

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
campus DIVINÓPOLIS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

Daniel Lacerda Portes
João Paulo Miranda

PROTÓTIPO DE UMA PLATAFORMA MÓVEL MICROCONTROLADA COM
SISTEMA ELETRÔNICO ANTICOLISÃO FRONTAL.



Divinópolis
2014

Daniel Lacerda Portes
João Paulo Miranda

PROTÓTIPO DE UMA PLATAFORMA MÓVEL MICROCONTROLADA COM
SISTEMA ELETRÔNICO ANTICOLISÃO FRONTAL

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada ao Colegiado de Graduação em Enge-
nharia Mecatrônica como parte dos requisitos exi-
gidos para a obtenção do título de Engenheiro Me-
catrônico.

Eixo de Formação: Mecânica, Eletrônica e Com-
putação.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Trindade Mordente
Gonçalves



Divinópolis
2014



Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
CEFET-MG / *campus V* - Divinópolis
Curso de Engenharia Mecatrônica

Monografia intitulada “Protótipo de uma plataforma móvel microcontrolado com sistema anticolisão frontal” de autoria dos graduandos Daniel Lacerda Portes e João Paulo Miranda, aprovada pela banca constituída pelos seguintes professores:

Prof. Dr. Sandro Trindade Mordente Gonçalves - CEFET-MG / *campus* Divinópolis -
Orientador

Prof. M.Sc. Juliano de Barros Veloso e Lima - CEFET-MG / *campus* Divinópolis

Prof. Dr. Rônei Sandro Vieira - CEFET-MG / *campus* Divinópolis

Prof. Dr. Valter Júnior de Souza Leite
Coordenador do Curso de Engenharia Mecatrônica
CEFET-MG / *campus* Divinópolis

Divinópolis - Fevereiro de 2014

DEDICAMOS ESTE TRABAHO AOS NOSSOS PAIS PELO APOIO INCONDICIONAL.

Agradecimentos

Agradecemos,

a Deus, por nos abençoar e nos iluminar durante toda a caminhada de estudos.

Aos nossos pais, irmãos e amigos, pelo apoio incondicional em todos os momentos.

Aos colegas de curso do CEFET, pelos momentos de aprendizado, diversão e compartilhamento de experiências.

A todos os professores da graduação, em especial aos Professores Sandro e Juliano, por nos orientar e compartilhar um pouco da sabedoria deles com o intuito de um bem maior e desenvolvimento intelectual de seus alunos.

Nas mãos de uma equipe medíocre uma boa ideia será arruinada. Já uma grande equipe fará com que mesmo uma ideia medíocre funcione.

Ed Catmull (Pixar)

Resumo

Com o crescente aumento no número de acidentes com veículos automotores registrados nos últimos anos no Brasil, torna-se necessário o desenvolvimento de novas tecnologias que visem a maior segurança nas estradas. A partir desta temática, a Indústria Automotiva timidamente apresenta alguns recursos ao problema, como o sistema anticolisão, com aviso e frenagem automática, aplicado já em uma pequena gama de veículos.

Este trabalho de conclusão de curso aborda este tema como contextualização para o projeto de uma pequena plataforma móvel microcontrolada com sistema eletrônico anticolisão frontal. O sistema apresentado faz referência ao já existente aplicado em veículos automotores, mas é produzido com componentes diferentes e com objetivo de desenvolvimento apenas em pequenas aplicações e com menor custo.

Neste trabalho é apresentado o conceito do projeto, a especificação dos componentes eletrônicos, bem como a simulação, testes virtuais e físicos dos mesmos. É apresentado também, o conceito estrutural da plataforma mecânica, o projeto em CAD, especificação de motores, acoplamento, especificações dos componentes mecânicos, bem como a montagem final da estrutura e testes do sistema completo.

O controle da plataforma foi realizado a partir da utilização de tecnologia sem fio (*bluetooth*), através de um dispositivo celular com processamento *Android* e um aplicativo de controle.

O sistema mecânico, eletrônico e computacional foi validado e os testes realizados mostraram-se satisfatórios quanto ao objetivo proposto. Para este projeto, a utilização de um número maior de sensores ultrassônicos seria necessário para que a área de detecção fosse maior e consequentemente uma performance melhor do sistema anticolisão e sua confiabilidade. Foi verificado também que para a indústria automotiva, é de extrema importância a utilização de sensores que possuem um ângulo de abertura e alcance longitudinal maior, como o RADAR e *Laser*, além da utilização também do sensoriamento por câmera para classificação do tipo de objeto detectado.

A partir do estudo e desenvolvimento deste protótipo, espera-se que novos estudos na área desenvolvam novas tecnologias, de menor custo, em combinação com a apresentada, por exemplo, para que possam ser aplicadas em uma gama maior de veículos e também em outros ramos industriais.

Palavras-chave: sistema anticolisão; plataforma móvel; sensor ultrassônico.

Abstract

With the increase of motor vehicle accident numbers recorded recently in Brazil, has become necessary to develop new technologies aimed at increased safety on the roads. From this theme, the automotive industry shyly presents some features of the problem, as the collision avoidance system, with warning and automatic braking, already applied in a small range of vehicles.

This work of completion addresses this subject-matter as context for the design of a small microcontroller mobile platform with a front electronic collision avoidance electronics. The exhibited system makes references to that which already exists, but this one is produced with different components and aiming to develop small applications with lower cost.

In this work is presented the notion, the concept of the project. The electronic components specification, as the simulation. and also physical and virtual tests of the same. It also presents, the structural concept of the mechanical platform, the project in computer aided design (CAD), motors specifications, linkage, specifications of mechanical components, as well as the final composition of the structure and the tests of the complete system.

The platform control was performed from the utilization of the wireless technology (bluetooth), through a mobile device with Android processing and an application control.

The mechanical system, electronic and computational were validated and the tests were satisfactory regarding to the proposal objective. For this project, the utilization of a bigger number of ultrasonic systems would be necessary in order that the detection a larger area and therefore a better performance of the collision avoidance system and its reliability. It was also verified, that for the automotive industry is extremely important the utilization of sensors that have an opening angle and greater longitudinal extent, as the RADAR and Laser, than the use of a sensing camera to classify the kind of the detected object.

From the study and developing of this prototype, is expected that news studies in this area develop new technologies, with a lower cost, in combination with the presented, for example, so they can be applied in a lager number of vehicles and also in others industrial sectors.

Keywords: collision avoidance system; mobile platform; ultrasonic sensor.

Sumário

Lista de Figuras	xix
Lista de Tabelas	xxi
Lista de Acrônimos e Notação	xxiii
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Relevância	1
1.3 Objetivos	3
1.4 Metodologia	3
1.5 Cronograma	4
2 O Sistema Anticolisão na Indústria Automotiva	7
2.1 Histórico	8
2.2 Características e Composição do Sistema	9
2.2.1 Fundamentos Básicos de sensoriamento remoto por RADAR	9
2.2.2 Fusão Sensorial	11
2.3 Testes e Desempenho	12
3 Desenvolvimento do Protótipo	17
3.1 Conceito	17
3.1.1 O Sistema Anticolisão Aplicado	17
3.2 Concepção Mecânica e Estrutural	19
3.2.1 Fundamentação Teórica	20
3.2.2 Conjunto de Redução	23
3.2.3 Chassi e segundo pavimento	25
3.2.4 Especificação de Componentes	27
3.2.5 Projeto Mecânico em <i>SolidWorks</i>	32
3.2.6 Montagem Mecânica do Protótipo	32
3.3 Concepção Eletrônica	37
3.3.1 Conversor CC - Ponte H	39
3.3.2 PWM	40

3.3.3	Especificação de Componentes	43
3.4	Concepção Computacional	53
3.4.1	Fundamentação Teórica	53
3.4.2	Controle da Plataforma	53
3.4.3	Interface com <i>Hardware</i>	55
3.5	Testes, Simulações e Análises	60
3.5.1	Acionamento de Motores	61
3.5.2	Comunicação <i>Bluetooth</i>	63
3.5.3	Teste PWM	65
3.5.4	Circuito Elétrico Conversor CC - Ponte H	66
3.5.5	Teste de Desempenho - Motor e Conjunto de Redução	70
3.5.6	Testes Sensor Ultrassônico - Montagem Final	71
4	Conclusões e sugestões para trabalhos futuros	77
4.1	Conclusões	77
4.2	Sugestões para trabalhos futuros	78
A	Algoritmos	79
A.1	Código para testes Sensor Ultrassônico HC-SR04	79
A.2	Códigos para testes de Acionamento de Motores - PWM	80
A.2.1	Código 01	80
A.2.2	Código 02	80
A.3	Código Final para Controle da Plataforma	82
A.4	Teste comunicação <i>bluetooth</i>	84
B	Desenhos Mecânicos em 2D	87
B.1	Chassi do Protótipo	87
B.2	Segundo Pavimento e Suportes	87
B.3	Suportes e Travas	87
C	Diagramas Elétricos	91
C.1	Diagrama Elétrico - Placa de Prototipagem Eletrônica - Arduino UNO	91
	Bibliografia	93

Lista de Figuras

1.1	Aumento no número de acidentes rodoviários no Brasil, DNIT [2010]	2
2.1	Avaliação geral - Veículos Volvo com sistema anticolisão, NCAP [2013b]	8
2.2	Câmera, RADAR e Unidade de Controle - CWAB-PD Volvo, Coelingh et al. [2010]	9
2.3	Elementos geométricos da configuração de imageamento por RADAR, Antunes [2005]	10
2.4	Sensor Radar de Longo Alcance, Bosch [2009]	11
2.5	Fusão de Dados Sensoriais, Jansson [2005]	12
2.6	Modelagem teórica de redução de velocidade, Coelingh et al. [2010]	14
2.7	Modelagem teórica de redução de velocidade x Resultados Experimentais Cenário 01, Coelingh et al. [2010]	15
3.1	Projeto Mecânico do Protótipo em 3D	18
3.2	Fluxograma funcionamento sistema anticolisão	18
3.3	Resultados Experimentais [<i>Tensão de Saída (V) x Distância (cm)</i>] - Sensor Ultrassônico, Ullah et al. [2011]	19
3.4	Nomenclatura padrão de engrenagem	21
3.5	Trem composto	23
3.6	Chassi	25
3.7	Segundo pavimento	26
3.8	Chassi com suportes vista superior	26
3.9	Chassi com suportes vista frontal	26
3.10	Chassi com suportes vista isométrica da parte superior	27
3.11	Chassi com suportes vista isométrica da parte inferior	27
3.12	Montagem do chassi com engrenagens e motores em vista superior	28
3.13	Montagem do chassi com engrenagens e motores em vista isométrica	28
3.14	Montagem do chassi evidenciando a caixa de redução	29
3.15	Montagem do segundo pavimento	29
3.16	Engrenagens de dentes retos	30
3.17	Engrenagens cônicas	30
3.18	Rolamento 623	30
3.19	Rolamento 2x5 mm	30
3.20	Mancal para rolamento 623	31
3.21	Mancal para rolamento 5x2 mm	31
3.22	Suporte dos motores	31

3.23	Suportes das engrenagens	31
3.24	Montagem final em vista superior	33
3.25	Montagem final em vista lateral	33
3.26	Montagem final em vista trimétrica	34
3.27	Rodas embuchadas e com eixos	34
3.28	Montagem Mecânica - Vista superior	35
3.29	Montagem Mecânica - Vista inferior	35
3.30	Montagem Mecânica completa - Vista superior	36
3.31	Montagem Mecânica completa - Vista lateral	36
3.32	Montagem Mecânica completa - Vista isométrica	37
3.33	Diagrama Elétrico	38
3.34	Ponte H - Circuito Básico, Patsko [2006]	39
3.35	Ponte H - Combinação de chaves eletrônicas, Patsko [2006]	39
3.36	Circuito básico - PWM, Atual [2013]	41
3.37	Escala de modulação por largura de pulso no Arduíno ,Tutorial [2013]	42
3.38	Arduíno UNO - Microcontrolador ATmega328P, Arduíno [2013a]	43
3.39	Típica construção de um <i>piezoelétrico</i> , Lhara [2008]	44
3.40	Sensor Ultrassônico - HC-SR04, Elec Freak [2013]	45
3.41	Módulo Bluetooth JY-MCU, Foxytronics [2013]	46
3.42	Motores DC 12 V	46
3.43	Circuito Elétrico - Transistor TBJ	47
3.44	Primeiro Projeto Circuito Elétrico - Ponte H	49
3.45	Segundo Projeto Circuito Elétrico - Ponte H	49
3.46	Montagem Ponte H na protoboard	50
3.47	Saida ponte H - Semiciclo positivo predominante	51
3.48	Saida ponte H - Semiciclo negativo predominante	51
3.49	Layout Ponte H	52
3.50	Circuito Ponte H em 3D	52
3.51	Placa Eletrônica - Ponte H	52
3.52	Interface aplicativo de controle - <i>BlueStick Control</i> , Google [2013a]	54
3.53	Circuito para Teste de Acionamento de Motor DC	61
3.54	Teste de Acionamento de Motor DC	62
3.55	Resultado Teste de Acionamento de Motor DC	62
3.56	Circuito para teste comunicação <i>bluetooth</i>	64
3.57	Montagem teste comunicação <i>bluetooth</i>	64
3.58	Teste terminal PWM com osciloscópio	65
3.59	Simulação Ponte H - Motor Sentido Horário	67
3.60	Simulação Ponte H - Motor Sentido Anti-Horário	68
3.61	Teste Ponte H - Curva à esquerda	69
3.62	Teste físico Ponte H - movimento para frente	69
3.63	Teste físico Ponte H - movimento para trás	69
3.64	Teste de Desempenho	71
3.65	Teste de Velocidade	72
3.66	Ângulo de alcance Sensor Ultrassônico HC-SR04	73
3.67	Ângulo de alcance utilizando dois sensores ultrassônicos	74
3.68	Visão sensoramento por câmera, Sistema anticolisão Volvo, Coelingh et al. [2010]	74

B.1	Chassi - Desenho 2D	88
B.2	Segundo Pavimento - Desenho 2D	89
B.3	Suportes e Travas - Desenho 2D	90
C.1	Diagrama Elétrico Arduino UNO	92

Lista de Tabelas

1.1	Cronograma do Projeto	5
2.1	Características Técnicas - Sensor Radar de Longo Alcance, Bosch [2009]	11
3.1	Características Técnicas - Arduino UNO - Arduino [2013a]	44
3.2	Características Técnicas - Sensor Ultrassônico HC-SR04 - Elecfreak [2013]	45
3.3	Características Técnicas - Módulo Bluetooth JY-MCU, Foxytronics [2013]	46
3.4	Características Técnicas - Motores DC 12 V	47
3.5	Combinação de chaves para funcionamento Motor DC	52
3.6	Códigos hexa-decimais para controle	54
3.7	Teste ponte H virtual	68
3.8	Teste Ponte H Físico	68

Lista de Acrônimos e Notação

ABS	Anti-lock Braking System (sistema de frenagem antibloqueio)
CAD	Computer Aided Design (desenho auxiliado por computador)
AEBS	Advanced Emergency Braking System (Sistema avançado de frenagem de emergencia)
AEB	Autonomous Emergency Braking (Frenagem emergencial Autônoma)
NCAP	New Car Assessment Program (Programa de avaliação de novos modelos de automóveis)
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration (Administração Nacional de Segurança de Trânsito nas Estradas dos Estados Unidos)
CWAB-PD	Collision Warning with Full Auto Brake and Pedestrian Detection (Alerta de Colisão com Apoio a frenagem Total e detecção de pedestres)
FCW	Forward Collision Warning (Aviso de colisão frontal)
FLC	Forward Looking Camera (Câmera de monitoramento frontal)
FLR	Forward Looking Radar (Radar de monitoramento frontal)
FSW	Forward Sensing Module (Módulo sensível frontal)
RADAR	Radio Detection and Ranging (Detecção e Telemetria pelo Rádio)
LRRS	Long-Range Radar Sensor (Sensor radar de longo alcance)
TTC	Time to Collision (Tempo de colisão)
MDF	Medium Density Fiberboard (Chapa de madeira de média densidade)
PWM	Pulse-Width Modulation (Modulação por largura de pulso)
TBJ	Bipolar Junction Transistor (Transistor Bipolar de Junção)

Introdução

1.1 Motivação

A motivação para escolha do tema deste trabalho de conclusão de curso tem início com o estágio na área de Engenharia Automotiva, na empresa Fiat Automóveis S/A. Com o acompanhamento do desenvolvimento de novos projetos automotivos e novas tecnologias na área de Sistemas Avançados de Assistência ao Motorista (*Advanced Driver Assistance System*), uma das tecnologias abordadas na área de segurança veicular, o sistema eletrônico anticolisão aplicado em veículos automotores, mostrou-se como uma alternativa interessante para um futuro próximo, para redução de acidentes graves nas rodovias, e conseqüentemente maior segurança veicular. A busca por conhecer melhor esta nova tecnologia e com o interesse em desenvolver um protótipo com propósitos similares, mas com recursos mais factíveis, resultou na escolha do tema como trabalho de conclusão de curso na área de engenharia mecatrônica.

1.2 Relevância

O Brasil possui uma das maiores malhas rodoviárias do mundo, em torno de 1,6 milhão de quilômetros de extensão Ilos [2011], e a maioria destas rodovias com pavimentação precária e mal sinalizadas, onde a vida do condutor e passageiros são colocadas em risco. A indústria automotiva passou a investir no desenvolvimento de equipamentos de segurança, como *Air-bag*, freios ABS (*Anti-lock Braking System*), Indicador de ponto cego (*Blind Spot*), entre outros equipamentos, com intuito de reduzir o número de acidentes. O índice de acidentes no Brasil cresce a cada ano e a iniciativa em implementar estes métodos de segurança em carros também parte do governo, no caso do Brasil um tanto quanto tardia, ao sancionar leis que obrigam a indústria a colocar equipamentos de segurança de série em veículos novos.

Com essa corrida no âmbito automotivo por novas tecnologias que visem à segurança do condutor, a escolha do objeto de estudo em questão é tanto quanto oportuna, em consideração à relevância mercadológica, principalmente em um país onde os índices de acidentes são alarmantes, comparados com países desenvolvidos. Dados divulgados pelo Departamento Nacional de Trânsitos, DNIT [2010], **Figura 1.1**, em relação à estatística do número de acidentes em

2008, 2009 e 2010, exemplificam os dados de aumento de número de acidentes anualmente:

Mês da Ocorrência	2008		2009		2010	
	Quant.	%	Quant.	%	Quant.	%
Jan	11.910	8,44%	12.341	7,77%	14.284	7,81%
Fev	10.400	7,37%	11.612	7,31%	13.567	7,42%
Mar	11.550	8,19%	11.863	7,47%	14.733	8,06%
Abr	11.858	8,41%	12.019	7,56%	14.246	7,79%
Mai	11.709	8,30%	12.895	8,12%	15.432	8,44%
Jun	10.850	7,69%	12.819	8,07%	14.263	7,80%
Jul	10.993	7,79%	13.666	8,60%	15.520	8,49%
Ago	11.459	8,12%	13.021	8,19%	14.826	8,11%
Set	11.927	8,45%	13.423	8,45%	15.614	8,54%
Out	12.328	8,74%	14.361	9,04%	15.863	8,67%
Nov	12.053	8,54%	13.542	8,52%	15.664	8,56%
Dez	14.035	9,95%	17.331	10,91%	18.888	10,33%
Total	141.072	100,00%	158.893	100,00%	182.900	100,00%

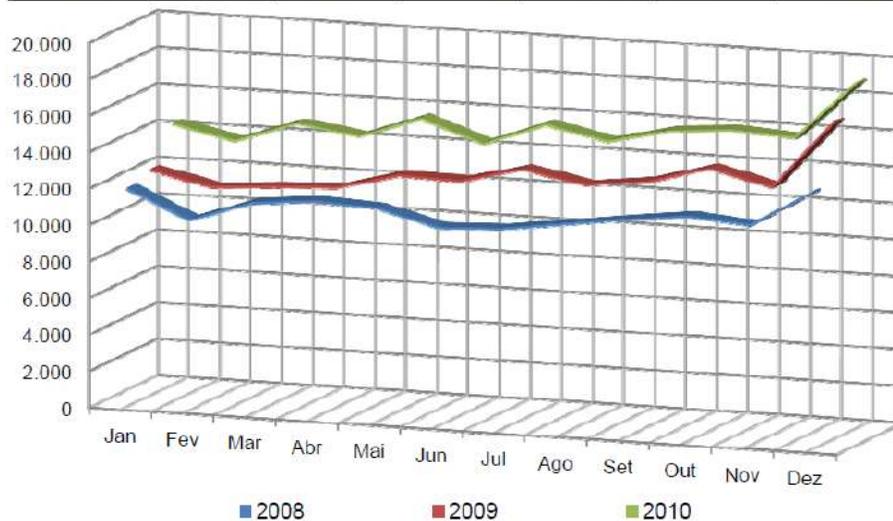


Figura 1.1: Aumento no número de acidentes rodoviários no Brasil, DNIT [2010]

Já se encontram disponíveis alguns sistemas de segurança ativa, desenvolvidos por diversos fabricantes. O *Delphi Collision Mitigation System* desenvolvido pela empresa ©*Delphi Automotive LLP*, Delphi [2013], é um deles. Este sistema utiliza algoritmos de fusão de dados que combinam a entrada de sensores de radar e visão para melhorar a funcionalidade do sistema de segurança. Consiste em uma câmera, módulo de controle visão sofisticada e um radar de varredura eletrônica. Ele é projetado para alertar os motoristas de um alto risco de colisão quando o veículo equipado aproxima-se de um pedestre ou outro veículo. Se o motorista não reagir aos alertas, o sistema aplica a frenagem automaticamente para evitar ou reduzir consideravelmente os efeitos da colisão.

O sistema proposto neste trabalho aborda esta temática como contextualização, com objetivos similares, mas desenvolvido com componentes diferentes, menos robustos, e que visa ser utilizado em pequenas aplicações de menor custo. Serão utilizados sensores ultrassônicos para detecção de proximidade, ao invés de câmeras e radares. Estes últimos que proporcionam o

melhor controle e um alcance (*range*) muito maior do que os sensores, mas que requer um alto custo para aplicação e maior tempo de estudo.

1.3 Objetivos

Produzir um protótipo de uma pequena plataforma móvel com sistema eletrônico anticolisão com recursos factíveis, em referência às novas tecnologias aplicadas pela indústria automotiva que visam à segurança veicular.

O estudo sobre o sistema anticolisão já aplicado na indústria automotiva tem como contextualização para desenvolvimento deste protótipo e busca relacionar componentes de menor custo, diferentes do que são aplicados em veículos automotores, mas que possam desempenhar um bom desempenho quanto ao objetivo desta aplicação.

1.4 Metodologia

O desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso se deu mediante à execução das seguintes etapas:

1. Estudo sobre as novas Tecnologias Automotivas aplicadas na área de segurança automotiva com foco no sistema eletrônico anticolisão.
 - Revisão Bibliográfica
 - Verificação de Testes e Desempenhos realizados
2. Conceitualização do Protótipo com sistema eletrônico embarcado
 - Especificação de componentes eletrônicos: microcontrolador, sensores, módulo *blue-tooth*, motores elétricos.
 - Especificação de componentes mecânicos: engrenagens, eixos, rodas, material para estrutura física do protótipo, rolamentos, mancais.
 - Desenvolvimento de diagrama de conexões elétricas dos componentes.
 - Projeto Mecânico desenvolvido no *software SolidWorks* do conjunto de redução mecânica aplicada para aumento de torque e redução da rotação dos motores.
 - Definição do conceito estrutural do protótipo.
 - Projeto Mecânico do chassi do protótipo, bem como o posicionamento dos motores, conjunto de redução, segundo pavimento, placas eletrônicas e fonte de alimentação.
 - Especificação de componentes eletrônicos para desenvolvimento dos circuitos para driver dos motores (Ponte H).
 - Simulações e testes virtuais e físicos do circuito eletrônico (Ponte H).

- Estudos em relação à linguagem de Programação *Wiring* aplicada no microcontrolador já definido.
 - Simulação virtual de alguns códigos para testes para controle de acionamento de motores.
3. Construção do Protótipo com sistema eletrônico embarcado.
 - Construção do protótipo a partir do projeto virtual.
 - Confecção das placas eletrônicas, circuito ponte H.
 - Desenvolvimento do código para controle do carrinho.
 - Integração da parte mecânica, eletrônica e computacional.
 4. Testes e simulações.
 - Acionamento dos motores com o código desenvolvido.
 - Teste de movimentos básicos, velocidade máxima e eficiência da mecânica com o carrinho.
 - Teste em laboratório da ponte H e comparativo dos resultados físicos com virtuais.
 - Levantamento das características do sensor ultrassônico.
 - Teste final do projeto.
 5. Elaboração Relatório Final.

1.5 Cronograma

Na **Tabela 1.1** é especificado o cronograma para oito meses de desenvolvimento de todo o projeto:

Etapas	1	2	3	4	5	6	7	8
Revisão Bibliográfica	X	X	X	X				
Especificação de componentes eletrônicos		X	X					
Simulação eletrônica (virtual) do controle de motores			X	X				
Desenvolvimento de software do microcontrolador			X	X	X	X		
Concepção mecânica (virtual) da Plataforma		X	X	X				
Redação e Relatório Parcial		X	X					
Projeto em CAD			X	X	X			
Montagem mecânica				X	X			
Testes Mecânicos da Plataforma					X			
Projeto e Layout das placas eletrônicas					X			
Confecção das placas eletrônicas						X		
Testes e simulações eletrônicas						X	X	
Testes de desempenho sensor ultrassônico						X	X	
Implementação eletrônica no protótipo						X	X	
Validação do sistema anti-colisão							X	
Simulações e testes finais						X	X	
Redação do Relatório Final						X	X	X

Tabela 1.1: Cronograma do Projeto

O Sistema Anticolisão na Indústria Automotiva

Esta recente tecnologia aplicada em diversos segmentos industriais como aviação, automotiva, e em processos industriais em geral, possui, na indústria automotiva especificamente, diversas denominações que variam de acordo com a fabricante do sistema: *Collision Warning with Auto Brake - Mobileye N.V.*; *Predictive Emergency Braking System - Bosch*; *Delphi Collision Mitigation System - Delphi*; são alguns exemplos de sistemas desenvolvidos nos últimos anos e que já são aplicados em muitos veículos de diversas fabricantes de veículos no mundo todo. Cada vez mais as preocupações governamentais e das fabricantes se voltam para o desenvolvimento de tecnologias como esta de auxílio ao motorista com o objetivo do aumento de segurança automotiva, e que têm sido destaque em congressos e encontros do setor.

Advanced Emergency Braking System (AEBS) ou *Autonomous Emergency Braking (AEB)* podem ser considerados como os nomes oficiais do sistema, independente de fabricante, pois são adotadas por uma das mais conceituadas associações internacionais de avaliação na indústria automotiva *Euro NCAP*, NCAP [2013a].

Sistemas AEB conseguem melhorar a segurança veicular em duas frentes:

1. Conseguem ajudar a evitar acidentes a partir da identificação de situações críticas e alertar os motoristas para que eles mesmos possam atuar;
2. Atuam automaticamente nos freios quando, em momentos de distração do veículo e na iminência de colisões possa evitar o acidente ou no mínimo diminuir o impacto deste.

Neste capítulo será abordado o histórico desta tecnologia e suas aplicações na indústria automotiva. As características e composição de um sistema específico serão tomadas como base para estudos sobre os componentes mais utilizados atualmente. Por fim, testes de desempenho de um sistema serão demonstrados.

2.1 Histórico

A Administração Nacional de Segurança de Trânsito nas Estradas dos Estados Unidos (NHTSA) iniciou em 2009 os estudos para futura obrigatoriedade de sistemas de inovação tecnológica que visem a melhoria na segurança nas estradas. Em resposta, diversos fabricantes destes sistemas em conjunto com fabricantes de veículos já se movimentaram para investir ainda mais no sistema e continuar o desenvolvimento que já se iniciava há alguns anos nesta área.

Em 2010 a *Euro NCAP* realizou avaliações em veículos da fabricante Volvo [2], o sistema denominado *Volvo City Safety*, tem como objetivo evitar acidentes de até aproximadamente 30km/h e reduzir um percentual no impacto de acidentes que ocorram com velocidade superior a esta. Este sistema está aplicado em alguns outros veículos da marca como Volvo V40 e Volvo V60. Todos receberam avaliação máxima de segurança (5 estrelas), **Figura 2.1**



Figura 2.1: Avaliação geral - Veículos Volvo com sistema anticolisão, NCAP [2013b]

Nos anos seguintes, as fabricantes de veículos Mercedes, Honda, Volkswagen, Ford, Audi, Mitsubishi, Skoda e Fiat, também foram avaliadas nos sistemas aplicados em seus veículos NCAP [2013a], conseguindo um aumento considerável em relação às notas obtidas para os mesmos veículos lançados em anos anteriores.

Na Europa, Fiat e Volkswagen possuem um sistema aplicado em veículos denominados popular (Fiat Panda e VW UP!), o que evidencia a tendência futura de aplicação do sistema em toda a gama de veículos.

A NHTSA planeja que até final de 2013 tenha uma decisão sobre a futura obrigatoriedade de o sistema anticolisão ser aplicado em todos os novos veículos TRW [2013]. Mesmo que a obrigatoriedade seja aplicada na Europa e EUA nos próximos anos, no Brasil estas novas aplicações na indústria automotiva crescem timidamente entre os veículos considerados de luxo e só deverão ser aplicadas nas demais categorias de veículos a médio ou longo prazo.

2.2 Características e Composição do Sistema

Muitas pesquisas demonstram a utilização de sistemas embarcados em veículos realizados de diferentes modos e com diferentes componentes. Como exemplo, em Coelingh et al. [2010] o sistema utilizado para testes denominado *Collision Warning with Full Auto Brake and Pedestrian Detection* (CWAB-PD), aplicado no veículo Volvo S60, combina a tecnologia de alerta para o motorista, *Forward Collision Warning* (FCW), com a função de atuação automática nos freios, *Automatic Emergency Braking*. Os componentes utilizados neste sistema são: uma câmera, *forward looking camera* (FLC), posicionada no para-brisa do veículo, próximo ao retrovisor interno, para classificação das imagens com ângulo de visão de 48° , além de um sensor do tipo *RADAR*, *forward looking radar* (FLR), que é posicionado na grade dianteira do veículo com ângulo de visão de 60° .

