

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

LEANDRO JOSÉ BIESEK

VEÍCULO AUTÔNOMO: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA ESTACIONAMENTO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2016

LEANDRO JOSÉ BIESEK

VEÍCULO AUTÔNOMO: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA ESTACIONAMENTO

Trabalho de Conclusão do Curso de graduação, apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia de Computação, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Orientadora: Profa. Kathya Silvia Collazos Linares

**PATO BRANCO
2016**



TERMO DE APROVAÇÃO

Às 10 horas do dia 09 de dezembro de 2016, na sala V009, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, reuniu-se a banca examinadora composta pelos professores Kathya Silvia Collazos Linares (orientador), Cesar Rafael Claire Torrico e Jorge Luis Roel Ortiz para avaliar o trabalho de conclusão de curso com o título **Veículo autônomo: uma contribuição para estacionamento**, do aluno **Leandro José Biesek**, matrícula 01186370, do curso de Engenharia de Computação. Após a apresentação o candidato foi arguido pela banca examinadora. Em seguida foi realizada a deliberação pela banca examinadora que considerou o trabalho aprovado.

Kathya Silvia Collazos Linares
Orientador (UTFPR)

Cesar Rafael Claire Torrico
(UTFPR)

Jorge Luis Roel Ortiz
(UTFPR)

Beatriz Terezinha Borsoi
Coordenador de TCC

Pablo Gauterio Cavalcanti
Coordenador do Curso de
Engenharia de Computação

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

RESUMO

BIESEK, Leandro José. Veículo autônomo: uma contribuição para estacionamento. 2016. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso de bacharelado em Engenharia de Computação Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

O desenvolvimento de tecnologias trouxe inovação e mudanças nos veículos. Nos últimos anos pesquisas têm se voltado ao desenvolvimento de veículos autônomos, isto é, o veículo assumir a função de condução humana para estacionamento e para a condução nas vias urbanas e nas estradas. Estacionar um veículo, tendo sido determinado o local de estacionamento, é um processo algorítmico de ângulo de giro e deslocamento. Entretanto, as dificuldades nesse processo relacionam-se a: espaços reduzidos de estacionamento bem como ao tempo dispendido em localizar uma vaga em grandes estacionamentos. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de veículo que realiza a manobra de estacionamento de forma autônoma a uma vaga predeterminada, e, posteriormente realiza o procedimento de saída. O protótipo utiliza sensores ultrassônicos, encoders e microcontrolador.

Palavras-chave: Veículo autônomo, estacionamento, Sistema Embarcado.

ABSTRACT

BIESEK, Leandro José. Autonomous vehicle: a contribution to parking. 2016. 53f. Monograph of Bachelors in Computing Engineering - Federal Technology University of Paraná. Pato Branco, 2016.

The development of technology brought innovation and changes in vehicles. In recent years, researches have focused on the development of autonomous vehicles, in other words, the vehicle takes human driving function for parking, driving in the city or on the road. Parking a vehicle, having determined the parking location, is an algorithmic process of angle of rotation and displacement. However, the difficulties in this process relate to parking spaces reduced and the time spent in locating a place in large parking lots. This work presents the development of a vehicle prototype that performs the parking maneuver autonomously at a predetermined space, and then performs the exit procedure. The prototype uses ultrasonic sensors, encoders and microcontroller.

Keywords: Autonomous vehicle, Parking, Embedded System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Stanley, o primeiro veículo autônomo a vencer o DARPA <i>Grand Challenge</i>	12
Figura 2 – Rotas criadas pelo <i>Rover</i>	14
Figura 3 – Sinal gerado pelo emissor (amarelo) e sinal de eco recebido (verde).....	15
Figura 4 – Sinal de eco retificado	16
Figura 5 - Funcionamento do sensor de distância óptico	17
Figura 6 – Encoder óptico circular incremental (esquerda) e absoluto (direita)	17
Figura 7 – Diagrama de um motor com ponte H.....	18
Figura 8 – Arquitetura básica de um microcontrolador genérico.....	19
Figura 9 - Localização e alcance dos sensores de distância infra-vermelhos.....	20
Figura 10 - Funcionamento do sistema de estacionamento autônomo em vagas paralelas.....	20
Figura 11 - Cinemática do veículo com eixo de rotação dianteiro	21
Figura 12 - Mapeamento Topográfico (esq.) e Métrico (dir.) de um estacionamento	22
Figura 13 - Mensagem enviada pela central do estacionamento	22
Figura 14 - Diagrama de blocos do protótipo.....	23
Figura 15 - Componentes contidos no Kit de Chassi 2WD.....	24
Figura 16 - Esfera deslizante	24
Figura 17 - Diagrama de representação das interligações do circuito de controle do protótipo	25
Figura 18 - Circuito de regulação de tensão	26
Figura 19 - TM4C123G Launchpad	27
Figura 20 - Chave óptica (esquerda) e roda encoder (direita)	28
Figura 21 - Circuito de aquisição do deslocamento	29
Figura 22 - Sensor HC-SR04.....	30
Figura 23 - Circuito de aquisição de distâncias	31
Figura 24 - Módulo de controle de motores DC L298N	32
Figura 25 - Circuito de acionamento dos motores.....	33
Figura 26 - Sinal PWM gerado pelo timer 0 e enviado aos motores.....	35
Figura 27 - Sinal gerado pela chave óptica e interpretado pelo microcontrolador.....	36
Figura 28 - Diagrama de tempo do sensor ultrassônico	38
Figura 29 - Fluxo de execução do algoritmo de controle	39
Figura 30 - Mapa de distribuição do estacionamento.....	39
Figura 31 - Modelo de estacionamento desenvolvido para os testes.....	42
Figura 32 - Percursos utilizados nos testes.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Componentes contidos no KIT de Chassi 2WD.....	24
Tabela 2 - Pinos do KIT de avaliação TM4C123G Launchpad e suas funções.	28
Tabela 3 - Características do sensor HC-SR04	30
Tabela 4 - Sentido de rotação das rodas e níveis lógicos no módulo DC L298N.	32
Tabela 5 - Modos de configuração co módulo de timer do TM4C123G	34
Tabela 6 - Sinais do microcontrolador e resposta do sentido de movimentação do protótipo .	35
Tabela 7 - Canais selecionados com CI 74HC4051	37
Tabela 8 - Sequências de instruções que constiuem os percursos utilizados no teste	43
Tabela 9 - Comparação entre resultados da execução do percurso 1	45
Tabela 10 - Comparação entre resultados da execução do percurso 2	46

LISTA DE SIGLASSIGLAS E ACRÔNIMOS

CC	Corrente Contínua
CI	Circuitos Integrados
CPU	<i>Central Processing Unit</i> (Unidade de Processamento Central)
DARPA	<i>Defense Advanced Research Projects Agency</i> (Agência de Projetos de Pesquisa de Defesas Avançadas)
I/O	<i>Input/Output</i> (Entrada/Saída)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
IDE	<i>Integrated Development Environment</i> (Ambiente de Desenvolvimento Integrado)
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> (Administração Nacional Aeronáutica e Espacial)
PDC	<i>Park Distance Control</i> (Controle de Distância de Estacionamento)
PSD	<i>Position Sensing Device</i> (Dispositivo de Detecção de Posição)
PWM	Modulação por Largura de Pulso
RMA	Robôs Móveis Autônomos
ULA	Unidade Lógica e Aritmética

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.2 JUSTIFICATIVA	10
1.3.1 Objetivo geral	10
1.3.2 Objetivos específicos.....	10
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 VEÍCULOS AUTÔNOMOS	12
2.2 SENSORES DE DISTÂNCIA	14
2.2.1 Sensores ultrassônicos	15
2.2.2 Sensores ópticos.....	16
2.3 SENSORES DE DESLOCAMENTO OU ENCODER ÓTICO	17
2.4 SISTEMA DE ACIONAMENTO	18
2.5 MICROCONTROLADOR.....	18
2.6 TRABALHOS SIMILARES.....	19
3 O PROTÓTIPO PARA ESTACIONAMENTO AUTÔNOMO	23
3.1 ESTRUTURA FÍSICA DO PROTÓTIPO	23
3.2 CIRCUITOS DE AQUISIÇÃO E ACIONAMENTO DO PROTÓTIPO.....	25
3.2.1 Circuito de Alimentação	26
3.2.2 Sistema de controle	26
3.2.3 - Circuito de Aquisição do Deslocamento.....	28
3.2.4 - Circuito de Aquisição de Distâncias.....	30
3.2.5 Circuito de Acionamento dos Motores	31
3.3 DESENVOLVIMENTO DO ALGORITMO DE CONTROLE.....	33
3.3.1 Biblioteca de controle do circuito de acionamento	33
3.3.2 Biblioteca de controle do circuito de aquisição do deslocamento.....	36
3.3.3 Biblioteca de controle do circuito de aquisição de distâncias	37
3.3.4 Algoritmo de controle	38
4 TESTES REALIZADOS	42
5 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos pesquisas têm se voltado ao desenvolvimento de veículos autônomos. Em outubro de 2005, um o veículo totalmente autônomo chamado Stanley, desenvolvido por uma equipe liderada pela Universidade de Stanford conseguiu completar o percurso desenvolvido pela *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA), composto por um caminho pré-definido de 142 milhas pelo deserto de Mojave, o qual deveria ser percorrido em menos de 10 horas. Com o cumprimento da prova em 6 horas e 53 minutos, Stanley foi o campeão, recebendo a premiação de 2 milhões de dólares (THRUN et al, 2006).

Em março de 2016, na rodovia A52, nas proximidades de Düsseldorf, na Alemanha, a Daimler Trucks apresentou um exemplo impressionante das possibilidades da conexão digital de veículos comerciais. Três caminhões de condução autônoma, conectados por WiFi e com autorização para estradas públicas, circularam em comboio. Segundo os fabricantes, esta combinação poderia reduzir o consumo de combustível em até 7% e melhora da segurança no trânsito. O desenvolvimento é chamado de sistema avançado de *Highway Pilot Connect* (MERCEDES-BENZ, 2016).

A fabricante alemã de automóveis BMW desenvolveu um sistema de estacionamento por controle remoto, este é ativado depois que o condutor retira-se do veículo. O veículo estaciona avançando para frente ou de ré para um espaço de estacionamento apertado ou garagem. Todo o procedimento de estacionamento é monitorado pelo sistema denominado *Park Distance Control* (PDC), o assistente de estacionamento e sensores. Para utilizar a função de estacionamento com comando à distância, o veículo precisa Estar posicionado de forma reta, centralizada, de frente para o espaço de estacionamento ou garagem. Durante o procedimento de estacionamento o condutor pode parar o veículo, se necessário (BMW, 2016).

O desenvolvimento de tecnologias trouxe inovação e mudanças nos veículos. A telefonia celular, o acesso à Internet e os sistemas elétricos estão transformando o que os carros podem fazer, tornando a condução mais segura e mais conveniente.

A evolução do veículo dirige um de seus esforços na automatização, isto é o veículo assumir a função de condução humana para estacionamento, em vias na cidade ou em estradas. Nesse contexto, o presente trabalho visa desenvolver um protótipo de veículo que realize a manobra de estacionamento de forma autônoma a uma vaga predeterminada, e, posteriormente realize o procedimento de saída.

1.2 JUSTIFICATIVA

A indústria automobilística trabalha constantemente no aprimoramento dos veículos, podem-se citar os aspectos de auxiliar e assumir a condução do veículo. O auxílio ao motorista envolvem os instrumentos no painel que informam o estado atual do veículo. Com a evolução dos veículos tem sido inseridos sistemas de alerta quando esta trocando de pista, controle de frenagem de emergência e inclusive cruzeiro adaptativo. Assumir a condução transforma o veículo em um sistema que seja capaz de cumprir as funções da condução humana, por exemplo, no estacionamento.

Estacionar um veículo tendo sido determinado o local de estacionamento transforma-se em um processo algorítmico de ângulo de giro e deslocamento. Entretanto, as dificuldades nesse processo relacionam-se a espaços reduzidos de estacionamento bem como ao tempo dispendido em localizar uma vaga em grandes estacionamentos.

Mecanismos que permitam determinar a vaga livre na entrada de um estacionamento bem como a ação de estacionar o veículo na vaga trazem conforto ao usuário e lhe permitem substituir essa tarefa por outras atividades.

