



Fundação Universidade Federal do ABC

Pró reitoria de pesquisa

Av. dos Estados, 5001, Santa Terezinha, Santo André/SP, CEP 09210-580

Bloco L, 3ºAndar, Fone (11) 3356-7617

iniciacao@ufabc.edu.br

**Relatório final
no Edital IC 01/2021**

Nome do aluno: Paulo Henrique Hartmann Sales

Assinatura do aluno:

Nome do Orientador: Diego Paolo Ferruzzo

Assinatura do Orientador:

Título do projeto: APLICAÇÃO DE SISTEMAS EMBARCADOS PARA
VEÍCULOS AUTÔNOMOS

Palavras-chave do projeto: robotização; automação; veículos autônomos; inteligência embarcada; sistemas embarcados.

Área do conhecimento do projeto: Engenharia Aeroespacial

São Bernardo do Campo - SP

Outubro - 2022

Sumário

1	Introdução	4
1.1	Proposta de Pesquisa	6
2	Materiais e Métodos	8
2.1	Materiais - Desenvolvimento	8
2.2	Materiais - Formação do Veículo	9
2.2.1	Estrutura visual do veículo	11
3	Revisão Bibliográfica - Veículos Autônomos	12
3.1	Artigo - Veículos Autônomos: Conceitos, Histórico e Estado-da-Arte	12
3.1.1	Histórico dos Veículos Autônomos no contexto de Sistemas de Transporte Inteligente	12
3.1.2	Histórico dos Veículos Autônomos no contexto da Robótica	13
4	Revisão Bibliográfica - Algoritmos de Movimentação	15
4.1	Artigo - Algoritmos de Controle Preditivo para Seguimento de trajetórias de Veículos Autônomos	15
4.2	Artigo - Método de Desvio de Obstáculos Aplicado em Veículo Autônomo	16
4.3	Conclusão do Algoritmo	18
5	Programação	20
5.1	Sensor LDR	20
5.2	Sensor HC-SR04	21
5.3	Motor e Módulo L298N	22
6	Resultados	26
6.1	Compreensão do ambiente externo	26
6.1.1	Dados do sensor LDR - Luminosidade	26
6.1.2	Dados do sensor Ultrassônico - Distância	27
6.2	Poder de processamento e potencialidades	29
6.2.1	Desempenho computacional	29
6.2.2	Funcionalidades	30
6.3	Registro de dados sobre o percurso	31
6.3.1	Utilização do sensor LDR para determinação de diferentes caminhos no percurso	31
7	Conclusão e Próximos Passos	34

Resumo

O mundo está passando por mudanças mais complexas e dinâmicas, percebendo-se esse fato ao decorrer das revoluções industriais vivenciadas pelas sociedades ao redor do globo. A 1^o Revolução Industrial foi um grande marco disruptivo da história moderna humana, sendo o grande ápice tecnológico e manufatureiro em curso no contexto e, até o momento, na totalidade da história humana, onde houve a criação do motor a vapor e sua utilização para a produção de bens de uso, marcado, principalmente, pela fabricação de tecidos, de uma forma rápida, em grande volume, que tornou cada vez mais acessível os bens de consumo desde então. Dessa forma, a sociedade já passou por três revoluções industriais, com intervalos de tempo que estão diminuindo a cada revolução, trazendo novas tecnologias, marcando o uso de novas formas de energia, e conectando as pessoas ao redor do mundo de forma cada vez mais eficaz, trazendo a tona a questão da globalização que está presente nas relações entre países e pessoas. Dessa forma, notando a importância de todo esse contexto, segundo especialistas, está em curso a 4^o Revolução Industrial, também batizada de indústria 4.0, a qual possui o grande diferencial de buscar aplicar a robotização e automatização em larga escala, tanto no âmbito da manufatura quanto para o uso do consumidor final. Assim, há grande necessidade de se inserir nesse contexto com pesquisas e desenvolvimento que propiciem a aplicação desse novo sistema de indústria, totalmente focada no consumidor, altamente dinâmica, e com a necessidade de alta tecnologia e robotização para tornar viável e promissor para o desenvolvimento da sociedade como um todo. Por tanto, o presente projeto focará em aplicar os sistemas embarcados em veículos autônomos, majoritariamente aqueles que não tem a presença de humanos em seu interior (veículos não tripuláveis), para compreender e desenvolver esse novo tipo de inteligência embarcada a luz da automação e facilidade das atividades humanas.

Palavras-chave: robotização; automação; veículos autônomos; inteligência embarcada; sistemas embarcados.

1 Introdução

A história humana vivenciou diversos momentos disruptivos, transformando a sociedade para sempre, trazendo singularidades essenciais para o desenvolvimento das sociedades humanas. Um dos principais momentos, provavelmente dos mais importantes, foi a conhecida como Revolução Agrícola, um momento de disrupção tecnológica que tornou possível ao ser humano produzir seu próprio alimento, estabelecendo-se em um local específico e estratégico - algo vivido desde o período Neolítico, mas com essa nova Revolução permitiu isso de uma forma ainda mais intensa, até mesmo pelo fato de que as sociedades começaram a crescer de forma estrondosa (MAGRIÇO, 2011). Essa primeira revolução tecnológica estruturou a característica das sociedades, estando presente essas características até os tempos atuais. Apesar de não apresentar uma relação direta com os desenvolvimentos das três revoluções industriais vividas, no livro "Sapiens - uma breve história da humanidade" (HARARI, 2015) o autor traz consigo uma argumentação de causas e consequências, além de dissipar os senso comuns da atualidade, o qual traz a narrativa de que aquele primeiro momento - da Revolução Agrícola - permitiu que chegassemos no estágio de desenvolvimento tecnológico que ocorreu na indústria, como está demonstrado na Figura 1.

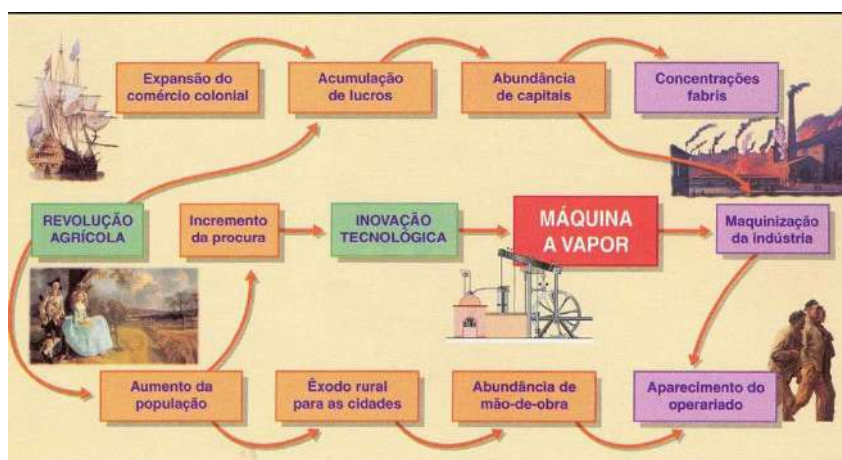


Figura 1: Imagem apresentando as consequências com a Revolução Agrícola
Fonte: <http://historia8-penedono.blogspot.com>

Assim sendo, a Primeira Revolução Industrial marcou de vez, e anunciou, o rápido desenvolvimento tecnológico que seria apresentado ao decorrer da Era Moderna, com a invenção do motor a vapor, a introdução desse maquinário para a manufatura de tecidos a fim de ser mais rápida, volumosa e barateando o custo dos produtos. Na atualidade há o anúncio da Quarta Revolução Industrial, o qual batiza de Indústria 4.0, sendo uma revolução tecnológica que está em curso no século XXI, diante dos olhos da sociedade. Por tanto se é necessário apresentar as características desse novo modo de produzir e desenvolver tecnologia:

- Inteligência Artificial;
- Internet das Coisas (IoT);
- Automação Robótica;
- Integração de Sistemas;
- Foco no consumidor, sendo um ator na criação de novos produtos.

Basicamente a indústria 4.0 está há um passo de ser totalmente ligada a computação, integrando sistemas de produção, desenvolvimento, marketing e vendas, buscando trazer não somente os mais avançados sistemas de automação para a fabricação de produtos, como entregando esse tipo de avanço ao cliente final (INDÚSTRIA, 2021). Grandes características para isso é a construção de inteligências artificiais que buscam compreender as necessidades humanas, robôs capazes de situar-se no meio e uma comunicação eficiente para com os consumidores e o mundo.

Seguindo esse presente contexto do desenvolvimento industrial e tecnológico em curso no mundo, é de extrema importância que sejam desenvolvidos estratégias e tecnologias que acompanhem a necessidade que está sendo gerada pela indústria 4.0. Por tanto, a automação de dispositivos de forma segura, ágil e eficiente é essencial para o cenário de desenvolvimento dinâmica apresentado pelo mundo atual. Além disso, essa necessidade baseia-se com a necessidade de trazer ao Brasil um posto de ator dessas mudanças que estão sendo apresentadas e as que ainda tornarão realidade, para tanto, o governo brasileiro, por meio do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) junto ao Ministério da Economia (ME) teve a introdução da iniciativa de fomento ao desenvolvimento de temas relacionados a Indústria 4.0 (REDAÇÃO, 2021), como apresentado na Figura 2 os pilares geradores e norteadores da Indústria 4.0.

Essa estrutura de indústria baseia-se quase que inteiramente nas necessidades de seus consumidores e usuários, tornando-se assim não mais um ator que apresenta o que, em tese, o consumidor necessita, mas sim depende do consumidor para entregar exatamente aquilo que precisa - colocando o consumidor/usuário numa posição mais ativa na cadeia produtiva -, nisso imputa-se a necessidade de ser extremamente dinâmica na sua forma de desenvolver produtos, anunciá-los e vendê-los. Dessa forma, a tecnologia entra de uma maneira a agilizar esse processo, tanto de aprender o que o consumidor necessita, como também para entregar o que é necessário de forma eficaz.

Por fim, há de ter conhecimento que a tecnologia é um grande aliado para o desenvolvimento humano e para a mitigação de mazelas sociais, isso apresenta-se de forma intensa com o crescimento das empresas ESG ("Environmental, Social and Governance", que em português pode-se traduzir para "Ambiental, Social e Governança"), demonstrado na Figura 3, que são as empresas com enfoque no impacto positivo no mundo e que, em sua

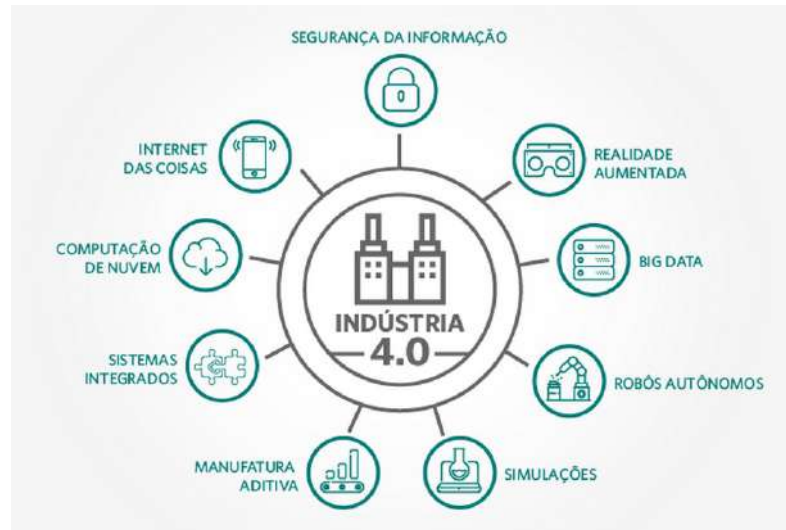


Figura 2: Imagem apresentando diagrama da Indústria 4.0.