Na unidade de controle, *Forward Sensing Module* (FSW), ocorre a fusão dos dados obtidos destes dois tipos de sensoriamento, na tentativa de melhorar a performance com a diminuição de detecção de falsos alvos (*targets*). Dispositivos ilustrados na **Figura 2.2**



Figura 2.2: Câmera, RADAR e Unidade de Controle - CWAB-PD Volvo, Coelingh et al. [2010]

Nas sessões a seguir são descritos os fundamentos básicos de sensoriamento remoto por radar e fusão sensorial, além de testes de desempenho de um sistema anticollisão específico. A câmera utilizada em alguns sistemas tem como objetivo classificar o tipo de objeto de detecção com o intuito de minimizar a detecção de falsos *targets*. Os fundamentos básicos para sensoriamento por este tipo de sensor não é descrito neste trabalho.

2.2.1 Fundamentos Básicos de sensoriamento remoto por RADAR

RADAR - Radio Detection and Ranging - É um dispositivo que permite a detecção e telemetria de objetos à longa distância através de ondas de rádio. Utiliza-se de uma fonte de radiação eletromagnética artificial. Uma característica importante na utilização do *RADAR* é em relação ao comprimento de onda na ordem de 3 a 100 cm, no qual possui habilidade de operar em condições climáticas adversas, com nuvens, chuvas, durante o dia ou noite, uma importante vantagem em relação a sensores termais, em que o grande comprimento de ondas

faz com que elas não sejam barradas ou absorvidas pelas partículas micrométricas ou gases da atmosfera, Meneses and Almeida [2012].

O sistema RADAR transmite pulsos destas micro-ondas perpendiculares à direção de deslocamento da plataforma onde ele está acoplado. A partir da análise de tempo em que o pulso emitido leva para percorrer a distância entre o objeto e o sensor é possível determinar a distância relativa entre estes. Cada pixel na imagem produzida pelo RADAR representa a intensidade da reflexão do pulso de energia para a área correspondente no solo.

A reflexão do sinal de Radar para um alvo ou uma área de interesse num comprimento de onda específico varia bastante em função das condições físicas da aplicação, como descrito em Antunes [2005]:

- Tamanho e geometria do alvo ou refletor;
- Umidade do alvo;
- Polarização do sinal emitido;
- Ângulos de incidência do sinal emitido.

A **Figura 2.3** ilustra uma das principais aplicações do RADAR (aviação), e a relação entre os ângulos de visada, depressão, incidência e direção de visada, na performance do dispositivo.

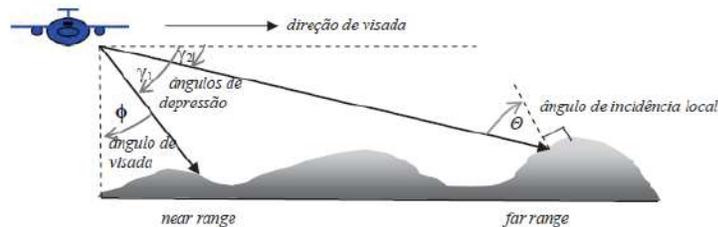


Figura 2.3: Elementos geométricos da configuração de imageamento por RADAR, Antunes [2005]

Na indústria automotiva, um exemplo de RADAR já utilizado em alguns veículos é o Sensor Radar de Longo Alcance, desenvolvido pela fabricante Bosch, *Long-Range Radar Sensor* (LRR3) Bosch [2009], **Figura 2.4**.

Este sensor possui várias aplicações, dentre elas a combinação com outros dispositivos para utilização com o sistema desenvolvido pela mesma fabricante, denominado *Predictive Emergency Braking*, outra variante para o sistema anticolisão. A faixa de frequência de transmissão das ondas varia entre 76 e 77 GHz. Estas ondas são refletidas pelos objetos à frente do veículo. Através da comparação das amplitudes e fases do sinal de eco recebido pelas antenas, pode ser determinada a posição destes objetos e a distância deste através do tempo de atraso. Além



Figura 2.4: Sensor Radar de Longo Alcance, Bosch [2009]

disso, a velocidade relativa dos objetos também podem ser medidas através do *Efeito Doppler* (desvios de frequência entre os sinais refletidos e transmitidos). Algumas características técnicas deste dispositivo são demonstrados na **Tabela 2.1**

Faixa de Frequência	76 a 77 GHz
Alcance - Precisão	0,5 a 250 m - $\pm 0,1$ m
Velocidade Relativa - Precisão	-75 a +60 m/s - $\pm 0,12$ m/s
Ângulo de visão horizontal	30° (-6 dB)
Ângulo de visão vertical	5° (-6 dB)
Modulação	FMCW
Número máximo de detecção de objetos	32
Temperatura Operacional	-40°C a +85°C
Dimensão (AxLxP)	77 mm x 74 mm x 58 mm
Peso	285g
Tempo de Ciclo	80 ms
Consumo de Energia	4 W

Tabela 2.1: Características Técnicas - Sensor Radar de Longo Alcance, Bosch [2009]

2.2.2 Fusão Sensorial

Quando o sistema anticollisão é aplicado em automóveis, por exemplo, em que a precisão e confiabilidade do sistema devem ser altas, a fusão de dados de diferentes tipos de sensoriamento são necessárias para garantir que falsos objetos ou veículos, não sejam detectados.

Jansson [2005] discute sobre as teorias em relação ao sistema anticollisão como um todo e particularmente em relação à fusão de dados sensoriais, além de abordar alguns passos para o tratamento de dados obtidos por diferentes sensores:

- Associação de Dados

- Agrupamento;
- Reordenação;
- Relevância;
- Filtragem
- Predição de estados futuros

O diagrama de blocos da **Figura 2.5**, representa a associação de dados que ocorre inicialmente a partir de dados de vários sensores, mas com as mesmas características, um exemplo poderia ser mais de um radar acoplado na parte frontal do veículo. Outro bloco de associação trata os dados advindos de outro grupo de sensores, por exemplo uma câmera para classificação de imagens em um veículo. Após realizado esta associação de dados, estes são fundidos em uma unidade de controle e a partir daí ocorre a extração das características destes dados e atuação no sistema.

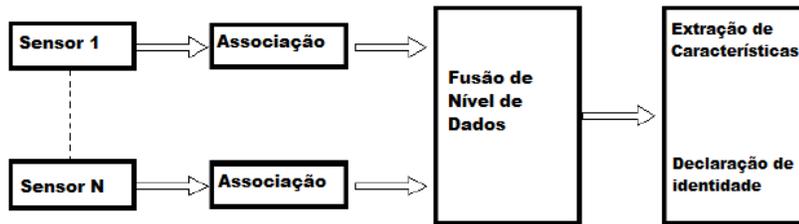


Figura 2.5: Fusão de Dados Sensoriais, Jansson [2005]

Para o projeto do protótipo, como foi utilizado apenas 01 sensor ultrassônico, não foi necessário a realização de fusão sensorial e aprofundamento a cerca deste tema.

2.3 Testes e Desempenho

Os testes realizados por Coelingh et al. [2010], do sistema CWAB-PD aplicado em um Volvo S60, tem como objetivo ilustrar o desempenho teórico e prático do sistema.

Foram definidos cenários para testes práticos do sistema baseando-se nas possíveis causas de acidentes e também em cenários similares aos que são utilizados em testes de segurança passiva, *EURO-NCAP* e *US-NCAP*.

- Aproximar a 72,4 km/h de um veículo parado a frente.
- Seguir um veículo a 72,4 km/h, com uma distância constante de 30 m do veículo a frente, e frear repentinamente com desaceleração constante de 3 m/s^2 em 1,5 segundos.
- Aproximar a 72,4 km/h de um veículo lento, que se move a uma velocidade constante de 32,3 km/h.

Análise Teórica

Para que o sistema realmente funcione e evite ou atenua o máximo possível a colisão, o denominado Tempo de Colisão, *Time to Collision* (TTC), deve ser modelado corretamente, sendo o tempo necessário para atuação nos freios do veículo. Em Jansson [2005] é descrito a modelagem para o sistema com base nas variáveis relativas de posição, velocidade e aceleração do veículo com o sistema embarcado, denominado *host*, e em relação ao veículo ou objeto à frente, denominado *target*. A modelagem apresentada na Equação 2.1 é realizada tanto para determinar o tempo necessário de atuação nos freios, quanto o tempo para que o *host* consiga se desviar do *target*.

$$t_{colisao} = \begin{cases} \frac{-p_x}{a_x}, & v_x < 0 & e & a_x = 0 \\ \frac{-v_x}{a_x} - \frac{\frac{v_x}{\sqrt{v_x^2 - 2p_x a_x}}}{a_x}, & v_x < 0 & e & a_x \neq 0 \\ \frac{-v_x}{a_x} + \frac{\frac{v_x}{\sqrt{v_x^2 - 2p_x a_x}}}{a_x}, & v_x \geq 0 & e & a_x \leq 0 \\ \frac{-v_x}{a_x} + \frac{\frac{v_x}{\sqrt{v_x^2 - 2p_x a_x}}}{a_x}, & v_x \geq 0 & e & a_x \leq 0 \\ \text{indefinido}, & v_x \geq 0 & e & a_x \geq 0 \\ \text{indefinido}, & v_x^2 - 2p_x a_x < 0 & & \end{cases} \quad (2.1)$$

em que v_x , a_x e p_x são a velocidade, aceleração e posição relativa, respectivamente.

Em análise ao primeiro cenário descrito, com o veículo se movendo com velocidade constante ($a=0$) e aproximando de outro veículo parado, o TTC é decrescente:

$$t_{colisao} = -\frac{p_x}{v_x} = \frac{p_x}{v_{x,host}}, v_{x,target} = 0 \quad (2.2)$$

Com a aproximação, o motorista deve desviar do *target* ou frear antes para evitar a colisão. Os dois métodos também podem ser utilizados combinados. O tempo total da frenagem é:

$$t_{frenagem} = -\frac{v_x}{a_{x,host}} \quad (2.3)$$

Em que este tempo modelado pela Equação 2.3 é o tempo necessário para reduzir completamente a velocidade do *host* a zero. A distância que o *host* percorre durante a manobra e o freio é:

$$p_{x,frenagem} = -\frac{a_{x,host} t_{frenagem}^2}{2} = -\frac{v_{x,0}^2}{2a_{x,host}} \quad (2.4)$$

Então, o TTC no qual o freio deve ser iniciado para que seja evitada uma colisão é:

$$ttc_{frenagem} = -\frac{p_{x,frenagem}}{v_{x,0}} \quad (2.5)$$

Toda a modelagem é com base em que o freio será atuado sem intervenções e de forma constante ao longo do tempo. Deve ser mensurado um coeficiente de segurança em relação a modelagem do tempo total, visto que intervenções podem ocorrer e com isso, o TTC tende a aumentar.

O tempo necessário para desvio do target pode ser definido como em 2.6:

$$ttc_{desvio} = \min \left(\sqrt{\frac{2}{a_{y,host}} \left(y_0 \pm \frac{w_{host} + w_{target}}{2} \right)} \right) \quad (2.6)$$

Em que w_{host} e w_{target} são as larguras do veículo *host* e do veículo *target*, respectivamente. E também $a_{y,host}$ é a máxima aceleração lateral do veículo *host*.

A modelagem de frenagem teórica utilizada consiste em um atraso puro de 180 ms e em seguida uma rampa de desaceleração de 20 m/s^3 , o coeficiente de atrito é definido como 1. Isto gera uma redução de velocidade esperada como mostrado no gráfico da **Figura 2.6**:

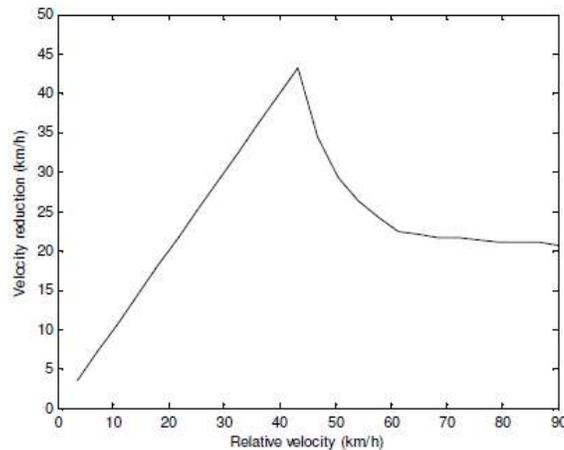


Figura 2.6: Modelagem teórica de redução de velocidade, Coelingh et al. [2010]

Análise Prática x Análise Teórica

O gráfico da **Figura 2.7** descreve o resultado do teste experimental do cenário 01 descrito anteriormente em contraste ao modelado teoricamente. O veículo teve uma redução de 25 km/h e o impacto relativo de velocidade foi de 47 km/h.

Para o cenário 02, não foram realizados testes devido às limitações dos equipamentos. Para o cenário 03, o sistema realizou uma redução na velocidade de impacto de 35 km/h, obtendo assim um impacto relativo de velocidade de apenas 5 km/h.

A conclusão a partir dos resultados obtidos é que para acidentes em que os veículos envolvidos estivessem com velocidade de até 35 km/h, a colisão pode ser totalmente evitada com a utilização do sistema CWAB-PD. Com a velocidade acima de 35 km/h ocorreria uma redução percentual da velocidade relativa, que depende de diversos fatores como condições da estrada, pneus, trânsito, que atenuaria o impacto na colisão. Em geral este sistema demonstrou-se como uma ótima performance.

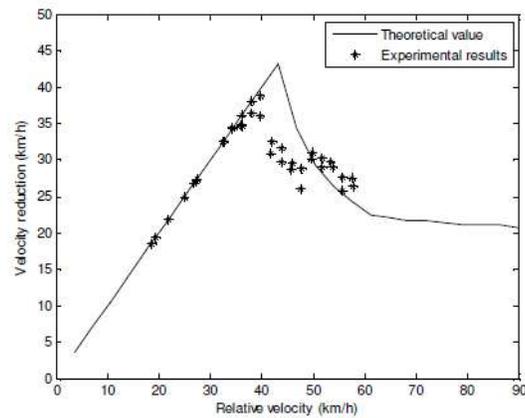


Figura 2.7: Modelagem teórica de redução de velocidade x Resultados Experimentais Cenário 01, Coelingh et al. [2010]

Desenvolvimento do Protótipo

Em referência ao sistema utilizado na indústria automotiva, uma pequena plataforma móvel foi desenvolvida, com diferentes componentes, de menor custo e para pequenas aplicações. Neste capítulo é descrito todo o desenvolvimento do protótipo realizado, em relação à concepção mecânica, eletrônica e computacional. Inicialmente são feitas as fundamentações teóricas quanto os temas abordados para a concepção do protótipo, bem como a especificação de todos os componentes utilizados. Neste capítulo também é descrito toda a parte relacionada à construção do protótipo, testes e simulações quanto ao desempenho motor do sistema e a utilização de sensores ultrassônicos como componente principal.

3.1 Conceito

O conceito deste protótipo consiste em uma pequena plataforma móvel (carrinho), em que a estrutura inferior (chassi) será sustentada por quatro pequenas rodas que sustentará o restante dos componentes como motores, conjunto de reduções e componentes eletrônicos.

Na **Figura 3.1** é exibido o resultado do projeto mecânico, em 3D do protótipo desenvolvido no *software SolidWorks*.

As dimensões planejadas previstas em relação ao chassi do protótipo são de 160 x 250 mm. Estas dimensões são limitadas pela área de alcance do sensor ultrassônico. Para desenvolvimento de um protótipo com dimensões em maior escala, seria necessária utilização de mais sensores ultrassônicos e novo cálculo para especificação de novos motores devido à mudança de peso e conseqüentemente a alteração do torque necessário para movimentação da plataforma.

3.1.1 O Sistema Anticolisão Aplicado

Neste protótipo foi aplicado um sistema anticolisão baseado na utilização de um sensor ultrassônico com objetivo de detecção de diferentes tipos de objetos, compostos por diferentes materiais para conseqüente atuação no sistema de tração do protótipo com objetivo de não permitir que ele colida com o objeto detectado ou, pelo menos, atenuar a colisão.

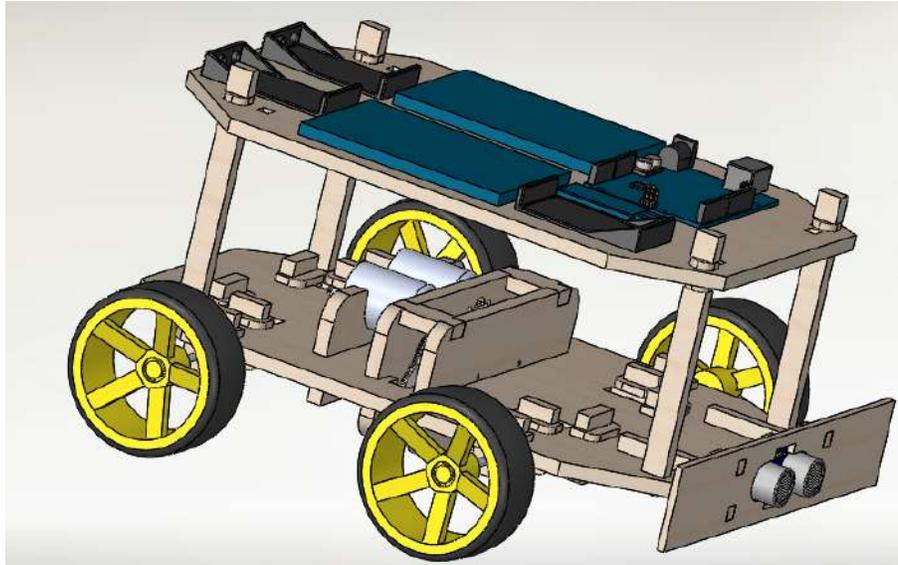


Figura 3.1: Projeto Mecânico do Protótipo em 3D

O diagrama de blocos da **Figura 3.2** demonstra o princípio de funcionamento definido para o sistema:

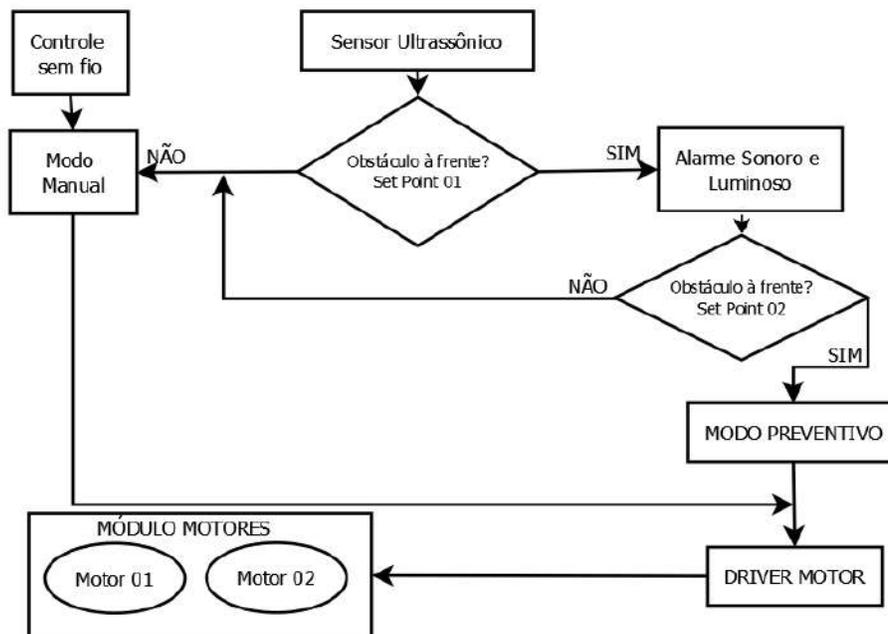


Figura 3.2: Fluxograma funcionamento sistema anticollisão

O protótipo inicialmente está em movimento a partir de um controle sem fio manual e o sensor ultrassônico estão em constante funcionamento para detecção de qualquer objeto dado *set point* de distância. A partir da detecção de algum objeto, o microcontrolador envia um sinal para que seja emitido um alarme sonoro (*buzzer*), em analogia à tecnologia de aviso ao motorista, *Forward Collision Warning* e também alertas luminosos através de *leds* frontais e

traseiros, em analogia à tecnologia *Emergency Stop Signaling*. Caso o protótipo continue em direção ao objeto e na iminência de colisão, dado outro *set point* de maior proximidade do objeto, o sistema sai do **modo manual** e entra no **modo preventivo**, em que o microcontrolador envia sinais de atuação nos motores para que seja realizada a frenagem e evitada a colisão. A partir da frenagem realizada o controle manual do protótipo só será permitido para direções em que não haja obstáculos, ou seja, se um sensor ultrassônico continua em detecção de um obstáculo à frente, o protótipo só conseguirá se mover para trás ou para os lados.

Em Ullah et al. [2011], o sistema proposto para o protótipo desenvolvido utiliza quatro sensores, posicionados na parte frontal e traseira, nas extremidades laterais. Testes físicos realizados demonstraram que a área de abrangência com apenas o posicionamento de um sensor frontal não foi suficiente para localizar objetos posicionados na extremidade lateral do protótipo, mas que a utilização deste tipo de sensoriamento obteve uma ótima performance na detecção de diferentes tipos de materiais e situações, como demonstrado na **Figura 3.3**:

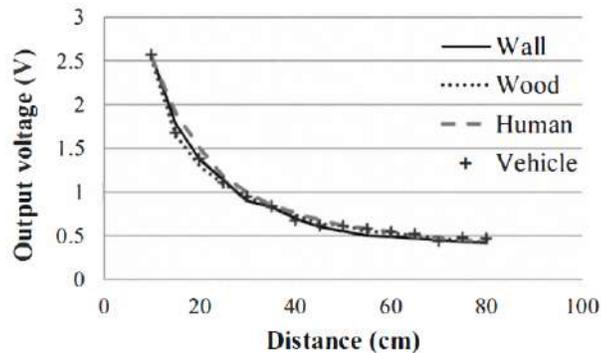


Figura 3.3: Resultados Experimentais [*Tensão de Saída (V) x Distância (cm)*] - Sensor Ultrassônico, Ullah et al. [2011]

Contudo, neste trabalho, a concepção inicial utilizada foi especificada com apenas um único sensor posicionado na parte frontal para detectar colisões com objetos posicionados na frente do veículo.

3.2 Concepção Mecânica e Estrutural

Para realizar a concepção mecânica e estrutural deve-se sempre seguir uma série de etapas, uma metodologia de projetos que é abordada no âmbito de projetos de máquinas para então criar uma máquina que funcione bem, com segurança e confiabilidade. Uma máquina pode ser definida de muitas formas, dentre elas:

1. Um aparato que consiste em unidade inter-relacionadas;
2. Um dispositivo que modifica a força ou o movimento.

Nesta definição as peças inter-relacionadas neste contexto também são chamadas de elementos da máquina, bem como engrenagens, eixos, chapas de metais ou de outro material, motores

e outros elementos. A noção de trabalho útil é básica para a função de uma máquina, existindo quase sempre alguma transferência de energia envolvida. Forças e movimento são cruciais neste projeto, uma vez que, ao converter uma forma de energia em outra as máquinas criam movimentos e desenvolvem forças, Norton [2004].

É tarefa do projetista definir e calcular esses movimentos, forças e mudanças de energia de modo a determinar as dimensões, formas e matérias necessários para cada uma das peças que integram na construção da máquina desejada. Nesta sessão será abordada a concepção estrutural, os cálculos para obtenção da velocidade desejada no protótipo através do trem composto de engrenagens (conjunto de reduções), e também o projeto mecânico parcial desenvolvido em *SolidWorks*.

3.2.1 Fundamentação Teórica

Engrenagens são usadas para transmitir torque e velocidade angular em uma ampla variedade de aplicações. Há também uma grande variedade de engrenagens disponíveis no mercado para serem utilizados em projetos mecânicos, a fim de transmitir movimento de um eixo para outro, aumentando ou diminuindo os parâmetros deste movimento. Neste tópico são abordados os conceitos principais sobre engrenagens e suas características para utilização destes no projeto da caixa de redução, além de detalhar como foi feito o projeto mecânico virtual e físico do protótipo.

A lei fundamental de engrenamento

A lei fundamental de engrenamento diz que a razão de velocidade angular das engrenagens de um par de engrenagens deve manter-se constante durante o engrenamento. A razão da velocidade angular m_v é igual a razão do raio de referência ou diâmetro (primitivo) da engrenagem de entrada para aquela engrenagem de saída.

$$m_v = \frac{\omega_{ext}}{\omega_{int}} = \pm \frac{r_{int}}{r_{ext}} \quad (3.1)$$

As superfícies de rotação dos cilindros se transformarão em circunferências de referência (primitivas) e os diâmetros correspondentes em diâmetros de referência (primitivos) das engrenagens. A razão de torque ou o ganho mecânico m_A é o inverso da razão de velocidade:

$$m_A = \frac{1}{m_v} = \frac{\omega_{int}}{\omega_{ext}} = \pm \frac{r_{ext}}{r_{int}} \quad (3.2)$$

Por estas duas equações pode-se inferir que um par de engrenagens é essencialmente um dispositivo de troca de torque por velocidade e vice-versa. Neste caso, cabe ao projetista manipular estes parâmetros de forma a garantir um correto funcionamento para sua máquina.

Para propósito de cálculos, a razão de engrenamento m_G é entendida como a magnitude da razão de velocidades ou de torques, qualquer deles que seja > 1 , Wickert [2007]. A partir desta afirmação, tem-se a relação apresentada na equação 3.3:

$$m_G = |m_V| \text{ ou } m_G = |m_A|, \text{ para } m_G \geq 1 \quad (3.3)$$

A razão de velocidades pode ser calculada a partir do número de dentes das engrenagem Z_g sobre o número de dentes do pinhão Z_p ,

$$i = m_G = \frac{Z_g}{Z_p} \quad (3.4)$$

Características da engrenagem

Existem condições de engrenamento e para que duas engrenagens se engrenem e girem perfeitamente é necessário respeitar quatro características:

1. As engrenagens acopladas devem ter o mesmo passo circular e conseqüentemente o mesmo módulo;
2. Mesmo perfil;
3. Não deve haver interferência;
4. Devem ter o mesmo ângulo de pressão;

Respeitando fidedignamente essas condições o projetista garante que não haja desgaste excessivo e prematuro na engrenagem e conseqüentemente elas terão uma boa vida útil além de diminuir consideravelmente as perdas na transmissão de movimento.

Para se entender melhor a teoria e o levantamento dos parâmetros das engrenagens a **Figura 3.4** mostra dois dentes de engrenagens indicando a nomenclatura-padrão para engrenagens:

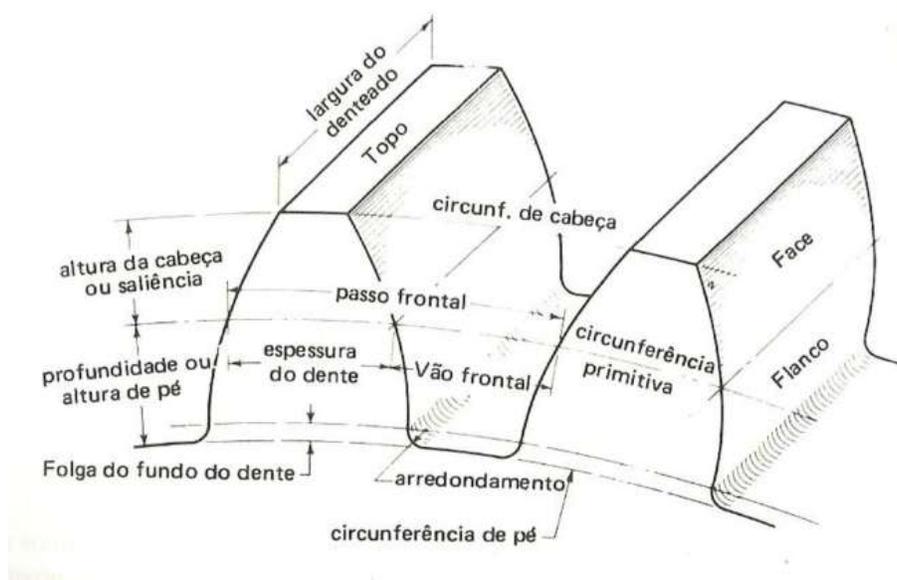


Figura 3.4: Nomenclatura padrão de engrenagem

Para o projeto da redução é importante definir a largura do denteado, e conseqüentemente encontrar a largura da engrenagem (1). Como o protótipo em questão não necessita mover

uma grande carga, o esforço aplicado na redução será pequeno, logo a potência aplicada na engrenagem também será e tem-se a seguinte equação para o cálculo da largura de engrenagem:

$$l = k \times m \quad (3.5)$$

Em que k , é uma constante variável em função da potência aplicada na engrenagem com a faixa de valores entre: $6 \leq k \leq 40$ e m , é o módulo da engrenagem. As engrenagens disponíveis para este projeto apresentam um $m = 0,5$ devido à disponibilidade de mercado e fácil implementação.

A contante k depende da potência aplicada na engrenagem e com isso pode-se redividir a faixa de valores desta constante em função da potência aplicada, então tem-se:

- $6 \leq k \leq 12$, para pequenas potências
- $8 \leq k \leq 14$, para médias potências
- $20 \leq k \leq 40$, para grandes potências

Como potência aplicada nas engrenagens neste projeto de redução será pequena, para superdimensionar e garantir um excelente coeficiente de segurança, calcula-se a largura do denteado com $k = 10$, ou seja, atendendo as faixas de pequenas e médias potências, a partir do cálculo em 3.6:

$$l = k \times m \therefore l = 10 \times 0,5 = 5mm \quad (3.6)$$

Encontrado a largura da engrenagem, ainda resta calcular a altura total do dente (H_z), que é a soma da altura da cabeça ou adendo (H_k) com a altura do pé ou dedendo (H_f), como tem-se o módulo das engrenagens pode-se levantar todos esses parâmetros com as seguintes equações:

$$H_k = m = 0,5mm \quad (3.7)$$

$$H_f = 1,2m = 0,6mm \quad (3.8)$$

$$H_z = H_k + H_f = 2,2m \therefore H_z = 0,5 + 0,6 = 1,1mm \quad (3.9)$$

Vale ressaltar que para a montagem tanto em *SolidWorks* como na prática foi definido um ângulo de pressão de 20 graus para todas as engrenagens. Este ângulo é definido pelo fabricante das engrenagens compradas, para realização do projeto.

