



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Projeto de um Sistema de Travagem Automático para um Veículo Automóvel Ligeiro de Passageiros

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Automóvel

Autor

Roney Camargo Malaguti

Orientadores

Professor Doutor Pedro de Figueiredo Vieira Carvalheira

Professor Doutor Francisco José de Almeida Cardoso

Júri

Presidente Professor Doutor Fernando Jorge Ventura Antunes
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogais

Professora Doutora Maria Augusta Neto
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
Professor Doutor Pedro de Figueiredo Vieira Carvalheira
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

“Escolhe um trabalho de que gostes, e não terás que trabalhar um dia na tua vida.”
Confúcio

Aos meus pais e avós.

Agradecimentos

O trabalho que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento.

As minhas palavras de apreço vão assim para os meus pais Roberto e Maria do Socorro, e aos meus avós Roberto e Raymunda, que colaboraram, apoiaram e incentivaram todas as decisões da minha vida.

A minha namorada Elis, o meu porto seguro e incondicional durante o meu percurso académico em Coimbra.

Aos meus orientadores o Professor Doutor Pedro de Figueiredo Vieira Carvalheira e o Professor Doutor Francisco José de Almeida Cardoso pela motivação ao longo do curso e na realização da Dissertação.

Resumo

A inserção dos mais variados tipos de tecnologia na indústria automóvel é um fator que vem crescendo bastante. Veículos mais confortáveis e seguros são novos padrões adotados pelas grandes fabricantes, através da utilização dos sistemas de auxílio ao condutor que podem ser elaborados para a simples função de memorizar o gosto musical do condutor até funções mais complexas como o controlo do sistema de travagem e aceleração do veículo. O objetivo deste trabalho é descrever um sistema de controlo do mecanismo de travagem automóvel interligado a sensores que captam as variáveis físicas do trânsito: distância entre os veículos, velocidades e acelerações e a necessidade de travagem ou não do sistema. A má manutenção das estradas, o trânsito conturbado e a busca de maior conforto e fiabilidade nos automóveis justificam a elaboração deste trabalho. O sistema em destaque foi elaborado em três módulos: O módulo de atuação; o módulo dos sensores de ultra-som, que captam a distância do veículo da frente, e o módulo de velocidade que capta as acelerações e velocidades do veículo. Todo o sistema é conectado através de um protocolo de comunicação caracterizando um sistema estruturado em rede. Ao longo desta dissertação são apresentados os *hardwares* utilizados, os *softwares* de desenvolvimento, o protocolo de comunicação, os mecanismos de travagem automóvel, as componentes do trânsito, assim tal como, os testes e simulações aplicadas ao sistema desenvolvido. A elaboração deste trabalho baseia-se num conceito exploratório e descritivo e na utilização de planilhas de simulação teóricas e práticas. Através de todos os conceitos e da metodologia adotada foi elaborado e finalizado um protótipo, cujos resultados obtidos foram de grande valia para o campo de conhecimento dos sistemas de auxílio ao condutor e aos sistemas de travagem.

Palavras-chave: Controlo, Automóveis, Travagem, Tecnologia, Comunicação.

Abstract

The insertion of various types of technology in the automotive industry is a factor that has grown impressively. More comfortable and safe vehicles are standards being adopted by major automakers, through the use of aid to the driver that can be designed for simple function such as to memorize the musical tastes of the driver to more complex functions such as control of the braking and vehicle acceleration systems. The objective of this work is to describe a control system of the automobile braking mechanism interconnected to sensors that capture the physical variables of the traffic: Distance between vehicles, speeds and accelerations and the need to brake or not of the system. Poor maintenance of roads, the troubled transit and the search for greater comfort and reliability for cars justify drafting this paper. The system featured in was produced in three modules: The actuation module, the module of ultrasonic sensors that capture the distance to the front vehicle and the speed module that captures the accelerations and velocities of the vehicle. The whole system is connected through a communication protocol featuring a structured networking system. Throughout this monograph the hardware used, development software, communication protocol, the mechanisms of automotive braking, the components of the traffic, as well as the tests and simulations applied to the developed system are presented. The preparation of this work is based on an exploratory and descriptive concept, which seeks in articles and books related to the subject matter, theoretical and practical foundation. Through all the concepts and methodology adopted was developed and finalized a prototype whose results were of great value to the field of knowledge of driver assist and braking systems.

Keywords Control, Cars, Brake, Technology, Communication.

Índice

Índice de Figuras	vii
Índice de Tabelas	viii
Simbologia e Siglas	ix
Simbologia.....	ix
Siglas	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos e Motivação.....	1
1.2. Abordagem da Solução.....	3
1.3. Estrutura da Dissertação	4
2. TRAVAGEM AUTOMÁTICA EM VEÍCULOS AUTOMÓVEIS	6
2.1. Elementos de Tráfego Automóvel.....	6
2.1.1. Utilizadores das Vias – Condutor.....	7
2.1.2. Utilizadores das Vias – Peões.....	8
2.1.3. Dinâmica de Travagem.....	8
2.1.3.1. Força de Travagem B nas Rodas	10
2.1.3.2. Componente Tangencial do Peso	11
2.1.3.3. Resistência do Ar	11
2.1.3.4. Torque de Resistência da Transmissão M_t	12
2.1.3.5. Torque de Resistência do Motor	12
2.1.3.6. Capacidade de Desaceleração	13
2.2. Travagem: Conceitos e Tecnologia	13
2.2.1. Fundamentos do Sistema de Travões	14
2.2.1.1. Sistema de Travões Convencionais.....	14
2.2.1.2. Sistema de Travões Eletrónico.....	15
2.2.1.2.1. Descrição do Sistema ABS	16
2.2.1.2.2. Atuadores do Sistema ABS.....	17
2.2.2. Componentes de um Sistema de Travões	18
2.2.2.1. Pedal de Travão	18
2.2.2.2. Servo Travão	18
2.2.2.3. Cilindro Mestre	19
2.2.2.4. Travão de Tambor	20
2.2.2.5. Travão de Disco	21
2.2.2.6. Dispositivos de Controlo de Pressão	22
2.2.2.7. Configurações do Circuito Hidráulico do Travão	22

2.3.	Travagem Automática: Abordagens Modernas	23
2.3.1.	Sistemas de Segurança	23
2.3.1.1.	Robôs	23
2.3.1.2.	Automóveis	25
2.3.1.2.1.	Volvo	25
2.3.1.2.2.	Ford	26
2.3.1.2.3.	Bosch	27
2.3.1.3.	Aviões	28
2.4.	Sistemas de Travagem Automática – Tecnologias e Arquiteturas	29
2.4.1.	Micro-Controladores	29
2.4.2.	Sensores	30
2.4.2.1.	Tipos de Sensores	30
2.4.3.	Transdutores	32
2.4.4.	Transmissores	32
2.4.5.	Atuadores	33
2.4.6.	Redes de Comunicação	33
2.4.6.1.	Arquitetura Centralizada	33
2.4.6.2.	Arquitetura Distribuída	34
2.4.6.3.	Requerimento de Comunicação em Sistemas Automóveis	35
2.4.6.4.	Comunicação <i>Event-Triggered</i> e <i>Time-Triggered</i>	36
2.4.6.5.	Tipos de Redes de Comunicação	37
2.4.6.5.1.	DeviceNet	37
2.4.6.5.2.	RS232	37
2.4.6.5.3.	RS485	37
2.4.6.5.4.	Profibus	38
2.4.6.5.5.	Foundation Fieldbus - FF	38
2.4.6.6.	Rede de Comunicação CAN	38
2.4.6.6.1.	Área de Aplicação: Automóveis	39
2.4.6.6.2.	Área de Aplicação: Indústria	40
2.4.6.6.3.	Meios de Transmissão	40
2.4.6.6.4.	Transmissão e Recepção de Mensagens	41
3.	O protótipo da solução concebida	43
3.1.	Módulos Construtivos	43
3.2.	<i>Hardware</i> do Protótipo	44
3.3.	Softwares Utilizados para o Desenvolvimento	44
3.4.	Módulo dos Sensores Ultra-som	44
3.4.1.	Programação dos Micro-controladores de Ultra-som	45
3.4.2.	Escolha dos Sensores de Ultra-som	46
3.5.	Módulo dos Sensores de Velocidade	48
3.5.1.	Programação dos Micro-controladores de Velocidade	48

3.5.2.	Escolha do Sensor de Velocidade.....	49
3.6.	Módulo dos Atuadores	50
3.6.1.	Programação dos Micro-controladores do Atuador.....	51
3.6.2.	Escolha do Atuador	51
3.7.	Suporte das Novas Placas	53
4.	Avaliação de desempenho	54
4.1.	Testes em Placa Branca	54
4.2.	Testes do Modo de Funcionamento	55
4.3.	Testes de Dados Adquiridos	55
4.4.	Testes do Posicionamento dos Sensores no Automóvel.....	55
4.5.	Simulações e Resultados de Velocidade e Espaço de Colisão	56
5.	Conclusão	64
5.1.	Recomendação para Trabalhos Futuros.....	65
6.	Referências bibliográficas	66
7.	Anexo A.....	69
8.	Anexo B.....	74
9.	Anexo C.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Campo Visual e Distância de Focalização em Função da Velocidade	7
Figura 2. Dinâmica de Travagem	9
Figura 3. Travões de Disco.....	10
Figura 4. Potência x Velocidade.....	13
Figura 5. Sistema de Travão Convencional [Bosch,2005]	15
Figura 6. Sistema de Travão Eletrônico [Bosch,2005].....	16
Figura 7. Pedal do Travão [Bosch,2005].....	18
Figura 8. Servo Travão [Bosch,2005]	19
Figura 9. Cilindro Mestre [Bosch,2005].....	19
Figura 10. Travão de Tambor Simplex [Bosch,2005]	20
Figura 11. Travão de Tambor Duplex [Bosch,2005].....	20
Figura 12. Travão de Tambor Uni-servo e Duo-servo [Bosch,2005].....	21
Figura 13. Travão de Disco [Bosch,2005].....	21
Figura 14. Circuito Hidráulico [Bosch,2005].....	22
Figura 15. Sensores na Frente do Veículo [Volvo, 2006]	26
Figura 16. Disposição dos Sensores [Bosch, 2011]	27
Figura 17. Controlo em Cadeia Fechada	29
Figura 18. Arquitetura Centralizada [Guimarães e Saraiva, 2002]	34
Figura 19. Arquitetura Distribuída [Guimarães e Saraiva, 2002].....	35
Figura 20. Rede CAN em Automóveis [Audi, 2011].....	40
Figura 21. Níveis de tensão no CAN [Cia, 2011].....	41
Figura 22. Fluxograma de Módulos	43
Figura 23. Módulo Ultra-som.....	45
Figura 24. Sensor Ultra-som [Ebay, 2011].....	47
Figura 25. Diagrama de Cálculo de Distância.....	47
Figura 26. Módulo de Velocidade	48
Figura 27. Sensor	49
Figura 28. Diagrama de Cálculo de Velocidade.....	50
Figura 29. Módulo Atuador.....	51
Figura 30. Atuador Linear	52
Figura 31. Simulação de Impacto 1	56
Figura 32. Simulação de Impacto 2	57
Figura 33. Simulação de Impacto 3	58
Figura 34. Simulação de Impacto 4.....	58
Figura 35. Simulação de Impacto 5	59
Figura 36. Simulação de Impacto 6	60
Figura 37. Simulação de Impacto 7	60
Figura 38. Simulação de Impacto 8	61
Figura 39. Simulação de Impacto 9	62
Figura 40. Simulação de Impacto 10	63

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Lista de Sensores	32
Tabela 2. Taxa de Transmissão e Barramento [Cia, 2011]	39
Tabela 3. Cargas e Velocidades Atuador.....	52

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

a – Aceleração na Travagem

A_f – Área Frontal

B – Força de Travagem

$B_{\text{máx}}$ – Força de Travagem Máxima

C_x – Coeficiente de Arrasto Aerodinâmico

\cos – Cosseno

C_r – Coeficiente de Resistência ao Rolamento

D_r – Distância de Reação

F – Coeficiente de Atrito

F_b – Força de Compressão na Pastilha

F_t – Força Tangencial

G – Inclinação da Rampa

g – Aceleração da Gravidade

m – Massa do Veículo

M_{db} – Torque de Travagem

M_e – Torque Medido Experimentalmente no Eixo do Motor

M_t – Torque de Resistência da Roda Proveniente do Sistema de Transmissão de Movimento

r_b – Raio Efetivo da Força de Travagem no Disco

R_a – Resistência do Ar

R_g – Componente Tangencial do Peso

R_i – Força de Inércia de Translação

R_r – Força de Resistência ao Rolamento

R_{rf} – Força de Resistência ao Rolamento no Eixo Dianteiro

R_{rr} – Força de Resistência ao Rolamento no Eixo Traseiro
 S – Distância de Travagem
 \sin – Seno
 t – Tempo
 V – Velocidade Final
 V_0 – Velocidade Inicial
 W – Peso do Veículo
 γ_b – Fator Adimensional que Considera o Efeito das Partes Rotativas na Massa do Veículo
 ξ – Relação de Transmissão
 ρ – Massa Volúmica do Ar
 μ_b – Coeficiente de Atrito entre as Superfícies (pastilha e disco)
 μ_o – Coeficiente de Atrito Máximo Pneu-Solo
 η – Rendimento do Sistema de Transmissão do Veículo

Siglas

ABICAS – Automatic Braking Intersection Collision Avoidance System
ABS – Antilock Braking System
ANSR – Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária
BBW – Brake-by-Wire
BR23C – Biomimetic Robot Car
CAN – Controller Area Network
CAN H – CAN High
CAN L – CAN Low
CEE – Comunidade Económica Europeia
CIA – CAN in Automation
CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito
CSMA/CA – Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection with Non-Destructive Arbitration
CWAB – Collision Warning with Auto Brake

CWBS – Collision Warning and Brake Support
EBD – Electronic Brake Distribution
EMB – Electromechanical Brake
ENSR – Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária
EPORO – Nissan EPORO Robot Car
ESP – Electronic Stability Program
EuroNCAP – European New Car Assessment Programme
FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
GPS – Global Positioning System
HDC – Hill Descent Control
ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa
MHz – Mega Hertz
PNPR – Plano Nacional de Prevenção Rodoviária
SAE – Sociedade de Engenheiros Automóveis
TCAS – Traffic Collision Avoidance System
USP/LAA – Universidade de São Paulo/Laboratório de Automação Agrícola
UWB – Ultra Wide-Band

1. INTRODUÇÃO

1.1. Objetivos e Motivação

Este trabalho tem como objetivo a construção de um sistema de travões automóvel auxiliado por sensores com as premissas de prever obstáculos que possam causar danos ao condutor e ao veículo, além de acrescentar maior fiabilidade ao sistema de travagem e segurança aos condutores de veículos automotores tendo em vista um custo baixo e acessível à grande maioria dos condutores. Através da utilização de um sistema de auxílio ao condutor pode-se acrescentar fiabilidade e precisão aos automóveis. Esses sistemas podem variar do simples gravar do padrão musical preferido do condutor até ao controlo de aceleração e travagem de um veículo automotor.

Os sistemas em destaque estão a ser utilizados em larga escala nos automóveis atuais. A utilização de sensores, que captam estímulos com maior precisão e atuadores que transformem esses estímulos em ação ou não, tornam os veículos mais seguros. Tratando-se de um sistema em tempo real, torna-se necessária a utilização de uma rede de comunicação que interligue os dispositivos empregados ao sistema.

A nova legislação adota a travagem de emergência autónoma, como artigo fundamental para os novos veículos e um estudo da Comissão Europeia sobre estes tipos de elementos de segurança aplicados aos registos de acidentes de trânsito, chegou à conclusão que com este sistema seriam evitados cerca de 27% dos acidentes de viação do género, porém a informação obtida é que apenas 21% de todos os veículos atualmente desenvolvidos na Europa, possuem o sistema de travagem de emergência autónoma como sistema de segurança e conforto de série [ENSR, 2009].

Em velocidades mais elevadas ou em percursos urbanos, como por exemplo: Nas estradas nacionais, vias rápidas, e autoestradas, existe um histórico de acidentes em que os feridos apresentam lesões, habitualmente, ao nível da coluna cervical, dos tecidos moles do tórax e dos joelhos que em casos mais graves, podem provocar a morte. Nas estradas europeias oito mil mortes nessas circunstâncias foram contabilizadas [ENSR, 2009].

Com o intuito de reduzir a sinistralidade na Europa, a partir de 2014 todos os automóveis novos comercializados deverão possuir um sistema autónomo de travagem, para assim, tentarem obter as cinco estrelas no critério de *rating* de segurança. Um fator cada vez mais decisivo no momento da decisão de compra é a presença de sistemas que aumentem o conforto e a segurança dos condutores e passageiros. Entre eles está o sistema de travagem autónoma, pelo papel fundamental que possui nos elementos de segurança dos veículos [ENSR, 2009]. Philippe Jean, representante da Comissão Europeia, afirmou que a adoção desta medida vai conseguir não só uma “redução significativa na quantidade de acidentes graves, mas igualmente em todos aqueles que acontecem no tráfego automóvel dos grandes centros urbanos” [ENSR, 2009].

Devido ao alto nível de sinistralidade rodoviária registada em Portugal, foi aprovado em 2003, um Plano Nacional de Prevenção Rodoviária (PNPR). Este plano estabeleceu como objetivo geral a redução em 50% do número de feridos graves e vítimas mortais, até 2010, bem como objetivos específicos centrados em determinados alvos da população mais expostos. Com a constatação de que essas metas foram, na generalidade, alcançadas antes do término desse período, de acordo com as Grandes Opções do Plano para 2008 no âmbito da Segurança Rodoviária (Lei n.º 31/2007, de 10 de Agosto). A Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR), com o acompanhamento e direção científica do ISCTE, desenvolveu um documento com o intuito de apresentar, na primeira parte, uma definição da Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária (ENSR) para o período 2008-2015 e, na segunda parte, o desenvolvimento da estratégia [ENSR, 2009]. No período descrito entre 2003 e 2008, a redução da sinistralidade rodoviária em Portugal apresentou uma evolução gigantesca, sendo esta a melhor evolução de toda união Europeia no momento em que possui 25 países (54,5% vs. 23,8% da média comunitária). Em vários outros períodos considerados, Portugal ocupou sempre uma das primeiras posições no que se refere à diminuição da mortalidade nos acidentes de viação [ENSR, 2009].

Desde 1975, Portugal passou do último lugar, na então Europa dos 15, para uma posição acima do meio da tabela em 2006, na então Europa dos 27. Considerando os mesmos 15 países membros da CEE, neste período Portugal ultrapassou, três países (Itália, Bélgica e Grécia) nas estatísticas internacionais. Contudo, melhor que este salto relativo, outro aspeto importante é a aproximação à média europeia, em mortos por milhão de habitantes [ENSR, 2009].

Nos mortos registados nas 24 horas após o acidente, fator de base para a desagregação efetuada a nível nacional, Portugal possui um valor de 51,4%, que mostra uma redução desta sinistralidade, para o período de 1999 – 2006. Para os peões, a diminuição foi de 60,3%, tendo atingido os 53,1% nos utentes de veículos de duas rodas. Por outro lado, sendo a sinistralidade rodoviária um aspeto inaceitável do trânsito, tendo consequências sociais e económicas devastadoras, e sendo a posição de Portugal no contexto da União Europeia insatisfatória, apesar da já referida melhoria, foi decidido encarar o problema como um “Desafio Nacional”, em que toda a população tem de estar envolvida e comprometida com a melhoria dos índices de sinistralidade. [ENSR, 2009]

Com efeito, apesar de Portugal, na então Europa dos 27, já estar disposta acima do meio da tabela da sinistralidade, tendo-se estabelecido no 13.º lugar nos últimos anos, Portugal possui um dos contributos mais positivos no objetivo da União Europeia com a redução para metade o número de mortos nas estradas, porém Portugal ainda apresenta um rácio de mortos por milhão de habitantes, superior à média (91 contra 86) [ENSR, 2009].

