétrico desenvolvido para a interligação dos principais componentes utilizados no protótipo. O esquema permite visualizar as conexões entre o microcontrolador e os dispositivos responsáveis pela movimentação, detecção e interação com o usuário. O esquema elétrico completo encontra-se no Apêndice D.

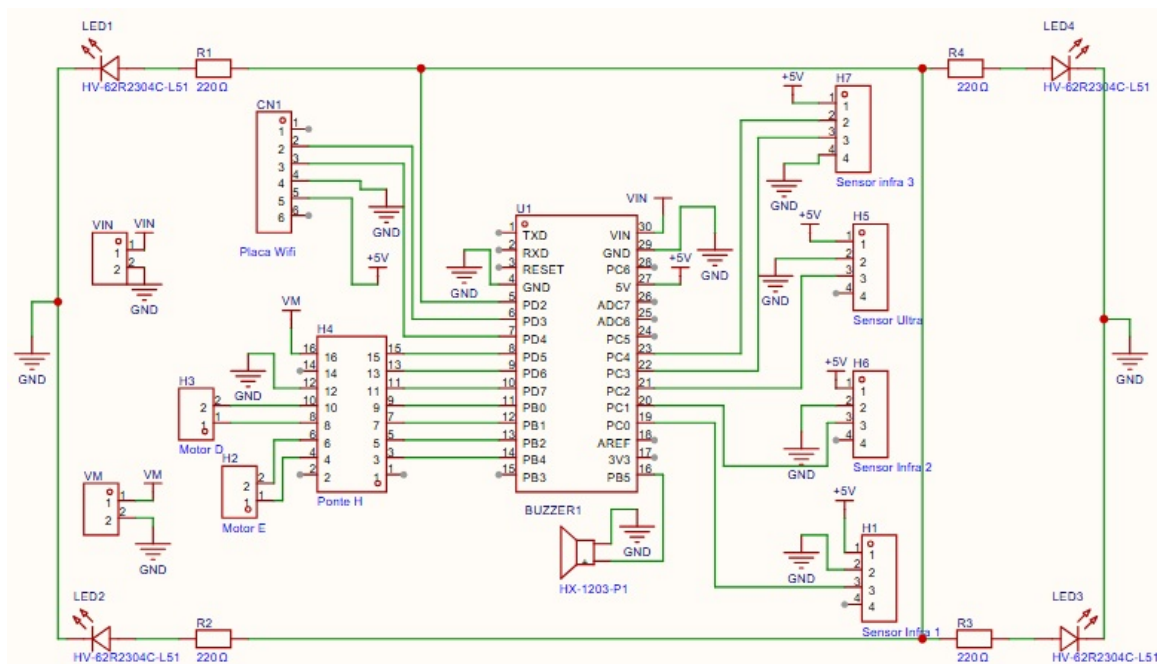


Figura 7 – Esquema elétrico de ligação dos componentes utilizados no protótipo.

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Conforme apresentado na Figura 7, o microcontrolador é responsável pelo processamento dos sinais provenientes dos sensores e pelo acionamento dos dispositivos de saída. O circuito de acionamento dos motores permite o controle da movimentação do carrinho, enquanto os sensores infravermelhos são utilizados para a identificação da linha de referência. O sensor ultrassônico é empregado na detecção de obstáculos, e o módulo Bluetooth possibilita o controle do protótipo por meio de comunicação sem fio. Os LEDs e o *buzzer* são utilizados como recursos auxiliares do sistema.

Inicialmente, a montagem foi realizada utilizando o Arduino Uno, permitindo a realização dos testes iniciais e o desenvolvimento das principais funcionalidades do sistema. A utilização dessa placa facilitou o acesso aos pinos durante a fase experimental, contribuindo para o desenvolvimento e a depuração do software embarcado.

Os componentes eletrônicos foram distribuídos sobre o chassi de modo a otimizar o espaço disponível e facilitar as conexões entre os módulos. Os sensores infravermelhos foram posicionados na região frontal inferior do veículo, favorecendo a identificação da linha de referência utilizada pelo sistema segue-linha. O sensor ultrassônico foi instalado na parte frontal do protótipo, permitindo a detecção de obstáculos posicionados à frente do carrinho.

A Figura 8 apresenta o protótipo durante a fase inicial de desenvolvimento, utilizando o Arduino Uno e os demais componentes conectados para a realização dos primeiros testes funcionais.

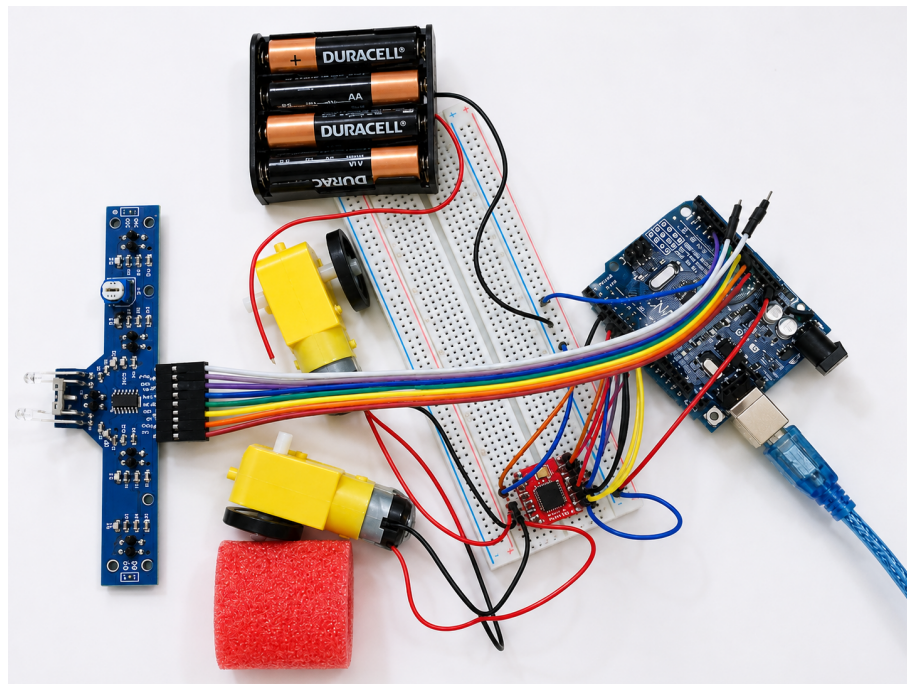


Figura 8 – Protótipo durante a fase inicial de desenvolvimento utilizando Arduino Uno.

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Após os testes iniciais, observou-se que as dimensões físicas do Arduino Uno dificultavam a organização das conexões elétricas e ocupavam uma parcela significativa do espaço disponível no chassi. Diante dessa limitação, optou-se pela substituição da placa pelo Arduino Nano, mantendo-se a lógica de programação desenvolvida para o sistema.

A utilização do Arduino Nano proporcionou melhor aproveitamento do espaço disponível, redução do comprimento dos cabos de interligação e maior organização dos componentes eletrônicos. Essa alteração contribuiu para a obtenção de um conjunto mais compacto e adequado à proposta de desenvolvimento de um kit didático de robótica educacional.

A Figura 9 apresenta a montagem dos principais componentes eletrônicos do protótipo após a substituição do Arduino Uno pelo Arduino Nano, evidenciando a disposição dos módulos e das conexões sobre o chassi.

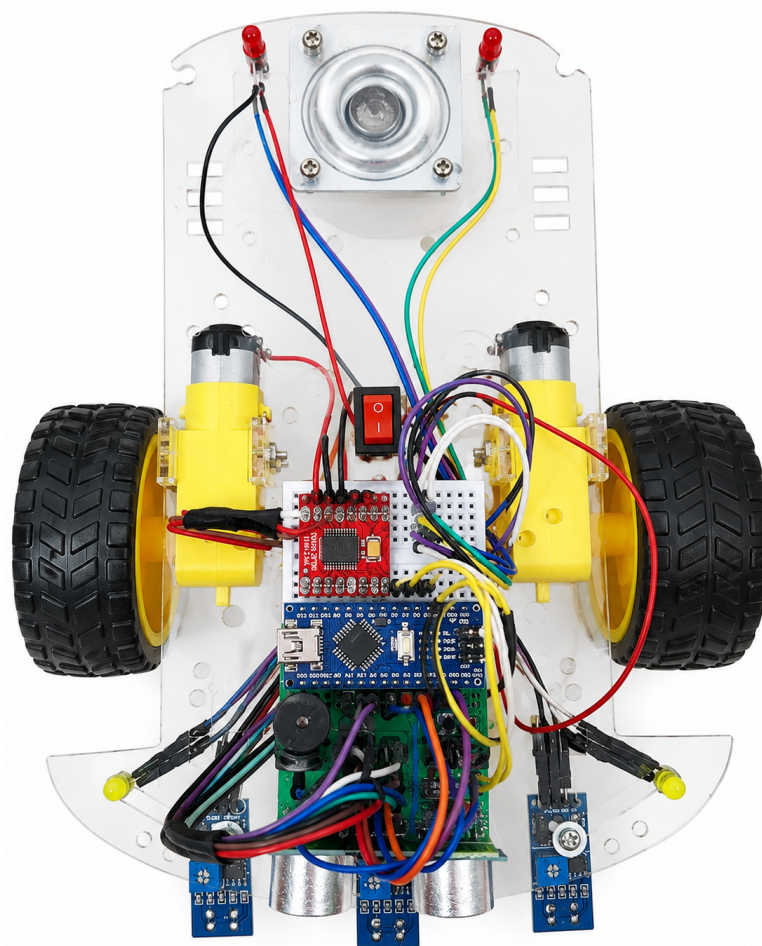


Figura 9 – Montagem dos componentes eletrônicos do protótipo.

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Ao longo do processo de montagem, foram realizadas diferentes adaptações com o objetivo de aprimorar a organização das conexões, facilitar futuras manutenções e aumentar a confiabilidade do sistema. Essas modificações fizeram parte do processo iterativo de desenvolvimento do protótipo, no qual os testes experimentais foram utilizados para identificar problemas e orientar as alterações necessárias na configuração do hardware.

Após a conclusão da montagem e dos testes funcionais, o protótipo passou a integrar o kit didático desenvolvido neste trabalho. O carrinho foi utilizado em conjunto com a biblioteca de programação IFRobot e com os materiais didáticos elaborados para estudantes e professores, permitindo a exploração prática dos conceitos de robótica, programação, sensores e acionamento de motores.

3.7 Desenvolvimento da Biblioteca IFRobot

Após a conclusão da montagem e validação do carrinho robótico, iniciou-se o desenvolvimento da biblioteca IFRobot para a plataforma Arduino. A biblioteca foi criada com o objetivo de organizar as funções desenvolvidas durante a programação do protótipo em uma estrutura de fácil utilização, tornando o processo de programação mais simples e acessível para estudantes iniciantes.

Inicialmente, foram identificadas as rotinas implementadas durante o desenvolvimento do software embarcado, incluindo funções relacionadas ao acionamento dos motores, leitura dos sensores infravermelhos, comunicação Bluetooth, controle do sensor ultrassônico, acionamento dos LEDs e *buzzer*. Essas rotinas foram reorganizadas em uma biblioteca própria, permitindo sua reutilização em diferentes atividades práticas.

Durante sua elaboração, buscou-se utilizar nomes de funções em português e uma estrutura de programação simples, facilitando a compreensão da lógica de funcionamento do sistema por usuários com pouca experiência em programação. Dessa forma, os estudantes podem concentrar seus esforços na aprendizagem dos conceitos de robótica e automação, reduzindo a complexidade da implementação do código.

Após sua implementação, a biblioteca foi integrada ao Arduino IDE e utilizada durante os testes do kit didático, possibilitando validar seu funcionamento juntamente com o carrinho robótico desenvolvido neste trabalho.

3.8 Elaboração dos Materiais Didáticos

Com a conclusão do desenvolvimento do carrinho robótico e da biblioteca IFRobot, foram elaborados materiais didáticos destinados aos estudantes e professores, com o objetivo de ampliar o potencial de utilização do kit em atividades de robótica educacional.

Para os estudantes, foi desenvolvida uma apostila contendo conceitos introdutórios sobre Arduino, eletrônica básica, programação e utilização da biblioteca IFRobot. O material também apresenta exemplos de programação, exercícios e atividades práticas relacionadas às funcionalidades implementadas no carrinho robótico.

Além da apostila do estudante, foi elaborado um manual destinado aos professores, contendo orientações para instalação do ambiente de desenvolvimento, configuração da biblioteca IFRobot, montagem do kit e sugestões de utilização em atividades de robótica educacional. O manual foi estruturado de forma a auxiliar o planejamento das aulas e facilitar a aplicação do kit em diferentes contextos educacionais.

A elaboração desses materiais complementa o desenvolvimento do protótipo robótico, tornando o kit didático mais acessível para usuários com pouca experiência em programação e sistemas embarcados e ampliando suas possibilidades de utilização em escolas, projetos de

extensão e ações de divulgação científica.