Após ter definido as características principais das engrenagens que serão aplicadas deve-se realizar o cálculo de quantos dentes ou o diâmetro primitivo que cada engrenagem na redução deve ter para alcançar a especificação desejada para então calcular a redução de cada par e encontrar a redução total, o que é realizado no próximo subtópico.

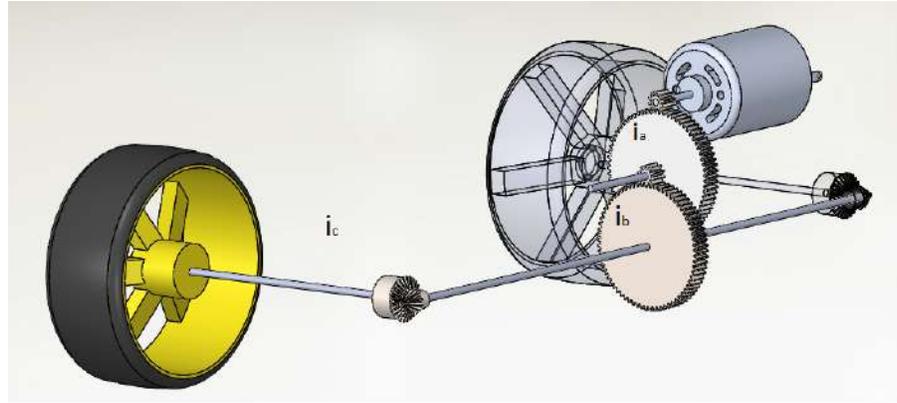


Figura 3.5: Trem composto

3.2.2 Conjunto de Redução

Para facilitar o entendimento foi isolado um trem composto de engrenagens do projeto feito em *SolidWorks*, na visão isométrica acoplado ao motor, conforme pode ser visto na **Figura 3.5**:

Como pode ser visto no desenho 3D o trem de engrenagens adotado foi o composto, visto que a razão da velocidade ser maior que 10:1 e que foi necessário acoplar mais de uma engrenagem no eixo, Norton [2004]. Vale ressaltar que é utilizada um engrenagem dupla onde o eixo central do pinhão e da coroa são concêntricos e que para inverter a direção da rotação no final do eixo é utilizado um pinhão e uma coroa do tipo cônico, a fim de funcionar como uma espécie de diferencial de um carro.

O objetivo desses cálculos é que se tenha uma redução total de 131:1, com intuito de produzir uma rotação nas rodas de no máximo 45 rpm. Para calcular a redução de cada par de engrenagens deve-se partir dos dados disponíveis, que neste caso é a rotação do motor de 5500 rpm e da definição de que a velocidade máxima desejada alcançada pelo protótipo será de 9 m/s ou menor, obtido a partir da rotação final. Objetiva-se este módulo pois para a aplicação em questão é uma velocidade na qual é fácil de parar o veículo quando for de encontro à um objeto.

Então para o primeiro par de engrenagens calcula-se a sua redução, assumindo os seguintes dados, pinhão gira com uma rotação de 5500 rpm e seu número de dentes $Z_{p1} = 8$, assume a engrenagem acoplada a ele, coroa, com $Z_{c1} = 56$, logo tem-se a seguinte redução desejada no primeiro par de engrenagens:

$$i_a = \frac{Z_{c1}}{Z_{p1}} = \frac{N_{p1}}{N_{c1}} \therefore i_a = \frac{56}{8} = 7 : 1 \quad (3.10)$$

$$i_a = \frac{N_{p1}}{N_{c1}} \therefore 7 = \frac{5500}{N_{c1}} \therefore N_{c1} = 785,51rpm \quad (3.11)$$

Como a primeira coroa esta acoplada diretamente no segundo pinhão, a rotação é a mesma para os dois, ou seja, $N_{p2} = 785,51$ rpm, e por questões de encontrar no mercado facilmente estas engrenagens e por facilidade na reposição de peças, supõe $Z_{p2} = 10$ e $Z_{p1} = 8$ e $Z_{c2} = 56$, com isso calcula-se:

$$i_b = \frac{Z_{c2}}{Z_{p2}} = \frac{N_{p2}}{N_{c2}} \therefore i_b = \frac{56}{10} = 5,6 : 1 \quad (3.12)$$

$$i_b = \frac{N_{p2}}{N_{c2}} \therefore 5,6 = \frac{785,51}{N_{c2}} \therefore N_{c2} = 140,27rpm \quad (3.13)$$

Calculado $i_a = 7$ e $i_b = 5,6$, até o momento a redução total é de 39:2 como é desejado uma redução total de 131:1, para poder limitar a rotação no qual se estipulou, é necessário que o terceiro par de engrenagens apresente uma redução de 3,33:1, ou seja, $i_c = 3,33 : 1$, com base nisso pode-se dimensionar o par de engrenagens cônicas as serem utilizadas.

$$i_c = \frac{Z_{c3}}{Z_{p3}} = \frac{N_{p3}}{N_{c3}} = 3,33 : 1 \quad (3.14)$$

Assumindo o pinhão cônico com 9 dentes, calcula-se quantos dentes terá a coroa cônica:

$$i_c = 3,33 = \frac{Z_{c2}}{9} \therefore Z_{c2} = 30 \quad (3.15)$$

Com isso tem-se que a coroa cônica terá 30 dentes, como mencionado anteriormente, estas coroas cônicas serão conectadas aos eixos das rodas e como isso elas desempenharam a função de um diferencial, muito utilizado em automóveis.

Calculado este último par de redução, pode-se conferir se a redução total encontrada é igual a redução total desejada, conforme segue abaixo:

$$i_t = i_a \times i_b \times i_c = 7 \times 5,6 \times 3,33 \cong 131 \quad (3.16)$$

Calculado a redução total, pode-se obter a rotação máxima final do protótipo, que nada mais é que:

$$i_t = \frac{N_{motor}}{N_{carrinho}} \therefore 131 = \frac{5500}{N_{carrinho}} \therefore N_{carrinho} = 41,98rpm \quad (3.17)$$

Pode-se afirmar que com esta redução, a rotação final do carrinho será conforme desejado inicialmente, de no máximo 45 rpm, e calculado a rotação máxima, encontra-se a velocidade máxima que o protótipo irá alcançar, isso claro desprezando as perdas nas engrenagens, o peso do carro e das placas eletrônicas, o atrito e outras perdas, como o diâmetro da roda é de 66 mm, tem-se:

$$v = \pi \times d \times N \therefore v = \pi \times 0,066 \times 41,98 \cong 8,57m/s \quad (3.18)$$

Como a velocidade máxima é menor que a calculada acima devido as perdas que há na transferência de movimento entre as engrenagens, perdas de atrito, etc, pode-se afirmar que a velocidade encontrada é ideal para a aplicação que destina este protótipo, a qual pode ser uma velocidade baixa para expressar a aplicação desejada.

3.2.3 Chassi e segundo pavimento

Calculado a redução para que se tenha a velocidade final igual a estipulada, o próximo passo no projeto mecânico foi a definição da geometria do chassi. Para definir a forma levou-se em consideração as dimensões do motor, as dimensões da caixa de engrenagens e a dimensão do sensor ultrassônico que será acoplado na parte frontal do chassi. No projeto deste componente foi pensado também nos furos para fixação dos eixos, suportes para motor, fixação do segundo pavimento e além do parachoque. Logo foi idealizado um chassi com 250 mm de comprimento, 160 mm de largura e 6mm de espessura, conforme segue na **Figura 3.6** tirado do projeto em *SolidWorks* em vista isométrica:

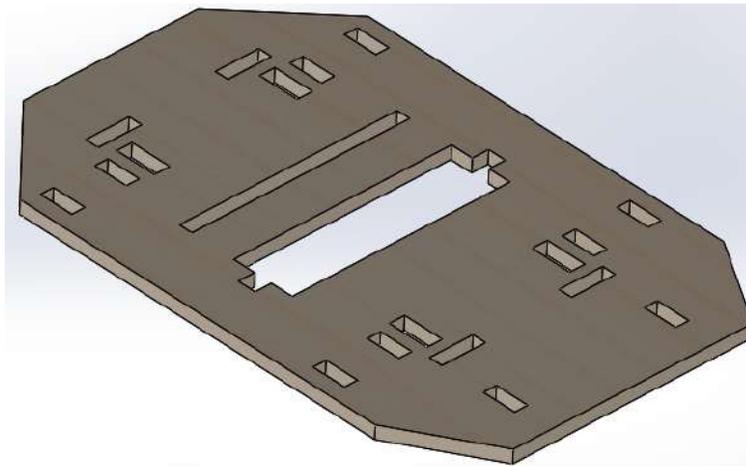


Figura 3.6: Chassi

Com intuito de facilitar o projeto mecânico, definiu-se o material do chassi em madeira de MDF pois, para construção fica fácil de manipular, como realização de furos, fixação das placas com parafusos e montagem do protótipo e o material pode ser cortado a laser e além de ser leve e resistente.

Para acoplar as placas eletrônicas e o sistema de alimentação do carrinho, foi definido que a melhor maneira de resolver essa questão seria um segundo pavimento em MDF, visto que o espaço na parte inferior foi limitado pela caixa de redução, motores e suportes de fixação. Com isso foi definido que a geometria do segundo pavimento seria a mesma do primeiro, por questões de estética e dessa forma atenderia a função desejada, então foi projetado alguns furos para passagem dos chicotes e para fixação do mesmo ao primeiro pavimento, através de hastes e travas, conforme segue na **Figura 3.7** tirado do projeto em *SolidWorks* em vista isométrica:

Desenvolvido a estrutura mecânica básica do pavimento inferior, foi feito a montagem dos suportes de fixação, o qual é acoplado os motores, os eixos das engrenagens e as engrenagens para a caixa de redução. A montagem é desmonstrada na **Figura 3.8** em vista superior, **Figura 3.9** em vista frontal, **Figura 3.10** em vista isométrica da porção superior e **Figura 3.11** em vista isométrica da porção inferior do chassi.

Feito a montagem dos suportes, o próximo passo foi a criação dos motores, os eixo de transmissão e acoplar as engrenagens com as dimensões calculadas e isso tudo feito em *Solid* e pode ser visto na **Figura 3.12** em vista superior e na **Figura 3.13** em vista isométrica.

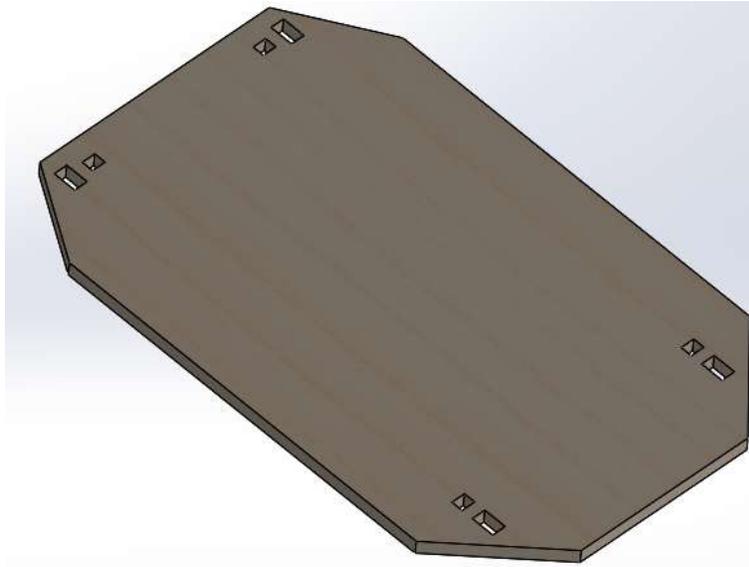


Figura 3.7: Segundo pavimento

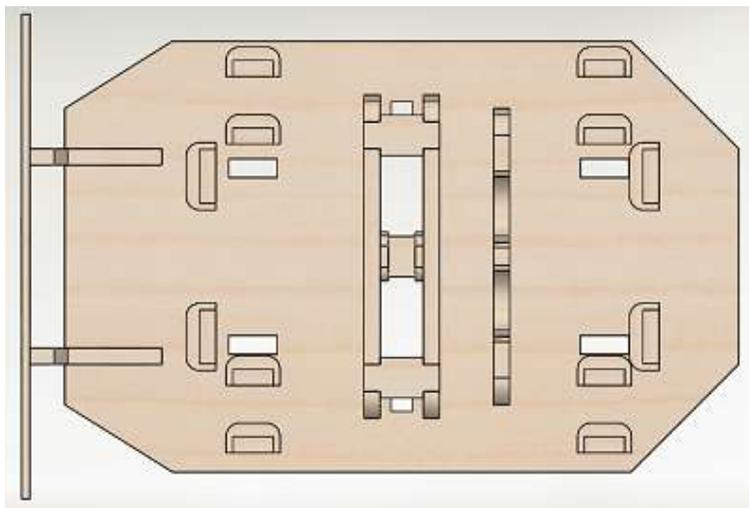


Figura 3.8: Chassi com suportes vista superior

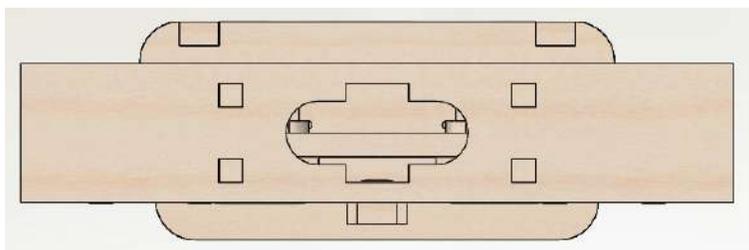


Figura 3.9: Chassi com suportes vista frontal

Projetado a estrutura básica do primeiro pavimento do chassi e a caixa de redução, foram desenhadas as engrenagens com o número de dentes e módulo calculado anteriormente, afim de evidenciar, montar o projeto em CAD e avaliar o funcionamento, conforme pode ser visto na

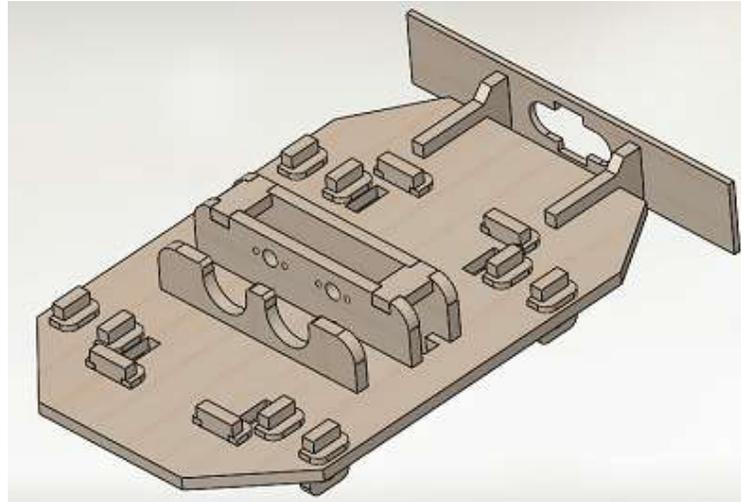


Figura 3.10: Chassi com suportes vista isométrica da parte superior

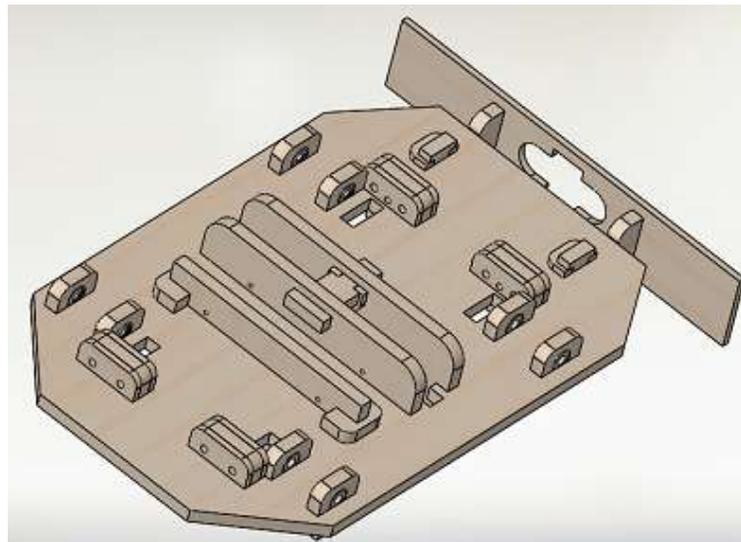


Figura 3.11: Chassi com suportes vista isométrica da parte inferior

Figura 3.14.

Após realizado o projeto dos dois pavimentos do protótipo foi feita a montagem do suporte para as baterias de alimentação e placas eletrônicas. O espaço de instalação foi dimensionado corretamente em *Solidworks*, para que na montagem não houvesse qualquer tipo de interferência, com a utilização das medidas reais de todos os componentes. Na **Figura 3.15** é evidenciada a montagem do segundo pavimento com alguns dos componentes posicionados.

3.2.4 Especificação de Componentes

Neste tópico será abordado as especificações dos componentes mecânicos, além de uma breve descrição de como será feito a montagem física do protótipo, no âmbito mecânico

Chassi e segundo pavimento

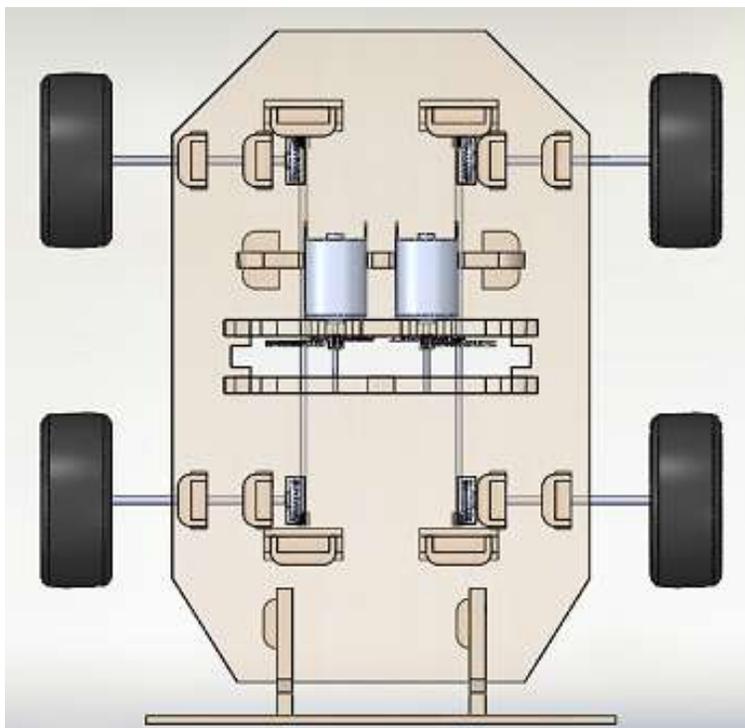


Figura 3.12: Montagem do chassi com engrenagens e motores em vista superior

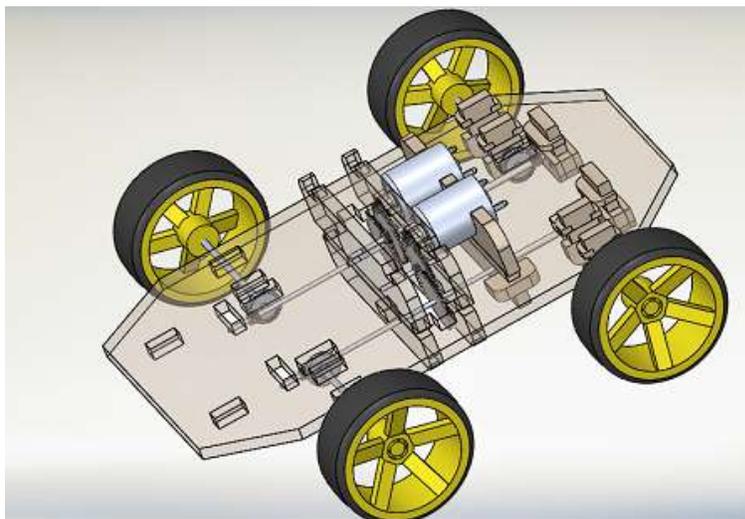


Figura 3.13: Montagem do chassi com engrenagens e motores em vista isométrica

O perfil utilizado para construção do chassi será de madeira MDF, com espessura de 6 mm, os cortes para acoplar os suportes dos motores e engrenagens serão feitos a laser, seguindo as dimensões do projeto feito em *SolidWorks* e que pode ser visto no Apêndice B **Figura B.1** junto com o paracheque do carrinho, o qual será acoplado o sensor ultrassônico e a justificativa de sua geometria é para não interferir no range do sensor. Os cortes serão feitos a laser afim de obter precisão e linearidades nos cortes, para que na motagem as peças se encaixe perfeitamente. Os suportes que sustentam os motores e as engrenagens também serão feitos de MDF, porém

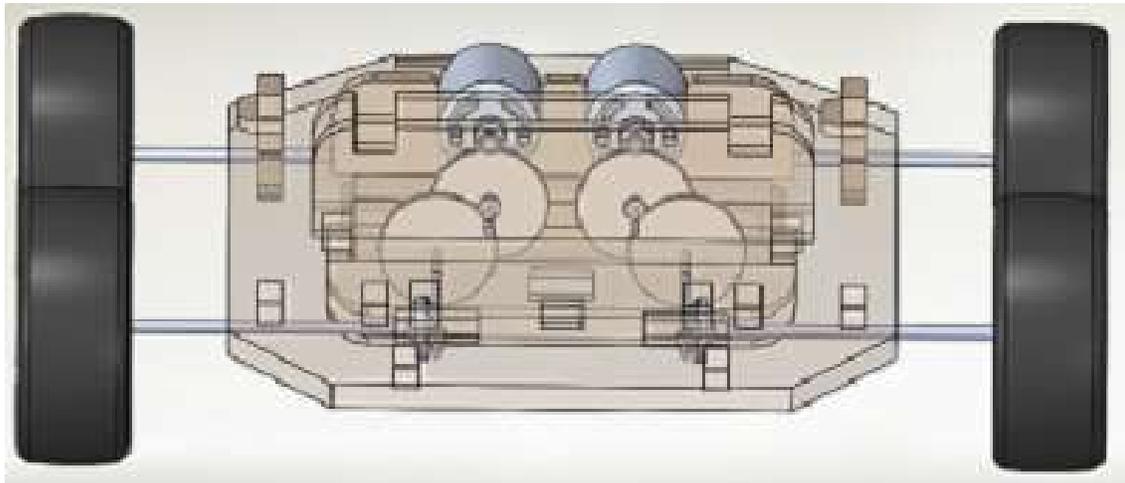


Figura 3.14: Montagem do chassi evidenciando a caixa de redução

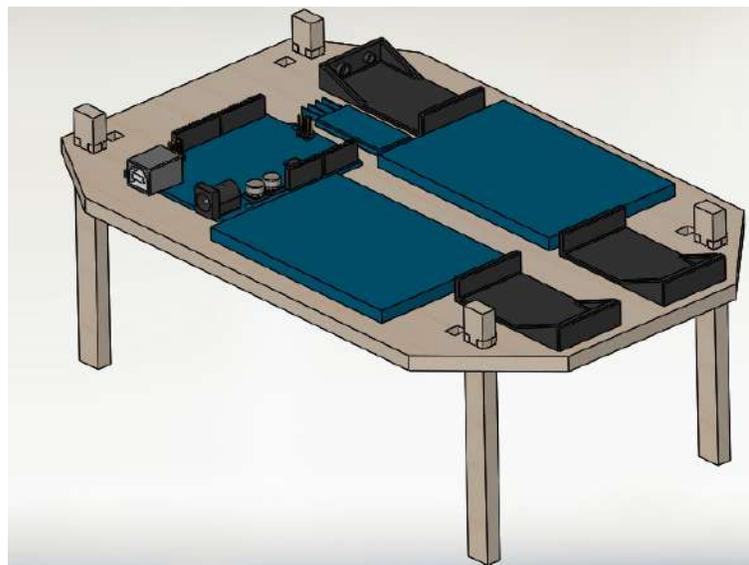


Figura 3.15: Montagem do segundo pavimento

com a espessura de 3 mm e outras peças com 6 mm, os cortes também serão feitos a *laser*. O formato do chassi pode ser visto na **Figura 3.10** em vista isométrica.

Na montagem física do projeto será utilizado cola específica de madeira para fixar os suportes ao chassi.

O segundo pavimento também será feito de MDF, com geometria idêntica ao primeiro pavimento e será com espessura de 6 mm, o desenho utilizado para corte a laser pode ser visto no Apêndice B, **Figura B.2**

Engrenagens

As engrenagens que serão utilizadas na caixa de redução, apresentam módulo 0,5 e como material nylon, o diâmetro interno é de 2 mm, e serão utilizados dois tipos de engrenagens, de dentes retos e engrenagens cônicas. Na **Figura 3.16** mostra duas engrenagens com dentes retos

e na **Figura 3.17** mostra duas engrenagens do tipo cônicas ambas isoladas no projeto em CAD.

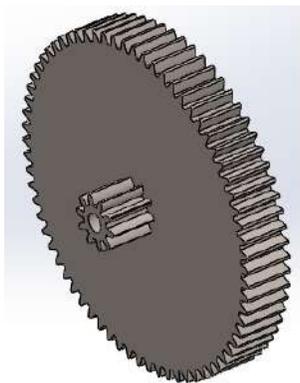


Figura 3.16: Engrenagens de dentes retos

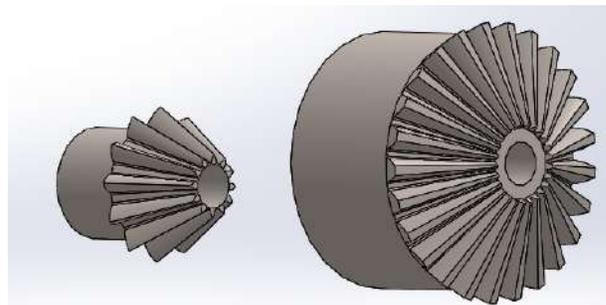


Figura 3.17: Engrenagens cônicas

Mancal, rolamento e eixo

Serão utilizados oito rolamentos 623, os quais tem diâmetro interno de 3 mm e 10 mm de diâmetro externo, dois pares para cada roda, esses rolamentos são esféricos e blindados e pode ser visto na **Figura 3.18**, além de mais quatro rolamentos acoplados no suporte para fixar os eixos intermediários das engrenagens, esses rolamentos apresentam diâmetro interno de 2 mm e diâmetro externo de 5 mm, também são esféricos e blindados e pode ser visualizado na **Figura 3.19**. Vale ressaltar que no projeto em CAD, os rolamentos não foram feitos blindados, com intuito de evidenciar as esferas, mas os que foram comprados e aplicados no projeto são blindados.

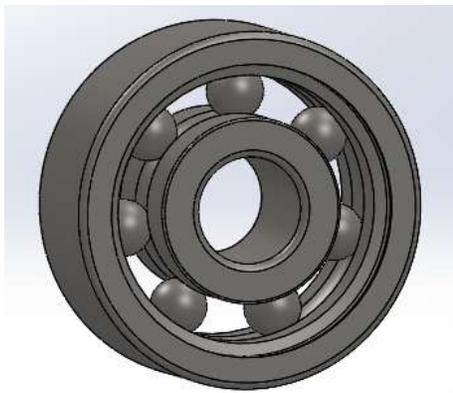


Figura 3.18: Rolamento 623

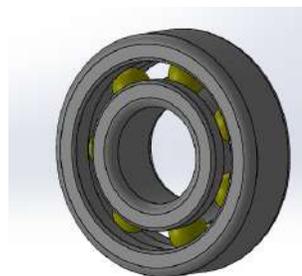


Figura 3.19: Rolamento 2x5 mm

Foi preciso dois tipos de mancais, um com furo de 10 mm que pode ser visto na **Figura 3.20** e outro com furo de 5 mm que pode ser visto na **Figura 3.21**, os mancais comportarão os rolamentos e o diâmetro interno, varia de acordo com o diâmetro externo do rolamento a ser fixado. O material dos mancais é de MDF, com 3 mm de perfil, e será cortado a laser, garantindo o perfeito encaixe na montagem.

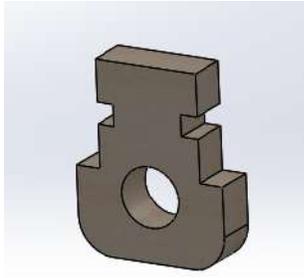


Figura 3.20: Mancal para rolamento 623

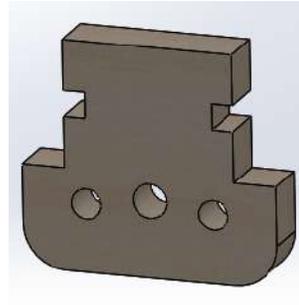


Figura 3.21: Mancal para rolamento 5x2 mm

O projeto apresenta três tipos de eixos para transmissão do movimento, o material é de aço e são comum entre eles, são utilizados dois eixos menores, com comprimento de 28 mm e diâmetro de 2 mm para dar suporte as engrenagens duplas, dois eixos maiores com 170,5 mm de comprimento e diâmetro de 2 mm, estes ligam o motor as rodas, através do diferencial e por último, os eixos que são acoplados nas rodas, os quais apresentam 82,5 mm de comprimento e 3 mm de diâmetro, são utilizados quatro desses eixos e eles foram adquiridos a partir de drive de CD/DVD de desktop, os demais foram comprados.