O desenvolvimento do protótipo de veículo para estacionamento autônomo favorecerá aos usuários, evitando que estes tenham que se deslocar dentro do estacionamento à procura de uma vaga para estacionar o veículo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver um protótipo de veículo que permita realizar estacionamento autônomo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Montar a estrutura física do protótipo;
- Construir o circuito de aquisição de dados;
- Construir o circuito de acionamento;
- Desenvolver o algoritmo de manobra autônoma;
- Testar o funcionamento do protótipo.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em capítulos, esse é o primeiro, contém a introdução, a justificativa e os objetivos do trabalho. O Capítulo 2 contém o referencial teórico sobre veículos autônomos, conceitos sobre o funcionamento dos componentes a serem utilizados e são apresentados trabalhos sobre veículos autônomos que tratam sobre estacionamento. No Capítulo 3 apresenta-se a metodologia de desenvolvimento do protótipo. É descrito no capítulo 4 os testes realizados. O Capítulo 5 contém as conclusões e a discussão dos problemas encontrados no desenvolvimento do projeto e propõem-se trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 VEÍCULOS AUTÔNOMOS

Veículos Autônomos são veículos capazes de realizar tarefas como carga de passageiros e mercadorias ou missões como exploração de ambientes inóspitos ou mapeamentos geográficos sem a intervenção humana. (ARRUDA, 2012).

Esse campo de pesquisa ganhou destaque a partir de 2003, através do *The Grand Challenge*, lançado pela DARPA. Com o objetivo de promover o desenvolvimento na área da automação veicular os competidores tinham como desafio o desenvolvimento de um veículo totalmente autônomo capaz de percorrer um percurso de 142 milhas através do deserto de Mojave em menos de 10 horas. Somente em sua segunda edição do desafio, Stanley (Figura 1), robô desenvolvido pela Universidade de Stanford, completou o percurso em 6 horas, 53 minutos e 58 segundos, consagrando-se o primeiro vencedor do DARPA *Grand Challenge*. (THRUN et al, 2006).



Figura 1 - Stanley, o primeiro veículo autônomo a vencer o DARPA *Grand Challenge*
Fonte: Williams (2015).

Os Robôs Móveis Autônomos (RMA), como também são conhecidos os veículos autônomos, são classificados relativamente ao seu grau de automação. Como mostrado por Jung (2005), os veículos podem ser definidos como:

- Totalmente comandados a distância: Veículo totalmente dependente de comandos enviados à distância como, por exemplo, carros de controle remoto;
- Veículo guiado: Veículo que se utiliza de informações externas, imperativas ao seu funcionamento. Como exemplo desse tipo de veículo tem-se os seguidores de linha;

- Veículo semiautônomo: Mesmo necessitando serem controlados remotamente, esse tipo de veículo pode tomar algumas decisões sozinho, como, por exemplo, parar mediante a detecção de um obstáculo;
- Veículo Autônomo: Capaz de operar sem a intervenção humana. Assim que ativado, esse tipo de veículo executa suas tarefas autonomamente.

Uma aplicação para veículos autônomos foi implementada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) para a exploração de Marte. Devido à dificuldade de exploração do terreno de Marte por espaçonaves localizadas em sua órbita ou pousadas em sua superfície, houve a necessidade da criação de veículos capazes de locomover-se no terreno acidentado e inóspito do planeta vermelho. Esses veículos denominam-se *Rovers* (NATIONAL AIR AND SPACE MUSEUM, 2013).

Dentre os últimos *Rovers* criados pela NASA encontram-se os veículos denominados *Spirit e Opportunity*. Esses veículos pousaram em Marte no ano de 2004. Devido à distância em relação à Terra (cerca de 4,5 minutos-luz) seria impossível o controle dos veículos em tempo real. Para andar pelo terreno, os *Rovers*, ao receberem a coordenada de destino de sua movimentação, utilizam-se da técnica de visão estéreo, baseada na visão humana. Essa técnica baseia-se na utilização de duas câmeras fotográficas posicionadas em locais diferentes. Ao fotografar o terreno em sua frente com as câmeras, o veículo então compara as imagens, detectando assim distância, altura e profundidade dos obstáculos em sua frente, além de medir com precisão a distância percorrida. Com essas informações o *Rover* então cria a melhor rota para percorrer o caminho em sua frente (NASA, 2009). A Figura 2 mostra as possibilidades de caminhos e as decisões tomadas pelo veículo.

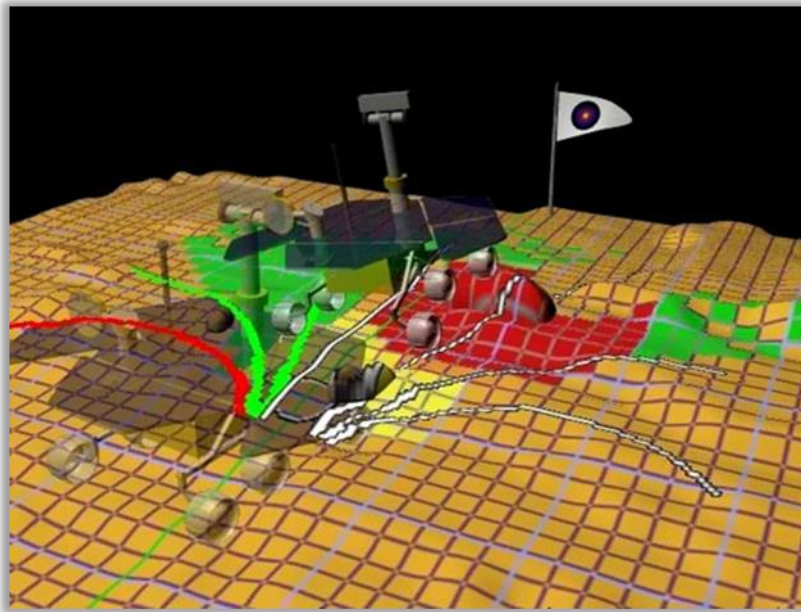


Figura 2 – Rotas criadas pelo Rover
Fonte: NASA (2009).

O desenvolvimento de um sistema de manobrista autônomo precisa basicamente de informações de posição, distâncias percorridas e velocidade de deslocamento. Essas informações podem ser coletadas a partir de sensores de distância, deslocamento e velocidade. Os dados fornecidos pelos sensores, após serem processados, permitirão a tomada de decisão de como os atuadores deverão agir para regular a velocidade, direção do deslocamento do veículo. Sensores são úteis no desenvolvimento de sistemas autônomos, pois eles são os “olhos” e “ouvidos” que irão a permitir comportamentos adequados.

2.2 SENSORES DE DISTÂNCIA

Nos veículos autônomos sensores de distância têm papel importante no monitoramento do ambiente a fim de prevenir choques e desviar obstáculos. Dentre os tipos existentes, destacam-se os sensores ultrassônicos e os sensores óticos (PATSKO, 2006).

Sensores ultrassônicos funcionam através da emissão de pulsos de som em alta frequência, o qual atinge o obstáculo em frente e retorna ao sensor. A distância então é medida baseada no tempo em que o pulso de ultrassom demorou em percorrer toda a distância.(PATSKO, 2006).

Já os sensores óticos, como descreve Patsko (2006), utilizam o princípio de triangulação no qual um feixe de luz é emitido por um LED infravermelho e então após incidir em um objeto

retorna a um dispositivo de monitoramento de posição. A distância então é obtida com base no local da incidência do reflexo do feixe de luz infravermelho.

2.2.1 Sensores ultrassônicos

Semelhantes aos sonares dos submarinos e navios, os sensores ultrassônicos têm como finalidade, amplamente explorada, a medição de distâncias. O método utilizado, denominado de pulso-eco, trata-se da técnica na qual a distância de um objeto é medida através da medição do tempo de trânsito de ida e volta de uma sonora de alta frequência (ROS et al., 1992). O eco do sinal produzido pelo emissor é capturado por um transdutor piezoelétrico. Tal processo pode ser observado na Figura 3.

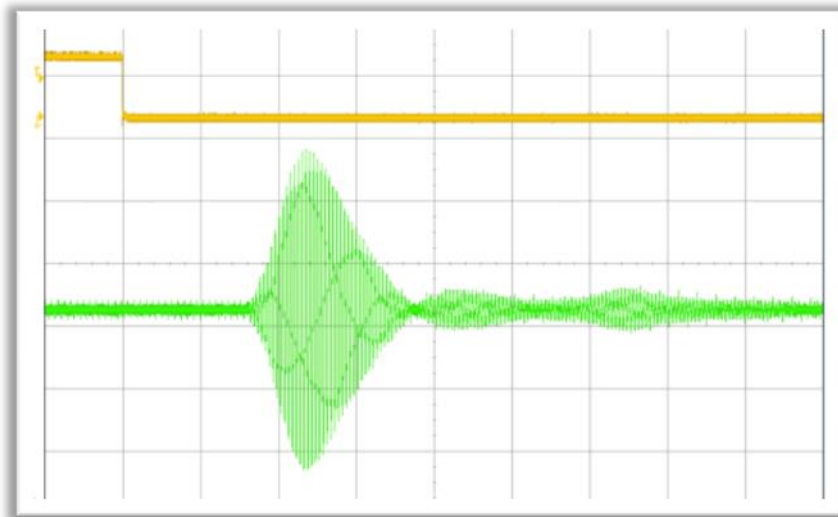


Figura 3 – Sinal gerado pelo emissor (amarelo) e sinal de eco recebido (verde)
Fonte: Styger (2014).

Segundo Ros (1992), amplitude variável da onda é de grande importância, pois nela encontram-se informações como distância, tamanho e a natureza do objeto. Para definir a distância, o método mais usualmente utilizado é a comparação do sinal de eco, retificado, com valor de amplitude de referência fixo, geralmente maior que a amplitude do ruído de ambiente, como é mostrada na Figura 4.

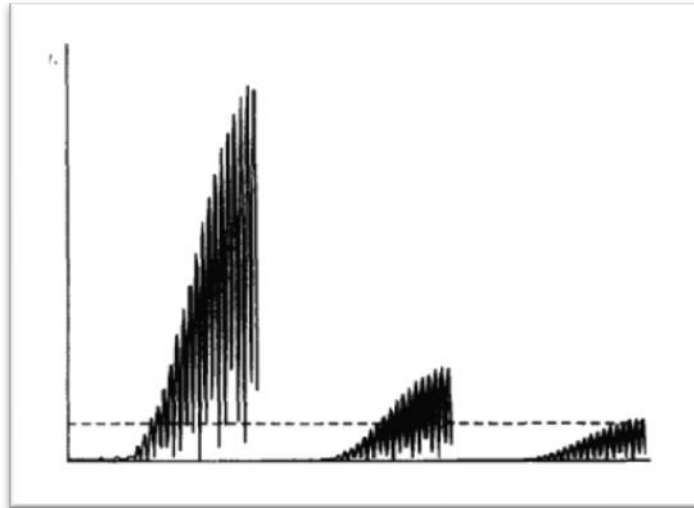


Figura 4 – Sinal de eco retificado
Fonte: Ros (1992).

Após a aquisição desses tempos a distância D do objeto pode ser calculada dividindo-se a metade do tempo de trânsito da onda sonora t_t pela velocidade do som v_s no meio ao qual o sistema está inserido, como mostra a Equação 1.

$$D = \frac{v_s \cdot t_t}{2} \quad (1)$$

2.2.2 Sensores ópticos

Sensores de distância ópticos utilizam feixes de luz emitidos por diodos laser ou LEDs infravermelhos para detectar a distância dos objetos a sua frente através da reflexão de tais feixes, os quais são detectados por um *Position Sensing Device* (PSD), compostos por fotodiodos (PATSKO, 2006). Baseado na localização da incidência do feixe de luz refletido através do acionamento de tais fotodiodos, um módulo processa essa informação e determina a posição da incidência do feixe, gerando uma tensão em sua saída relativa à distância do objeto. Seu funcionamento é mostrado na Figura 5.

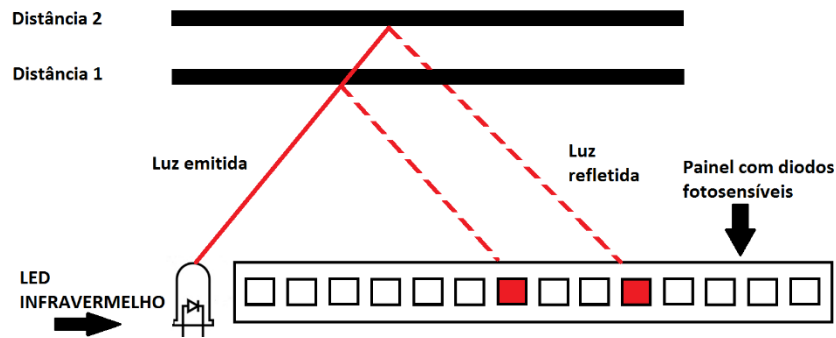


Figura 5 - Funcionamento do sensor de distância óptico
Fonte: Autoria Própria.

