

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS TIMÓTEO**

Matheus Otero Fernandez Silva

ROBÔ SEGUIDOR DE LINHA

Timóteo

2022

Matheus Otero Fernandez Silva

ROBÔ SEGUIDOR DE LINHA

Monografia apresentada à Coordenação de Engenharia de Computação do Campus Timóteo do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Elder de Oliveira Rodrigues

Timóteo

2022

Matheus Otero Fernandez Silva

ROBÔ SEGUIDOR DE LINHA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Computação do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, campus Timóteo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Computação.

Trabalho aprovado. Timóteo, 30 de março de 2022:



Prof. Dr. Elder de Oliveira Rodrigues
Orientador



Prof. Dr. Rodrigo Gaiba de Oliveira
Professor Convidado



Profª. Dra. Viviane Cota Silva
Professora Convidada

Timóteo
2022

Meus sinceros obrigado para aqueles que além de tudo
estiveram comigo nessa caminhada da vida.

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos. Aos meus pais e irmã que sempre se mostraram presentes e motivacionais em não me deixar abalar por coisas da vida. Aos meus amigos que caminharam comigo por todo esse ciclo, em especial aos meus inseparáveis amigos Alysson e Karine, que me deram o maior apoio e carinho do mundo e que jamais vou abrir mão dessa amizade. E por último mas não menos importante, ao professor Elder, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiou o meu aprendizado em cima deste trabalho.

*“Esqueça a caixa, porque nós sabemos como fazer a chave,
finalmente somos livres para voar, nós estamos indo para o outro lado”.*

The Greatest Showman

Resumo

A busca por um meio prático e eficiente para ajudar o ser humano em tarefas comuns do dia a dia e em serviços mais complexos acontece desde os primórdios da humanidade. A robótica é um ramo da tecnologia que trata de mecanismos automáticos controlados por circuitos e que supre essa necessidade de melhorar o rendimento e a praticidade da execução de certas tarefas, esses sendo chamados de robôs. O robô seguidor de linha, tratado por este trabalho, é categorizado como um robô móvel, pois pode se locomover por um ambiente e realizar suas interações pré comandadas por uma vasta área. Baseado nessas idéias, este trabalho tem por objetivo a prototipação de um robô seguidor de linha (visando baixo custo), um mecanismo capaz de se locomover em um trajeto delimitado por uma linha escura sobre o solo que define os locais pelos quais esse robô deve percorrer. Utilizando de um dispositivo microcontrolador (Arduino Nano) capaz de ler e condicionar sinais de leitura realizados por sensores de luminosidade LDR e acionar os motores DC para realizar a locomoção através de uma lógica programada em uma IDE do Arduino, o robô teve êxito em completar os percursos projetados com uma boa média de velocidade sem sair das delimitações feitas.

Palavras-chave: Robô seguidor de linha, microcontrolador, Arduino, sensores de luminosidade LDR, motores DC.

Abstract

The search for a practical and efficient way to help human beings in common day-to-day tasks and in more complex services has been going on since the dawn of humanity. Robotics is a branch of technology that deals with automatic mechanisms controlled by circuits and that meets this need to improve the performance and practicality of performing certain tasks, these being called robots. The line follower robot, treated in this work, is categorized as a mobile robot, as it can move around an environment and perform its pre-commanded interactions over a vast area. Based on these ideas, this work aims to implement a line-following robot (aiming at low cost) , a mechanism capable of moving along a path delimited by a dark line on the ground that defines the places through which this robot must travel. Using a microcontroller device (Arduino Nano) capable of reading and conditioning reading signals performed by LDR light sensors and triggering DC motors to perform locomotion through a logic programmed in an Arduino IDE, the robot was successful in completing the designed courses with a good average speed without leaving the boundaries made.

Keywords: Line follower robot, microcontroller, Arduino, LDR light sensors, DC motors.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Exemplo de Robô Industrial	13
Figura 2 – Placas e Módulos de Entrada Arduino.	17
Figura 3 – Placas Arduino de uso avançado.	17
Figura 4 – Interface IDE do Software Arduino.	18
Figura 5 – Botões de função Verificar e Carregar.	19
Figura 6 – Modelo de Microcontrolador PIC16F877A.	19
Figura 7 – Pista 8º Campeonato de Robótica Móvel UDESC	21
Figura 8 – Pista da Modalidade Prática – 1ª Etapa Regional da OBR	21
Figura 9 – AGV em sua versão final, visão lateral e superior	22
Figura 10 – Vista superior do chassi da versão inicial e final do robô	23
Figura 11 – Vista lateral do robô	24
Figura 12 – Fluxograma metodológico empregado para o desenvolvimento do projeto.	26
Figura 13 – Fluxograma metodológico empregado para o codificação do projeto.	26
Figura 14 – Diagrama de blocos do circuito	27
Figura 15 – Sensor LDR	28
Figura 16 – Demonstração do funcionamento dos sensores	28
Figura 17 – Motor DC utilizado no projeto	29
Figura 18 – Princípio de ação do controlador proporcional	29
Figura 19 – Arduino ATmega 328 Nano	30
Figura 20 – Protótipo do robô na fase inicial	31
Figura 21 – Protótipo do robô finalizado	32
Figura 22 – Circuito do protótipo projetado em	32
Figura 23 – Referência aos ambientes de testes 1, 2 e 3	33
Figura 24 – Leitura dos sensores LDR com o robô alinhado sobre a linha	33
Figura 25 – Leitura dos sensores LDR com o robô direcionado para a direita	34
Figura 26 – Leitura dos sensores LDR com o robô direcionado para a esquerda	34
Figura 27 – Ambiente de teste 3	35
Figura 28 – Representação do ambiente de teste 3	35
Figura 29 – Gráfico de tempo referente a Tabela 1	36
Figura 30 – Representação do ambiente de teste final	36
Figura 31 – Robô em ambiente de teste final	37
Figura 32 – Gráfico de tempo referente a Tabela 2	37

Lista de tabelas

Tabela 1 – Tempo gasto por volta na pista da Figura 27	36
Tabela 2 – Tempo gasto por volta na pista da Figura 30	37

Lista de abreviaturas e siglas

DC	Corrente Contínua
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
CPU	Unidade Central de Processamento
RISC	Computador com conjunto de instruções reduzido
kB	kilobyte
A/D	Analógico/Digital
LDR	Resistor Dependente de Luz
IDE	Ambiente de desenvolvimento integrado
E/S	Entrada/Saída

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Problema	13
1.2	Justificativa	14
1.3	Objetivos	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Eletrônica	15
2.2	Microcontroladores	15
2.3	Arduino	16
2.3.1	Características	16
2.3.2	Modelos Existentes	17
2.3.3	Ambiente de Desenvolvimento	18
2.4	Microcontrolador PIC	19
2.5	Motores	20
2.6	Sensores	20
2.7	Chassi	20
2.8	Pista	21
3	TRABALHOS RELACIONADOS	22
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	25
4.1	Métodos e Materiais	25
5	CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE ROBÔ SEGUIDOR DE LINHA	27
5.1	Robô seguidor de linha	27
5.1.1	Captação e Processamento do sinal	28
5.1.2	Motores DC	29
5.1.3	Controlador Proporcional	29
5.1.4	Arduino Nano	30
5.1.5	Montagem Final	31
5.2	Circuito eletrônico do robô seguidor de linha	32
6	TESTES E RESULTADOS	33
6.1	Testes	33
6.2	Resultados Preliminares	34
6.3	Resultados Finais	35
7	CONCLUSÃO	39
7.1	Trabalhos futuros	39

REFERÊNCIAS 40

1 Introdução

A Robótica, de acordo com Ottoni, é um ramo da tecnologia que engloba mecânica, eletrônica e computação, atualmente tratando de sistemas compostos por máquinas e partes mecânicas automáticas e controladas por circuitos integrados e sistemas mecânicos motorizados, controlados manualmente ou automaticamente por circuitos elétricos (OTTONI, 2010).

A ideia de um robô, ou de algum tipo de máquina que possa ajudar as pessoas é muito antiga, e impossível de apontar onde se originou. Com o avanço da ciência e da tecnologia, a noção de robô tornou-se sofisticada. No passado, um robô era definido como uma máquina que consistia basicamente em um dispositivo mecânico especial. Na atualidade, o conceito de robô, descrito por Mataric, é um sistema autônomo que existe no mundo físico, podendo sentir o seu ambiente e podendo agir sobre ele para alcançar alguns objetivos (MATARIĆ, 2014).

O termo robótica, atribuído popularmente à Isaac Asimov pelo seu famoso trabalho "Eu, Robô", refere-se ao estudo e utilização dos robôs, além de sugerir as principais leis da robótica (ASIMOV, 2004), sendo essas:

- 1ª Lei: "Um robô não pode ferir um ser humano ou, por inação, permitir que um ser humano sofra algum mal."
- 2ª Lei: "Um robô deve obedecer as ordens que lhe sejam dadas por seres humanos exceto nos casos em que tais ordens entrem em conflito com a Primeira Lei."
- 3ª Lei: "Um robô deve proteger sua própria existência desde que tal proteção não entre em conflito com a Primeira ou Segunda Leis."

Robôs são dispositivos que podem ser classificados em manipuladores e móveis. Os manipuladores são, em sua maioria, de uso industrial, e atuam em áreas de trabalho específicas, por exemplo, alocação de peças, alinhamento preciso, regulagens, pintura, etc. Já os robôs móveis, como o próprio nome aponta, podem mover-se pelo ambiente, realizar análise de ambiente, transporte, transporte de cargas, etc. Seu uso pode ser no meio industrial, como mostra a figura 1, doméstico, entretenimento, entre diversos outros (MARIN et al., 2012).

De acordo com as ideias de Wolf, a aplicação prática de robôs móveis junto a diferentes atividades em nossa sociedade demonstra o quão promissor é o futuro desta área. Seu uso em aplicações domésticas como aspiradores de pó e cortadores de grama, industriais como transportadores de carga, urbanas como carros autômatos, militares como robôs de guerra e de transporte de mantimentos, demonstra a grande gama de aplicações atuais dos robôs móveis e os interesses econômicos envolvidos em relação ao seu desenvolvimento e aplicação (WOLF et al., 2009).