Suportes e travas para fixação

Com o intuito de posicionar corretamente os motores, eixos e engrenagens, foram projetados três suportes, estas peças também tem o intuito de auxiliar na montagem do projeto, afim de que não aja qualquer erro de posicionamento dos componentes citados anteriormente, trabalhando como uma espécie de gabarito, evitando o desgaste prematuro das engrenagens e diminuindo o atrito no movimento e sem mencionar a praticidade de posicionar estes componentes com os suportes. Na **Figura 3.22**, mostra em vista isométrica o suporte dos motores, na **Figura 3.23** exhibe também em vista isométrica os dois suportes para posicionar as engrenagens da caixa de redução.

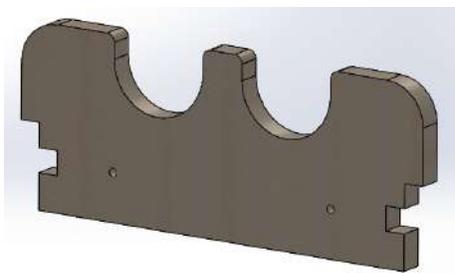


Figura 3.22: Suporte dos motores

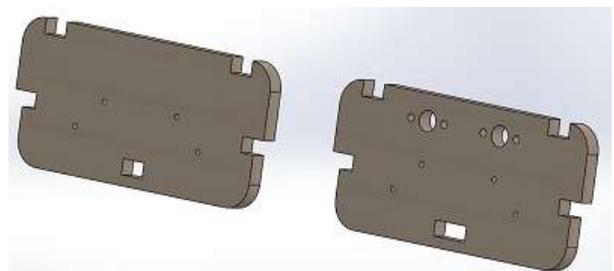


Figura 3.23: Suportes das engrenagens

Vale ressaltar que estes suportes foram cortados a laser e o material é MDF, com espessura de 6 mm, a escolha da geometria de cada suporte é devido a disposição das engrenagens e da dimensão dos componentes que foram acoplados à eles.

Para fixar as peças, mancais, suportes e as hastes do segundo pavimento foi desenvolvida travas em MDF no formato de "U", que acoplam nestas peças a serem fixadas para garantir uma boa fixação. As peças a serem presas por estas travas tem o recorte em seu corpo com a dimensão da trava a ser acoplada. No Apêndice B **Figura B.3** tem-se a vista 2D com as cotas utilizadas para cortar as travas e suportes a *laser*.

3.2.5 Projeto Mecânico em *SolidWorks*

O *SolidWorks* permite o desenvolvimento de modelos complexos e bem elaborados além de ter a liberdade de simular o movimento de seu modelo e averiguar se os cálculos feitos em seu projeto estão corretos através de análises de movimento, tração e outros testes mecânicos. No *Solidworks* foi projetado e desenhado cada componente em 3D e com as dimensões exatas de como será o protótipo real, e em sequência realizou-se a montagem virtual da parte mecânica do projeto. A justificativa de usar tal *software* é estimular o aprendizado de um programa CAD de extrema utilidade nas engenharias e muito utilizado na indústria. A montagem virtual também facilitou bastante o processo de construção, bem como os cortes a *laser* das chapas e o posicionamento correto de cada componente, com a utilização dos desenhos em 2D.

Para finalizar o projeto em CAD, todos os componentes foram posicionados. Para fazer este tipo de posicionamento é utilizado conhecimento geométrico para que o posicionamento funcione e seja correto, bem como posicionamento de planos, circunferências concêntricas, retas perpendiculares e entre outras propriedades. com isso obtêm-se o protótipo que foi construído a partir desta montagem em CAD, a qual é evidenciada na **Figura 3.1** em vista isométrica e para efeitos de ilustração e entendimento, segue abaixo mais imagens da montagem final, em que na **Figura 3.24** tem-se a vista superior e na **Figura 3.25** tem-se a vista lateral e na **Figura 3.26** tem-se a vista trimétrica do projeto como um todo, faltando apenas evidenciar a fiação e LED's.

3.2.6 Montagem Mecânica do Protótipo

Neste tópico será abordado o procedimento utilizado para montagem mecânica física do protótipo, como o projeto foi desenvolvido em *SolidWorks*, e a maioria das peças foram cortadas a laser, a montagem se torna simplificada, pois na etapa de desenvolvimento virtual, foi levado em consideração a montagem física e cada peça foi desenvolvida para ser eficiente e prática na montagem.

Primeiramente foi adaptado buchas para as rodas do carrinho, teve de ser feita essa adaptação, pois, a região de fixação das rodas apresentava dois rasgos internos de chaveta e seu diâmetro era bem maior do que o eixo a ser acoplado, o diâmetro interno da rodinha apresentava uma magnitude de 4,5 mm e o diâmetro do eixo é 3 mm, com isso foi necessário esta adaptação para centralizar o eixo no furo interno da rodinha.

Então para produzir a bucha, foi usinado no torno, a partir de um tarugo de alumínio com diâmetro de 16 mm, para se ter buchas com dimensões de 6 mm de diâmetro externo, 3 mm de diâmetro interno e 10 mm de comprimento, para realizar o furo interno, foi utilizado uma broca

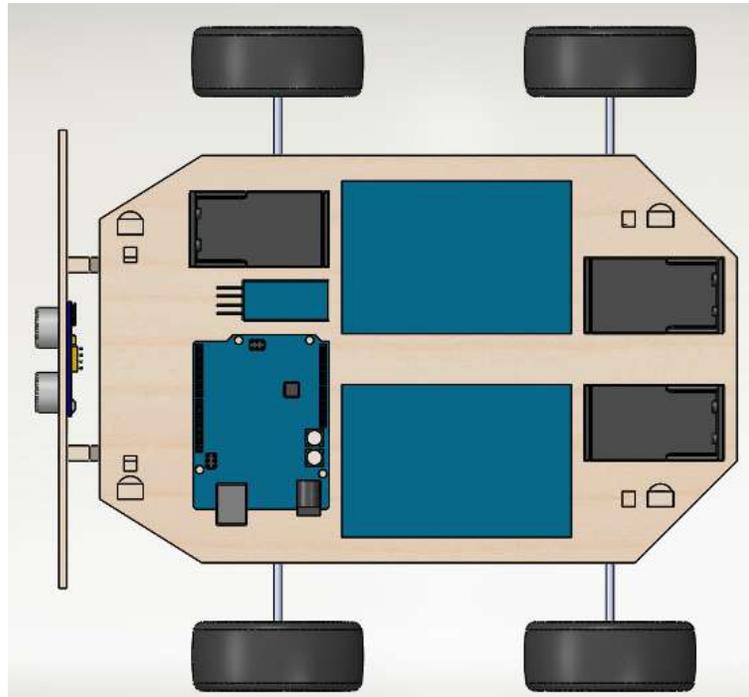


Figura 3.24: Montagem final em vista superior

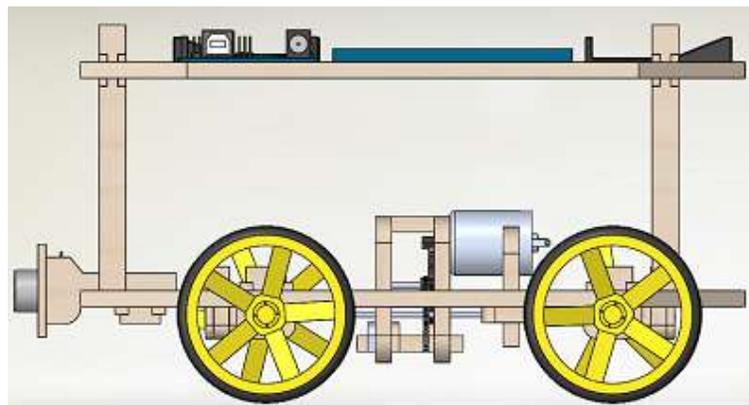


Figura 3.25: Montagem final em vista lateral

presa ao contraponto, e com o tarugo preso no torno realizou-se a furação, mas sempre com o devido cuidado para que o cavaco percorresse os canais helicoidais, evitando assim a quebra da broca de aço rápido. Para usinar o tarugo, a peça foi desbastada com um passe de profundidade de 2 mm, à uma velocidade de rotação de 450 RPM, para conferir se a peça havia alcançado o diâmetro desejado, foi utilizado o paquímetro como instrumento de medição. Alcançado o diâmetro requerido, trocou-se a ferramenta de desbaste para uma de corte e então realizou o corte das buchas. Vale ressaltar que esse procedimento foi realizado duas vezes, pois em cada usinagem produzia duas buchas e o protótipo apresenta quatro rodas.

Usinadas as buchas, foi feito um furo nas rodas, utilizando novamente o torno, para abrir a região de fixação do eixo, com isso foi passado uma broca de 5,5 mm, para as buchas entrarem

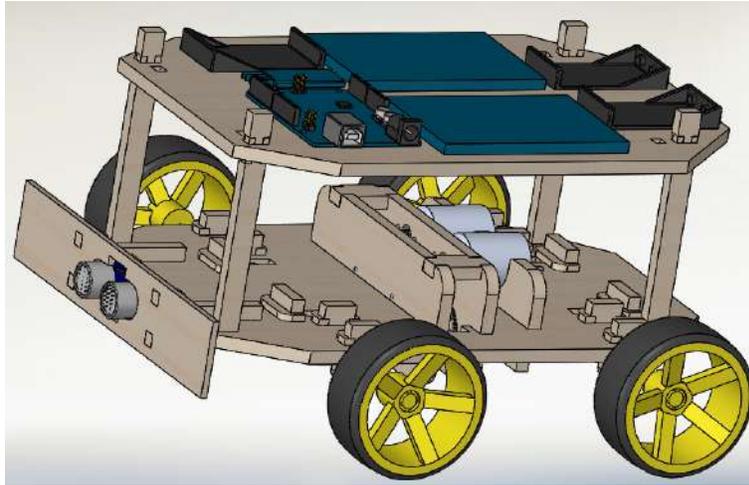


Figura 3.26: Montagem final em vista trimétrica

com pressão e fixar nas rodas. Para fixar o eixos nas buchas foi utilizado cola do tipo epóxi. A **Figura 3.27** exhibe as rodas com os eixos já acoplados.



Figura 3.27: Rodas embuchadas e com eixos

Embuchadas as rodas, iniciou-se a montagem do chassi do protótipo, como mencionado anteriormente, as peças foram projetadas para eixaixarem uma nas outras e serem fixadas com travas feitas em MDF. Conforme o projeto em CAD, logo iniciou-se a montagem a partir da parte inferior do carrinho, para garantir uma boa fixação, foi utilizado cola de madeira. Primeiro

foram montados os motores, junto aos seus suportes e fixados por parafusos M3, depois foi fixado os suportes para posicionamento das engrenagens e os eixos intermediários. Os mancais foram presos no chassi do veículo, por travas e cola, os rolamentos foram fixados nesses mancais por pressão e um pouco de cola epóxi, e para garantir a centralização, foram utilizados arruelas de acrílico, como calço. Com isso foi fixado as rodas com os eixos preso à elas, para garantir que o eixo não deslocasse sobre a pista do rolamento, o mesmo foi colado à pista, finalizado esse procedimento, a primeira etapa da montagem estava concluída. A **Figura 3.28** exibe a parte superior desta etapa, evidenciando o posicionamento e fixação dos motores, já a **Figura 3.29** evidencia a parte inferior, exibindo os eixos e engrenagens posicionadas.

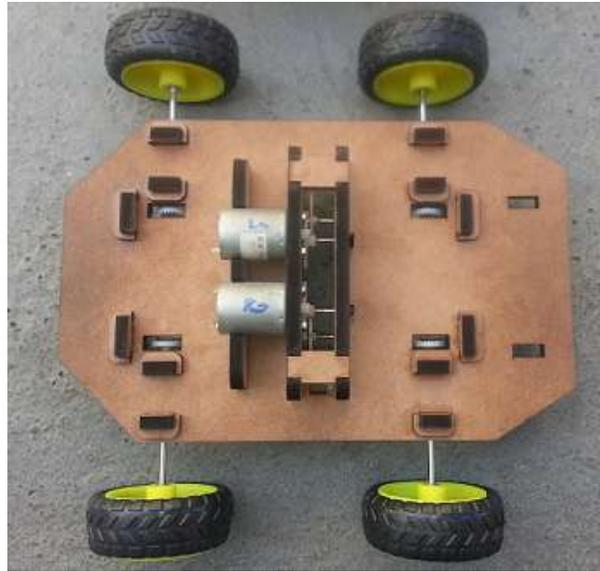


Figura 3.28: Montagem Mecânica - Vista superior

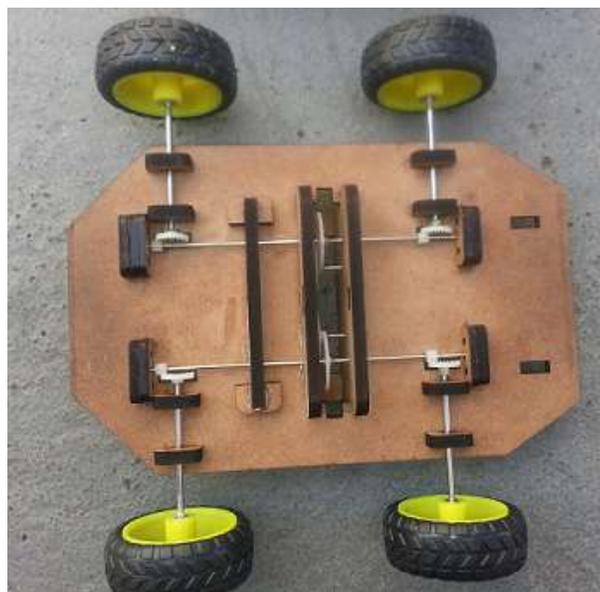


Figura 3.29: Montagem Mecânica - Vista inferior

Concluído a montagem do primeiro pavimento, foi verificado se as engrenagens foram engrenadas corretamente, para realizar este teste, ligou-se o motor diretamente a bateria de 9 V e comprovou-se que não estava pulando nenhum dente, em cada par de engrenagem e que ocorria o movimento de giro com pouca interferência.

Realizado o teste intermediário, iniciou-se a montagem do segundo pavimento, com isso foi fixado as hastes nele, através de travas e cola, com isso as hastes foram posicionadas no primeiro pavimento e coladas. A **Figura 3.30** evidencia a montagem mecânica final em vista superior, **Figura 3.31** em vista lateral e a **Figura 3.32** em vista isométrica.



Figura 3.30: Montagem Mecânica completa - Vista superior



Figura 3.31: Montagem Mecânica completa - Vista lateral



Figura 3.32: Montagem Mecânica completa - Vista isométrica

3.3 Concepção Eletrônica

O conceito eletrônico do sistema utilizado no protótipo consiste na utilização de uma placa de prototipagem eletrônica *Arduíno*, Arduíno [2013a], com microcontrolador embarcado com a função de receber os sinais do sensor ultrassônico e do controle sem fio para efetuar o controle da plataforma com atuação nos motores e iluminação.

Neste tópico é descrito o diagrama elétrico e de conexões do protótipo. Os componentes descritos aqui são especificados com maiores detalhes no tópico de especificação de componentes. O conceito para comunicação sem fio foi idealizado a partir da recepção de sinais através da porta serial do Arduíno e o módulo *bluetooth* adotado, que é o responsável pela comunicação sem fio entre o Arduíno e um celular com sistema operacional *Android*, no qual será realizado o controle para movimentação do protótipo.

O diagrama elétrico da **Figura 3.33** resume a forma como estão dispostos os componentes eletrônicos em termos das entradas e saídas digitais do Arduíno.

- Há 04 *Leds* no protótipo. Dois deles são brancos de alto brilho e funcionam análogos aos faróis de um veículo e estão dispostos na parte frontal do protótipo. Estes funcionam de modo síncrono, ou seja, são acionados por 1 única porta do *Arduíno*, neste caso a saída digital 04. Análogo a estes temos também outros 2 *Leds* vermelhos de alto brilho, posicionados na parte de trás do protótipo que faz analogia às lanternas de um veículo e são acionados também por uma única saída digital do *Arduíno*, a número 03. É necessário ainda que haja resistências para conexões destes componentes (100Ω), para funcionar como proteção para o componente e limitar a corrente máxima de saída. Todos os *Leds* podem ser ligados a um GND comum, ou no próprio GND do *Arduíno*.
- O módulo *bluetooth* utilizado (JY-MCU), tem 04 terminais para conexão. Ele utiliza a porta serial do *Arduíno* (*TX/RX*) para transmissão e recepção de sinais. A ligação aqui é realizada de forma cruzada, ou seja, o terminal de saída do módulo denominado *RXD* é conectado no terminal de entrada *TX* do *Arduíno*, e conseqüentemente o terminal de saída *TXD*, do módulo é conectado ao *RX* da placa eletrônica. Além disso, o módulo é alimentado com $5V_{cc}$, que será alimentado pelos 5V fornecidos pelo *Arduíno* e também conectado a um GND comum.

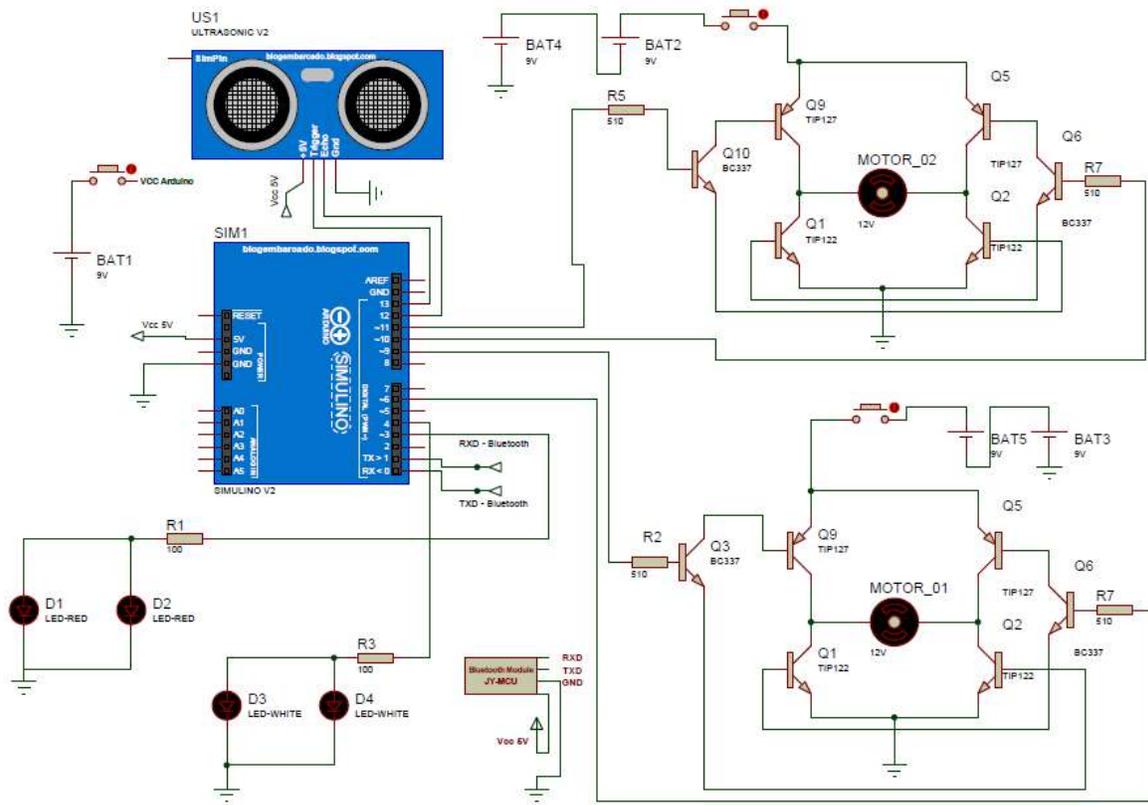


Figura 3.33: Diagrama Elétrico

- Motores: Como será detalhado posteriormente, para controle dos motores foi necessário especificação de um circuito elétrico, *Ponte H*. Este circuito será acionado pelas saídas PWM (*Pulse-Width Modulation*) do *Arduíno*. O *Motor 01* do diagrama tem as chaves eletrônicas que acionam o circuito ligadas às saídas PWM 06 e 09. As chaves eletrônicas de acionamento do *Motor 02* são acionadas pelas saídas PWM 10 e 11. As saídas PWM na placa eletrônica são identificadas por um " ", antes do número. No total são 06 saídas fornecidas pelo *Arduíno UNO*.
- Os motores são alimentados por 2 Baterias de 9 V cada um.
- O *Arduíno* é alimentado também por uma bateria de 9 V.
- O sensor ultrassônico especificado, HC-SR04, também possui 04 terminais de conexões. A alimentação, V_{cc} , é conectada aos 5 V fornecidos pelo *Arduíno* e o GND ao GND comum do circuito. O *TRIG* é conectado a um terminal digital do *Arduíno*, neste caso o número 13. E o terminal *ECHO* conectado a outro terminal digital, número 12. Estes terminais são utilizados para transmissão e recepção do sinal pelo sensor.
- Para a alimentação e acionamento dos motores e do arduíno, são utilizados 3 switches, que permitem a alimentação direta da bateria de 9V no *Arduíno* e também das baterias em cada ponte H referente aos motores.

Para o controle de motores foi necessário o estudo de inversão do sentido de rotação do motor (horário ou anti-horário), *Conversor CC - Ponte H*, para movimentação da plataforma

para frente ou para trás e o controle de velocidade através da modulação por largura de pulsos (PWM), que foi necessário para definir também a direção de movimentação, para esquerda e para direita do protótipo. Os tópicos com a fundamentação teórica em relação aos assuntos abordados são descritos a seguir.

3.3.1 Conversor CC - Ponte H

Para o controle do sentido de rotação dos motores foi necessário o estudo inicial do circuito aplicado no projeto denominado Ponte H. O foco principal aqui será a discussão sobre o funcionamento do *conversor em ponte completa*.

Este circuito é utilizado para controlar um motor de corrente contínua a partir de sinais gerados por um microcontrolador. É possível a alteração no sentido da rotação do motor a partir da inversão da polaridade sobre seus terminais Patsko [2006]. A utilização deste circuito também é muito importante do ponto de vista de alimentação do motor CC, visto que a tensão/corrente das saídas digitais do *Arduíno* não são suficientes para o motor utilizado (neste caso, 12 V_{cc}), portanto, a saída digital funciona apenas como sinal de controle, e também será utilizada como variação na velocidade de rotação, o que será discutido na segunda parte deste projeto (PWM).

A inversão de polaridade dos motores poderia ser realizada manualmente, por meio de switches mecânicos. Entretanto, para este projeto especificamente em que é feito um controle remoto da plataforma, tal procedimento torna-se inviável. Uma Ponte H tem este nome por ser um circuito, composto por quatro chaves mecânicas ou eletrônicas posicionadas de tal forma que o formato é da letra "H", como mostrado na **Figura 3.34**, em que V+ representa a alimentação necessária para o motor. As chaves eletrônicas utilizadas serão transistores, especificadas no tópico 3.3.3, Especificação de Componentes

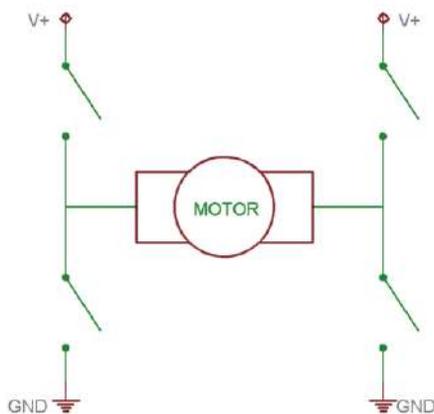


Figura 3.34: Ponte H - Circuito Básico, Patsko [2006]

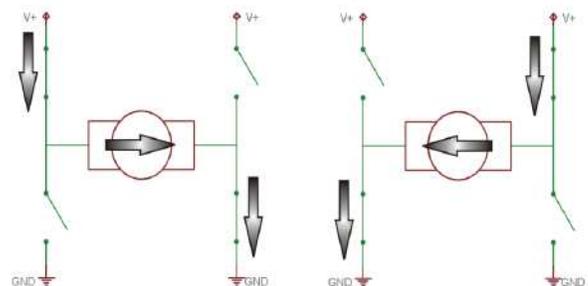


Figura 3.35: Ponte H - Combinação de chaves eletrônicas, Patsko [2006]

Para que haja funcionamento do motor, basta duas chaves diagonalmente opostas sejam acionadas, fazendo com que a corrente flua do pólo negativo para o positivo do motor fazendo-o

girar. Para inversão desta rotação, basta desligar estas chaves e efetuar a ligação das outras duas chaves diagonalmente opostas. Um mecanismo que poderia ser utilizado como "freio", seria o acionamento das duas chaves superiores, pois, como o motor gera uma diferença de potencial entre os seus terminais, quando conectado no mesmo pólo, fará com que um curto-circuito aconteça no motor, forçando uma parada instantânea do motor. O maior cuidado a ser tomado em circuitos como este é para não ser acionadas chaves do mesmo lado da Ponte H, visto que deste modo, o fluxo de corrente irá direto do pólo positivo para o mais negativo (GND), causando assim um curto-circuito que pode danificar a fonte de alimentação, e todos os demais componentes.

A **Figura 3.35** demonstra a combinação necessária das chaves eletrônicas para inversão de polaridade do motor

Para o projeto em questão, em que foram utilizados dois motores DC, foi necessário o uso de dois circuitos de Ponte H independentes.

A aplicação dos transistores como chaves eletrônicas, possui um problema que é observado em Mohan [1995], quando este é desligado: as propriedades indutivas do motor forçam a corrente a continuar fluindo, o que pode danificar os transistores. Desta forma, diodos são inseridos antiparalelos aos transistores permitindo a drenagem desta corrente. Estes diodos são chamados diodos de roda livre.

3.3.2 PWM

Fundamentação Teórica

Para o controle da velocidade de um motor de corrente contínua, uma das técnicas que geralmente são utilizadas é o controle via modulação por largura de pulso, PWM. A técnica para este controle é relativamente simples pois, basta variar a tensão média aplicada na armadura do motor. A prova desta questão se dá através do equacionamento que se segue:

O torque do motor é dado por:

$$T = k.i_a \quad (3.19)$$

- k = constante de torque (fornecido pelo fabricante)
- i_a = corrente de armadura do motor
- T = Torque do motor

A equação que relaciona a velocidade do motor e o torque é dado por:

$$T = \omega.f \quad (3.20)$$

- ω = velocidade angular (rad/s, rpm).
- f = coeficiente de atrito

Substituindo o Torque na Equação 3.19, pelo obtido em 3.20, temos a velocidade em função das variáveis desejadas:

$$\omega = \frac{k \cdot V_a}{f \cdot R_a} \quad (3.21)$$

- V_a = Tensão de armadura do motor
- R_a = Resistência de armadura do motor

A partir da Equação 3.21, nota-se que quanto maior a tensão aplicada, maior a velocidade de rotação do motor.

Para o controle da tensão aplicada no motor, utiliza-se uma chave eletrônica, MOSFET, TBJ, TIP, etc, que será aberta ou fechada o percentual de tempo desejado pelo operador. Na **Figura 3.36** temos a exemplificação:

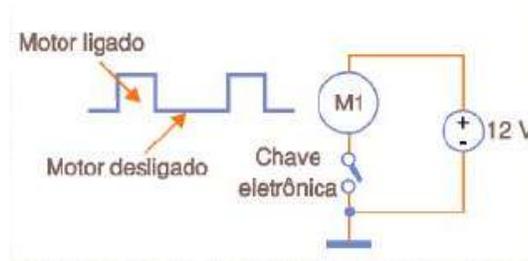


Figura 3.36: Circuito básico - PWM, Atual [2013]

A variação da largura do pulso imposta na base do transistor, faz com que a tensão média entregue para alimentação do motor seja diferente de acordo com o *duty cycle*, razão cíclica de trabalho. A tensão média do motor pode ser calculado a partir da Equação 3.22.

$$V_{media} = V_{maxima} \cdot \frac{D}{t} \quad (3.22)$$

- V_{media} = tensão média do motor
- V_{maxima} = tensão máxima aplicada ao motor
- D = tempo em que o motor está ligado
- t = período do sinal aplicado ao motor
- $\frac{D}{t}$ = Ciclo ativo

Como chave eletrônica, recomenda-se utilizar MOSFET ou TIP (transistor darlington), visto que estes possuem menor dissipação de potência, pois a tensão dreno-fonte é menor se comparada à tensão coletor-emissor dos transistores bipolares de junção, TBJs.

PWM - Arduíno

A utilização do PWM em conjunto com o microcontrolador Arduíno possui a vantagem de já ter um módulo embarcado que produz o sinal oscilador necessário para ser aplicado na base da chave eletrônica.

A utilização é análoga à do microcontrolador PIC, quando se utiliza as saídas digitais denominadas CCP (capture, capture, PWM). A configuração da razão de trabalho desejada é realizada através da programação do microcontrolador.

No Arduíno especificamente, a função utilizada para determinar a tensão de saída desejada nos terminais é a *analogWrite()*, que faz com que a tensão operacional dos terminais digitais variem entre 0V e 5V. O que determina o percentual da razão cíclica aplicada na saída do terminal é o parâmetro informado de acordo com a escala de 0 à 255.

Na **Figura 3.37**, pode ser visto as variações de largura de pulsos em função da escala utilizada como parâmetro da função *analogWrite()*.