2.3 SENSORES DE DESLOCAMENTO OU ENCODER ÓTICO

A informação do deslocamento e da velocidade do veículo é necessária para um sistema de estacionamento autônomo. Para a obtenção dessas informações é utilizado um *encoder*. Trata-se de um dispositivo eletrônico constituído por emissor de luz, um receptor que detecta a luz emitida e um disco opaco contendo aberturas transparentes igualmente espaçadas, fixo ao eixo rotativo. A saída do receptor são pulsos digitais (bit 0 ou 1) gerados pela ausência ou presença de luz no mesmo, gerado pela rotação do disco codificado (EDITORA SABER, 2013). Através da decodificação de tais bits pode-se definir a posição absoluta, sentido de rotação ou até mesmo velocidade angular do eixo rotativo.

Goedtel (2007) classifica *encoders* ópticos em incrementais e absolutos (Figura 6). O primeiro, mais comumente utilizado, funciona através da geração de um pulso apenas, com sua frequência diretamente proporcional à velocidade de giro do eixo. Já o último possui como saída uma palavra – conjunto de bits – referentes à posição absoluta do eixo rotativo.

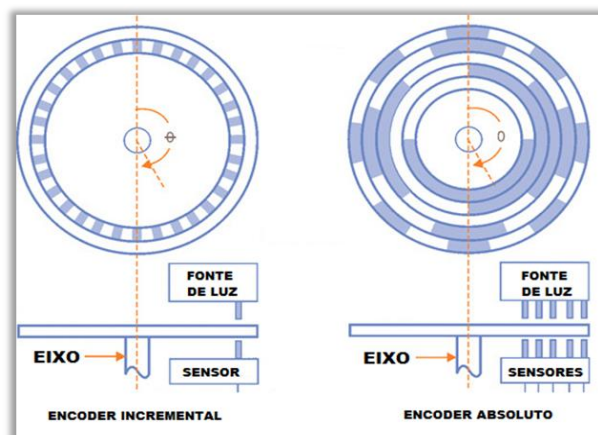


Figura 6 – Encoder óptico circular incremental (esquerda) e absoluto (direita)
Fonte: Saber Eletrônica (2014).

2.4 SISTEMA DE ACIONAMENTO

Ao conectar um motor de Corrente Contínua (CC) a uma fonte de tensão contínua o motor movimenta-se com velocidade constante em um único sentido. Para que o motor gire no sentido oposto faz-se necessário a inversão dos polos de alimentação do motor manualmente. Para controle do sentido do motor CC utiliza-se o circuito denominado Ponte H (PASTKO, 2006). A Figura 7 mostra o conceito básico de funcionamento de uma ponte H.

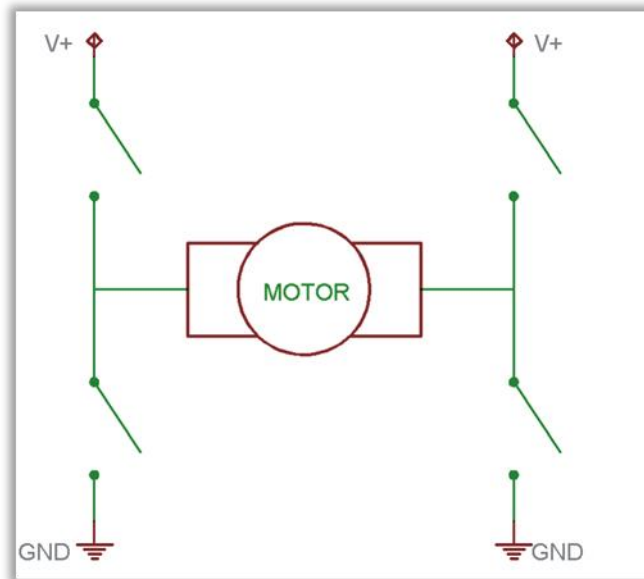


Figura 7 – Diagrama de um motor com ponte H
Fonte: Patsko (2006).

Através do controle de tal circuito com um microcontrolador e a modulação PWM é possível, além do controle do sentido, o controle de sua velocidade. O controle do sentido do motor funciona através do acionamento de chaves, que podem ser relés ou transistores, de forma diagonal, fazendo com que a corrente flua no sentido direto do motor. Para inverter o sentido de movimento, primeiro abrem-se as chaves acionadas e em seguida fecham-se as chaves diagonais opostas.

2.5 MICROCONTROLADOR

Em se tratando do desenvolvimento de sistemas de monitoramento ou controle remotos sistemas embarcados micro controlados têm se tornado a escolha mais comum. Isso ocorre devido à baixa necessidade de processamento que é necessária para o controle e monitoramento de máquinas, como robôs autônomos, tornando-o uma opção barata no desenvolvimento de

sistemas embarcados (AB-RAHMAN, 2009).

Microcontroladores, como descrito por Soares (1998), são Circuitos Integrados (CI) constituídos de uma Unidade de Processamento Central (UPC), uma Unidade Lógica e Aritmética (ULA), periféricos como: *timers*, conversores Analógico-Digitais e memória para armazenamento do código de programa a ser executado (Figura 9). Para interface com o circuito externo ao microcontrolador são utilizados pinos de entrada e saída.

Microcontrolador

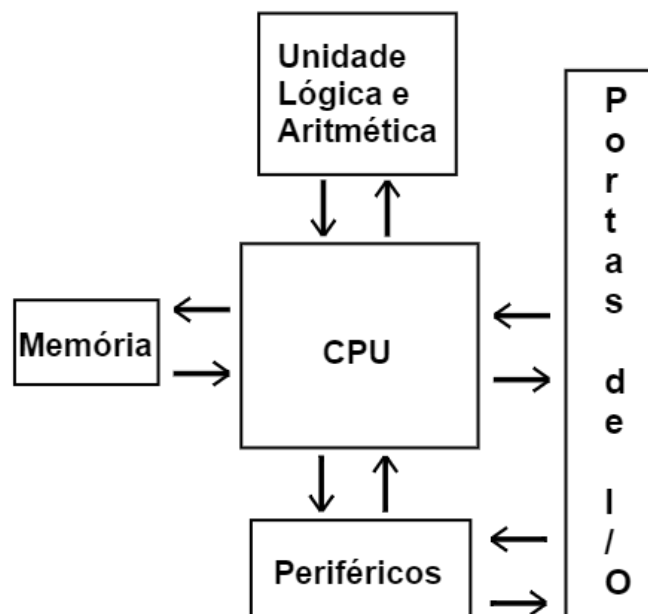


Figura 8 – Arquitetura básica de um microcontrolador genérico
 Fonte: adaptado de Soares (1998).

2.6 TRABALHOS SIMILARES

Osório et al. (2001) desenvolveram um sistema que automatiza o processo de estacionamento em vagas paralelas. Utilizando um conjunto de sensores de distância infravermelho localizados estrategicamente no veículo (Figura 9), o sistema, ao ser acionado, inicia a busca por uma vaga livre no estacionamento.

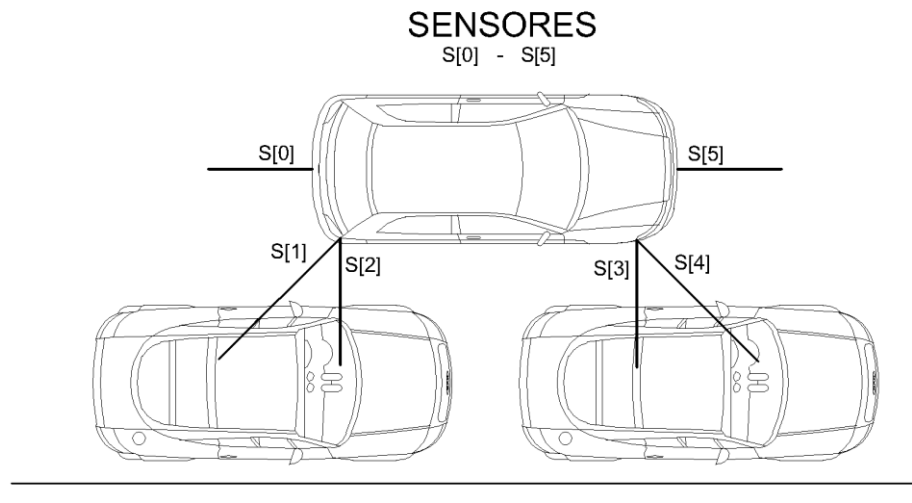


Figura 9 - Localização e alcance dos sensores de distância infra-vermelhos
Fonte: adaptado de Osório, Heinen e Fortes (2001).

Ao localizar tal vaga o processo de manobra do veículo inicia-se, e, após o término do processo o sistema de estacionamento automático em vagas paralelas desliga-se. A Figura 10 exemplifica o funcionamento do sistema implementado.

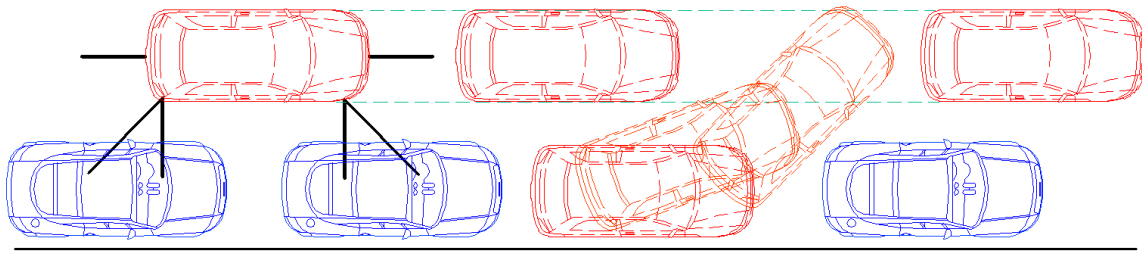


Figura 10 - Funcionamento do sistema de estacionamento autônomo em vagas paralelas
Fonte: adaptado de Osório, Heinen e Fortes (2001).

Para mapear a cinemática do veículo, o modelo utilizado foi um paralelepípedo suportado por quatro rodas presas a dois eixos, sendo o traseiro fixo e o dianteiro móvel. O posicionamento do veículo é definido pelas Equações 2, 3 e 4.

$$X = V \cos \phi \cos \theta \quad (2)$$

$$Y = V \cos \phi \sin \theta \quad (3)$$

$$\dot{\theta} = \frac{V}{L} \sin \phi \quad (4)$$

Sendo:

X e Y: coordenadas do ponto médio do eixo traseiro;

θ : Ângulo de direção do veículo, com relação a uma referência;

V: Velocidade do veículo;

L: Largura dos eixos nos quais as rodas estão fixas;

ϕ : Ângulo de direcionamento das rodas dianteiras.

A Figura 11 exprime o significado de cada variável relacionada às Equações anteriores.

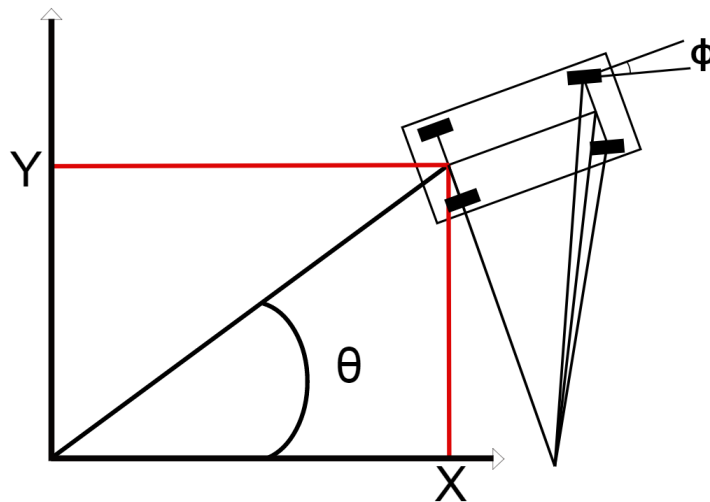


Figura 11 - Cinemática do veículo com eixo de rotação dianteiro
Fonte: adaptado de Osório, Heinen e Fortes (2001).

Visando o mesmo objetivo, mas com uma aplicação em um estacionamento fechado como garagens de edifício, *shopping centers*, supermercados, Alvez e Capovilla (2015) implementaram um sistema de estacionamento autônomo no qual um veículo, sem o auxílio do motorista, locomove-se da entrada de um estacionamento para uma vaga vazia e informa ao usuário a localização de seu veículo.

O sistema compõe-se de um computador central, localizado na entrada do estacionamento, contendo o mapeamento topográfico e métrico do mesmo. A Figura 12 mostra um exemplo de mapeamento contido na central do sistema de estacionamento automático.

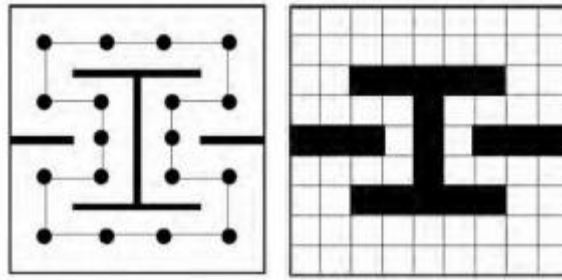


Figura 12 - Mapeamento Topográfico (esq.) e Métrico (dir.) de um estacionamento
Fonte: Alves e Capovilla (2015).