3.9 Critérios Considerados nos Testes do Protótipo

Com o objetivo de verificar se os requisitos estabelecidos para o projeto haviam sido atendidos, foram definidos critérios específicos de validação para cada funcionalidade implementada no carrinho robótico.

A Tabela 1 apresenta os critérios considerados durante os testes do protótipo.

Tabela 1 – Critérios considerados nos testes do protótipo.

Funcionalidade	Critério de validação
Sistema de movimentação	Executar corretamente os comandos de deslocamento para frente, marcha à ré, curvas à esquerda, curvas à direita e parada completa do veículo, apresentando respostas adequadas aos comandos enviados pelo usuário.
Sistema segue-linha	Identificar a linha de referência e realizar correções automáticas de trajetória sem necessidade de intervenção do operador durante a maior parte do percurso proposto.
Estabilidade do sistema	Apresentar comportamento adequado diante de pequenas variações nas condições da pista, demonstrando capacidade de retomar a trajetória após a identificação de desvios pelos sensores infravermelhos.
Comunicação Bluetooth	Manter estabilidade na conexão estabelecida com o smartphone, apresentar resposta adequada aos comandos enviados e não apresentar comportamentos inesperados durante a operação manual do veículo.
Modos de operação	Iniciar automaticamente em modo autônomo após a energização e passar a operar em modo manual quando uma conexão Bluetooth fosse estabelecida, permanecendo nessa condição até o desligamento do equipamento.
Deteção de obstáculos	Interromper o deslocamento e emitir sinal sonoro ao identificar objetos posicionados à frente do protótipo dentro da distância previamente estabelecida no software.
Sinalização luminosa e sonora	Responder adequadamente aos comandos de acionamento e desligamento dos LEDs e emitir os sinais sonoros previstos por meio do <i>buzzer</i> , sem provocar interferências perceptíveis nos demais subsistemas do carrinho.
Operação contínua	Operar continuamente durante os ensaios sem ocorrência de falhas críticas capazes de inviabilizar sua utilização em atividades demonstrativas e educacionais.

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Embora o presente trabalho não tenha como objetivo apresentar ensaios laboratoriais com rigor metrológico, os critérios adotados permitiram estabelecer parâmetros objetivos para

a verificação das funcionalidades implementadas e para a avaliação da viabilidade técnica do sistema desenvolvido no contexto acadêmico deste Trabalho de Conclusão de Curso.

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir dos testes realizados com o protótipo desenvolvido, bem como a análise do desempenho das funcionalidades implementadas. A avaliação prática do sistema permitiu verificar se os objetivos estabelecidos para o projeto foram alcançados, além de identificar limitações, propor melhorias e evidenciar o potencial didático da solução desenvolvida.

Os ensaios foram conduzidos após a conclusão das etapas de desenvolvimento, integração dos componentes eletrônicos e implementação do software embarcado. Inicialmente, os testes foram realizados utilizando a configuração baseada no Arduino Uno, adotada durante as fases de desenvolvimento e validação das funcionalidades principais. Posteriormente, após a confirmação do funcionamento adequado do sistema, o protótipo foi otimizado por meio da substituição do microcontrolador pelo Arduino Nano, resultando em uma solução mais compacta e organizada.

Durante os testes, foram avaliados os sistemas responsáveis pela movimentação do veículo, o algoritmo segue-linha, a comunicação Bluetooth, os recursos auxiliares implementados, a detecção de obstáculos e a estabilidade geral do conjunto eletrônico. Além dos aspectos técnicos, também foram analisados fatores relacionados à viabilidade econômica e à relevância educacional do kit proposto.

Os resultados apresentados nas seções seguintes não se limitam à verificação individual das funcionalidades implementadas, mas também permitem analisar o comportamento do sistema durante o processo de desenvolvimento, as dificuldades identificadas e as soluções adotadas para o aprimoramento do protótipo.

4.1 Kit Didático IFRobot

Como resultado do desenvolvimento realizado neste trabalho, foi concebido o kit didático IFRobot, uma solução educacional de baixo custo destinada ao ensino de robótica, programação, eletrônica e sistemas embarcados. O kit foi desenvolvido com o propósito de proporcionar aos estudantes uma experiência prática de aprendizagem, permitindo que conceitos teóricos sejam aplicados por meio da montagem, programação e utilização de um carrinho robótico.

Diferentemente de projetos voltados apenas ao desenvolvimento de um protótipo funcional, a proposta apresentada neste trabalho foi ampliada com a criação de recursos capazes de apoiar o processo de ensino e aprendizagem. Dessa forma, o produto final é composto pelo carrinho robótico, utilizado como plataforma prática para experimentação, por uma biblioteca de programação desenvolvida em português para Arduino e por materiais didáticos destinados aos estudantes e professores.

O principal resultado do desenvolvimento do kit é o protótipo final do carrinho robótico, apresentado na Figura 10. A configuração final utiliza o Arduino Nano como unidade de controle

e integra os principais componentes necessários ao funcionamento do sistema, incluindo as baterias de 9 V do tipo Super Alcalina, o sensor ultrassônico HC-SR04, o módulo Bluetooth HC-05, os sensores infravermelhos utilizados no sistema segue-linha, o driver de motores e os demais dispositivos eletrônicos empregados no protótipo.

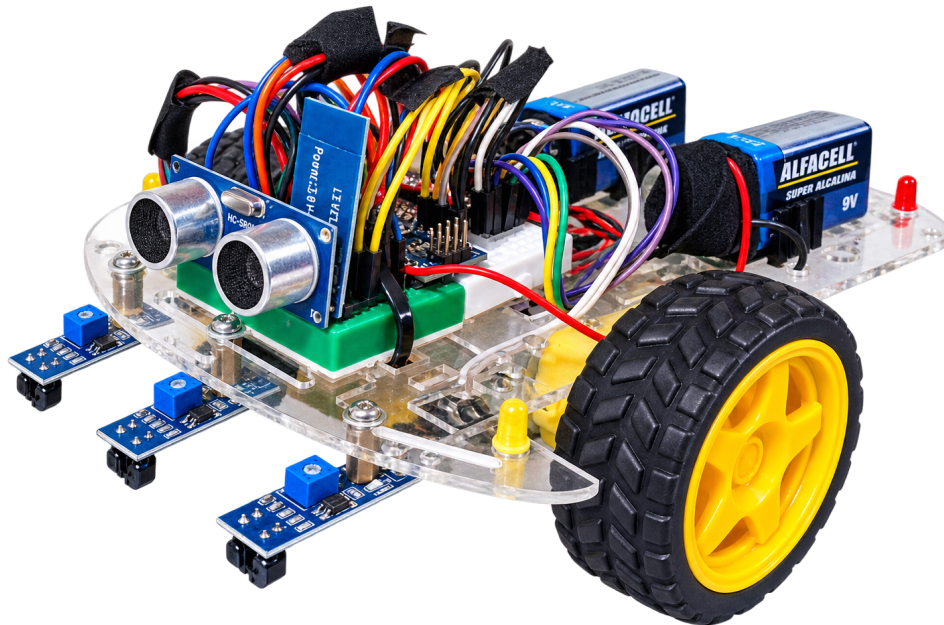


Figura 10 – Protótipo final do carrinho robótico desenvolvido para o kit IFRobot.

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A configuração apresentada na Figura 10 corresponde à versão utilizada nos testes finais do sistema e na integração das funcionalidades desenvolvidas ao longo do trabalho. A disposição dos componentes foi organizada de modo a proporcionar uma configuração compacta, mantendo os elementos necessários ao funcionamento do carrinho e permitindo sua utilização como plataforma para as atividades de robótica educacional.

Além do protótipo robótico, foram desenvolvidos materiais de apoio com o objetivo de facilitar a utilização do kit em ambientes educacionais. A biblioteca IFRobot reúne funções previamente implementadas para os principais recursos do carrinho, simplificando a programação para estudantes iniciantes. Complementando essa proposta, foram elaborados uma apostila destinada aos estudantes e um manual de apoio ao professor, contendo orientações para instalação, utilização do kit e desenvolvimento de atividades práticas.

A Figura 11 apresenta os materiais didáticos desenvolvidos como parte integrante do kit proposto.



Figura 11 – Materiais didáticos desenvolvidos para o kit IFRobot.

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A incorporação desses recursos amplia o potencial de utilização do projeto em escolas, cursos introdutórios de robótica e ações de extensão, permitindo que professores e estudantes disponham de um conjunto integrado de ferramentas para o desenvolvimento de atividades relacionadas à programação, eletrônica e automação. Assim, o carrinho robótico deixa de representar apenas um protótipo experimental e passa a integrar um kit didático concebido para apoiar o ensino de robótica educacional.

A integração entre o protótipo, a biblioteca IFRobot e os materiais didáticos representa um aspecto importante do resultado obtido neste trabalho. Enquanto o carrinho permite a experimentação prática dos conceitos de robótica, a biblioteca busca simplificar a implementação das funcionalidades desenvolvidas e os materiais de apoio fornecem orientações para sua utilização em atividades educacionais. Dessa forma, os diferentes elementos do kit foram concebidos de maneira complementar, ampliando as possibilidades de aplicação da proposta no processo de ensino e aprendizagem.

A Tabela 2 apresenta uma síntese dos componentes empregados no desenvolvimento do protótipo, destacando suas funções, conexões utilizadas e contribuições educacionais. Essa sistematização permite ao leitor compreender, de forma integrada, a composição do sistema avaliado antes da apresentação dos resultados específicos de cada funcionalidade.

Tabela 2 – Componentes empregados no protótipo.

Componente / Sistema	Descrição da Função	Pinagem / Conexão	Finalidade Educacional
Arduino Uno / Nano	Unidade central de processamento responsável pelo gerenciamento das funcionalidades e lógica do robô. Inicialmente utilizou-se um Arduino Uno, posteriormente substituído pelo Arduino Nano.	Nano: A1, A2 e A3 para sensores; D2, D3, D4 e D5–D13 para periféricos e atuadores.	Aproximar conteúdos teóricos da realidade, favorecer metodologias ativas e estimular o raciocínio lógico e a resolução de problemas.
Sensores Infravermelhos	Identificação do contraste entre superfícies claras e escuras para execução do modo seguidor de linha.	Sensor esquerdo (A1), sensor central (A2) e sensor direito (A3).	Compreender o funcionamento de sistemas automatizados e os princípios de tomada de decisão baseada em sensores.
Sensor Ultrassônico HC-SR04	Deteção de obstáculos posicionados à frente do veículo para interrupção do deslocamento e emissão de alerta sonoro.	TRIG (A4) e ECHO (A5).	Desenvolver estratégias de prevenção de colisões e ampliar a autonomia do robô.
Driver de Motores TB6612FNG	Controle do sentido de rotação e velocidade dos motores de corrente contínua.	PWMA (D5), AIN2 (D6), AIN1 (D7), STBY (D8), BIN1 (D9), BIN2 (D10) e PWMB (D11).	Demonstrar o controle de atuadores e conceitos de eletrônica de potência aplicados à robótica móvel.

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Tabela 2 (continuação)

Componente / Sistema	Descrição da Função	Pinagem / Conexão	Finalidade Educacional
Módulo Bluetooth HC-05	Permite a comunicação sem fio e o controle remoto do protótipo por meio de dispositivo móvel.	TX (D4) e RX (D3), utilizando comunicação serial por software.	Integrar diferentes tecnologias e explorar a interação homem-máquina por meio de dispositivos móveis.
Sistema de Alimentação	Responsável pelo fornecimento de energia aos circuitos lógicos e aos motores do protótipo.	Fontes independentes para lógica e acionamento dos motores.	Compreender a importância da estabilidade elétrica e da separação entre circuitos de potência e controle.
<i>buzzer</i> e LEDs	Sinalização sonora e luminosa para interação com o usuário e indicação de eventos do sistema.	Faróis (D2) e <i>buzzer</i> (D13).	Demonstrar o acionamento de saídas digitais e o controle simultâneo de múltiplos atuadores.

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

4.2 Resultados do Sistema de Movimentação

O primeiro conjunto de testes teve como objetivo avaliar a capacidade de deslocamento do veículo e a resposta dos motores aos comandos enviados pelo microcontrolador. Foram executadas manobras básicas, incluindo deslocamento para frente, marcha à ré, curvas à esquerda, curvas à direita e parada completa.

Os testes demonstraram que o sistema apresentou respostas adequadas aos comandos executados, permitindo a movimentação do carrinho durante as etapas de ensaio. O driver TB6612FNG apresentou desempenho satisfatório, não sendo observados aquecimento excessivo ou falhas no acionamento dos motores durante os períodos de funcionamento avaliados.