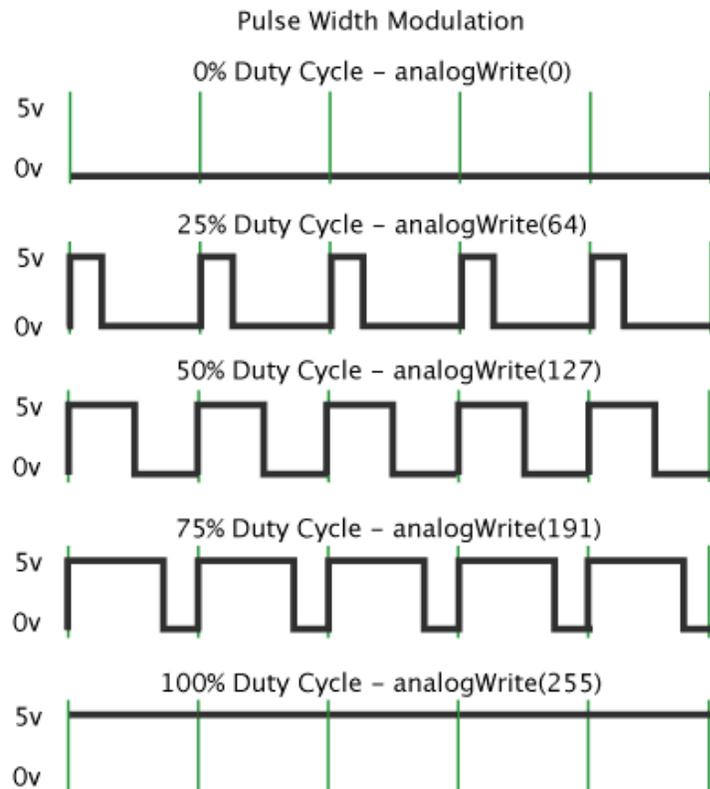


Figura 3.37: Escala de modulação por largura de pulso no Arduíno, Tutorial [2013]

Neste projeto especificamente são utilizados 04 terminais como saídas digitais PWM, para o controle da plataforma em sentido da rotação horária e anti-horária dos motores, utilizando em conjunto o conversor CC-CC (Ponte H), para inversão da polaridade dos motores. O controle PWM foi utilizado para a realização de curvas da plataforma em que se faz necessário a rotação de um dos motores mais elevada do que a do outro.

Na sessão relacionada à Concepção Computacional do protótipo é descrito o código utilizado para testes em laboratório da modulação por largura de pulso em termos da escala aplicada. Os resultados são comentados no tópico de Testes, Simulações e Análises.

3.3.3 Especificação de Componentes

Microcontrolador

O microcontrolador utilizado é o *ATMEGA328P*, este microcontrolador é embarcado em uma placa de prototipagem eletrônica denominada *Arduíno UNO* Arduíno [2013a], **Figura 3.38**, cuja utilização tem crescido bastante nos últimos anos na utilização em sistemas de automação residencial de baixo custo, por exemplo Info [2012]



Figura 3.38: Arduíno UNO - Microcontrolador ATmega328P, Arduíno [2013a]

Uma grande vantagem de utilização desta plataforma é o fato de ser uma plataforma de computação em código aberto que permite ser personalizada e utilizada no desenvolvimento de objetos interativos, automação de sistemas com custo não elevado. Além disto, esta placa permite a possibilidade de trabalho com interação via *bluetooth*, a qual foi utilizada também neste trabalho, para direcionamento da plataforma via comandos recebidos de um celular com sistema operacional *Android*. Algumas características principais são relacionadas na **Tabela 3.1**, e o diagrama elétrico está disponível no **Apêndice C, Figura C.1**:

Sensor Ultrassônico

Sensores ultrassônicos são frequentemente chamados de *Transdutores*. A função deste transdutor é converter a energia elétrica em energia mecânica correspondente à vibração ultrassônica. A forma comumente utilizada para geração e detecção de ondas ultrassônicas utiliza o efeito piezoelétrico de um cristal, como quartzo. Este efeito *piezoelétrico* desde que recíproco, ou seja, produz uma deformação em um material piezoelétrico quando uma tensão é aplicada ao material e por outro lado também produz uma tensão elétrica quando ocorre uma deformação mecânica no material, faz com que seja possível gerar e detectar ondas de ultrassom. O tamanho e a forma dos transdutores piezoelétricos devem ser precisamente concebidos em função da frequência desejada, Lhara [2008].

Um *piezoelétrico* consiste em conexões elétricas, materiais de revestimento (*backing material*),

Microcontrolador	ATmega328
Tensão Operacional	5 V_{cc}
Tensão de Alimentação	7,5 V a 12 V
Tensão de Alimentação (Limite)	6 - 20 V
Entradas - Saídas Digitais (<i>I/O</i>)	14 (06 saídas PWM)
Entradas Analógicas	06
Corrente Contínua <i>I/O</i> Digitais	40 mA
Memória Flash	32 KB (ATmega328) - 0,5 KB <i>bootloader</i>
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
<i>Clock Speed</i>	16 MHz

Tabela 3.1: Características Técnicas - Arduíno UNO - Arduíno [2013a]

camada frontal e uma cobertura (*casing*), como mostrado em uma construção típica na **Figura 3.39**. A camada frontal é utilizada como proteção do *piezoelétrico* contra agressões externas e influências ambientais, e também funciona como uma camada de harmonização de impedância com o qual a transferência de energia ultrassônica para o alvo é otimizada. O material de revestimento, ou bloco de amortecimento (*damping*), altera a frequência de ressonância do elemento e exclui as ondas ultrassônicas indesejadas refletidas na parede do fundo do *piezoelétrico*.

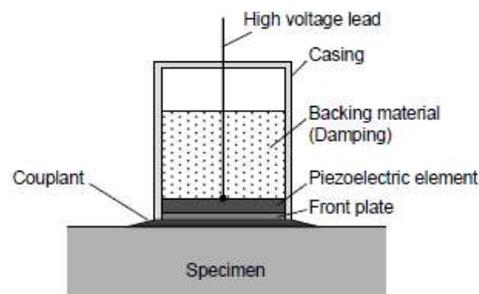


Figura 3.39: Típica construção de um *piezoelétrico*, Lhara [2008]

O sensor adotado no projeto para determinação da distância da plataforma aos obstáculos é o Sensor Ultrassônico HC-SR04, *datasheet* disponível em ElecFreak [2013], **Figura 3.40**

Este sensor, de acordo com as características disponibilizadas pelo fabricante, permite medir distâncias mínimas de 02 centímetros com alcance máximo a aproximadamente 04 metros. Basicamente, a maneira pela qual é possível este cálculo se dá através da reflexão (eco) de um sinal (ultrassom) emitido contra um objeto. O sinal de retorno é então captado pelo sensor, e a partir da velocidade do som, já conhecida de aproximadamente 340 m/s e o tempo total gasto para retorno do sinal emitido é possível prever a distância na qual se encontra o objeto mais próximo.

Em termos da conexão do sensor ao microcontrolador, o HC-SR04 possui 04 pinos de ligação:



Figura 3.40: Sensor Ultrassônico - HC-SR04, Elecfreak [2013]

- VCC: alimentação $5 V_{cc}$. (ligado a alimentação 5 V fornecida pela placa do Arduino).
- TRIG: pino de gatilho (pino de disparo do sinal), ligado a um dos I/O digitais da placa Arduino.
- ECHO: pino de eco (pino de retorno do sinal), ligado a um dos I/O digitais da placa Arduino.
- GND: 0 V. (conectado ao GND comum do circuito).

Algumas características técnicas são exibidas na **Tabela 3.3**. Outros detalhes técnicos quanto à utilização deste sensor, testes e calibração serão discutidos nos tópicos de Testes e Simulações.

Tensão Operacional	$5V_{cc}$
Corrente Operacional	$15mA$
Frequência Operacional	$40Hz$
Alcance Máximo	$04m$
Alcance Mínimo	$02cm$
Resolução	$0.3cm$
Ângulo de alcance	15°
Dimensões (AxLxP)	$20mm \times 45mm \times 15mm$

Tabela 3.2: Características Técnicas - Sensor Ultrassônico HC-SR04 - Elecfreak [2013]

Módulo *Bluetooth*

Para o controle remoto da plataforma, será realizado através de um módulo *bluetooth*, modelo JY-MCU, *datasheet* disponível em Foxytronics [2013], **Figura 3.41** em que o controle será através de um aplicativo de celular, já desenvolvido, para o sistema operacional *Android*, com tecnologia *bluetooth* para envio de sinais de direcionamento da plataforma. A parte computacional e detalhes sobre o aplicativo de controle são detalhados no capítulo relacionado à concepção computacional.

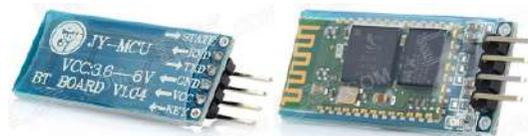


Figura 3.41: Módulo Bluetooth JY-MCU, Foxytronics [2013]

Há seis pinos de conexão, dentre os quais quatro são utilizados neste projeto. O pino *RXD* é conectado ao pino *TX* da porta serial do *Arduíno*, para recepção do sinal. O pino *TXD* é conectado ao pino *RX* do *Arduíno* para transmissão do sinal; O pino GND conectado ao GND comum do circuito, e por fim a alimentação do módulo, que varia entre 3.6V a 6V, é ligada à saída de 5V_{CC} do *Arduíno*.

Tensão Operacional	3.6 V a 6 V _{CC}
<i>BaudRate</i>	9600 bps
Alcance Máximom	10 m
Peso	7g
Dimensões (AxLxP)	44 mm x 16 mm x 7 mm

Tabela 3.3: Características Técnicas - Módulo Bluetooth JY-MCU, Foxytronics [2013]

Motores

Os dois motores utilizados são motores elétricos de corrente contínua, 12 V, alimentados por 2 baterias externas, de 9 V cada, **Figura 3.42**.



Figura 3.42: Motores DC 12 V

Os motores são alimentados por uma tensão bem superior ao necessário, mas esta alimentação não é direta, ou seja, a alimentação do total de 18 V é realizada na Ponte H de cada motor, e durante o processo há perdas e quedas de tensões nos transistores. Devido a estes fatores e também em relação à diminuição de rotação total devido ao conjunto de reduções aplicados, foi necessário uma aplicação bem superior de tensão de alimentação de cada motor. Maiores detalhes são abordados no tópico de Testes e Simulações dos motores.

Na **Tabela 3.4** são descritas algumas características informadas pela fabricante.

Tensão Operacional	12 V_{cc}
Velocidade Nominal	5500 rpm
Tipo de Eixo de Saída	Cilindro
Diâmetro do Eixo de Saída	2 mm
Comprimento do Eixo de Saída	10 mm
Diâmetro do Motor	25 mm
Corrente rotor bloqueado	1.0 A
Corrente a vazio	0.03 A
Peso	100 g

Tabela 3.4: Características Técnicas - Motores DC 12 V

Ponte H - Circuito Elétrico

O componente utilizado como chave eletrônica, foi o TBJ (*Transistor Bipolar de Junção*), devido a dificuldade de trabalho com *Transistores de Efeito de Campo* (MOSFET), visto que à baixa tensão na saída digital do Arduíno poderia impossibilitar com que o MOSFET fosse polarizado. Detalhes sobre o princípio de funcionamento de um TBJ não serão aqui demonstrados, o foco aqui será em relação à utilização deste transistor como **chave**.

Para que o TBJ opere como uma chave, utiliza-se os modos de operação: corte e saturação, Sedra [2007]. Considerando o circuito da **Figura 3.43**, tem-se a tensão de entrada v_i , como uma tensão que irá variar de acordo com a necessidade de utilização do TBJ:

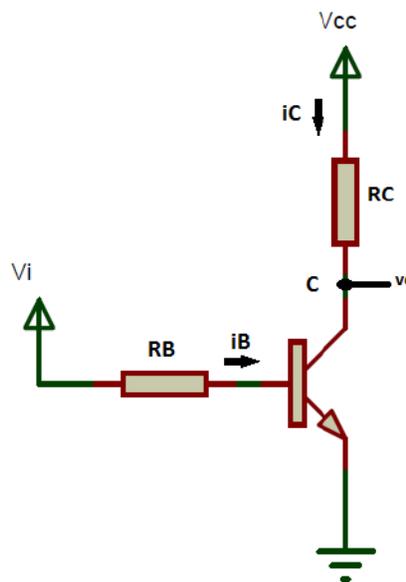


Figura 3.43: Circuito Elétrico - Transistor TBJ

Na figura em questão o TBJ utilizado é do tipo NPN, então para $V_i < 0,5$ V, o transistor estará em corte, com $i_B = 0$, $i_C = 0$, e $v_C = V_{CC}$. Neste estado, o nó C está desconectado do "terra" e a chave eletrônica estará na posição aberta. .

Para fazer com que a chave eletrônica se feche, o valor de v_i deve ser aumentado de tal forma que estava acima de 0,5V. A tensão base emissor, v_{BE} , deve estar em torno de 0,7 V, com v_i maior do que este valor. A corrente na base do transistor pode ser definida como em 3.23:

$$i_B = \frac{v_i - V_{BE}}{R_B} \quad (3.23)$$

Como citado anteriormente, há necessidade de diodos de roda livre, para que a corrente armazenada no motor percorra através destes diodos quando desligado o circuito, e com isso foram adquiridos TIP's para montagem da ponte H do projeto. O transistor TIP é um circuito *Darlington*, no qual tem-se dois TBJ's em série, com resistências e um diodo conectado entre o coletor e emissor do invólucro, com este circuito equivalente tem-se um transistor com especificações mais robustas, corrente de coletor e base maiores, tensão de trabalho maior e entre outras características.

Vale ressaltar que as fórmulas e raciocínio para projeto da ponte utilizando TIP's são os mesmos dos TBJ's

A partir destas definições, definem-se as resistências de base que serão utilizadas no projeto. Como a corrente na saída do terminal digital do Arduíno é de aproximadamente 40 mA, e a tensão v_i de aproximadamente 5 V, com V_{BE} igual à 1,4 V, pois a queda de tensão são para dois TBJ's, então 0,7 para cada um, com isso tem-se que:

$$40mA = \frac{5 - 1,4}{R_B} \quad (3.24)$$

$$\boxed{R_B = 90 \Omega}$$

Com este cálculo, nota-se que a resistência mínima na base, para o correto funcionamento do circuito, é de 90 Ω , sendo que isso é limitado pela corrente de saída no terminal do microcontrolador, mas nada impede de aumentar essa resistência, afim de diminuir a corrente na base e até mesmo diminuir um pouco a corrente no coletor do TBJ.

Então para definir a resistência da base, utilizou-se o software *PROTEUS* como simulador do circuito, com isso montou-se o circuito da ponte com TIP127 e TIP122 e resistência de base de 500 Ω , conforme pode ser visto na **Figura 3.44**.

Simulado a ponte H no *PROTEUS* e mensurando as tensões do circuito, notou-se dois aspectos que devem ser mencionados referente a esta configuração de ponte H:

- Primeiro aspecto é que a tensão de entrada deve ser 18 V, tem-se esse valor mais alto que os 12 V do motor, pois o TIP quando esta em saturação, há uma queda de aproximadamente 2,5 V e como são dois TIP's saturados para o giro do motor, tem-se uma tensão de aproximadamente 13V em cima do motor, mas que na prática é um pouco menor, devido outras perdas, então infere-se que aplicando 18 V na alimentação da ponte, obtêm-se a tensão desejada no motor.
- Segundo aspecto é que a corrente de entrada na base dos TIP's, conforme especificação no datasheet do fabricante disponibilizado em AllDataSheet [2013], devem ser de no mínimo 120 mA para garantir a saturação dos mesmos, então resistência de base deve ser calculada para que se tenha a corrente desta magnitude.

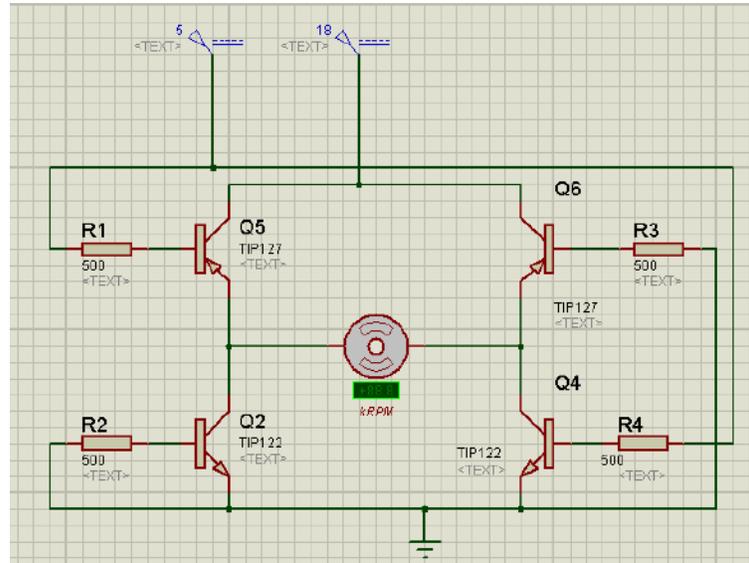


Figura 3.44: Primeiro Projeto Circuito Elétrico - Ponte H

Logo esta configuração inicial, não será utilizada, pois a corrente na base é muito alta para a saída do microcontrolador e caso o microcontrolador seja conectado com esta configuração de ponte H, pode correr o risco queimá-lo. Uma solução para obter uma tensão de 18 V de alimentação e tensão no motor próximo de 12 V, é conectar duas baterias de 9 V em série, em contra partida a corrente na base não tem como aumentá-la, devido a limitação do microcontrolador, com isso foi preciso projetar e simular uma segunda configuração, utilizando BC337, TIP122 e TIP127, conforme pode ser visto na **Figura 3.45**

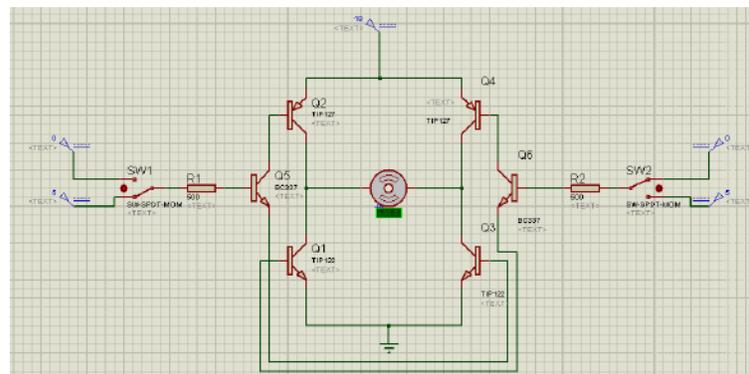


Figura 3.45: Segundo Projeto Circuito Elétrico - Ponte H

Nota-se que os transistores do tipo BC337, atuam como uma chave intermediária entre o microcontrolador e a ponte H inicial, isto é feito com o intuito de garantir a corrente mínima na base dos TIP's para que eles trabalhem na região de saturação, e então com esta forma alternativa de projeto, soluciona-se o problema da limitação da corrente de saída do microcontrolador, pois para garantir a saturação do 337, é necessário uma corrente de base de 40 mA de magnitude, para uma corrente de coletor de 600 mA, conforme especificação no datasheet do fabricante disponibilizado em AllDataSheet [2013], ou seja, é garantido a saturação dos 337 e

dos TIP's 122 e TIP's 127.

Simulado no PROTEUS esta configuração e analisado o correto funcionamento, antes da confecção das placas, foi feita a montagem deste circuito em *protoboard*, para verificar se na prática iria ter o mesmo funcionamento que a montagem virtual, com isso segue na **Figura 3.46** a montagem para teste em *protoboard*.

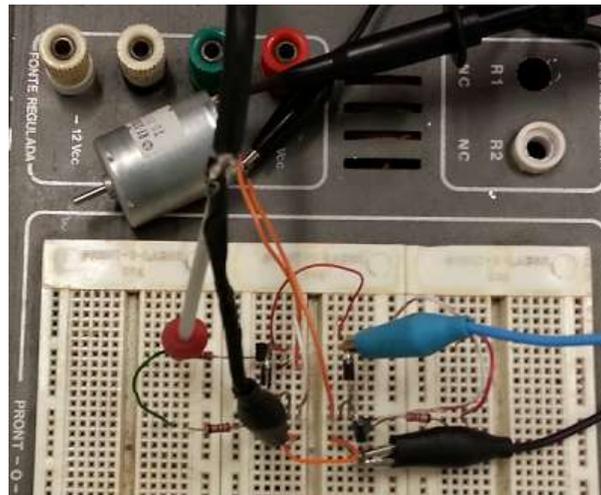


Figura 3.46: Montagem Ponte H na protoboard

Para realizar este teste em protoboard, foram comprados todos os componentes do circuito, resistores de 510Ω , TIP's 122 e 127 e BC337, montou-se a configuração e para alimentar o circuito, foi utilizado a fonte de tensão contínua, graduada para 18 V, e para controle da velocidade do motor foi utilizado o gerador de sinais, configurado para ter uma onda quadrada de -5 V a 5 V, à uma frequência de aproximadamente 900 Hz, por ser a frequência da saída do microcontrolador

Alimentado o circuito, para avaliar o seu funcionamento foi utilizado o osciloscópio como medidor e visualizador da forma de onda de saída na ponte H, que no caso é a forma de onda sobre o motor, e a saída é exibida na **Figura 3.47**. Nota-se que a forma de onda que alimenta o motor é uma onda quadrada e que o motor irá ser alimentado pela tensão média desta onda, ou seja, quanto maior o semiciclo positivo, em parâmetros de tempo, maior a velocidade do motor, e pela **Figura 3.47** a parte positiva dura mais tempo, com isso tem-se uma velocidade maior do que na **Figura 3.48** pelo fato da parte negativa ser maior neste momento do teste e com isso a tensão média ser menor. Vale ressaltar que esta regulagem da largura do pulso é feita no *Duty Cycle Adjustment* do gerador de sinal.

Para realizar um último teste, antes da confecção da placa, foi implementado como entrada de controle na ponte H, um Amplificador Operacional, junto com o gerador de sinal, em uma configuração comparadora, para que se tenha uma onda quadrada de 0 V a 5 V, igual a onda de saída do microcontrolador, como esperado este teste paralelo foi eficaz, pois houve o controle da velocidade do motor e também da inversão de giro do mesmo, foi um teste rápido realizado apenas por questão de segurança antes da confecção das placas.

Para o projeto de circuito em questão, serão utilizados TIP's 122, do tipo NPN e TIP's

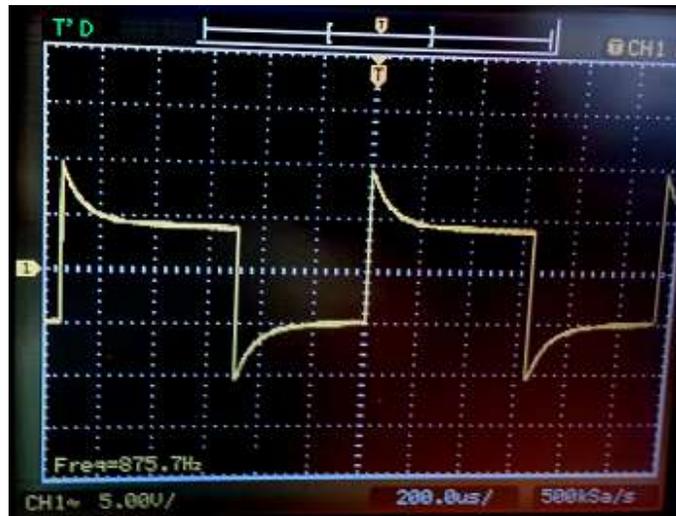


Figura 3.47: Saida ponte H - Semiciclo positivo predominante

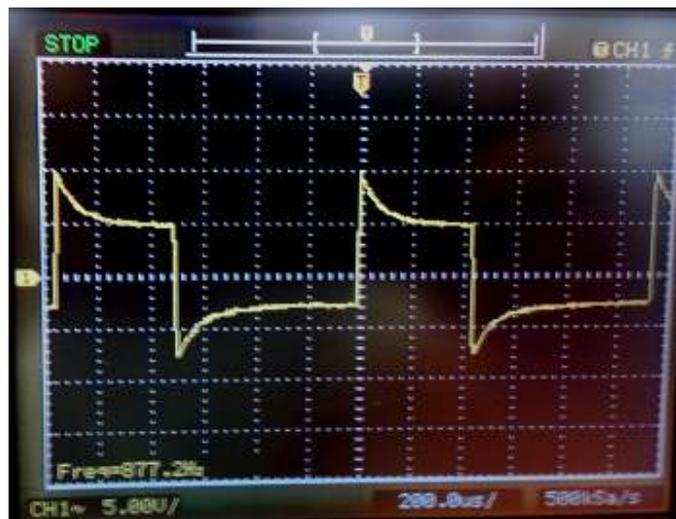


Figura 3.48: Saida ponte H - Semiciclo negativo predominante

127, do tipo PNP, conforme citado anteriormente, eles funcionam de forma inversa, e com isso utiliza-se apenas um único terminal do Arduíno para acionamento, visto que, quando o transistor NPN estiver saturado o PNP acionado pelo mesmo terminal estará em corte e vice e versa. A Tabela 3.5 ilustra as combinações possíveis, em que 1 = 5 V na base do transistor e 0 = 0 V na base do transistor, e o conseqüente funcionamento do motor nos dois sentidos, S01 (sentido horário), S02 (sentido anti-horário).

Confeção da Ponte H

Após realizar uma série de testes e avaliações, e verificado que o projeto da ponte H, proposto neste trabalho de conclusão funciona, a próxima etapa foi a confecção física deste circuito em uma placa de fenolite. Para isso foi desenhado o layout do circuito para impressão no papel couchê, através do *software* proteus, especificamente o ares, sendo assim transferiu-se o layout

Terminal 01	Terminal 02	Q1(NPN)	Q2 (PNP)	Q3 (NPN)	Q4 (PNP)	Motor
0	0	Corte	Saturação	Corte	Saturação	Motor Parado
0	1	Corte	Saturação	Saturação	Corte	Motor Ligado - S01
1	0	Saturação	Corte	Corte	Saturação	Motor Ligado - S02
1	1	Saturação	Corte	Saturação	Corte	Motor Parado

Tabela 3.5: Combinação de chaves para funcionamento Motor DC

impresso para a placa de fenolite, processo utilizando ferro de passar roupa e antes de transferir limpou-se a placa com palha de aço, o resultado do layout feito no ares, pode ser visto na **Figura 3.49**

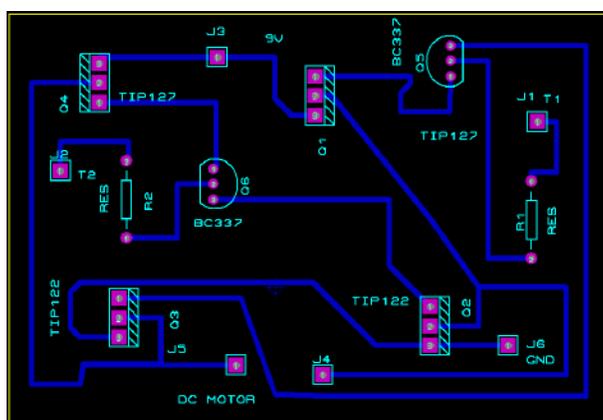


Figura 3.49: Layout Ponte H

Transferido o layout para a placa, foi realizado a furação nos pontos específicos, para soldagem dos componentes. No processo de fixação é utilizado ferro de solda e estanho, após a fixação corta-se o excesso das pontas dos componentes e o resultado final da placa pode ser visto na **Figura 3.51**, comparando-a com o 3D gerado no ares, que é exibido na **Figura 3.50**.

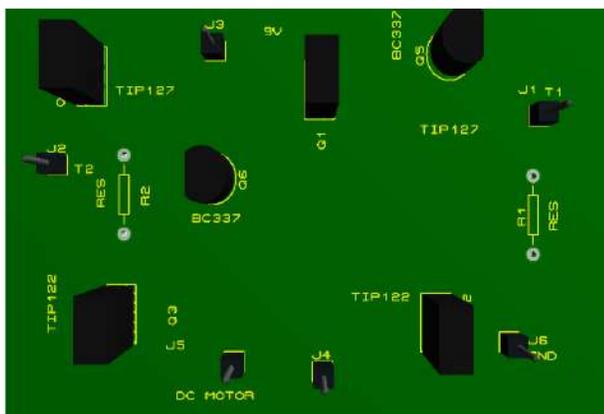


Figura 3.50: Circuito Ponte H em 3D



Figura 3.51: Placa Eletrônica - Ponte H

Os testes comparativos entre a ponte H virtual e física é detalhado no tópico de Testes, Simulações e Análises.

3.4 Concepção Computacional

A programação do microcontrolador para testes de leitura de dados de sensores e acionamento dos motores é abordada neste tópico.

A linguagem de programação utilizada pelo microcontrolador ATmega328P embarcado no Arduíno, é a chamada *Wiring*, baseada na linguagem *C/C++*, e o *software* utilizado para programação é um *software* próprio da plataforma *Arduíno* em que o *download* pode ser realizado em Arduíno [2013b].

Para o desenvolvimento computacional completo para programação do microcontrolador e utilização de interface de controle, foram realizados estudos sobre a sintaxe utilizada nesta programação, para leitura de dados sensores ultrassônicos, por exemplo, conversão de dados, e também as principais funções que foram utilizadas. Realizada também a simulação da programação utilizada em conjunto com o *software* de análises de circuitos elétricos, *Proteus*. O teste é detalhado na sessão de simulações e análises. Na segunda etapa de desenvolvimento do projeto, foram realizados testes já em conjunto com os hardware físicos, testes de acionamento de leds através do aplicativo de controle, acionamento de motores e controle de velocidade por PWM. E por fim, testes da estrutura completa e o controle final da plataforma.

3.4.1 Fundamentação Teórica

Wiring é uma estrutura de programação de código aberto feita especificamente para microcontroladores. Permite a programação em *softwares* de plataforma múltipla com objetivo de controlar dispositivos conectados a uma ampla gama de placas de microcontroladores e criar diferentes tipos de projetos. *Wiring* [2013].

Esta linguagem é baseada na linguagem *C/C++*, e portanto, muitos comandos e lógicas são semelhantes. Em Senne [2006], pode ser obtido estudos em relação à base teórica de desenvolvimento dos códigos; *loops* de programação utilizados (*while*, *for*), lógica condicional (*if*, *elseif*, *case*), que não serão aqui detalhados.