O grande número de acidentes de trânsito a baixas velocidades, a dificuldade em circular nas estradas, para além da busca dos fabricantes do acréscimo de conforto aos veículos, torna o sistema descrito neste trabalho como fator de grande importância para os condutores de veículos automóveis.

1.2. Abordagem da Solução

O circular em estradas a baixa velocidade, a ocorrência de engarrafamentos pesados, as distrações, o cansaço do condutor e outros fatores que afetam a perceção do condutor, são os grandes causadores de acidentes de trânsito.

Mesmo não gerando grandes danos ao condutor, ao colidir com um veículo a baixa velocidade existe a necessidade de novos investimentos, seja este financeiro ou até mesmo de tempo na reparação do veículo. Outro ponto de extrema importância é muitas vezes visto, a partir de, distrações no trânsito, ao distrair-se, o condutor pode então gerar acidentes com peões e esses sim podem levar a consequências graves e danos maiores. O sistema descrito e construído durante este trabalho, será realizado com as premissas de evitar acidentes de trânsito a baixas velocidades, afim de evitar prejuízos tanto financeiro como humanos.

O sistema será dividido em três módulos principais: Módulo de Distância, Módulo de Velocidade e Módulo Central com Atuador de Travagem. Essa divisão será realizada de modo a que o sistema se torne o mais simplificado possível e menos custoso financeiramente. Cada módulo irá possuir uma função determinada, e cada função será auxiliada por informações físicas captadas por sensores.

O módulo de distância será composto por dois sensores ultrassônicos instalados na área frontal do veículo, esses sensores irão captar a distância do veículo ao obstáculo e essa distância, sendo uma variável física, será enviada a uma placa de circuito que, por sua vez, irá transformar essa informação física em impulsos elétricos, que serão assimilados e posteriormente utilizados para o cálculo final de atuação ou não do sistema. O módulo de velocidade, irá ser construído baseado em sensores magnéticos acoplados às rodas do veículo. A velocidade do veículo será captada por esses sensores e conseqüentemente, será enviada para uma placa de circuito, que irá assimilar essa informação física e transformá-la em impulsos elétricos.

O módulo central, será de fato o cérebro do sistema e terá o micro-controlador, o qual irá receber todas as informações dos outros módulos. Estas informações serão tratadas e juntamente com a informação de aceleração do veículo ou obstáculo à frente, irá indicar a necessidade ou não de travagem do sistema. O sistema será composto por um atuador linear, o qual irá acionar o pedal do travão em caso de emergência. Para estruturação e montagem de sistemas eletrônicos automóveis existe a necessidade de uma rede de comunicação que interligue todos componentes do sistema. A escolha de uma solução em rede permite uma série de benefícios se comparada com uma solução centralizada. Atualmente, existem diversos protocolos de comunicação que são utilizados no controlo de sistemas distribuídos. O *Controller Area Network* (CAN) [Cia, 2011] é um dos protocolos que tem vindo a ganhar maior aceitação na indústria automóvel devido ao seu baixo custo de implementação, fácil manutenção e um elevado grau de segurança.

1.3. Estrutura da Dissertação

Esse trabalho está estruturado em 5 capítulos da seguinte forma:

- O capítulo 1 apresentou a introdução, os objetivos e motivações, bem como a estrutura da dissertação;

- O capítulo 2 apresenta, a atualização na engenharia e a fundamentação teórica, componentes eletrônicos e atuadores, redes de comunicação com foco no protocolo CAN utilizado no projeto, sistemas de travagem e seus componentes, o princípio dos sistemas de travagem automáticos e os componentes do tráfego pertinentes no desenvolvimento do sistema;
- O capítulo 3 apresenta a configuração do sistema de travagem;
- O capítulo 4 descreve a fase de simulações e a avaliação do sistema;
- O capítulo 5 apresenta a conclusão do objeto de estudo e a perspectiva para trabalhos futuros.

2. TRAVAGEM AUTOMÁTICA EM VEÍCULOS AUTOMÓVEIS

Baseado em todo conhecimento que é apresentado no decorrer desta dissertação, torna-se necessária a fundamentação teórica de alguns assuntos e dispositivos que são utilizados neste trabalho. Muitos desses dispositivos são utilizados em diversos projetos automóveis e industriais e assim torna-se de grande importância a compreensão dos mesmos. Desta forma são apresentadas algumas características e funcionamento dos elementos utilizados. Para o melhor entendimento das interligações feitas entre os dispositivos de travagem e o protocolo de comunicação utilizado, é apresentado o funcionamento dos micro-controladores, sensores, transdutores, transmissores e atuadores.

2.1. Elementos de Tráfego Automóvel

O tráfego dos centros urbanos é alvo de estudos de grandes empresas automobilísticas. Esse estudo baseia-se em diversos fatores e tem em conta o trinómio de segurança de tráfego: Condutor, veículo e via.

Condutor – este componente do tráfego pode ser dividido em dois subgrupos, condutor e pedestre, sendo o condutor o elemento mais importante do trinómio de segurança. Pela sua importância: Os fatores psicológicos e fisiológicos dos utilizadores são tidos em consideração.

Veículo – este componente do tráfego é objeto de estudo da engenharia mecânica, tem em consideração todas as alterações feitas nos veículos para melhorar o conforto, segurança e fiabilidade do sistema.

Via – Alvo de estudo da engenharia civil, é um fator importantíssimo para a segurança total que envolve o sistema. Deve-se ter em consideração o ambiente de locomoção e os dispositivos de controlo como: Sinalizações horizontais, dispositivos eletrónicos de controlo de velocidade e semáforos.

2.1.1. Utilizadores das Vias – Condutor

Os condutores possuem características fundamentais que são levadas em consideração para a realização do sistema desenvolvido durante este texto, esses pontos são expostos a seguir:

- Tempos médios de percepção;
- Julgamento;
- Reação.

A percepção do condutor é obtida através dos sentidos humanos como: visão, audição, tato, etc. todos esses sentidos influenciam diretamente na segurança de condução em uma via, pode-se observar na figura abaixo a influência da velocidade na capacidade da visão de um condutor.

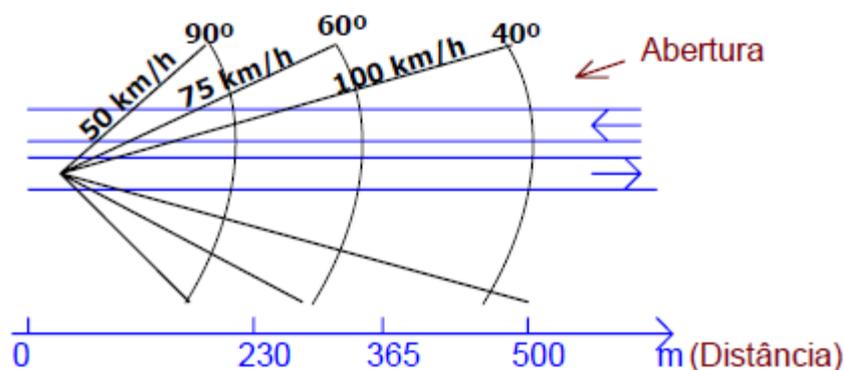


Figura 1. Campo Visual e Distância de Focalização em Função da Velocidade

Percebe-se, com a análise da figura 1, que quanto maior a velocidade em que o veículo se movimenta menor é o ângulo de visão periférica e, conseqüentemente, exige-se maior focalização à distância.

A reação é tratada em dois pontos de estudo, condicionadas ou físicas (hábitos e reflexos adquiridos com o uso repetitivo) e psicológicas (percepção mais estímulos percebidos são mais complexos e não habituais, existindo a necessidade de uma interação e um julgamento que precede a ação do condutor).

Outro ponto importante, a ser citado, é a distância percorrida por um condutor após um estímulo de paragem, esse cálculo é feito a partir da seguinte fórmula:

$$D_r = V \cdot t \quad (1)$$

Sendo:

D_r – Distância de reação [m]

V - Velocidade [m/s]

t – Tempo de percepção mais reação (s)

Nos casos em destaque o condutor deve sempre levar em consideração os seguintes aspectos:

Determinação de distância mínima de visibilidade de paragem ou para ultrapassagem;

Velocidade de segurança nos acessos a cruzamentos;

Tempo de percepção, num ser humano está em torno de 0,2 a 0,3 segundos.

Aplicando a equação (1), em consideração a um condutor conduzindo à 30 km/h (8,33 m/s), percebe-se que o mesmo com um tempo de reação de 0,3 segundos, irá percorrer uma distância de 2,50 metros antes de acionar o pedal do travão e com isso efetuar a paragem do veículo.

2.1.2. Utilizadores das Vias – Peões

Assim como os condutores, os peões também são utilizadores das vias e deste modo possuem um papel importante na segurança da locomoção. No estudo das características dos peões deve-se levar em consideração: passeios bem dimensionados, restrições físicas à travessia em locais perigosos, sinalização própria e eficiente, tempo de semáforo adequado, passarelas ou passagens subterrâneas, sistemas de proteção a estudantes e a velocidade de travessia do mesmo, sendo este um fator que leva em consideração: idade e sexo.

2.1.3. Dinâmica de Travagem

A capacidade de travar, determina a habilidade do veículo de diminuir a sua velocidade ou parar. Este fator é um ponto importante no desempenho do mesmo. Todas as forças que agem no veículo numa travagem podem ser vistas na Figura 2 [Canale, 1989].

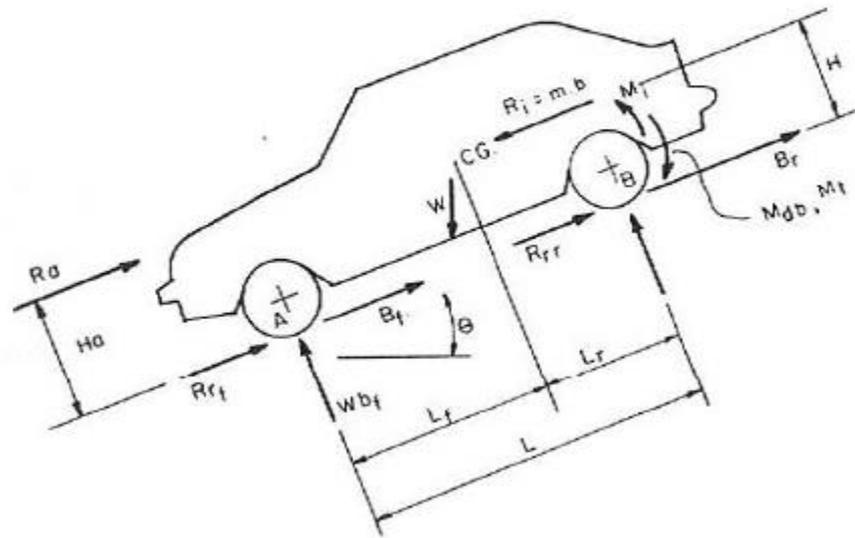


Figura 2. Dinâmica de Travagem [Canale, 1989].

$$F_t = m \cdot a \quad (2)$$

$$a = \frac{F_t}{m} \quad (3)$$

As forças descritas na Equação (4) são: A força resultante tangencial ao movimento do veículo, a força de travagem nas rodas, a componente tangencial do peso, a força de resistência ao rolamento e a força de arrasto aerodinâmico. Estas forças são descritas no decorrer deste capítulo.

$$F_t = -\mu_0 \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta + m \cdot g \cdot \sin\theta - C_r \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta - C_x \cdot A_f \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \quad (4)$$

$$a = \frac{-\mu_0 \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta + m \cdot g \cdot \sin\theta - C_r \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta - C_x \cdot A_f \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2}{m} \quad (5)$$

Sendo:

$\theta > 0$ – Descida

$\theta < 0$ – Subida

g – Aceleração da gravidade

m – Massa do veículo

C_x – Coeficiente de arrasto aerodinâmico

μ_o – Coeficiente de atrito máximo pneu-solo

A_f – Área frontal do veículo

C_r – Coeficiente de resistência ao rolamento

ρ – Massa volúmica do ar

V – Velocidade do veículo considerando que não há vento

2.1.3.1. Força de Travagem B nas Rodas

É obtida no “sistema de travão do veículo” geralmente por atrito entre superfícies. Entre os sistemas de travões mais utilizado nos automóveis terrestres atualmente podemos citar os travões de disco e os *antilock braking system* (ABS). Abaixo segue um esquema simplificado dos travões de disco [Canale, 1989].

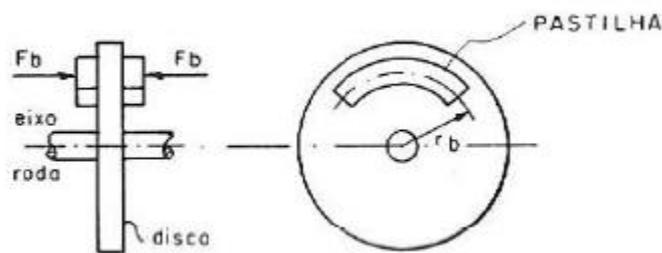


Figura 3. Travões de Disco [Canale, 1989].

A força de travagem B na roda será:

$$B = \frac{F_b \cdot \mu_b \cdot r_b}{r} \quad (6)$$

Onde:

F_b = Força de compressão na pastilha;

μ_b = Coeficiente de atrito entre as superfícies (pastilha e disco);

r_b = Raio efetivo da força de travagem no disco.

r = raio da roda

A força de travagem máxima, B_{\max} , está limitada pelo coeficiente de atrito máximo entre a superfície de contato pneu-solo, sendo calculada pela Equação (7):

$$B_{\max} = \mu_o \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta \quad (7)$$

2.1.3.2. Componente Tangencial do Peso

Durante a travagem, a reação normal nas rodas dianteiras torna-se maior do que nas rodas traseiras, por efeito de inércia. Esta distribuição dinâmica da reação normal tem influência básica nos limites de desempenho da travagem, e na distribuição ótima das forças de travagem nas rodas dianteiras e traseiras [Canale, 1989]. A componente tangencial do peso é dada pela Equação (8).

$$R_g = W \cdot \sin\theta = m \cdot g \cdot \sin\theta \quad (8)$$

Sendo:

R_g – Componente tangencial do peso

O valor de θ é positivo quando o veículo desce uma rampa e é negativo quando sobe.

W – Peso do veículo.

A força de resistência ao rolamento pode ser calculada pela Equação (9).

$$R_r = C_r \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta \quad (9)$$

Sendo:

C_r – Coeficiente de resistência ao rolamento

R_r – Força de resistência ao rolamento

2.1.3.3. Resistência do Ar

A influência da resistência do ar na travagem é pequena, para veículos de passageiros deslocando-se a baixas velocidades. Ela pode ser desprezada em cálculos de desempenho de travagem. Para veículos muito rápidos, o efeito da resistência do ar na travagem deve ser considerado [Canale, 1989]. A resistência do ar é dada pela Equação (10).

$$R_a = C_x \cdot A_f \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \quad (10)$$

Onde:

R_a – Resistência do ar

C_x – Coeficiente de arrasto aerodinâmico

A_f – Área frontal do veículo

ρ – Massa volúmica do ar

V – Velocidade do veículo considerando que não há vento

2.1.3.4. Torque de Resistência da Transmissão M_t

É o torque necessário para vencer os atritos das engrenagens, chumaceiras, juntas e movimentação do óleo. Este torque provoca uma força de travagem que comparada com as outras forças de travagem pode ser desprezada [Canale, 1989].

2.1.3.5. Torque de Resistência do Motor

Durante uma travagem o motor do veículo funciona como um compressor de ar, retirando energia do movimento, atuando como um travão auxiliar. O torque de travagem no eixo das rodas propulsoras proveniente do motor, M_{db} , depende da mudança engrenada e da velocidade em cada instante, podendo ser calculado pela Equação (11).

$$M_{db} = \frac{M_e \cdot \xi}{\eta} \quad (11)$$

Sendo:

ξ – Relação de transmissão

η – Rendimento do sistema de transmissão do veículo

Onde M_e é o torque de travagem medido experimentalmente no eixo do motor. Um gráfico típico do torque, M_{db} , em função da velocidade do veículo, para diversas relações de transmissão, é apresentado na Figura 4.

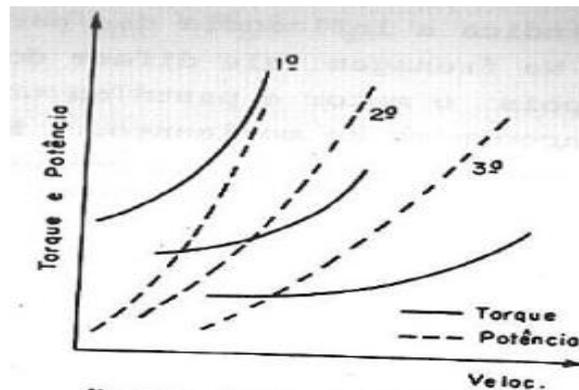


Figura 4. Torque e Potência em Função da Velocidade [Canale, 1989].

2.1.3.6. Capacidade de Desaceleração

Numa situação de risco iminente a capacidade de desaceleração e paragem de um veículo é calculada pela seguinte equação, desprezando a resistência do ar, do motor e do sistema de transmissão:

$$V^2 = V_0^2 + 2 \cdot a \cdot S \quad (12)$$

$$S = \frac{V^2 - V_0^2}{2 \cdot a} \quad (13)$$

$$S = \frac{V^2 - V_0^2}{2 \cdot g \cdot (-(\mu + c_r) \cdot \cos\theta + \sin\theta)} \quad (14)$$

Onde:

S = Distância de travagem [m];

V_0 = Velocidade inicial [m/s];

V = Velocidade no final da travagem [m/s];

2.2. Travagem: Conceitos e Tecnologia

Com o grande aumento de veículos automóveis no trânsito atual e as dificuldades ocasionadas por estradas em mau estado de conservação, torna-se cada vez mais necessária uma boa conservação dos sistemas de travões automóveis. A busca para o melhor desempenho e conforto em certas situações, levaram a uma evolução nesse sistema. O travão

Antilock Braking System (ABS) é um sistema de segurança dos veículos bastante difundido no mercado automóvel. De acordo com o histórico, os projetos de sistemas de travões automóveis sempre tiveram como objetivo principal atender apenas às normas regulamentadoras estabelecidas pelos órgãos governamentais que controlam o trânsito.

2.2.1. Fundamentos do Sistema de Travões

Sendo parte fundamental para segurança e conforto dos condutores no trânsito, o sistema de travões em modo geral devem seguir a seguintes especificações:

- Desaceleração do veículo;
- Parar o veículo totalmente;
- Impedir a aceleração indesejada do veículo num trecho em declive;

Nas condições descritas os sistemas de travões automóveis podem ser classificados em convencionais e eletrónicos.

2.2.1.1. Sistema de Travões Convencionais

Os sistemas de travões convencionais são aplicados em grande parte nos veículos de passeio. Este fato dá-se graças ao seu custo reduzido em relação aos sistemas eletrónicos. Através da aplicação de uma força mecânica no pedal de travão, essa força é transformada em pressão hidráulica pelo conjunto do servo-travão e cilindro mestre, com isso ocorre o funcionamento do sistema de travões convencional. A pressão hidráulica aciona os travões das rodas, onde a intensidade de travagem e duração da mesma são determinadas pelo condutor do veículo [Bosch, 2005].