Mediante requisição feita por um aplicativo executado em um *smartphone*, o veículo, que se encontra posicionado na entrada do estacionamento, recebe uma sequência de instruções da central através de um protocolo de comunicação sem fio. Essas instruções contêm a sequência de movimento necessária para o veículo se locomover do início do estacionamento a uma vaga livre dentro do estacionamento. A Figura 13 mostra o formato da mensagem recebida pelo veículo.



Figura 13 - Mensagem enviada pela central do estacionamento
Fonte: Alves e Capovilla (2015).

Com essas informações e através do acionamento dos motores utilizando Ponte H controlada por sinais PWM enviados por um microcontrolador, o veículo efetua seu deslocamento ao local onde permanecerá estacionado.

O veículo autônomo ainda possui sensores ultrassônicos localizados em sua frente e traseira, objetivando a localização de obstáculos e prevenção de colisões e acidentes.

Ao término do processo de estacionamento o usuário é informado, através de seu *smartphone*, da localização do veículo (ALVES; CAPOVILLA, 2015).

3 O PROTÓTIPO PARA ESTACIONAMENTO AUTÔNOMO

O objetivo do protótipo é realizar a manobra de entrada a vaga do estacionamento e saída do mesmo até o acesso do estacionamento. Os componentes do protótipo são mostrados na Figura 14.

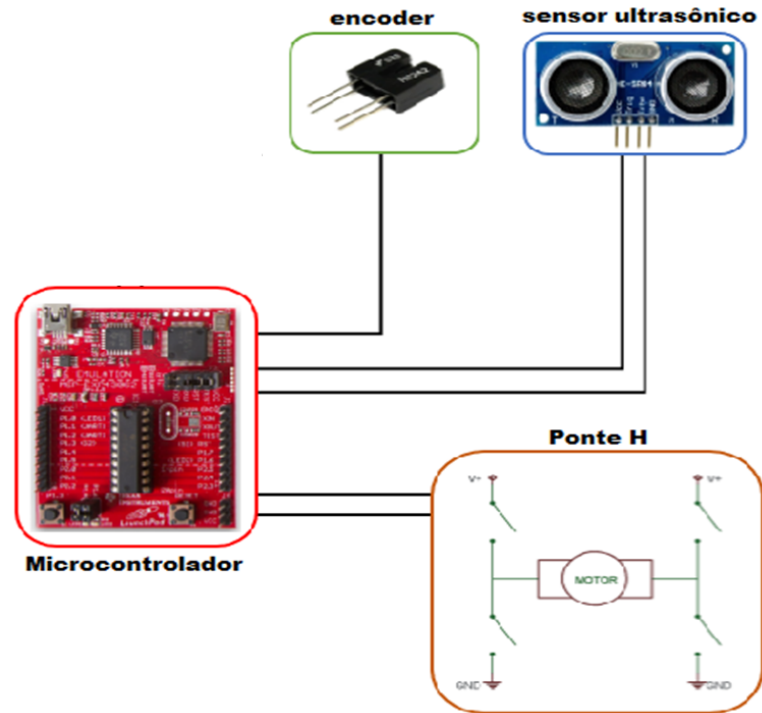


Figura 14 - Diagrama de blocos do protótipo
Fonte: Autoria própria.

3.1 ESTRUTURA FÍSICA DO PROTÓTIPO

O protótipo para realizar o estacionamento autônomo foi desenvolvido em escala reduzida e utiliza os componentes mostrados na Tabela 1 e Figura 15. Optou-se pela utilização do Kit Chassi 2WD devido à disponibilidade do material e pela simplicidade de construção.

QUANTIDADE	COMPONENTE
01	Chassi em acrílico
02	Motor de Corrente Contínua
02	Rodas de Borracha

01	Roda Boba
02	Disco de Encoder

Tabela 1 - Componentes contidos no KIT de Chassi 2WD



Figura 15 - Componentes contidos no Kit de Chassi 2WD

Devido a desvios de trajetória causados pela “roda boba” (componente contido no *KIT*), durante a troca de sentido do protótipo (movimentação para frente ou para trás), a roda foi substituída por uma esfera deslizante. Na Figura 16 é mostrado o modelo de esfera deslizante utilizado no projeto.



Figura 16 - Esfera deslizante

3.2 CIRCUITOS DE AQUISIÇÃO E ACIONAMENTO DO PROTÓTIPO

Os circuitos construídos para o protótipo encontram-se afixados sobre sua estrutura física e são mostrados na Figura 17. Os circuitos dividem-se em:

- Circuito de Alimentação;
- Sistema de Controle (sistema microcontrolado);
- Circuito de Aquisição do Deslocamento (encoders);
- Circuito de Aquisição de Distâncias (sensores ultrassônicos);
- Circuito de Acionamento dos Motores (ponte H).

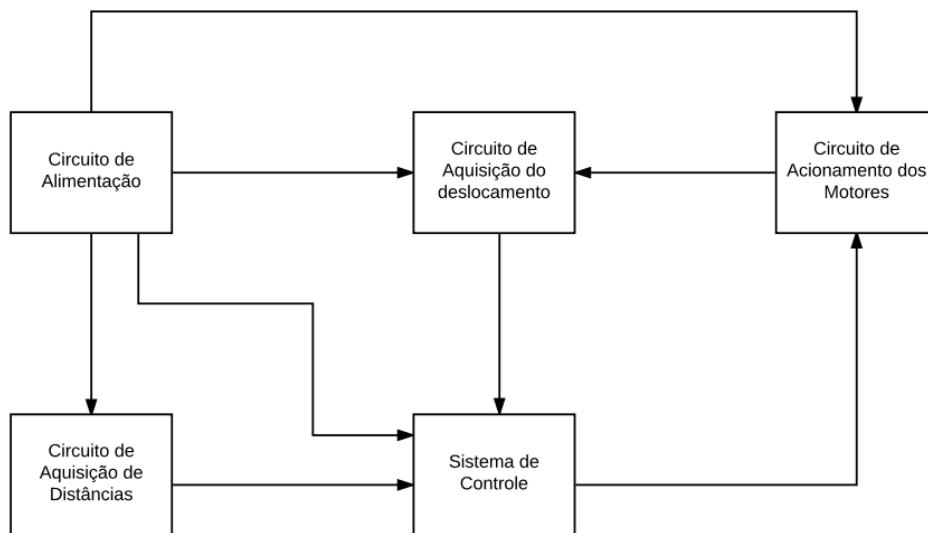


Figura 17 - Diagrama de representação das interligações do circuito de controle do protótipo
Fonte: Autoria própria.

O circuito de alimentação tem como objetivo a regulação de tensão, de 12 para 5 Volts. O circuito de aquisição de distâncias é composto por 8 sensores ultrassônicos distribuídos nas laterais do protótipo e tem por objetivo detectar as distâncias de objetos e obstáculos que circundam o mesmo.

O deslocamento das rodas foi aferido através de um conjunto de rodas encoders e chaves ópticas, representado pelo circuito de aquisição do deslocamento, tanto o deslocamento como as distancias são informadas ao Sistema de controle o qual realiza o acionamento dos motores através de sinais PWM.

3.2.1 Circuito de Alimentação

O protótipo desenvolvido utiliza como fonte primária de alimentação uma bateria de 12 Volts. Os circuitos de aquisição do deslocamento e de distâncias como também o sistema de controle utilizam uma alimentação de 5 Volts. Assim, foi construído um circuito de regulação de tensão fixo, utilizando o componente eletrônico LM7805. Esse circuito pode ser observado na Figura 18.

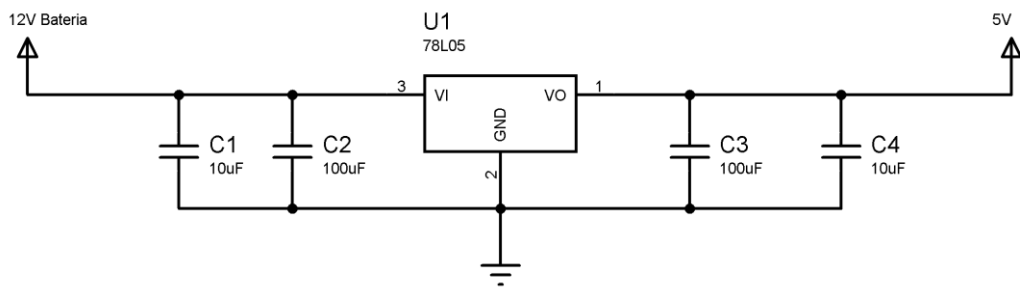


Figura 18 - Circuito de regulação de tensão
Fonte: Autoria própria.

O LM7805 é um regulador de tensão fixo. Dentre suas características principais têm-se: um limitador interno de corrente que permite uma corrente de saída máxima de 1 Ampere, e, um sistema de desligamento por temperatura. (FARCHILD, 2016). A configuração de circuito utilizada na Figura 18 é sugerida pelo fabricante do componente, em seu datasheet.

3.2.2 Sistema de controle

Para aquisição dos dados dos sensores e encoders e acionamento dos motores CC é utilizado o Kit de avaliação TM4C123G LaunchPad, desenvolvido pela Texas Instruments. Trata-se de uma plataforma de avaliação de baixo custo composta de um microcontrolador da família ARM Cortex-M4 (TEXAS INSTRUMENTS, 2016). Kit de avaliação TM4C123G LaunchPad pode ser observado na Figura 19.

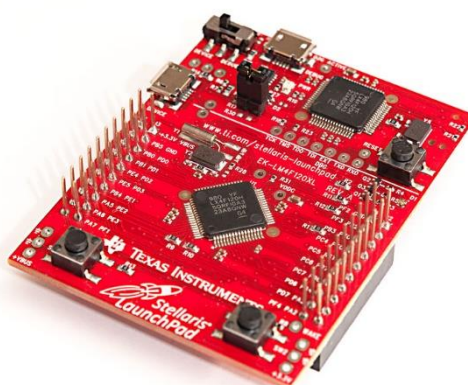


Figura 19 - TM4C123G Launchpad
Fonte: Texas Instruments (2016).

O protótipo usa esse microcontrolador pela disponibilidade e por atender os requisitos do projeto. Dentre suas principais características destacam-se:

- Velocidade de 80 MHz;
- Memória Flash de 256 kB;
- Memória RAM de 32 kB;
- 6 Timers de 32 bits e 6 Timers de 64 bits;
- 40 Pinos de I/O de propósito geral.

Na Tabela 2 mostram-se os pinos do Kit de avaliação TM4C123G Launchpad utilizados, os módulos do microcontrolador relacionados aos mesmos e os sinais de entrada e saída relacionados aos pinos.

PINO	MÓDULO RELACIONADO	SINAL RELACIONADO
PA6	Entrada/Saída de propósito geral	Sinal de controle do sentido de rotação das rodas
PA7	Entrada/Saída de propósito geral	Sinal de controle do sentido de rotação das rodas
PB0	Entrada/Saída de propósito geral	Bit 0 do mux/demux de seleção do sensor ultrassônico
PB1	Entrada/Saída de propósito geral	Bit 1 do mux/demux de seleção do sensor ultrassônico

PB5	Entrada/Saída de propósito geral	Bit 2 do mux/demux de seleção do sensor ultrassônico
PB6	Saída do Timer 0A	Sinal PWM enviado ao circuito de acionamento da roda esquerda
PB7	Saída do Timer 0B	Sinal PWM enviado ao circuito de acionamento da roda direita
PE2	Entrada/Saída de propósito geral	Sinal de trigger do sensor ultrassônico
PE3	Entrada/Saída de propósito geral	Sinal de echo enviado pelo sensor ultrassônico
PF2	Captura e comparação do Timer 1A	Sinal enviado pelo encoder da roda esquerda
PF3	Captura e comparação do Timer 1B	Sinal enviado pelo encoder da roda direita

Tabela 2 - Pinos do KIT de avaliação TM4C123G Launchpad e suas funções.

3.2.3 - Circuito de Aquisição do Deslocamento

Utilizam-se encoders para a aquisição do deslocamento efetuado pelo protótipo. O conjunto encoder é composto por uma roda encoder e pela chave óptica MOC70T2. A Figura 20 exibe os componentes utilizados como encoder.

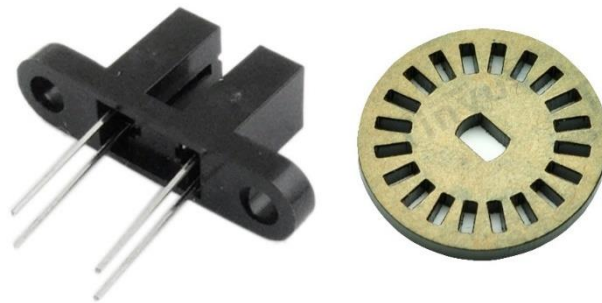


Figura 20 - Chave óptica (esquerda) e roda encoder (direita)
Fonte: Autoria própria.