Fonte: <https://blog.safetycontrol.ind.br/solucoes/industria-4/>

maioria, utilizam das tecnologias da Indústria 4.0 para seu desenvolvimento (REFINITIV, 2021).

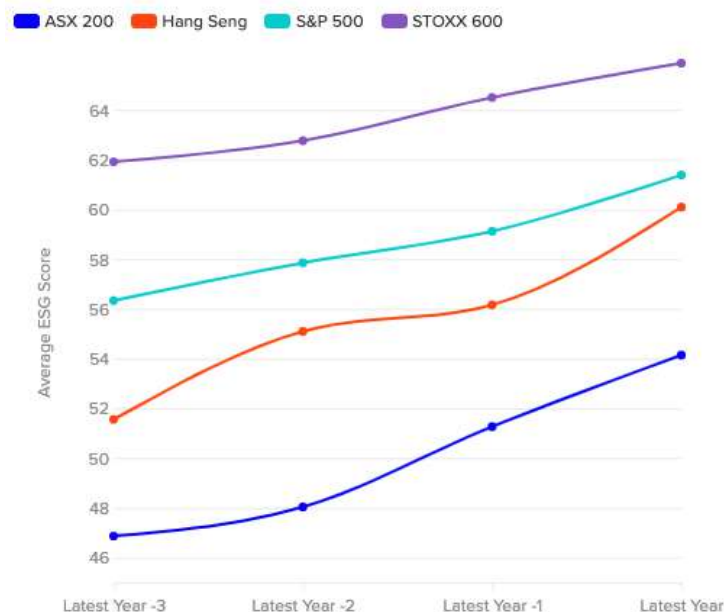


Figura 3: Imagem apresentando o crescimento de valor e quantidade das empresas com características ESG nas principais bolsas do mundo.

Fonte: <https://solutions.refinitiv.com/esg-data>

1.1 Proposta de Pesquisa

Portanto, a intenção do presente projeto de pesquisa é o de implementar parte dessas características no estudo de automação de veículos, similarmente ao que são utilizados em fábricas para tornar mais dinâmica a estrutura logística e operacional de empresas

de ponta (VEJA, 2021). Esses veículos são essenciais para as industriais atualmente, principalmente as responsáveis por uma questão logística extremamente complexa - como nota-se pela Amazon, uma empresa de E-commerce presente em dezenas de países, sendo reconhecida pela qualidade e agilidade no envio, o que é possível pela alta automatização dos veículos internos dos galpões.

Dessa forma, para que seja possível o desenvolvimento de um veículo de pequeno porte autônomo, serão necessários diversos sensores e uma programação - de cunho condicional, já que o microcontrolador presente no dispositivo deverá tomar decisões acerca de quais movimentações deverá efetuar para se manter na trajetória de forma correta. Além disso, será focado em desenvolver um veículo que se guie por meio de marcações no chão, como mostrado na Figura 4

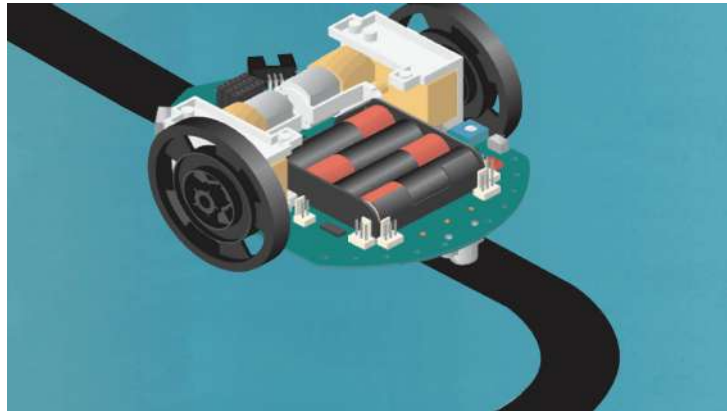


Figura 4: Imagem apresentando o conceito de veículo autônomo que se ambienta na movimentação por meio de linhas no chão.

Fonte: <https://www.usinainfo.com.br/blog>

Essa abordagem permite um nível de complexidade adequado para o aprendizado de automatização de dispositivos, por utilizar parâmetros fixos de movimentação e orientação espacial (por se tratar de uma movimentação orientada pela marcação no chão).

2 Materiais e Métodos

2.1 Materiais - Desenvolvimento

Microcontrolador:

- Arduino (Figura 5).

Todo o projeto de automação relacionado a veículos robóticos, como foi citado no artigo sobre Veículos Autônomos, comentado anteriormente, depende de uma computação avançada para o processamento de dados do externos e, assim, avaliação interna dos atos que devem ser realizados como tomadas de decisão do veículo. Ao considerar o seguinte exposto, deve-se utilizar de capacidades computacionais que permitam uma automação completa por parte do veículo, sem dependência de recursos de dados, análises e tomadas de decisão vindo de forma externa ao veículo - como seria o caso de um veículo sendo controlado por controle remoto, o qual depende de instruções externas, ser humano, para a execução de movimentos adequados para a sua locomoção.

Dessa forma, o material principal para que esse tipo de requisição seja respeitada e, assim, tenhamos uma automação robótica condizente, deve-se ter o uso do Arduino, constituindo um microcontrolador capaz de avaliar o ambiente, por meio de seus diversos sensores e módulos que podem ser acoplados para esse trabalho de recebimento de dados do ambiente. A etapa seguinte, a qual exige recursos computacionais e algoritmos que sejam capazes de interpretar dados da forma correta, fica em função do arduino em processar tudo o que vem dos sensores e, assim, a partir de instruções pre-estabelecidas pelos algoritmos, tomar decisões de forma própria, permitindo a navegação adequada do veículo e atingindo os objetivos propostos.



Figura 5: Imagem do Arduino que foi utilizado para o desenvolvimento prático das pesquisas.

Editor de código:

- IDE Arduino;

Em questão da continuidade do uso do Arduino, de forma adequada, é necessário o desenvolvimento e implementação de algoritmos em sua memória interna, a fim de que seja possível utilizar seus recursos computacionais e torná-lo capaz de realizar as tomadas de decisões citadas a pouco. Para tal, o editor de código próprio para o Arduino, desenvolvido pela Arduino, permite um espaço de desenvolvimento dedicado ao microcontrolador em questão, utilizando bases de conhecimento da linguagem C e C++ para a construção de códigos. Portanto, todo o uso de recursos externos ao arduino, para a sua concepção completa e implementação para seu interior, estão sendo utilizados por meio da IDE Arduino.

Linguagem de programação:

- Linguagem C/C++;
- Python.

Como comentado, para o desenvolvimento do código que embarcará o Arduino, é necessário conhecimentos de linguagem C/C++, pois a IDE Arduino foi desenvolvida direcionada a esse tipo de linguagem de programação que é amplamente utilizada para sistemas robóticos. Além disso, a necessidade do uso de Python reside na necessidade adequada da visualização dos dados que foram gerados ao decorrer dos estudos com os sensores e as técnicas de algoritmos testados para a automação do carro autônomo utilizando o Arduino, então, basicamente, Python mostra-se como uma linguagem para a análise dos dados.

2.2 Materiais - Formação do Veículo

Sensores

- Fotorresistor - Sensor LDR (Figura 6);
- Sensor de distância ultrassônico - HC-SR04 (Figura 6);

Primeiramente, os dispositivos utilizados com os sistemas embarcados, que serão os vários sensores presentes são chamados de MEMS¹ (MNX, 2020), sendo responsáveis pela percepção analógica do que ocorre com a veículo. Sendo assim, o importante para este projeto é determinar: os sensores embarcados em aplicações de automação de veículos; programação para que esses sensores funcionem de maneira adequada, atingindo o objetivo de automotização segura e eficaz.

A imagem de cada um dos sensores a serem utilizados encontra-se abaixo (figura 6):

¹ *Micro Eletronic Mechanical System*, que em português significa "Sistema Mecânico Micro Eletrônico"

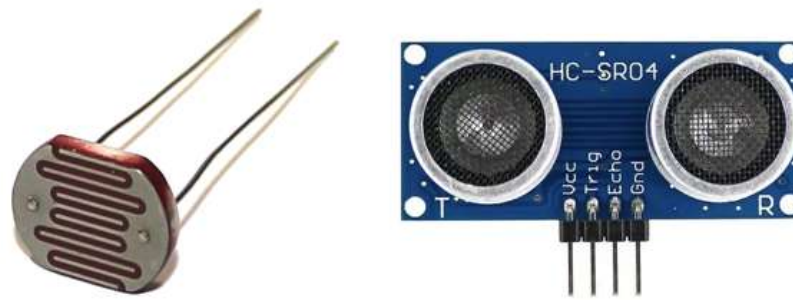


Figura 6: A esquerda encontra-se o sensor de luminosidade LDR, a direita encontra-se o sensor ultrassônico HC-SR04.

Componentes eletrônicos e estruturais

Além dos sensores, serão necessários outros componentes para compor o veículo autônomo:

- Motores;
- Módulo L298N;
- Baterias;
- Base estrutural;
- Rodas e etc.

A imagem de cada um dos componentes eletrônicos e estruturais (figura 7):



Figura 7: Imagem de todos os materiais estruturais e eletrônicos a serem utilizados, em conjunto com o Arduino.