Durante os testes iniciais realizados com o controle Bluetooth, verificou-se que os motores apresentavam comportamento invertido em relação aos comandos direcionais enviados pelo aplicativo utilizado. Como consequência, ao selecionar uma curva à direita, o veículo executava uma curva à esquerda e vice-versa.

A análise do problema permitiu identificar que a inversão estava relacionada à disposição física dos motores no chassi adotado. Considerando que alterações mecânicas poderiam comprometer a organização já estabelecida do protótipo, optou-se pela correção diretamente na lógica implementada no software. Após os ajustes realizados, o comportamento do sistema tornou-se compatível com os comandos executados pelo usuário, eliminando as inconsistências observadas.

Também foi possível observar que a superfície utilizada influenciava diretamente o desempenho do carrinho. Em pisos mais lisos, o deslocamento ocorria com maior facilidade e estabilidade, enquanto superfícies mais rugosas exigiam maior esforço dos motores, reduzindo ligeiramente a velocidade de operação e aumentando a resistência ao movimento.

Os testes realizados permitiram verificar o funcionamento dos principais comandos responsáveis pela movimentação do protótipo. Foram avaliados os movimentos para frente, para trás, para a esquerda e para a direita, além do comando de parada, permitindo observar o comportamento dos motores e a resposta do carrinho aos comandos enviados pelo usuário.

Um registro em vídeo de um dos testes de movimentação realizados com o protótipo pode ser consultado como material complementar por meio do link disponibilizado a seguir:

Vídeo dos testes de movimentação do protótipo

Apesar das variações observadas em função das características da superfície utilizada, o sistema manteve desempenho adequado durante os testes realizados. Os resultados obtidos demonstraram que o sistema de movimentação foi capaz de executar corretamente as manobras previstas, constituindo uma base para a implementação das demais funcionalidades do protótipo.

4.3 Resultados do Sistema Segue-Linha

Após a conclusão do teste de movimentação, foram realizados testes utilizando o algoritmo responsável pela navegação autônoma do carrinho robótico.

O sistema segue-linha utilizou três sensores infravermelhos posicionados na parte frontal do veículo, responsáveis pela identificação do contraste entre a faixa escura utilizada como referência e a superfície clara da pista de testes. A partir das informações obtidas por esses sensores, o microcontrolador executava automaticamente correções na trajetória, ajustando o acionamento dos motores sempre que desvios eram identificados.

Durante os primeiros ensaios, observou-se que os sensores apresentavam elevada sensibilidade às condições do ambiente. Alterações na iluminação, pequenas variações na distância em relação ao solo e diferenças nas características do material utilizado na pista influenciavam diretamente os valores obtidos pelo sistema.

Diante dessa situação, tornou-se necessária a realização de sucessivas calibrações, ajustando os limiares de detecção. Esse processo evidenciou a importância dos testes iterativos no desenvolvimento de sistemas embarcados baseados em sensores.

A lógica inicial implementada para o segue-linha é apresentada na Figura 12.

Fluxograma da lógica inicial implementada

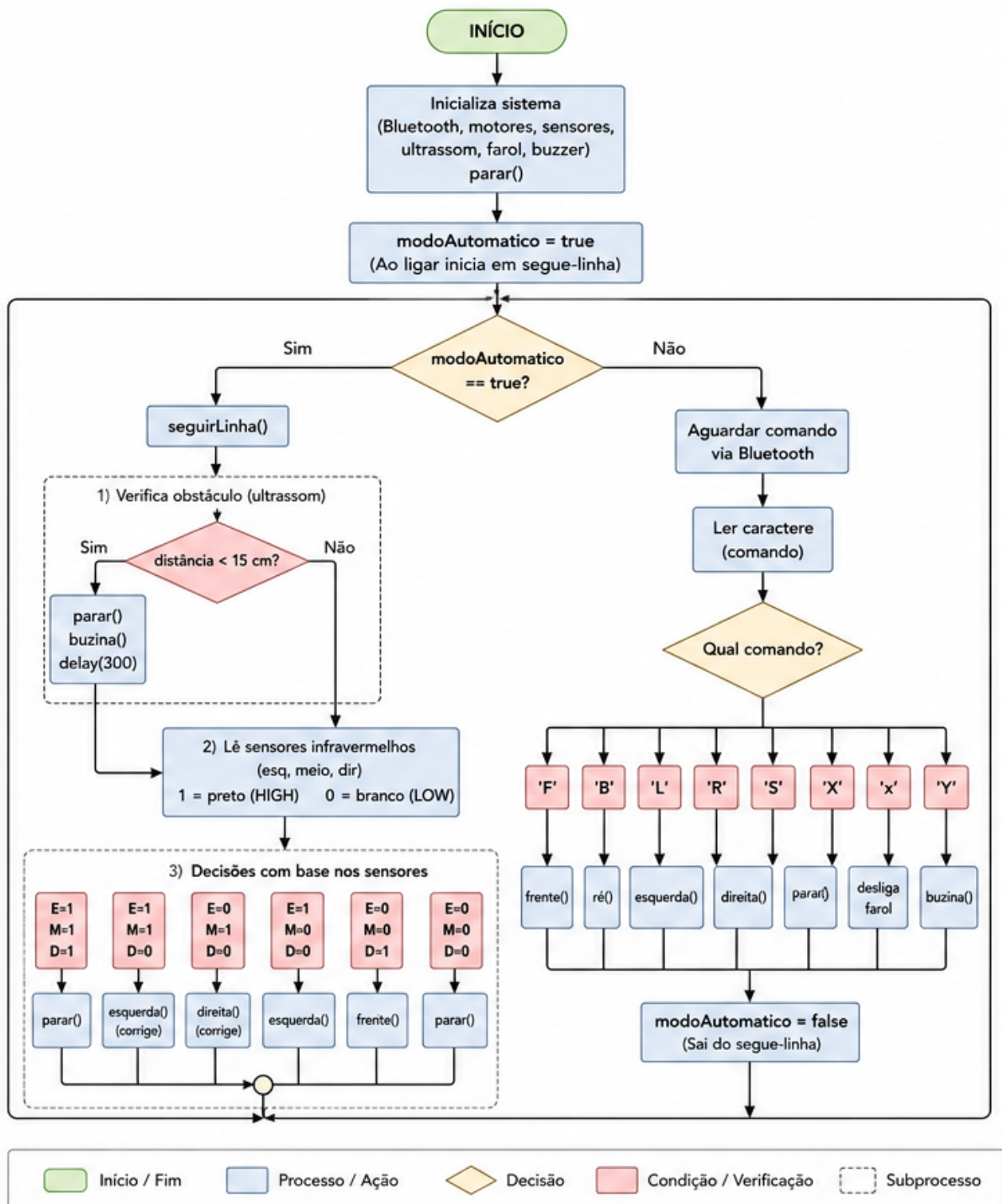


Figura 12 – Fluxograma da lógica inicial implementada para o sistema segue-linha.

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Em trajetórias contendo curvas suaves, o protótipo também apresentou resultados satisfatórios, realizando correções automáticas sempre que os sensores laterais identificavam desvios em relação ao percurso estabelecido.

Entretanto, durante os testes finais, foi identificada uma condição específica que resultava em comportamento inesperado do sistema. Quando os três sensores infravermelhos detectavam simultaneamente a superfície escura, apenas uma das rodas permanecia acionada, provocando a rotação indesejada do veículo e dificultando a retomada adequada da trajetória.

A análise do problema permitiu identificar que essa situação não havia sido contemplada na lógica inicial de programação. Como solução, foi incorporada uma condição específica ao algoritmo, determinando a parada completa do protótipo sempre que os três sensores identificassem simultaneamente a cor preta.

A nova lógica, que contempla essa condição, é apresentada na Figura 13.

Fluxograma da lógica final (atualizada)

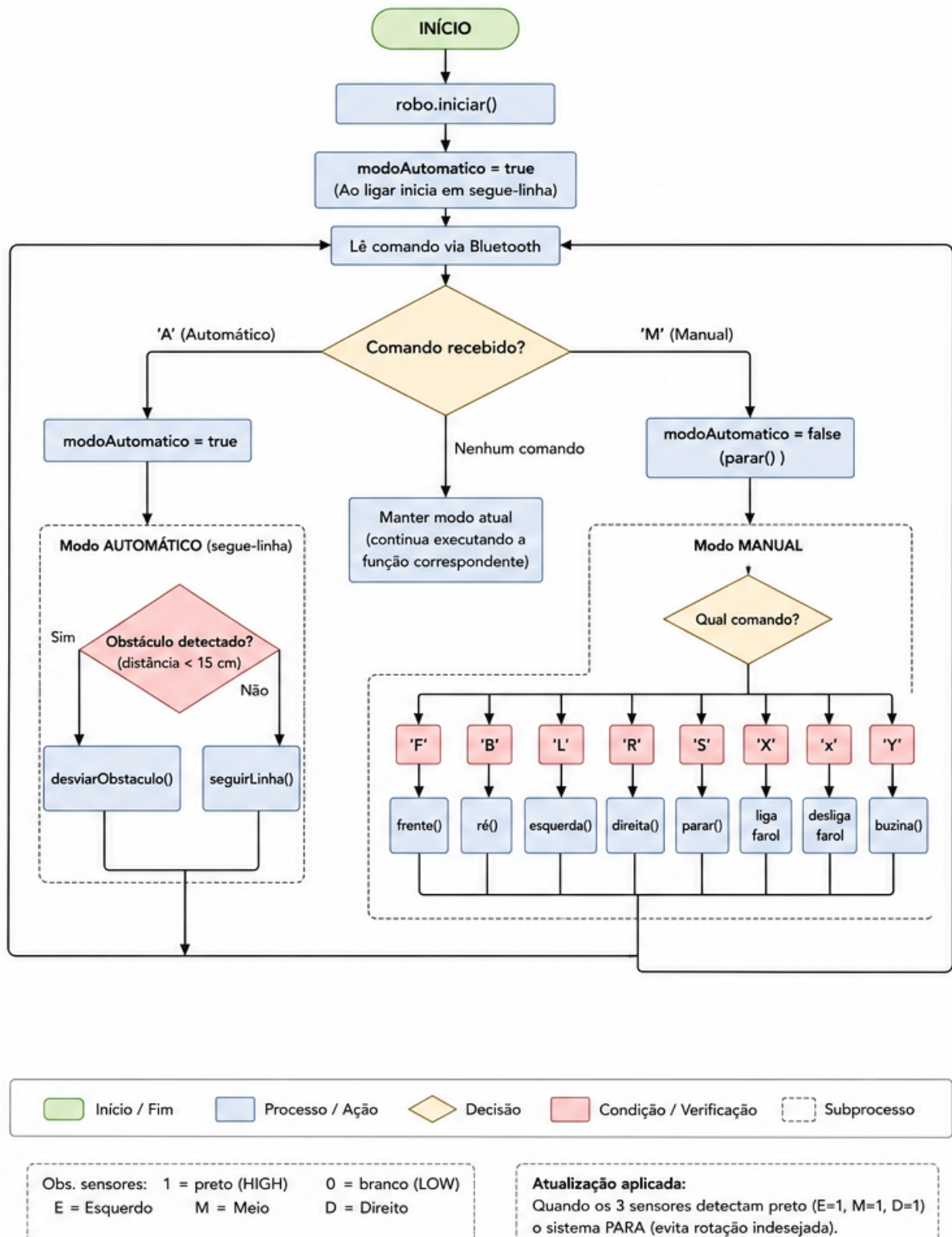


Figura 13 – Fluxograma da lógica atualizada do sistema segue-linha.

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Após essa modificação, o comportamento do sistema tornou-se mais previsível e seguro,

eliminando as rotações involuntárias observadas anteriormente.

Apesar das limitações associadas às condições ambientais e às características geométricas da pista, o desempenho obtido mostrou-se adequado aos objetivos educacionais e demonstrativos do projeto.

Após os ajustes realizados, verificou-se que o sistema foi capaz de manter o deslocamento sobre a trajetória proposta durante a maior parte do percurso. Em trechos retos, o comportamento apresentou elevada estabilidade, mantendo o alinhamento adequado à linha de referência.

Os resultados evidenciaram que a estratégia de controle adotada foi suficiente para demonstrar os princípios básicos da navegação autônoma baseada em sensores ópticos, além de proporcionar experiências práticas relacionadas à calibração, interpretação de sinais e refinamento de algoritmos embarcados.

Como material complementar aos resultados apresentados, foi disponibilizado um registro em vídeo do funcionamento do protótipo durante os testes do sistema segue-linha. O vídeo permite visualizar o comportamento do carrinho durante a execução da trajetória proposta e pode ser acessado por meio do link a seguir.

Vídeo de demonstração do sistema segue-linha

Os códigos utilizados na implementação e nos testes do sistema segue-linha são apresentados nos Apêndices A e B.