3.4.2 Controle da Plataforma

O controle da plataforma é realizado através de um dispositivo, neste caso um celular, com tecnologia de processamento, *Android*. O aplicativo utilizado denomina-se *BlueStick Control*, e está disponível gratuitamente para download na Play Store, Google [2013a]. Foi utilizado este aplicativo e não desenvolvido um personalizado para este fim, pois o mesmo já atendia a necessidade do projeto e também dispunha de interface para o controle através do sensor, acelerômetro, do celular, no qual é utilizado preferencialmente neste projeto.

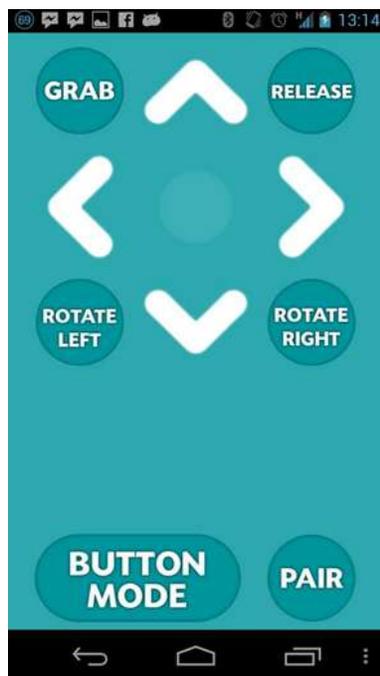


Figura 3.52: Interface aplicativo de controle - *BlueStick Control*, Google [2013a]

A **Figura3.52** mostra a tela de interface do aplicativo. O controle pode ser realizado de duas maneiras, pressionando os botões para movimentação, ou utilizando a função: *Tilt Mode* (modo de inclinação), em que através do acelerômetro presente no dispositivo, quando este é inclinado, para frente, para trás ou para os lados, ocorre a movimentação da plataforma.

Para a comunicação do celular com o microcontrolador, foi utilizado, como já abordado no tópico de especificação de componentes eletrônicos, o módulo *bluetooth* JY-MCU. Este tem o papel de receber o comando enviado pelo celular e retransmitir para o *Arduíno*.

Quando ocorre a inclinação para frente, para trás ou para os lados, o aplicativo envia um código hexadecimal, e através da programação do microcontrolador, este código é lido e os motores são acionados de acordo com a necessidade do operador, ou seja, de acordo com a forma como o operador deseja que a plataforma se movimente. Na tabela abaixo são descritos os códigos enviados, que foram utilizados para a programação do microcontrolador.

Código	Interface	Movimentação Plataforma
0x38	Up	Para frente
0x32	Down	Para trás
0x34	Left	Para esquerda
0x36	Esquerda	Para esquerda

Tabela 3.6: Códigos hexa-decimais para controle

Pareamento e Comunicação entre os dispositivos

É necessário que antes de iniciar o aplicativo o operador realize o pareamento entre o celular e o módulo *bluetooth*. A senha padrão utilizada é 1234.

Após o pareamento, inicia-se o aplicativo e também o módulo bluetooth já deve estar conectado e alimentado por alguma fonte de 5 Vcc ou o próprio Arduino. Na tela inicial do aplicativo, pressiona-se o botão *pair* para conectar ao modo *bluetooth* já pareado anteriormente. Na próxima tela é mostrada a lista com todos os dispositivos pareados, e um deles é o módulo *bluetooth*, que estará descrito como HC-06.

Após clicar para conectar ao dispositivo, o *led* vermelho no módulo bluetooth irá se fixar, o que demonstra que a conexão entre o celular e o módulo foi realizada com sucesso. A partir daí, a inclinação do celular já será suficiente para a movimentação da plataforma.

3.4.3 Interface com *Hardware*

Nesta sessão será abordado o estudo realizado em relação ao código de programação de interface com os componentes eletrônicos utilizados. Apenas na primeira subseção (Sensor Ultrassônico) será abordada com mais detalhes a explicação das funções utilizadas e suas funcionalidades gerais. Nas demais já será implícita o entendimento das funções básicas de inicialização, definição de variáveis, entre outras. Também é abordado as funções alguns trechos do código de programação final do microcontrolador para controle da plataforma, com o acionamento de motores, *leds*, e leitura de dados do sensor ultrassônico, bem como a comunicação com o dispositivo de controle através do *bluetooth*.

Sensor Ultrassônico

Para a leitura dos dados obtidos dos sensores ultrassônicos, a partir das entradas digitais do *Arduino*, foi desenvolvido o código para conversão de dados obtidos para a unidade de medida desejada, neste caso, centímetros (cm), bem como um código para testes com o hardware físico do sensor. O código desenvolvido para testes encontra-se no APÊNDICE A. O código comentado encontra-se abaixo:

Inicialmente, é realizada a definição dos terminais digitais do *Arduino*. Como definidos no diagrama elétrico, o pino *TRIG* está ligado ao terminal 13, e o pino *ECHO*, ligado ao terminal digital 12.

```
#define trigPin 13
#define echoPin 12
```

A função *void setup()* tem como objetivo a inicialização de variáveis, definição de entradas/saídas, inicialização da porta serial.

Neste código, o terminal 13 *TRIG* é definido como saída, *Output*, e o terminal 12 *ECHO*, definido como entrada *Input*. Para testes, neste caso, será utilizada a porta serial de comunicação *USB*. No *Arduino* UNO temos a comunicação externa com outros dispositivos pela porta Serial

através dos Pinos *TX*, *RX*. Para a comunicação com o computador, a porta serial utilizada USB é definida na função abaixo com a inicialização da função *Serial Begin (9600)* em que 9600 define o número de bits por segundo para transmissão padrão utilizada nas portas seriais do *Arduíno*.

```
void setup()
{
  Serial.begin (9600);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
}
```

A função *void loop()* é o início do *loop* de programação efetivamente, após a definição de terminais, inicialização de variáveis, inclusão de bibliotecas, etc. A função *long* definida abaixo, significa o armazenamento longo das variáveis *temposinal* e *distancia*, ou seja, o armazenamento da variável será o máximo possível neste microcontrolador, *4bytes*.

```
void loop()
{
  long temposinal, distancia;
  ...
}
```

A função *digitalWrite* tem como objetivo "escrever" um valor alto *High* (+5V) ou baixo *Low*(0V) no terminal ou variável especificada. No código, para inicialização do sensor ultrassônico, é necessário o disparo inicial do terminal TRIG (sinal de pulso curto de *10us*), e após isto o retorno dele para *Low*. Como pode ser visto abaixo, em que há também um *delay* (atraso) em microssegundos (10) definido entre as funções:

```
digitalWrite (trigPin, HIGH);
delayMicroseconds (10);
digitalWrite (trigPin, LOW);
```

A função *pulseIn* tem como parâmetros o terminal de entrada do sinal que será recebido, *echo*. O objetivo aqui é "contar" o tempo total deste eco para posteriormente definir a distância. O terminal *echo* é definido como *High* e a função *pulseIn* determinará o tempo total do pulso deste eco a partir da mudança do terminal para *Low*. Neste microcontrolador o tempo mínimo definido é 10 microssegundos e o tempo máximo de 03 minutos.

```
temposinal= pulseIn (echoPin, HIGH);
```

O cálculo de conversão do sinal de retorno da função `pulseIn` para distância em cm é descrito em 3.25, foi utilizada como parâmetro principal a velocidade do som aproximada de 340 *m/s*, em temperatura ambiente de 20° C. Para conversão para centímetros/microsegundos, temos que:

$$V_{micro} = 340. \left(\frac{100}{1000000} \right) \quad (3.25)$$

$$V_{micro} = 0.034 \text{ cm/us}$$

Neste último trecho deste código para testes, a variável interna (`distancia`) é definida a partir da conversão realizada na Equação 3.25 e então é realizado *loops* de testes condicionais. A função `Serial.println` irá mostrar a mensagem definida na tela de compilação do software de programação do Arduino. Caso a distância seja maior que dado *set point* definido, neste caso 100 cm, irá retornar que não há nenhum obstáculo próximo. Caso a distância seja inferior, irá retornar o valor desta distância em centímetros (cm). Após isto, é dado um *delay*, em milissegundos, para o reinício do loop de programação.

```
{
...
distancia = ((temposinal/2)*0.034);
  if (distancia >= 100 || distancia <= 0)
  {
    Serial.println("Nenhum obstáculo proximo");
  }
  else
  {
    Serial.print(distancia);
    Serial.println("cm");
  }
  delay(500);
}
```

A partir do desenvolvimento deste código de programação, foi realizado na segunda etapa de desenvolvimento deste projeto testes de precisão com o sensor ultrassônico, além de outro alcance máximo e mínimo e ângulo de abertura total do sensor. Estes testes são detalhados no capítulo de Testes, Simulações e Análises

Acionamento de Motores - PWM

Na segunda etapa de desenvolvimento do projeto, foram realizados teste físicos de controle de velocidade do motor via PWM, para posteriormente, ser melhorado e utilizado também para realização de curvas da plataforma.

Parte do código para verificação de mudança de velocidade através de saídas PWM do arduíno segue abaixo, com comentários. O código também foi utilizado em conjunto com a Ponte H para verificação de mudança no sentido de rotação do motor:

```
int MOTOR_DIRETO=11; // saída PWM terminal 11, rotação sentido horário (direto)
int MOTOR_REVERSO=10; //saída PWM terminal 12, rotação sentido anti-horário (reverso)

void setup() {
  pinMode(MOTOR_DIRETO, OUTPUT); //especificação como saída
  pinMode(MOTOR_REVERSO, OUTPUT); //especificação como saída
}

void loop() {
  analogWrite(MOTOR_DIRETO, 0); //motor parado
  delay(2000);
  analogWrite(MOTOR_DIRETO, 100); //39% da sua rotação máxima no sentido horário
  delay(3000);
  analogWrite(MOTOR_DIRETO, 250); //98% da sua rotação máxima no sentido horário
  delay(2000);
  analogWrite(MOTOR_DIRETO, 100); //39% da sua rotação máxima no sentido horário
  delay(3000);
  analogWrite(MOTOR_DIRETO, 0); //motor parado
  delay(2000);
  analogWrite(MOTOR_REVERSO, 100); //39% da sua rotação máxima no sentido anti-horário
  delay(3000);
  analogWrite(MOTOR_REVERSO, 250); //98% da sua rotação máxima no sentido anti-horário
  delay(3000);
  analogWrite(MOTOR_REVERSO, 100); //39% da sua rotação máxima no sentido anti-horário
  delay(3000);
  analogWrite(MOTOR_REVERSO, 0); //motor parado
  delay(2000);
}
```

O resultado deste teste é descrito na sessão de Testes, Simulações e Análise.

Controle da Plataforma

Para o controle da plataforma total, acionamento de leds de iluminação e sinalização, leitura

de dados do sensor ultrassônico e acionamento de sensores, foi utilizado o código descrito no **APENDICE A, A.3**. Aqui são demonstrados alguns trechos do código e realizado alguns comentários

Além da função de *loop* principal, há outras 06 funções que foram feitas para um melhor entendimento do usuário e também para diminuição do tamanho do código fonte, devido às repetidas vezes em que a mesma função pode ser utilizada. Foram descritas as funções:

```
void parar() //utilizada para parar a plataforma, desacionar leds e motores.
void leds() //utilizada para acionar os leds e piscá-los, (alerta de colisão).
void front() //utilizada para acionar os motores para movimentação para frente.
void back() //utilizada para acionar os motores para movimentação para trás.
void left() //utilizada para acionar os motores para movimentação para esquerda.
void right() //utilizada para acionar os motores para movimentação para direita.
```

A variável que armazena o código hexadecimal recebido através do módulo *bluetooth* é variável "c". Esta variável recebe constantemente os dados obtidos através da porta serial, que é por onde o módulo bluetooth comunica-se com o *Ardúino*.

```
float c = Serial.read();
```

A distância que foi denominada para detecção de um obstáculo e alerta para o operador foi de 50 cm. Quando detectado algum obstáculo a esta distância ou menor é feita a sinalização através de *leds*, em analogia aos faróis e lanternas de um veículo, que informam aos demais motoristas que será realizado uma frenagem de emergência, por exemplo.

```
if (distancia <=50 ) //acionamento de leds, obstáculo a 50cm
{
    leds();
}
```

Quando o operador aciona a plataforma para frente, a função *void front()* é acionada e ocorre a movimentação da plataforma para frente e também o acionamento dos leds frontais. Esta função, só será habilitada desde que a plataforma não esteja a uma distância menor ou igual a 20 cm de um obstáculo. Neste caso, o controle não permite que seja feita a movimentação frontal, não permitindo a colisão.

```
if (c==0x38) //movimentação para frente
{
    front();
    if (distancia >50)
```

```

    {
        digitalWrite(4,HIGH);
    }
}

```

Quando o operador aciona a plataforma para realizar uma curva para direita ou para a esquerda é necessário que haja um acionamento analógico dos motores, para que estes sejam acionados com velocidades diferentes, devido à estrutura mecânica que a plataforma foi concebida.

Após testes realizados de controle total da plataforma descrito na sessão de Testes, Simulações e Análises, concluímos que para movimentação para a esquerda era necessário acionar o MOTOR01 com 7,8% da sua velocidade máxima e o MOTOR02 com 94% da sua velocidade máxima. Para movimentação para a direita foi necessário o acionamento do MOTOR01 com 100% da sua velocidade máxima e o MOTOR02 com 19% da sua velocidade máxima.

```

void left() { //função para movimentação dos motores para esquerda
    analogWrite(6, 20);
    analogWrite(10, 240);
}

```

```

void right() { //função para movimentação dos motores para direita
    analogWrite(6, 255);
    analogWrite(10, 50);
}

```

Quando não é realizado nenhum dos comandos pelo operador ou a distância da plataforma a algum obstáculo é menor que 20cm inicialmente, o código descrito não permite que a plataforma se movimente e é acionado a função *void parar()*.

```

if (c!=0x38 && c!=0x34 && c!=0x36 && c!=0x32 || (distancia<=20 && c!=0x32))
{
    parar(); //teste condicional para parar a plataforma.
}

```

3.5 Testes, Simulações e Análises

Nesta sessão são descritas algumas simulações virtuais, realizadas na primeira etapa de desenvolvimento do projeto, bem como os testes físicos e análises realizadas com o *software* e *hardware* do projeto final. Algumas simulações foram realizadas com o objetivo de antecipar testes de *software* que posteriormente seriam embarcados no microcontrolador.

Testes relacionados ao circuito da placa eletrônica confeccionada para *drivers* dos motores, bem como testes de desempenho dos sensores ultrassônicos, foram de suma importância para realizar

as conclusões finais do projeto.

3.5.1 Acionamento de Motores

A partir do código desenvolvido para testes, disponível no APÊNDICE A, foi desenvolvido então o circuito elétrico no *software* Proteus para simulação deste código. Foi necessária a inclusão de alguns componentes no *Proteus* para testes, inclusive a o componente de simulação da placa de prototipagem eletrônica, *Arduíno*.

Os seguintes componentes foram utilizados na simulação virtual do circuito 3.53:

- Placa Eletrônica Arduíno
- 02 resistores de 330 Ω
- 01 Motor DC 12 V
- 01 Fonte VCC 9 V
- Transistor TIP31
- 02 *Leds* (vermelho e verde)

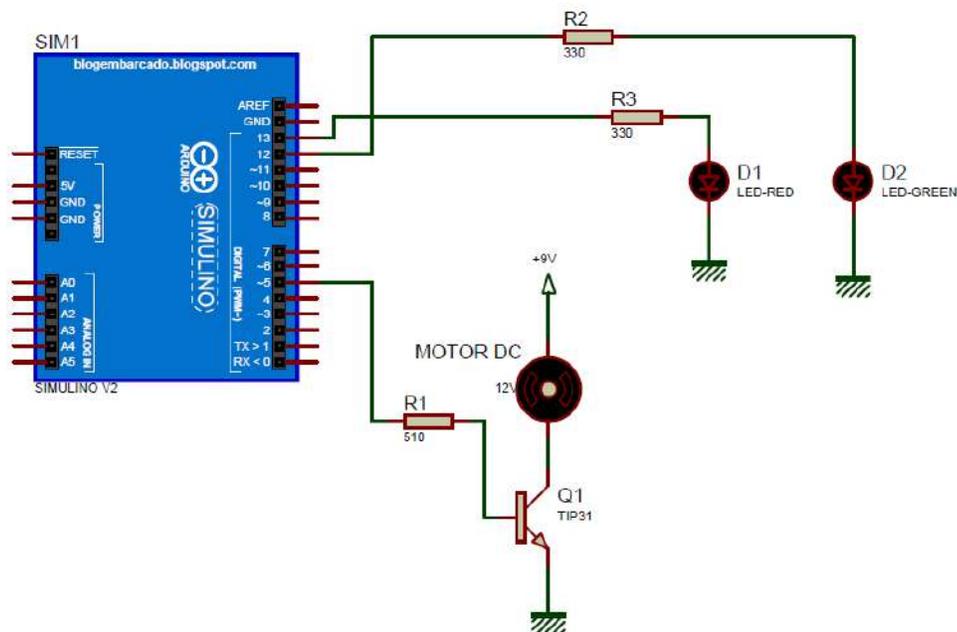


Figura 3.53: Circuito para Teste de Acionamento de Motor DC

Na placa eletrônica foi embarcado então o código compilado, denominado aqui *motor.cpp.hex*. Foi utilizado o próprio osciloscópio virtual do Proteus, **Figura 3.54**, para verificação da tensão de saída na porta digital utilizada (5), e também para verificação do funcionamento como

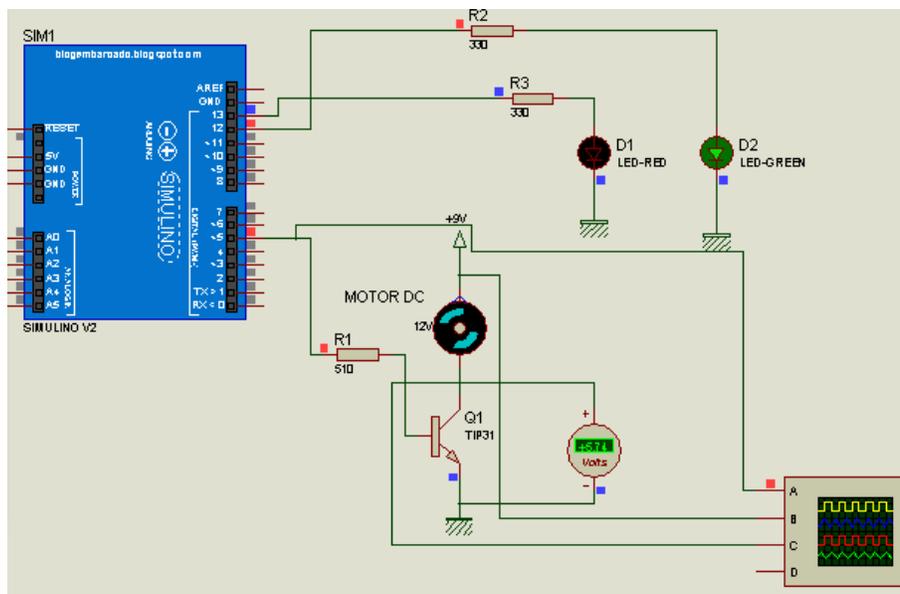


Figura 3.54: Teste de Acionamento de Motor DC

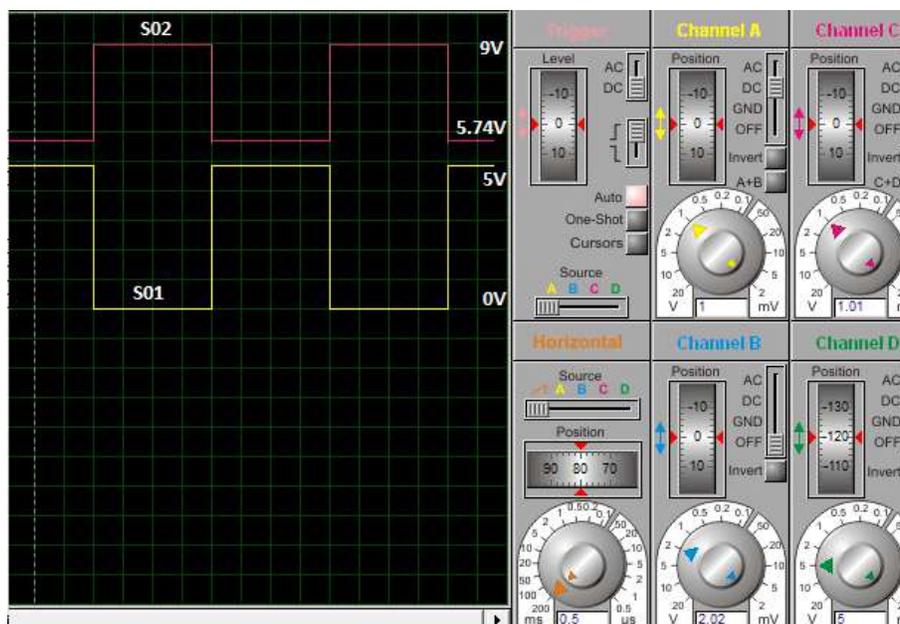


Figura 3.55: Resultado Teste de Acionamento de Motor DC

chave eletrônica do transistor utilizado, e o conseqüente funcionamento do motor pelos tempos especificados, como mostra os resultados obtidos na **Figura 3.55**:

No gráfico mostrado na **Figura 3.55**, o sinal S01 representa a variação a cada 02 segundos do terminal de saída digital, entre 0 V e 5 V. O sinal S02 representa a variação, inversa, a cada 02 segundos da tensão no transistor.

Como pode ser observado, quando a chave está aberta a tensão da fonte está presente toda no transistor (9 V), o que não permite o funcionamento do motor, ele está parado e o *led* vermelho ligado. A partir da polarização do transistor, com o acionamento da saída digital com 5

V, a chave permite a passagem de corrente e o conseqüente acionamento do motor, com o *led* verde ligado. A queda de tensão registrada para este motor especificamente é de 5.74 V.

Este teste inicial teve como foco principal a programação básica realizada para verificação de acionamento dos motores, para que posteriormente seja realizado o código mais complexo de controle dos motores a partir do sinal do sensor ultrassônico.

O código mostrou-se satisfatório quanto ao que era esperado, visto que, os tempos especificados estão corretos, de acordo com o visualizado no osciloscópio virtual do Proteus e esta placa eletrônica virtual poderá ser utilizada para mais testes durante o desenvolvimento físico do protótipo.

3.5.2 Comunicação *Bluetooth*

Para o teste inicial do módulo *bluetooth* e comunicação deste para ser a interface entre o microcontrolador e o celular, foi realizado um teste para acionamento de *leds* através do envio de dados de um aplicativo.

Este tipo de teste foi importante antes da montagem dos dispositivos, pois, caso houvesse a necessidade de substituição do módulo, ou ele não fosse adequado para a aplicação, este poderia ser alterado a tempo para que não acarretasse qualquer problema no tempo de desenvolvimento final do projeto.

O aplicativo utilizado para este teste foi o *S2 Terminal for Bluetooth*, disponível para *download* gratuitamente em Google [2013b].

Além do aplicativo instalado em um celular com processador *Android* e com tecnologia *bluetooth*, foram necessários os seguintes materiais:

- Arduino Uno
- Modulo bluetooth JY-MCU
- 3 *leds* de cores diferentes
- 3 resistores de 330 Ω
- *Protoboard*

Cada um dos 3 *leds* foi conectado a um terminal de saída digital do *Arduíno*, e para isso utilizamos uma resistência para limitação de corrente. Foi conectado também o *Arduíno* ao computador para transferência do código de programação e também para servir como fonte de alimentação. O GND comum do circuito foi inserido na *protoboard* a partir do GND do *Arduíno*. Por fim, o módulo *bluetooth* foi conectado à porta serial Tx/Rx e alimentado com 5 Vcc fornecidos pelo *Arduíno*.

As conexões são demonstradas na **Figura 3.56**, e a montagem realizada para o teste segue na **Figura 3.57**:

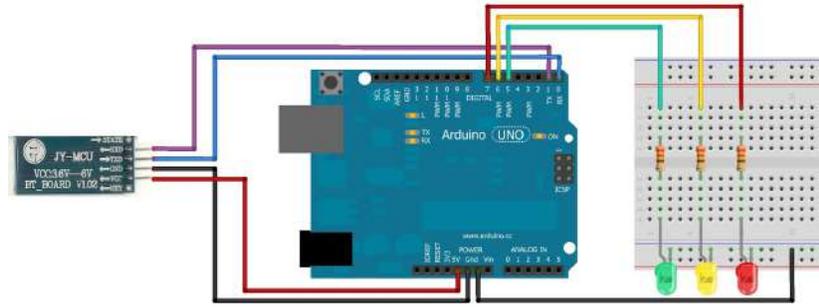


Figura 3.56: Circuito para teste comunicação *bluetooth*

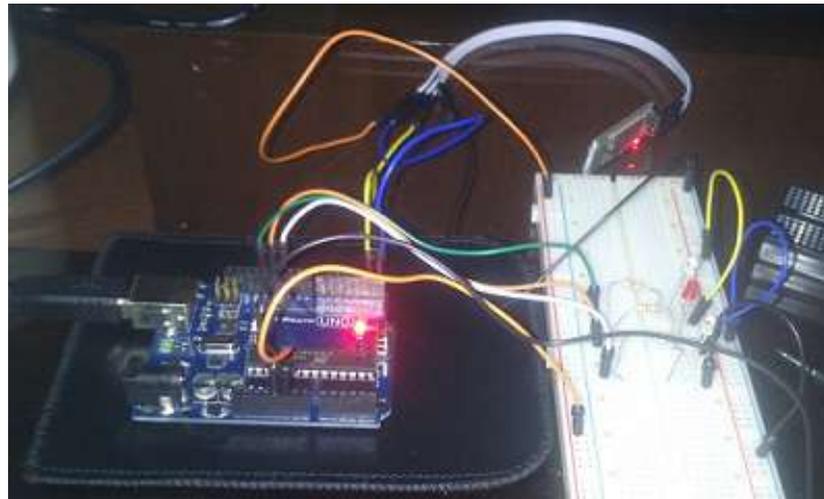


Figura 3.57: Montagem teste comunicação *bluetooth*

Somente após realizado o *download* do programa para o microcontrolador que deve ser conectado o módulo *bluetooth* às portas seriais. O código utilizado para este teste está descrito no Apêndice A, (A.4)

O teste em si consistiu em digitar um número (1, 2 ou 3) no celular, para acender um dos 3 *leds*. E após isso, inserir uma letra (A, B ou C) para apagá-los.

Após realizado as conexões de acordo com o circuito demonstrado acima, foi feito o *pareamento* do celular com o módulo *bluetooth*. Neste módulo, há uma senha padrão que deve ser digitada para realização do pareamento: Senha = 1234. Após o pareamento e abertura do aplicativo no celular, o dispositivo já está pronto para uso quando o *led* vermelho posicionado no módulo *bluetooth* permanece constante.

A conclusão a respeito deste teste é que o módulo *bluetooth* encontrava-se em perfeitas condições para uso, com um *delay* aceitável e bom alcance longitudinal de aproximadamente 5 metros. Para melhor performance dos *leds* no protótipo foi verificada neste teste a necessidade de aplicação de *leds* vermelhos também de alto brilho para a parte traseira do protótipo, assim como os *leds* brancos de alto brilho na parte frontal.

3.5.3 Teste PWM

Testes em laboratório foram realizados com o objetivo de verificar o funcionamento real dos terminais de saída PWM do microcontrolador, bem como realizar cálculos para determinar o percentual necessário para o controle da plataforma em curvas.

Os materiais utilizados foram:

- Arduíno Uno;
- Circuito Ponte H;
- Osciloscópio;
- Multímetro;

Foi necessário a conexão dos terminais do *Arduíno*, 10 e 11, ambos terminais de saída PWM, cada um conectado a um dos terminais de entrada da Ponte H.

Com o osciloscópio, foi verificado a tensão obtida na chave eletrônica para controle da velocidade de rotação do motor.

A partir do código descrito no Apêndice A, foi verificado a mudança da velocidade de rotação do motor a partir dos parâmetros configurados.

Como exemplo do que foi analisado, a **Figura 3.58** demonstra o resultado da saída PWM de um dos terminais, quando aplicado cerca de 78% da tensão máxima

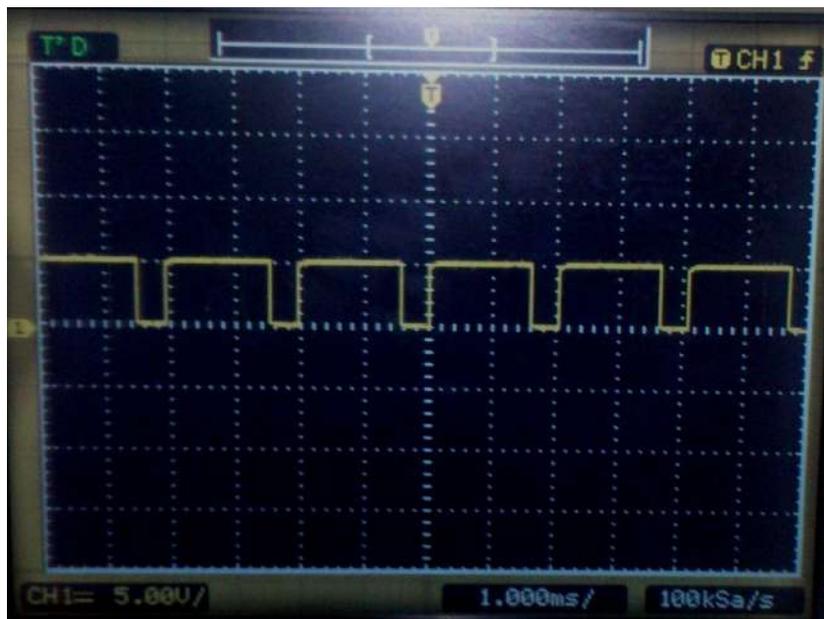


Figura 3.58: Teste terminal PWM com osciloscópio

A partir da Equação 3.22, temos:

$$V_{media} = V_{maxima} \cdot \frac{D}{t} \quad (3.26)$$

Em que, $V_{maxima} = 5 \text{ V}$; $D = 1600 \text{ ms}$; $t = 2000 \text{ ms}$

$$V_{media} = 5 \cdot \frac{1600}{2000} V_{media} = 4V \quad (3.27)$$

Logo, temos que a tensão média aplicada é aproximadamente 80% da tensão máxima, conforme configurado no parâmetro computacional, como pode ser visto em parte do código extraído abaixo:

```
analogWrite(MOTOR_DIRETO, 200); //78% da sua rotação máxima no sentido horário
delay(3000);
```

Como resultado do teste realizado, observou-se que os parâmetros configurados estavam de acordo com o esperado e que os terminais, que foram utilizados posteriormente no controle completo da plataforma e realização de curvas estavam em condições adequadas para utilização.