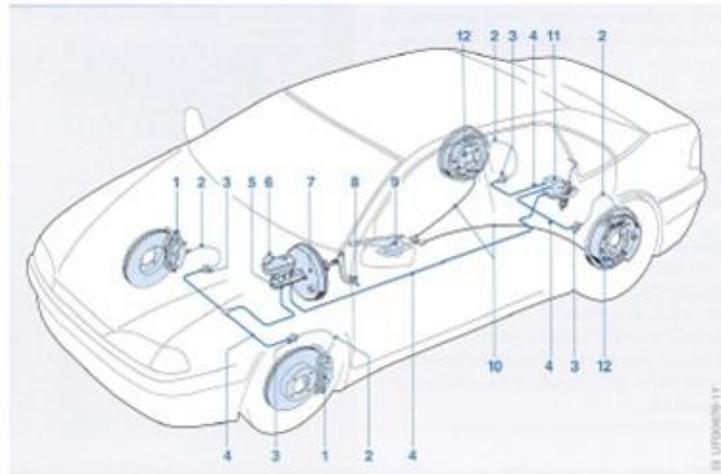


Figura 5. Sist. de Travão Convencional [Bosch,2005]

De acordo com a Figura 5 os componentes estão dispostos da seguinte forma: (1) travão a disco dianteiro; (2) flexível de travão; (3) conexão hidráulica; (4) tubo de travão; (5) cilindro mestre; (6) reservatório; (7) servo-travão; (8) pedal de acionamento do travão; (9) alavanca do travão de estacionamento; (10) cabo do travão de estacionamento; (11) válvula reguladora sensível à carga; (12) travão a tambor traseiro.

2.2.1.2. Sistema de Travões Eletrónico

A implementação de maior segurança quando aplicado juntamente com o sistema de travões convencional. Nessa classe estão descritos os sistemas *Anti-lock Brake Systems (ABS)*, *Electronics Stability Program (ESP)*, *Electronic Brake Distribution (EBD)* e *Hill Descent Control (HDC)* [Kawaguchi, 2005];

A conexão entre o pedal de travão e os discos de travões é realizada por meio de sinais elétricos. Desta forma, eliminando parte ou totalmente a transmissão de pressão hidráulica. Nessa classe estão descritos os sistemas *Brake-by-Wire (BBW)* e *Electromechanical Brake (EMB)* [Kawaguchi, 2005].

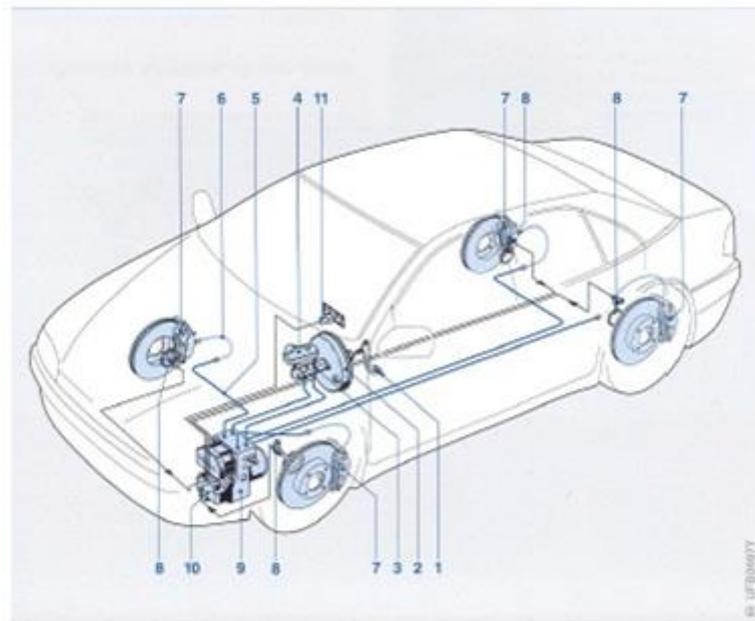


Figura 6. Sistema de Travão Eletrónico [Bosch,2005]

Conforme a Figura 6 a disposição dos componentes é feita da seguinte forma: (1) pedal de acionamento do travão; (2) servo-travão; (3) cilindro mestre; (4) reservatório; (5) tubo de travão; (6) flexível de travão; (7) travão a disco dianteiro; (8) sensor de velocidade; (9) modulador hidráulico; (10) unidade de controlo do ABS; (11) lâmpada de advertência de falha do ABS.

2.2.1.2.1. Descrição do Sistema ABS

O sistema ABS é um dispositivo de controlo realimentado que modula a pressão nos travões como resposta à desaceleração das rodas. Em resumo essa modulação de pressão evita o bloqueio total das rodas e assim consequentemente a perda de dirigibilidade do veículo em casos de travagem [Kawaguchi, 2005]. O sistema anti-bloqueio é dividido em: Sensores de rodas, Unidade de Controlo Eletrónico, Modulador de pressão de travões, e Fios, reles, tubos hidráulicos e conectores [Kawaguchi, 2005].

Sensores de rodas: Dispositivos eletromagnéticos que fornecem um sinal digital proporcional a velocidade das rodas;

Unidade de Controlo Eletrónico: (ECU): Dispositivo de controlo, responsável pela organização dos sinais gerados pelo sistema;

Modulador de pressão de travões: Componente eletro-hidráulico ou eletro-pneumático utilizado para reduzir armazenar ou manter pressão independente da força feita pelo condutor no pedal de travão;

Fios, reles, tubos hidráulicos e conectores: São os componentes que interligam os sistemas.

O funcionamento básico do sistema dá-se por meio do envio de sinais pelos sensores á unidade de processamento. A unidade de processamento controla o modulador de pressão para assim modificar o torque aplicado nos travões das rodas. O bom funcionamento do sistema em destaque está diretamente relacionado à manutenção do deslizamento das rodas dentro da faixa considerada ótima [Bosch, 2005].

2.2.1.2.2. Atuadores do Sistema ABS

A maior parte dos controladores ABS disponíveis no mercado, atualmente, possuem controladores *on-off*. Assim, os travões por fio estão substituindo a conexão hidráulica ou mecânica do pedal de travão com os atuadores por conexões que emitem sinais elétricos e são controladas por micro-controladores. Essa nova tecnologia requer novos tipos de atuadores, como: Atuadores eletromecânicos; Atuadores eletro-hidráulico [Kawaguchi, 2005].

A utilização desses novos atuadores apresenta um ajuste contínuo da força de travagem em relação aos sistemas de travões convencionais que utilizam válvulas solenóides. As mudanças do sistema de travões convencional, para o sistema de controlo eletrónico ajudará a simplificar a produção, manutenção e aumentará a possibilidade de interligação dos sistemas de travões com outros sistemas de controlo automotivo [Kawaguchi, 2005].

O potencial de benefícios do sistema EMB (Sistema de Travões Eletromecânicos) inclui:

Funções de assistência ao condutor que seriam realizadas por *softwares* e sensores interligados ao sistema;

Benefícios na manutenção do sistema elétrico se comparado ao sistema de conexão hidráulico;

2.2.2. Componentes de um Sistema de Travões

2.2.2.1. Pedal de Travão

O Pedal do travão possui como função a transmissão da força de acionamento do condutor ao sistema de travões, de modo geral, o pedal trabalha como uma alavanca multiplicadora de força que aciona o sistema de travões, o mesmo é composto pelo conjunto servo-travão e cilindro mestre. Esses componentes transformam a força mecânica em pressão hidráulica para ativação dos travões das rodas [Bosch, 2005].

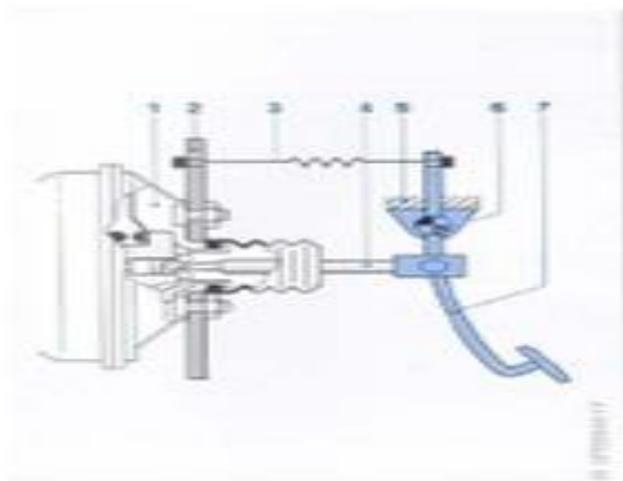


Figura 7. Pedal do Travão [Bosch,2005]

A partir da Figura 7 mostram-se os elementos do pedal de travão, como: (1) servo-travão; (2) painel do compartimento do motor; (3) mola de retorno; (4) haste de acionamento; (5) fixação; (6) pino de articulação; (7) pedal.

2.2.2.2. Servo Travão

São dispositivos de auxílio que possuem como função básica a amplificação da força aplicada pelo condutor sobre o pedal de travão para aumentar o poder e a eficácia da travagem da mesma forma que melhora a sensação de conforto. Em geral o servo-travão é fornecido em conjunto com o cilindro mestre de modo a constituir uma única peça [Bosch, 2005].

Existem dois tipos de servo-travão: Servo-travão com assistência a vácuo e servo-travão com assistência hidráulica. O servo-travão com assistência a vácuo é utilizado

em maior escala nos veículos atuais se comparado com o servo-travão com assistência hidráulica.

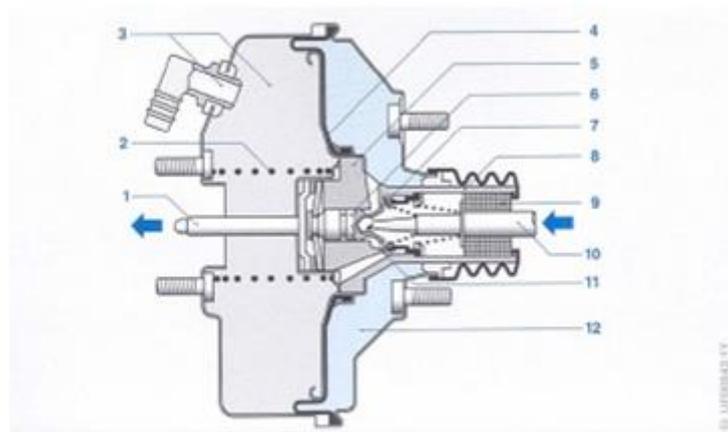


Figura 8. Servo. Travão [Bosch,2005]

De acordo com a Figura 8: (1) haste do cilindro mestre; (2) mola; (3) câmara de vácuo e válvula de retenção; (4) diafragma e disco do diafragma; (5) pistão de acionamento; (6) êmbolo sensor; (7) válvula dupla; (8) corpo de válvula; (9) filtro de ar; (10) haste de conexão; (11) assento da válvula; (12) câmara de trabalho.

2.2.2.3. Cilindro Mestre

O cilindro mestre é um componente que converte a força exercida pelo condutor, já amplificada pelo servo-travão, em pressão hidráulica. A pressão hidráulica é diretamente proporcional a força aplicada [Bosch, 2005].

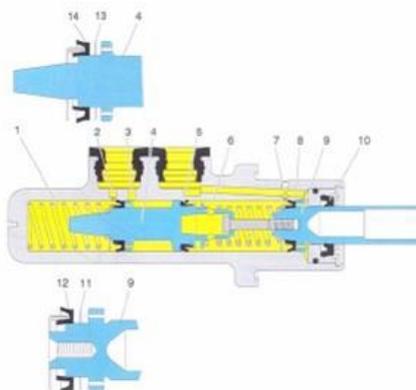


Figura 9. Cilindro Mestre [Bosch,2005]

2.2.2.4. Travão de Tambor

Representa um dos tipos de travões de rodas utilizados nos automóveis atuais. Seu funcionamento ocorre através da geração de força de travagem por meio do contato das lonas que revestem as sapatas na superfície interna do tambor conforme sua movimentação radial provida pela ação de um atuador hidráulico [Bosch, 2005]. Os travões a tambor podem ser divididos em: *Simplex* ou com sapatas, *Duplex* ou *Duo-duplex* com sapatas e Uni-servo ou Duo-servo.

- ***Simplex* e com Sapatas**

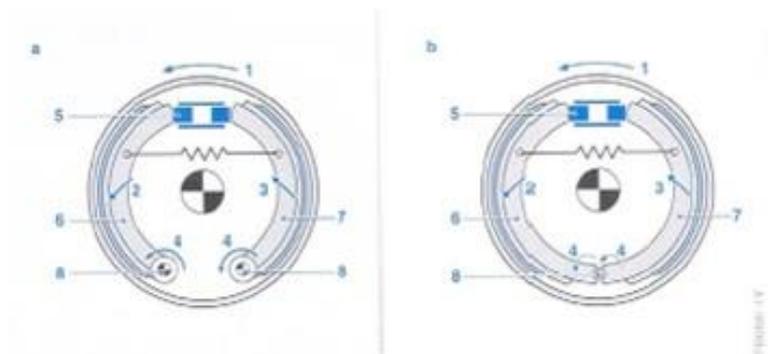


Figura 10. Travão de Tambor Simplex [Bosch,2005]

A disposição dos elementos conforme a Figura 10: (1) direção de rotação; (2) efeito auto energizamento; efeito auto-inibimento; (4) torque; (5) cilindro de roda de dupla ação; (6) e (7) sapatas; (8) ponto de ancoragem.

- ***Duplex* e *Duo-duplex* com sapatas**

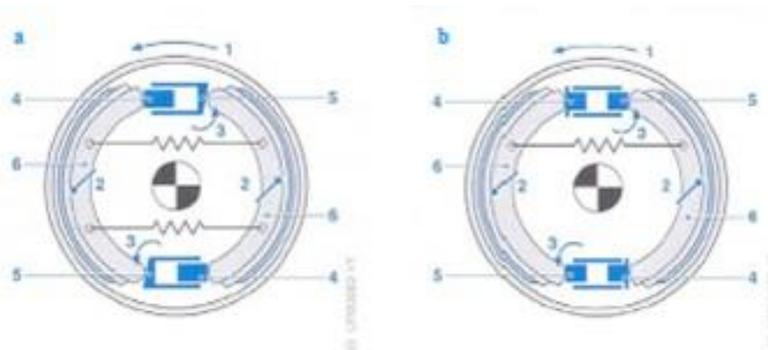


Figura 11. Travão de Tambor Duplex [Bosch,2005]

De acordo com a Figura 11 os componentes estão dispostos da seguinte forma: (1) direção de rotação; (2) efeito auto-energizamento; (3) torque; (4) cilindro de roda; (5) ponto de apoio; (6) sapatas de travão.

- **Uni-servo e Duo-servo**

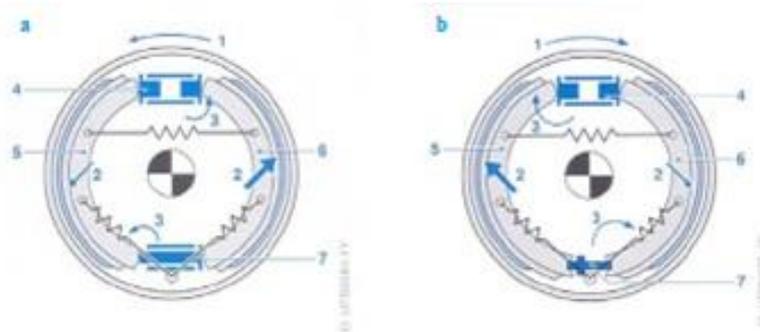


Figura 12. Travão de Tambor Uni-servo e Duo-servo [Bosch,2005]

A partir da Figura 12 mostram-se os elementos do Travão a tambor uni-servo(a) e duo-servo(b), como: (1) direção de rotação; (2) efeito auto-energizamento; (3) torque; (4) cilindro de roda; (5) ponto de apoio; (6) sapatas de travão; (7) pino de pressão.

2.2.2.5. Travão de Disco

O travão de disco é outro tipo de travão de rodas utilizado nos veículos. Possui como funcionamento básico a geração de força de travagem através das pastilhas do travão nas superfícies laterais do disco por meio de sua movimentação axial provida pelo êmbolo do conjunto travão de disco ou "capilar" [Kawaguchi, 2005]. Os travões de disco podem ser subdivididos em: travão de disco fixo e travão de disco flutuante.

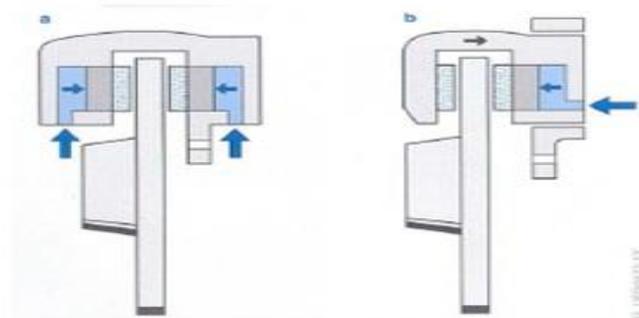


Figura 13. Travão de Disco [Bosch,2005]

A Figura 13, [Bosch, 2005] mostra os tipos de travões de disco, que podem ser: (a) tipo fixo; (b) tipo flutuante.

2.2.2.6. Dispositivos de Controlo de Pressão

Esses dispositivos são utilizados para que ocorra a aproximação da força de travagem real em relação a força de travagem considerada ótima, de modo a utilizar a máxima eficiência disponível. Esses dispositivos de controlo de pressão podem ser divididos em duas categorias principais: Válvulas limitadoras de pressão e válvulas reguladoras de pressão [Bosch, 2005].

2.2.2.7. Configurações do Circuito Hidráulico do Travão

Conforme a norma regulamentadora, o sistema de travagem deve possuir circuitos duplos independentes de ligação. Esse tipo de formação evita perda total do sistema de travagem em situações de falha no sistema [Bosch, 2005].

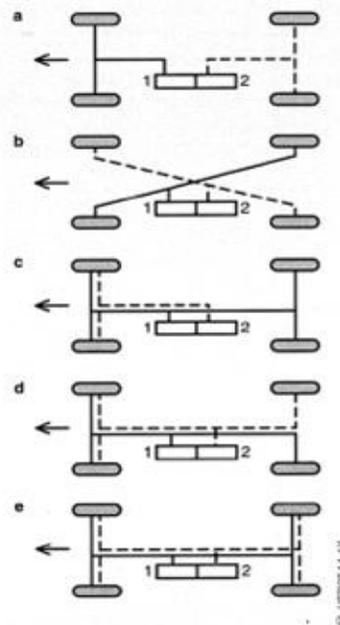


Figura 14. Circuito Hidráulico [Bosch,2005]

De acordo com a Figura 14 às configurações hidráulicas são: (a) configuração II, vertical ou paralela; (b) configuração X ou diagonal; (c) configuração HI; (d) configuração LL; (e) configuração HH; (1) circuito 1; (2) circuito 2; (←) sentido frontal.

2.3. Travagem Automática: Abordagens Modernas

Na travagem automática a arquitetura de *software* instalada no sistema, é baseada numa sequência de programas que processa todos os dados vindos do hardware de modo específico para cada módulo, alterando estados e determinando o comportamento do sistema. Esta arquitetura traz benefícios, no sentido em que pequenas mudanças no código podem ser feitas separadamente em cada módulo não gerando assim grandes consequências no desempenho global. Este carácter modular permite aumentar a complexidade do sistema sem que, para isso, tenham que ser feitas alterações nos sistemas já existentes no automóvel.

Para transformar a arquitetura atual, num sistema modular, foi necessário dividir o programa em vários subprogramas (módulos) em que cada um é responsável por uma pequena quantidade de tarefas. Estes módulos são então processados paralelamente e comunicam entre si para partilharem informação, utilizando o protocolo de comunicação CAN. Este processo de troca de informação é baseado num sistema de publicação - subscrição. Os módulos que comunicam diretamente com o *hardware* podem publicar uma mensagem com os dados obtidos. Por sua vez, apenas os módulos que subscrevam essa mensagem a vão receber. O módulo que subscreve pode também definir se apenas quer receber a mensagem mais recente ou se todas as que ainda não recebeu, por ordem até um limite determinado pelo programa. Este sistema simplifica as comunicações e restringe a receção de mensagens a módulos que realmente precisem dessa informação.

2.3.1. Sistemas de Segurança

Os sistemas de anti-colisão podem ser aplicados em variados sistemas, tais como: robôs, automóveis, aviões, barcos, etc. São aplicáveis a basicamente todos os sistemas que tenham movimento próprio e que tenham possibilidade de controlar esse mesmo movimento. Passam sempre por saber a posição do sistema a controlar em relação aos possíveis obstáculos que o rodeiam, agindo no sentido de evitar possíveis colisões.