2.2.1 Estrutura visual do veículo

A partir dos materiais propostos para o desenvolvimento do protótipo a ser utilizado para o estudo e formação do conhecimento acerca de veículos autônomos, temos o que seguinte plano de estruturação do veículo (figura 8 e 9):

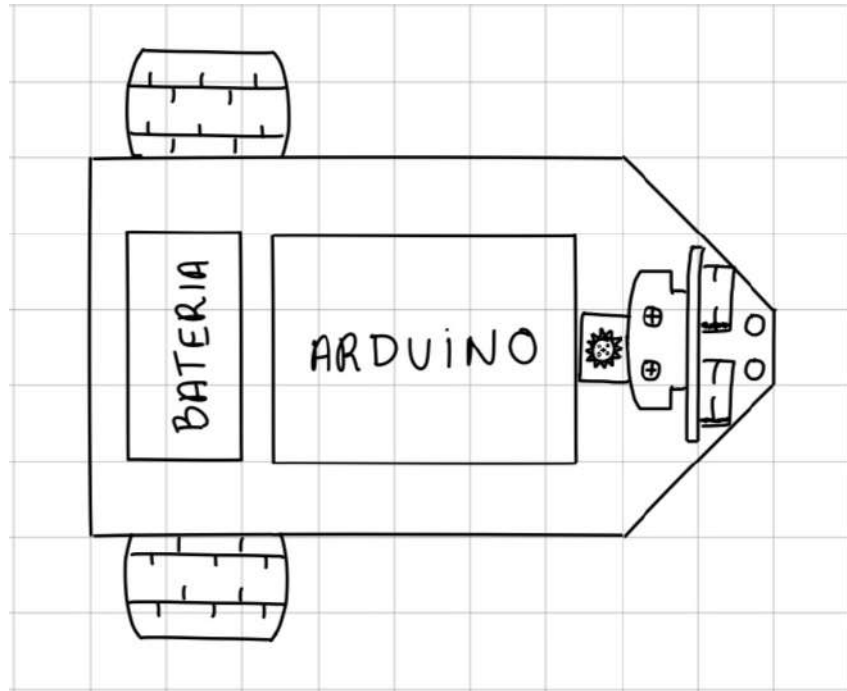


Figura 8: Representação gráfica da visualização do veículo de testes, vista de cima.

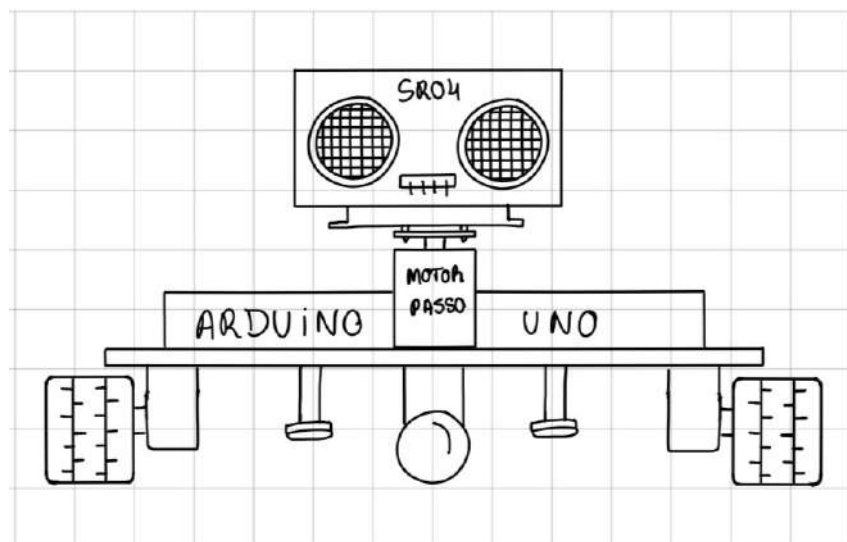


Figura 9: Representação gráfica da visualização do veículo de testes, vista de frente.

3 Revisão Bibliográfica - Veículos Autônomos

3.1 Artigo - Veículos Autônomos: Conceitos, Histórico e Estado-da-Arte

O artigo "Veículos Autônomos: Conceitos, Histórico e Estado-da-Arte" (SIMÕES, 2013) estabelece o conceito de carro robótico ou carro que não possui motorista ou, até mesmo, carro autônomo, todos esses nomes indicando adequadamente o mesmo tipo de veículo o qual não necessita de um ser humano para a sua locomoção. Basicamente, sendo um veículo o qual é dotado de sensores e atuadores, com uma função inicial pre-estabelecida pelo usuário, navegar de forma segura sobre a superfície terrestre (Ozguner et al., 2007; Gonçalves, 2011).

Diferente de outros tipos de veículos, o carro robótico tem como função e utilidade os seguintes objetivos:

- Servir para transporte de humanos e/ou de bens;
 - Para o caso do presente estudo de viabilidade e desenvolvimento de veículos autônomos, possui-se o objetivo da construção baseado no que é realizado em galpões de grandes empresas como Amazon e Mercedes, o qual o veículo autônomo tem como objetivo o transporte exclusivo de bens.
- Possuir capacidade de navegação em larga escala;
- Ser capaz de sensoriar, processar e responder a eventos dinâmicos e estáticos do ambiente em um tempo adequado de forma similar ou superior ao desempenho desenvolvido por condução humana.

3.1.1 Histórico dos Veículos Autônomos no contexto de Sistemas de Transporte Inteligente

O histórico relacionado com os veículos autônomos (VAT - Veículo Autônomo Terrestre), data pela primeira vez logo antes do início da Segunda Guerra Mundial, em 1939, o qual grandes montadoras, como a GM, apresentaram na Feira Mundial de Nova York o protótipo do que seria o transporte no futuro. Nessa primeira exposição foi apresentado que rodovias seriam inteligentes, a qual teriam como grande função a correção da direção dos motoristas humanos quando cometessem erros que não poderiam ser cometidos. Apesar de se mostrar algo muito promissor e ter interessado em muito na época, devido ao início da Segunda Guerra Mundial, todos os esforços e investimentos foram direcionados para o setor armamentista, obrigando a estagnação das pesquisas (SIMÕES, 2013).

Após esse marcante momento, em 1958, a GM fez a primeira demonstração da tecnologia, a qual utilizava de cabos eletrizados, a partir dos carros, que eram enterrados na

rodovi, cuja a corrente alternada era percebida por bobinas na parte frontal do veículo (WETMORE, 2003). Essa corrente alternada permitia a transmissão das informações para o veículo. No entanto, mesmo sendo muito interessante a proposta, esta não lidava totalmente com o conceito de automação do veículo, pois dependeria de uma central, rodovia, para que as instruções fossem passadas.

Atualmente, os Sistemas Inteligentes de Transportes (agência estadunidense dedicada ao desenvolvimento de tecnologias de transporte - no seguinte exposto no caso da automação) vem desenvolvendo tecnologias segmentadas em duas áreas principais (SUSSMAN, 2005):

- Sistema Avançado de Gerenciamento de Tráfego - ATMS
- Sistema Avançado de Informação ao Viajante - ATIS

Ambos os sistemas estão ligados ao que é mais necessário para a implementação de novas tecnologias de transportes, vinculadas diretamente aos veículos, para a sua automação completa e eficiente.

3.1.2 Histórico dos Veículos Autônomos no contexto da Robótica

A aplicação da robótica móvel nasce em 1960 com a intenção de se desenvolverem veículos que pudessem ser controlados remotamente, para fins militares e de exploração, a época. Esses veículos teriam como uso em diferentes tipos de ambientes como: terrestre; aéreo; marítimo; e espacial. Posteriormente a esse objetivo primeiro do desenvolvimento que esses estudos e conhecimentos começaram a avançar para outras utilizações, sendo para uso doméstico, desarmamento de bombas, socorro emergencial, visualização prática de regiões de difícil acesso e etc (CHOSSET, 2005).

A DARPA (Departamento dos EUA focalizado em tecnologias de defesa avançada alinhada com pesquisas) financiou a criação, por parte do Centro de Inteligência Artificial do Instituto de Pesquisa de Stanford, do robô Shakey, entre 1966 e 1972. Basicamente, Shakey era uma plataforma sobre rodas equipada com câmera, telêmetro (equipamento para medição de distâncias), sensores ultrassônicos e de toque, enviando todos esses dados por ondas de rádio para um computador central, *mainframe*, o qual era responsável por analisar todos os dados recebidos e devolver instruções de funcionamento para o Shakey. Devido a essa dependência do computador *mainframe*, o projeto foi considerado um fracasso por não ter permitido o alcance da automação completa por parte do robô (GAGE, 1995) e (NILSSON, 1984).

Apenas em 1977, o Laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade de Tsukuba, no Japão, construiu o primeiro robô inteligente - autônomo - da história. Esse robô dotava de sistemas embarcados de câmera e um processamento interno das informações. Esse tipo de sistemas e sensores, permitia ao robô desviar de obstáculos e se guiar por meio de

uma linha branca no chão (TSUGAWA, 1994). Em relação a esse primeiro grande passo para a automação de veículos, utilizando da robótica móvel, é o motivo e objetivo último do desenvolvimento do presente trabalho de IC, afim de colocar em prática o que há de mais recente em termos de tecnologias presentes, além de trazer o conhecimento teórico e prático para a prolongação dos estudos na área de automação e transportes.

4 Revisão Bibliográfica - Algoritmos de Movimentação

4.1 Artigo - Algoritmos de Controle Preditivo para Seguimento de trajetórias de Veículos Autônomos

O planejamento e geração de trajetórias é uma das etapas mais importantes para o desenvolvimento factível e aceitável do movimento que um veículo autônomo irá realizar. Para tanto, um dos maiores desafios é como estabelecer esse tipo de trajetória a ser realizada, principalmente considerando questões como evitar obstáculos. No entanto, no artigo "Algoritmos de Controle Preditivo para Seguimento de trajetórias de Veículos Autônomos", o foco de leitura e análise recai-se em questões de determinar algoritmos que sejam capazes de guiar-se por meio de questões externas, como as linhas guias no chão.

Nos últimos anos vem surgindo uma grande quantidade de artigos relacionados a algoritmos eficientes para o planejamento de trajetórias (VIANNA, 2005). A natureza do caminho a ser seguido por um veículo autônomo é essencial para a geração de rotas. O planejamento de trajetórias consistem em conhecer um meio estruturado e produzir planos de rota de um ponto a outro, o que incouí, também, uma comunicação entre um sistema supervisor² e o veículo.

O planejamento de trajetórias guia o robô movel (veículo autônomo) de um ponto a outro englobando uma série de segmentos de caminho de vários tipos: linhas; arcos; *splines*³; funções polinomiais; *clothoids*⁴; espirais cúbicas; etc (TOUNSI M. E CORRE, 1996).

Dessa forma, para o desafio de se determinar algoritmos de movimentação sobre linhas estabelecidas no chão, que servirão de guias para o veículo se mover pelo espaço, deve-se considerar a trajetória ao longo do tempo e prevendo um percurso demasiadamente oscilante e que apresentam baixas taxas de convergência com o objetivo final, caso esse tipo de condição esteja presente. Utilizandopse dessa lei de controle suave, é possível obter-se convergência para um ponto se esta lei de controle for variante no tempo - aumenta a complexidade e torna menos factível com o movimento realista, mas é capaz de determinar melhor condições e movimentações sobre ambientes pouco conhecidos (VIANNA, 2005).

Por fim, a partir do que foi descrito no artigo e adaptando para os fins desse estudo, o esquema lógico do que deve ser realizado para as tomadas de decisão quando considerando

²O sistema supervisor é uma base de supervisão que monitora e informa as condições do veículo e do meio. Por meio de sensores acoplados no próprio veículo, esse tipo de supervisão é possível de ser realizada, assim, fazendo a verificação dos dados que são gerados, é possível redefinir controladores e tomadas de decisão para melhor satisfazer a rota do veículo.