Figura 1 – Exemplo de Robô Industrial



Fonte: (CANDIDO, 2018)

1.1 Problema

Nos últimos anos, a robótica vem chamando bastante atenção e despertando o interesse em áreas específicas, tais como a indústria, por gerar um aumento na produtividade, melhorar a consistência do produto final e por não sofrer de efeitos naturais como doenças, cansaço e poder atuar em locais perigosos, como cita Filho e Ferrari (FILHO; FERRARI, 2014).

Em aplicações domésticas, robôs aspiradores de pó, robôs cortadores de grama, dispositivos com inteligência artificial para ativar e desativar sensores e executar pequenas tarefas digitais como acender uma luz ou tocar uma música seguem sendo os mais famosos.

No cunho acadêmico, uma das principais contribuições da robótica é a participação em competições. Dentre essas competições existem: futebol de robô, que consiste nos robôs levarem a bola até o gol adversário, competição de luta de robôs, onde o objetivo de um robô é derrubar/danificar o robô adversário, e a corrida de robôs seguidores de linha, em que são medidos o desempenho e a eficácia de um robô, para isso, o robô deve passar por um circuito com obstáculos e/ou executar tarefas determinadas de um layout. Para todas essas competições o robô deve ser desenvolvido de acordo com as normas estabelecidas (IEEE Robotics and Automation Society, 2021).

No trabalho apresentado por Gomes e Nobrega, pode-se notar como é realizado a montagem de um robô seguidor de linha para competição de corridas de nível universitário. O trabalho apresenta os materiais utilizados, cita as etapas de produção do robô e apresenta as normas que a competição possui e que devem ser respeitadas para validação da participação (GOMES et al., 2014).

Alguns fatores inviabilizam a disponibilidade de robôs em universidades, sejam eles o custo da aquisição de suas peças físicas e componentes eletrônicos, a falta de interesse e conhecimento dos discentes e docentes sobre o tema, a dificuldade de implementação, o caráter multidisciplinar da robótica, dentre outros, mesmo que por muitas vezes todos os conceitos estejam atrelados à aplicação cotidiana da instituição e dos seus cursos.

A partir dos pontos citados acima, tem-se como problema: como desenvolver um robô seguidor de linha, capaz de percorrer um trajeto utilizando uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar e que possui sua própria linguagem de programação e software dedicados?

1.2 Justificativa

A robótica é uma área que está sempre crescendo e evoluindo, gerando certo impacto nos diversos setores da sociedade, e também muito utilizada na realização de uma variedade de tarefas, dentre elas: reconhecimento de ambientes, agricultura, diversos setores da indústria etc (WOLF et al., 2009).

As pesquisas voltadas para a área de robótica mesclam do conhecimento de diversas áreas, como Engenharia Mecânica, Engenharia Eletrônica, Engenharia Robótica e as diferentes áreas da Computação. A robótica móvel é uma ramificação da área de robótica, e seus frutos geralmente se tratam de robôs de pequenos portes, contendo sensores e motores elétricos (atuadores) que visam a execução de pequenas tarefas, e que auxiliam e realizam aplicações industriais, domésticas, agrícolas, urbanas etc (WOLF et al., 2009).

São várias as aplicações que fazem uso da robótica móvel, como: robôs seguidores de linha, robôs exploradores, como é o caso do robô Perseverance utilizado pela nasa para exploração e verificação de existência de microorganismos em Marte (NASA, 2020), robôs controlados via Bluetooth e Wifi e até mesmo robôs utilizando microcontroladores - sendo este o objetivo do projeto.

Assim, com este projeto, busca-se então desenvolver uma solução prática que se caracterize como robô móvel e apresentar conceitos básicos desse ramo da robótica.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal realizar a implementação de um robô seguidor de linha. Enquanto os objetivos específicos são:

1. Desenvolver um protótipo de um robô seguidor de linha utilizando uma plataforma eletrônica de código aberto;
2. Estudo dos componentes eletrônicos que compõe o protótipo do robô.
3. Desenvolver o circuito eletrônico capaz de ativar e acionar os motores e sensores do robô e condicionar sinais;
4. Realizar testes com o prototipo em pistas que sigam proporções definidas pelo autor;
5. Fazer com que o robô seja capaz de se locomover pelas pistas corretamente.

2 Fundamentação teórica

O objetivo do presente trabalho é criar um robô seguidor de linha capaz de percorrer um determinado trajeto. Para realização do mesmo, serão apresentados nas próximas seções conceitos teóricos para que seja possível um maior embasamento em torno das teorias, componentes e conceitos que serão usados para realização do projeto.

2.1 Eletrônica

De acordo com Dias, a eletrônica é a ciência que estuda a utilização de circuitos formados por componentes elétricos e eletrônicos para representar, armazenar, transmitir ou processar informações (DIAS, 2019).

A eletrônica por sua vez se divide em duas vertentes, sendo essas a eletrônica analógica e a eletrônica digital.

A eletrônica analógica é formada pelos seguintes componentes: transistores, resistores, capacitores, bobinas, potenciômetros e circuitos integrados e cristais (DIAS, 2019). Sua base se fundamenta na lei de Ohm, que de acordo com o que Ferreira aponta, a corrente elétrica que percorre um condutor é proporcional a voltagem aplicada nos seus terminais (FERREIRA, 2015).

A eletrônica digital por sua vez, de acordo com Dias, abrange os sistemas que trabalham com valores discretos, chamados sistemas digitais, onde a transmissão e o processamento de dados retornarão um valor não variante no tempo (DIAS, 2019).

2.2 Microcontroladores

Os microcontroladores, de acordo com Miyadaira, são pequenos dispositivos dotados de "inteligência", basicamente constituídos de CPU (Unidade Central de Processamento), memória e periféricos. Suas dimensões reduzidas são resultantes da alta capacidade de integração, em que milhões de componentes são inseridos em uma única placa pela técnica de circuitos integrados. São encontrados nas maiorias dos equipamentos digitais, como celulares, mp3 player, impressoras, robótica, instrumentação, entre outros (MIYADAIRA, 2009).

Além de operarem em uma baixa frequência, os microcontroladores também possuem seu consumo de energia relativamente baixo, e possuem a habilidade de entrar em modo de espera através de uma interrupção ou evento externo, seja por acionamento de um botão ou acionamento de um sensor (MIYADAIRA, 2009).

2.3 Arduino

O Arduino é uma plataforma eletrônica baseada em hardware e software fáceis de usar. Todas as placas Arduino e seu software são totalmente de código aberto, permitindo que os usuários as manipule de forma independente e as adapte às suas necessidades individuais. (ARDUINO, 2021).

Definindo em termos leigos, um Arduino é um computador minúsculo que se pode realizar uma programação para processar entradas e saídas entre os componentes externos a ele conectados.

De acordo com McRoberts, a maior vantagem do Arduino em relação a outras plataformas de desenvolvimento de microcontroladores é a sua facilidade de uso, permitindo que pessoas leigas possam aprender o básico e começar a projetar em um período relativamente curto (MCROBERTS, 2018).

2.3.1 Características

Das versões existentes do Arduino, até o momento, todas são baseadas em um microprocessador de 8 bits Atmel (RISC). A primeira placa foi baseada no ATmega8 com uma velocidade de clock de 16MHz e uma memória flash de 8kB, mais tarde, placas como a Arduino NG plus e Diecimila, utilizavam o ATmega168 com memória flash de 16kB (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

Versões mais recentes, como Duemilanove e Uno, utilizam o ATmega328 com memória flash de 32kB, enquanto que o Arduino Mega utiliza uma memória de 128kB e o Mega2560 utiliza uma memória de 256kB (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

As entradas de um Arduino podem ler dados digitais e analógicos, permitindo a conexão de muitos tipos diferentes de sensores. As saídas, por sua vez, também podem ser analógicas ou digitais, podendo ativar e desativar componentes acoplados e até mesmo controlar dispositivos como motores. Esses pinos também podem oferecer uma tensão de saída analógica, permitindo o controle de potência de saída de um pino, controlando de forma contínua os componentes ao invés de apenas ligá-los e desligá-los (MONK, 2013).

Conforme Souza apresenta, as entradas digitais só podem assumir dois estados, HIGH e LOW, ou seja, 0 V ou 5 V. O microcontrolador da plataforma Arduino trabalha internamente com dados digitais, portanto é necessário a tradução de um sinal analógico para um valor digital. A técnica utilizada para leitura de um sinal analógico pelo Arduino consiste em converter o sinal analógico para um valor digital, dessa forma se pode quantificar o sinal presente no pino. Esse processo é feito pelo conversor Analógico digital, ou conversor A/D (SOUZA, Fábio, 2021).

Esta conversão é dada pela Equação 2.1:

$$resolução = V_{ref}/2^n \quad (2.1)$$

Onde:

Vref: tensão de referência do conversor A/D;

n: número de bits do conversor.

As placas Arduino podem ser alimentadas via USB conectada diretamente a um computador, ou por uma fonte de alimentação externa (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

2.3.2 Modelos Existentes

São diversos os modelos de placas Arduino disponíveis no mercado e para cada aplicação pode ser usada uma versão diferente dependendo das necessidades do projeto.

Das placas existentes no mercado, as mais conhecidas são: Arduino Uno, Nano, Micro, Leonardo, Mega e o Duo/Due. No site da empresa Arduino, é possível encontrar classificação para essas placas, como: placas de entrada, Recursos Aprimorados e Internet das coisas (ARDUINO, 2021).

Os modelos citados na figura 2, são denominados placas de entrada. Essas placas e módulos são os melhores para começar a aprender e mexer com eletrônica e codificação.

Figura 2 – Placas e Módulos de Entrada Arduino.



Fonte: Adaptado de (ARDUINO, 2021)

Já os modelos apresentados na figura 3 são mais robustos e completos, sendo chamados de placas de recursos aprimorados. Ideal para projetos mais complexos, essas placas possuem funcionalidades avançadas e/ou desempenhos mais rápidos (ARDUINO, 2021).