3.5.4 Circuito Elétrico Conversor CC - Ponte H

O circuito elétrico especificado para o driver do motor DC, Ponte H, **Figura 3.45** foi simulado no *software* Proteus

O objetivo do teste foi verificar o funcionamento do motor DC, a inversão de polaridade que ocorre através da combinação das chaves eletrônicas, Transistores Bipolar, detalhadas na **Tabela 3.5** e o comparativo entre as quedas de tensões do circuito real e circuito virtual

Motor Ligado - Sentido Horário - S01

Para a simulação do Motor ligado no sentido definido como horário, S01, o transistor Q1 deve estar em corte (chave aberta), o transistor Q2 deve estar em saturação (chave fechada), o transistor Q3 em saturação e o transistor Q4 em corte.

A **Figura 3.59** demonstra o especificado. A tensão, V_{ce} nos transistores em estado de saturação é aproximadamente 0,7 V, pois os mesmos atuam como uma espécie de fio e há essa queda de tensão desta magnitude. Pelo o modelo do PROTEUS vê-se que é 0,65 V quando fechado, mas que na prática é aproximadamente 2V, conforme o datasheet do fabricante, essa diferença dá-se pela modelagem do transistor que o software utiliza, mas que na prática não alcança esses valores. Pode-se afirmar que, pelo fato do transistor Q1 e Q3 serem chaves fechadas, o transistor Q5 está em condução, pois ele esta injetando corrente nas bases de Q1 e Q3, através de seu coletor e emissor, e vale ressaltar que Q6 está aberto

Como os transistores Q4 e Q1 estão abertos, logo a tensão da fonte menos a queda de tensão do transistor em condução aparece sobre ele, que no caso da simulação tem uma magnitude de

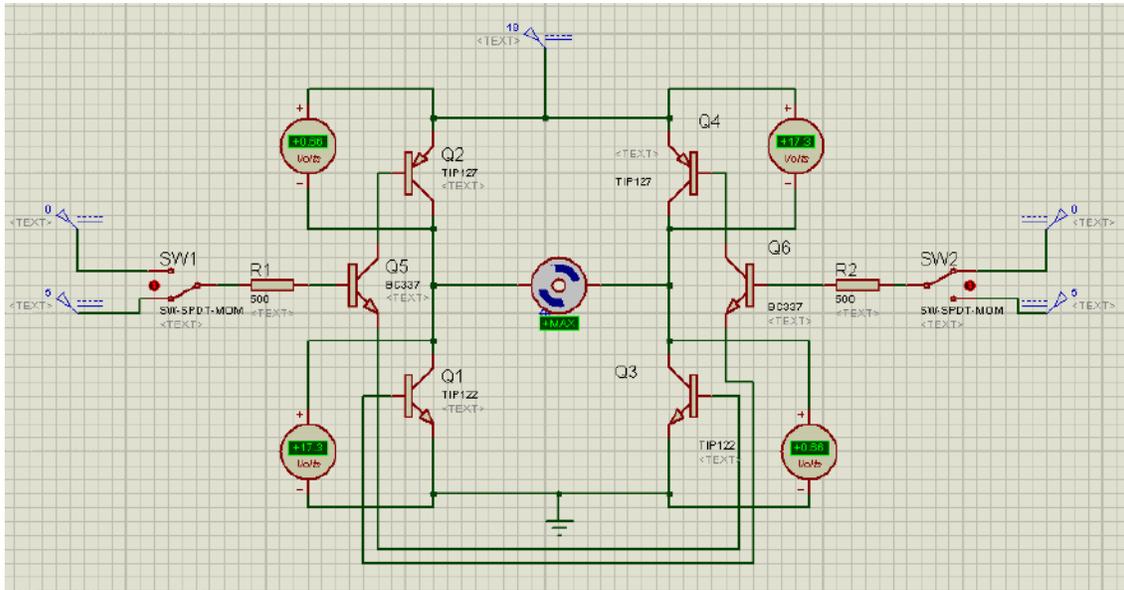


Figura 3.59: Simulação Ponte H - Motor Sentido Horário

17,35 V

Motor Ligado - Sentido Anti-Horário - S02

Para a simulação do Motor ligado no sentido definido como anti-horário, S02, a lógica de funcionamento é inversa, ou seja, o transistor Q1 deve estar em saturação (chave fechada), o transistor Q2 deve estar em corte (chave aberta), o transistor Q3 em corte e o transistor Q4 em saturação.

A **Figura 3.60** demonstra o especificado. A tensão, V_{ce} nos transistores em estado de saturação é aproximadamente 0,7 V, pois os mesmos atuam como uma espécie de fio e há essa queda de tensão desta magnitude. Pelo o modelo do PROTEUS vê-se que é 0,65 V quando fechado, mas que na prática é aproximadamente 2V, conforme o datasheet do fabricante, essa diferença dá-se pela modelagem do transistor que o software utiliza, mas que na prática não alcança esses valores. Pode-se afirmar que, pelo fato do transistor Q2 e Q4 serem chaves fechadas, o transistor Q6 está em condução, pois ele está injetando corrente nas bases de Q2 e Q4, através de seu coletor e emissor, e vale ressaltar que Q6 está aberto, ou seja é o inverso do sentido horário

Como os transistores Q4 e Q1 estão abertos, logo a tensão da fonte menos a queda de tensão do transistor em condução aparece sobre ele, que no caso da simulação tem uma magnitude de 17,35 V

Para comparar com os resultados obtidos nos teste virtuais, mediram-se as tensões sobre os transistores da placa em funcionamento, os testes foram realizados no laboratório, foram utilizados duas baterias de 9 V, conectadas em série, para atuarem como alimentação do circuito, o microcontrolador como sistema de controle de velocidade e sentido de giro do motor, além do multímetro e osciloscópio como medidores. A Tabela 3.7 exhibe as tensões sobre os transistores obtidos no circuito virtual, modelado no PROTEUS e para efeito de comparação e análises na

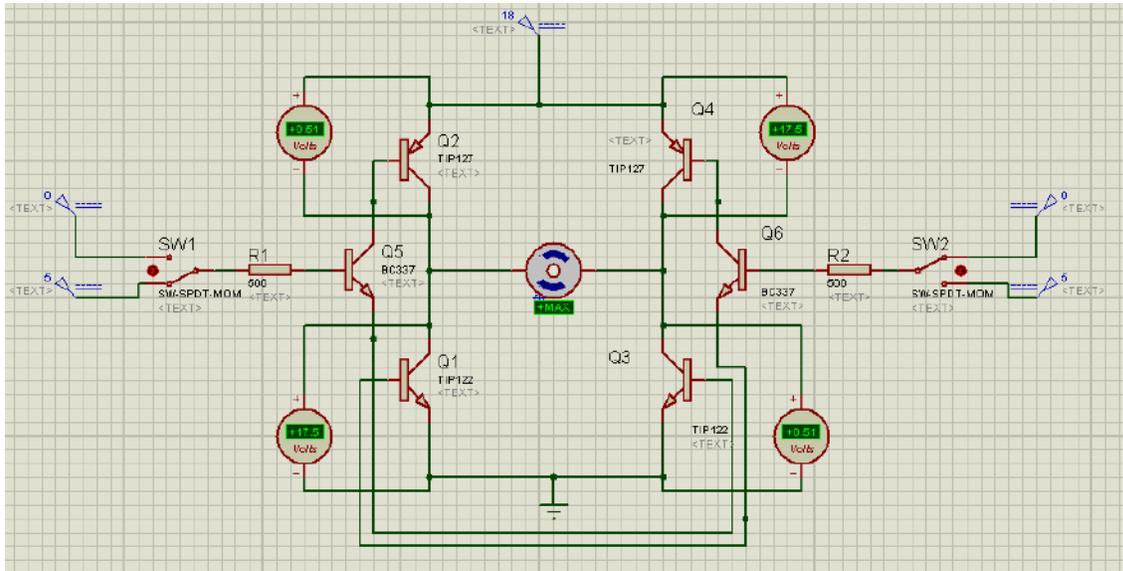


Figura 3.60: Simulação Ponte H - Motor Sentido Anti-Horário

Tabela 3.8 exibe os mesmos valores de tensão obtidos na prática, realizado em bancada.

Sentido de Giro	V_{ce} Q1 (NPN)	V_{ce} Q2 (PNP)	V_{ce} Q3 (NPN)	V_{ce} Q4 (PNP)	V_{motor}
Horário	0,65 V	17,35 V	17,35 V	0,65 V	16,53 V
Anti-Horário	17,35 V	0,65 V	0,65 V	17,35 V	16,53 V

Tabela 3.7: Teste ponte H virtual

Sentido de Giro	V_{ce} Q1 (NPN)	V_{ce} Q2 (PNP)	V_{ce} Q3 (NPN)	V_{ce} Q4 (PNP)	V_{motor}
Horário	1,7 V	14,5 V	14,5 V	1,7 V	14,2 V
Anti-Horário	14,5 V	1,7 V	1,7 V	14,5 V	14,2 V

Tabela 3.8: Teste Ponte H Físico

Nota-se que as tensões são relativamente próximas, a divergência que ocorre são causadas pela magnitude da tensão quando o transistor esta saturado, pois como falado anteriormente o PROTEUS considera 0,65 V e que na prática é 1,7 V, este valor muito próximo de como é especificado no datasheet, e em consequência dessa discrepância, tem-se uma tensão média menor no físico do que o virtual, pois a tensão da alimentação é dividida com esses transistores saturados.

Outro teste realizado, foi a medição da forma de onda com o osciloscópio, sobre os dois motores, com esta medição verifica-se se as placas apresentam formas de ondas coerentes como o movimento desejado e esperado.

Conforme é mostrado na **Figura 3.61** o sistema de controle defini-se que o carrinho realizará uma curva a esquerda e então tem-se o sinal amarelo, saída da ponte H responsável pelo controle do motor M1, com valor máximo de tensão, ou seja, valor médio próximo de 14 V, e o sinal

verde, medido na saída da ponte H que controla o motor M2, com um valor inferior, próximo de 0 V, mas não é 0 V para que não trave as rodas do lado esquerdo.

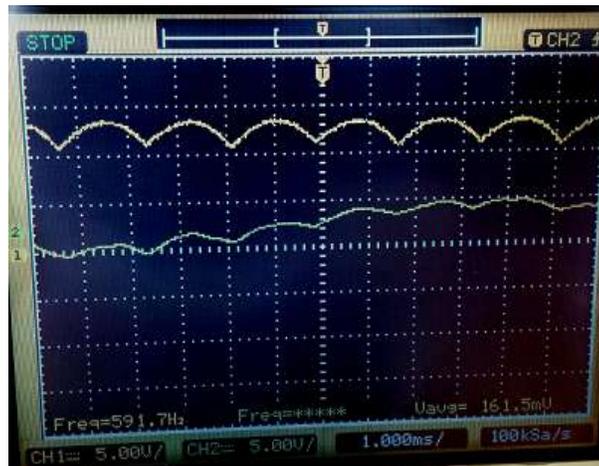


Figura 3.61: Teste Ponte H - Curva à esquerda

Logo a curva para direita será o oposto da curva para esquerda, com isso, tem-se que o sinal verde será uma tensão próxima de 14 V e o sinal amarelo uma tensão próxima de 0 V, sendo o controle para realização da curva a direita, forma de onda é o inverso da **Figura 3.61**.

Para complementar o teste físico da ponte H, foi mensurado também as formas de onda para o carrinho se movimentando para frente, **Figura 3.62**, e para trás, **Figura 3.63**. Como pode ser observado, neste teste o sentido para frente, representa uma tensão contínua positiva, de aproximadamente 14 V, para saída das duas placas, ou seja, a velocidade de giro é o mesmo para os dois motores, conforme o esperado. E quando o controle envia o comando de ré, as duas formas de onda apresentam tensão média negativa, por volta de -14 V, também foi conforme esperado.

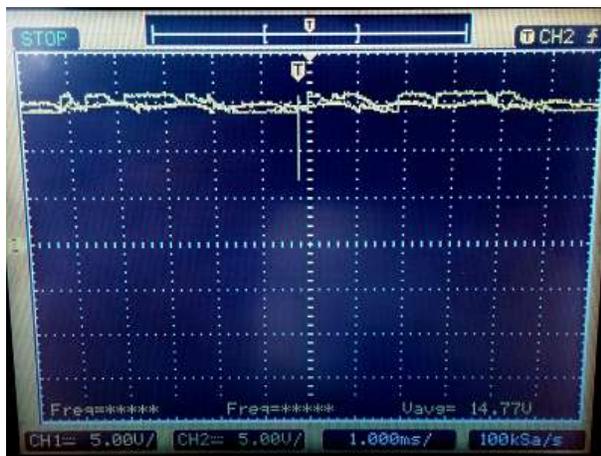


Figura 3.62: Teste físico Ponte H - movimento para frente



Figura 3.63: Teste físico Ponte H - movimento para trás

O resultado da simulação virtual e construção física deste Circuito em Ponte H mostrou-se satisfatório quanto à inversão da polaridade necessária para o acionamento dos motores da plataforma. A divergência entre o valor encontrado no teste virtual e físico, é justificado pela modelagem do componente diferir dos valores expresso pelo fabricante, e verificou-se que na prática, os valores de tensão são bem próximos conforme datasheet. Pelos testes, afirma-se que as duas placas apresentaram o mesmo comportamento, e que elas atendem ao objetivo proposto, ou seja, o projeto e construção foi um sucesso.

3.5.5 Teste de Desempenho - Motor e Conjunto de Redução

Finalizada a montagem mecânica do protótipo, com a eletrônica embarcada e a programação do microcontrolador, foi realizado o teste para verificar o desempenho real do protótipo, consequentemente o funcionamento do carrinho, para comparar com os cálculos realizados na fundamentação teórica e então avaliar se foi satisfatório o projeto.

Então para realizar este teste, conectou-se o dispositivo de controle, *smartphone*, ao microcontrolador através do módulo *bluetooth*, com isso verificou-se que a conexão foi estabelecida corretamente, ao aparecer a mensagem de conectado na tela do *smartphone*. Como foi proposto, para movimentar o protótipo foi utilizado o acelerômetro e com isso ao inclinar o celular para frente o carrinho deslocou-se para frente, ao inclinar para trás, ocorreu o movimento oposto ao primeiro, logo o celular inclinado para direita, curva para direita e o mesmo para esquerda, ou seja, o protótipo deslocou-se conforme o esperado. Vale ressaltar que, para realização deste teste de desempenho, foi feito um cenário do porte do protótipo, conforme visto na **Figura 3.65**, simulando uma situação real que ocorre nas estradas.

Para averiguar a velocidade alcançada, foi cronometrado o tempo que o projeto gastou para se deslocar uma distância de 1,5 m, este teste foi realizado com o intuito de avaliar a velocidade alcançada pelo carrinho, e afim de comparar com a velocidade calculada anteriormente, na fundamentação teórica, a **Figura 3.65** comprava o cenário e materiais utilizados para realização do teste.

Conforme calculado, a velocidade ideal do carrinho é de 8,57 m/s, mas como mencionado anteriormente, para calcular a velocidade não foi levado em consideração as perdas, como atrito, peso do carrinho, rendimento das engrenagens. Foi calculada com os parâmetros do motor dado pelo fabricante e não de testes próprios. Foram feito três testes de velocidade, no primeiro deslocamento de 1,5 m o carrinho gastou 11,1 s, no segundo 10,6 e no terceiro 11,0, ou seja, um tempo médio de 10,9 segundos. Pela fórmula de distância tem-se:

$$d = v \times t \therefore 1,5 = v \times 10,9 \therefore v = 0,14m/s \quad (3.28)$$

Pelos cálculos nota-se que a velocidade real é bem abaixo da ideal, pois as perdas não foram consideradas nos cálculos e vale ressaltar que por essa grande diferença, pode-se afirmar que os motores não alcançam a velocidade estipulada pelo fabricante ou por serem poucas as informações sobre ele, seria necessário teste para levantamento das características dos motores utilizados neste projeto, mas em contrapartida a baixa velocidade não alterou o propósito principal do trabalho de conclusão de curso em questão, com isso pode-se afirmar que o funcionamento de

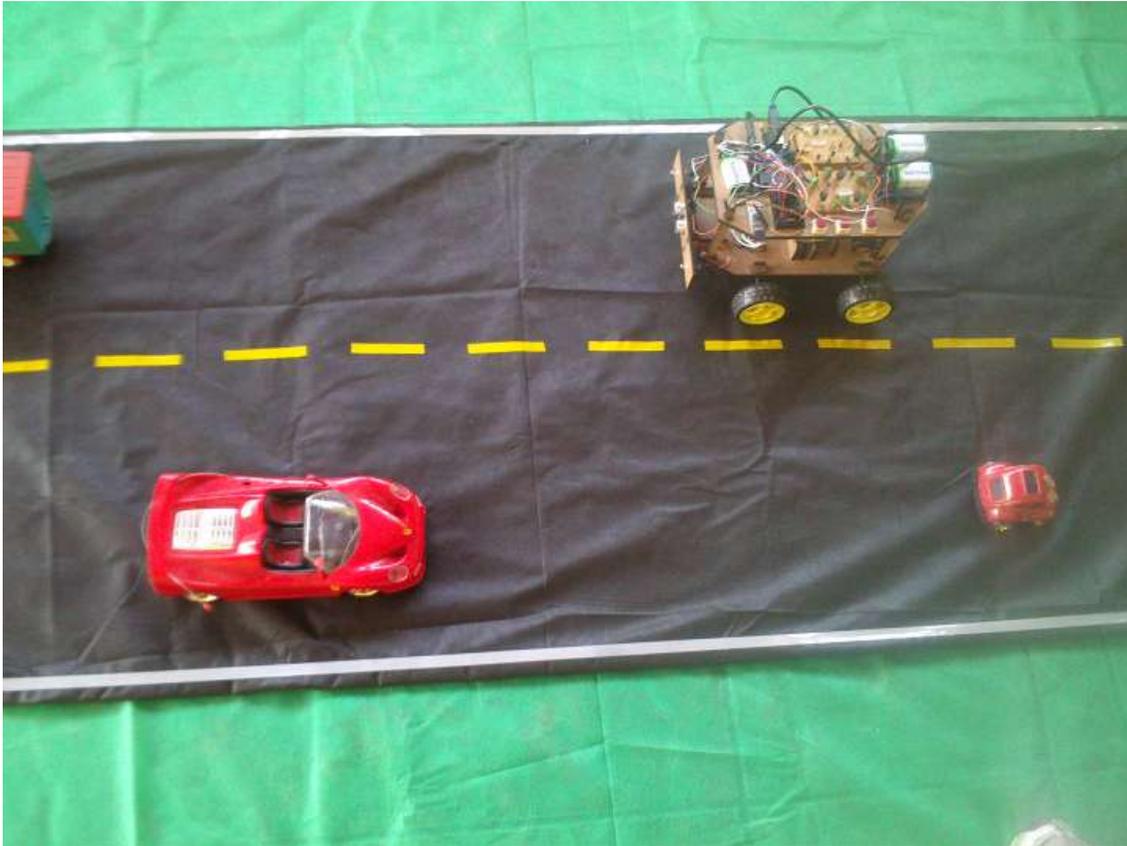


Figura 3.64: Teste de Desempenho

todo o conjunto foi conforme o esperado.

3.5.6 Testes Sensor Ultrassônico - Montagem Final

A base para todo o experimento com o protótipo foi o sensor ultrassônico, responsável pela detecção de obstáculos posicionados à frente da sua rota e comunicação direta com o microcontrolador.

A princípio foram feitos testes de alcance máximo do sensor e comparação com o informado no *datasheet*. O teste consistiu em conectar o sensor ao microcontrolador e verificar as distâncias captadas através de obstáculos inseridos à frente, como simulação. Posteriormente foram realizados testes para verificação de erros na medição e também em relação ao ângulo de alcance.

O código para este e os demais testes realizados com o sensor está disponível no Apêndice A (A.1) e detalhado na sessão 3.4.3, em *Interface com Hardware*.

Para verificação da distância do sensor ao objeto, foi utilizada a ferramenta *Serial Monitor*, disponível no *software* de programação do Arduino. Através desta ferramenta é possível ver em tela a distância medida pelo sensor. Abaixo são demonstrados os resultados destes testes.

- **Alcance máximo:** O alcance longitudinal máximo obtido através dos experimentos foi de aproximadamente 3,89 metros, um pouco abaixo do informado no *datasheet*, 4 metros.



Figura 3.65: Teste de Velocidade

O fato de o alcance máximo ser menor do que o informado pelo fabricante não alterou em nada os objetivos do trabalho.

- **Medida real:** Foi realizada a comparação da medida real do obstáculo ao sensor com o que ele de fato estava medindo. Foram feitas diversas leituras e o erro encontrado a partir destas medições foi de aproximadamente ± 1 cm.

Este erro não influenciou no resultado final do trabalho, pois foi irrelevante às medidas necessárias para sinalização de um obstáculo à frente e também parada automática do protótipo.

- **Ângulo de alcance ou ângulo de abertura:** A principal medida e com maior influência em relação aos objetivos do trabalho é em relação ao ângulo de abertura do sensor ultrassônico. Através de testes com diversas medições foi verificado o ângulo máximo de abertura e as áreas, chamadas de pontos cegos, em que poderia haver uma colisão em caso de algum obstáculo posicionado nestas áreas. O ângulo de alcance máximo informado no

datasheet era de apenas 15° , o que já seria um dificultador para o trabalho com a utilização de apenas 01 sensor frontal. Através de medições reais, foi obtido um ângulo máximo de $25,36^\circ$, o que melhorou os resultados obtidos, pois diminuiu os pontos cegos.

A **Figura 3.66** mostra uma imagem produzida no software *Solidworks* em que pode ser visualizado o protótipo e à área de detecção do sensor ultrassônico, posicionado no centro.

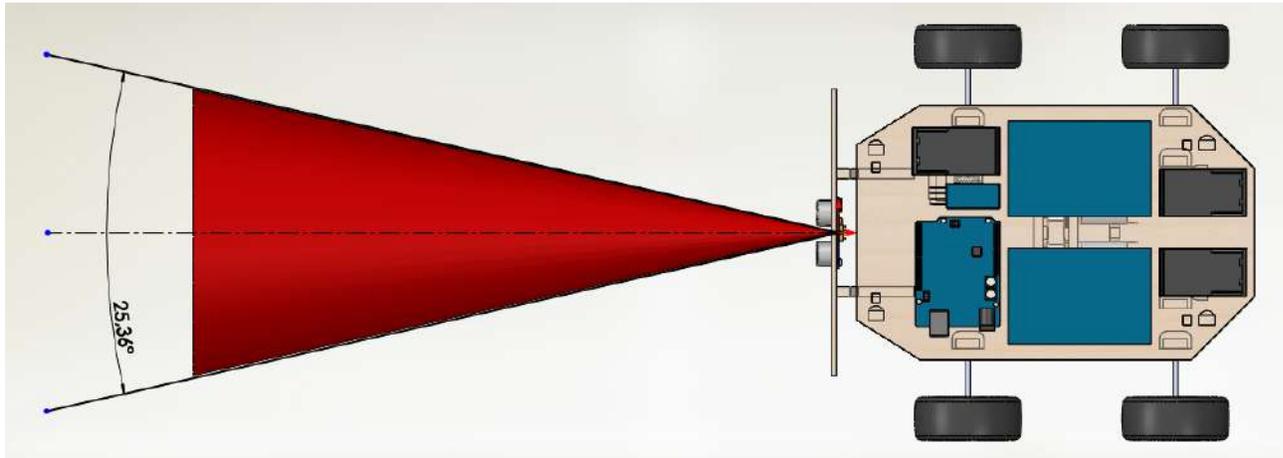


Figura 3.66: Ângulo de alcance Sensor Ultrassônico HC-SR04

Na indústria automotiva, o sensor utilizado possui um ângulo de alcance maior, e aliado a este sensor, há outro tipo de sensoriamento, a câmera, que realiza a classificação do tipo de objeto e através da fusão sensorial melhora a precisão de detecção de obstáculos. O alcance longitudinal dos sensores também é maior, cerca de 250 metros.

Neste trabalho, o que poderia ser feito para melhoria da área frontal de detecção seria a utilização de no mínimo dois sensores ultrassônicos frontais, posicionados nas extremidades do para-choque dianteiro. A área de detecção se torna maior, e a precisão para evitar colisões também.

Na **Figura 3.67** há uma simulação realizada com o posicionamento de dois sensores ultrassônicos. Como pode ser observada a melhora da área de detecção é significativa. Neste caso, a fusão sensorial abordada no tópico 2.2.2 deve ser utilizada para que haja confiabilidade nas medições, pois elas devem ser devidamente comparadas, ordenadas e filtradas, de acordo com as leituras obtidas pelos dois sensores e sua relevância.

Em conclusão ao teste realizado, infere-se que a utilização de mais sensores no protótipo seria necessária a partir da melhoria necessária quanto à confiabilidade e precisão para que o protótipo evitasse qualquer tipo de colisão em diferentes ângulos e posicionamentos.

Para os objetivos deste trabalho, em analogia ao sistema utilizado na indústria automotiva os resultados foram satisfatórios.

A partir da conclusão destes testes, chegou-se a uma das principais conclusões do trabalho em relação à utilização de sensores ultrassônicos em sistemas anticolisão. Para aplicações como

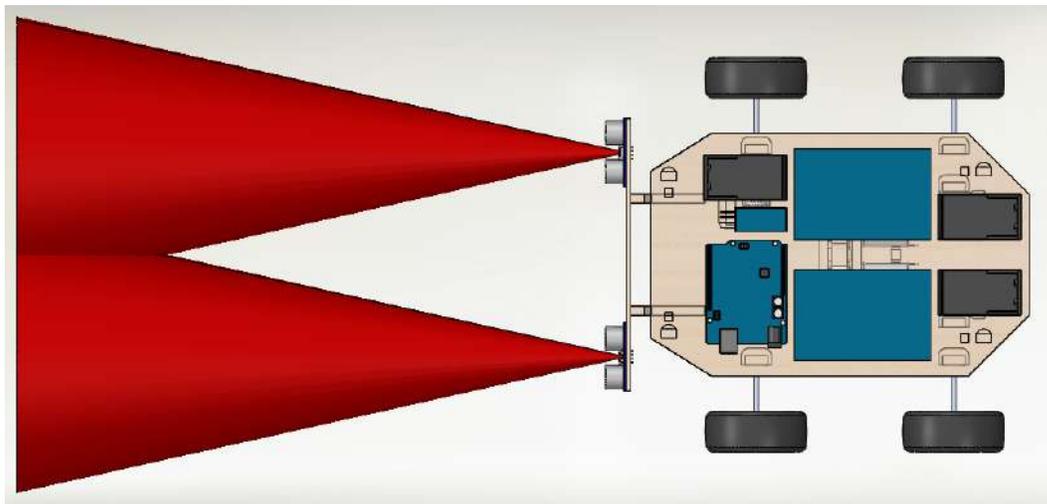


Figura 3.67: Ângulo de alcance utilizando dois sensores ultrassônicos

esta e em pequena escala, que não seja na indústria automotiva, por exemplo, mas na indústria em geral, a utilização é válida e é um ótimo custo benefício, se comparado a outros tipos de sensores de detecção de objetos à longa distância. Já para utilização em sistemas anticollisão na indústria automotiva faz-se necessária a utilização de sensores com maior ângulo de alcance e também maior alcance longitudinal, como os sensores RADAR e *Laser*, visto que o sistema é utilizado como segurança ativa nas estradas e não se admite falhas.

Outro fator indispensável neste sistema é o uso de sensoriamento por câmera para classificação do tipo de objeto, visto que falsos obstáculos podem ser detectados. Como exemplo do sensoriamento por câmera, o sistema de testes utilizado em Coelingh et al. [2010] demonstra a utilização do RADAR como abordado no capítulo 02 e o sensoriamento por câmera, como pode ser visto na **Figura 3.68**.



Figura 3.68: Visão sensoriamento por câmera, Sistema anticollisão Volvo, Coelingh et al. [2010]

O sensoriamento apenas por RADAR poderia detectar os pedestres nas margens das ave-

nidas ou até mesmo paredes, postes, que não estavam necessariamente posicionados dentro do ângulo longitudinal do veículo e este seria um falso obstáculo que interferiria na performance do sistema. Com a detecção por câmera e utilização da fusão sensorial, neste caso, estes objetos ou pedestres não são detectados como obstáculos e o veículo continua sua trajetória, até que algum obstáculo esteja posicionado à frente e o sistema acione os freios automaticamente.

Para uma melhora considerável no protótipo desenvolvido, a utilização de uma câmera posicionada na parte frontal e superior do protótipo seria muito importante para, analogamente ao descrito acima, obter um desempenho superior ao que foi obtido apenas com 01 sensor ultrassônico.

Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

4.1 Conclusões

Este presente trabalho apresentou o estudo para o desenvolvimento de uma pequena plataforma móvel microcontrolada com sistema eletrônico anticolisão frontal. O sistema apresentado faz referência ao já existente aplicado em veículos automotores, mas foi produzido com componentes diferentes e com objetivo de desenvolvimento apenas em pequenas aplicações e com menor custo.

Neste trabalho de conclusão de curso foi fundamentado, modelado e construído o protótipo, além de especificações dos componentes eletrônicos necessários, simulações, testes virtuais e físicos da parte eletroeletrônica, mecânica e computacional.