A chave óptica MOC70T2, descrito pela Motorola (Datasheet MOC70T2), é composta por um LED infravermelho de arseneto de gálio de frente com um fototransistor do tipo NPN, encapsulados em um molde plástico com um espaçamento entre eles. Este espaçamento entre o LED infravermelho (emissor) e o fototransistor (receptor) permite a interrupção mecânica da luz infravermelha, permitindo o acionamento ou não do receptor. A roda encoder tem como papel exercer tal interrupção mecânica, permitindo adquirir informação sobre o deslocamento exercido pela roda.

Dentre as principais características da chave óptica MOC70T2 destacam-se:

- Tensão de ruptura do fotodiodo: 30 V;
- Corrente máxima escura: 100 nA;
- Corrente máxima de acionamento do LED infravermelho: 60 mA;
- Tensão de acionamento do LED infravermelho: 1,3 V;
- Corrente máxima do coletor do fotodiodo: 6 mA

Como o LED infravermelho é acionado constantemente, a alimentação do mesmo é da bateria de 12 V para evitar a sobrecarga no regulador de tensão de 5V que tem como corrente máxima 1 Ampère. O circuito da Figura 21 mostra a topologia do circuito de Aquisição do deslocamento.

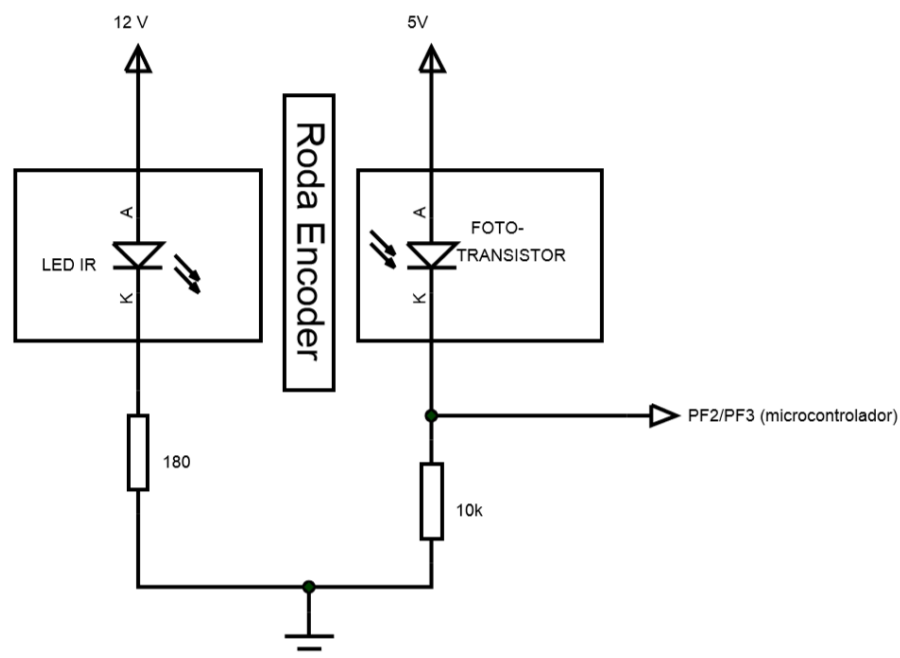


Figura 21 - Circuito de aquisição do deslocamento
Fonte: Autoria própria.

3.2.4 - Circuito de Aquisição de Distâncias

O circuito de aquisição de distâncias constitui-se de 8 sensores ultrassônicos HC-SR04 e 2 circuitos integrados 74HC4051.

O sensor HC-SR04 apresenta um intervalo de medição entre 2 e 400 centímetros, o que permite a detecção do obstáculo com antecedência, permitindo a tomada de decisões como parar e/ou desviar. Na Figura 22 mostra-se o sensor HC-SR04 e na Tabela 3 as características do mesmo.



Figura 22 - Sensor HC-SR04
Fonte: Marlin (2016).

CARACTERÍSTICA	VALOR
Tensão de funcionamento (V)	5
Corrente de funcionamento (mA)	15
Frequência de amostragem (Hz)	40
Faixa de detecção (cm)	2 - 400
Ângulo de medição (graus)	15

Tabela 3 - Características do sensor HC-SR04
Fonte: Datasheet HC-SR04 (MARLIN, 2016).

O 74HC4051, como é descrito pela NXP Semiconductors (NXP SEMICONDUCTORS, 2016), trata-se de um circuito integrado que pode ser usado como um multiplexador/demultiplexador analógico ou digital. É constituído de 8 entradas/saídas independentes, uma entrada/saída comum e 3 entradas digitais de seleção.

A utilização do CI 74HC4051 deve-se à grande quantidade de entradas e saídas relacionadas aos sensores ultrassônicos e por funcionar tanto como um multiplexador quando como um demultiplexador.

O circuito de aquisição de distâncias desenvolvido está representado na Figura 23.

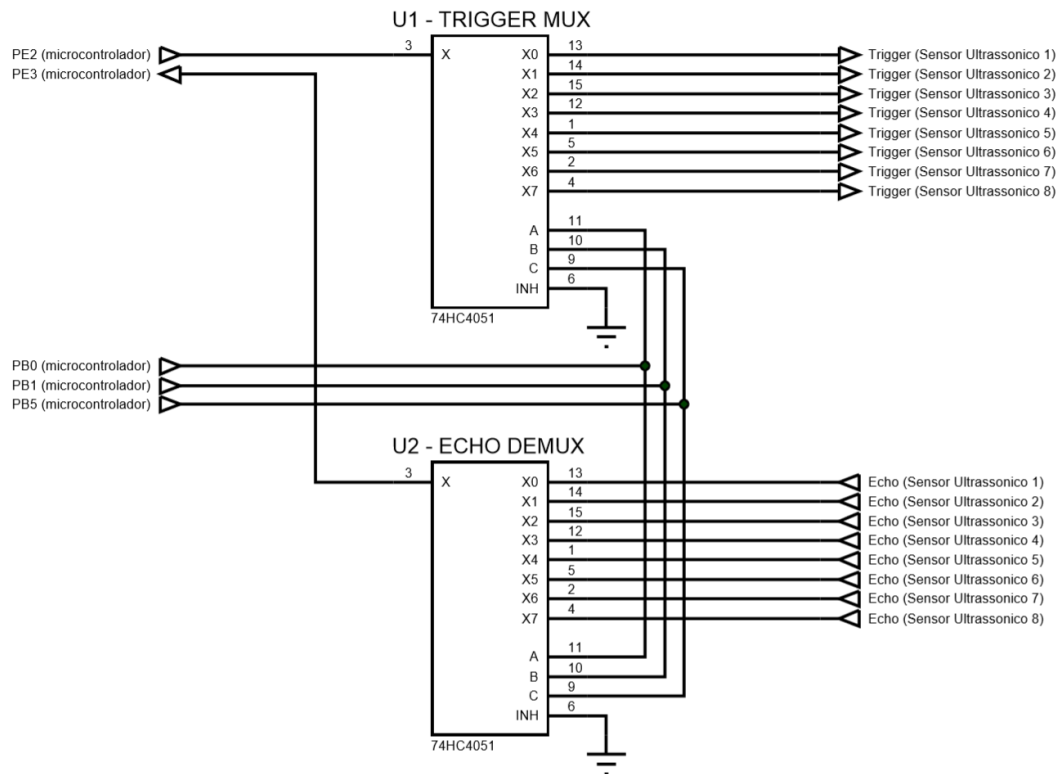


Figura 23 - Circuito de aquisição de distâncias
Fonte: Autoria própria.

3.2.5 Circuito de Acionamento dos Motores

A corrente máxima fornecida por um pino de entrada/saída do microcontrolador não é suficiente para o acionamento das rodas. É necessária a utilização de um circuito de acionamento dos motores que forneça corrente suficiente para o funcionamento dos mesmos. Para efetuar este papel utilizou-se o módulo de controle de motor de corrente contínua L298N (Figura 24).



Figura 24 - Módulo de controle de motores DC L298N

Dentre suas principais características, destacam-se no módulo L298N:

- Tensão de operação: 4 - 35V
- Corrente de operação máxima: 2A por canal
- Tensão lógica: 5V

O controle da direção de rotação de cada uma das rodas é controlado pelo módulo e ocorre através dos sinais digitais enviados pelos pinos de saída do sistema microcontrolado. Na Tabela 4 mostram-se os comandos de controle das rodas.

SENTIDO DE ROTAÇÃO		NÍVEL LÓGICO EM IN1	NÍVEL LÓGICO EM IN2	NÍVEL LÓGICO EM IN3	NÍVEL LÓGICO EM IN4
Roda Esquerda	Roda Direita				
Horário	Anti-Horário	V	F	V	F
Anti-Horário	Horário	F	V	F	V
Parado	Parado	V	V	V	V
Ponto Morto	Ponto Morto	F	F	F	F

Tabela 4 - Sentido de rotação das rodas e níveis lógicos no módulo DC L298N.

A velocidade de rotação das rodas é controlada independentemente através de dois sinais PWM enviados pelo microcontrolador às entradas ENA e ENB. A representação do circuito de acionamento dos motores é mostrado na Figura 25.

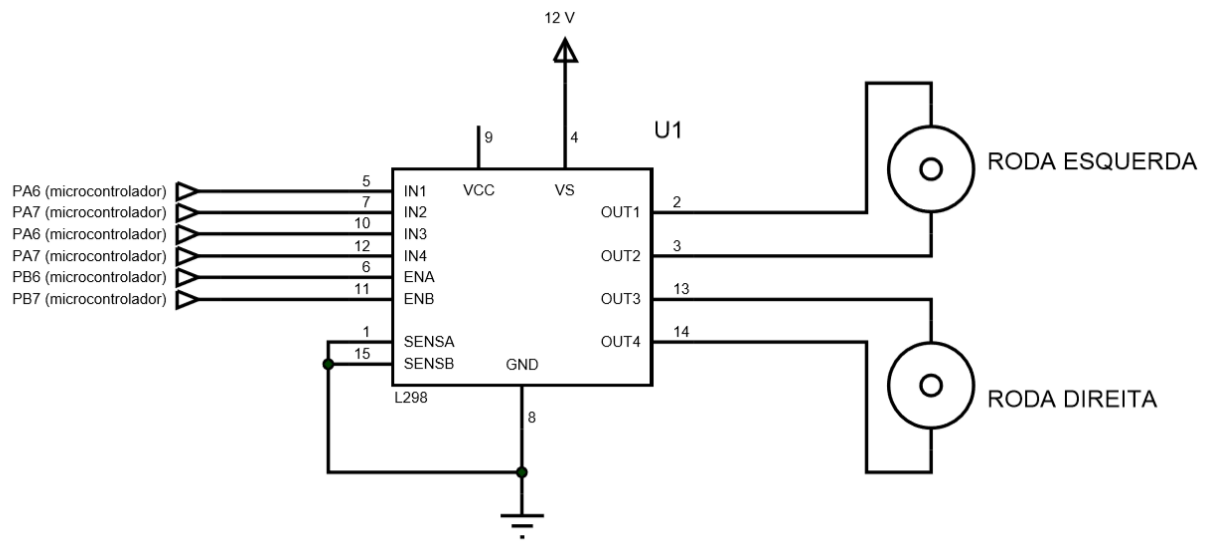


Figura 25 - Circuito de acionamento dos motores
Fonte: Autoria própria.

3.3 DESENVOLVIMENTO DO ALGORITMO DE CONTROLE

Após o desenvolvimento da estrutura física do protótipo e dos circuitos de aquisição, controle e acionamento foi iniciada o desenvolvimento do algoritmo de controle. Esta etapa foi dividida em:

- Desenvolvimento da biblioteca de controle do circuito de acionamento;
- Desenvolvimento da biblioteca de controle do circuito de aquisição do deslocamento;
- Desenvolvimento da biblioteca de controle do circuito de aquisição de distâncias;
- Desenvolvimento do algoritmo de controle do protótipo.

3.3.1 Biblioteca de controle do circuito de acionamento

Para controlar a velocidade dos motores CC conectados ao módulo de acionamento L298N utilizam-se sinais PWM. Para efetuar essa tarefa usa-se o módulo de timer do microcontrolador TM4C123G.

Timers são módulos utilizados para efetuar contagens, determinar variações de tempo ou ainda gerar sinais PWM.

O microcontrolador TM4C123G possui 6 timers de 16/32 bits, dos quais cada um pode ser configurado como 2 timers independentes de 16 bits ou 1 timer de 32 bits de resolução os modos de configuração são apresentados na Tabela 5.