Figura 3 – Placas Arduino de uso avançado.



Fonte: Adaptado de (ARDUINO, 2021)

2.3.3 Ambiente de Desenvolvimento

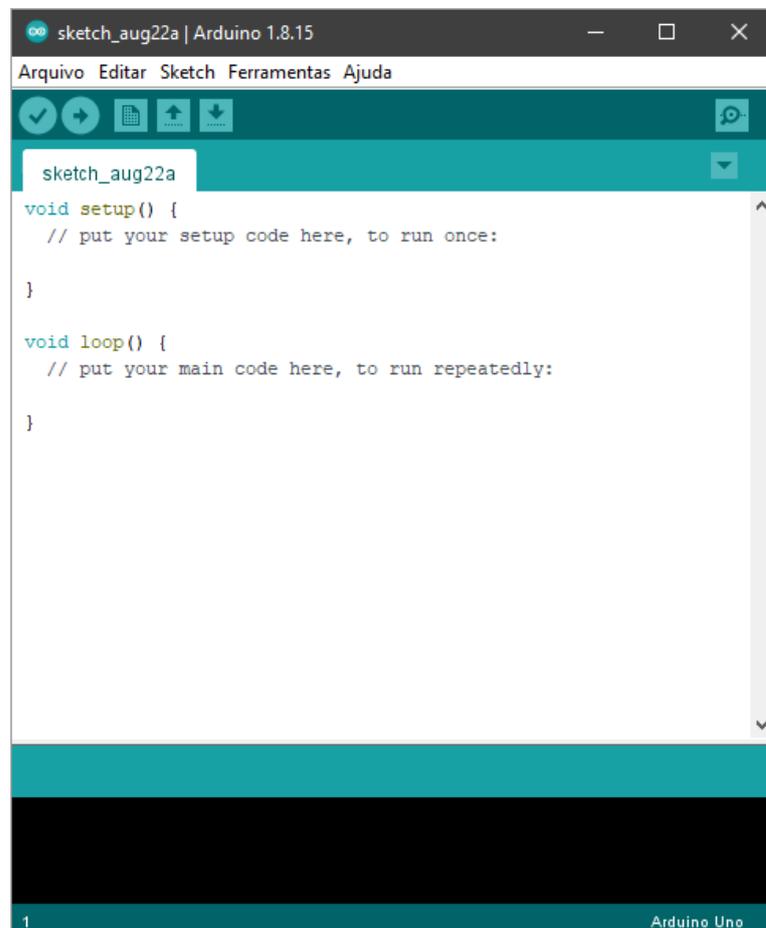
A IDE (Integrated Development Environment), ou seja, o Ambiente de Desenvolvimento Integrado é um software oficial apresentado pelo Arduino, usado principalmente para editar, compilar e enviar o código no dispositivo Arduino. Quase todos os módulos Arduino são compatíveis com este software que é de código aberto e está prontamente disponível para ser instalado e assim começar a compilar o código (ARDUINO, 2021).

A linguagem de programação utilizada no Arduino é a linguagem C++ (com pequenas modificações), que é uma linguagem muito tradicional e conhecida. Uma das características que a IDE apresenta ao usuário, é a compatibilidade com os mais utilizados sistemas operacionais, sendo eles o Windows, o Mac OS e o Linux (ARDUINO, 2021).

Como pode-se ver na figura 4, a interface é bem simples e sem muitos detalhes que atrapalhem a interação com o usuário.

Inicialmente, a IDE fornece ao usuário duas funções básicas, a *void setup()*, que é a responsável por acomodar o código inicial, os comandos que serão executados no início do programa e a função *void loop()* que por sua vez acomoda o restante do código, que irá executá-lo em loops até ser interrompido por alguma ação do usuário.

Figura 4 – Interface IDE do Software Arduino.



Fonte: Autor

Com o código desenvolvido, realiza-se uma varredura utilizando o botão VERIFICAR e em tela é apresentado eventuais erros ou uma notificação de que o código está correto. O botão CARREGAR, por sua vez envia o código compilado para a placa Arduino, podemos ver esses botoes na figura 5.

Figura 5 – Botões de função Verificar e Carregar.



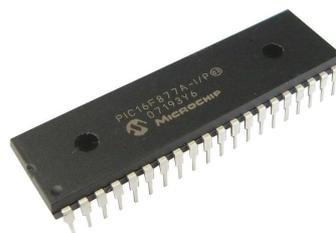
Fonte: Autor

2.4 Microcontrolador PIC

Os microcontroladores PIC, um exemplo se retrata na figura 6, se tratam de chips inteligentes que consistem num circuito processador e também entradas, saídas e uma memória, possuindo alta velocidade de processamento através da arquitetura Harvard e conjunto de instruções RISC. Os microcontroladores PIC têm núcleos de processamento de 12 bits, 14 bits e 16 bits, e trabalham em velocidades de 0kHz a 48MHz e velocidades de 16 MIPS em alguns modelos. O PIC é popular graças ao seu baixo custo, ampla disponibilidade e grande base de usuários (Eletrônica, Baú da, 2021b).

De acordo com Souza, a memória de dados dos microcontroladores PIC é a RAM. Essa memória armazena dados de 8 bits e é volátil, ou seja, quando é desligado, ela é automaticamente perdida. Pode-se dividi-la em dois grupos: registradores especiais, que ocupam espaço na RAM e podem ser acessados da mesma maneira que as variáveis do sistema, com mudança somente do endereço de acesso, esses registradores podem ser escritos e lidos tanto pelo usuário quanto pelo hardware. O outro grupo se trata dos registradores de uso geral, que é destinado ao armazenamento de variáveis definidas pelo usuário para serem escritas e lidas pelo programa, o tamanho dessa memória varia de acordo com o modelo PIC (SOUZA, 2005).

Figura 6 – Modelo de Microcontrolador PIC16F877A.



Fonte: (Eletrônica, Baú da, 2021b)

2.5 Motores

Conforme Santos apresenta, o funcionamento dos motores elétricos está baseado nos princípios do eletromagnetismo, mediante os quais, condutores situados num campo magnético e atravessados por corrente elétrica, sofrem a ação de uma força mecânica, força essa chamada de torque (conceito físico, relativo ao movimento de rotação de um corpo após a aplicação de determinada força sobre ele) (SANTOS, Marco Aurélio da Silva, 2021).

Segundo Gioppo, existem vários tipos de motores elétricos, dos quais os principais são os de corrente alternada (CA), geralmente utilizados por máquinas de grande porte e recebem energia de alguma rede de distribuição, e corrente contínua (CC), estes motores são utilizados, por exemplo, por robôs de diversas categorias. Para a plataforma Arduino estes são utilizados com pilhas e/ou baterias - pequeno porte. Gioppo também aponta que para que o robô consiga realizar o deslocamento correto, o motor deverá trabalhar em uma velocidade positiva e com um torque mais baixo. Para que isso se realize, o motor deve estar conectado a uma caixa de redução que gera nova saída com giros mais lentos, produzindo um torque maior. Hoje, a maior parte dos motores de corrente contínua disponíveis no mercado são vendidos com a caixa de redução (GIOPPO et al., 2009).

Para o bom funcionamento do motor no robô, é necessário uma corrente entre 3 e 6V de tensão, valores muito maiores ou abaixo do estipulado podem acarretar no mal funcionamento e/ou comprometer a peça.

2.6 Sensores

De acordo com Ribeiro, um sensor é um dispositivo que mede o valor de uma grandeza física, como por exemplo a temperatura, a velocidade, a distância, a pressão, de acordo com Souza, simulando os sentidos humanos, principalmente a visão, o tato, a audição e o olfato (SOUZA, 2009). Os robôs que trabalham inseridos em ambientes reais, estáticos ou dinâmicos, estão dotados de sensores que lhes permitem adquirir informação sobre o seu funcionamento interno e sobre o ambiente externo ao qual estão aplicados (RIBEIRO, 2004).

Ribeiro aponta que os sensores podem ser classificados como internos e externos (RIBEIRO, 2004). Souza por sua vez, apresenta que sensores internos fornecem informação sobre os parâmetros internos do robô, tais como posição, velocidade, etc. Os sensores externos, por sua vez, lidam com a observação de aspectos do mundo exterior ao robô, tais como proximidade, distância, som, infravermelho, luminosidade, etc (SOUZA, 2009).

2.7 Chassi

O chassi consiste na estrutura física do robô, sua "carcaça", é o que sustenta os componentes que compõe o projeto. São diversos os tamanhos, estruturas e modelos de chassi, seus materiais também variam, sendo de plástico, placa de fibra de média densidade (madeira MDF), acrílico ou algum outro material. Na compra de kits pela internet, essa estrutura já vem pronta, porém é possível com materiais reciclados realizar a construção de um chassi próprio.

O chassi de um robô móvel pode acomodar duas ou mais rodas, esteiras, hélices e até mesmo "patas" para os geralmente chamados robô aranha.

Para se definir um chassi para o robô é necessário o levantamento de necessidades e especificações de cada projeto.

2.8 Pista

A pista é o trajeto pelo qual o robô irá prosseguir. Esse ambiente é responsável por delimitar o caminho pelo qual o robô seguidor de linha irá passar. Conforme pode ser visto na figura 7.

Figura 7 – Pista 8º Campeonato de Robótica Móvel UDESC



Fonte: (UDESC, 2017)

Existem vários tipos de circuitos que um robô pode percorrer, é de criatividade do projetista ou do caráter da competição à qual o robô participa. Os mais comuns são os circuitos fechados com curvas, circuitos com aclives e declives, circuitos com obstáculos de passagem, e circuitos mistos - envolvendo os citados anteriormente- como podemos ver na figura 8.