4.4 Resultados da Comunicação Bluetooth

A implementação da comunicação Bluetooth ampliou significativamente as possibilidades de utilização do protótipo, permitindo que o robô operasse também em modo manual por meio da interação com dispositivos móveis. Para essa finalidade, foi utilizado o aplicativo Arduino Bluetooth Control, um aplicativo de terceiros disponível gratuitamente na Google Play Store, não desenvolvido como parte deste trabalho. Utilizando o módulo HC-05 e o aplicativo instalado em um smartphone, foi possível realizar o controle remoto do veículo de maneira intuitiva e com respostas satisfatórias aos comandos enviados pelo usuário.

A utilização de um aplicativo gratuito contribui para a proposta de baixo custo do kit, uma vez que permite a implementação do controle manual sem a necessidade de desenvolvimento ou aquisição de um software específico. Além disso, o aplicativo possibilita a configuração de comandos enviados ao módulo Bluetooth, permitindo sua integração com as funcionalidades programadas no protótipo.

As funções disponibilizadas incluíram deslocamento para frente, marcha à ré, curvas à esquerda, curvas à direita, parada do veículo, acionamento dos faróis e ativação da buzina eletrônica. Durante os testes, verificou-se que a comunicação estabelecida entre o smartphone e

o módulo Bluetooth apresentou boa velocidade de resposta, permitindo o controle remoto do robô em tempo real.

O código-fonte da comunicação Bluetooth utilizado nos testes é apresentado no Apêndice C.

Entretanto, nos ensaios iniciais foram observados episódios de perda momentânea da conexão Bluetooth. Em determinadas situações, o carrinho permanecia executando o último comando recebido mesmo após a interrupção da comunicação com o dispositivo móvel, comprometendo a previsibilidade do comportamento do sistema.

Após investigação, constatou-se que parte dessa instabilidade estava associada à alimentação elétrica compartilhada entre os motores e os componentes responsáveis pelo circuito lógico. As oscilações de tensão provocadas pelo acionamento dos motores afetavam diretamente o funcionamento do módulo Bluetooth, ocasionando falhas temporárias na comunicação.

Como medida corretiva, optou-se pela utilização de fontes independentes para os circuitos de potência e de controle. Essa modificação proporcionou melhora significativa na estabilidade do sistema, reduzindo consideravelmente a ocorrência das falhas observadas durante os testes preliminares.

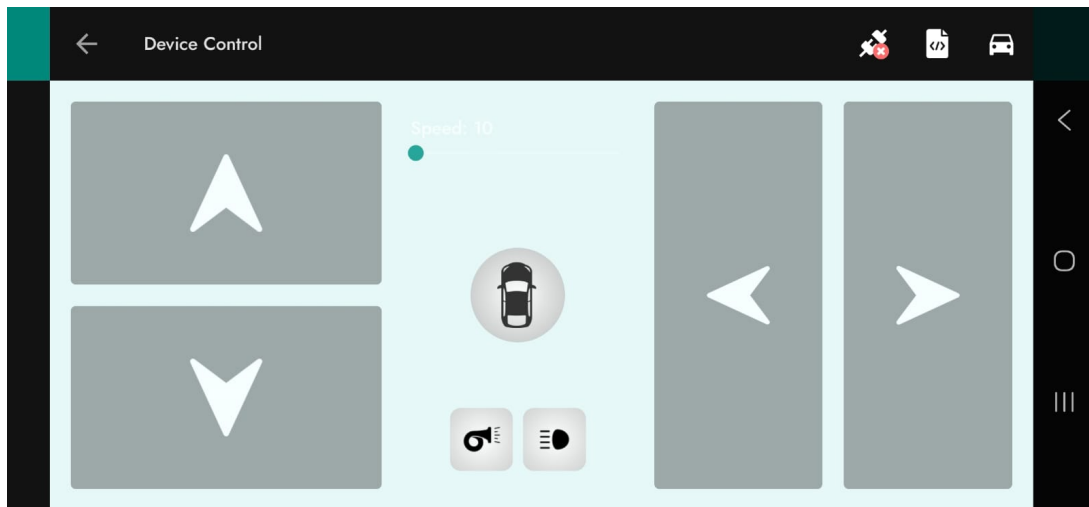
Além disso, ajustes adicionais foram implementados na lógica de programação visando tornar a alternância entre os modos de operação mais intuitiva para o usuário. Na configuração final adotada, o robô inicia automaticamente em modo autônomo sempre que é energizado. Ao estabelecer uma conexão Bluetooth, o sistema passa a operar em modo manual, permanecendo nessa condição até que o equipamento seja desligado e reiniciado.

Essa estratégia simplificou a experiência de utilização do kit didático, eliminando a necessidade de comandos específicos para alternância entre os modos de operação e reduzindo a complexidade de interação durante atividades educacionais.

Após as correções implementadas, o sistema apresentou funcionamento estável durante os testes realizados, permitindo o controle remoto eficiente do protótipo e ampliando as possibilidades de utilização do robô tanto em demonstrações quanto em atividades de ensino.

Os resultados obtidos evidenciaram que a integração entre comunicação sem fio e sistemas embarcados pode ser implementada utilizando componentes de baixo custo, mantendo desempenho satisfatório e contribuindo para o enriquecimento das experiências proporcionadas pela robótica educacional.

Figura 14 – Interface do aplicativo utilizado para o controle do protótipo.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

4.5 Resultados dos Sistemas Auxiliares

Além das funcionalidades principais relacionadas à movimentação e ao sistema segue-linha, foram implementados recursos complementares com o objetivo de ampliar as possibilidades de interação com o protótipo e demonstrar a integração de diferentes dispositivos em um mesmo sistema embarcado.

Entre os sistemas auxiliares desenvolvidos destacam-se o sistema de iluminação, composto por LEDs dianteiros, a buzina eletrônica implementada por meio de um *buzzer* passivo e o sistema de detecção de obstáculos utilizando o sensor ultrassônico HC-SR04.

Os LEDs foram programados para responder a comandos específicos enviados pelo aplicativo Bluetooth. Durante os testes realizados, o acionamento e o desligamento ocorreram de maneira imediata, sem atrasos perceptíveis e sem interferir no funcionamento dos demais módulos do carrinho.

A implementação do sistema de iluminação permitiu demonstrar, de forma simples e prática, conceitos relacionados ao acionamento de saídas digitais e ao controle simultâneo de diferentes atuadores por meio do microcontrolador. Embora represente uma funcionalidade secundária, sua presença tornou o protótipo mais atrativo durante demonstrações e atividades educacionais.

Da mesma forma, a buzina eletrônica apresentou desempenho adequado. Inicialmente, os sons produzidos pelo *buzzer* eram compostos por frequências fixas e apresentavam pouca semelhança com uma buzina automotiva convencional. Com o objetivo de tornar a experiência mais realista e agradável aos usuários, diversos ajustes foram realizados nos parâmetros responsáveis pela geração dos sinais sonoros.

Após sucessivas modificações nas frequências emitidas e nos tempos de acionamento,

obteve-se um efeito sonoro mais grave e compatível com o comportamento esperado para esse tipo de dispositivo, contribuindo para tornar a interação com o carrinho mais intuitiva e divertida.

Outro recurso implementado foi o sensor ultrassônico HC-SR04, responsável pela detecção de obstáculos posicionados à frente do protótipo. Durante os ensaios realizados, verificou-se que o sistema foi capaz de identificar objetos dentro da distância previamente estabelecida no software, interrompendo automaticamente o deslocamento do veículo e emitindo um sinal sonoro de alerta por meio do *buzzer*.

A centralização do sensor ultrassônico na parte frontal do carrinho contribuiu para ampliar o campo de detecção de obstáculos, melhorando a confiabilidade das leituras e reduzindo a ocorrência de falhas associadas ao posicionamento inadequado do dispositivo.

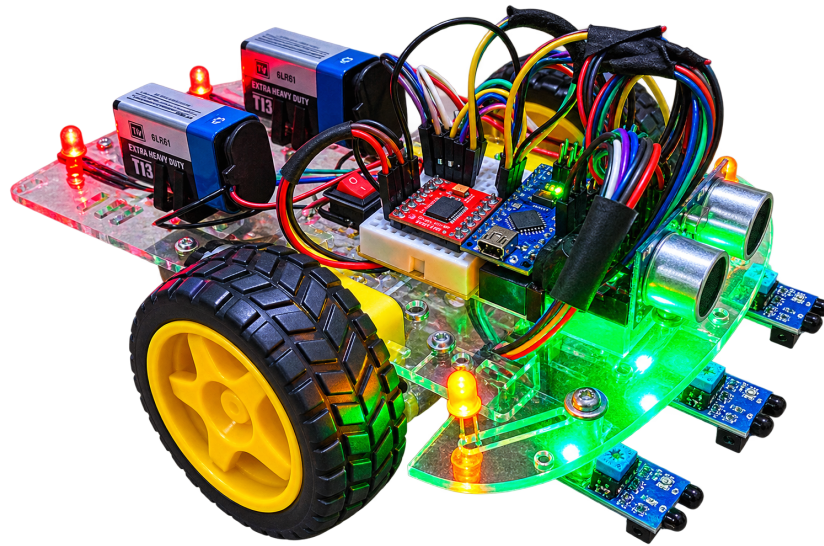
Embora os sistemas auxiliares não constituam funcionalidades essenciais para o deslocamento do veículo, sua integração contribuiu significativamente para enriquecer o projeto, tornando o protótipo mais interativo e evidenciando a flexibilidade proporcionada pelas plataformas embarcadas utilizadas.

Além de ampliar as possibilidades de utilização do kit didático, esses recursos permitiram demonstrar aos estudantes que sistemas robóticos são compostos pela integração de diversos subsistemas capazes de atuar simultaneamente para atender aos objetivos estabelecidos.

Os resultados obtidos com os sistemas auxiliares também evidenciaram que funcionalidades aparentemente simples exigiram ajustes durante o processo de desenvolvimento para que fossem adequadamente integradas ao funcionamento geral do protótipo. O refinamento dos sinais sonoros e o posicionamento do sensor ultrassônico demonstram, nesse sentido, que o desempenho do sistema não depende apenas da implementação individual de cada componente, mas também da forma como esses recursos são configurados e integrados aos demais subsistemas.

A Figura 15 apresenta o sistema de iluminação do protótipo durante o seu acionamento. A imagem permite visualizar a integração dos LEDs ao carrinho robótico e demonstra, na prática, o funcionamento desse recurso auxiliar. Durante os testes, verificou-se que o acionamento ocorreu conforme os comandos enviados pelo aplicativo Bluetooth, sem interferências perceptíveis nas demais funcionalidades do sistema.

Figura 15 – Sistema de LEDs acionado.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

4.6 Análise das Dificuldades Encontradas

O desenvolvimento do presente trabalho evidenciou que a construção de sistemas embarcados envolve desafios que ultrapassam a simples conexão entre componentes eletrônicos. Ao longo da execução do projeto, diversas dificuldades surgiram, exigindo investigação, testes sucessivos e tomada de decisões técnicas para garantir o funcionamento adequado do protótipo.

Uma das principais dificuldades esteve relacionada à alimentação elétrica do sistema. Durante os testes iniciais, verificou-se que a utilização de uma única fonte para alimentar simultaneamente os motores e os componentes responsáveis pelo circuito lógico provocava oscilações de tensão capazes de afetar diretamente o funcionamento do módulo Bluetooth.

Essas oscilações ocasionavam perdas momentâneas de comunicação e, em determinadas situações, resultavam na permanência do carrinho em movimento mesmo após a interrupção da conexão com o smartphone. Após análise do comportamento observado, optou-se pela utilização de fontes independentes para os circuitos de potência e de controle. A adoção dessa estratégia proporcionou melhora significativa na estabilidade do sistema, reduzindo falhas e aumentando a confiabilidade do protótipo.

Outro desafio importante esteve relacionado à disposição física dos motores no chassi. Durante os testes realizados com o controle Bluetooth, verificou-se que determinadas manobras eram executadas de forma invertida em relação aos comandos enviados pelo usuário. A investigação permitiu identificar que essa inversão estava associada à montagem mecânica adotada no protótipo. A solução implementada consistiu na modificação da lógica de programação responsável pelo acionamento do driver TB6612FNG, eliminando a necessidade de alterações mecânicas adicionais.

Também foram identificadas dificuldades relacionadas à calibração dos sensores infravermelhos utilizados no algoritmo segue-linha. As leituras apresentavam variações em função da iluminação do ambiente, da distância em relação ao solo e das características do material empregado na pista de testes. A realização de sucessivos ajustes permitiu definir parâmetros mais adequados para a identificação da linha, aumentando a precisão das correções de trajetória executadas pelo sistema.

Durante os testes finais do modo autônomo, observou-se ainda uma situação específica não prevista na lógica inicial de programação. Quando os três sensores infravermelhos detectavam simultaneamente a superfície escura, apenas uma das rodas permanecia acionada, provocando a rotação indesejada do veículo e comprometendo a estabilidade do comportamento esperado.