³É uma curva definida matematicamente por dois ou mais pontos de controle. Os pontos de controle que ficam sobre a curva são chamados de nós.

⁴É uma curva suave cuja curvatura é uma função linear do seu comprimento. Esse tipo matemático encontra-se em momento que é buscado a menor curva entre dois pontos conhecidos.

somente o uso da linha preta sobre fundo branco para guiar o veículo autônomo é a seguinte (figura 10):

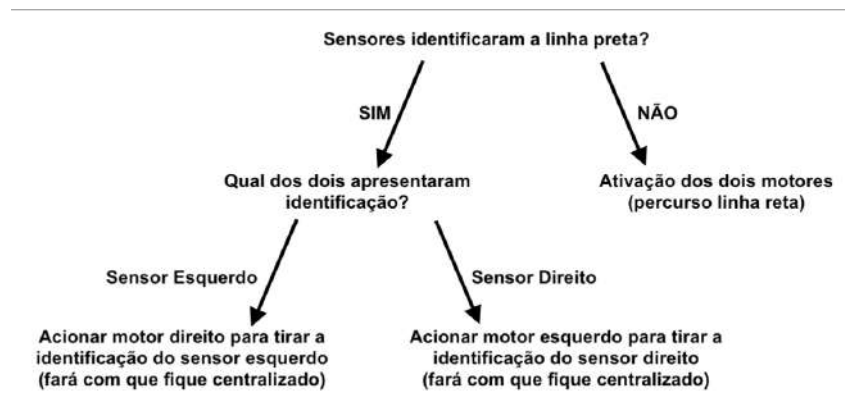


Figura 10: Esquema lógico para a implementação de tomada de decisão do veículo sobre linha guia.

4.2 Artigo - Método de Desvio de Obstáculos Aplicado em Veículo Autônomo

Segundo(CHOSET, 2005), o movimento de veículos autônomos pode ser dividida em 4 etapas básicas: navegação; cobertura; localização; e mapeamento.

- Navegação: consiste em encontrar um movimento adequado para o veículo, com ausência de colisões, partindo de uma posição inicial e indo até uma posição de destino do veículo, sendo o objetivo.
- Cobertura: seria a questão de garantir a varredura, por meio de sensores responsáveis por essa etapa, por todos os pontos do espaço planejado e navegado.
- Localização: seria a capacidade de usar os dados dos sensores, utilizados na parte de cobertura, para determinar a posição do veículo no espaço e inserir esse tipo de visualização em um mapa ou planejamento previamente realizado.
- Mapeamento: por meio da utilização dos dados dos sensores referentes ao ambiente não conhecido, construir um conjunto de informações, mapa, que sejam úteis para as 3 etapas anteriores.

Utilizando dessa linha de pensamento, podemos considerar as etapas anteriores por meio de perguntas para que consigamos compreender por completo as etapas e suas importâncias:

- "Como chego até lá?- determinar existência de obstáculos e caminhos irregulares que podem impedir a movimentação adequada e previamente definida pelo operador (seja humano ou computacional), tendo uma possibilidade do veículo interpretar o que é "melhor" de ser realizado para a conquista do objetivo.
- "Onde estou?- se une totalmente com a questão da localização do veículo, utilizando das etapas de localização, mapeamento e cobertura para esse tipo de interpretação adequada, auxiliando o veículo em sua construção de forma eficiente dos melhores percursos para a conquista do objetivo.
- "Onde eu estive?- busca trabalhar todos os dados que foram sendo coletados ao longo do tempo para compreender o percurso já realizado e, assim, evitar retomadas desnecessárias. Esse tipo de necessidade, auxilia a ser construído um mapa completo de todos os pontos já passados e o que há neles.

Dessa forma, a partir do artigo (CHIN, 2015), temos a focalização em algoritmos lógicos que permitam o desvio de obstáculos, em especial, o algoritmo conhecido como Algoritmo do Inseto (havendo o *Bug 1 and Bug 2 Algorithm*). Esse algoritmo tem como inspiração e construção baseado no que é visto na natureza, focado no que os insetos realizam de movimentação no ambiente.

Basicamente, os insetos tem um instinto natural de movimentação, como as formigas, a qual a movimentação dessas se dá no sentido de ir em linha reta até o objetivo. Porém, nem sempre esse objetivo é possível de ser alcançado sem quaisquer obstáculos e, por esse motivo, a atuação dos insetos é de, quando encontram um obstáculo, apenas contornam ele para a retomada do percurso em linha reta até o objetivo. Portanto, o movimento que os veículos devem realizar é de contorno de borda (ou como citado na literatura *boundary following*).

Para a realização correta desse tipo de algoritmo lógico de movimentação, pressupõem-se a existência de sensores que permitam essa visualização do ambiente, como o realizado na etapa de cobertura, comentado a pouco. O algoritmo segue o seguinte, como comentado pelo (CHIN, 2015):

1. Mover-se em direção ao destino até alcançá-lo ou encontrar um obstáculo antes.
2. Se um obstáculo for encontrado na trajetória planejada, incia-se um movimento de contorno. Durante o contorno do obstáculo, duas informações são constantemente obtidas:
 - (a) Distância entre o ponto no contorno e o ponto de destino;
 - (b) Se existe caminho desobstruído até o destino (o obstáculo não se interpõe entre a posição corrente e o destino).

3. Quando tiver feito o contorno completo, o veículo estará de volta ao ponto de início onde o obstáculo foi detectado. Como as distâncias de cada ponto do caminho de contorno até o destino foram calculadas durante o movimento de contorno, haverá duas possibilidades:

- (a) Existem pontos a partir dos quais é possível seguir em direção ao destino sem ser obstruído pelo obstáculo. Neste caso, o algoritmo identifica, dentro deste subconjunto de pontos desobstruídos, aquele que tenha a menor distância até o destino e retorna o movimento em direção ao destino a partir daquele ponto.
- (b) Não há ponto desobstruído que permita um caminho para o destino. Neste caso, o destino é inalcançável e o algoritmo termina sem sucesso.

A figura abaixo busca mostrar a movimentação de um veículo por meio desse algoritmo (figura 11):

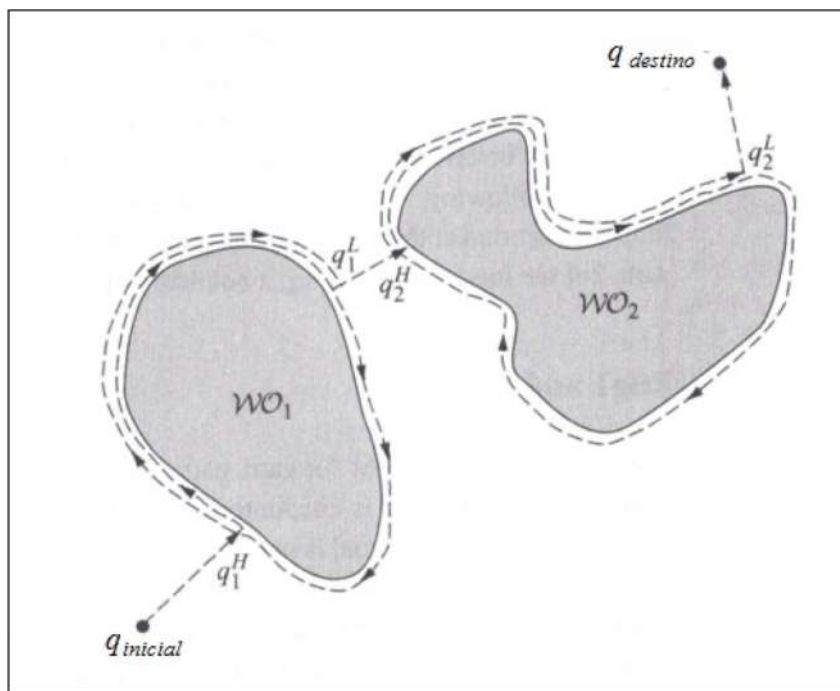


Figura 11: Figura representativa de um movimento utilizando o Algoritmo Inseto.

Por fim, o esquema lógico representativo do fluxo de tomada de decisões pode ser recriado, tendo algumas considerações realizadas para a implementação mais adequada para o presente trabalho. O fluxo está representado a seguir (figura 12):

4.3 Conclusão do Algoritmo

A partir dos estudos preliminares referentes aos algoritmos de movimentação, o qual o primeiro caso temos a implementação de um algoritmo exclusivamente para a motivação de se guiar a linha no chão, enquanto que no segundo temos a motivação de se chegar

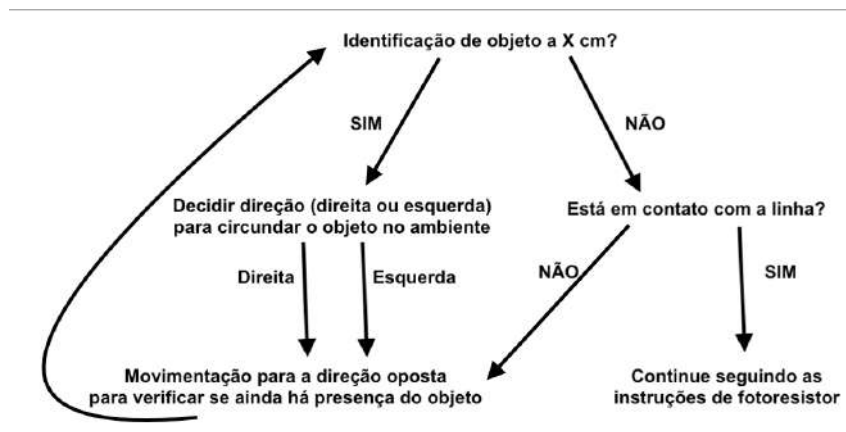


Figura 12: Esquema lógico para a implementação de tomada de decisão do veículo frente a situações em que há obstáculo e precisa retomar seu percurso sobre a linha guia.

no destino final, ultrapassando obstáculos, é possível a união dos dois fluxos lógicos de movimentação para o caso do estudo presente.

Logo, buscando principalmente utilizar da parte inicial do algoritmo que se guia pela linha no chão e a parte final do algoritmo inseto, foi realizado o seguinte fluxo lógico de compreensão e utilização da iniciação científica (figura 13):

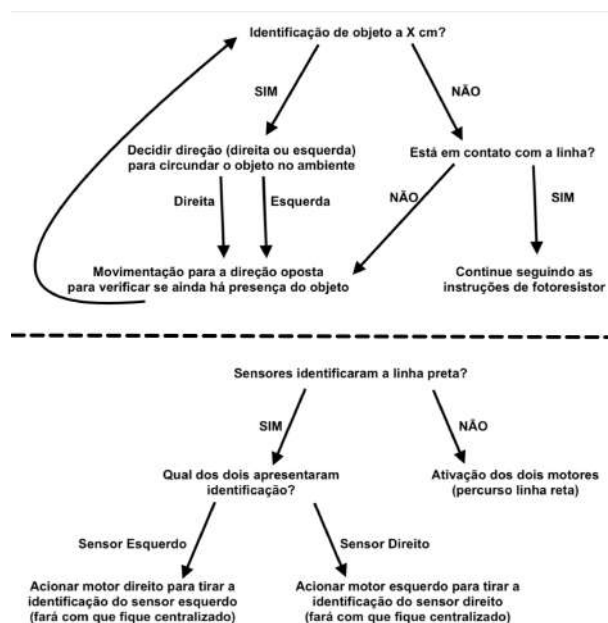


Figura 13: Esquema lógico para a implementação de tomada de decisão do veículo frente a situações em que há obstáculo e precisa retomar seu percurso sobre a linha guia.