2.3.1.1. Robôs

Nos robôs, estes sistemas são abundantes e baseiam-se em sensores de distância que podem ser de infravermelho, laser, ultra-som, ou outros, de modo a conhecer a posição

de obstáculos e assim tomar decisões. Perante a possibilidade de colisão é comum desviarem a sua trajetória ou simplesmente parar. Esta tecnologia é bastante aplicada em robôs domésticos, como por exemplo os robôs aspiradores, que necessitam de navegar em ambientes muito distintos e evitar colidir com obstáculos. Tendo que estar preparados para ambientes relativamente hostis, como podem ser os compartimentos de uma casa, estes robôs normalmente utilizam vários sensores. No entanto, a maioria não utiliza sensores de ultra-som, possivelmente por serem destinados ao uso doméstico e porque animais domésticos, como gatos e cães, conseguem ouvir frequências na gama dos ultra-som e a sua utilização poderia provocar desconforto ou problemas aos animais [Samsung, 2014].

Na área da investigação de sistemas anti-colisão a Nissan tem vindo a desenvolver e a testar sistemas de segurança deste género em robôs, com o objetivo de mais tarde poderem vir a ser aplicados em veículos automóveis. O objetivo desta construtora automóvel é reduzir para metade o número de acidentes rodoviários envolvendo veículos da marca, até 2015. Em 2008 apresentou o carro robô BR23C, que baseado no voo das abelhas evita colisões desviando-se dos obstáculos. As abelhas possuem uma visão com uma amplitude de mais de 300 graus e em voo ao detetarem algo na sua zona de segurança, alteram a sua trajetória drasticamente em ângulos de mais de 90 graus. O robô, por sua vez, está equipado com um sensor laser 2D com um alcance máximo de 2 m e uma amplitude de 180 graus, que cobre a área a sua frente. Tal como uma abelha, quando o robô deteta um obstáculo na sua zona de segurança, recorre à desaceleração e rotação em ângulos de 90 graus ou superiores, sobre si próprio, de modo a evitar o obstáculo. No ano seguinte, em 2009, a Nissan voltou a apresentar um novo robô, o EPORO. O seu comportamento foi também inspirado no movimento de animais, neste caso, no movimento de peixes dentro de um cardume. Os responsáveis pelo desenvolvimento do robô caracterizaram o comportamento dos peixes com 3 regras. Essas foram depois aplicadas no controlo dos movimentos do EPORO [Nissan, 2014]

A aplicação destas regras, que regem o comportamento do robô, permitem-lhe não só desviar-se dos obstáculos mas também de se movimentar em grupo e desviar-se de obstáculos em grupo. O robô está equipado com um sensor laser 2D e possui uma tecnologia de comunicação sem fios designada por *Ultra Wide Band* (UWB) que permite aos diversos robôs de um determinado grupo a partilha de informações sobre o ambiente e a sua posição [Nissan, 2014].

2.3.1.2. Automóveis

A indústria automóvel nos últimos anos tem vindo a fazer investigação em sistemas de anti-colisão de modo a diminuir o número de acidentes a que os veículos estão sujeitos. Existem marcas já com algumas soluções no mercado, no entanto, a maioria dos sistemas estão em fase de desenvolvimento. Espera-se, destes sistemas, que sejam robustos e fiáveis, devido ao poder de investimento da maioria das marcas automóveis, mas também porque são sistemas que irão proteger vidas humanas. O objetivo comum é criar automóveis à prova de colisão tornando-os assim mais seguros. De seguida irão ser analisados os sistemas implementados e em desenvolvimento por parte de 3 grandes marcas automóveis, a Volvo, a Ford e a Bosch.

2.3.1.2.1. Volvo

A Volvo foi uma das marcas pioneiras em sistemas de segurança anti-colisão. Tendo apresentado em 2006 a segunda geração do seu modelo S80, equipado com um *Cruise Control* adaptativo e com um sistema anti-colisão denominado de: “*Collision Warning and Brake Support*” (CWBS). O *Cruise Control* adaptativo permite ao condutor definir a velocidade assim como a distância mínima ao veículo que segue à sua frente. Caso a distância ao veículo da frente se torne inferior à definida pelo condutor o computador central pode adaptar a velocidade de modo a respeitar a distância imposta. A distância é medida utilizando um radar e esses dados são também utilizados no CWBS. Este sistema, baseando-se na velocidade e na distância ao veículo (ou a outro obstáculo) posicionado à sua frente, consegue prever a ocorrência de uma colisão e avisar o condutor através de sinais luminosos no painel de controlo juntamente com sinais sonoros. Prepara, ainda, o sistema de travagem para que esta seja mais rápida e eficaz [Matthew, 2014].

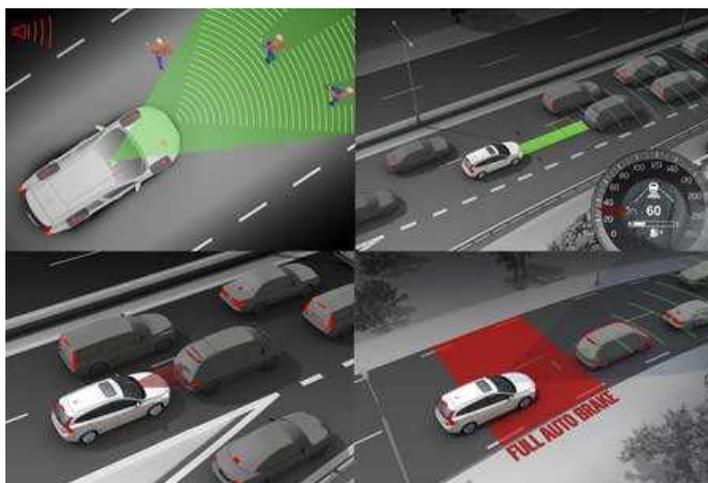


Figura 15. Sensores na Frente do Veículo [Volvo, 2006]

Atualmente, a marca está a desenvolver um novo sistema de nome “*Collision Warning with Auto Brake*” (CWAB) e que será implementado no novo modelo S60. Combina um radar e uma câmara, com um alcance máximo de 150 m e 55 m, respetivamente. Combinando os dados destes dois sensores (sensor *fusion*) os resultados do sistema serão mais fiáveis e reduz-se a probabilidade de falsos positivos. Tal como o anterior, este sistema avisa o condutor quando existe a possibilidade de colisão, através de sinais luminosos e sonoros. No entanto, e caso o condutor não reaja, o sistema irá atuar automaticamente os travões, tentando evitar assim a colisão. Esta situação só acontecerá quando os dados da câmara e do radar forem concordantes [New Collision, 2014].

2.3.1.2.2. Ford

A Ford possui um sistema anti-colisão muito semelhante ao CWBS da Volvo. Utilizando também um radar para medir as distâncias o computador central consegue mostrar avisos, luminosos e sonoros, de uma possível colisão e preparar o sistema de travagem, aproximando as pastilhas dos discos, para que a travagem seja mais rápida e eficaz.

Atualmente está também a desenvolver um novo sistema cujo objetivo é eliminar totalmente as colisões entre veículos automóveis e é designado por “*Automatic Braking Intersection Collision Avoidance System*” (ABICAS). Este sistema combina tecnologias como o GPS, câmaras, radar e comunicação *wireless* entre veículos para obter uma “visão” de 360° em redor do veículo. Deste modo, cada veículo saberá onde estão posicionados os veículos mais próximos de si, podendo assim evitar colisões. O sucesso desta tecnologia está

muito dependente da sua aceitação por parte das outras construtoras automóveis, e só será possível se forem criados padrões que possam ser usados por todos [Ford, 2014].

Existe atualmente nos automóveis um sistema anti-colisão mais simples que os mencionados anteriormente e que já é utilizado há alguns anos como modo de auxílio ao estacionamento. Estes sistemas são baseados em sensores ultra-som ou eletromagnéticos que detetam a distância à frente e/ou atrás do veículo em relação aos obstáculos e avisam o condutor, normalmente com sinais sonoros intermitentes que variam em frequência com a distância ao obstáculo. Este é um sistema passivo que apenas indica a distância aos objetos sendo da responsabilidade do condutor agir da forma que achar mais correta [Ford, 2014].

2.3.1.2.3. Bosch

Muito pode ser feito de modo a evitar um acidente, dessa forma a empresa em destaque desenvolveu o Sistema Preditivo de Segurança (PSS). Os mesmos detetam o perigo através de sensores de radar, ultrassônicos e infravermelhos, reagindo a riscos iminentes para a proteção dos passageiros e outros veículos na estrada [Bosch, 2011].



Figura 16. Disposição Sensores [Bosch, 2011]

O sistema desenvolvido pela Bosch possuirá três estágios ao decorrer do desenvolvimento do projeto [Bosch, 2011].

No primeiro estágio o sistema irá captar as informações dos sensores e preparará o veículo para uma travagem de emergência, afim de, reduzir a distância percorrida pelo veículo no momento de emergência;

O segundo estágio irá ser um sistema de detecção de falhas humanas. O mesmo irá avisar o condutor através de um curto sinal perceptível nos travões, ou sinais acústicos, ou visuais, ou através do rápido tensionamento do cinto de segurança;

No último estágio do desenvolvimento dos PSS's o projeto irá fazer uma paragem total do sistema antes que a colisão ocorra [Bosch, 2011].

2.3.1.3. Aviões

Na indústria aeronáutica os sistemas de anti-colisão aplicados em aviões já existem desde a segunda guerra mundial (1939). Os primeiros sistemas, aplicados em aviões militares, recorriam a radares que para além de detetar a presença de aviões inimigos detetavam ainda obstáculos ou acidentes geográficos.

Atualmente nos aviões comerciais é obrigatório o uso de um sistema de anti-colisão entre aviões denominado “*Traffic Collision Avoidance System*“ (TCAS). Neste sistema, tal como no que está a ser desenvolvido pela Ford (ABICAS), cada avião necessita de estar equipado com um dispositivo que permite fazer a comunicação entre outros aviões e com as torres de controlo.

Utilizando este sistema um avião em voo envia uma mensagem através de ondas rádio, de frequência igual a 1030 MHz, para todos os aviões que estejam ao seu alcance. Caso esteja algum avião presente, este envia uma mensagem de resposta, na frequência 1090 MHz, com informações do voo e a posição do avião em altitude. Assim, cada avião saberá sempre da existência de aviões na sua proximidade bem como a sua posição, que é indicada ao piloto. A versão mais atual deste sistema, o TCAS II, permite para além de saber a posição de outros aviões, dar instruções de mudança de altitude aos pilotos de modo a aumentar a distância entre os aviões, diminuindo assim a probabilidade de uma colisão. A implementação do TCAS II é obrigatória na Europa desde 2000, para aviões de transporte com capacidade para mais de 30 passageiros ou com mais de 15000 kg [Layton, 2014].

Dos sistemas referidos anteriormente, pode ser feita a distinção entre aqueles que detetam todos os obstáculos existentes no seu caminho ou em redor do veículo, utilizando sensores como o radar, laser, etc., e aqueles que apenas detetam outros veículos, estando ambos equipados com o mesmo dispositivo. Nos automóveis, os sistemas atuais dão informações sobre o ambiente e alertam para as possibilidades de uma colisão. No entanto, a investigação nesta área irá conduzir ao aparecimento de sistemas que são capazes de agir

na eminência de uma colisão, tentando evitá-la. Os sistemas de segurança desenvolvidos nesta dissertação baseiam-se em sensores de distância de modo a que as colisões sejam evitadas com qualquer obstáculo que esteja no caminho do robô, recorrendo para isso à imobilização e à alteração de direção [Layton, 2014].

2.4. Sistemas de Travagem Automática – Tecnologias e Arquiteturas

É importante realizar uma análise dos componentes mecânicos e eletrônicos presentes no sistema e quais as soluções tecnológicas nele implementadas. Deste modo foi feita uma análise geral da arquitetura de *software* instalada. Baseado em todas as informações expostas no decorrer desta dissertação, nos avanços tecnológicos na área de interligação de dispositivos em rede dos veículos automotores, aliada às regras estabelecidas pelos órgãos regulamentadores para sistemas de travagem automóveis, o desenvolvimento desse protótipo tem como função interligar o sistema de travagem automóvel, com um sistema de controlo automatizado e um sistema de sensores através de uma rede de comunicação, de acordo com a figura 17, para com isso estabelecer uma maior fiabilidade, conforto e segurança aos veículos.

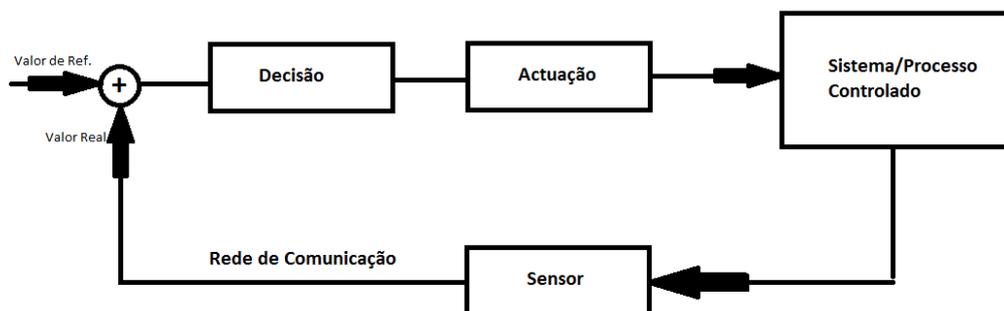


Figura 17. Controlo em Cadeia Fechada

2.4.1. Micro-Controladores

Os micro-controladores são blocos principais embutidos de computadores em um único circuito integrado, possuindo diversos componentes em seu interior, como: Microprocessador, memória e periféricos. Por possuírem maior interação de funções, os micro-controladores são componentes bastante utilizados em dispositivos de controlo e

automação. No ano 2000, o mercado mundial para micro-controladores de 8 bits girava em torno de 4 bilhões de unidades e para micro-controladores de 16 e 32 bits o mercado era em torno de 1 bilhão de unidades [Cetinkunt, 2010].

2.4.2. Sensores

Nos diversos campos da automação é necessário obter os valores das variáveis físicas que necessitam de monitoração no sistema, tais como, temperatura, pressão, caudal volumico, distância, aceleração, entre outras informações pertinentes a aplicação e ao controlo que deseja ser realizado. O sensor é um termo empregado para dispositivos sensíveis a algum tipo de energia do ambiente, relacionando informações sobre a grandeza que precisa de ser medida. A aquisição das variáveis que devem ser controlados é feita a partir da exposição do sensor à variável que deseja ser medida, se houver uma mudança na variável que pretende ser medida, como: pressão, temperatura, deslocamento, entre outros, essa variação vai provocar alterações na operação de qualquer sensor [Cetinkunt, 2010].

2.4.2.1. Tipos de Sensores

Existem diversos tipos de sensores como: Sensores de Presença, Sensores de Velocidade, Sensores de Aceleração, entre outros. Cada sensor possui a sua peculiaridade e é utilizado mediante a aplicação. De modo geral, a partir da variável que deseja ser medida é escolhido o sensor que melhor se adapta à aplicação.

Sensores de Presença Ultrassônicos: São componentes eletrônicos que detetam materiais sem que haja contato mecânico entre eles, para essa detecção são emitidos sinais ultrassônicos que são como ondas de som audíveis, mas com uma frequência mais elevada [Thomazini e outros, 2009].

Os transdutores ultrassônicos possuem cristais piezoelétricos que vibram a uma frequência desejada, que varia de acordo com a aplicação do sensor, convertendo as ondas captadas em energia elétrica ou energia acústica. Com uma tensão sinusoidal aplicada no cristal transmissor, o mesmo, produzirá uma tensão correspondente. A vibração é transmitida para o meio através de um movimento sinusoidal, esta vibração então é captada pelo recetor ultrassônico através da perturbação das partículas do meio [Martins e outros, 2005].

Sensores de Velocidade (Tacômetro): O tacômetro é um dispositivo que fornece uma tensão de saída de acordo com a velocidade de rotação apresentada por um veio cuja velocidade deseja ser medida. Este tipo de sensor é construído baseado em um motor de corrente contínua por possuir basicamente os mesmos componentes, sendo eles: um enrolamento cilíndrico, um estator de imã permanente e um conjunto comutador escova. Porém se diferenciam no tamanho pelo fato de possuírem funções diferentes. O motor transforma potência elétrica em potência mecânica e o tacômetro é apenas um dispositivo de medição. Essa medição é feita através da geração de uma força eletromotriz com mesma frequência da tensão de alimentação e com uma amplitude que é função da velocidade de rotação do eixo do motor, essa tensão é gerada nos terminais do enrolamento de saída [Thomazini e outros, 2009].

Sensores Magnéticos: Os *reed-switches* ou interruptores de lâminas consistem em dispositivos formados por um bolbo de vidro no interior do qual existem lâminas flexíveis feitas de materiais que podem sofrer a ação de campos magnéticos. O bolbo de vidro é cheio com um gás inerte de modo a evitar a ação corrosiva do ar sobre as lâminas, o que afetaria o contacto elétrico em pouco tempo. Nas condições normais, as lâminas estão separadas e nenhuma corrente pode circular através do componente. Ele opera como uma chave aberta. Aproximando um imã permanente do dispositivo, a ação do campo magnético faz com que as lâminas se magnetizem e com isso se atraiam, unindo-se. Nestas condições o contacto elétrico é fechado.

Sensores de Aceleração: Os sensores de aceleração são dispositivos que, de modo geral, podem ser considerados como transdutores que convertem a grandeza física da aceleração em sinais elétricos proporcionais a mesma [Thomazini e outros, 2009].

De acordo com Cetinkunt, existem três tipos de sensores de aceleração: Acelerômetros, aceleradores piezoelétricos e extensômetros [Cetinkunt, 2010].

- Os acelerômetros são baseados no movimento inercial, onde o sensor é composto de um sistema massa-amortecedor-mola em um encapsulamento montado na superfície do objeto no qual se quer medir a aceleração;
- Os aceleradores piezoelétricos fornecem uma carga proporcional à força inercial como resultado da aceleração;

- Os extensômetros podem ser usados para medir aceleração se o sensor tiver a possibilidade de converter uma deformação proporcional à aceleração.
- Conforme cada tipo de aplicação e a necessidade de medir uma grandeza física de modo a gerar um sistema de controlo e automação, torna-se necessário a utilização de sensores. Dessa forma, é apresentado a tabela 1 com outros tipos de sensores e suas respectivas funções.

Tabela 1. Lista de Sensores

Descrição	Função
Sensor Infra Vermelho	Sensor que indica a distância entre um objeto e o sensor através do cálculo de retorno da reflexão da luz na superfície do objeto
Sensor Ultra som	Sensor que indica a distância entre um objeto e o sensor através do cálculo de retorno da reflexão sonora
Sensores de Contato	Sensor que indica a colisão entre o sensor e uma superfície
Encoder	Sensores de movimento, capazes de converter movimento linear ou angular em informações elétricas
Acelerômetros	Sensor de movimento capaz de converter a rotação de um determinado eixo em impulsos elétricos
Sensores de Inclinação	Sensor que indica a posição de um corpo em relação a vertical do local

2.4.3. Transdutores

Os transdutores são elementos que através de um sensor incorporado ao mesmo transformam as grandezas físicas medidas em grandezas que possam ser interpretadas pelos dispositivos de controlo. Um transdutor transforma grandezas físicas (temperatura, caudal e pressão) em sinais elétricos, como: Tensão e corrente. Esses tipos de sinais elétricos são os interpretados pelos sensores, o bloco primordial do controlo [Thomazini e outros, 2009].

2.4.4. Transmissores

São dispositivos utilizados para preparar o sinal de saída de um transdutor para utilização do mesmo em distâncias. Para isso são necessárias certas adequações ao sinal [Thomazini e outros, 2009].

De acordo com Thomazini e Albuquerque, para transmissão de sinais digitais é necessária a utilização de um protocolo de comunicação para sistemas em rede. Sendo os protocolos de *Hart*, *Asi*, *Fould Foundation*, *Fieldbus*, *Profibus-PA* e *CAN*, os mais utilizados em sistemas de controlo e automação para a transmissão de sinais digitais [Thomazini e outros, 2009].