A análise desse problema evidenciou a importância da validação prática dos algoritmos desenvolvidos. Como solução, foi incorporada ao software uma condição específica determinando a parada completa do carrinho sempre que os três sensores identificassem simultaneamente a cor preta. Após a implementação dessa correção, o comportamento do sistema tornou-se mais previsível e seguro.

Também foram observadas dificuldades relacionadas à organização física dos componentes eletrônicos. A utilização de protoboard e *jumpers*, embora extremamente útil durante a etapa de desenvolvimento, resultava em grande quantidade de conexões expostas, dificultando a manutenção e aumentando o risco de desconexões acidentais durante a movimentação do protótipo.

Apesar dessas limitações, a escolha pela prototipagem utilizando conexões provisórias mostrou-se adequada às necessidades do projeto, permitindo modificações rápidas, substituição de componentes e identificação eficiente de falhas ao longo do processo de desenvolvimento.

As dificuldades enfrentadas durante a execução deste trabalho desempenharam papel fundamental na formação acadêmica da autora, proporcionando experiências práticas relacionadas à resolução de problemas, ao pensamento crítico e ao aprimoramento contínuo das soluções adotadas.

Mais do que obstáculos, os desafios encontrados constituíram oportunidades de aprendizagem, evidenciando que o desenvolvimento de sistemas de engenharia exige persistência, capacidade de adaptação e tomada de decisões fundamentadas em observações experimentais.

4.7 Otimização do Protótipo

Durante a fase final de desenvolvimento, observou-se que a configuração inicialmente adotada utilizando o microcontrolador Arduino Uno ocupava um espaço considerável no interior do chassi do protótipo, dificultando a organização das conexões elétricas e aumentando o volume do conjunto eletrônico.

Embora o Arduino Uno tenha desempenhado papel fundamental durante as etapas iniciais de desenvolvimento e validação das funcionalidades implementadas, sua utilização evidenciou limitações relacionadas às dimensões físicas da placa e à disposição dos componentes sobre a estrutura do carrinho.

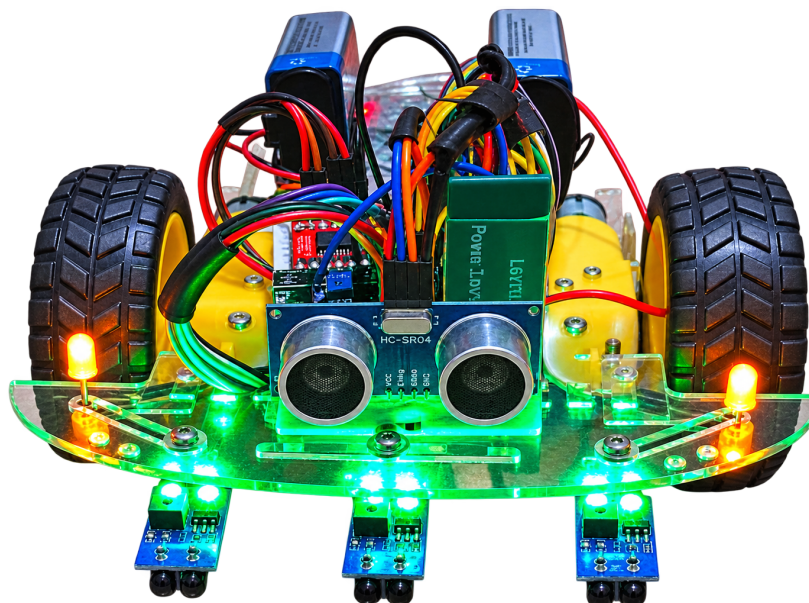
Diante dessa limitação, optou-se pela substituição do Arduino Uno pelo Arduino Nano, mantendo-se todas as funcionalidades originalmente previstas no projeto. Essa decisão foi tomada somente após a confirmação do funcionamento adequado do sistema, de modo a preservar a estabilidade obtida durante os testes e evitar a introdução de novas variáveis antes da validação completa do protótipo.

A migração para o Arduino Nano proporcionou uma significativa redução do espaço ocupado pelo sistema de controle, permitindo melhor distribuição dos componentes eletrônicos, diminuição do comprimento dos cabos de interligação e redução da quantidade de cruzamentos entre os fios.

Além dos benefícios relacionados à organização interna do protótipo, a nova configuração contribuiu para a melhoria do aspecto visual do sistema, resultando em um conjunto mais compacto, robusto e adequado à proposta de desenvolvimento de um kit didático de robótica educacional.

Após a reorganização dos componentes e a adoção do Arduino Nano, o protótipo passou a apresentar uma configuração mais compacta e organizada, conforme pode ser observado na Figura 16.

Figura 16 – Vista frontal do protótipo final desenvolvido.



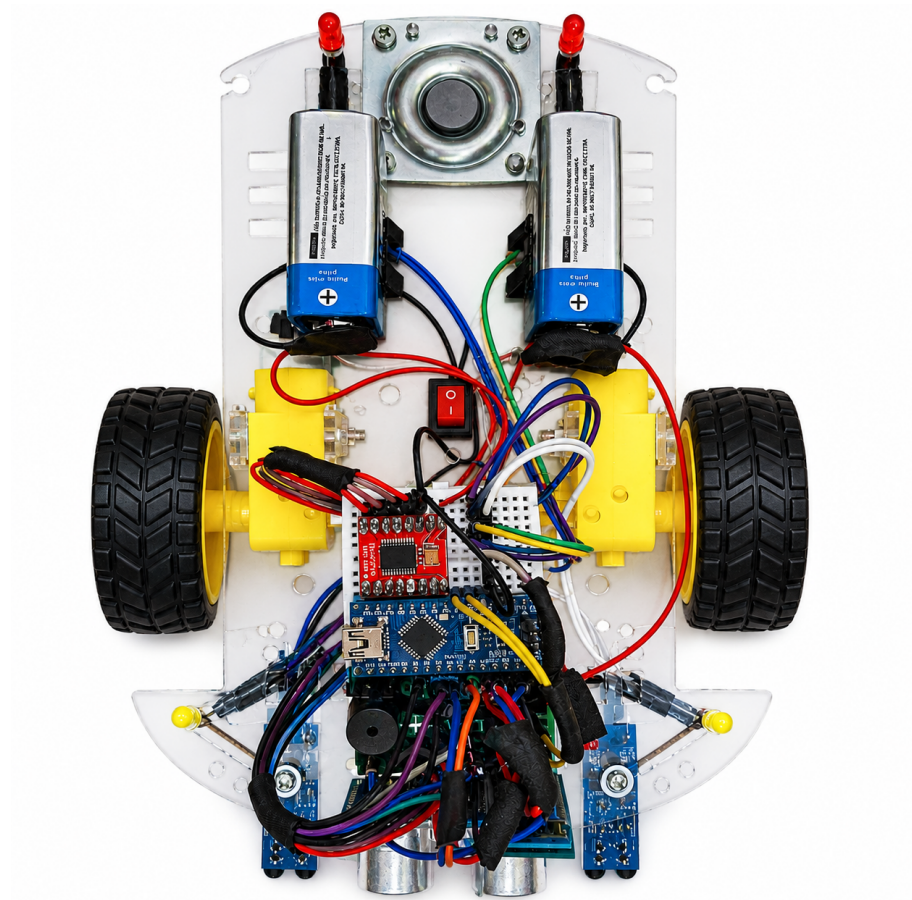
Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Pode-se observar a disposição dos sensores infravermelhos responsáveis pelo seguimento da linha, o sensor ultrassônico utilizado para detecção de obstáculos e o sistema de iluminação

instalado na região frontal do veículo. A centralização do sensor ultrassônico contribuiu para ampliar o campo de detecção de objetos posicionados à frente do carrinho, favorecendo o desempenho do sistema durante os ensaios realizados.

A organização interna alcançada após a etapa de otimização pode ser observada na Figura 17, evidenciando a disposição dos componentes eletrônicos sobre o chassi do protótipo.

Figura 17 – Vista superior do protótipo final com destaque para a organização dos componentes eletrônicos.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A reorganização física dos módulos permitiu reduzir significativamente a complexidade das interligações elétricas, facilitando futuras manutenções e proporcionando maior confiabilidade ao sistema embarcado. O posicionamento mais compacto dos componentes também favoreceu a distribuição do peso sobre o chassi, contribuindo para a estabilidade do protótipo durante os deslocamentos.

Além dos ganhos técnicos obtidos, a otimização realizada reforça uma importante característica dos projetos de engenharia: a busca contínua pelo aperfeiçoamento das soluções desenvolvidas. A versão final do protótipo demonstra que, mesmo após o atendimento dos requisitos inicialmente estabelecidos, é possível identificar oportunidades de melhoria capazes de tornar o sistema mais eficiente, organizado e adequado ao contexto de aplicação proposto.

Dessa forma, a mudança do Arduino Uno para o Arduino Nano não representou apenas uma substituição de componentes, mas sim o amadurecimento do projeto, evidenciando a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

4.8 Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho demonstram que a utilização de plataformas abertas de desenvolvimento, associadas a componentes eletrônicos amplamente disponíveis no mercado nacional, possibilita a construção de sistemas robóticos funcionais com investimento relativamente reduzido e elevado potencial de aplicação educacional. Além da validação do protótipo robótico, o desenvolvimento da biblioteca IFRobot e dos materiais didáticos ampliou o alcance da proposta, transformando o projeto em um kit didático voltado ao ensino de robótica educacional.

O protótipo desenvolvido foi capaz de integrar diferentes tecnologias em uma única solução, reunindo conceitos relacionados à programação, eletrônica, automação, instrumentação, sistemas embarcados e robótica móvel. A integração entre sensores, atuadores e comunicação sem fio permitiu que o carrinho operasse tanto em modo autônomo quanto em modo manual, atendendo aos objetivos inicialmente estabelecidos para o projeto.

Os resultados observados evidenciam que a utilização de metodologias baseadas na experimentação prática favorece não apenas a compreensão dos conteúdos técnicos, mas também o desenvolvimento de competências relacionadas à investigação, à resolução de problemas e à tomada de decisões fundamentadas em evidências experimentais.

Ao longo do desenvolvimento, diversas dificuldades exigiram adaptações e aperfeiçoamentos contínuos. Problemas relacionados à alimentação elétrica, à interpretação dos sinais provenientes dos sensores infravermelhos, à lógica de acionamento dos motores e à organização física dos componentes demandaram sucessivos ciclos de análise, testes e correções.

Longe de comprometer a qualidade do trabalho, essas dificuldades contribuíram significativamente para o amadurecimento do projeto e para a consolidação dos conhecimentos adquiridos durante a graduação. A necessidade de investigar as causas dos problemas encontrados e implementar soluções adequadas evidenciou a importância do pensamento crítico e da persistência no contexto da prática profissional da engenharia.

Quando comparado a kits comerciais de robótica educacional, o protótipo desenvolvido apresenta vantagens relacionadas à flexibilidade de configuração, à possibilidade de intervenção direta do usuário em todas as etapas de montagem e programação e à utilização de componentes facilmente encontrados no mercado nacional.

Além disso, a participação ativa no processo de construção do sistema permite que o estudante deixe de assumir apenas o papel de usuário da tecnologia e passe a compreender

efetivamente seu funcionamento, desenvolvendo autonomia, criatividade e confiança para propor suas próprias soluções.

Outro aspecto relevante refere-se ao caráter evolutivo do desenvolvimento. A migração do Arduino Uno para o Arduino Nano demonstra que soluções inicialmente adequadas podem ser posteriormente aperfeiçoadas à medida que novas necessidades são identificadas. Essa característica evidencia que projetos de engenharia raramente são estáticos, sendo continuamente refinados em busca de maior eficiência, organização e confiabilidade.

Sob a perspectiva educacional, os resultados obtidos reforçam o potencial da robótica como ferramenta capaz de aproximar teoria e prática, despertando o interesse dos estudantes pelas áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática. Ao transformar conceitos abstratos em aplicações concretas e interativas, atividades dessa natureza favorecem aprendizagens mais significativas e estimulam o protagonismo dos participantes.

Dessa forma, os resultados apresentados mostram que o protótipo desenvolvido cumpriu adequadamente os objetivos propostos, demonstrando que soluções acessíveis e baseadas em tecnologias abertas podem apresentar desempenho satisfatório quando associadas a planejamento adequado, testes iterativos e constante processo de aperfeiçoamento.

Mais do que um protótipo funcional, o kit didático IFRobot desenvolvido ao longo deste trabalho representa uma ferramenta de aprendizagem composta por hardware, software e materiais didáticos integrados. Ao reunir um carrinho robótico, uma biblioteca de programação em português e recursos destinados aos estudantes e professores, o projeto amplia as possibilidades de utilização da robótica educacional, contribuindo para a democratização do acesso às tecnologias e para a formação de futuros profissionais mais preparados para os desafios da sociedade contemporânea.