5 Programação

5.1 Sensor LDR

Para a utilização preliminar do sensor LDR, é utilizado um algoritmo padrão o qual será reaproveitado para o estabelecimento das demais etapas do projeto de pesquisa, etapas essas que serão mais avançadas para obtenção final do veículo autônomo. Portanto, o código abaixo refere-se ao uso do Sensor LDR para a obtenção de valores de luminosidade do meio, esse tipo de dado é relevante ao considerarmos que o objetivo último do carro autônomo é o de se movimentar sobre uma linha demarcada no chão, sendo essa linha de cor preta em um fundo branco, o qual, para que seja possível esse tipo de percepção da linha é utilizado o sensor LDR para perceber os diferentes tipo de reflexão da luz no local do movimento.

Neste código temos apenas o recebimento dos dados de luminosidade. Esses dados serão posteriormente essenciais para a tomada de decisão, tendo etapas a mais no algoritmo para que as leituras sejam interpretas pelo Arduino de duas formas: para uma faixa de leitura X até Y, o veículo encontra-se em cima da linha preta; para um faixa de leitura W até Z, o veículo encontra-se fora da linha preta. Dependendo, então, de qual tipo de percepção o Arduino possuir, diferentes tomadas de decisão serão realizadas.

```
1  int ldr=A0; //Atribui A0 a variável ldr
2  int valorldr=0; //Declara a variável valorldr como inteiro
3  void setup(){
4      pinMode(ldr,INPUT); //Define ldr (pino analógico A0) como saída
5
6      Serial.begin(9600); //Inicialização da comunicação serial, com taxa
7      //de transferência em bits por segundo de 9600
8  }
9
10 void loop(){
11     valorldr=analogRead(ldr); //Lê o valor do sensor ldr e armazena na
12     //variável valorldr
13
14     Serial.print("Valor lido pelo LDR = "); //Imprime na serial a
15     //mensagem Valor lido pelo LDR
16
17     Serial.println(valorldr); //Imprime na serial os dados de valorldr
18 }
```

Vale lembrar que, o algoritmo acima será importante para já ser determinado as faixas de leitura para cada uma das interpretações possíveis comentadas acima.

Para a implementação adequada do sensor ao arduino e seu código, é necessária executar o seguinte esquema de ligações (figura 14):

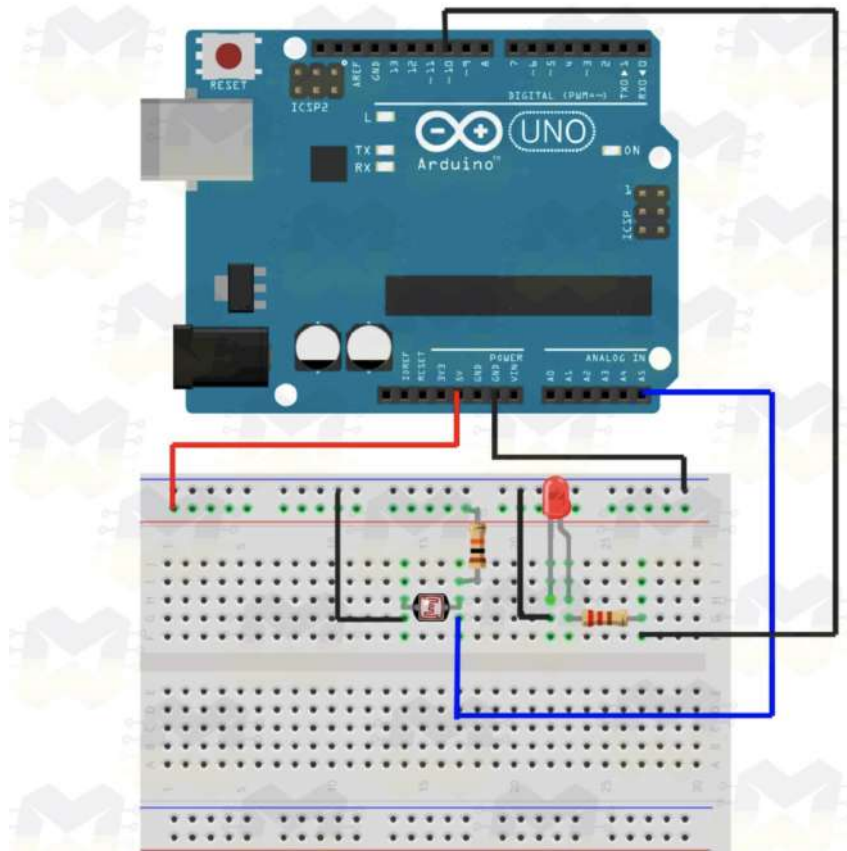


Figura 14: Esquema de ligações para implementação do Código do Sensor LDR

Fonte: [Blog da Robótica](#)

5.2 Sensor HC-SR04

O sensor HC-SR04 possui uma programação simples com a utilização de uma biblioteca em C dedicada aos cálculos corretos dos dados que são coletados pelo sensor e, assim, apresentar da melhor maneira as distâncias que são coletadas pelo sensor. O código a seguir apresenta justamente esse tipo de percepção do sensor de distância, o qual permite estudos antecipados das distâncias adequadas a qual o carro deve estar dos objetos para que seja possível as tomadas de decisão acerca da sua possibilidade de superar objetos a frente que estejam interferindo no seu curso junto a linha no chão.

Ao dizer que já é possível coletar os dados específicos, justifica-se pelo fato de que cada veículo possa ter diferentes dimensões e, assim, sabendo corretamente essas dimensões, é possível determinar o algoritmo de forma a ser o mais preciso para a movimentação do veículo em momentos mais extremos de tomada de decisão, como justamente a presença de objetos do meio no caminho.

```

1 //Programa: Conectando Sensor Ultrassonico HC-SR04 ao Arduino
2 //Autor: FILIPEFLOP
3
4 //Carrega a biblioteca do sensor ultrassonico

```

```

5  #include <Ultrasonic.h>
6
7  //Define os pinos para o trigger e echo
8  #define pino_trigger 4
9  #define pino_echo 5
10
11 //Inicializa o sensor nos pinos definidos acima
12 Ultrasonic ultrasonic(pino_trigger, pino_echo);
13
14 void setup()
15 {
16     Serial.begin(9600);
17     Serial.println("Lendo dados do sensor...");
18 }
19
20 void loop()
21 {
22     //Le as informacoes do sensor, em cm e pol
23     float cmMsec, inMsec;
24     long microsec = ultrasonic.timing();
25     cmMsec = ultrasonic.convert(microsec, Ultrasonic::CM);
26     inMsec = ultrasonic.convert(microsec, Ultrasonic::IN);
27     //Exibe informacoes no serial monitor
28     Serial.print("Distancia em cm: ");
29     Serial.print(cmMsec);
30     Serial.print(" - Distancia em polegadas: ");
31     Serial.println(inMsec);
32     delay(1000);
33 }

```

Para a implemtação adequada desse algoritmo junto ao sensor HC-SR04 de sensoria-
mento de distância por meio de ultrassom, é importante que seja seguido um esquema de
ligações nos pontos corretos do Arduino e sensor. O esquema de ligações está representado
abaixo (figura 15):

5.3 Motor e Módulo L298N

A programação a seguir será responsável pela movimentação do veículo, de forma pre-
liminar para testes, de forma adequada. O grande objetivo do uso desse tipo de código
é realizar uma movimentação que possua uma aceleração contínua até que seja atingido
a velocidade máxima que os motores são capazes de gerar com a potência elétrica que
sera disponibilizada pelas baterias presentes no veículo autônomo. Além disso, esse tipo
de algoritmo busca ter o menor consumo de bateria possível, justamente pelo fato de
que, por ser um algoritmo que faz dois tipos de rampagem, de aceleração e desaceleração,
acaba por ir entregando corrente de forma linear a necessidade de movimento do motor,

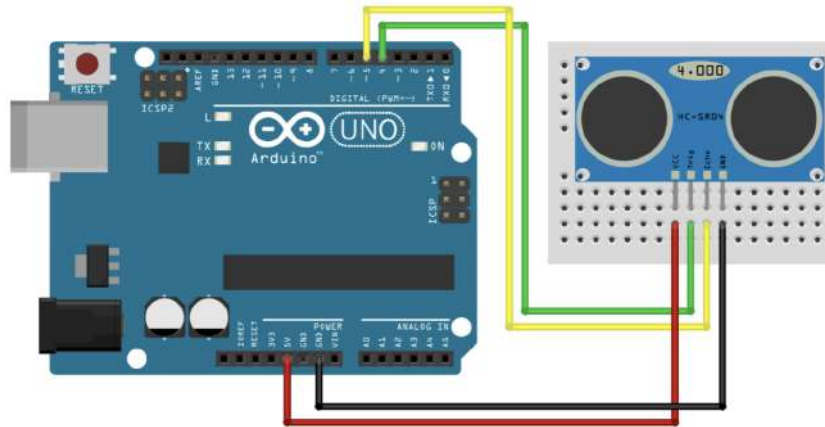


Figura 15: Esquema de ligações para implementação do Código do Sensor HC-SR04
 Fonte: [FilipeFlop](#)

enquanto que, se não houvesse esses períodos de rampagem, a entrega de corrente seria desproporcional ao movimento que o motor estaria realizando, acarretando em gasto energético acima do esperado.

```

1  //declaracao dos pinos utilizados para controlar a velocidade de rotacao
2  const int PINO_ENA = 6;
3  const int PINO_ENB = 5;
4
5  //declaracao dos pinos utilizados para controlar o sentido do motor
6  const int PINO_IN1 = 4;
7  const int PINO_IN2 = 3;
8  const int PINO_IN3 = 8;
9  const int PINO_IN4 = 7;
10
11 int i = 0; //declaracao da variavel para as rampas
12
13 const int TEMPO_ESPERA = 1000; //declaracao do intervalo de 1 segundo entre os sentidos
14 //de rotacao do motor
15
16 const int TEMPO_RAMPA = 30; //declaracao do intervalo de 30 ms para as rampas de
17 //aceleracao e desaceleracao
18
19 void setup() {
20
21     //configuracao dos pinos como saida
22     pinMode(PINO_ENA, OUTPUT);
23     pinMode(PINO_ENB, OUTPUT);
24     pinMode(PINO_IN1, OUTPUT);
25     pinMode(PINO_IN2, OUTPUT);
26     pinMode(PINO_IN3, OUTPUT);
27     pinMode(PINO_IN4, OUTPUT);