MODO	FUNÇÃO
Contagem Única/ Periódica	Neste modo o timer, utilizando como fonte de clock o oscilador interno, efetua a contagem até um valor pré determinado. Após atingir o valor definido uma flag é setada e, em caso de contagem periódica, o contador é zerado e uma nova contagem se inicia.
Real Time Clock (RTC)	Neste modo o timer utiliza-se de um sinal externo de 32.768 Hz conectado ao pino de entrada CCPx. Este sinal é então dividido até a frequência de 1 Hz, o qual será utilizado no incremento do contador do timer.
Contagem de Bordas	Neste modo o timer efetua a contagem crescente, ou decrescente, das bordas ocorridas no pino de entrada CCPx. Esse modo suporta contagem de bordas de subida, descida ou ambas.
Tempo entre Bordas	Neste modo o timer é configurado para iniciar a contagem em modo subida utilizando o clock interno de 16 MHz. Após a detecção de uma borda no pino de entrada (CCPx) um evento é disparado.
PWM	Neste modo o timer é configurado como um gerador de sinal PWM. O sinal sai pelo pino CCPx.

Tabela 5 - Modos de configuração do módulo de timer do TM4C123G

No modo PWM o timer é configurado como um contador decrescente de 24 ou 48 bits. O valor de início da contagem do timer, e que define seu período, é informado no registrador GPTMTnILR, onde n indica qual dos módulos do timer está sendo utilizado, podendo assumir os valores A e B (ex.: GPTMTAILR, GPTMTBMATCHR). Neste projeto o valor de início da contagem utilizado foi 16.000, o que ao ser contado com uma frequência de 16 MHz, fornece um sinal de PWM de 1 KHz.

Ao iniciar a contagem o sinal de saída do timer tem como valor lógico baixo. Após atingir o valor de contagem contido no registrador GPTMTnMATCHR o sinal de saída é então invertido. Ao atingir a contagem de zero o valor 16.000 é então carregado novamente em

GPTMTnILR, o sinal de saída é invertido novamente e a contagem decrescente se reinicia. A figura abaixo mostra os sinais gerados pelo *timer 0*.

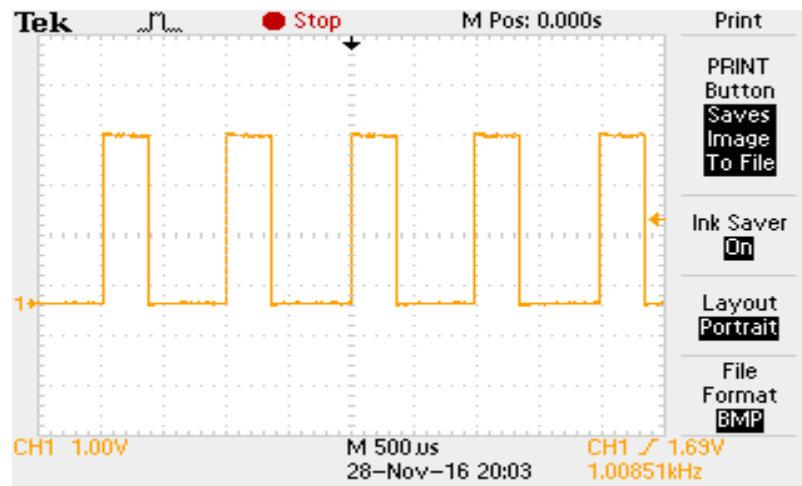


Figura 26 - Sinal PWM gerado pelo timer 0 e enviado aos motores
Fonte: Autoria própria.

Além do sinal PWM é necessária a utilização de sinais digitais responsáveis por indicar a direção de rotação dos motores. Esses sinais foram fornecidos pelo sistema microcontrolado ao módulo de controle dos motores CC através dos pinos de entrada/saída de propósito geral PA6 (conectado ao IN1 e IN3) e PA7 (conectado ao IN2 e IN4).

O controle do sentido de rotação das rodas não é independente, o que significa que o veículo não pode fazer rotações sobre o próprio eixo. Utiliza-se essa abordagem para maior aproximação de um modelo em escala real. A Tabela 6 mostra os sinais enviados pelo microcontrolador e suas respectivas respostas com relação à movimentação do protótipo.

SINAL LÓGICO EM PA6	SINAL LÓGICO EM PA7	RESPOSTA DO VEÍCULO
FALSO	FALSO	Ponto morto
FALSO	VERDADEIRO	Move-se para trás
VERDADEIRO	FALSO	Move-se para frente
VERDADEIRO	VERDADEIRO	Freia

Tabela 6 - Sinais do microcontrolador e resposta do sentido de movimentação do protótipo

3.3.2 Biblioteca de controle do circuito de aquisição do deslocamento

A aquisição do deslocamento do veículo foi desenvolvida neste projeto utilizando-se o conjunto formado por uma chave óptica acionada ou interrompida pela rotação de uma roda encoder fixa a um eixo ligado à roda.

O acionamento das rodas pelo módulo L298N faz com que a chave óptica gere o pulso que é então detectado pelo microcontrolador. O sinal recebido pelo microcontrolador pode ser observado na Figura 27.

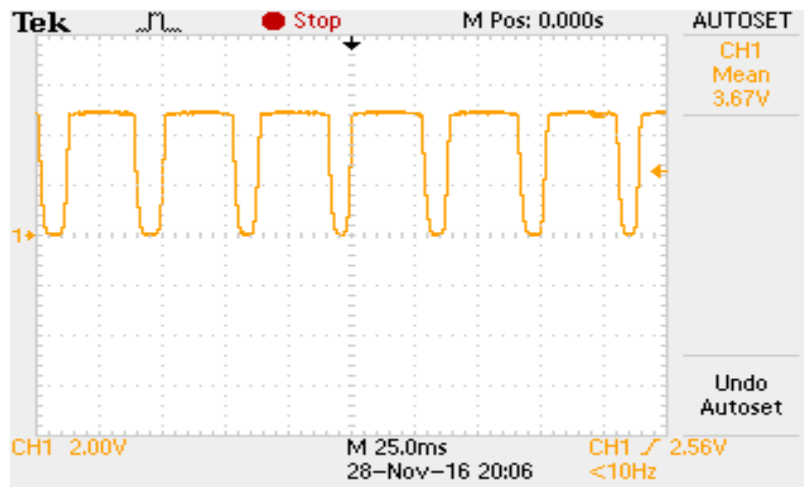


Figura 27 - Sinal gerado pela chave óptica e interpretado pelo microcontrolador
Fonte: Autoria própria.

A roda encoder possui 20 furos, o que fornece 20 pulsos por revolução da roda. Com um raio de 3 cm é possível calcular o deslocamento do veículo por pulso lido pelo encoder, o deslocamento estimado é 0,94 cm.

A contagem dos pulsos utiliza o timer 1 com seus módulos A e B configurados para contagem de borda gerado pelas chaves ópticas das rodas esquerda e direita, respectivamente.

O modo contagem de borda do timer do registrador de contagem relacionado a cada um de seus módulos (GPTMTAR para o módulo A do timer 1 e GPTMTBR para o módulo B do timer 1) inicia com valor 0. Quando detectada uma borda de subida no pino de entrada, o registrador de contagem é incrementado.

Quando atingido o valor indicado no registrador GPTMTAMATCHR ou GPTMTBMATCHR rotinas de interrupção ocorrem indicando através de uma flag que o deslocamento desejado foi efetuado.

3.3.3 Biblioteca de controle do circuito de aquisição de distâncias

Para utilizar uma entrada e saída para a leitura dos 8 sensores de distância ultrassônicos utiliza-se a multiplexação dos sinais gerados e recebidos pelo microcontrolador com o CI 74HC4051.

O CI de multiplexação seleciona cada um dos sensores ultrassônicos através do fornecimento de sinais digitais utilizando a função de entrada/saída de propósito geral dos pinos PB0, PB1 e PE5. A Tabela 7 indica os valores dos pinos de seleção do canal do multiplexador e o canal selecionado.

VALOR LÓGICO EM PB0	VALOR LÓGICO EM PB1	VALOR LÓGICO EM PE5	CANAL SELECIONADO
F	F	F	0
V	F	F	1
F	V	F	2
V	V	F	3
F	F	V	4
V	F	V	5
F	V	V	6
V	V	V	7

Tabela 7 - Canais selecionados com CI 74HC4051

Quando selecionado o sensor desejado é efetuada a leitura do sensor ultrassônico.

O sensor ultrassônico funciona utilizando-se um sinal de entrada e um sinal de saída. Ao receber um pulso de 5 V em seu pino de Trigger enviado pelo pino PE2 do microcontrolador, e com uma duração de pelo menos 10 microssegundos, o módulo ultrassônico envia pulsos sonoros em uma frequência de 40 kHz, os quais são refletidos pela superfície em sua frente e detectados novamente pelo módulo.

Ao receber o sinal de 40 kHz o sensor então retorna um pulso de 5 V em seu pino de echo com duração proporcional à distância do obstáculo em frente ao módulo. Este sinal é então

detectado pelo microcontrolador através do pino PE3 e a distância do objeto em sua frente é então determinada. Essa distância pode ser calculada através da equação a seguir:

$$\text{Distância} = \frac{\text{Largura do Pulso de Echo}}{58} \quad (5)$$

A Figura 28 mostra os sinais recebidos e enviados pelo sensor ultrassônico.

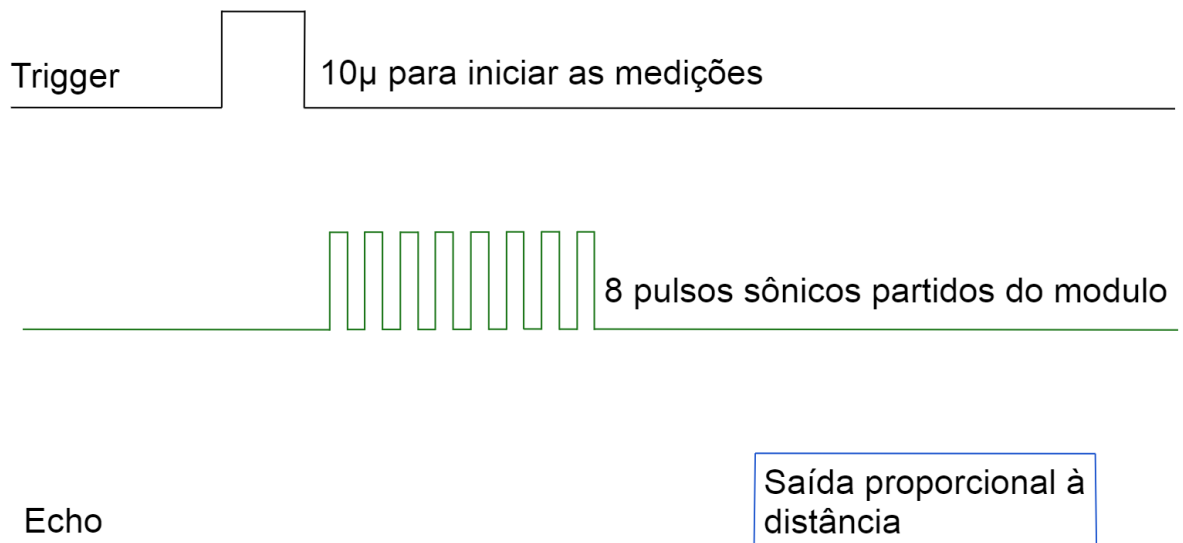


Figura 28 - Diagrama de tempo do sensor ultrassônico
Fonte: Autoria própria.

Para efetuar a medição do tempo utilizou-se o timer 3 do módulo em modo de contagem periódica. Após a detecção de uma borda de subida no pino PE3 do microcontrolador (echo do sensor ultrassônico) uma rotina de interrupção é então executada, na qual o valor do contador do timer 3 é armazenado. Ao ocorrer a borda de descida a rotina de interrupção é novamente executada e então o valor atual do registrador de contagem é decrementado do valor anterior armazenado, fornecendo a quantidade de contagens executadas entre a borda de subida e a borda de descida com um clock de entrada do registrador de incremento de 16 MHz.

3.3.4 Algoritmo de controle

O algoritmo de controle desenvolvido neste trabalho e implantado no microcontrolador TM4C123G, que faz parte do KIT de avaliação TM4C123G Launchpad, segue o fluxo de execução na forma de uma máquina de estados. Este fluxo pode ser observado na Figura 29.