4.9 Análise Comparativa da Proposta Desenvolvida

A análise dos trabalhos relacionados evidencia que diferentes iniciativas têm buscado utilizar a robótica como ferramenta de apoio ao processo de ensino e aprendizagem. Entretanto, observa-se que cada proposta apresenta características específicas relacionadas aos objetivos pedagógicos, ao público-alvo, aos recursos tecnológicos empregados e aos custos envolvidos.

Os manipuladores robóticos desenvolvidos no projeto de pesquisa do IFMG demonstraram que atividades práticas baseadas em tecnologias abertas favorecem o desenvolvimento do raciocínio lógico e despertam o interesse dos estudantes pelas áreas tecnológicas. Da mesma forma, o robô seguidor de linha proposto por Basoni *et al.* (2022) evidenciou que é possível desenvolver soluções educacionais de baixo custo capazes de introduzir conceitos relacionados à programação e à automação.

Por outro lado, kits comerciais amplamente difundidos, como os desenvolvidos pela

Lego Education e pela Modelix, apresentam elevado potencial didático devido à qualidade dos materiais, à existência de conteúdos estruturados e à diversidade de atividades propostas. Entretanto, os custos associados à aquisição desses sistemas podem dificultar sua utilização em larga escala, especialmente em instituições públicas e projetos com restrições orçamentárias.

Nesse contexto, o presente trabalho diferencia-se por propor um kit didático de robótica educacional de baixo custo, composto por um robô terrestre com movimento por rodas, uma biblioteca de programação em português para Arduino e materiais didáticos destinados ao apoio de estudantes e professores. Além das funcionalidades de controle manual por Bluetooth, seguimento de linha, detecção de obstáculos utilizando sensor ultrassônico, sistema de iluminação por LEDs e sinalização sonora por meio de *buzzer*, o kit busca facilitar a introdução de conceitos relacionados à programação, eletrônica e automação em ambientes educacionais.

A Tabela 3 apresenta uma comparação entre os principais trabalhos analisados e o protótipo desenvolvido nesta pesquisa.

Tabela 3 – Comparação entre os trabalhos relacionados e a proposta desenvolvida.

Trabalho	Público-alvo	Tecnologia	Custo	Principais características
Projeto de pesquisa do IFMG (Silva et al., 2019)	Educação básica	Arduino e servomotores	Baixo	Manipuladores robóticos voltados ao ensino de programação e automação.
Basoni et al. (2022)	Ensino médio e superior	Arduino Nano	Baixo	Robô seguidor de linha para iniciação à robótica educacional.
Lego Education	Ensino básico	Plataforma proprietária	Alto	Kits estruturados com amplo material didático e diversas possibilidades de montagem.
Modelix	Ensino básico	Kits proprietários	Médio/alto	Soluções nacionais voltadas ao ensino de robótica e programação.
Kit didático desenvolvido neste trabalho	Educação infantil e básica	Arduino Nano e hardware aberto	Baixo	Carrinho robótico, biblioteca de programação para Arduino, materiais didáticos de apoio, controle Bluetooth, seguimento de linha, detecção de obstáculos, <i>buzzer</i> e LEDs.

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A partir da comparação realizada, observa-se que o sistema desenvolvido neste trabalho apresenta características capazes de atender aos objetivos educacionais propostos, associando recursos tecnológicos diversificados a uma proposta financeiramente acessível. Além disso, a uti-

lização de componentes amplamente disponíveis no mercado nacional favorece a replicabilidade da solução em diferentes contextos educacionais.

Dessa forma, o presente estudo busca contribuir para a democratização do acesso à robótica educacional, demonstrando que é possível desenvolver kits didáticos funcionais, economicamente viáveis e acompanhados de recursos que auxiliem o processo de ensino e aprendizagem, aproximando crianças e adolescentes das tecnologias que caracterizam a sociedade contemporânea.

4.10 Análise Econômica e Relevância Social do Protótipo

Além da validação técnica das funcionalidades implementadas, realizou-se uma análise econômica do protótipo desenvolvido com o objetivo de verificar a viabilidade financeira da proposta apresentada. Considerando que o principal propósito deste trabalho consiste no desenvolvimento de um kit didático de robótica de baixo custo, torna-se fundamental avaliar o investimento necessário para sua reprodução em contextos educacionais.

A Tabela 4 apresenta os custos estimados dos componentes empregados na construção do robô móvel desenvolvido neste trabalho.

Tabela 4 – Custos dos componentes empregados no protótipo desenvolvido.

Componente	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Subtotal (R\$)
Kit chassi (incluindo rodas, roda boba, chave liga/desliga e estrutura)	1	52,00	52,00
Arduino Nano	1	35,00	35,00
Driver TB6612FNG	1	22,00	22,00
Módulo Bluetooth HC-05	1	28,00	28,00
Sensor ultrassônico HC-SR04	1	10,00	10,00
Sensores infravermelhos	3	5,00	15,00
Baterias recarregáveis utilizadas no protótipo	2	13,00	26,00
Conectores para baterias	2	6,00	12,00
<i>buzzer</i> passivo	1	3,00	3,00
LEDs e resistores	1 conjunto	5,00	5,00
Placa de prototipagem	1	2,00	2,00
Parafusos e elementos de fixação	1 conjunto	3,00	3,00
<i>Jumpers</i> e fios de interligação	1 conjunto	10,00	10,00
Custo total estimado			R\$ 223,00

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Observa-se que o custo total estimado para construção do protótipo foi de aproximadamente R\$ 223,00. Entretanto, esse valor representa uma condição específica de desenvolvimento, baseada na aquisição unitária dos componentes e na utilização de materiais escolhidos visando maior durabilidade durante os testes realizados.

No presente trabalho, optou-se pela utilização de baterias recarregáveis com custo aproximado de R\$ 13,00 por unidade, em função de sua maior vida útil e estabilidade de operação. Todavia, baterias convencionais disponíveis no mercado nacional podem ser adquiridas por valores próximos de R\$ 5,90 cada, reduzindo significativamente o investimento inicial necessário para reprodução do projeto.

De maneira semelhante, os conectores empregados na alimentação do sistema podem ser substituídos por soluções adaptadas a partir de materiais reaproveitados. Durante parte do desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados conectores obtidos de baterias e equipamentos eletrônicos descartados, demonstrando que alternativas criativas podem contribuir para a redução dos custos sem comprometer a funcionalidade do sistema.

Considerando essas estratégias de economia e reaproveitamento, estima-se que o custo de reprodução do protótipo possa ser reduzido para aproximadamente R\$ 197,00.

Além disso, deve-se destacar que os valores apresentados correspondem à aquisição individual dos componentes. Em cenários de implementação em escolas, oficinas de robótica, projetos de extensão universitária ou produção em maior escala, a compra em quantidade tende a reduzir consideravelmente os custos unitários de itens como placas Arduino Nano, drivers TB6612FNG, sensores infravermelhos, módulos Bluetooth, *jumpers* e placas de prototipagem.

Nessas condições, estima-se que o valor final do kit possa situar-se entre R\$ 160,00 e R\$ 180,00 por unidade, dependendo do volume adquirido e do grau de reaproveitamento de materiais disponíveis na instituição responsável pela implementação.

Esse resultado torna-se ainda mais expressivo quando comparado aos kits comerciais de robótica educacional amplamente difundidos no mercado nacional, cujos valores frequentemente ultrapassam R\$ 1.200,00 por unidade. Dessa forma, o protótipo desenvolvido apresenta potencial para oferecer experiências educacionais semelhantes com investimento significativamente inferior, favorecendo a democratização do acesso às tecnologias educacionais.

Entretanto, a relevância deste trabalho transcende os aspectos estritamente econômicos.

O carrinho de controle remoto ocupa um espaço especial no imaginário infantil. Para muitas crianças, ele representa curiosidade, diversão, descoberta e o desejo de explorar o funcionamento dos objetos ao seu redor. Contudo, em uma realidade marcada por desigualdades socioeconômicas, o acesso a brinquedos tecnológicos e kits educacionais ainda permanece distante para grande parcela da população brasileira.

Nesse contexto, iniciativas de baixo custo como a proposta apresentada podem representar oportunidades concretas de inclusão tecnológica, especialmente em escolas públicas, projetos sociais e atividades de extensão universitária.

Portanto, os resultados obtidos demonstram que o desenvolvimento de kits didáticos baseados em plataformas abertas constitui uma solução tecnicamente viável, economicamente acessível e socialmente relevante. Ao aproximar tecnologia e educação por meio de experiências significativas, o presente trabalho reforça que o acesso à robótica não deve constituir privilégio de poucos, mas uma oportunidade capaz de inspirar, transformar trajetórias e ampliar horizontes para as futuras gerações.

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A crescente presença da automação, da robótica e dos sistemas inteligentes nos mais diversos setores da sociedade evidencia a importância da formação de profissionais capazes de compreender, projetar, integrar e adaptar soluções tecnológicas às necessidades reais da população. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver e implementar o kit didático IFRobot, uma solução de robótica educacional de baixo custo composta por um carrinho robótico, uma biblioteca de programação desenvolvida em português para Arduino e materiais didáticos destinados aos estudantes e professores. A proposta buscou integrar conceitos fundamentais da Engenharia de Controle e Automação em uma solução educacional funcional, acessível e voltada ao ensino de programação, eletrônica e robótica.

Ao longo do desenvolvimento do projeto, foi possível aplicar conhecimentos adquiridos durante a graduação, abrangendo áreas como eletrônica analógica e digital, sistemas embarcados, programação, instrumentação, sensores, atuadores, comunicação sem fio e integração de dispositivos. O processo exigiu não apenas domínio técnico, mas também planejamento, capacidade de adaptação, criatividade e tomada de decisões diante das dificuldades encontradas.

Além do desenvolvimento do protótipo robótico, o trabalho foi ampliado com a criação da biblioteca IFRobot e de materiais didáticos voltados ao apoio das atividades educacionais. Esses recursos complementam o kit desenvolvido, tornando sua utilização mais acessível para estudantes iniciantes e fornecendo suporte aos professores na aplicação de conceitos de programação, eletrônica e robótica em sala de aula.

Os resultados obtidos demonstraram que os objetivos inicialmente propostos foram plenamente alcançados. O protótipo desenvolvido apresentou funcionamento satisfatório, sendo capaz de executar movimentações básicas com estabilidade, responder adequadamente aos comandos enviados por meio da comunicação Bluetooth e operar de forma autônoma utilizando o algoritmo segue-linha implementado com sensores infravermelhos.

Além das funcionalidades principais, recursos complementares foram incorporados ao sistema, como o acionamento remoto dos faróis, a implementação de uma buzina eletrônica e a utilização do sensor ultrassônico HC-SR04 para detecção de obstáculos. A integração desses dispositivos demonstrou a flexibilidade proporcionada pelas plataformas abertas, evidenciando a possibilidade de desenvolvimento de sistemas embarcados capazes de reunir múltiplas funcionalidades em uma única solução.

Outro aspecto relevante refere-se ao processo de otimização do protótipo. Embora os testes iniciais tenham sido realizados utilizando o Arduino Uno, a versão final do sistema passou a utilizar o Arduino Nano, proporcionando redução significativa do espaço ocupado pelos componentes eletrônicos, melhor organização das conexões e maior adequação às dimensões do chassi empregado. Essa evolução evidencia o caráter iterativo do desenvolvimento em engenharia, no qual soluções inicialmente adotadas podem ser continuamente aperfeiçoadas a partir da

observação prática e dos resultados obtidos experimentalmente.

Entretanto, tão importante quanto o produto final obtido foi a trajetória percorrida durante sua construção. O desenvolvimento do protótipo evidenciou que a engenharia não se limita à aplicação direta de fórmulas e procedimentos previamente estabelecidos. Ao contrário, exige investigação contínua, análise crítica, persistência e capacidade de adaptação diante das incertezas inerentes aos processos tecnológicos.

Diversas dificuldades surgiram ao longo da execução deste trabalho. Problemas relacionados à alimentação elétrica ocasionaram instabilidades na comunicação Bluetooth e interferiram no comportamento do sistema. A disposição física dos motores resultou inicialmente em comandos invertidos, exigindo alterações na lógica de programação. Os sensores infravermelhos apresentaram elevada sensibilidade às condições ambientais, tornando necessária a realização de sucessivos testes de calibração. Além disso, a organização dos componentes eletrônicos e a distribuição das conexões demandaram revisões constantes até que se alcançasse uma configuração confiável e funcional.

Cada obstáculo encontrado representou uma oportunidade de aprendizagem. As soluções implementadas foram construídas a partir da observação prática, da pesquisa, da experimentação e da análise sistemática dos resultados, reforçando a importância do método científico e do raciocínio estruturado na resolução de problemas de engenharia.