```

```

28
29 //inicia o codigo com os motores parados
30 digitalWrite(PINO_IN1, LOW);
31 digitalWrite(PINO_IN2, LOW);
32 digitalWrite(PINO_IN3, LOW);
33 digitalWrite(PINO_IN4, LOW);
34 digitalWrite(PINO_ENA, LOW);
35 digitalWrite(PINO_ENB, LOW);
36
37 }
38
39 void loop() {
40
41 //configura os motores para o sentido horario
42 digitalWrite(PINO_IN1, LOW);
43 digitalWrite(PINO_IN2, HIGH);
44 digitalWrite(PINO_IN3, LOW);
45 digitalWrite(PINO_IN4, HIGH);
46
47 //rampa de aceleracao
48 for (i = 0; i < 256; i=i+10){
49     analogWrite(PINO_ENA, i);
50     analogWrite(PINO_ENB, i);
51     delay(TEMPO_RAMPA); //intervalo para incrementar a variavel i
52 }
53
54 //rampa de desaceleracao
55 for (i = 255; i >= 0; i=i-10){
56     analogWrite(PINO_ENA, i);
57     analogWrite(PINO_ENB, i);
58     delay(TEMPO_RAMPA); //intervalo para incrementar a variavel i
59 }
60
61 delay(TEMPO_ESPERA); //intervalo de um segundo
62
63 //configura os motores para o sentido anti-horario
64 digitalWrite(PINO_IN1, HIGH);
65 digitalWrite(PINO_IN2, LOW);
66 digitalWrite(PINO_IN3, HIGH);
67 digitalWrite(PINO_IN4, LOW);
68
69 //rampa de aceleracao
70 for (i = 0; i < 256; i=i+10){
71     analogWrite(PINO_ENA, i);
72     analogWrite(PINO_ENB, i);
73     delay(TEMPO_RAMPA); //intervalo para incrementar a variavel i
74 }

```



```

75
76 //rampa de desaceleracao
77 for (i = 255; i >= 0; i=i-10){
78     analogWrite(PINO_ENA, i);
79     analogWrite(PINO_ENB, i);
80     delay(TEMPO_RAMPA); //intervalo para incrementar a variavel i
81 }
82
83 delay(TEMPO_ESPERA); //intervalo de um segundo
84
85 }

```

Ao realizar os testes de movimentação do veículo com esse tipo de algoritmo, temos a percepção do seguinte gráfico, a partir dos dados que são coletados com essa movimentação (figura 16):

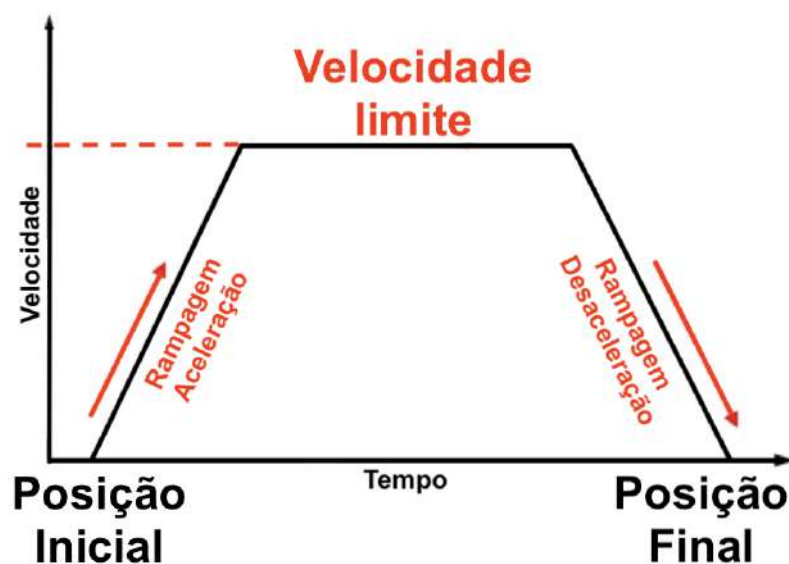


Figura 16: Gráfico de aceleração e desaceleração
 Fonte: [National Instruments](#)

Para a implementação adequada desse tipo de algoritmo, unindo o módulo L298N e o motor para Arduino, é necessário a montagem correta de um esquema de ligações. Esse esquema de ligações está representado abaixo (figura 17):

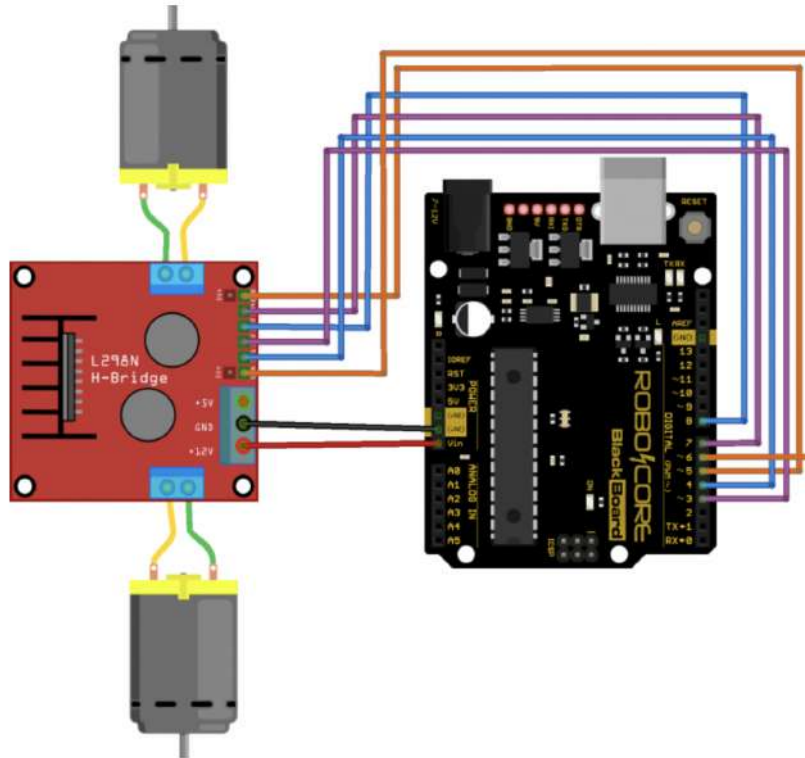


Figura 17: Esquema de ligações para implementação do Código do Módulo L298N e Motor
Fonte: [Robocore](#)

6 Resultados

6.1 Compreensão do ambiente externo

6.1.1 Dados do sensor LDR - Luminosidade

Para a coleta de dados do sensor de luminosidade, LDR, foi utilizado a programação apresentada no capítulo 5.1 e, assim, analisado como o sensor se comporta em condições de iluminação constante do ambiente, para a identificação de pontos PRETOS ou BRANCOS, os quais simulam as regiões de contraste do percurso que o veículo deve percorrer e respeitar em sua trajetória.

Dessa forma, a partir da Figura 18, analisamos como houve a percepção e quais foram as variações captadas pelo sensor, ruído, para que, assim, pudessemos ter a determinação adequada do graus de medição para a identificação adequada da linha preta e do fundo branco presente na superfície de percurso.

Como pode-se ver pelos dados, que foram coletados em um período de 80 segundos no total tendo a gradação de 0 a 1024 - esse é o padrão de coleta do sensor, sendo de 0, valor máximo de resistência com a incidência máxima de luz, e 1024, valor mínimo de resistência do sensor ao ser inibido de recepção de luz -, o sensor teve uma boa distinção satisfatória entre as colorações apresentadas no ambiente, havendo uma margem ampla de diferenciação entre as cores. Assim, como apresentado pela linha de tendências imputadas

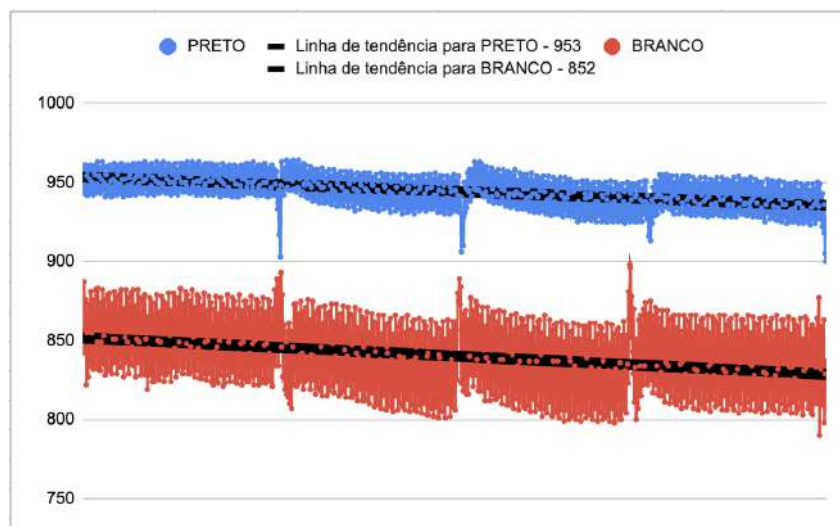


Figura 18: Imagem apresentando o gráfico de leitura gerado pelo sensor de luminosidade LDR para identificação dos valores de operação do veículo.

no gráfico, temos uma média de medição de 950 para o preto e de 850 para o branco, havendo uma margem de erro de 17 PONTOS para o preto e de 34 PONTOS para o branco.

Dessa forma, o sensor mostra-se funcional, preciso e capaz de atingir seus objetivos expostos na revisão bibliográfica do sensor. No entanto, apenas uma correção do ruído utilizando média móvel pode clarrificar de forma melhor os dados e garantir a maior chance de acerto e, por fim, utilizar como média de coleta para identificação como preto ou branco um *range* de valores - por exemplo, considerar coloração preta numa faixa entre 910-980 e para a coloração branca em uma faixa de 810-880, o que garante uma margem de segurança da coleta do dado, mas mantendo o distanciamento que garante a distinção, pelo sensor e pelo algoritmo, do que deve ser interpretado.

6.1.2 Dados do sensor Ultrassônico - Distância

Para a utilização e análise deste sensor de distância, foi necessário a utilização do código exposto anteriormente. Por meio desta, é possível ter a medida da distância em centímetros, chamando a função `distanceSensor.measureDistanceCm()`.

A análise do sensor foi feita em dois momentos distintos:

- Em movimento: foram realizados diversos movimentos, em frente a uma parede imóvel, junto a uma régua para averiguar a distância correta, movimentando para frente e para trás.
- Estático: foi deixado o sensor de forma parada para a mesma parede e, então, avaliado as variações que a medição apresentava.