2.4.5. Atuadores

Os atuadores são componentes que recebem os sinais provenientes do controlador do sistema. Os atuadores utilizados no controlo de aplicações são os dispositivos de movimento do sistema. Na categoria de atuadores que utilizam energia elétrica o motor e o acionador são componentes que convertem potência elétrica em potência mecânica. Alguns exemplos de atuadores podem ser: Válvulas; Relés; Cilindros; Motores [Cetinkunt, 2010].

2.4.6. Redes de Comunicação

Desde meados dos anos 80, vários meios de comunicação para sistemas de automação foram desenvolvidos. Atualmente, existem diversas soluções industriais disponíveis para a disseminação de informação entre dispositivos, que buscam uma melhor forma de conexão entre as partes independentes do sistema automatizado [Hubert, 2001].

Conforme Hubert, os grandes avanços tecnológicos influenciaram na criação de dispositivos que acompanham uma tendência de descentralização das aplicações, onde módulos menores de um sistema como: módulo de sensoriamento, de processamento e de atuação, podem funcionar separadamente. As tecnologias incorporadas em veículos possuem um crescimento ativo, os módulos de controlo eletrónicos disponibilizados não são mais artigos de veículos automóveis de luxo. Assim levam a indústria a desenvolver redes de comunicação mais eficientes e versáteis. Existem algumas formas de se conectar esses módulos de controlo, duas formas de conexão são através da arquitetura centralizada e da arquitetura distribuída [Hubert, 2001].

2.4.6.1. Arquitetura Centralizada

Conforme abordado por Guimarães e Saraiva, a arquitetura centralizada baseia-se em um módulo central que recebe e envia informações de diversos pontos do sistema, esse módulo central é responsável por toda relação de comunicação dos outros módulos que incorporam o sistema [Guimarães e outros, 2002].

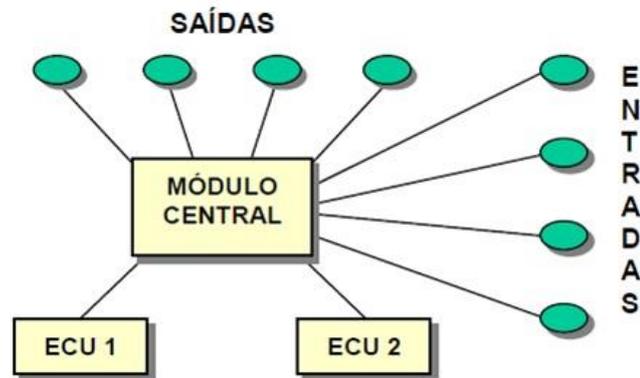


Figura 18. Arquitetura Centralizada [Guimarães e Saraiva, 2002]

Como vantagem dessa arquitetura, pode-se destacar:

- Simplicidade de *hardware*, utilizando apenas alguns componentes de automação, como sensores, cabeamento de comunicação e uma placa de gerenciamento;
- Toda a informação fica armazenada no módulo central durante toda a operação do sistema.
-

Como desvantagem, pode-se destacar:

- O cabeamento requerido no sistema com esse tipo de arquitetura é muito extenso, dependendo da aplicação do sistema variando de 10 metros em aplicações automóbiles até acima de 100 metros em aplicações industriais;
- Grandes limitações na expansão do sistema devido a toda a informação do sistema ser gerenciada apenas por um módulo central.

2.4.6.2. Arquitetura Distribuída

Nesse tipo de arquitetura o conceito diferencia-se da arquitetura centralizada no ponto em que existe apenas um módulo central, na arquitetura distribuída existem vários módulos espalhados pelo sistema recebendo apenas uma parte das informações enviadas e processando-as [Guimarães e outros, 2002].

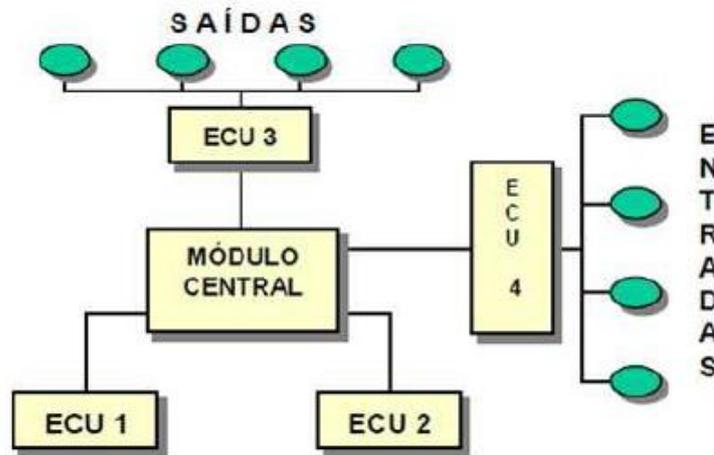


Figura 19. Arquitetura Distribuída [Guimarães e Saraiva, 2002]

Como vantagem desta arquitetura, pode-se destacar:

- Redução de cabeamento na rede se comparado a sistema com a arquitetura centralizada;
- A expansão do sistema baseado nessa arquitetura é simples devido a divisão do sistema em módulos menores que processam apenas parte das informações geradas pelo sistema.
- Permite a utilização de protocolos de comunicação mais inteligentes o que aumenta a fiabilidade no sistema e a sua robustez;
- Prazo de desenvolvimento do projeto menor devido a sua modularização, facilitando a criação do *software* de controlo.

A arquitetura distribuída assim como a centralizada possui desvantagens. Pode-se destacar dessas desvantagens a dificuldade na determinação das prioridades de transmissão e da taxa de transmissão ideal. Essas dificuldades são destacadas pelo fato de dependerem diretamente do protocolo de comunicação escolhido para aplicação [Guimarães e outros, 2002].

2.4.6.3. Requerimento de Comunicação em Sistemas Automóveis

De acordo com Ataíde, Santos e Vasques e como apresentado nos tópicos anteriores, as tecnologias empregadas nos sistemas automóveis necessitam de uma

arquitetura computacional distribuída. A Sociedade de Engenheiros Automóveis (SAE) descreve uma classificação de comunicação de rede em relação às exigências das aplicações [Ataíde e outros, 2005].

- **Classificação A:** É utilizada para aplicações não críticas como controle de lâmpadas e som de um veículo. Conforme anexo C, segue alguns protocolos com classificação A.
- **Classificação B:** Rede utilizada em aplicações importantes, mas não essenciais ao bom funcionamento e segurança do veículo. A classificação A e B são aplicadas no corpo eletrônico. Conforme anexo C, segue alguns protocolos com classificação B.
- **Classificação C:** Utilizada em aplicações de segurança máxima, para sistemas distribuídos com exibição de informações em tempo real. Conforme anexo C, segue alguns protocolos com classificação C.

2.4.6.4. Comunicação *Event-Triggered* e *Time-Triggered*

Event-Triggered

Nesse tipo de sistema todas as atividades são ativadas a partir da ocorrência de um evento significativo ou uma mudança de estado. Num protocolo de comunicação baseado nessa abordagem o nó do sistema somente tem conhecimento do instante de tempo em que a mensagem será transmitida. A variação do atraso é um comportamento incerto dos protocolos de comunicação assíncronos, podendo gerar ocorrências adversas quanto à previsibilidade do sistema [Ataíde e outros, 2005].

Time-Triggered

Diferentemente dos sistemas *Event-triggered*, onde as atividades apenas são ativadas devido à ocorrência de um evento ou de uma mudança de estado, nos sistemas *Time-Triggered* cada atividade possui seu tempo pré-determinado para enviar ou receber mensagens. A abordagem *Time-Triggered* com o seu conceito temporal possui maior previsibilidade nas ocorrências do sistema [Ataíde e outros, 2005].

2.4.6.5. Tipos de Redes de Comunicação

A escolha por uma solução em rede apresenta um conjunto de benefícios em relação a uma solução centralizada, tais como: menos fios no sistema, o que torna a fiação mais simples e barata; sistema flexível; fácil manutenção do sistema além de cada unidade ter a possibilidade de ser desenvolvida e testada individualmente sem afetar o funcionamento do sistema como todo. Atualmente, existem muitas soluções industriais disponíveis para comunicação de dados entre dispositivos. Seguem algumas destas soluções: *Devicenet*; RS232; RS485; *Profibus*; *Foundation Fieldbus* [Sá e outros, 2005].

2.4.6.5.1. DeviceNet

Essa rede é gerenciada pela *Can in Automation* (CIA) [Cia, 2011]. Possui formato determinístico e pode se comunicar através do protocolo Produto/Consumidor podendo emular outros formatos de comunicação como mestre-escravo. Mesmo tendo sido baseada na tecnologia CAN essa rede possui características físicas peculiares que dificultam sua implementação em sistemas embarcados [Arruda, 2009].

2.4.6.5.2. RS232

O tipo de rede RS232 foi bastante utilizado na comunicação de equipamentos agrícola, um monitor de semeadora utilizando esse tipo de rede foi desenvolvido pelo laboratório de Automação Agrícola da USP (LAA). A criação dessa rede teve como objetivo a comunicação bidirecional de dados entre dois dispositivos a uma distância máxima de 300m dependendo de sua taxa de transmissão e do tipo de cabeamento utilizado. Tem como características fundamentais a utilização de linhas desequilibradas, onde o sinal é aplicado a um dos fios e referenciado ao outro, conectado assim a terra comum do sistema [Guimarães, 2001].

2.4.6.5.3. RS485

Na rede RS485 existe apenas um nó capaz de conversar com todos os demais, referenciando assim um conceito de mestre-escravo, no qual o nó que possui a capacidade de se comunicar com todos os outros é o mestre, os restantes são os escravos. Esse conceito de mestre-escravo impede um controle verdadeiramente distribuído [Guimarães, 2001].

2.4.6.5.4. Profibus

Concebida em 1987 esta rede adota um mecanismo híbrido de acesso com uma hierarquia mestre-escravo para troca de dados cíclicos. A rede está padronizada através da norma DIN 19245 incorporada na norma europeia Cenelec EN 50170 e é dividida em dois seguimentos, sendo uma o *Profibus-PA* utilizado para conexões de sistemas com a presença de dispositivos como: sensores e atuadores. O outro seguimento é o *Profibus-DP* que possui comunicação com maior grau de velocidade, próprias para transmissão de grandes massas de dados entre Autómatos Programáveis e aplicações de controlo discreto operando sobre RS485 com taxas de transmissão de até 12 Mbps [Arruda, 2009].

2.4.6.5.5. Foundation Fieldbus - FF

Consideradas como uma proposta especial para redes industriais de tempo real, as redes FF possuem como característica a necessidade de respeitar estritamente restrições temporais em instrumentos de campo. Esse tipo de rede pode ser classificado de dois modos, o primeiro modo é uma rede de baixa velocidade utilizada para interligação de instrumentos (H1 - 31,25 kbps), o segundo modo de classificação consiste em uma rede de alta velocidade utilizada para integrar redes e interligar dispositivos que necessitam de um grau de transmissão elevado, como exemplo os autómatos programáveis. É uma rede com uma comunicação síncrona que baseia-se no modelo mestre-escravo com uma precisão de 1ms. Assim como a *Profibus*, a rede FF possui dependência de um cabeamento especial (polarizado) e fontes de alimentação que podem variar de 9 a 32V.

2.4.6.6. Rede de Comunicação CAN

O protocolo CAN é uma rede multi-mestre, que possui modo de resolução de colisões baseada em prioridade de mensagens fundamentado através do protocolo *Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection with Non-Destructive Arbitration* (CSMA/CA). O CAN foi desenvolvido por Robert Bosch nos anos 80 (ARRUDA, 2009). Segundo Guimarães (2010), o protocolo CAN por ser um protocolo de comunicação com grande eficiência de atuação, resistência a ambientes ruidosos e oferecendo os requisitos para controlar sistemas com arquitetura distribuída em tempo real, teve uma enorme aceitação no

desenvolvimento de projetos inteligentes automóveis. O CAN possui uma taxa de transmissão de dados elevada, podendo chegar até 1 Mbps tendo uma rede de comunicação de no máximo 40 m. Para distâncias superiores a taxa de transmissão diminui, se a distância do barramento for superior a 1 km pode ser necessário à utilização de dispositivos repetidores ou pontes para reforçar o sinal elétrico [Guimarães, 2010]. Segue tabela contendo alguns valores recomendados pela CAN in Automation (CIA).

Tabela 2. Taxa de Transmissão e Barramento [Cia, 2011]

Taxa de Transmissão	Barramento
1 Mbits/s	30m
800 Kbits/s	50m
500 Kbits/s	100m
250 Kbits/s	250m
125 Kbits/s	500m
62,5 Kbits/s	1000m
20 Kbits/s	2500m
10 Kbits/s	5000m

O protocolo CAN é baseado na troca de informações assíncronas entre os diversos nós, onde cada nó possui um endereço único e um endereço compartilhado de *broadcast*. Os quadros de mensagens CAN são formados por um campo de endereço, um campo de função, um campo indicando o número de bytes a serem enviados e o campo com os bytes de dados que podem ter até 8 bytes de informação útil [Guimarães, 2010].

2.4.6.6.1. Área de Aplicação: Automóveis

De acordo com Sebbe, as duas grandes áreas de aplicação em automóveis (corpo e sistemas eletrônicos) uma rede baseada em protocolo CAN pode interligar diversos dispositivos presentes no automóvel, como: No chassi podendo interligar lâmpadas, ar condicionado, travas de portas e regulação elétrica de retrovisores e assento; Nos controles situados no motor permitindo melhor rendimento de travões e suspensão. Segue imagem com a aplicação do protocolo CAN nos automóveis [Sebbe, 2005].

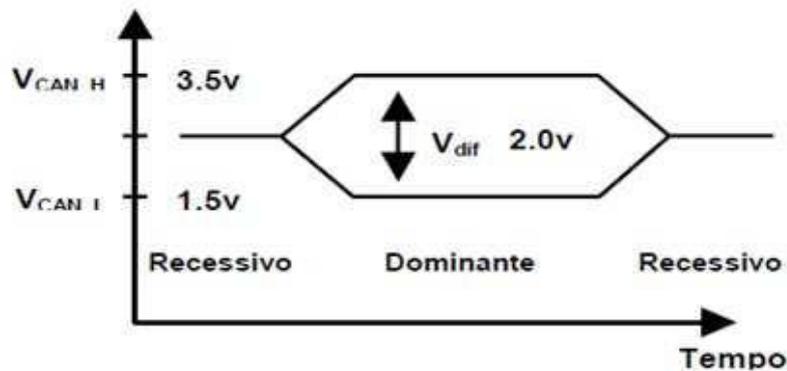


Figura 21. Níveis de tensão no CAN [Cia, 2011]

A maioria das aplicações utiliza um par de fios onde o nível de tensão é dado pelo diferencial de tensão entre os mesmos. Os fios que compõe essa estrutura são chamados de: *CAN Low* (CAN L) e *CAN High* (CAN H). No barramento CAN, os nós estão conectados logicamente por duas funções, essas são: *Wired-AND* e *Wired-OR*, isso significa dizer que pode-se distinguir níveis lógicos recessivos e dominantes no barramento. Na conexão *Wired-AND*, a qual é implementada pela maioria dos fabricantes de dispositivos CAN o nível lógico '1' é um valor recessivo e o nível lógico '0' é um valor dominante [Guimarães, 2010].

2.4.6.6.4. Transmissão e Recepção de Mensagens

A transmissão e a recepção de mensagens são feitas através da seguinte forma: o micro-controlador do nó que deseja transmitir alguma mensagem envia o identificador e os dados da mensagem para o controlador CAN. Assim que o barramento estiver livre a mensagem será transmitida para todos os nós do barramento. Cabe ao nó aceitar ou rejeitar a mensagem através do identificador da mesma. Para desempenhar essas funções de escolha de rejeição ou aceite da mensagem existe meios de filtragem implementados nos controladores CAN, como os modos de detecção de falhas no nível de bit, no nível de mensagem e no nível físico. Com o recebimento da mensagem o nó recetor envia um bit de reconhecimento para o nó transmissor informando o recebimento. Com isso o micro-controlador do recetor processa a informação recebida e desempenha sua atividade baseada na mesma. De acordo com Guimarães, existe a possibilidade que diversos nós tentem aceder ao barramento no mesmo instante Desta forma a mensagem do nó com o identificador com menor nível lógico é enviada com maior prioridade. Nesse momento os nós com mensagens com identificadores com níveis lógicos maiores se tornam recetores da mensagem enviada

e assim sucessivamente até que não restem mais mensagens a serem enviadas. As mensagens com identificadores com maior prioridade não sofrem atraso de envio da informação durante o processo de acesso ao barramento. Esse processo é feito através da comparação orientada ao bit tornando a arbitragem não destrutiva [Guimarães, 2010].

3. O PROTÓTIPO DA SOLUÇÃO CONCEBIDA

A eletrônica utilizada no sistema foi dividida em 3 placas, cada placa possui uma função específica e recebe informações dos sensores interligados a mesma. No projeto em destaque existem duas placas com sensores ultrassom idênticas, as quais, são inseridas na parte frontal do veículo com o intuito de captar a distância e a presença de obstáculos. Outra placa eletrônica é incorporada ao lado da roda, esta placa tem a capacidade de medir a velocidade em que o veículo está se locomovendo. As duas placas eletrônicas de controlo de velocidade e de distância se comunicam diretamente com o *hardware* e enviam informações ao módulo central de atuação que está localizado na parte traseira do pedal de travão do automóvel.

3.1. Módulos Construtivos

O desenvolvimento das placas eletrônicas do sistema de travagem é uma tarefa importante, que veio tornar a plataforma modular e expansível. Esta arquitetura, representada esquematicamente na Figura 22, é gerenciada por uma placa central de atuação, a alimentação é fornecida diretamente da bateria do veículo às placas periféricas e ligação entre elas. Assim, o sistema irá ficar mais simples e vai eliminar a necessidade de placas auxiliares e o excesso de cabos para distribuição de potência. Ficará também mais expansível, facilitando a integração de novos *hardwares* que podem vir a ser utilizados no desenvolvimento de novas funções do sistema.

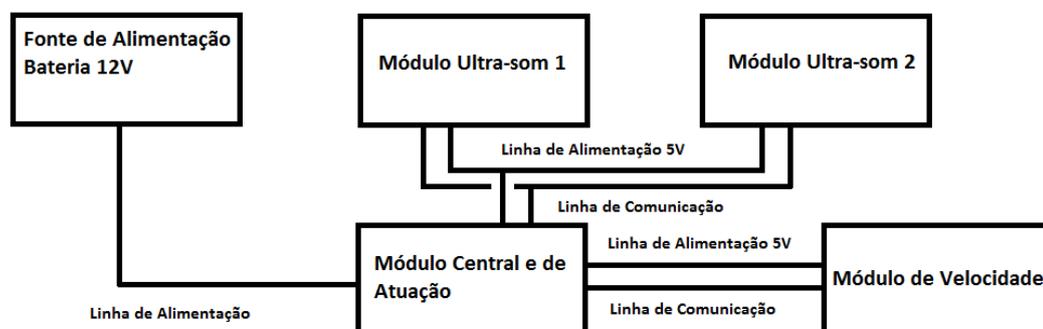


Figura 22. Fluxograma de Módulos

3.2. Hardware do Protótipo

Para o desenvolvimento de um sistema de emergência anti-colisão e de um sistema de auxílio à navegação, são necessários sensores apropriados para a medição de distâncias. Os requisitos para o desenvolvimento desse novo *hardware* foram: a compatibilidade com a arquitetura instalada; permitir a ligação de sensores de distância, para a detecção de obstáculos; capacidade de processar os dados dos sensores e comunicação bidirecional com o computador através de uma porta série. Neste capítulo são abordadas todas as escolhas feitas em relação ao desenvolvimento do *hardware* e a sua integração com o automóvel.