Sob o ponto de vista econômico, os resultados também se mostraram expressivos. A análise de custos demonstrou que o protótipo pode ser reproduzido com investimento aproximado de R\$ 223,00 utilizando os componentes efetivamente empregados neste trabalho. Adicionalmente, a adoção de estratégias de reaproveitamento de materiais e a aquisição de componentes em maior escala podem reduzir o custo estimado para valores entre R\$ 160,00 e R\$ 180,00 por unidade, tornando a proposta significativamente mais acessível do que kits comerciais de robótica educacional baseados em arduino, frequentemente comercializados por valores superiores a R\$ 1.200,00.

Mais do que comprovar a viabilidade técnica do desenvolvimento de um kit didático de robótica de baixo custo, este trabalho buscou demonstrar que o acesso à tecnologia pode e deve ser democratizado. O carrinho robótico constitui o elemento prático do kit, sendo complementado por uma biblioteca de programação em português e por materiais didáticos desenvolvidos para apoiar estudantes e professores durante o processo de aprendizagem.

O carrinho de controle remoto ocupa lugar especial na memória afetiva de muitas crianças, frequentemente associado à curiosidade, à diversão e ao desejo de explorar o funcionamento do mundo ao seu redor. Entretanto, para grande parcela da população brasileira, o acesso a brinquedos tecnológicos e kits educacionais ainda representa uma realidade distante.

Ao transformar um objeto tradicionalmente associado ao entretenimento em uma ferramenta de aprendizagem e integrá-lo a uma biblioteca de programação e a materiais didáticos, esta

proposta permite que estudantes deixem de ser apenas consumidores de tecnologia e assumam o papel de criadores, compreendendo os princípios que regem o funcionamento dos sistemas que utilizam diariamente. Dessa forma, o kit didático desenvolvido representa não apenas um conjunto de recursos tecnológicos, mas também uma oportunidade de despertar vocações, estimular a criatividade e aproximar o conhecimento científico da realidade dos estudantes.

Conclui-se, portanto, que o presente trabalho atingiu plenamente os objetivos propostos, demonstrando a viabilidade técnica, econômica e educacional do desenvolvimento do kit didático IFRobot. A integração entre o robô, a biblioteca de programação em português e os materiais didáticos desenvolvidos resultou em uma solução acessível e voltada ao ensino de robótica educacional, possibilitando sua aplicação em escolas, projetos de extensão universitária e iniciativas de divulgação científica. Espera-se que esta proposta possa servir de inspiração para futuros estudantes, professores e pesquisadores, incentivando o desenvolvimento de soluções capazes de aproximar teoria e prática, ampliar o acesso à tecnologia e contribuir para a formação de profissionais mais criativos, críticos e preparados para os desafios da sociedade contemporânea.

5.1 Trabalhos Futuros

Embora os objetivos propostos neste trabalho tenham sido alcançados, diversas possibilidades de aprimoramento podem ser exploradas em estudos futuros, ampliando as funcionalidades e o potencial de aplicação do kit didático IFRobot.

Uma das principais melhorias consiste na substituição da placa universal perfurada por uma placa de circuito impresso dedicada (PCB), proporcionando maior robustez mecânica, melhor organização dos componentes eletrônicos e redução do risco de falhas ocasionadas por desconexões acidentais.

Outra possibilidade de aprimoramento está relacionada ao sistema de alimentação do protótipo. Embora as baterias de 9 V utilizadas tenham atendido às necessidades dos testes realizados neste trabalho, uma futura versão do kit poderá utilizar baterias de lítio, como as células do tipo 18650, associadas a um sistema adequado de gerenciamento e recarga. Essa alternativa poderá proporcionar maior autonomia e melhor capacidade de fornecimento de corrente, tornando o sistema mais adequado para períodos prolongados de utilização em atividades educacionais.

Também se destaca a implementação de técnicas de controle mais avançadas, como controladores PID, visando aumentar a precisão do algoritmo segue-linha e reduzir oscilações em trajetórias mais complexas, tornando-as mais suaves.

Outra possibilidade envolve o desenvolvimento de um aplicativo próprio para dispositivos móveis, permitindo maior personalização da interface de controle, monitoramento em tempo real das condições de operação e configuração remota dos parâmetros do sistema.

Adicionalmente, podem ser incorporados novos recursos ao protótipo, tais como senso-

res adicionais, comunicação baseada em Internet das Coisas (IoT), transmissão de dados para plataformas em nuvem e estratégias mais sofisticadas de navegação autônoma.

Como continuidade da proposta educacional apresentada neste trabalho, recomenda-se também a expansão da biblioteca IFRobot e dos materiais didáticos desenvolvidos. Novas funções podem ser incorporadas à biblioteca para atender diferentes aplicações em robótica educacional, enquanto a apostila do estudante e o manual do professor poderão receber novos conteúdos, exercícios, desafios práticos e roteiros de aulas, possibilitando sua utilização em diferentes níveis de ensino e ampliando o alcance da plataforma.

Por fim, recomenda-se a utilização do kit desenvolvido em projetos de extensão universitária, oficinas de robótica, atividades de divulgação científica e programas voltados à educação básica, permitindo avaliar sua aplicação em situações reais de ensino e identificar oportunidades de aperfeiçoamento a partir da experiência de professores e estudantes.

Dessa forma, espera-se que este trabalho seja não apenas a conclusão de uma etapa acadêmica, mas também o ponto de partida para novas pesquisas e iniciativas voltadas à democratização do acesso à robótica educacional, promovendo uma educação mais inclusiva, criativa e alinhada às demandas tecnológicas do século XXI.

REFERÊNCIAS

- BACICH, L.; MORAN, J. **Metodologias Ativas para uma Educação Inovadora**. Porto Alegre: Penso, 2018. Citado na página 9.
- BANZI, M.; SHILOH, M. **Getting Started with Arduino**. 3. ed. [S.l.]: Maker Media, 2015. Citado na página 10.
- BASONI, R. C.; SOUSA, H. P. V. O.; VICTOR, C. A.; LACERDA, H. L. P. Tutorial de confecção de um robô seguidor de linha para iniciação à robótica educacional. In: **Anais do CONEDU**. [S.l.: s.n.], 2022. Citado 3 vezes nas páginas 11, 12 e 47.
- COSTA, M. A. d. S. *et al.* Introdução à robótica com programação em arduino para o ensino fundamental. In: **Anais do IX Congresso Nacional de Educação – CONEDU**. Campina Grande, PB: Realize Editora, 2023. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/99557>>. Citado na página 12.
- CRUZ, M. do C. **A utilização da robótica educacional como ferramenta pedagógica no ensino fundamental**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017. Citado na página 6.
- MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec, 2018. Citado na página 10.
- MONK, S. **Programação com Arduino: Começando com Sketches**. Porto Alegre: Bookman, 2017. Citado na página 10.
- PIAGET, J. **A Equilibração das Estruturas Cognitivas**. Rio de Janeiro: Zahar, 1976. Citado na página 9.
- RUBTSOV, V. V.; ISAEV, E. I.; KONOKOTIN, A. V. Learning activity as the zone of proximal development of reflexive and communicative abilities of children aged 6–10 years. **Cultural-Historical Psychology**, v. 18, n. 1, 2022. Citado na página 9.
- SANTOS, F. H. dos; GUIMARAES, M. de P. A robótica como ferramenta de apoio à educação básica. **RBIE - Revista Brasileira de Informática na Educação**, p. 96–107, 2018. Citado na página 6.
- SANTOS, O. d.; GROSS, G. F. S.; ALBERTONI, N. R. M.; KALINKE, M. A. Construtivismo e construcionismo no trabalho com robótica educacional. **Revista Pesquisa Qualitativa**, v. 9, n. 20, p. 21–39, 2021. Citado na página 9.
- SILVA, B. d. S.; FERREIRA, E. K. M.; DIAS, J. H. D. *et al.* Construção e programação de manipuladores robóticos para fins educativos. In: **Anais da Mostra Nacional de Robótica**. Betim, MG: [s.n.], 2019. Citado na página 11.
- SILVA, M. P. d.; BARBOSA, F. d. C. Matemática e física em experiências de robótica livre: explorando o sensor ultrassônico. **Texto Livre**, v. 14, n. 3, p. e29629, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/textolivre/article/view/29629>>. Citado na página 12.
- SILVA, P. M. d. *et al.* Metodologias ativas para o desenvolvimento de habilidades do século xxi. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 4, p. e3580, 2024. Citado na página 9.
- VAZZI, M. R. G. **O Arduíno e a Aprendizagem de Física: Um kit robótico para o ensino**. 2017. Trabalho apresentado na UNESP. Citado na página 10.

APÊNDICE A – CÓDIGO-FONTE INICIAL DO SISTEMA SEGUE-LINHA

Este apêndice apresenta o código-fonte inicial desenvolvido para o protótipo, utilizado durante as etapas de desenvolvimento e testes do sistema. A implementação contempla o controle dos motores, comunicação por Bluetooth, funcionamento do sistema segue-linha, detecção de obstáculos por meio do sensor ultrassônico e acionamento dos recursos auxiliares.

```

1  #include <SoftwareSerial.h>
2
3  // BLUETOOTH HC-05
4  // HC-05 TX -> D4
5  // HC-05 RX -> D3
6  SoftwareSerial BT(4, 3);
7
8  // TB6612FNG
9  #define PWMA 5
10 #define AIN2 6
11 #define AIN1 7
12
13 #define STBY 8
14
15 #define BIN1 9
16 #define BIN2 10
17 #define PWMB 11
18
19 // FAROL E BUZZER
20 #define FAROL 2
21 #define BUZZER 13
22
23
24 // SENSORES SEGUE-LINHA
25 // A1 = ESQUERDO
26 // A2 = MEIO
27 // A3 = DIREITO
28
29 #define SENSOR_ESQ A1
30 #define SENSOR_MEIO A2
31 #define SENSOR_DIR A3
32
33 // ULTRASSONICO HC-SR04
34 #define TRIG A4
35 #define ECHO A5
36
37 // VARIAVEIS
38 bool modoAutomatico = true;
39

```

```
40 // MOVIMENTOS DO BLUETOOTH
41 void frente()
42 {
43     digitalWrite(AIN1, HIGH);
44     digitalWrite(AIN2, LOW);
45     digitalWrite(BIN1, HIGH);
46     digitalWrite(BIN2, LOW);
47     analogWrite(PWMA, 200);
48     analogWrite(PWMB, 200);
49 }
50 void re()
51 {
52     digitalWrite(AIN1, LOW);
53     digitalWrite(AIN2, HIGH);
54     digitalWrite(BIN1, LOW);
55     digitalWrite(BIN2, HIGH);
56     analogWrite(PWMA, 200);
57     analogWrite(PWMB, 200);
58 }
59 void esquerda()
60 {
61     analogWrite(PWMA, 0);
62     digitalWrite(BIN1, HIGH);
63     digitalWrite(BIN2, LOW);
64     analogWrite(PWMB, 200);
65 }
66 void direita()
67 {
68     digitalWrite(AIN1, HIGH);
69     digitalWrite(AIN2, LOW);
70     analogWrite(PWMA, 200);
71     analogWrite(PWMB, 0);
72 }
73 void parar()
74 {
75     analogWrite(PWMA, 0);
76     analogWrite(PWMB, 0);
77 }
78 // BUZINA
79 void buzina()
80 {
81     tone(BUZZER, 320);
82     delay(100);
83     tone(BUZZER, 250);
84     delay(150);
85     noTone(BUZZER);
86 }
```



```

87 // ULTRASSONICO
88 float distanciaCM()
89 {
90     digitalWrite(TRIG, LOW);
91     delayMicroseconds(2);
92     digitalWrite(TRIG, HIGH);
93     delayMicroseconds(10);
94     digitalWrite(TRIG, LOW);
95     long duracao = pulseIn(ECHO, HIGH, 30000);
96     if (duracao == 0)
97         return 999;
98     return duracao * 0.034 / 2.0;
99 }
100 // VELOCIDADES DO SEGUE-LINHA
101 #define VELOCIDADE_FRENTE 75
102
103 // Velocidade das correcoes
104 #define VELOCIDADE_CORRECAO 80
105
106 // Velocidade para procurar a linha
107 #define VELOCIDADE_BUSCA 65
108
109 // ULTIMA DIRECAO DA LINHA
110 int ultimaDirecao = 0;
111
112 // MOVIMENTOS EXCLUSIVOS DO SEGUE-LINHA
113 // FRENTE
114 void frenteLinha()
115 {
116     digitalWrite(AIN1, HIGH);
117     digitalWrite(AIN2, LOW);
118     digitalWrite(BIN1, HIGH);
119     digitalWrite(BIN2, LOW);
120     analogWrite(PWMA, VELOCIDADE_FRENTE);
121     analogWrite(PWMB, VELOCIDADE_FRENTE);
122 }
123
124 // CORRECAO PARA ESQUERDA
125 void esquerdaLinha()
126 {
127     digitalWrite(AIN1, HIGH);
128     digitalWrite(AIN2, LOW);
129     digitalWrite(BIN1, HIGH);
130     digitalWrite(BIN2, LOW);
131     analogWrite(PWMA, 35);
132     analogWrite(PWMB, VELOCIDADE_CORRECAO);
133 }