Figura 8 – Pista da Modalidade Prática – 1ª Etapa Regional da OBR



Fonte: (OBR, 2018)

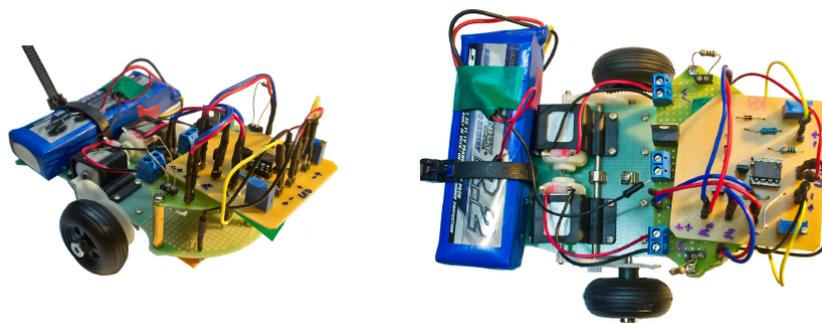
3 Trabalhos relacionados

Nessa seção serão apresentados trabalhos encontrados durante a etapa de levantamento bibliográfico que auxiliaram na produção deste trabalho.

1. **Projeto: Robô Seguidor de Linha:** Spillere (SPILLERE, 2013) descreve a projeção de um robô autônomo sem a utilização de eletrônica digital, utilizando como inspiração os robôs AGV - *Automated Guided Vehicle*.

O robô, apresentado na figura 9 percorre um trajeto em linha preta em um fundo branco utilizando um sistema de emissão e detecção de luz refletida sob o solo. Para realizar o projeto, Spillere fez uso de uma placa de circuito impresso montada ao invés de uma plataforma eletrônica de código aberto, faz uso também de resistores LDR (sensores dependentes de luz), motores CC e um kit de robótica da empresa *Hobby King*.

Figura 9 – AGV em sua versão final, visão lateral e superior



Fonte: (SPILLERE, 2013)

2. **Aplicação de controle proporcional em robô seguidor de linha:** O trabalho de Sarmiento, Sousa e Sampaio (SARMENTO; SOUSA; SAMPAIO, 2017) consiste na demonstração de uma robótica autônoma, com percurso “auto-programável”. Trata-se de um robô seguidor de linha que percorre uma linha preta em um fundo claro, que funciona com base em um controle do tipo Proporcional, em que a ação corretiva da trajetória é proporcional ao erro atuante. Os autores explicitam que optaram por utilizar o tipo de controle proporcional para guiar o seguidor de linha para que assim, as correções de sua trajetória sejam sempre proporcionais ao erro da posição do robô.

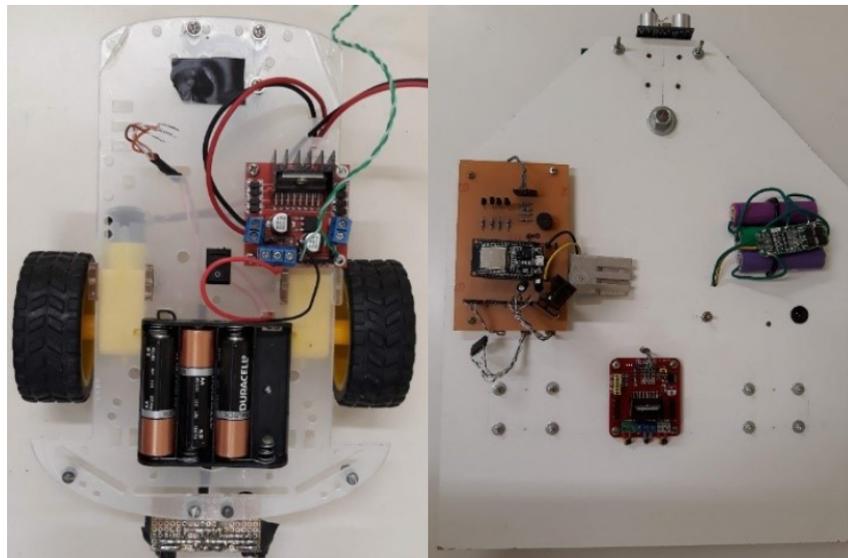
Inicialmente o trabalho tem uma forte base teórica voltada para a área de controles, fazendo um desenvolvimento detalhado de como funciona um sistema de controle proporcional. Os autores utilizam um Arduino Uno como plataforma eletrônica e utilizam também o software próprio do Arduino para programação, fototransistores como sensores para guiar a movimentação do robô pelo trajeto de linha escura, um chassi comercial e motores CC com caixa de redução acoplada.

3. **Desenvolvimento de um robô seguidor de linha alimentado por fonte de energia alternativa:** Machado e Moura (MACHADO; MOURA, 2019) apresentam o processo de prototipação de um robô seguidor de linha preta sobre o solo, de baixo custo, e para utilização de carga em sua Universidade, possuindo uma fonte de energia reciclável com um painel fotovoltaico.

O robô projetado por Machado teve duas versões, apresentados na figura 10, a primeira desenvolvida sob um chassi comercial, contando também com motores CC com caixa de redução acoplada e com sensores LDR, sensores RGB e sensores de distância para evitar colisões. O robô também contou com a utilização de uma placa Arduino como microcontrolador principal. Com a aplicação de algumas alterações, o chassi utilizado passou a ser um criado manual com material reciclado, essa alteração foi feita para suprir a falta de espaço que o primeiro chassi fornecia à quantidade de sensores acoplados. Os sensores também foram alterados, o sensor LDR foi substituído por sensores infravermelhos e o sensor RGB foi removido, pois estava causando conflitos entre hardware e software. O microcontrolador também foi substituído, o autor deixou de utilizar um Arduino e adotou o uso de um ESP32, um microcontrolador com a funcionalidade de Wi-Fi, que colabora na necessidade do autor de saber a localização do robô.

O autor complementa o trabalho com a criação de um web server para conectar o robô à computadores e smartphones através de Wi-Fi.

Figura 10 – Vista superior do chassi da versão inicial e final do robô



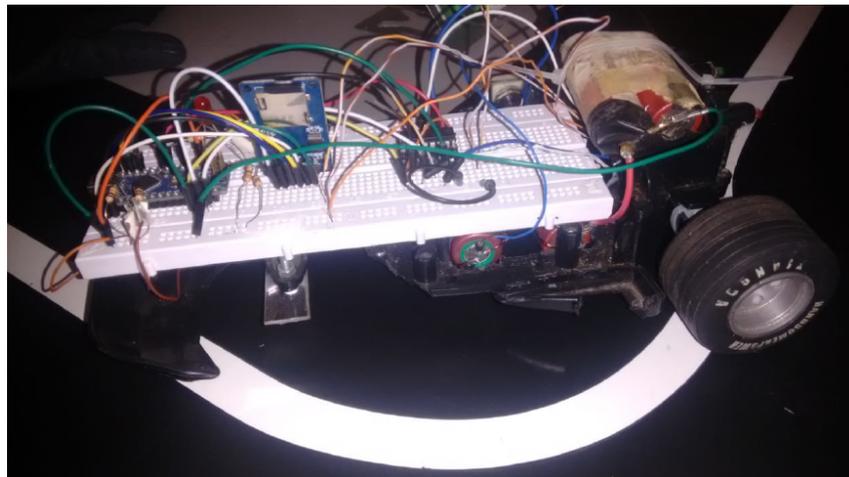
Fonte: (MACHADO; MOURA, 2019)

4. **Robô Seguidor de Linha com Aprendizado por Reforço:** O trabalho de Alves (ALVES, 2018) apresenta a criação de um robô seguidor de linha que faz uso de aprendizado por reforço através de uma técnica denominada Q-Learning, nesse trabalho em específico, o autor utiliza um circuito de linha clara e não escura como os demais como podemos ver na figura 11.

Sobre as especificações do robô, o autor utiliza um Arduino Nano ATmega328 como plataforma eletrônica, sensores infravermelhos TCRT5000 para guiar a movimentação do robô, a mistura de um chassi comercial com componentes reciclados, motores CC com caixa de redução acoplada e também faz uso de uma ponte H, um componente que além de definir, o sentido e velocidade dos motores, também tem a função de alimentá-los com uma fonte externa, visto que os microcontroladores em geral não possuem tensão e corrente necessária para acionar os motores.

O autor faz utilização de dois algoritmos diferentes programados na IDE do próprio Arduino aplicados ao seu robô, comparado-os à um algoritmo convencional. O primeiro, mais simples, recompensa/pune o robô somente pelo valor do estado atingido pela ação. O segundo algoritmo por sua vez possui maior complexidade, levando a recompensa em função da velocidade do robô, sua recompensa também é reduzida, até certo ponto onde a recompensa passa a ser uma punição.

Figura 11 – Vista lateral do robô



Fonte: (ALVES, 2018)

4 Procedimentos metodológicos

Segundo (GERHARDT;SILVEIRA, 2009, p.31–42), a presente pesquisa é exploratória quanto ao objetivo, caracterizada pelo levantamento bibliográfico e pela análise de exemplos que estimulem a compreensão do objeto de estudo em questão; aplicada quanto à natureza por gerar conhecimentos para aplicação prática, visando a prototipação de um robô; experimental quanto aos procedimentos técnicos, seguindo um planejamento e delimitando as variáveis atuantes sobre o protótipo.

4.1 Métodos e Materiais

Os métodos foram organizados da seguinte maneira:

1. Coletar dados relacionados ao funcionamento de um robô seguidor de linha;
2. Levantamento das especificações elétricas dos componentes do robô para seleção de componentes eletrônicos, tais como resistores e capacitores;
3. Criação de um circuito eletrônico capaz de receber sinais de um microcontrolador e acionar os motores do protótipo;
4. Adaptação do chassi quanto à acomodação dos componentes integrantes do circuito eletrônico.
5. Testar o funcionamento da locomoção do robô por diferentes rotas com características distintas;
6. Analisar a eficiência do robô para cada tipo de rota comparando o tempo de percurso.