Em relação a medição em movimento do sensor - o qual foi executado em intervalos de tempo regulares, iniciando a uma distância de 30 cm, indo para 20 cm e, por fim, para 10 cm, o distanciamento ocorreu da mesma forma -, este foi muito preciso na determinação das distância, como pode-se reparar no Gráfico 19. Provou-se eficiente e ágil durante os cálculos.

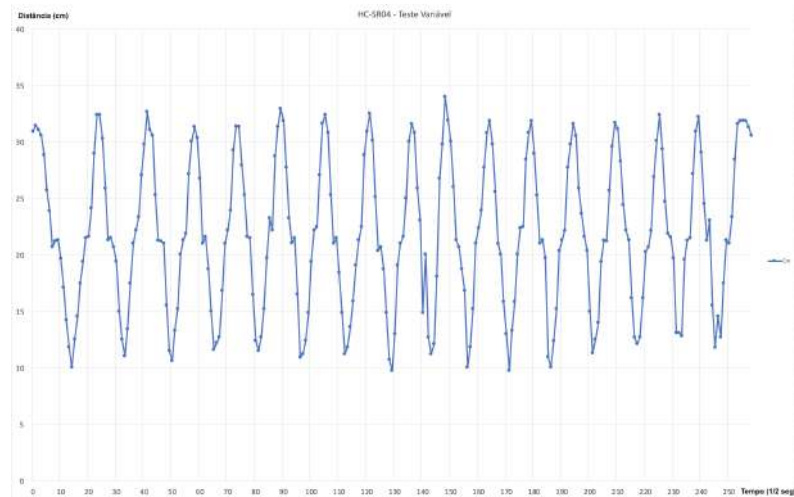


Figura 19: Gráfico das medições do HC-SR04, em movimento, em frente a uma parede estática.

Fonte: autoria própria.

Enquanto isso, no teste estático, também apresentou consistência nas medidas, variando sempre nos milímetros e de forma breve (Gráfico 20). Porém, apesar do erro atrelado ser pequeno, no ponto de vista estatístico de seu uso, esse erro também deve ser mitigado utilizando técnicas de suavização das curvas de medição.

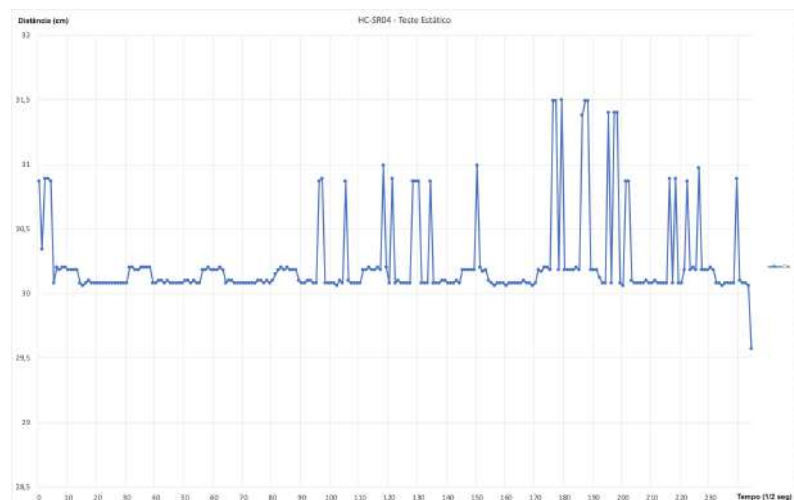


Figura 20: Gráfico das medições, estático, em frente a uma parede, a uma distância fixada de 30 cm.

Fonte: autoria própria

Dessa forma, o sensor mostra-se funcional, preciso e capaz de atingir seus objetivos expostos na revisão bibliográfica do sensor.

6.2 Poder de processamento e potencialidades

6.2.1 Desempenho computacional

Em relação ao desempenho computacional dos microcontroladores depende muito do processador que os embarca, sendo produzidos por empresas diferentes e com características distintas. A necessidade de se ter conhecimento sobre o desempenho computacional de cada controlador justifica-se no fato de que, quanto maior este for, mais processos, instruções de código, podem realizar, otimizando leitura de sensores, tomadas de decisão, além de comportar mais dispositivos simultâneos para a execução de objetivos complexos de voo.

Assim, o processador que embarca o Arduino UNO é um AVR® 8-bit RISC, com uma frequência de operação variando de 0 a 16MHz (mega-hertz), realizando aproximadamente 1 milhão de processos por segundo⁵. Além disso, possui uma memória RAM de 2KB e memória interna flash de 32KB (utilizado para armazenar a programação e variáveis)(Figura 21).

Enquanto isso, temos o ESP-32 com um processador Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6, ou seja, possui dois núcleos de processamento em comparação a um único núcleo do Arduino, com frequência de operação variando de 80MHz a 240MHz, realizando aproximadamente 40 milhões de processos por segundo⁶. Além disso, possui uma memória RAM de 520KB e memória interna flash de 4MB (Figura 21).

INFOS	Microcontrolador	Arduino UNO	ESP32
Processador		AVR® 8-bit RISC	Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6
Processos/segundo		1 milhão	40 milhões
RAM		2KB	520KB
Memória Flash		32KB	4MB

Figura 21: Tabela dispendo das informações dos microcontroladores.

Font: autoria própria

Dessa forma, como pode-se ver, o ESP32 é um microcontrolador extremamente potente e capaz de realizar muitos processamentos em um espaço de tempo curtíssimo, sendo de extrema importância para atividades que requerem uma alta taxa de análise de sensores e tomadas de decisão no menor tempo possível. Ao se fazer uma conta simples, o ESP32 consegue ser até 56x mais rápido do que em relação ao Arduino, além de ter uma memória muito maior, capaz de suportar códigos densos sem muito problema relacionado a otimização do espaço do arquivo.

⁵Foi realizado um processo em "looping", fazendo uma contagem de 0 a 1 mi, levando cerca de 1 segundo.

⁶Foi realizado um processo em "looping", fazendo uma contagem de 0 a 40 mi, levando cerca de 1 segundo.

6.2.2 Funcionalidades

As funcionalidades entre os microcontroladores variam amplamente. Mas podemos citar algumas que são extremamente benéficas para cada um deles, facilitando o desenvolvimento de certas aplicações, a luz do IoT (Internet das Coisas⁷), ou para o desenvolvimento de aplicações aéreas.

Em relação ao Arduino, há no mercado diversas placas com mesmo processador e entradas, diferindo essencialmente do formato e tamanho desses microcontroladores, podendo alcançar diferentes formas e objetivos de dispositivos controlados por eles. Além disso, existem diversos módulos especificamente desenvolvidos para a plataforma do Arduino, como módulo de motores (Figura 22), extensor de conectividade para o Arduino, módulo WIFI/4G, dentre outros.

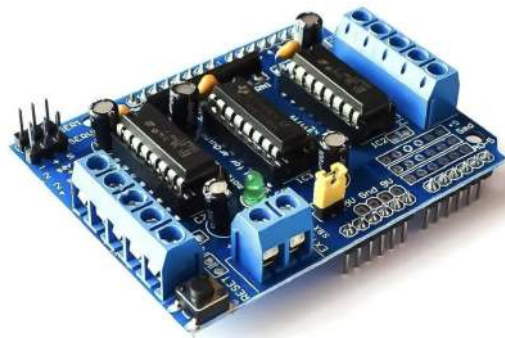


Figura 22: Imagem apresentando o módulo para motores, desenvolvido para o Arduino UNO, permitindo o acoplamento e alimentação dos motores de forma simples.

Fonte: <https://www.ligimports.com.br/modulo-ponte-h-l293d>

Enquanto isso, em relação ao ESP-32, uma de suas principais vantagens envolvendo conectividade se resguarda no fato de que, nativamente, já possui conectividade WIFI e Bluetooth, permitindo uma grande gama de possibilidade de acesso remoto desse dispositivo. A exemplo, um dos drones desenvolvidos pela marca DJI, conhecido como TELLO, é um tipo de drone que possui uma conectividade WIFI embutida, permitindo que, apenas baixando-se um aplicativo para celular e conectando a rede WIFI do drone, seja possível controlá-lo - diferente de muitos que se comunicam via sinal de radio (radio-controle).

Basicamente, em termos de possibilidades de construção de dispositivos aéreos, o Arduino se sai melhor nessa questão, permitindo um desenvolvimento mais prático, sem a necessidade de construir componentes específicos ou a junção de componentes distintos - causando uma maior complexidade no aparelho aéreo. No entanto, caso já esteja fa-

⁷Internet das Coisas é uma modalidade de dispositivos que busca tornar ambientes e outros dispositivos elétricos, conectados a internet, facilitando a utilização destes por meio de sites web e/ou aplicativos mobile, o que gera um ambiente/casa inteligente.

miliarizado de certa forma bem com esses componentes e não caracteriza como muito trabalhoso a confecção (juntando diferentes peças).

6.3 Registro de dados sobre o percurso

6.3.1 Utilização do sensor LDR para determinação de diferentes caminhos no percurso

O sensor LDR como, afirmado anteriormente, tem a grande capacidade de fazer as distinções de luminosidade no ambiente, distinções essas que permite de forma mais primitiva diferente a cor preta da branca no solo do ambiente o qual o veículo estará percorrendo. Assim, ao ser utilizado com o objetivo de se manter em voga no percurso correto guiando-se pela linha-guia no chão, o sensor LDR mantém o veículo no percurso gerando as tomadas de decisão nos motores do veículo, a partir da árvore de tomada de decisão apresentada em 4.3.

Além disso, dentro do estudo, identifica-se a potencialidade de adicionar um terceiro sensor LDR, a lateral direita ou esquerda do dispositivo (Figura 23), tem como finalidade orientar o dispositivo a ter mais de um percursos dentro do ambiente controlado do galpão de logística ou fábrica sem que haja o isolamento de percursos - o que tornaria mais dificultoso e pouco eficiente, pois dependeria da transição de alguns produtos entre esses veículos de forma desnecessária.

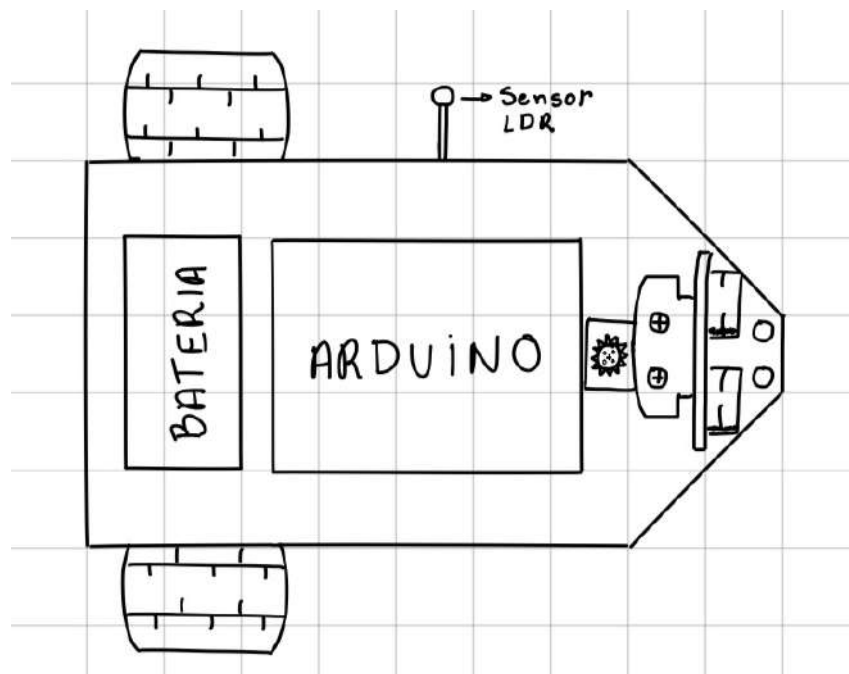


Figura 23: Imagem apresentando localização adequada para a implementação de um sensor LDR para os novos percursos do veículo.