```

```

134
135 // CORRECAO PARA DIREITA
136 void direitaLinha()
137 {
138     digitalWrite(AIN1, HIGH);
139     digitalWrite(AIN2, LOW);
140     digitalWrite(BIN1, HIGH);
141     digitalWrite(BIN2, LOW);
142     analogWrite(PWMA, VELOCIDADE_CORRECAO);
143     analogWrite(PWMB, 35);
144 }
145
146 // PROCURAR A LINHA PARA A ESQUERDA
147 void procurarEsquerda()
148 {
149     digitalWrite(AIN1, HIGH);
150     digitalWrite(AIN2, LOW);
151     digitalWrite(BIN1, HIGH);
152     digitalWrite(BIN2, LOW);
153     analogWrite(PWMA, 0);
154     analogWrite(PWMB, VELOCIDADE_BUSCA);
155 }
156
157 // PROCURAR A LINHA PARA A DIREITA
158 void procurarDireita()
159 {
160     digitalWrite(AIN1, HIGH);
161     digitalWrite(AIN2, LOW);
162     digitalWrite(BIN1, HIGH);
163     digitalWrite(BIN2, LOW);
164     analogWrite(PWMA, VELOCIDADE_BUSCA);
165     analogWrite(PWMB, 0);
166 }
167 // SEGUE-LINHA
168 void seguirLinha()
169 {
170     // VERIFICA OBSTACULO
171     float distancia = distanciaCM();
172     if (distancia < 15)
173     {
174         parar();
175         buzina();
176         digitalWrite(FAROL, HIGH);
177         delay(150);
178         digitalWrite(FAROL, LOW);
179         delay(150);
180         return;

```

```

181 }
182 // LEITURA DOS SENSORES
183 int esq = digitalRead(SENSOR_ESQ);
184 int meio = digitalRead(SENSOR_MEIO);
185 int dir = digitalRead(SENSOR_DIR);
186 /*
187 HIGH = preto
188 LOW  = branco
189 */
190
191 // TODOS PRETOS
192 if (esq == HIGH && meio == HIGH && dir == HIGH)
193 {
194     parar();
195 }
196 // SOMENTE MEIO NO PRETO
197 else if (meio == HIGH && esq == LOW && dir == LOW)
198 {
199     frenteLinha();
200     ultimaDirecao = 0;
201 }
202 // ESQUERDA + MEIO
203 else if (esq == HIGH && meio == HIGH && dir == LOW)
204 {
205     esquerdaLinha();
206     ultimaDirecao = -1;
207 }
208 // DIREITA + MEIO
209 else if (dir == HIGH && meio == HIGH && esq == LOW)
210 {
211     direitaLinha();
212     ultimaDirecao = 1;
213 }
214 // SOMENTE ESQUERDA
215 else if (esq == HIGH && meio == LOW && dir == LOW)
216 {
217     esquerdaLinha();
218     ultimaDirecao = -1;
219 }
220 // SOMENTE DIREITA
221 else if (dir == HIGH && meio == LOW && esq == LOW)
222 {
223     direitaLinha();
224     ultimaDirecao = 1;
225 }
226 // TODOS BRANCOS
227 else

```

```

228     {
229         if (ultimaDirecao < 0)
230         {
231             procurarEsquerda();
232         }
233         else if (ultimaDirecao > 0)
234         {
235             procurarDireita();
236         }
237         else
238         {
239             procurarEsquerda();
240         }
241     }
242 }
243
244 // SETUP
245 void setup()
246 {
247     BT.begin(9600);
248     // TB6612FNG
249     pinMode(PWMA, OUTPUT);
250     pinMode(AIN1, OUTPUT);
251     pinMode(AIN2, OUTPUT);
252
253     pinMode(PWMB, OUTPUT);
254     pinMode(BIN1, OUTPUT);
255     pinMode(BIN2, OUTPUT);
256
257     pinMode(STBY, OUTPUT);
258
259     // Farol e buzzer
260     pinMode(BUZZER, OUTPUT);
261     pinMode(FAROL, OUTPUT);
262
263     // Sensores
264     pinMode(SENSOR_ESQ, INPUT);
265     pinMode(SENSOR_MEIO, INPUT);
266     pinMode(SENSOR_DIR, INPUT);
267
268     // Ultrassonico
269     pinMode(TRIG, OUTPUT);
270     pinMode(ECHO, INPUT);
271     digitalWrite(STBY, HIGH);
272     digitalWrite(FAROL, LOW);
273     parar();
274 }

```

```

275 void loop()
276 {
277     // MODO SEGUE-LINHA
278     if (modoAutomatico)
279     {
280         seguirLinha();
281     }
282     // BLUETOOTH
283     if (BT.available())
284     {
285         char c = BT.read();
286         switch (c)
287         {
288             case 'F':
289                 modoAutomatico = false;
290                 frente();
291                 break;
292
293             case 'B':
294                 modoAutomatico = false;
295                 re();
296                 break;
297
298             case 'L':
299                 modoAutomatico = false;
300                 esquerda();
301                 break;
302
303             case 'R':
304                 modoAutomatico = false;
305                 direita();
306                 break;
307
308             case 'S':
309                 modoAutomatico = false;
310                 parar();
311                 break;
312
313             case 'X':
314                 modoAutomatico = false;
315                 digitalWrite(FAROL, HIGH);
316                 break;
317
318             case 'x':
319                 modoAutomatico = false;
320                 digitalWrite(FAROL, LOW);
321                 break;

```

```
322
323     case 'Y':
324         modoAutomatico = false;
325         buzina();
326         break;
327     }
328 }
329 }
```

APÊNDICE B – CÓDIGO-FONTE FINAL DO PROTÓTIPO

Este apêndice apresenta o código-fonte final utilizado no protótipo desenvolvido neste trabalho. A versão final utiliza a biblioteca IFRobot, desenvolvida especificamente para simplificar a programação do kit didático, integrando as funções de controle dos motores, comunicação Bluetooth, operação automática e manual, sistema segue-linha, detecção e desvio de obstáculos e acionamento dos recursos auxiliares.

```

1  #include <IFRobot.h>
2
3  IFRobot robo;
4  // VARIÁVEIS
5  bool modoAutomatico = true;
6
7  void setup()
8  {
9      robo.iniciar();
10 }
11
12 void loop()
13 {
14     // Leitura do Bluetooth
15     char comando = robo.bluetooth();
16
17     // Selecao do modo
18     if (comando == 'A')
19     {
20         modoAutomatico = true;
21     }
22
23     if (comando == 'M')
24     {
25         modoAutomatico = false;
26         robo.parar();
27     }
28     // MODO AUTOMATICO
29     if (modoAutomatico)
30     {
31         if (robo.obstaculo())
32         {
33             robo.desviarObstaculo();
34         }
35         else
36         {
37             robo.seguirLinha();
38         }
39     }

```

```
40 // MODO MANUAL
41 else
42 {
43     switch (comando)
44     {
45         case 'F':
46
47             robo.frente();
48
49             break;
50
51         case 'B':
52
53             robo.re();
54
55             break;
56
57         case 'L':
58
59             robo.esquerda();
60
61             break;
62
63         case 'R':
64
65             robo.direita();
66
67             break;
68
69         case 'S':
70
71             robo.parar();
72
73             break;
74
75         case 'X':
76
77             robo.ligarFarol();
78
79             break;
80
81         case 'x':
82
83             robo.desligarFarol();
84
85             break;
86
```



```
87     case 'Y':  
88  
89         robo.buzina();  
90  
91         break;  
92     }  
93 }  
94 }
```

APÊNDICE C – CÓDIGO-FONTE DA COMUNICAÇÃO BLUETOOTH

Este apêndice apresenta o código-fonte da comunicação Bluetooth utilizado durante os testes do protótipo, por meio do módulo HC-05 e do aplicativo de controle utilizado no projeto.

```

1  // BLUETOOTH HC-05
2  // HC-05 TX -> D4
3  // HC-05 RX -> D3
4  #include <SoftwareSerial.h>
5
6  SoftwareSerial BT(4, 3);
7  // COMUNICACAO BLUETOOTH
8  void setup()
9  {
10     BT.begin(9600);
11 }
12 void loop()
13 {
14     if (BT.available())
15     {
16         char c = BT.read();
17
18         switch (c)
19         {
20             case 'F':
21                 modoAutomatico = false;
22                 frente();
23                 break;
24
25             case 'B':
26                 modoAutomatico = false;
27                 re();
28                 break;
29
30             case 'L':
31                 modoAutomatico = false;
32                 esquerda();
33                 break;
34
35             case 'R':
36                 modoAutomatico = false;
37                 direita();
38                 break;
39
40             case 'S':
41                 modoAutomatico = false;
42                 parar();

```

```
43         break;
44
45     case 'X':
46         modoAutomatico = false;
47         digitalWrite(FAROL, HIGH);
48         break;
49
50     case 'x':
51         modoAutomatico = false;
52         digitalWrite(FAROL, LOW);
53         break;
54
55     case 'Y':
56         modoAutomatico = false;
57         buzina();
58         break;
59     }
60 }
61 }
```

APÊNDICE D – ESQUEMA ELÉTRICO DO PROTÓTIPO

Este apêndice apresenta o esquema elétrico desenvolvido para o protótipo do kit didático IFRobot, contemplando a interligação dos principais componentes utilizados no sistema.

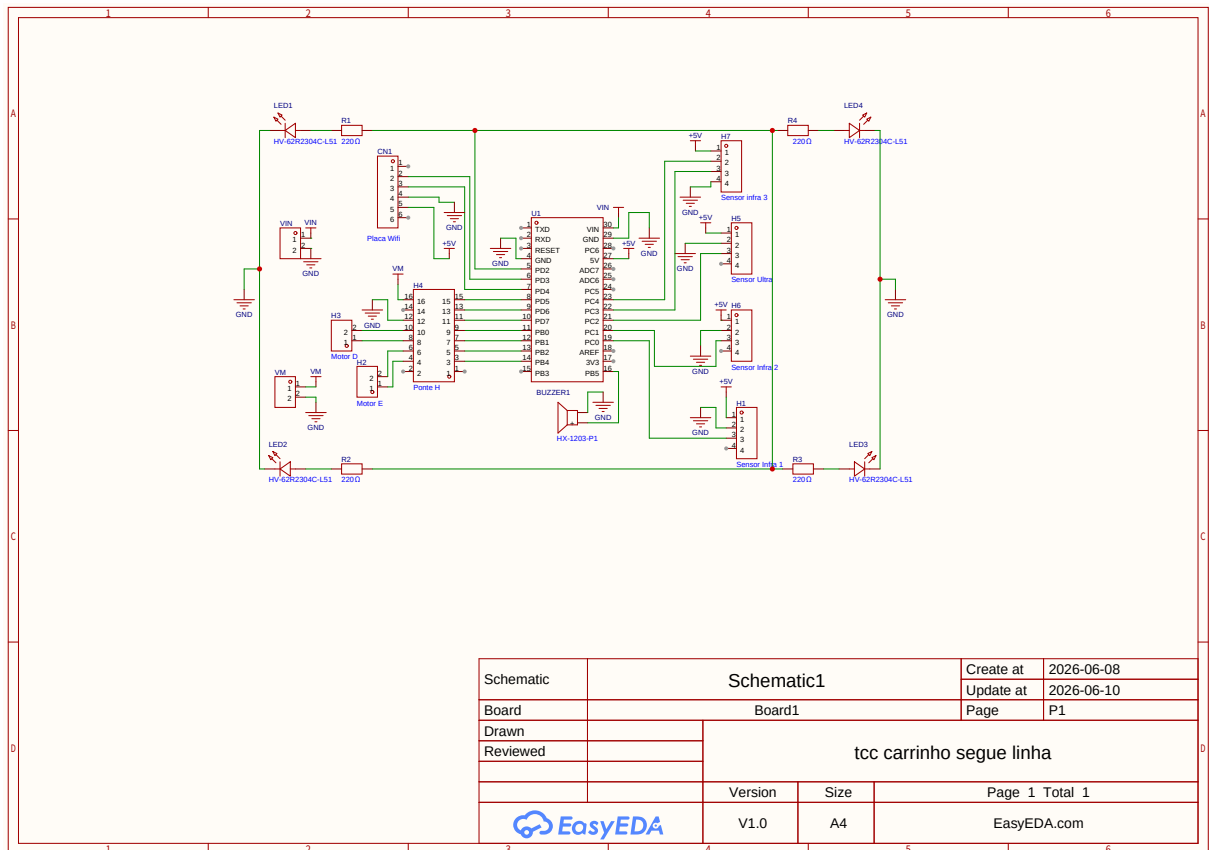


Figura 18 – Esquema elétrico do protótipo.

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.