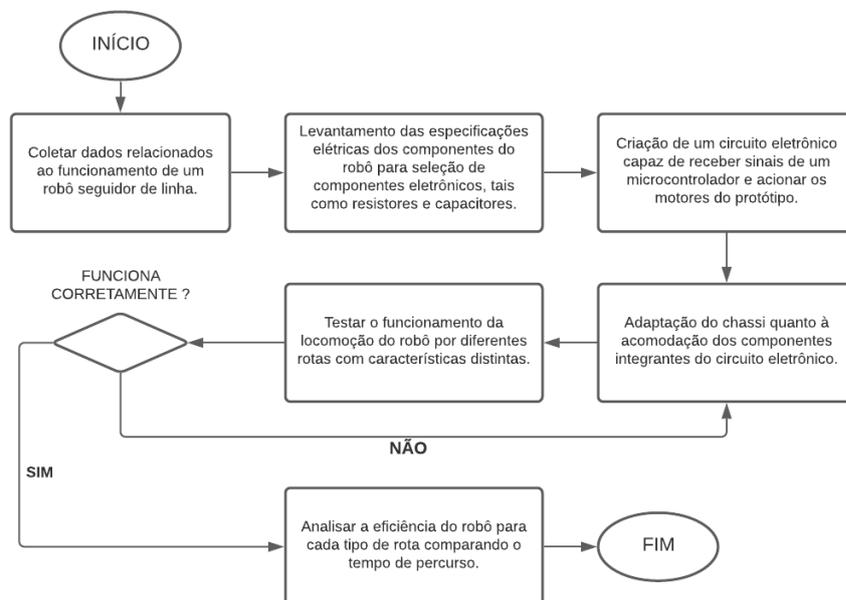
Os métodos acima foram organizados em diagramas, como consta na figura 12 e na figura 13 para melhor compreensão.

Os materiais utilizados são:

- Placa Arduino Nano:
 - 22 pinos de entradas/saídas digitais (sendo 6 portas PWM);
 - 8 portas de entradas analógicas;
 - Clock de 16 MHz
 - 5V a 12V
 - Memória flash de 32 KB
 - 2KB de SRAM

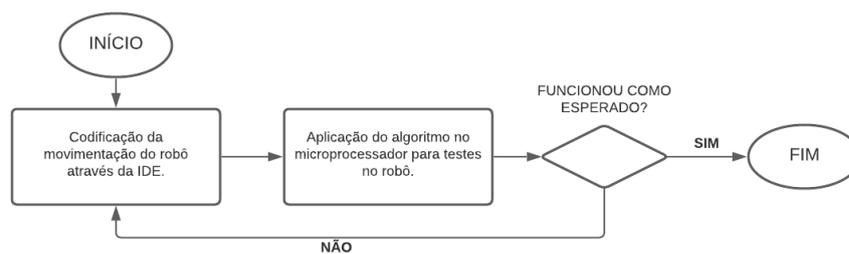
- Componentes Eletrônicos:
 - Placa Perfurada
 - Resistores
 - Transistores
 - Led's
 - Sensor de Luminosidade LDR
 - Regulador de tensão
- Ambiente de Desenvolvimento Arduino IDE 1.8.15;
- EasyEDA Library

Figura 12 – Fluxograma metodológico empregado para o desenvolvimento do projeto.



Fonte: Autor

Figura 13 – Fluxograma metodológico empregado para o codificação do projeto.



Fonte: Autor

5 Construção de um protótipo de robô seguidor de linha

O desenvolvimento deste trabalho consiste em criar um protótipo de um robô seguidor de linha de baixo custo capaz de acionar sensores para seguir por uma determinada rota. Com base nesse conceito, espera-se desenvolver uma solução eficiente.

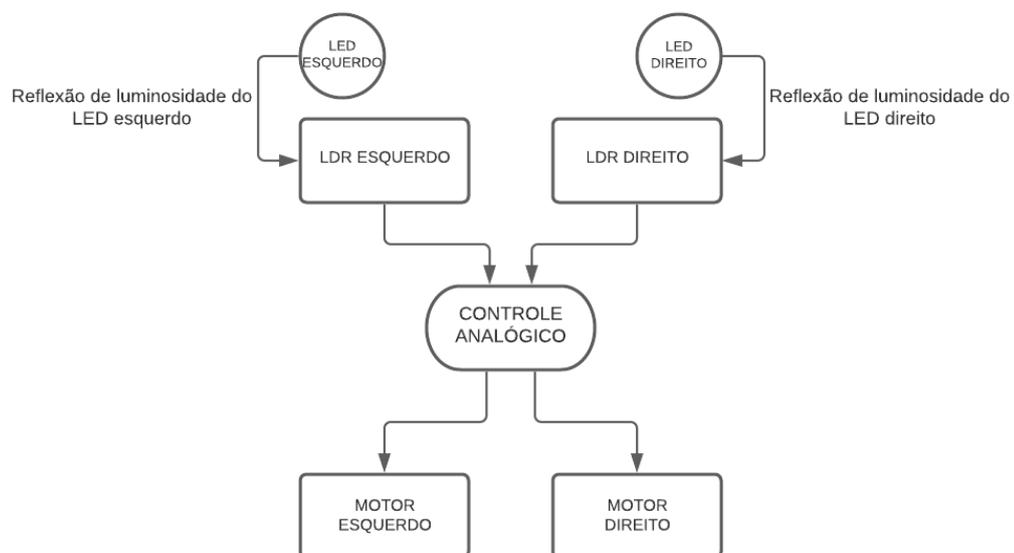
Neste capítulo serão apresentados os passos para o desenvolvimento do trabalho, desde a estrutura física, de hardware e software que foi necessária para atingir o objetivo proposto pelo trabalho.

5.1 Robô seguidor de linha

Tratando-se de robôs seguidores de linha, este tipo de robô tem como método de funcionamento identificar uma faixa de cor contrastante com o ambiente de movimentação do robô, utilizando sensores ópticos, e agindo de maneira que o robô se movimentará por cima dela. Essa identificação é comumente realizada através de câmeras, se tornando inviável pelo alto custo de aquisição, ou sensores fotoelétricos, que se torna a escolha para o presente projeto, para isso, utiliza-se LED's e sensores LDR.

O circuito de controle do robô seguidor de faixa tem como base um par de sensores como é mostrado no diagrama de blocos da figura 14.

Figura 14 – Diagrama de blocos do circuito



Fonte: Autor

Estes sensores ficam espaçados de forma que a faixa contrastante da superfície a ser percorrida pelo robô fique centralizada entre eles. Os sensores enviam um sinal para o controle analógico, que realiza um tratamento desses sinais. A saída do controlador atua sobre os dois motores, individualmente, e cada um deles é responsável pela velocidade de rotação de uma das rodas do robô. Quando um dos sensores atinge a faixa contrastante, esse sensor tem uma alteração no valor captado, com isso, o controle realiza uma correção de trajetória atuando sobre os motores para continuar mantendo o robô centralizado na faixa.

5.1.1 Captação e Processamento do sinal

O robô projetado é guiado através de referência ótica fazendo uso de dois LED's e dois sensores LDR, apresentado na figura 15, operantes por reflexão.

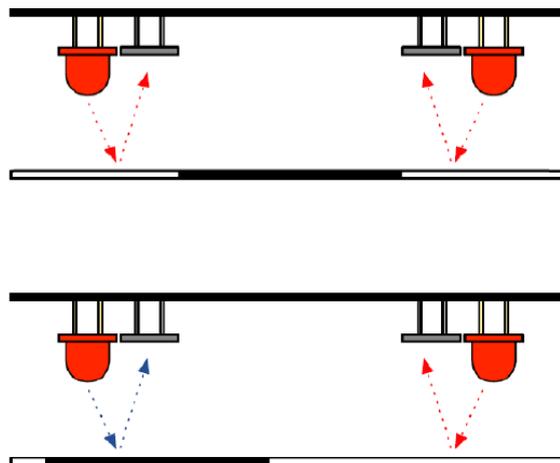
Figura 15 – Sensor LDR



Fonte: (Eletrônica, Baú da, 2021a)

Os LEDs emitem uma luminosidade sobre a superfície pela qual o robô percorre, o sensor LDR por sua vez, sensível à luz, converte a reflexão realizada entre a luz do LED e a superfície em corrente elétrica. Quando a reflexão ocorre sobre uma superfície clara, é emitido um sinal de valor alto, e quando ocorre a reflexão sobre a superfície da linha percorrida, esse valor emitido diminui, o fenômeno descrito é representado pela figura 16.

Figura 16 – Demonstração do funcionamento dos sensores



Fonte: (SPILLERE, 2013) modificado pelo Autor

O sinal da saída dos sensores é comparado no sistema de controle e cada motor do sistema recebe a alimentação necessária.

5.1.2 Motores DC

Para o desenvolvimento deste projeto, foi escolhido um motor DC com caixa de redução 1:48, que pode ser observado na Figura 17.

Figura 17 – Motor DC utilizado no projeto



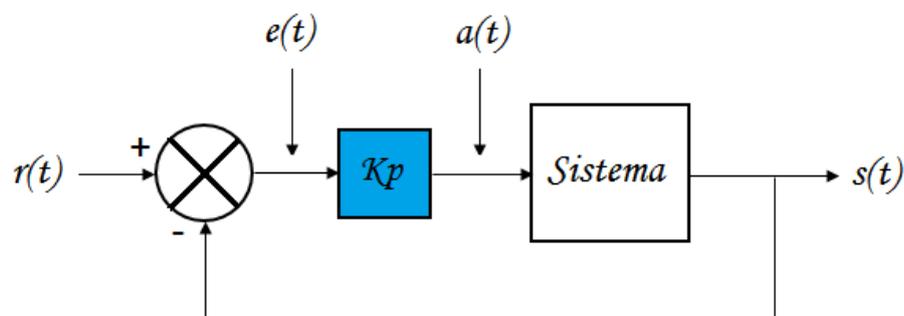
Fonte: (Eletrônica, Baú da, 2021a)

Ele possui tensão de operação entre 3 e 6 V. Esse modelo de motor possui dois terminais (eixo duplo), aplicando-se uma tensão em um dos terminais o motor gira em determinado sentido, invertendo a polaridade o motor gira no sentido inverso.