Algumas dificuldades foram encontradas para construção do protótipo, pois, alguns *softwares* utilizados, microcontrolador, e módulos nunca tinham sido antes utilizados na graduação. Além disso, o tema proposto, anticolisão na indústria automotiva, ainda é muito recente, e não há muitos artigos e publicações de referência para o assunto. As pesquisas e fundamentações teóricas sobre os assuntos abordados foram de extrema importância para que o tema fosse completamente entendido, e os objetivos não fossem comprometidos.

O intuito principal do trabalho foi de introduzir o tema de sistema anticolisão para estudos e desenvolver o protótipo para análise do seu funcionamento a partir da utilização de sensores ultrassônicos. Em conclusão ao teste realizado com o sensor ultrassônico já embarcado no protótipo, verificou-se o desempenho obtido a partir da utilização de apenas 01 sensor ultrassônico. O fato destes sistemas serem desenvolvidos na indústria automotiva para aumento da segurança nas estradas e serem um elemento de segurança ativa no veículo, não se admite falhas e sensores ultrassônicos do porte como o pesquisado, não se obtém um bom desempenho devido ao seu baixo alcance longitudinal e angular. Além disso, verificou-se que é de extrema importância a utilização de uma câmera frontal para classificação do tipo de objeto detectado, bem como a fusão sensorial aplicada, para que a confiabilidade e precisão do sistema seja coerente com a utilização. Em pequenas aplicações, como esta, a utilização é válida e também pode ser utilizado em outros tipos de indústrias, em que o trajeto percorrido pela máquina em que os sensores ultrassônicos estão embarcados já é definido previamente, por exemplo, evitando assim a neces-

tidade de um número maior de sensores ou diferentes tipos, resultando em um baixo custo do sistema.

4.2 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestão para continuidade ao projeto, pode-se utilizar uma câmera frontal para classificação de objetos, além de um número maior de sensores ultrassônicos, até mesmo em outras posições do protótipo. O objetivo seria para estudos em aplicações de maior escala, a partir do aumento da confiabilidade e precisão do sistema. A fusão sensorial neste caso será necessária para classificação, ordenação e tratativa dos dados obtidos a partir de um número maior de sensores e de diferentes tipos.

Como é crescente o tema sobre anticolisão na indústria automotiva, outra sugestão seria o estudo e desenvolvimento de um sistema eletrônico capaz de detectar objetos e acionar os freios de um veículo real. Este sistema é mais complexo, pois se faz necessário o envio de sinais através da rede utilizada em automóveis (C-CAN, B-CAN, LIN) e comunicação com diferentes centrais eletrônicas. Além disto, seria necessário o estudo sobre diferentes sensores, além dos já utilizados (RADAR e *Laser*), para que o custo final do sistema fosse otimizado.

Algoritmos

A.1 Código para testes Sensor Ultrassônico HC-SR04

```
#define trigPin 13
#define echoPin 12
void setup()
{
  Serial.begin (9600);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
}

void loop()
{
  long tempo_sinal, distancia;
  digitalWrite (trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds (10);
  digitalWrite (trigPin, LOW);
  tempo_sinal= pulseIn (echoPin, HIGH);
  distancia = ((tempo_sinal/2)* 0.03435);
  if (distancia >= 100 || distancia <= 0)
  {
    Serial.println("Nenhum obstáculo proximo");
  }
  else
  {
    Serial.print(distancia);
    Serial.println("cm");
  }
}
```

```
}  
  delay(500);  
}
```

A.2 Códigos para testes de Acionamento de Motores - PWM

A.2.1 Código 01

```
#define motor 5  
#define lampred 13  
#define lampgreen 12  
void setup()  
{  
  pinMode(motor, OUTPUT);  
  pinMode(lampred, OUTPUT);  
  pinMode(lampgreen, OUTPUT);  
}  
void loop()  
{  
  digitalWrite(motor, HIGH); //Motor Ligado  
  digitalWrite(lampgreen, HIGH);  
  digitalWrite(lampred, LOW);  
  delay(2000);  
  
  digitalWrite(motor, LOW); //Motor Desligado  
  digitalWrite(lampred, HIGH);  
  digitalWrite(lampgreen, LOW);  
  delay(2000);  
}
```

A.2.2 Código 02

```
int MOTOR_DIRETO=11; //saída PWM terminal 11, rotação sentido horário (direto)  
int MOTOR_REVERSO=10; //saída PWM terminal 12, rotação sentido anti-horário (reverso)  
  
void setup() {
```

```
    pinMode(MOTOR_DIRETO, OUTPUT); //especificação como saída
    pinMode(MOTOR_REVERSO, OUTPUT); //especificação como saída
}

void loop() {
    analogWrite(MOTOR_DIRETO, 0); //motor parado
    delay(2000);
    analogWrite(MOTOR_DIRETO, 50); //19% da sua rotação máxima no sentido horário
    delay(3000);
    analogWrite(MOTOR_DIRETO, 100); //39% da sua rotação máxima no sentido horário
    delay(3000);
    analogWrite(MOTOR_DIRETO, 200); //78% da sua rotação máxima no sentido horário
    delay(3000);
    analogWrite(MOTOR_DIRETO, 250); //98% da sua rotação máxima no sentido horário
    delay(2000);
    analogWrite(MOTOR_DIRETO, 100); //39% da sua rotação máxima no sentido horário
    delay(3000);
    analogWrite(MOTOR_DIRETO, 50); //19% da sua rotação máxima no sentido horário
    delay(3000);
    analogWrite(MOTOR_DIRETO, 0); //motor parado
    delay(2000);
    analogWrite(MOTOR_REVERSO, 50); //19% da sua rotação máxima no sentido anti-horário
    delay(3000);
    analogWrite(MOTOR_REVERSO, 100); //39% da sua rotação máxima no sentido anti-horário
    delay(3000);
    analogWrite(MOTOR_REVERSO, 200); //78% da sua rotação máxima no sentido anti-horário
    delay(3000);
    analogWrite(MOTOR_REVERSO, 250); //98% da sua rotação máxima no sentido anti-horário
    delay(3000);
    analogWrite(MOTOR_REVERSO, 100); //39% da sua rotação máxima no sentido anti-horário
    delay(3000);
    analogWrite(MOTOR_REVERSO, 50); //19% da sua rotação máxima no sentido anti-horário
    delay(3000);
    analogWrite(MOTOR_REVERSO, 0); //motor parado
    delay(2000);
}
```

A.3 Código Final para Controle da Plataforma

```
#define trigPin 13 //terminal TRIG sensor ultrassonico
#define echoPin 12 //terminal ECHO sensor ultrassonico

void setup() {
  pinMode(6,OUTPUT); //motor1 para frente
  pinMode(9,OUTPUT); //motor1 para trás
  pinMode(3,OUTPUT); //acionamento leds traseiros
  pinMode(4,OUTPUT); //acionamento leds frontais

  pinMode(10,OUTPUT); //motor2 para trás
  pinMode(11,OUTPUT); //motor2 para frente

  pinMode(trigPin, OUTPUT); //sensor ultrassonico TRIG
  pinMode(echoPin, INPUT); //sensor ultrassonico ECHO
  Serial.begin(9600); //baudrate comunicação serial
}

void parar() { //função para parar a plataforma
  digitalWrite(6, LOW);
  digitalWrite(9, LOW);
  digitalWrite(10, LOW);
  digitalWrite(11, LOW);
  digitalWrite(3,LOW);
  digitalWrite(4,LOW);
}

void leds(){ //acionamento de leds quando detectado obstáculo
  digitalWrite(3, HIGH);
  digitalWrite(4, HIGH);
  delay(10);
  digitalWrite(3, LOW);
  digitalWrite(4, LOW);
  delay(10);
}
```

```
void front() { //função para movimentação dos motores para frente
  digitalWrite(6, HIGH);
  digitalWrite(10, HIGH);
}

void back() { //função para movimentação dos motores para trás
  analogWrite(9, 255);
  analogWrite(11, 255);
}

void left() { //função para movimentação dos motores para esquerda
  analogWrite(6, 20);
  analogWrite(10, 240);
}

void right() { //função para movimentação dos motores para direita
  analogWrite(6, 255);
  analogWrite(10, 50);
}

void loop()
{
  //inicialização sensor ultrassonico

  long tempo_sinal, distancia;
  digitalWrite (trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds (10);
  digitalWrite (trigPin, LOW);
  tempo_sinal= pulseIn (echoPin, HIGH);
  distancia = ((tempo_sinal/2)* 0.03435); //conversão distancia

  float c = Serial.read();

  if (distancia <=50){ //acionamento de leds, obstáculo a 50cm
    leds();
  }
  if (c==0x38){ //movimentação para frente
```

```
    front();
    if (distancia >50){
        digitalWrite(4,HIGH);
    }
}
if (c==0x36 && distancia>=20){ //movimentação para direita
    right();
}
if (c==0x34 && distancia>=20){ //movimentação para esquerda
    left();
}
if (c==0x32){ //movimentação para trás
    back();
    if (distancia >50){
        digitalWrite(3,HIGH);
    }
}
if (c!=0x38 && c!=0x34 && c!=0x36 && c!=0x32 || (distancia<=20 && c!=0x32)){
    parar(); //teste condicional para parar a plataforma.
}
delay(100);
}
```

A.4 Teste comunicação *bluetooth*

```
void setup()
{
    pinMode(13,OUTPUT);
    pinMode(12,OUTPUT);
    pinMode(11,OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
    char c = Serial.read();
```

```
if (c=='1') digitalWrite(13,HIGH);  
if (c=='2') digitalWrite(12,HIGH);  
if (c=='3') digitalWrite(11,HIGH);  
  
if (c=='A') digitalWrite(13,LOW);  
if (c=='B') digitalWrite(12,LOW);  
if (c=='C') digitalWrite(11,LOW);  
  
delay(1000);  
  
}
```


Desenhos Mecânicos em 2D

B.1 Chassi do Protótipo

B.2 Segundo Pavimento e Suportes

B.3 Suportes e Travas

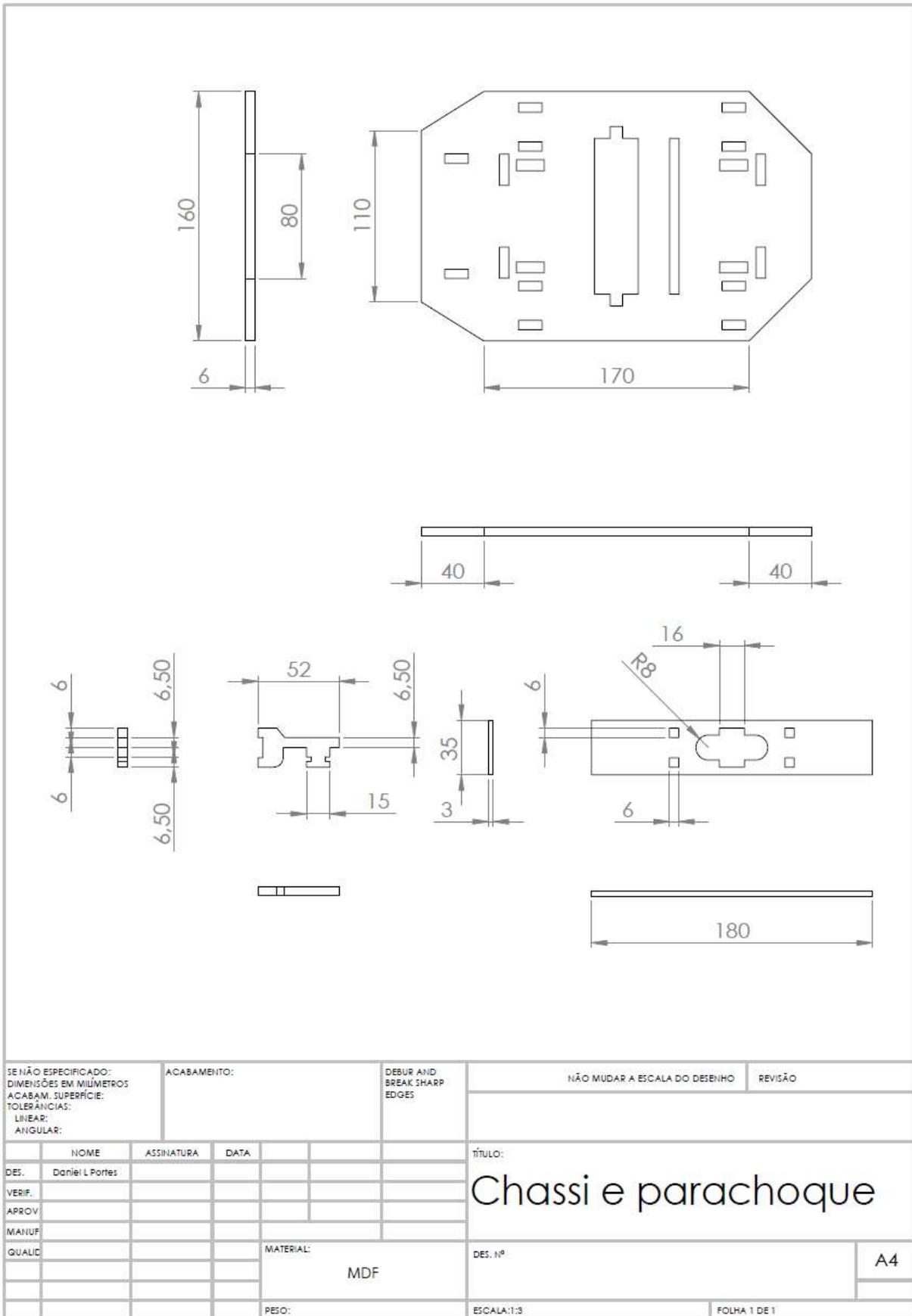


Figura B.1: Chassi - Desenho 2D

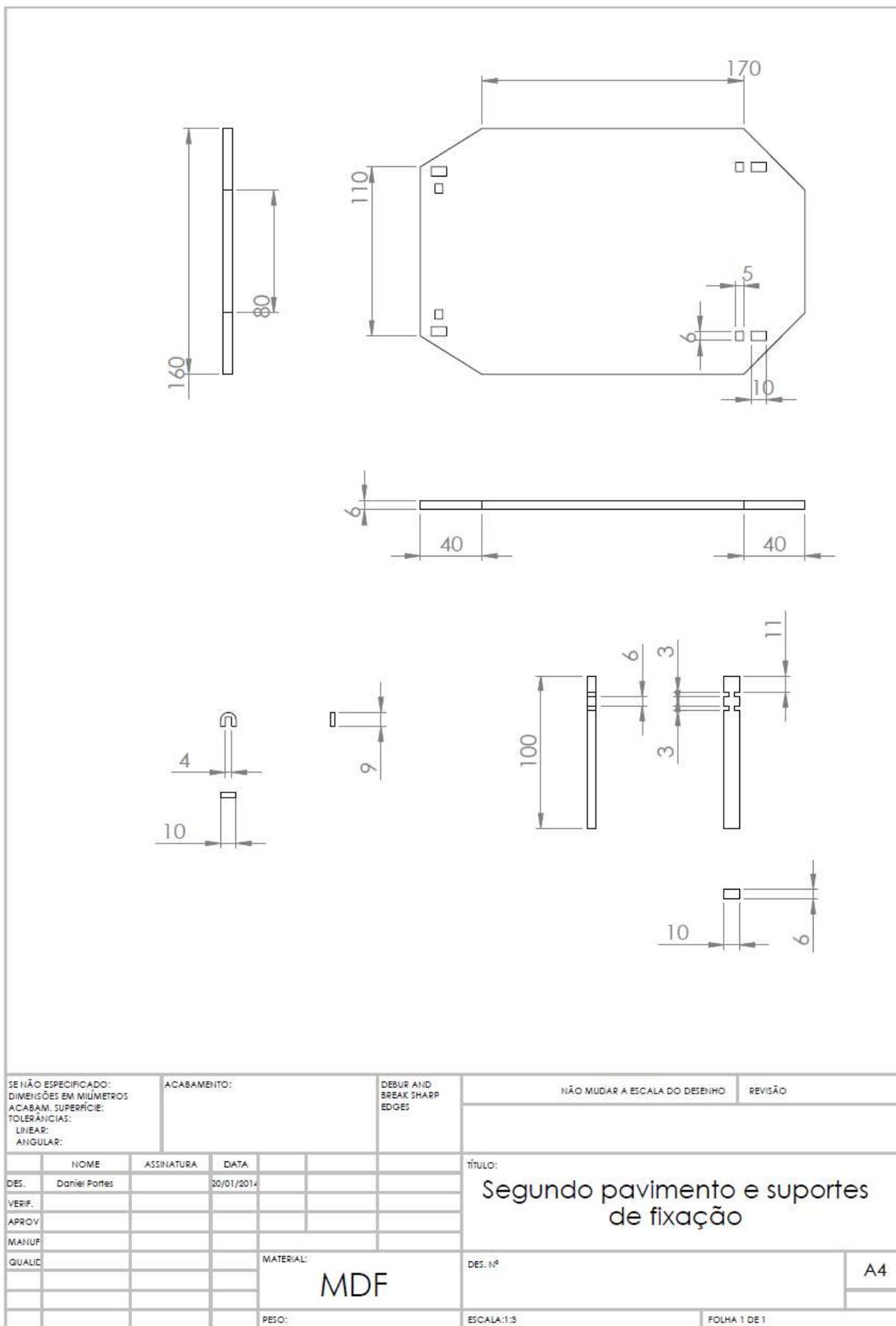


Figura B.2: Segundo Pavimento - Desenho 2D

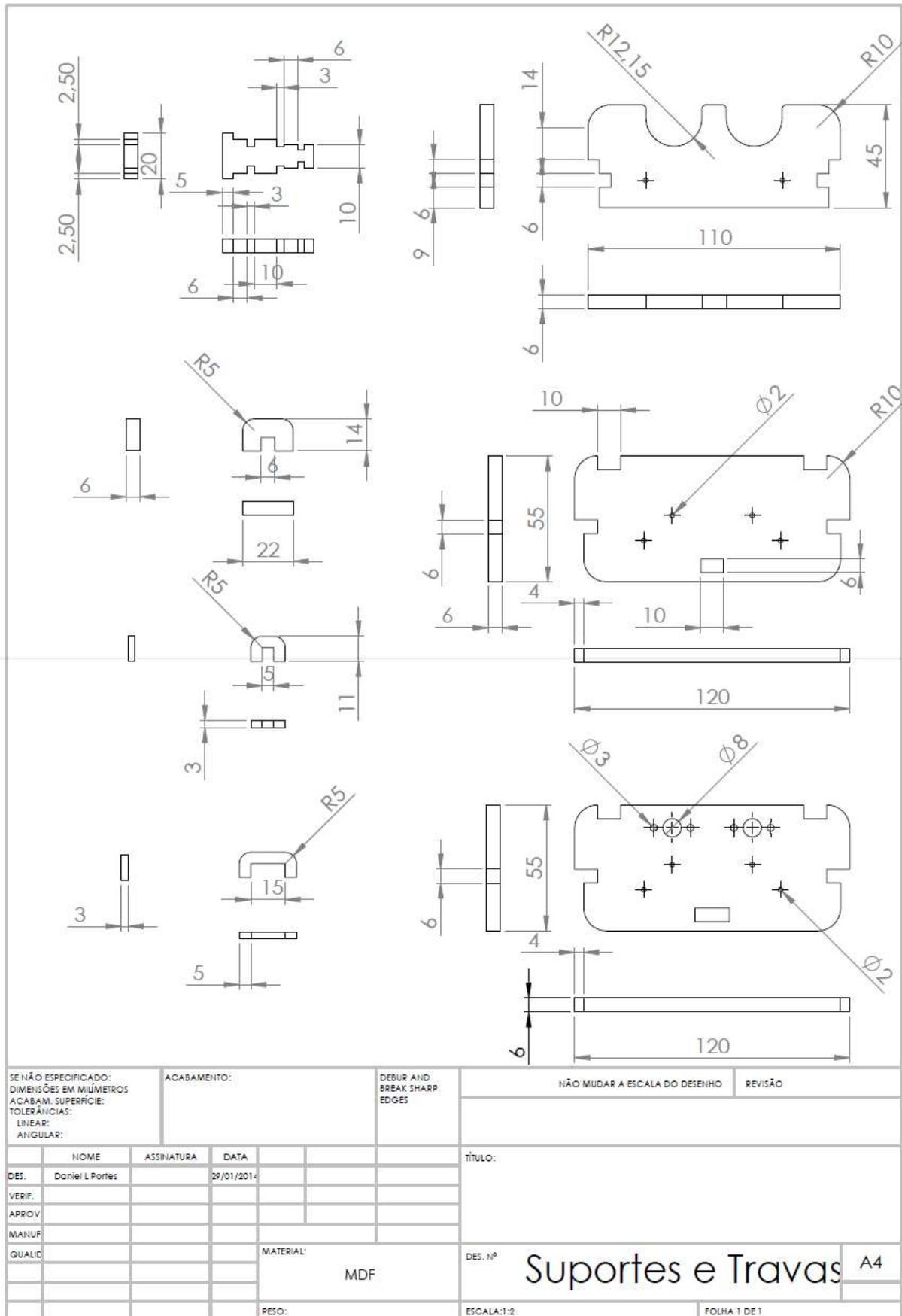


Figura B.3: Suportes e Travas - Desenho 2D

Apêndice **C**

Diagramas Elétricos

C.1 Diagrama Elétrico - Placa de Prototipagem Eletrônica - Arduíno UNO

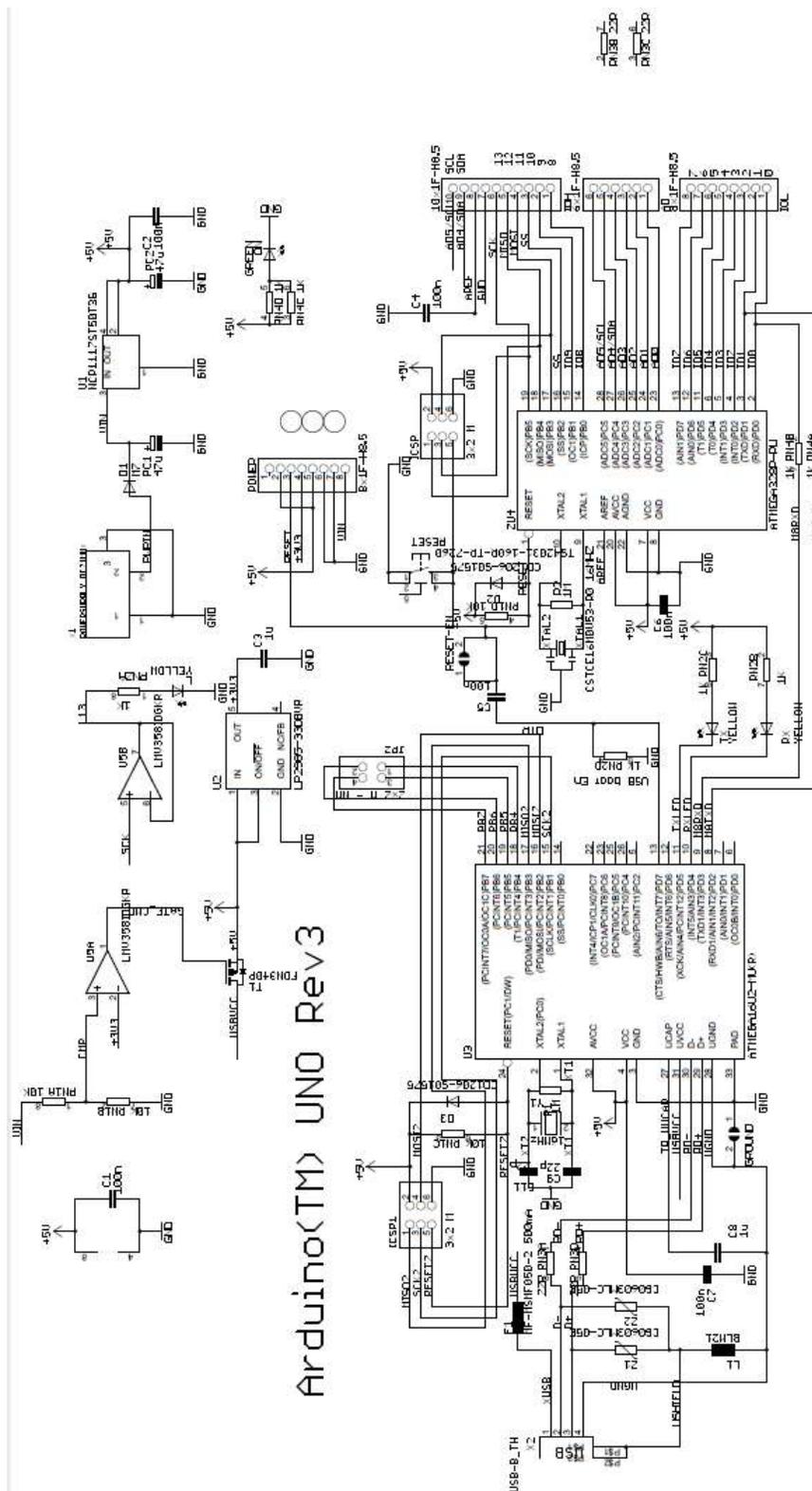


Figura C.1: Diagrama Elétrico Arduino UNO

Bibliografia

- AllDataSheet. *Transistor BC548, BC558*, 2013. URL <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=BC548/BC558>.
- A. F. B. Antunes. *Fundamentos de Sensoriamento Remoto em Ambiente de Geoprocessamento*. CIEG/UFPR, 2005.
- Arduíno. *Arduíno Uno*, 2013a. URL <http://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>.
- Arduíno. *Download the Arduino Software*, 2013b. URL <http://arduino.cc/en/Main/Software>.
- Mecatrônica Atual. *Controle de um motor DC pelo PWM*, 2013. URL <http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/879-controle-de-um-motor-dc-pelo-pwm-do-pic>.
- Bosch. *LRR3 - 3rd generation - Long-Range Radar Sensor*, 2009. URL http://www.bosch-tecnologiaautomotiva.com.br/media/db_1/en_4/lrr3_datenblatt_de_2009.pdf.
- E. Coelingh, A. Eidehall, and M. Bengtsson. Collision Warning with Full Auto Brake and Pedestrian Detection - *a practical example of Automatic Emergency Braking*. *IEEE - ITSC. International Annual Conference on Intelligent Transportation Systems*, pages 155–160, September 2010.
- Delphi. *Active Safety - Delphi Collision Mitigation System*, 2013. URL <http://delphi.com/shared/pdf/ppd/safesec/cms.pdf>.
- DNIT. *Anuário Estatístico das Rodovias Federais 2010 - Acidentes de Trânsito e Ações de Enfrentamento ao Crime*, 2010. URL <http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/estatisticas-de-acidentes/anuario-2010.pdf>.
- Elecfreak. *Ultrasonic Ranging Module HC - SR04 - Datasheet*, 2013. URL <http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/HCSR04b.pdf>.
- Foxytronics. *CuteDigi BMX Bluetooth to UART/I2C/USB Module (GEN II) - Datasheet*, 2013. URL <http://foxytronics.com/files/download/jy-mcu-bluetooth-serial-port-module-datasheet>.

- Google. *Play Store - BlueStick Control*, 2013a. URL <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.inex.BlueStickControl>.
- Google. *Play Store - S2 Terminal for Bluetooth*, 2013b. URL <https://play.google.com/store/apps/details?id=jp.side2.apps.btterm>.
- Ilos. *Cenário da Infraestrutura Rodoviária no Brasil*, 2011. URL http://www.ilos.com.br/web/index.php?option=com_content&task=view&id=1807&Itemid=74.
- Revista Info. *Jovens inovam a automação residencial usando Arduino*, 2012. URL <http://info.abril.com.br/noticias/ti/jovens-inovam-a-automacao-residencial-usando-arduino-30112012-31.shl>.
- J. Jansson. *Collision avoidance theory with application to automotive collision mitigation*. PhD thesis, Department of Electrical Engineering Linköping University, 2005.
- I. Lhara. *Ultrasonic Sensing: Fundamentals and its Applications to Nondestructive Evaluation. Sensors - Advancements in Modeling, Design Issues, Fabrication and Practical Applications*, pages 287–305, 2008.
- P. R. Meneses and T. Almeida. *Fundamentos de Sensoriamento Remoto em Ambiente de Geoprocessamento*. UNB/CNPQ, 2012.
- N. Mohan. *Power Electronics: converters, applications, and design*. John Wiley and Sons, Inc, 2. edition, 1995.
- Euro NCAP. *Autonomous Emergency Braking*, 2013a. URL <http://www.euroncap.com/rewards/technologies/brake.aspx>.
- Euro NCAP. *Reward 2010 - Volvo City Safety*, 2013b. URL http://www.euroncap.com/rewards/volvo_city_safety.aspx.
- R. L. Norton. *Projeto de Máquinas: Uma abordagem integrada*. Bookman, São Paulo, 4. edition, 2004.
- L. F. Patsko. *Tutorial, Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores*, 2006. URL http://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000_kdr5000/tutorial_eletronica_-_aplicacoes_e_funcionamento_de_sensores.pdf.
- A. S. Sedra. *Microeletrônica*. Makron, 5. edition, 2007.
- E. L. F. Senne. *Primeiro Curso de Programação em C*. Visual Books, Florianópolis, 2. edition, 2006.
- TRW. *NHTSA's decision on automatic braking coming before year-end*, 2013. URL <http://safety.trw.com/nhtsas-decision-on-automatic-braking-coming-before-year-end/0712/>.
- Arduíno Tutorial. *PWM*, 2013. URL <http://arduino.cc/en/Tutorial/PWM>.
- I. Ullah, F. Ullah, and Q. Ullah. A Sensor Based Robotic Model for Vehicle Collision Reduction. *IEEE - ICCNIT. International Conference on Computer Networks and Information Technology*, pages 251–255, July 2011.

J. Wickert. *Introdução à Engenharia Mecânica*. Thomson, São Paulo, 2. edition, 2007.

Wiring. *Wiring. An enviroment and electronics i/o board for creating physical interactive and conceptual structures, programming and sketching with electronics*, 2013. URL <http://wiring.org.co/about.html>.