Em resumo, adicionando-se alguns pontos de controle ao lado de regiões críticas no percurso da linha-guia, permiti-se a tomada de decisão do dispositivo em escolher um

percurso ou conversão em detrimento de outro em função de alguma instrução auxiliar dado a ele para que alcançasse uma nova região da planta local como objetivo. De acordo com a Figura 24 em que há diferentes pontos objetivados em uma planta logística em que há a convergência de percursos para essas diferentes localidades no ambiente.

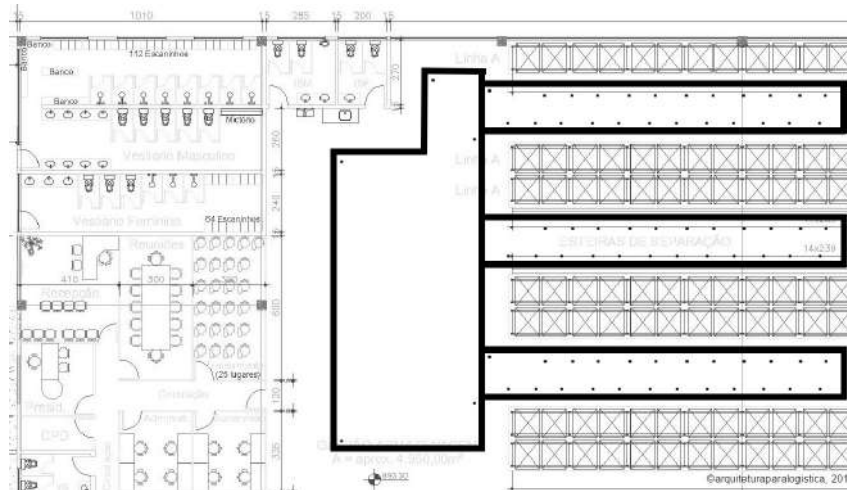


Figura 24: Imagem apresentando a planta de um galpão logístico com diferentes caminhos a serem percorridos pelo veículo, sendo diversos destes convergentes em seu percurso.

Vale ressaltar que essa instrução complementar deve ser adicionada a programação do dispositivo para que já tenha mapeado as diferentes localidades e os pontos de controle os quais deve ter "conhecimento" para que no dia a dia da aplicação do veículo só seja necessária "instruir", por meio de um funcionário, o veículo para qual localidade deve ir. Nessa instrução, pelo colaborador e controlador do veículo, dois caminhos são possíveis de desenvolvimento dependendo do microcontrolador utilizado - em foco no estudo o Arduino UNO e o ESP32:

1. Controle Manual (offline) - ao utilizar o Arduino UNO, este de forma nativa não possui compatibilidade com sistemas wireless, é necessário a inserção de algum sistema externo que seja possível uma interface homem-máquina sem a necessidade de mexer no software do dispositivo, como por exemplo inserir botões no dispositivo que direcionem o veículo para diferentes localidades desejadas (Figura 25), sendo programado de ante-mão as instruções que o veículo deve percorrer para compactuar com o botão selecionado pelo usuário.
2. Controle Sem Fio (online) - ao utilizar o ESP32, como comentado anteriormente sobre as funcionalidades do microcontrolador, é possível controlar ou passar instruções adicionais sem que seja necessário estar fisicamente em contato com o veículo, o que permite da passagem de informações como indicado no "Controle Manual" por meio uma página web que o microcontrolador é o servidor (Figura 25), o que permite mais possibilidades e uma liberdade geográfica maior ao usuário e controlador do veículo de carga nas plantas logísticas e industriais.



[01]



[02]

Figura 25: Imagem apresentando as formas de controle manual [01] e sem fio [02] que foram propostos para a diversificação das possibilidades de percurso do veículo autônomo.

7 Conclusão e Próximos Passos

Considerando todo o exposto, compreende-se que o desenvolvimento de veículos automatizados, principalmente os que possuem semi-autonomia - ao considerar que essas automações dependem de alguns recursos externos do ambiente, como, justamente, indicativos no solo como a linha-guia - são essenciais para acelerar e tornar mais eficiente o transporte de mercadorias e documentos dentro de galpões de logística e fábricas (GAR-CIA LARISSA, 2019) como as da Amazon e Mercedes, respectivamente (GALLOWAY, 2019). No entanto, os custos e desenvolvimentos desses dispositivos ainda se configuravam extremamente elevados e complexos com as tecnologias que estavam presentes até (meados de algum ano), sendo assim buscou-se com esse estudo ampliar as possibilidades acadêmicas e industriais de se utilizar e desenvolver esses dispositivos de forma autônoma e com utilização de investimento para tal de forma mais eficiente (ZARO, 2019).

Além disso, com a quantidade reduzida de sensores apresentados, mostrou-se capaz de se desenvolver dispositivos robustos em relação a compreensão global do ambiente, apenas sendo necessário a utilização de software mais capacitado e integrado a esses sensores para auxiliar na tomada de decisão correta do dispositivo e havendo uma ampla possibilidade de aplicações e convergência para o "mais com menos". Em relação a isso, é capaz de desenvolver dispositivos mais "conscientes" de seu ambiente (CASTILHO, 2017) e explorar mais de um caminho possível dentro da fábrica e armazem utilizando-se de uma técnica simples de identificação de pontos de controle para a trajetória do veículo no ambiente - como comentado no capítulo 6.3.1 o qual há a sugestão de implementação de um terceiro sensor LDR (luminosidade) para identificar pontos de controle no solo da localidade para guiar a tomada de decisão de um caminho em detrimento de outro pelo veículo, sendo requisitar altas necessidades de processamento e programações mais complexas (apenas necessitando de um pré-cadastramento de percursos possíveis) no software do dispositivo.

Por fim, recomenda-se a implementação em maior escala do microcontrolador ESP32 pelas suas potencialidades de controle wireless, utilizando-se da tecnologia WIFI/Bluetooth presente no aparelho, o que permite um controle fino mais abrangente do veículo e ditando sem necessidade de se estar próximo a ele os percursos que deve percorrer - valendo-se do que foi exposto no capítulo 6.3.1.

Ademais, o aprofundamento ainda mais específico do desenvolvimento de veículos para tarefas extremamente mais específicas para a utilização em ambientes comerciais deve ser realizado para abranger as diversas particularidades dos ambientes e potencialidades de um veículo autônomo se exercer cada vez mais atividades e tornar dispensável o trabalho humano em funções que não agreguem mais valor ao processo produtivo e ao próprio desenvolvimento intelectual e profissional ao trabalhador (CAVALCANTE ZE-DEQUIAS VIEIRA, 2011).

Referências

- CASTILHO, P. L. Uma metodologia para o desenvolvimento de ambientes inteligentes conscientes dos hábitos do usuário. UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO DE INFORMÁTICA, 2017.
- CAVALCANTE ZEDEQUIAS VIEIRA, S. M. L. S. d. A importância da revolução industrial no mundo da tecnologia. VII EPCC - Encontro Internacional de Produção Científica (25 à 28 de Outubro de 2011), 2011.
- CHIN, D. Método de Desvio de Obstáculos Aplicado em Veículo Autônomo. [S.l.]: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2015.
- CHOSSET, H. Principles of Robot Motion. [S.l.]: MIT Press, 2005.
- GAGE, D. UGV History 101: A Brief History of Unmanned Ground Vehicle (UGV) Development Efforts. [S.l.]: Unmanned Systems Magazine, 1995.
- GALLOWAY, S. Os Quatro. [S.l.]: ALTA BOOKS Editora, 2019.
- GARCIA LARISSA, Y. J. Veículo elétrico autônomo para ambiente industrial controlado por gps de baixo custo. 2019: XVIII Congresso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica, 2019.
- HARARI, Y. Sapiens - Uma breve história da humanidade. [S.l.]: L&PM, 2015.
- INDÚSTRIA, P. da. Os veículos autônomos virão das empresas de tecnologia. 2021. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/industria-4-0/>.
- MAGRIFO. Revolução Agrícola. 2011. Disponível em: <http://historia8-penedono.blogspot.com>.
- MNX. What is MEMS Technology? 2020. Online. Disponível em: <https://www.mems-exchange.org/MEMS/what-is.html>. Acesso em: 07 dez. 2020.
- NILSSON, N. Shakey The Robot. [S.l.]: SRI International, 1984.
- REDAÇÃO, T. I. Governo Federal lança site para acelerar desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil. 2021. Disponível em: <https://tiinside.com.br/25/05/2021/governo-federal-lanca-site-para-acelerar-desenvolvimento-da-industria-4-0-no-brasil/>.
- REFINITIV. ESG Data. 2021. Disponível em: <https://solutions.refinitiv.com/esg-data>.
- SIMÕES, R. de S. D. C. E. VEÍCULOS AUTÔNOMOS: CONCEITOS, HISTÓRICO E ESTADO-DA-ARTE. [S.l.]: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.
- SUSSMAN, J. Perspectives on Intelligent Transportation. [S.l.: s.n.], 2005.
- TOUNSI M. E CORRE, J. F. L. Trajectory Generation for Mobile Robots. [S.l.]: Mathematics and Computers in Simulation, 1996.

TSUGAWA, S. Vision-based vehicles in Japan: Machine Vision Systems and Driving Control-Systems. [S.l.]: Ieee Transactions On Industrial Electronics, 1994.

VEJA, A. S. Os veículos autônomos virão das empresas de tecnologia. 2021. Disponível em: [<https://veja.abril.com.br/tecnologia/os-veiculos-autonomos-virao-das-empresas-de-tecnologia/>](https://veja.abril.com.br/tecnologia/os-veiculos-autonomos-virao-das-empresas-de-tecnologia/).

VIANNA, G. Algoritmos de Controle Preditivo para Seguimento de trajetórias de Veículos Autônomos. [S.l.]: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

WETMORE, J. Driving the Dream: The History and Motivations behind Sixty Years of Automated Highway Systems in America. [S.l.]: Automotive History Review, 2003.

ZARO, E. Veículo elétrico autônomo para ambiente industrial controlado por gps de baixo custo. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2019.