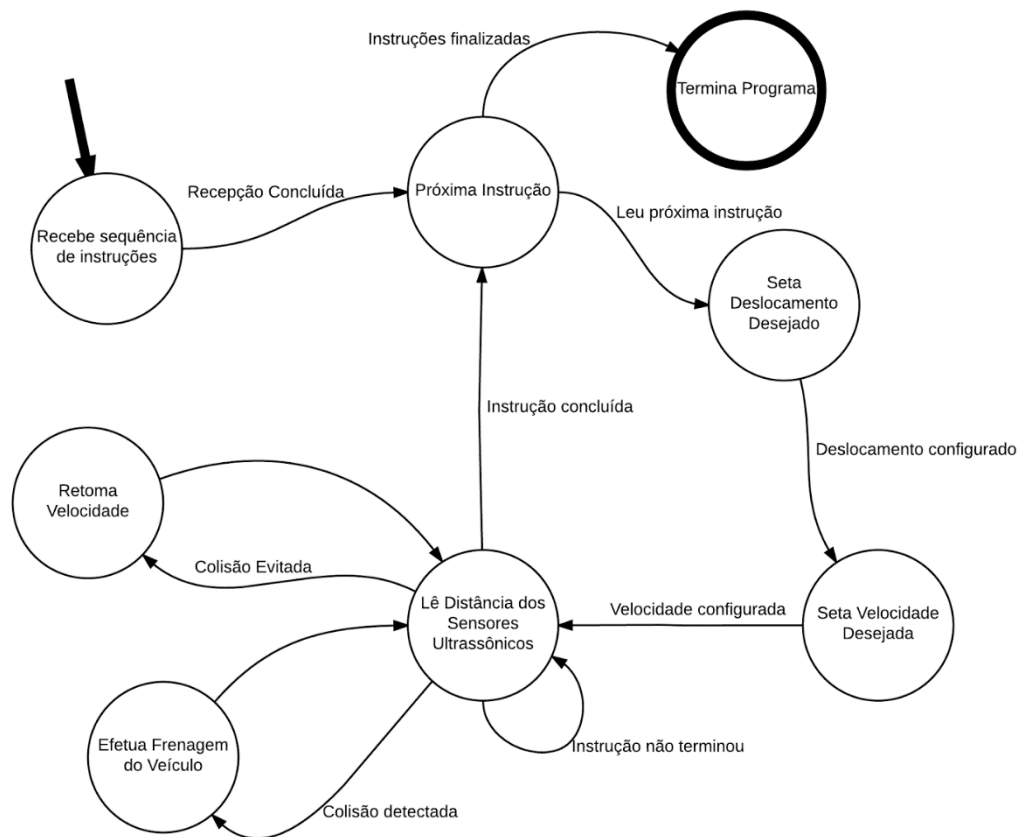


Figura 29 - Fluxo de execução do algoritmo de controle
Fonte: Autoria própria.

O algoritmo de controle inicia-se com a recepção da sequência de instruções necessárias para o veículo mover-se pelo estacionamento e alcançar a vaga no qual estacionará. Neste projeto esta etapa foi substituída por uma sequência de instruções criadas estaticamente em tempo de compilação do algoritmo e considerando o mapa de distribuição de estacionamento como indicado na Figura 30.

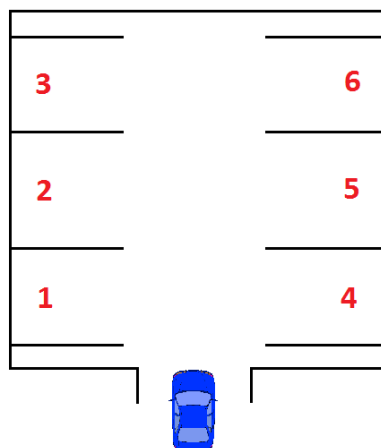


Figura 30 - Mapa de distribuição do estacionamento
Fonte: Autoria própria (2016).

A sequência de instruções é formada por um vetor de estruturas contendo informações relativas aos segmentos do caminho a ser percorrido pelo veículo. O código fonte com a estrutura utilizada pode ser observado no quadro a seguir.

```
typedef enum tipos_sentidos { frente, tras, parado, neutro } sentido_veiculo;  
  
typedef enum tipos_direcoes { reto, esquerda, direita } direcao_veiculo;  
  
typedef struct {  
    sentido_veiculo sentido;  
    direcao_veiculo direcao;  
    float deslocamento_relativo;  
    float raio_de_curvatura;  
} coordenada_veiculo;
```

A primeira informação da instrução recebida pelo protótipo é o sentido de movimentação do veículo. A segunda informação refere-se à direção de movimentação do veículo.

A informação associada ao deslocamento relativo (dada em centímetros) informa ao veículo o quanto se deve deslocar em relação ao seu ponto central. No protótipo definiu-se como ponto central o ponto localizado entre as rodas fixas aos motores CC. Para as trajetórias curvas utiliza-se como referência o ponto central, o raio de curvatura (em centímetros) da trajetória e seu ângulo de deslocamento.

A etapa de configuração, do protótipo através das bibliotecas de acionamento e de aquisição do deslocamento inicia após a leitura da primeira instrução a ser executada. Esta etapa ocorre após a recepção da sequência de instruções necessárias ao estacionamento e repete-se para cada uma das mesmas.

Utilizando a biblioteca de aquisição do deslocamento e como parâmetro a informação do deslocamento relativo do contador de bordas do encoder, configura-se a quantidade de pulsos necessária para que cada roda percorra a trajetória da instrução.

Utilizando a biblioteca de acionamento dos motores são configurados o sentido de movimentação do veículo (valor lógico em PA6 e PA7) e a velocidade de rotação das rodas (duty cycle dos sinais PWM fornecidos ao módulo L298N).

Após as configurações, o protótipo se encontrará em movimento.

Enquanto veículo executa a trajetória, a leitura dos sensores ultrassônicos posicionados no perímetro do veículo é efetuada. Em caso de detecção de objetos muito próximos os sinais de acionamento do sentido de direção são mudados para que o veículo efetue uma frenagem.

Ao detectar que não há mais possibilidade de colisão é retomado então o sentido de movimentação do veículo.

Ao término da trajetória o algoritmo busca por novas instruções. Caso haja outra instrução a ser executada, o ciclo de configuração do veículo inicia-se novamente, caso contrário o algoritmo termina.

4 TESTES REALIZADOS

Para testar o protótipo desenvolvido foi montado um estacionamento em miniatura utilizando fita-crepe para demarcar as vagas do estacionamento. A Figura 31 mostra o *layout* do estacionamento em miniatura planejado (esquerda) e o construído (direita).

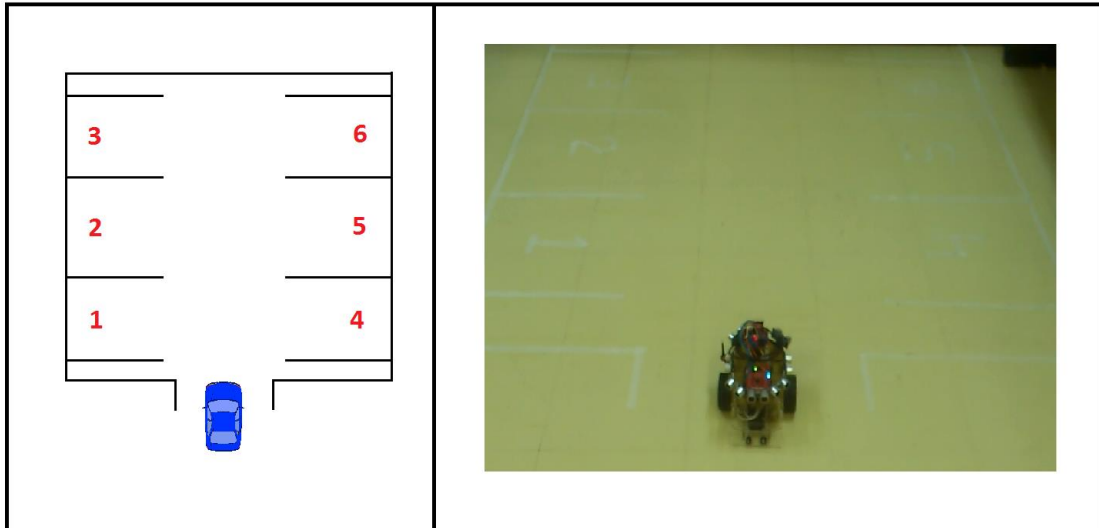


Figura 31 - Modelo de estacionamento desenvolvido para os testes
Fonte: Autoria própria (2016).

O teste do sistema utilizou 2 percursos específicos implementados estaticamente no algoritmo, substituindo a etapa de recepção das instruções de estacionamento. Estes percursos podem ser observados na Figura 32.

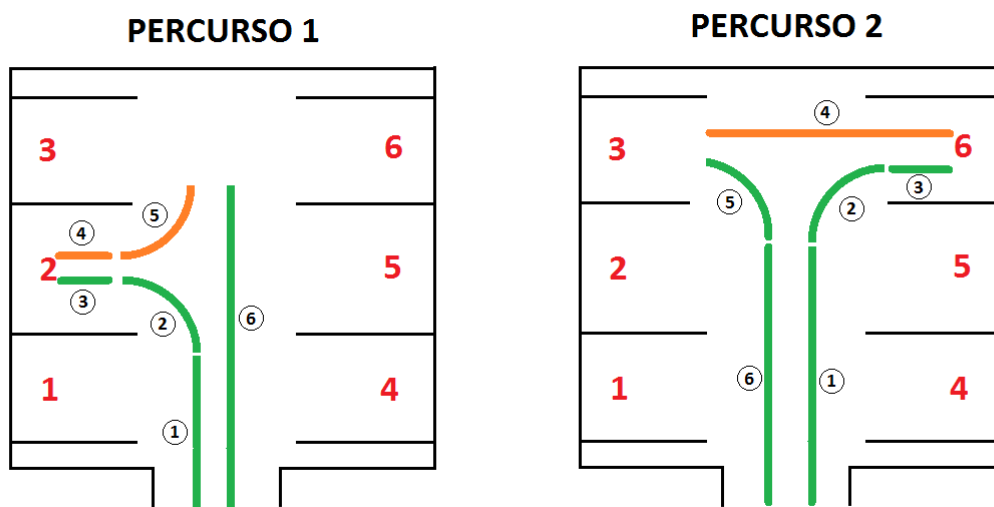


Figura 32 - Percursos utilizados nos testes
Fonte: Autoria própria.

Os percursos são memorizados de maneira offline e inseridos no algoritmo de controle na forma de sequências de instruções representando intervalos de deslocamento. A cor verde e a cor laranja nas trajetórias, mostradas na Figura 32, representam movimentos para frente e para trás respectivamente. As instruções, enumeradas na Figura 32, encontram-se na Tabela 8.

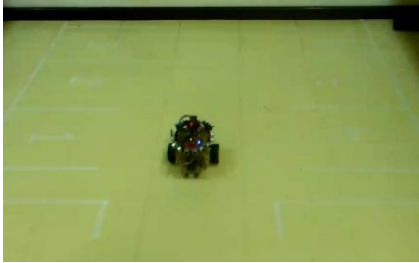

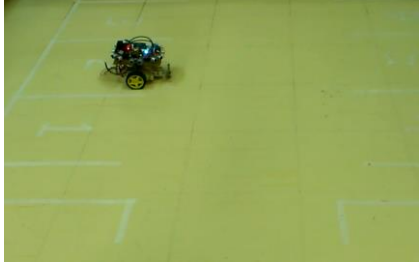


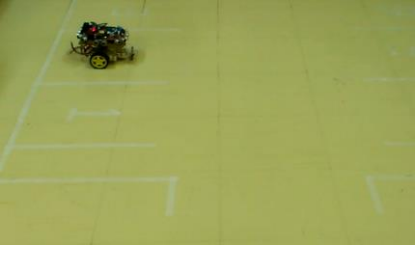


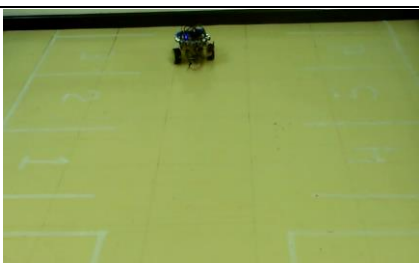

Nº	PERCURSO 1	PERCURSO 2
1	Direção: Reto Sentido: Frente Deslocamento (cm): 60	Direção: Reto Sentido: Frente Deslocamento (cm): 100
2	Direção: Esquerda Sentido: Frente Angulo de curvatura (rad): $\pi/2$	Direção: Direita Sentido: Frente Angulo de curvatura (rad): $\pi/2$
3	Direção: Reto Sentido: Frente Deslocamento (cm): 15	Direção: Reto Sentido: Frente Deslocamento (cm): 15
4	Direção: Reto Sentido: Trás Deslocamento (cm): 15	Direção: Reto Sentido: Trás Deslocamento (cm): 50
5	Direção: Esquerda Sentido: Trás Angulo de curvatura (rad): $\pi/2$	Direção: Direita Sentido: Frente Angulo de curvatura (rad): $\pi/2$
6	Direção: Reto Sentido: Frente Deslocamento (cm): 100	Direção: Reto Sentido: Frente Deslocamento (cm): 100

Tabela 8 - Sequências de instruções que constiuem os percursos utilizados no teste

A velocidade dos motores foi fixada, baseada na direção do protótipo, o que permite uma melhor análise da diferença entre os motores CC que compõe a estrutura física. As trajetórias curvas foram fixadas em um raio de 20 centímetros. Com isso basta informar o ângulo da trajetória nas instruções relativas às rotas curvas.