5.1.3 Controlador Proporcional

Para trabalhar com os motores no robô foi aplicado um controlador proporcional na lógica do projeto, a ideia desse tipo de controle é apresentado na figura 18. De acordo com Meneghetti, a razão entre a saída e a entrada do sistema é chamada de ganho proporcional, quanto maior for o ganho, menor será o erro de estado estacionário e o inverso acontece quando se reduz o ganho, este tipo de controle representa apenas um ajuste no ganho original. (MENEGETTI, 2007).

Figura 18 – Princípio de ação do controlador proporcional



Fonte: (MADEIRA, 2016)

Onde:

$r(t)$: Sinal de entrada;

s(t): Sinal de saída;

Kp: Ganho proporcional;

a(t): Sinal de controle;

e(t): Sinal de erro.

De acordo com Madeira, levando-se em conta a proporcionalidade direta entre o sinal de controle e o sinal de erro, pode-se afirmar que ambos os sinais são proporcionais (MADEIRA, 2016), essa ideia é representada pela equação 5.1.

$$a(t) \propto (e(t)) \quad (5.1)$$

Removendo o sinal de proporcionalidade entre as duas variáveis, admi-se uma constante de proporcionalidade entre elas, o ganho proporcional (Kp), como podemos ver na equação 5.2.

$$a(t) = Kp * e(t) \quad (5.2)$$

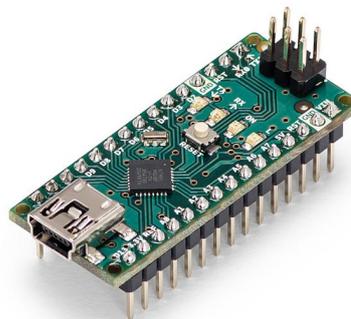
podendo ser escrito também como a equação 5.3

$$a(t) = Kp * (r(t) - s(t)) \quad (5.3)$$

5.1.4 Arduino Nano

Para o desenvolvimento deste trabalho, optou-se por utilizar o Arduino ATmega 328 Nano, apresentado na figura 19, uma placa que atende a todas as necessidades do projeto, oferecendo um ótimo custo benefício por ser uma das placas Arduino disponíveis no mercado com menores preços.

Figura 19 – Arduino ATmega 328 Nano



Fonte: (ARDUINO, 2021)

Esta placa possui clock de 16 MHz, memória flash de 32 KB, 22 pinos de E/S digitais, onde 6 podem ser usados como saídas PWM, que resulta em uma largura de pulso de uma onda quadrada, utilizada para controlar a potência/velocidade dos dados transmitidos. Tam-

bém possui 8 entradas analógicas, conexão via cabo USB e um botão de reset (ARDUINO, 2021).

Um dos principais motivos para a escolha do Arduino, é o seu baixo custo, aplicabilidade em diversas situações e o oferecimento de uma plataforma de programação própria simples e dedicada com uma linguagem fácil de trabalhar, semelhante à linguagem C++.

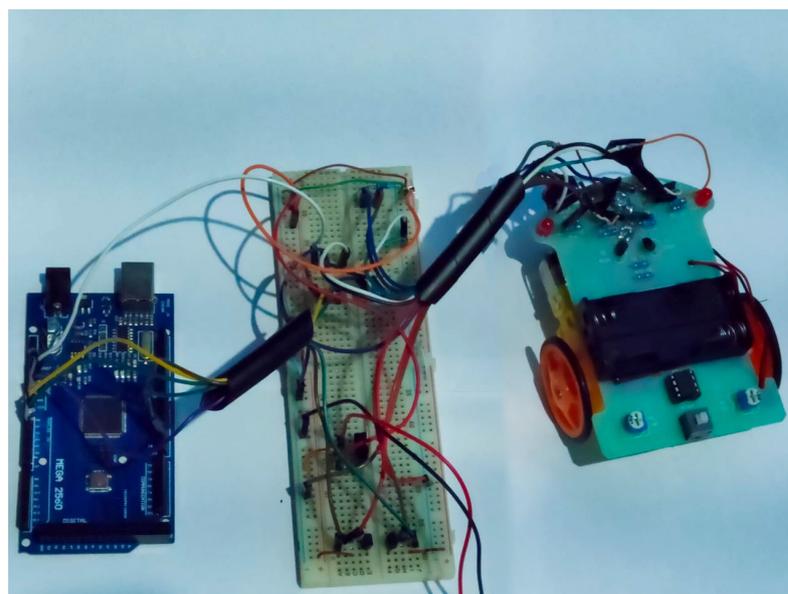
5.1.5 Montagem Final

Para a montagem do robô, primeiro trabalhou-se com a montagem do chassi, foi necessário fixar os motores através de uma fita dupla face resistente e soldar os componentes como LEDs, sensores LDR e transistores na carcaça do robô.

Para fazer o alinhamento de sinais entre os componentes eletrônicos e a placa Arduino, foi utilizado uma protoboard e jumpers macho-macho. Inicialmente, o modelo Arduino utilizado foi o Arduino Mega 2560, por ser o disponível, e tanto ele quanto o protoboard ficaram desconexos do chassi por não haver o espaço necessário para isso. O necessário então para o projeto é a substituição do modelo Mega para o modelo Nano, o mesmo acontece para a protoboard e o chassi que serão substituídos por uma placa perfurada.

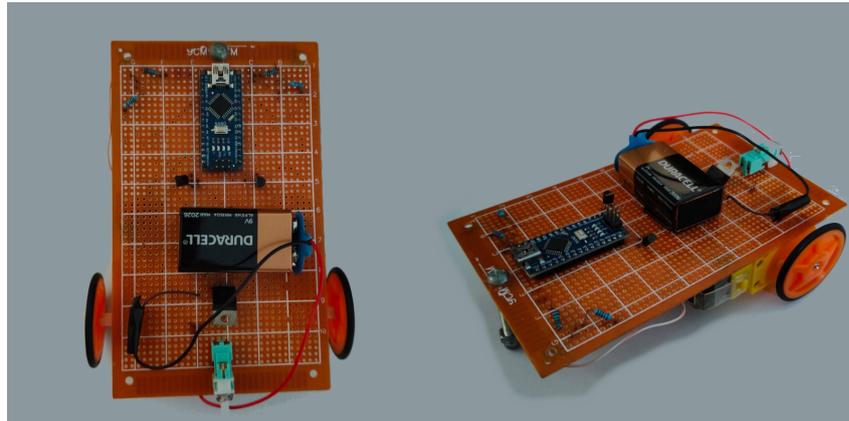
Realizadas as modificações no protótipo, a versão final do robô, apresentada na figura 21 se encontrou totalmente diferente da inicial, apresentada na figura 20, reduzindo a quantidade de fios conectando o sistema, o chassi que por sua vez agora consiste de uma placa perfurada e o Arduino que agora é um Nano, além da adição de uma bateria para alimentar os componentes ao invés da utilização de uma fonte diretamente ligada na tomada e um botão para ligar e desligar o robô.

Figura 20 – Protótipo do robô na fase inicial



Fonte: Autor

Figura 21 – Protótipo do robô finalizado



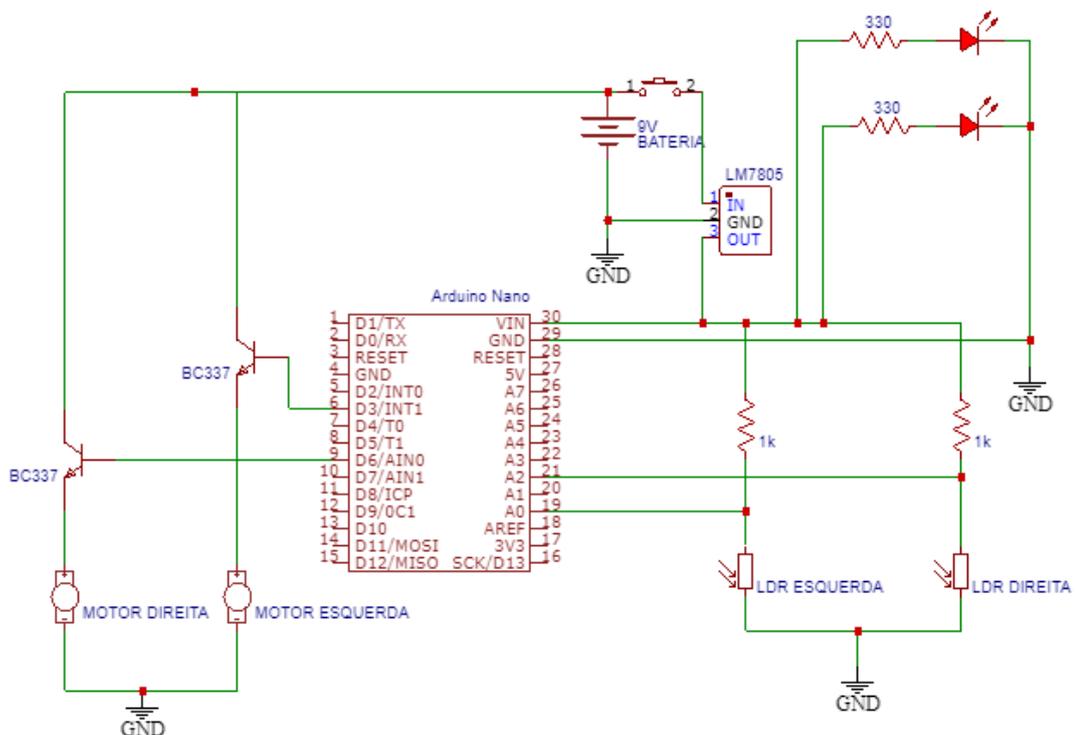
Fonte: Autor

5.2 Circuito eletrônico do robô seguidor de linha

O foco nessa seção é apresentar a lógica das ligações por trás do nosso protótipo, onde cada componente se localiza e ao que está diretamente conectado.

Para isso foi utilizado o software online EasyEDA Library (EASYEDA, 2022), acesso por (<https://componentsearchengine.com/library/easyeda>), um software gratuito com uma enorme biblioteca de componentes para placas de circuito impresso, nele é possível montar o diagrama da figura 22 para representar tais ligações.