3.3. Softwares Utilizados para o Desenvolvimento

Como todo sistema automático, foram desenvolvidas programações em linguagens acessíveis ao micro-controlador, folhas de cálculos com as fórmulas pertinentes ao sistema e esquemas elétricos para as conexões dos componentes e a utilização da fonte de alimentação interna do automóvel. Com a aquisição dos componentes necessários à elaboração do projeto, iniciou-se com desenvolvimento das planilhas de simulações realizadas em EXCEL, bem como a programação em linguagem C realizada no *IAR Embedded Workbench* e o desenvolvimento dos esquemáticos elétricos realizado no *software Altium Designer*. Todos os *softwares* expostos são comerciais e de fácil acesso para estudantes.

3.4. Módulo dos Sensores Ultra-som

O sistema de emergência anti-colisão evita que o automóvel colida com obstáculos que se encontrem no seu caminho. É na placa de controlo dos sensores de ultra-som, conforme Figura 23, que é verificado constantemente, o risco de colisão e definida uma emergência. A placa comunica depois com a placa de controlo dos atuadores dando indicações para que reduza a velocidade ou imobilize o veículo, dependendo do tipo de

emergência. A ligação entre as duas placas foi efetuada através de uma rede de comunicação com par de fios trançados.

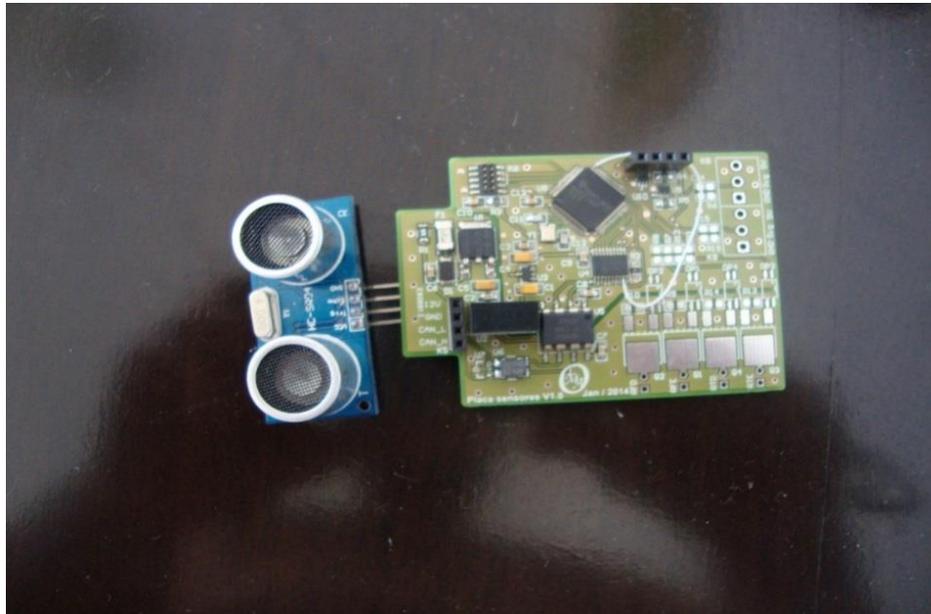


Figura 23. Módulo Ultra-som

3.4.1. Programação dos Micro-controladores de Ultra-som

Como foi visto anteriormente, das placas utilizadas com micro-controladores existe a necessidade de uma programação para aquisição de dados e atuação do sistema, cada placa teve que ser programada de acordo com as funções para as quais estava destinada. Nesta secção é feita uma análise sobre a programação das placas de distância.

A programação do sensor de distância foi feita baseada nas informações disponibilizada pelo fabricante do sensor ultra-som, esta placa atribui um estado de emergência a cada sensor, baseando-se na distância que este mede. Envia depois para a placa dos atuadores o estado de emergência detetado de maior valor. Ou seja, caso o sensor 1 indique que existe uma emergência do tipo 1 e o sensor 2 indique que existe uma emergência do tipo 2, será enviada para a placa de controlo dos atuadores a emergência do tipo 2 que é a mais restritiva. Isto, caso a emergência detetada anteriormente não tiver sido a emergência do tipo 2, caso contrário, não haverá necessidade de enviar o mesmo estado de emergência para a placa dos motores, pois já estará ativo. As distâncias de ativação das emergências são iguais nos dois sensores frontais, A maioria das distâncias para ativação das emergências nos sensores foram obtidas experimentalmente. No micro-controlador da placa de ultra-som,

foram feitas alterações para que as distâncias lidas dos sensores frontais fossem monitorizadas, de modo a atribuir um estado de emergência a cada sensor. Esse estado depende da distância que o sensor esteja a medir, como foi mencionado anteriormente, sendo comparado com valores definidos no programa como limites para a ativação das emergências. Estes valores são facilmente alterados caso seja necessário alterar o comportamento do sistema.

O estado de emergência global corresponde ao estado de emergência de maior valor atribuído individualmente aos sensores. Caso esse estado de emergência seja diferente do encontrado na iteração anterior, essa informação será enviada para a placa dos atuadores, atualizando o estado de emergência guardado nessa placa. Na emergência de tipo 1, sendo a velocidade restringida, as ordens de velocidade vindas do computador serão limitadas à velocidade de segurança definida. Com a emergência do tipo 2 ativa, o micro-controlador dos atuadores aceita ordens vindas do condutor para se movimentar para a frente, possibilitando a manobrabilidade do veículo. Quando a emergência deixa de existir, ou seja, quando o veículo tem o espaço à sua frente livre, o estado de emergência é atualizado pela placa de ultra-som e a placa dos atuadores libera o pedal do travão se o sistema estiver em funcionamento completo.

3.4.2. Escolha dos Sensores de Ultra-som

Em aplicações de segurança como são os sistemas de anti-colisão, a detecção de obstáculos e/ou pessoas é de extrema importância. Sendo assim, a escolha dos sensores deve ser favorável aos que tenham uma área ou volume de detecção maior. Como um dos requisitos deste trabalho passa também por manter o custo o mais baixo possível, foram logo de início descartados sensores laser, devido ao seu preço bastante elevado. Foram assim analisados sensores de baixo custo, baseados em ultra-som e em infravermelhos. Após uma análise sobre as características destes dois tipos de sensores, quais os seus pontos fortes e fracos, a escolha recaiu sobre os sensores de ultra-som. Os sensores de infravermelho têm uma zona de detecção limitada, pois apenas emitem um feixe simples. Para além disso têm mais dificuldades em detetar vidro e têm um alcance inferior. Os sensores de ultra-som têm uma zona de detecção 3D muito maior, permitem detetar objetos de vidro e possuem também em geral um alcance maior.

O sensor de ultra-som escolhido, foi o modelo HC-SR04 capaz de medir distâncias de 2 cm a 6 m com ótima precisão. Este módulo possui um circuito pronto com emissor e recetor acoplados e 4 pinos (VCC, Trigger, ECHO, GND) para medição.



Figura 24. Sensor Ultra-som [Ebay, 2011]

Com as informações descritas anteriormente um diagrama de blocos foi criado de modo a ilustrar o funcionamento do sensor escolhido para aplicação do sistema, segue abaixo o diagrama.

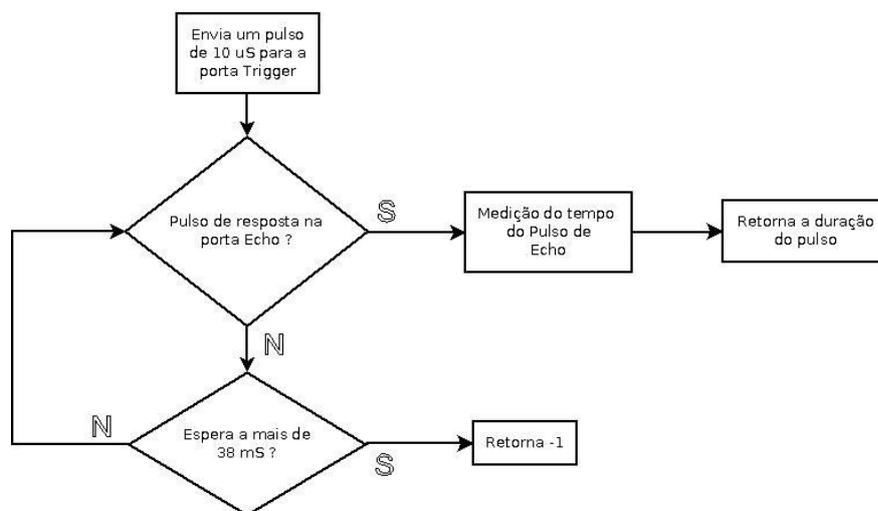


Figura 25. Diagrama de Cálculo de Distância

O diagrama ilustra, de forma sucinta o cálculo que o sensor ultrassônico HC-SR04 faz para determinar a distância de um obstáculo. No diagrama são expostos o tempo de envio da mensagem e de espera para o retorno do pulso sonoro, a partir do descrito foi elaborado um código na linguagem C para que o sensor receba essas informações de distância e possa transmitir a mesma para o sistema.

3.5. Módulo dos Sensores de Velocidade

Para que o sistema de travagem automática funcione corretamente faz-se necessário o desenvolvimento de um placa que capte a velocidade em que o veículo está se locomovendo, conforme figura 26, essa informação determinará a necessidade ou não de atuação dos travões, seguindo os padrões de comunicação a placa de velocidade foi ligado ao restante do sistema utilizando par de fios trançados para a transmissão de informações.

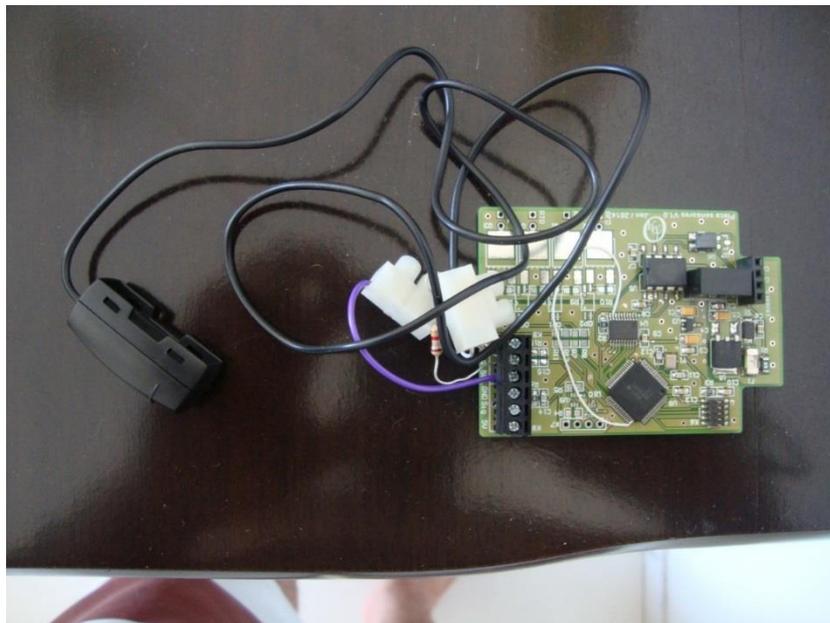


Figura 26. Módulo de Velocidade

3.5.1. Programação dos Micro-controladores de Velocidade

Quando a emergência do tipo 1 está ativa, as ordens de velocidade recebidas pela placa dos sensores das rodas serão todas limitadas à velocidade máxima de captação dos sensores frontais. Como as placas dos sensores de ultra-som não possuem informação sobre a velocidade do veículo, foi necessário definir um tipo de emergência que enviasse a informação de velocidade, pois é garantido que com uma velocidade de 28,34 km/h o automóvel consegue parar antes de atingir o obstáculo a 6 metros de distância. Com essa informação, poderia haver apenas o estado de emergência e o de não emergência. Nesse caso a distância que causa a emergência poderia ser variável com a velocidade do automóvel. Seria menor para velocidades maiores e maior para velocidades menores.

3.5.2. Escolha do Sensor de Velocidade

Mais uma vez tendo em conta o custo de desenvolvimento e de material o sensor escolhido para determinar a velocidade do automóvel deverá possuir as condições de transmissão de informação adequadas ao sistema e possuir um baixo custo de aquisição. Após uma análise sobre as características dos sensores indutivos e capacitivos, foi escolhido para o controlo de velocidade um sensor indutivo de baixo custo utilizado em grande escala para medir a velocidade de bicicletas de corrida, o funcionamento desse sensor baseia-se na passagem de um ímã através do sensor gerando um pulso elétrico. Sabendo-se o diâmetro da roda obtêm-se a velocidade a que a mesma se está locomovendo através da contagem de tempo entre dois pulsos.

O modelo do sensor tendo em vista que a grande maioria dos velocímetros de bicicletas possuem as mesmas características de funcionamento não foi tão significativo, a grande diferença foi na escolha de um sensor sem fio com conexão *wifi* ou com fios, o modelo escolhido para o desenvolvimento do sistema foi um Sigma BC 12.12 com fios, por se tratar de um sensor com baixo custo de aquisição e possuir dimensões menores ao sensores sem fio e não possuir bateria interna, já que o sistema inteiro será interligado a bateria do veículo.



Figura 27. Sensor [https://www.100sporta.ru/aksessuari/velokompyuteri/sigma/bc_1212]

Com as informações descritas anteriormente o diagrama de blocos da Figura 28 foi elaborado, o diagrama ilustra, de que forma o sensor de velocidade calcula as informações que serão enviadas ao atuador e de que forma o sensor receberá essas informações de velocidade através dos pulsos elétricos captados a partir de determinada passagem do magneto pelo indutor.

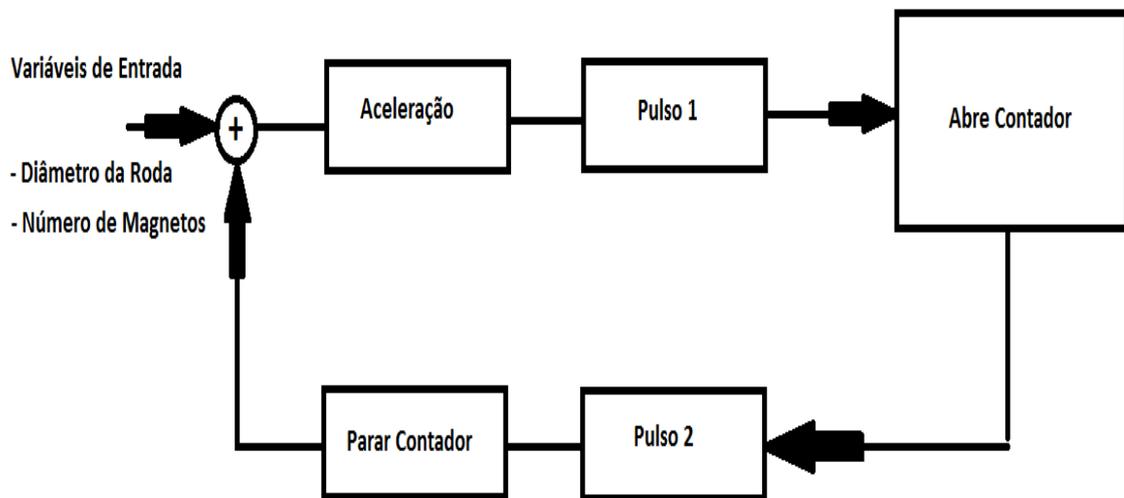


Figura 28. Diagrama de Cálculo de Velocidade

A partir do descrito foi elaborado um código na linguagem C, através da aceleração do veículo o magneto colocado na parte exterior da roda passa por um ímã, com esta passagem ocorre um pulso elétrico, a partir desse pulso inicia-se um contador de tempo que irá determinar o tempo até a passagem pela segunda vez do magneto sobre o ímã. Com a segunda passagem do magneto o contador é então parado e lê-se o tempo entre dois pulsos, sabendo-se o diâmetro da roda, o tempo entre os dois pulsos elétricos e o número de magnetos inseridos na roda, pode-se calcular a velocidade média do veículo e posteriormente a aceleração do mesmo.

3.6. Módulo dos Atuadores

Com todas as variáveis determinadas através das outras duas placas, torna-se necessário o desenvolvimento da placa em que irá atuar o travão, Figura 29, com as informações de velocidade e de distância do obstáculo. A placa dos atuadores não funciona apenas para acionar o travão. A mesma funciona como uma placa central a qual recebe todas as informações e determina a atuação ou não, confrontada com a existência de um obstáculo ou não, a distância do mesmo, tal como, a velocidade em que o veículo se locomove e qual o espaço necessário de paragem segura do sistema sem causar acidentes.

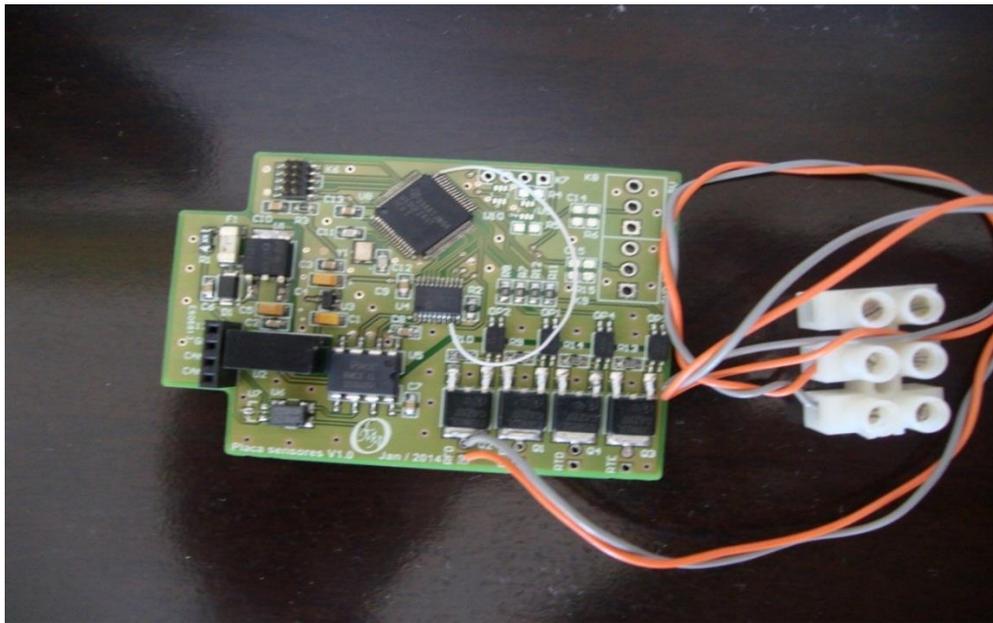


Figura 29. Módulo Atuador

3.6.1. Programação dos Micro-controladores do Atuador

A programação do micro-controlador do atuador foi baseada nas informações determinadas pelas outras placas. A velocidade é confrontada diretamente com a presença de um obstáculo e a distância que o mesmo se encontra, sabendo-se que a distância máxima que o sensor ultra-som capta é de 6 metros, pode-se saber que a velocidade máxima que o sistema pode atuar, sem que ocorra um acidente é de 28,34 km/h. Essa velocidade máxima é determinada retirando a distância necessária para a travagem do veículo através do tempo de reação do condutor. De posse de todas as informações e a aplicabilidade entre elas, o micro-controlador envia a informação de atuação para o atuador linear localizado atrás do pedal de travão do veículo de modo a acionar o mesmo mecanicamente.

3.6.2. Escolha do Atuador

Nesse ponto do sistema não se tem a presença de um sensor e sim de um atuador, o atuador escolhido para o desenvolvimento do projeto não necessita apenas de ser de baixo custo e possuir compatibilidade com o sistema, nesse caso o atuador deveria exercer força suficiente para acionamento do travão do travão. Foram selecionados atuadores lineares

hidráulicos, pneumáticos e elétricos, por fim foi selecionado para o projeto um atuador linear elétrico 12V, sendo uma solução mais compacta e fiável para o desenvolvimento do sistema.