Após diversas execuções do percurso 1 observou-se resultados distintos. Um exemplo desses resultados é mostrado na Tabela 9 onde, em duas execuções sequenciais da primeira trajetória, o primeiro teste mostrou um resultado próximo ao desejado enquanto no segundo teste o resultado ficou fora do esperado.

A mesma divergência pode ser observada para testes executados do percurso 2. As divergências de resultado podem ser observados na Tabela 10.

Nº	EXECUÇÃO 1	EXECUÇÃO 2
1		
2		
3		
4		
5		






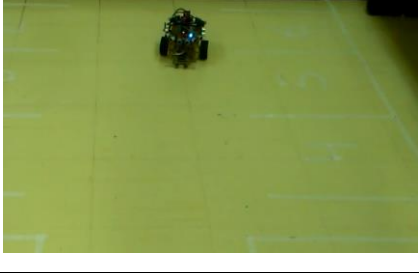

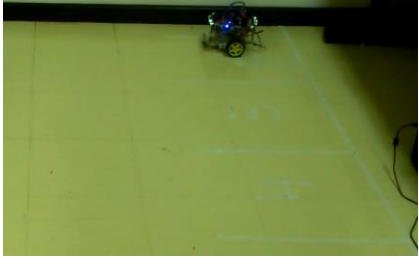




6		
---	---	--

Tabela 9 - Comparação entre resultados da execução do percurso 1

Nº	EXECUÇÃO 1	EXECUÇÃO 2
1		
2		
3		
4		
5		

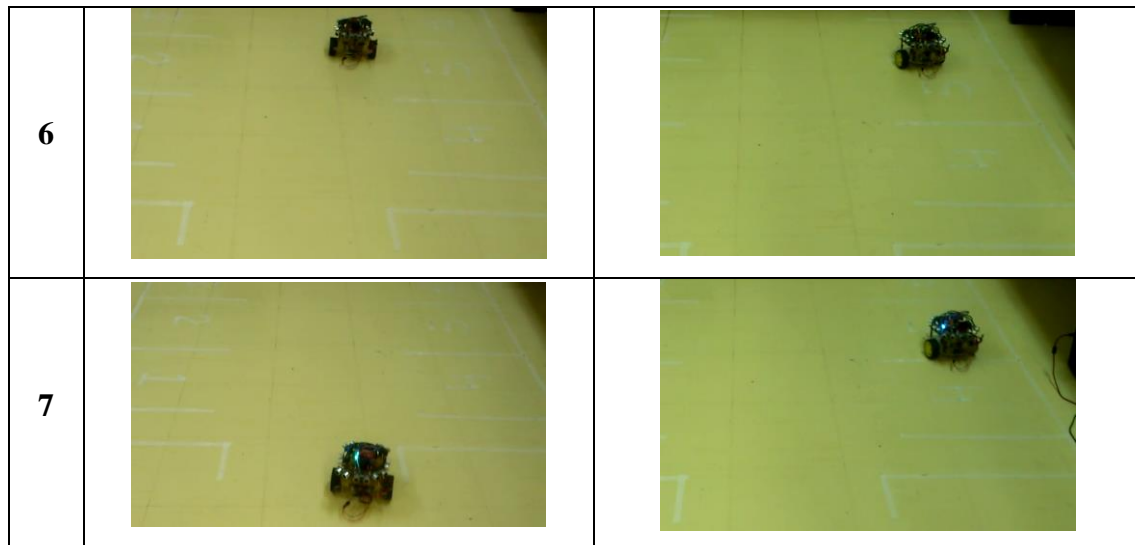


Tabela 10 - Comparação entre resultados da execução do percurso 2

As divergências dos resultados observados podem ter como causa dois tipos de fatores. O primeiro fator diz respeito a problemas intrínsecos à estrutura física do protótipo. Dentre os fatores pertencentes a essa categoria enumeram-se:

1. Desalinhamento da borracha das rodas presas aos motores CC, causando oscilação da roda durante a movimentação, gerando o desalinhamento do movimento do protótipo;
2. Velocidade dos motores muito alta, mesmo na menor velocidade de movimentação possível, não permitindo a detecção satisfatória de colisão.

O problema referente à estrutura física pode ser resolvido através da substituição das rodas por outras de melhor qualidade e os motores CC por motores com caixa de redução.

Para a aquisição das distâncias foram utilizados 8 sensores ultrassônicos, cada sensor é lido individualmente. Após a leitura da distância é necessário um intervalo de 60 milissegundos antes da leitura do próximo sensor (MARLIN, 2016). Totalizando em aproximadamente 1 segundo o processo de leitura das distâncias, conseqüentemente o protótipo não responde com agilidade necessária para evitar a colisão.

O protótipo utiliza uma bateria como fonte de alimentação. Como toda bateria, a tensão e corrente fornecidas diminuem gradativamente com o passar do tempo. O efeito disso é que o movimento das rodas seja mais lento, aumentando o erro existente entre as velocidades das rodas.

5 CONCLUSÃO

Como resultado da realização deste trabalho obteve-se o protótipo de veículo para estacionamento autônomo implementado em um sistema embarcado. O protótipo foi testado e teve um bom comportamento.

A rotina de estacionamento executada pelo algoritmo concluiu o percurso em uma parcela das diversas execuções de uma mesma rotina de estacionamento. Durante as execuções não satisfatórias foi possível notar como principais causas problemas estruturais como desalinhamento das rodas e a não linearidade entre os motores CC que constituem o protótipo.

Uma solução para a correção dos problemas referentes ao controle de velocidade e estruturais pode ser a utilização de um controle em malha fechada da velocidade das rodas. Utilizando como entrada o sinal proveniente do encoder que, juntamente com o timer 2, permite a verificação da velocidade de cada uma das rodas durante a execução do movimento. Podendo, assim, garantir velocidade constante com ajuste dinâmico do duty cycle dos sinais PWM enviados aos motores.

Pode-se concluir que o protótipo de um sistema de estacionamento autônomo desenvolvido neste trabalho, ainda que apresente espaço para melhorias, constitui uma alternativa ao modo de estacionamento convencional. Automatizando, assim, a tarefa de estacionamento em um estacionamento fechado, além de gerar base para o desenvolvimento de projetos voltados ao controle de veículos e robôs autônomos.

REFERÊNCIAS

AB-RAHMAN, M. S.; SAUPE, M.N.M.; PREMADI, A.; JUMARI, K.; **Embedded ethernet microcontroller for optical monitoring**. In: International Conference on Space Science and Communication, 2009.

ALVES, J. T.; CAPOVILLA, G. H; Protótipo de estacionamento autônomo com integração multiplataforma. **Revista Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 32, p.41-49, jan./jun. 2015.

BMW, 2016. **Remote control parking**. Disponível em: http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/connecteddrive/2013/driver_assistance/intelligent_parking.html. Acesso em: 22 mar. 2016.

DIGIKEY; **Farchild Semiconductor H22A2**. Disponível em: <http://www.digikey.com/product-detail/en/fairchild-semiconductor/H22A2/H22A2-ND/400375>. Acessado em: 17 de junho de 2016.

EDITORA SABER; **Todos os tipos de sensores**. Disponível em: <http://www.sabereletronica.com.br/artigos/1532-todos-os-tipos-de-sensores> Acesso em: 11 jun. 2016.

EDITORA SABER. **Saiba como funcionam os sensores mais usados na automação industrial**. Disponível em: <http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1689-encoders-saiba-como-funcionam-os-sensores-mais-usados-na-automao-industrial?showall=&start=1>. Acesso em: 11 jun. 2016.

ENERGIA. **FAQ**. Disponível em: <http://energia.nu/faqs/>. Acessado em: 19 de junho de 2016.

FARCHILD. **LM7805-3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator**. Disponível em: <https://www.fairchildsemi.com/pf/Lm/LM7805.html>. Acessado em: 20 de novembro de 2016

GÁSPÁR, P.; SZALAY, Z.; ARADI, S. 2014. **Highly automated vehicle systems**. Disponível em: http://www.mogi.bme.hu/TAMOP/jarmurendszer_kiranyitasa_angol/book.html. Acesso em: 31 mar. 2016.

GOEDEL, A. **Estimador neural de velocidade para motores de indução trifásicos**. 2007

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Tabela 1.3.1 - População residente, por tipo de deficiência, segundo a situação do domicílio e os grupos de idade - Brasil – 2010**. 2010. Disponível em: http://servicodados.ibge.gov.br/Download/Download.ashx?u=ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Caracteristicas_Gerais_Religiao_Deficiencia/xls/Brasil_xls.zip. Acesso em: 30 mar. 2016.

MARLIN P Jones & Assoc. Inc. **Ultrasonic proximity sensor HC-SR04**. Disponível em: <http://www.mpja.com/Ultrasonic-Ranging-Raspberry-Pi-Arduino-Compatible-Module/productinfo/19605+UT>. Acesso em: 14 jun. 2016.

MERCEDES-BENZ. **Daimler trucks avança na conectividade de caminhões via internet**. Disponível em: <http://www.mercedes-benz.com.br/institucional/imprensa/releases/caminhoes/2016/3/15280-daimler-trucks-avanca-na-conectividade-de-caminhoes-via-internet>. Acesso em: 22 mar. 2016.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Mars exploration rover mission: technology**. 2009. Disponível em: http://mars.nasa.gov/mer/technology/is_autonomous_mobility-02.html. Acesso em: 12 mai. 2016.

NATIONAL AIR AND SPACE MUSEUM, **Rovers - exploring the planets**. 2013. Disponível em: <http://airandspace.si.edu/exhibitions/exploring-the-planets/online/tools/rovers.cfm>. Acesso em: 12 mai. 2016.

NXP SEMICONDUCTORS. **74HC4051; 74HCT4051 8-channel analog multiplexer/demultiplexer**. 2016. Disponível em: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/74HC_HCT4051.pdf. Acesso em: 30 de novembro de 2016.

OSÓRIO, F.; HEINEN, F.; FORTES, L. **controle inteligente de veículos autônomos: automatização do processo de estacionamento de carros**. Disponível em: <http://osorio.wait4.org/oldsite/alunos/seva/seva-seminco2001.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2016.

PATSKO, L. F. **Tutorial - aplicações, funcionamento e utilização de sensores**. Disponível em: http://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000_kdr5000/tutorial_eletronica_-_aplicacoes_e_funcionamento_de_sensores.pdf. Acesso em: 04 jun. 2016

PATSKO, L. F. **Tutorial – montagem da ponte H**. Disponível em: http://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000_kdr5000/tutorial_eletronica_-_montagem_de_uma_ponte_h.pdf. Acesso em: 5 jun. 2016.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. CASA CIVIL. SUBCHEFIA PARA ASSUNTOS JURÍDICOS. 2004. **Decreto Nº 5.296 de 2 de dezembro de 2004**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm. Acesso em: 29 mar. 2016.

ROS, S.; ABREU, J. M. M; FREIRE, T.; CALDERON, L. Digital techniques improve range measurement with ultrasound sensor. **Sensors and actuators a: physical**, v. 32, p. 550-554. 1992.

SOARES, M. J; **Microcontroladores PIC – Registradores e pinos de I/O**. Disponível em: http://www.arnrobotics.com.br/electronica/Microcontrolador_PIC_teorias_1.htm. Acesso em: 15 jun. 2016.

STYGER, E; **Programmable ultrasonic sensor shield for FRDM board**. Disponível em: <https://mcuoneclipse.com/2014/06/21/programmable-ultrasonic-sensor-shield-for-frdm-board/>. Acesso em: 24 abr. 2016.

TEXAS INSTRUMENTS. **ARM® Cortex®-M4F Based MCU TM4C123G LaunchPad™ Evaluation Kit**. Disponível em: <http://www.ti.com/tool/ek-tm4c123gx1>. Acessado em: 20 de novembro de 2016.

TEXAS INSTRUMENTS. **MSP430G2X53 Datasheet**. Disponível em: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430g2553.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2016.

THRUN, S.; MONTEMERLO, M.; DAHLKAMP, H.; et al. Stanley, the robot that won the darpa grand challenge. **Journal of Field Robotics**, v. 23, p. 661-692, 2006.

WILLIAMS, M. **The drive for autonomous vehicles: the DARPA grand challenge**. Disponível em: <https://herox.com/news/159-the-drive-for-autonomous-vehicles-the-darpa-grand>. Acesso em: 24 abr. 2016.