Figura 22 – Circuito do protótipo projetado em



Fonte: Autor

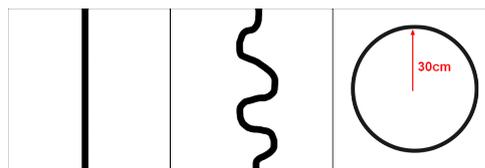
6 Testes e Resultados

Este capítulo apresenta os testes realizados e os resultados obtidos através do protótipo do robô seguidor de linha. Para isso foram projetados também circuitos para que o robô pudesse percorrer. Equipamentos eletrônicos, como o multímetro também foi utilizado para observação da tensão percorrida pelo circuito elétrico do robô.

6.1 Testes

Inicialmente o robô foi testado para três ambientes diferentes, o primeiro sendo uma pista com uma linha reta, o segundo uma pista com curvas e a terceira ambientação uma pista fechada como mostra na figura 23.

Figura 23 – Referência aos ambientes de testes 1, 2 e 3

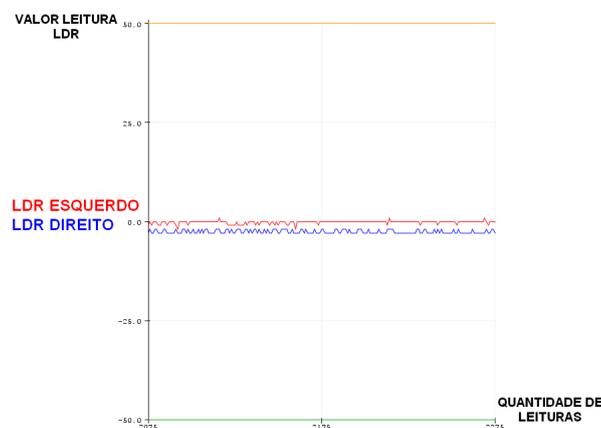


Fonte: Autor

Partindo do princípio do funcionamento do robô de que o valor lido pelos sensores LDR interfere na força aplicada por cada motor, foi realizada uma verificação desses valores através da plotagem de gráficos.

Na figura 24, o robô se encontra exatamente sobre a linha preta, a reflexão causada pela luz emitida dos LED's ocorre somente em terreno claro comparado com a linha escura, a pequena diferença de leitura se dá pela posição e acomodação dos sensores no robô.

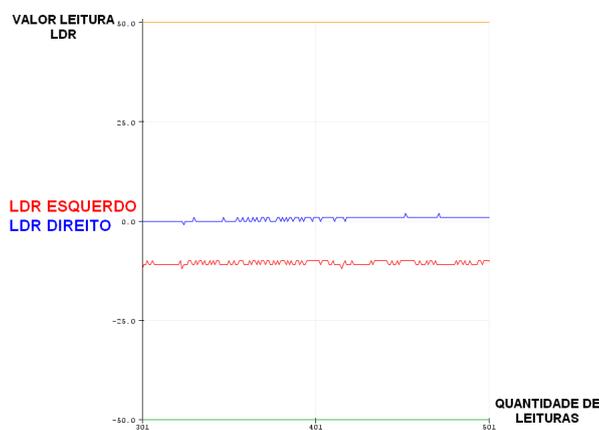
Figura 24 – Leitura dos sensores LDR com o robô alinhado sobre a linha



Fonte: Autor

Na figura 25, o robô se encontra direcionado para o lado direito, portando a reflexão do LED esquerdo se dá sobre a linha escura, o que causa o baixo valor lido, sendo aplicado nas forças no motor para corrigir a sua trajetória.

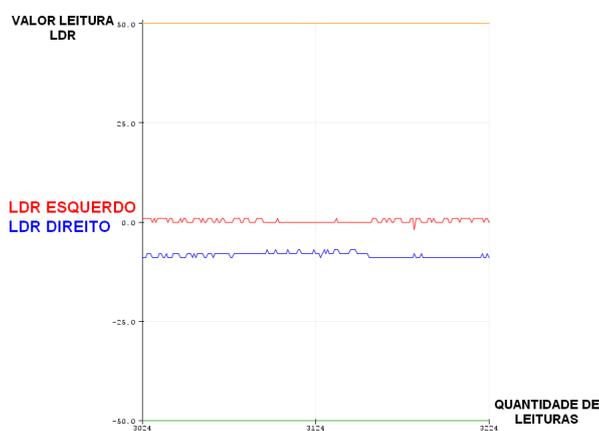
Figura 25 – Leitura dos sensores LDR com o robô direcionado para a direita



Fonte: Autor

Na figura 26, o robô se encontra direcionado para o lado esquerdo, portando a reflexão do LED direito se dá sobre a linha escura, o que causa o baixo valor lido, sendo aplicado nas forças no motor para corrigir a sua trajetória.

Figura 26 – Leitura dos sensores LDR com o robô direcionado para a esquerda



Fonte: Autor

6.2 Resultados Preliminares

No primeiro ambiente de testes, apresentado na figura 23, o robô prosseguiu o caminho perfeitamente, não houve falhas a se tratar. Já no segundo ambiente, como havia curvas de um ponto ao outro, o robô vez ou outra saía do percurso, para consertar essa falha, os valores de ganho para velocidade do motor foram alterados até chegar em um valor aceitável e que o robô permanecesse dentro do trajeto sem sair de cima da linha.

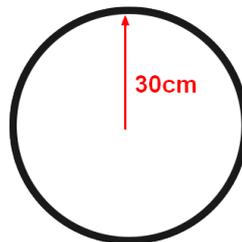
Para a terceira ambientação, o robô caminha para o correto, porém, uma vez que os componentes causam uma limitação na movimentação do robô por prendê-lo à um computador para testes, os fios que fazem essa conexão acabam puxando o robô e interferindo na sua avaliação, portanto, o teste torna-se falho.

6.3 Resultados Finais

Com a manutenção e modificações do protótipo para se chegar ao que havia sido idealizado, novos testes foram realizados, os ambientes de teste iniciais foram os mesmos utilizados para os resultados preliminares e uma nova pista foi implementada, unindo as características das três pistas antes citadas.

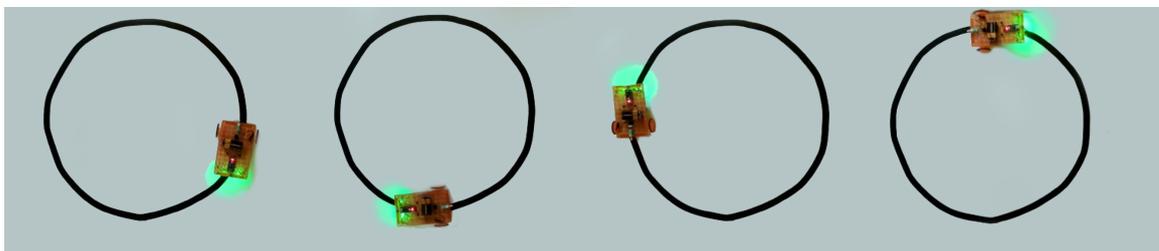
A pista da figura 27 e da figura 28 possui um raio de aproximadamente 30 centímetros. Nela, o protótipo percorreu o percurso por diversas vezes, e foi cronometrado o tempo para cada volta, e ao final de dez voltas, como mostrado na tabela 1, o tempo médio de aproximadamente 18,32 segundos foi medido, o gráfico da figura 29 representa essa variação de tempo.

Figura 27 – Ambiente de teste 3



Fonte: Autor

Figura 28 – Representação do ambiente de teste 3



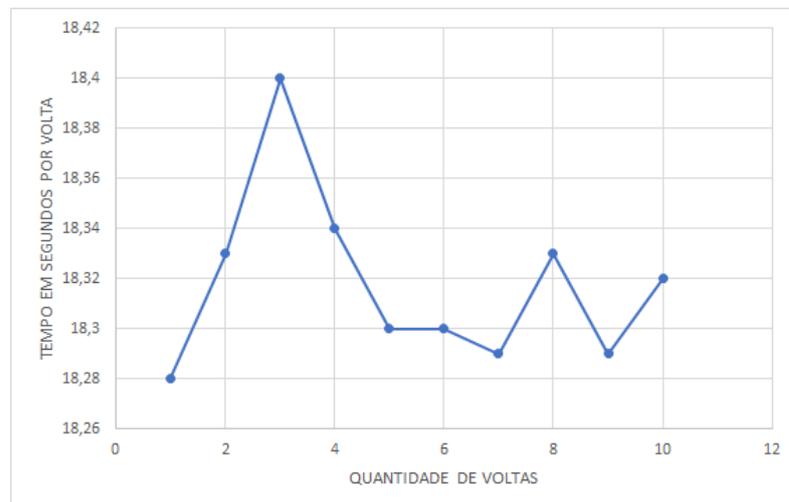
Fonte: Autor

Tabela 1 – Tempo gasto por volta na pista da Figura 27

Volta	Tempo Gasto
1	18,28
2	18,33
3	18,40
4	18,34
5	18,30
6	18,30
7	18,29
8	18,33
9	18,29
10	18,32
Tempo Médio	18,32

Fonte: Autor

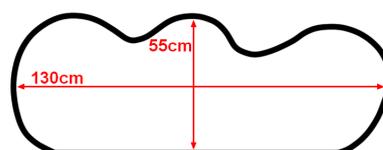
Figura 29 – Gráfico de tempo referente a Tabela 1



Fonte: Autor

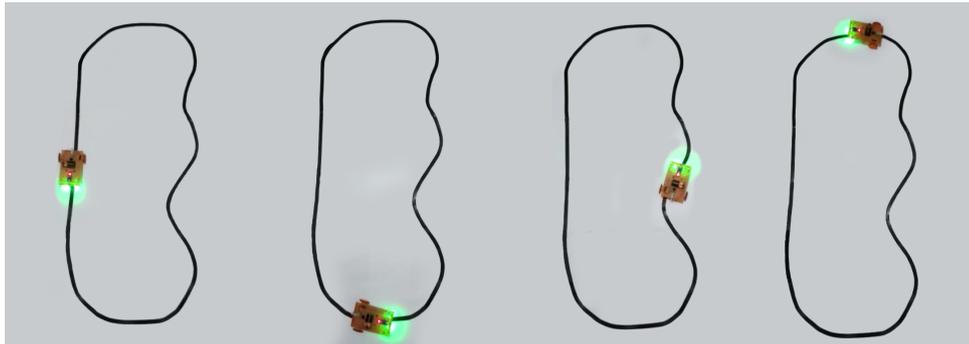
A pista da figura 30 e da figura 31 possui uma largura de aproximadamente 55 centímetros e um comprimento de aproximadamente 130cm. Nela, o protótipo percorreu o percurso por diversas vezes, e foi cronometrado o tempo para cada volta, e ao final de dez voltas, como mostrado na tabela 2, o tempo médio de aproximadamente 35,5 segundos foi medido, o gráfico da figura 32 representa essa variação de tempo.