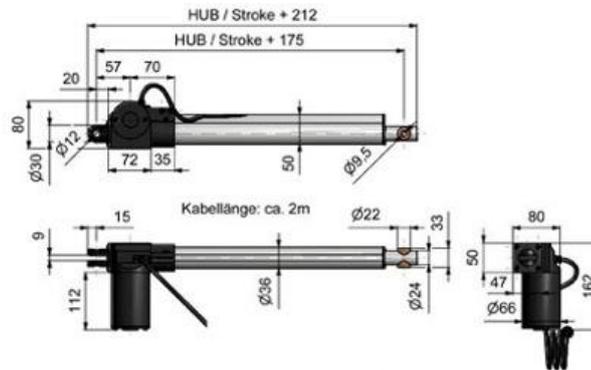


Figura 30. Atuador Linear [http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-581968522-atuador-linear-pisto-eletrico-c-controlo-remoto-s-fio_JM]

- Motor de 40 Watt de ímãs permanentes
- Alimentação 12 volts DC/CC corrente contínua
- Proteção IP43
- Rolamentos integrados á ponta de eixo do motor e fuso
- Fuso em aço inox
- Tensão de operação: 12 ~ 13,5 Volt DC
- Corrente: 3,5 ~ 4A Ampere
- Temperatura de operação < 70°C
- Temperatura ambiente -15°C ~ 55°C
- Interruptores fim de curso *Built*
- Comando inteligente, permite que o atuador funcione nos modos PULSO ou RETENÇÃO, modificáveis por *jumper* interno na placa.
- Bateria e fonte chaveada recomendadas de no mínimo 5 Ampere.

Tabela 3. Cargas e Velocidades Atuador [http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-581968522-atuador-linear-pisto-eletrico-c-controlo-remoto-s-fio_JM]

Cargas e Velocidades				
1000 N	=	100 kgf	=	30 mm/s
3000 N	=	300 kgf	=	15 mm/s
6000 N	=	600 kgf	=	7 mm/s

3.7. Suporte das Novas Placas

A mecânica desenvolvida para o sistema em destaque é de caráter bem simples. Trata-se apenas dos suportes dos circuitos e dos sensores. O Atuador linear empregado no sistema se localiza na parte traseira do pedal do travão.

Como suporte dos sensores frontais foi utilizada uma estrutura semelhante à utilizada para as câmaras. É constituída por uma plataforma em acrílico que encaixa na região frontal do para-choque existentes no veículo, e é regulável em altura. Nesta plataforma são depois aparafusados suportes nos quais são fixados os sensores, permitindo orientações em 3D. Através deste sistema de suporte, os sensores podem ser configurados de diversas formas. Sendo assim, foram adotados alguns requisitos de forma a simplificar o processo de posicionamento. Os requisitos foram os seguintes:

- Os dois sensores frontais devem cobrir a maior área possível;
- Ter um objeto de 2,5 cm de espessura, a uma distância de 15 cm do veículo e ser detetado pelo menos por um sensor;
- Não devem detetar irregularidades do solo, que sejam suficientemente pequenas para serem ultrapassadas.

4. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Após terem sido concluídas todas as placas e a programação dos micro-controladores, foram efetuados testes em bancada de modo a validar o seu funcionamento. Inicialmente as placas foram testadas utilizando um multímetro para verificar se existiam problemas ao nível das ligações. Após esta verificação inicial, efetuaram-se testes utilizando todas as placas ligadas em conjunto. Para a realização destes testes foram feitas adaptações nos conectores dos diferentes componentes. Utilizando um *software* de comunicação RS232 foram enviadas mensagens para as placas de controlo e verificou-se que os resultados eram os pretendidos.

4.1. Testes em Placa Branca

Após a escolha dos sensores, foi necessário seleccionar qual o micro-controlador a utilizar na aquisição dos dados e na comunicação com o computador. Tendo em conta que ambas as placas de controlo do sistema possuem o mesmo micro-controlador. Antes de iniciar o desenvolvimento da placa de circuito impresso, foi montado um pequeno *setup* em placa branca, de modo a poder validar o funcionamento dos componentes em conjunto com um sensor. Nesta montagem, o micro-controlador adquiria a tensão analógica de um sensor e enviava o valor da distância através da porta série para o computador. O seu modo de funcionamento pode ser dividido em 3 etapas. Na primeira etapa funciona como emissor, emitindo um feixe de ultra-som. Na segunda, funciona como recetor e fica à espera do sinal que será possivelmente reflectido num obstáculo. Na última fase, depois de detetar o eco do seu sinal utiliza a diferença de tempo entre o envio e a receção para calcular a distância ao obstáculo refletor. Ao ter vários sensores a funcionar ao mesmo tempo, não é garantido que um sensor receba o eco do sinal de ultra-som que ele próprio enviou, podendo receber o eco do sinal enviado por outros. Este é um problema grave e que invalida os dados de distância obtidos. De modo a evitar este problema, os sensores não podem funcionar em simultâneo, apontados na mesma direção. Sendo assim, e visto que serão colocados na frente do veículo, pelo menos 2 sensores, foi aplicado um modo de funcionamento que permitisse aos sensores funcionar corretamente.

4.2. Testes do Modo de Funcionamento

O modo de funcionamento aplicado para evitar interferência entre os sensores é descrito pelo fabricante e designa-se por separar os sensores a uma distância em que o arco gerado pelo pulso não atrapalhe ou cause interferência ao outro sensor, deste modo os sensores foram colocados a uma distância um do outro, com as premissas de cobrir a maior área de detecção sem que um estivesse dentro do arco de pulso gerado pelo outro sensor.

4.3. Testes de Dados Adquiridos

De forma a aferir a qualidade dos dados obtidos dos sensores, foi efetuado um simples teste: foram colocados dois sensores apontados na mesma direção a uma altura de 70 cm (altura de uma mesa) e espaçados entre si por 10 cm. De seguida, foi colocado um obstáculo posicionado a várias distâncias dos sensores e foram gravados em ficheiro os valores de distância que chegavam ao computador através da porta série. O comportamento dos três sensores é bastante semelhante, apresentando medidas coerentes. O valor dominante é de 71,12 cm aparecendo por vezes picos de 76,2 cm ou, mais raramente, de 73,66 cm.

4.4. Testes do Posicionamento dos Sensores no Automóvel

O posicionamento dos sensores no veículo é de extrema importância, pois vai influenciar a forma como os sistemas de segurança irão funcionar. Sendo o objetivo desenvolver um sistema anti-colisão, o posicionamento deve ser feito de modo a satisfazer os requisitos necessários de segurança. Tendo em conta que o sistema se desloca na maior parte do tempo para a frente, o posicionamento dos sensores deve ser feito nessa direção. Optou-se por colocar os dois sensores que funcionam em paralelo, na parte da frente do automóvel: localizados nas extremidades do para-choques frontal do veículo. De modo a conseguir abranger a maior área possível com os dois sensores frontais foram colocados obstáculos de pequena espessura nos limites da zona de detecção dos sensores. Todos os sensores foram ainda inclinados ligeiramente para cima, de modo a não serem influenciados

pelas irregularidades no solo ou objetos muito pequenos, que não causam impedimentos na locomoção do automóvel. Tendo sido os sensores colocados de modo a cumprir os requisitos mencionados, foram efetuados testes para garantir que eram cumpridos.

4.5. Simulações e Resultados de Velocidade e Espaço de Colisão

Para testar o desempenho do sistema de anti-colisão foram realizados 10 testes de simulação para velocidades entre 8,3 m/s e 16,66 m/s e tempos de reação entre 0,00001 segundos e 0,4 segundos. A partir das Equações (15), (16) e (17) as simulações de impacto foram realizadas.

$$S_1 = S_{01} + V_{01} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a_1 \cdot t^2 \quad (15)$$

$$S_2 = S_{02} + V_{02} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a_2 \cdot t^2 \quad (16)$$

Realizando a diferença entre as Equações (15) e (16):

$$S_2 - S_1 = (S_{02} - S_{01}) + (V_{02} - V_{01}) \cdot t + \frac{1}{2} \cdot (a_2 - a_1) \cdot t^2 \quad (17)$$

Os testes consistiram em fazer seguir o veículo em trajetória reta contra um obstáculo colocado a sensivelmente 6 metros de distância com velocidades e acelerações diferenciadas, estes testes foram realizados considerando o tempo de reação humano e o tempo de reação do sistema para que deste modo, fosse possível prever o tempo de colisão.

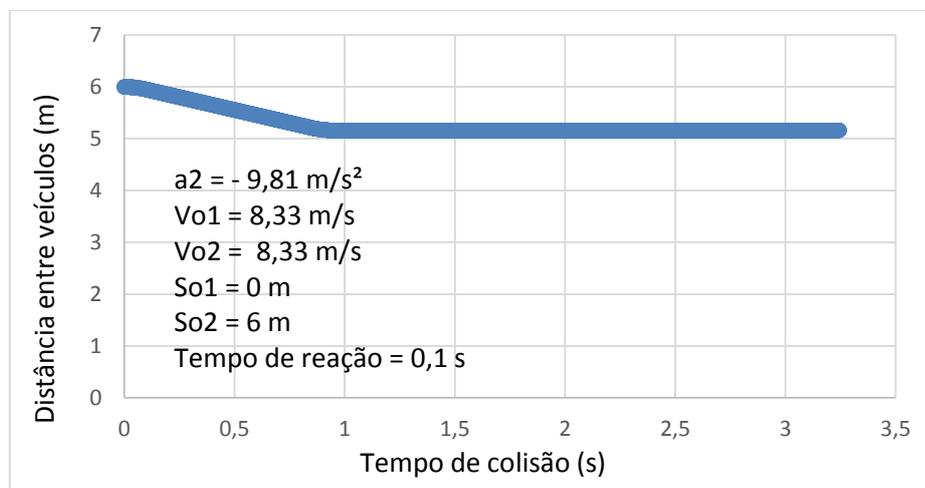


Figura 31. Simulação de Impacto 1

O teste de simulação de impacto 1, representa dois veículos movendo-se em uma trajetória retilínea, sendo que o primeiro veículo possui o sistema de travagem automática e segue a uma velocidade de 8,3 m/s, o segundo veículo à frente não possui o sistema e tem uma velocidade inicial de 8,3 m/s e realiza uma travagem com uma aceleração constante de $-9,81 \text{ m/s}^2$, os dois veículos estão separados por uma distância de 6 metros, o tempo de reação humano utilizado foi de 0,1 segundos. Considerou-se que durante o tempo de reação a aceleração do veículo 1 é nula, ou seja, $a_1 = 0 \text{ m/s}^2$, após o tempo de reação de 0,1 segundos a desaceleração do mesmo passa a ser $-9,81 \text{ m/s}^2$. Pode-se concluir a partir do gráfico (Figura 31) que não ocorre colisão dos veículos.

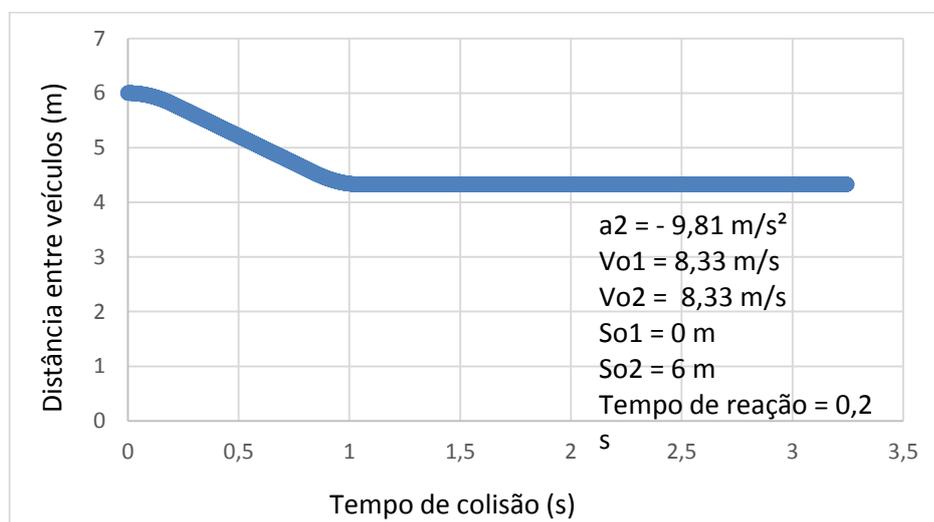


Figura 32. Simulação de Impacto 2

O teste de impacto 2, descrito pela Figura 32, representa dois veículos movendo-se em uma trajetória retilínea, sendo que o primeiro veículo possui o sistema de travagem automática e segue a uma velocidade de 8,3 m/s, o segundo veículo a frente não possui o sistema e segue a uma velocidade inicial de 8,3 m/s e realiza uma travagem com aceleração constante de $-9,81 \text{ m/s}^2$, os dois veículos estão separados por uma distância de 6 metros, o tempo de reação humano utilizado foi de 0,2 segundos. Considerou-se que durante o tempo de reação a aceleração do veículo 1 é nula, ou seja, $a_1 = 0 \text{ m/s}^2$, após o tempo de reação de 0,2 segundos a desaceleração do mesmo passa a ser $-9,81 \text{ m/s}^2$. Pode-se concluir a partir do gráfico que não ocorre colisão dos veículos.

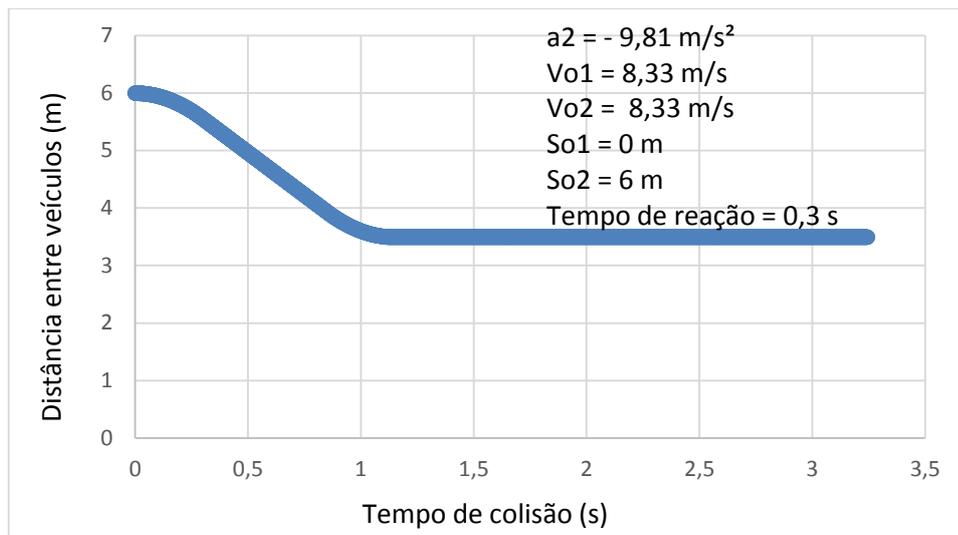


Figura 33. Simulação de Impacto 3

O teste de impacto 3, descrito pela Figura 33, reafirma que o tempo de reação do condutor é uma variável crucial para o desenvolvimento do sistema, os dados descritos representam dois veículos movendo-se em uma trajetória retilínea, sendo que o primeiro veículo possui o sistema de travagem automática e segue a uma velocidade de 8,3 m/s, o segundo veículo a frente não possui o sistema e segue a uma velocidade inicial de 8,3 m/s e realiza uma travagem com aceleração constante de $-9,81 \text{ m/s}^2$, os dois veículos estão separados por uma distância inicial de 6 metros, o tempo de reação humano utilizado foi de 0,3 segundos. Considerou-se que durante o tempo de reação a aceleração do veículo 1 é nula, ou seja, $a_1 = 0 \text{ m/s}^2$, após o tempo de reação de 0,3 segundos a desaceleração do mesmo passa a ser $-9,81 \text{ m/s}^2$. Pode-se concluir a partir do gráfico que não ocorre colisão dos veículos.

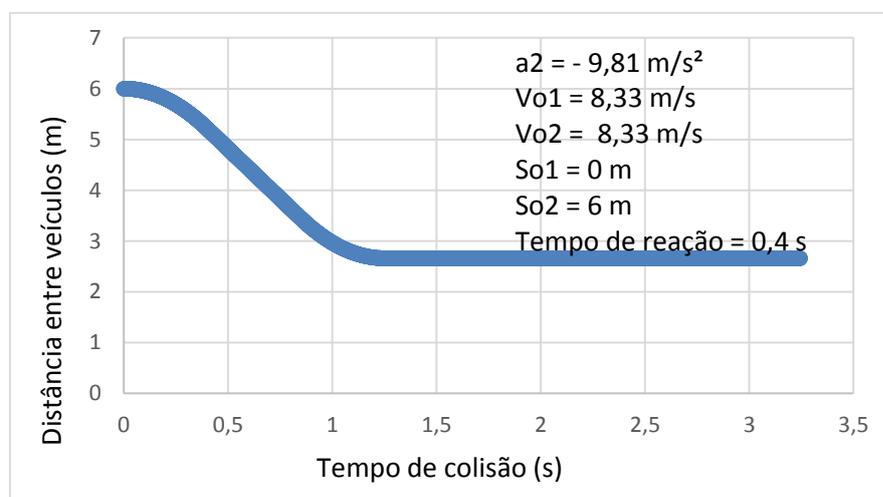


Figura 34. Simulação de Impacto 4

Para confirmação do estado dos veículos em virtude do tempo de reação do condutor foi realizado mais um teste com o tempo de reação de 0,4 segundos, descrito pela Figura 34, esse teste foi realizado com todos os outros fatores de igual dimensão dos testes anteriores, velocidade inicial do veículo 2 de 8,3 m/s, e realização de uma travagem com aceleração constante de $-9,81 \text{ m/s}^2$ e espaçamento inicial entre os veículos de 6 metros. Considerou-se que durante o tempo de reação a aceleração do veículo 1 é nula, ou seja, $a_1 = 0 \text{ m/s}^2$, após o tempo de reação de 0,4 segundos a desaceleração do mesmo passa a ser $-9,81 \text{ m/s}^2$. Com a realização deste último teste variando o tempo de reação do condutor é possível perceber que à medida que o tempo de reação aumenta, com as velocidades e acelerações simuladas não ocorre a colisão. Deste modo foram realizados novos testes aumentando a velocidade inicial do veículo 1 com a presença do sistema de travagem automática.

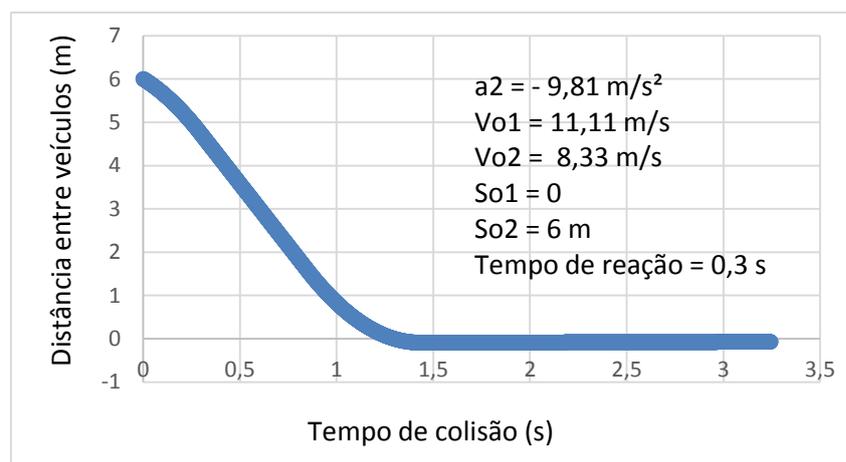


Figura 35. Simulação de Impacto 5

De acordo com os estudos anteriores, outras variáveis foram modificadas a fim de se comparar os efeitos das mesmas no tempo de colisão. O gráfico da Figura 35 corresponde a mudança da velocidade com que o veículo 1 se desloca. Nesse parte do estudo foi utilizado um tempo de reação de 0,3 segundos como sendo a média humana, a velocidade do veículo com o sistema incorporado é de 11,11 m/s, o espaçamento inicial entre os veículos é de 6 metros, a velocidade do segundo veículo sem o sistema, movendo-se à frente, é de 8,3 m/s e realiza uma travagem com aceleração constante de $-9,81 \text{ m/s}^2$. Considerou-se que durante o tempo de reação a aceleração do veículo 1 é nula, ou seja, $a_1 = 0 \text{ m/s}^2$, após o tempo de reação de 0,3 segundos a desaceleração do mesmo passa a ser $-9,81 \text{ m/s}^2$. A partir do gráfico pode-se concluir que o veículo irá colidir ao fim de 1,297 segundos, esse tempo

de colisão determina que a velocidade com que o veículo 1 está movendo-se é um fator com grande importância para o estudo do sistema.