Figura 30 – Representação do ambiente de teste final



Fonte: Autor

Figura 31 – Robô em ambiente de teste final



Fonte: Autor

Tabela 2 – Tempo gasto por volta na pista da Figura 30

Volta	Tempo Gasto
1	35,48
2	35,46
3	35,44
4	35,47
5	35,48
6	35,50
7	35,50
8	35,53
9	35,56
10	35,58
Tempo Médio	35,50

Fonte: Autor

Figura 32 – Gráfico de tempo referente a Tabela 2



Fonte: Autor

Após todas as análises e testes realizados com o protótipo, pode-se observar que sua funcionalidade se encontra em bom estado e os resultados de tempo apresentados pelas

tabelas 1 e 2 e seus respectivos gráficos das figuras 29 e 32 mostram que seu rendimento se encontra em uma faixa bastante aceitável.

Com a realização de várias voltas sobre os percursos e a bateria se esgotando, foi possível ver que o funcionamento do robô deixava a desejar. As leituras feitas já não eram mais tão consistentes o que acarretava na passagem de informação errada para os motores e o robô vez ou outra acabava saindo do percurso. Para resolver foi necessário uma nova bateria.

7 Considerações finais

O objetivo desse trabalho foi de criar um protótipo de um robô seguidor de linha, micro-controlado e visando o baixo custo, que fosse capaz de realizar leituras, através de sensores de luminosidade, da reflexão causada pela incidência de luz sobre um solo, através dessa leitura os motores do protótipo deveriam se acionar e gerar a movimentação pela pista.

Para trabalhar com os sinais, além da parte eletrônica também foi necessário fazer uso dos conceitos de controle, no trabalho foi utilizado o controle proporcional, fazendo um ajuste da força do motor através da leitura dos sensores.

Baseado nos testes feitos, pode se concluir que o projeto correspondeu às expectativas de funcionamento e foi capaz de realizar todos os percursos propostos mantendo uma boa velocidade e constância na média de tempo.

7.1 Trabalhos futuros

Os resultados deste trabalho sugerem algumas direções promissoras de trabalho futuro:

- Aumentar o número de sensores e LED's para melhor leitura de informações.
- Acrescentar mais rodas e motores para melhorar a locomoção do robô;
- Adicionar sensores para capacitar o robô de desviar de obstáculos;
- Fazer uso de componentes que tornem o ato de ligar e desligar do robô não manuais.

Referências

- ALVES, W. J. Trabalho de conclusão de curso. 2018. Citado nas páginas 23 e 24.
- ARDUINO. 2021. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 14 junho 2021. Citado nas páginas 16, 17, 18, 30 e 31.
- ASIMOV, I. *I, robot*. [S.l.]: Spectra, 2004. Citado na página 12.
- CANDIDO, G. *Robô seguidor de linha*. 2018. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/robo-seguidor-de-linha/>>. Acesso em: 2 janeiro 2022. Citado na página 13.
- DIAS, F. *ELETRÔNICA*. 2019. Disponível em: <<https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/eletronica>>. Acesso em: 6 setembro 2021. Citado na página 15.
- EASYEDA, L. *Component Search Engine*. 2022. Disponível em: <<https://componentsearchengine.com/library/easyeda>>. Acesso em: 2 janeiro 2022. Citado na página 32.
- Eletrônica, Baú da. *Componentes Eletrônicos*. 2021. Disponível em: <<https://www.baudaeletronica.com.br/componentes-eletronicos>>. Acesso em: 10 agosto 2021. Citado nas páginas 28 e 29.
- Eletrônica, Baú da. *Microcontrolador PIC*. 2021. Disponível em: <<https://www.baudaeletronica.com.br/componentes-eletronicos/microcontroladores/microcontrolador-pic>>. Acesso em: 10 agosto 2021. Citado na página 19.
- EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. *Arduino em ação*. [S.l.]: Novatec Editora, 2013. Citado nas páginas 16 e 17.
- FERREIRA, M. Lei de ohm. *Revista de Ciência Elementar*, Casa das Ciências, v. 3, n. 2, 2015. Citado na página 15.
- FILHO, T. F. B.; FERRARI, A. F. Aplicação de robôs nas indústrias. *Universidade Federal do Espírito Santo, Vitoria, ES. Disponível em:* <<http://www2.ele.ufes.br/~tfbastos/RobMov/robosindustriais.pdf>>. Acesso em, v. 7, 2014. Citado na página 13.
- GIOPPO, L. L. et al. Robô seguidor de linha. *Universidade Tecnológica Federal Do Paraná Departamento Acadêmico De Eletrônica/Informática Curso De Engenharia Da Computação, Curitiba*, 2009. Citado na página 20.
- GOMES, O. S. M. et al. Robô seguidor de linha para competições. *ForScience*, v. 2, n. 2, p. 07–11, 2014. Citado na página 13.
- IEEE Robotics and Automation Society. *IEEE Robotics and Automation Society*. 2021. Disponível em: <<https://www.ieee-ras.org>>. Acesso em: 14 junho 2021. Citado na página 13.
- MACHADO, D. P.; MOURA, E. R. V. Desenvolvimento de um robô seguidor de linha alimentado por fonte de energia alternativa. *Engenharia Elétrica-Pedra Branca*, 2019. Citado na página 23.
- MADEIRA, D. *Controlador proporcional*. 2016. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/controlador-proporcional/>>. Acesso em: 6 setembro 2021. Citado nas páginas 29 e 30.

- MARIN, L. d. O. et al. Arquitetura neural cognitiva para controle inteligente de robôs móveis em labirintos dinâmicos. 2012. Citado na página 12.
- MATARIĆ, M. J. *Introdução à robótica*. [S.l.]: Editora Blucher, 2014. Citado na página 12.
- MCROBERTS, M. *Arduino básico*. [S.l.]: Novatec Editora, 2018. Citado na página 16.
- MENEGHETTI, F. U. d. A. *Sistemas de Controle*. [S.l.]: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - CENTRO DE TECNOLOGIA - DEPTº. DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO E AUTOMAÇÃO, 2007. Disponível em: <<https://www.dca.ufrn.br/~meneghet/FTP/Controle/scv20071.pdf>> Acesso em: 6 setembro 2021. Citado na página 29.
- MIYADAIRA, A. N. *Microcontroladores PIC18: Aprenda e programe em linguagem C*. [S.l.]: Saraiva Educação SA, 2009. Citado na página 15.
- MONK, S. *Programação com Arduino: começando com Sketches*. [S.l.]: Bookman Editora, 2013. Citado na página 16.
- NASA. *Mars 2020 Perseverance Rover - NASA Mars*. 2020. Disponível em: <<https://mars.nasa.gov/mars2020/>>. Acesso em: 30 julho 2021. Citado na página 14.
- OBR. *MODALIDADE PRÁTICA – ETAPA REGIONAL SP – 1*. 2018. Disponível em: <<https://www.obr.org.br/modalidade-pratica-etapa-regional-sp-1/>>. Acesso em: 2 março 2022. Citado na página 21.
- OTTONI, A. L. C. *Introdução à robótica. Material de estudo. I ORCV Olimpíada de Robótica do Campo das Vertentes, Universidade Federal de São João del Rey*, 2010. Citado na página 12.
- RIBEIRO, M. I. Sensores em robótica. *Enciclopédia Nova Activa Multimédia, Volume de Tecnologias*, pgs, p. 228–229, 2004. Citado na página 20.
- SANTOS, Marco Aurélio da Silva. *Eletricidade: Acionamento de Motores Elétricos*. 2021. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/eletricidade-acionamento-motores-eletricos.htm>>. Acesso em: 25 julho 2021. Citado na página 20.
- SARMENTO, M. V.; SOUSA, P. M. L. G.; SAMPAIO, V. M. *Aplicação de controle proporcional em robô seguidor de linha*. 2017. Citado na página 22.
- SOUZA, D. J. de. *Desbravando o PIC: ampliado e atualizado para PIC 16F628A*. [S.l.]: Saraiva Educação SA, 2005. Citado na página 19.
- SOUZA, F. de. *Automação Industrial e Robótica*. [S.l.]: página Web, http://webx.ubi.pt/~felippe/texts3/autom_ind_cap1.pdf . . . , 2009. Citado na página 20.
- SOUZA, Fábio. *Entendendo as Entradas Analógicas do Arduino*. 2021. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/arduino-entradas-analogicas/>>. Acesso em: 25 julho 2021. Citado na página 16.
- SPILLERE, D. Projeto: Robô seguidor de linha. 2013. Citado nas páginas 22 e 28.
- UDESC. *Campeonato de Robótica reúne 60 competidores na Udesc Joinville*. 2017. Disponível em: <https://www.udesc.br/noticia/campeonato_de_robotica_reune_60_competidores_na_udesc_joinville>. Acesso em: 2 março 2022. Citado na página 21.
- WOLF, D. F. et al. Robótica móvel inteligente: Da simulação às aplicações no mundo real. In: SN. *Mini-Curso: Jornada de Atualização em Informática (JAI), Congresso da SBC*. [S.l.], 2009. p. 13. Citado nas páginas 12 e 14.