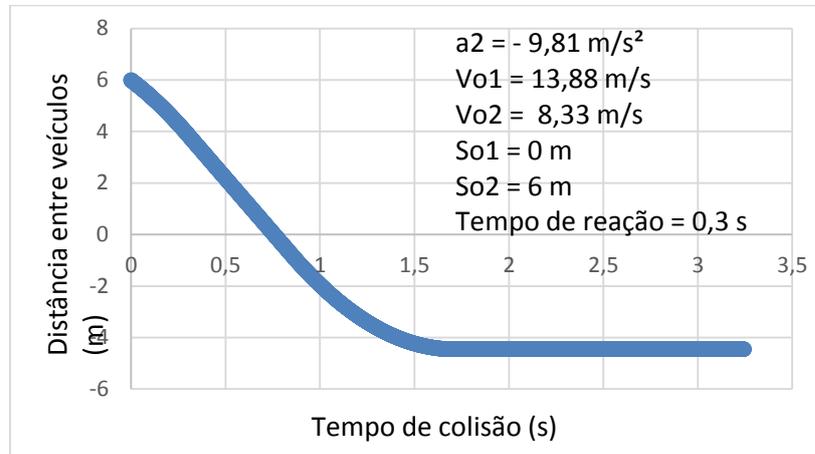


Figura 36. Simulação de Impacto 6

O teste de impacto 6, descrito pela Figura 36, foi realizado a partir de uma velocidade de 13,88 m/s para o veículo 1 com o sistema incorporado, um espaçamento inicial de 6 metros entre os veículos, um tempo de reação médio humano de 0,3 segundos, uma velocidade de 8,3 m/s para o veículo 2 à frente sem a presença do sistema de travagem automático, o qual, realiza uma travagem com aceleração constante de $-9,81 \text{ m/s}^2$. Considerou-se que durante o tempo de reação a aceleração do veículo 1 é nula, ou seja, $a_1 = 0 \text{ m/s}^2$, após o tempo de reação de 0,3 segundos a desaceleração do mesmo passa a ser $-9,81 \text{ m/s}^2$. Com a inserção destes dados pode-se perceber que os veículos irão colidir ao fim de 0,759 segundos.

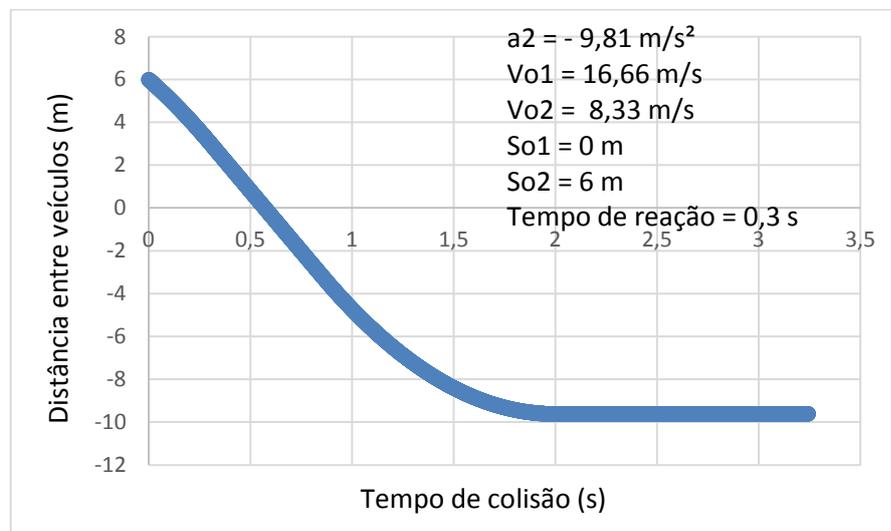


Figura 37. Simulação de Impacto 7

O teste de impacto 7, descrito pela Figura 37, foi realizado a partir de uma velocidade de 16,66 m/s para o veículo 1 com o sistema incorporado, um espaçamento inicial de 6 metros entre os veículos, um tempo de reação médio humano de 0,3 segundos, uma velocidade de 8,3 m/s para o veículo 2 à frente sem a presença do sistema de travagem automático, o qual, realiza uma travagem com aceleração constante de $-9,81 \text{ m/s}^2$. Considerou-se que durante o tempo de reação a aceleração do veículo 1 é nula, ou seja, $a_1 = 0 \text{ m/s}^2$, após o tempo de reação de 0,3 segundos a desaceleração do mesmo passa a ser $-9,81 \text{ m/s}^2$. Com a inserção destes dados pode-se perceber que os veículos irão colidir ao fim de 0,571 segundos. Pode-se concluir ao fim dos testes que variando a velocidade do veículo com a presença do sistema que quanto maior a velocidade do veículo 1, menor é o tempo para a colisão. Outro ponto importante que se pode concluir com os testes, é que a velocidade inicial do veículo 1 é uma variável com maior efeito no tempo de colisão do que o tempo de reação do condutor do veículo 1, porém o projeto em destaque visa minimizar danos em acidentes com veículos e peões em sistemas com velocidades variadas e com a presença de condutores com tempos de reações diferentes em ambiente citadino, esse ponto torna a variável do tempo de reação um fator tão importante quanto a velocidade. Em contrapartida foram realizados testes fundamentais para a comparação do estado dos veículos com a utilização do tempo de reação determinado pelo sensor do sistema estes testes serão expostos a seguir e servirão de base para a decisão de utilização do sistema.

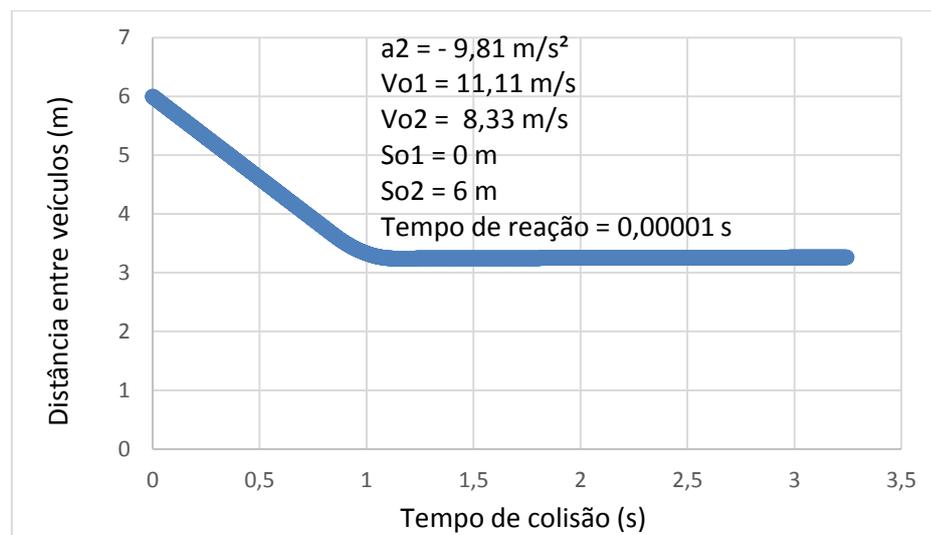


Figura 38. Simulação de Impacto 8

O teste de impacto 8, descrito pela Figura 38, foi realizado com o tempo de reação determinado pelo sensor com cerca de 0,00001 segundos de reação, os mesmos dados utilizados para a realizar o teste de impacto 5 (Figura 35), foram utilizados apenas modificando o tempo de reação. A velocidade do veículo 1 com o sistema incorporado é de 11,11 m/s, o espaçamento inicial entre os veículos é de 6 metros, a velocidade do veículo 2, movendo-se à frente do veículo 1, sem o sistema, é de 8,3 m/s, o qual realiza uma travagem com aceleração constante de $-9,81 \text{ m/s}^2$. Pode-se concluir a partir do gráfico (Figura 38) que não ocorre colisão entre os veículos, diferentemente do gráfico exposto na Figura 35 que mostra a colisão dos veículos ao fim de 1,297 segundos. A incorporação do sistema permite que acidentes sejam evitados a velocidades iguais a 40 km/h (11,11 m/s).

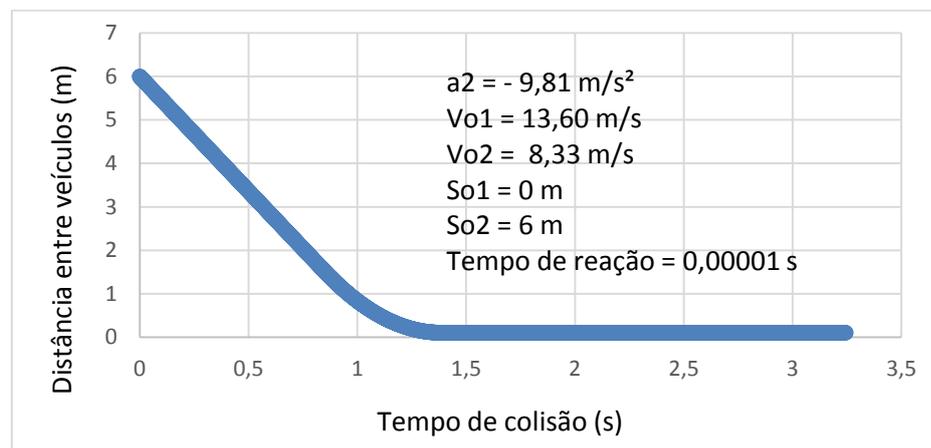


Figura 39. Simulação de Impacto 9

O teste de impacto 9, descrito pela Figura 39 foi realizado a partir de dados que determinam a velocidade máxima à qual o sistema pode evitar colisões, do mesmo modo foi apenas modificado o tempo de reação para o valor de 0,00001 segundos como forma de comparação entre os testes. As variáveis utilizadas foram uma velocidade de 13,88 m/s para o veículo 1, com o sistema incorporado, um espaçamento inicial de 6 metros entre os veículos, uma velocidade de 8,3 m/s para o veículo 2 à frente sem a presença do sistema de travagem automático, o qual, realiza uma travagem com aceleração constante de $9,81 \text{ m/s}^2$. O gráfico determina que não ocorre colisão dos veículos até uma velocidade máxima de 48,96 km/h (13,6 m/s), diferentemente do idealizado inicialmente que determinava que o sistema atuaria com êxito até uma velocidade aproximada de 30 km/h, assim os testes realizados mostram um aumento na expectativa do sistema de cerca de 18 km/h.

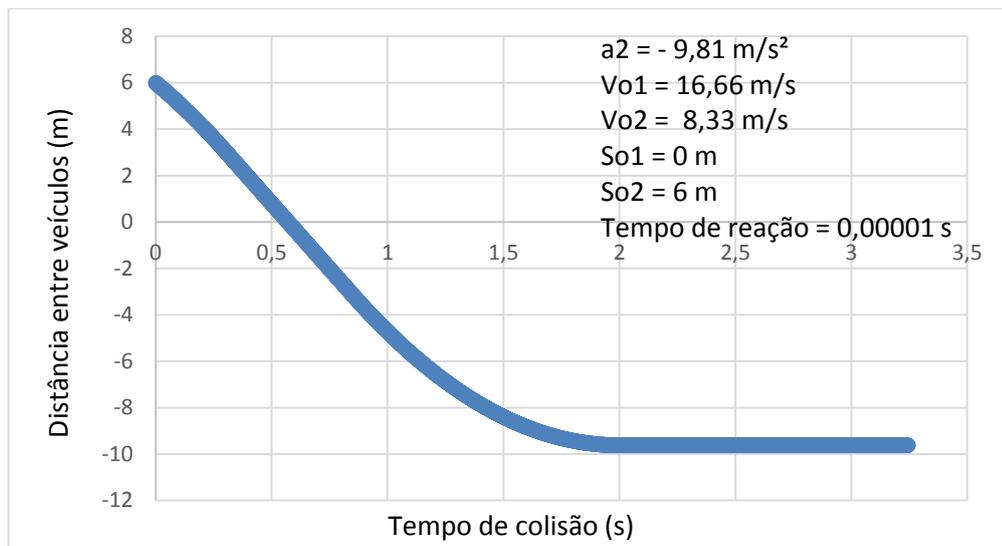


Figura 40. Simulação de Impacto 10

Por fim foi realizado o teste de impacto 10, descrito pela Figura 40, possuindo as mesmas características dos testes 8 (Figura 38) e 9 (Figura 39), mostra um impacto iminente ao fim de 0,572 segundos. Como determinados nos testes anteriores realizados com caráter de comparação entre o tempo de reação médio humano e o tempo de reação do sistema projetado por este objeto de estudo pode-se concluir que o sistema empregado aumenta consideravelmente o tempo de colisão entre os veículos e conseqüentemente pode vir a evitar acidentes.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho de conclusão de Curso apresenta um protótipo de um sistema de auxílio aos condutores de veículos automóveis, captando informações de distância de obstáculos, velocidades e aceleração do veículo, essas informações são controladas e geridas de modo a atuar no sistema de travagem do veículo e evitar danos em momentos críticos do quotidiano ou no caso de falha humana. Essa tendência de criação de sistemas de auxílio aos condutores vem sendo adotada em grande escala pelas grandes fabricantes de veículos, tal como a busca pelo conforto e segurança dos condutores se tornou um aspeto fundamental para o desenvolvimento de automóveis.

O sistema descrito possui como principal vantagem a utilização de *hardware* de fácil acesso e de custo reduzido, além da implementação com o protocolo CAN que é utilizado na grande maioria dos veículos. O sistema de atuação dos travões e o de sensores foram integrados em uma única interface, fornecendo ao condutor fácil manutenção e possível ampliação do mesmo. Essa sua fácil manutenção e possibilidade de ampliação, foram explicadas ao longo da dissertação devido a utilização do protocolo CAN e da sua arquitetura distribuída. A utilização de um sistema que não interfira na central do comando do veículo, possuindo uma eletrónica e uma programação desenvolvida num módulo separado traz benefícios do ponto de vista que o sistema pode ser instalado em qualquer veículo, até mesmo nos mais antigos, que não possuem centralina, por atuar de forma completamente autónoma.

O tempo de reação humano médio em casos críticos gira em torno de 0,1 a 0,3 segundos. Esse tempo, sendo muito maior que o tempo de reação do sistema, mostra através da observação dos gráficos de simulações de tempo de colisão, que em diversos pontos, o sistema evita que o veículo percorra uma longa distância antes durante o tempo de reação no caso de travagem ou em caso de colisão iminente. Pode-se concluir que através da incorporação do sistema em veículos citadinos circulando em uma via retilínea, a distância percorrida após uma travagem se reduz a quase metade da distância percorrida calculada através do tempo de reação humano, outro ponto importante é que visto que o sistema atua com perfeição até uma velocidade de 48,96 km/h (13,6 m/s), que se mostra uma velocidade média utilizada em ambientes citadinos.

Devido às poucas informações encontradas na área de atuação de travões e na difícil reutilização de códigos da linguagem C, tornou-se necessária a programação completa

dos sensores e do módulo de atuação, além do desenvolvimento de folhas de cálculo de simulações para testes do sistema como um todo.

Tendo como objetivo geral deste trabalho a construção de um protótipo de controlo de um sistema de travagem automóvel, a metodologia utilizada para realização do mesmo foi de grande valia para a fundamentação teórica e prática adquirida durante este estudo, de modo a alcançar esse mesmo objetivo.

Desta forma, pode-se concluir que, a realização desse trabalho irá permitir a construção de novos sistemas de travagem automóveis de baixo custo se comparada aos sistemas utilizados atualmente pelos veículos automóveis e de fácil manutenção, bem como a criação de outros sistemas de auxílio ao condutor, devido à flexibilidade adquirida pelo sistema através do protocolo de comunicação utilizado, além de se tornar um bom meio de pesquisa para outros estudos que possam vir a surgir nessa área de conhecimento.

5.1. Recomendação para Trabalhos Futuros

Como modo de extensão desse trabalho sugere-se a implementação do protótipo desenvolvido no texto com a adição de novos módulos ao sistema original, como: (i) Módulo de inclinação, e (ii) módulo de localização (GPS), para que desta forma o sistema original trabalhe em conjunto com os outros sistemas para melhor, atender às condições de trabalho real nos automóveis.

Outro meio de extensão deste trabalho é a utilização de novos sensores com maior autonomia e capacidades diferenciadas, de modo a que, o sistema, como um todo, possa trabalhar em velocidades superiores e possa ser utilizado em estradas de altas velocidades evitando e reduzindo o número de acidentes graves. Por fim, pode-se também inserir no protótipo outros dois sensores na parte lateral do automóvel, apontados para direções opostas que darão informações importantes em situações de ultrapassagem de obstáculos e veículos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arruda, T. A. Rede de Instrumentação para Aplicação em Controlo Embarcado. 2009. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).
- Ataíde, F. H.; Santos, M. M.; Vasques, F. O Impacto da Comunicação em Redes CAN e TTP/C Suportando Sistemas Automotivos Steer-by-Wire. 2005. Universidade Federal de Uberlândia (UFU).
- Audi. Rede de Comunicação Audi. 2011. Disponível em: <http://www.audi.com/com/brand/en/models/a3/a3_sportback.html>. Acesso em: 16 ago. 2011.
- Bosch, R. Manual da tecnologia automotiva. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. 25ª edição.
- Bosch. Segurança preditiva. 2011. Disponível em: <http://www.bosch.com.br/content/language1/html/734_2127.htm>. Acesso em: 22 nov. 2011.
- Canale, Antonio Carlos. Automobilística Dinâmica Desempenho. São Paulo: Érica, 1989. 1ª edição.
- Cetinkunt, S. Mecatrônica. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 1ª edição.
- Cia. Taxa de Transmissão & Barramento. 2011. Disponível em: <<http://www.cancia>>.
- Contran. Conselho Nacional de Trânsito. 2011. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/publicacoes/publicacao.asp>>. Acesso em: 25 set. 2011.
- Cunningham, W. Nissan's little robot car: Quick like a bee. Agosto de 2014]; Disponível em: http://reviews.cnet.com/8301-13746_7-10054104-48.html.
- Ebay. Sensor Ultrassônico HC-SR04. 2011. Disponível em: <<http://www.ebay.com/itm/Arduino-Ultrasonic-Module-HC-SR04-Distance-Sensor-/260798418552?trksid=p4340.m185&trkparms=algo%3DSIC.NPJS%26its%3DI%26itu%3DUA%26otn%3D5%26pmod%3D280693181997%26ps%3D63>>. Acesso em: 22 nov. 2011.
- Ensr, Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária. Março, 2009; Disponível em: <http://www.zonas.pt/default.aspx?Page=2545&articleType=ArticleView&articleId=506>
- Farnell. Transceiver MCP2551. 2011. Disponível em: <http://www.farnellnewark.com.br/citransceptor255120pdipproduct_12922404543536.aspx>. Acesso em: 22 nov. 2011.
- Fenabreve. Federação Nacional dos Distribuidores de Veículos Automotores. 2011. Disponível em: <<http://www.fenabreve.com.br/principal/home/?sistema=conteudosIconteudo&idconteudo=2835#conteudo>>. Acesso em: 10 ago. 2011.
- Ford Advances Crash Avoidance Technology. Agosto de 2014]; Disponível em: <http://www.gpsworld.com/transportation/road/news/ford-advances-crash-avoidance-technology-10332>.

- Guimarães, A. de A. Eletrônica Embarcada Automotiva. São Paulo: Érica, 2010. 1ª edição.
- Guimarães, A. de A. O Protocolo CAN Bus nas Aplicações Off-Road: Uma Análise Comparativa entre os Padrões Existentes. 2001. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Escola de Engenharia.
- Guimarães, A. de A; Saraiva, A. M. O Protocolo CAN: Entendendo e Implementando uma Rede de Comunicação Serial de Dados baseada no Barramento Controller Area Network. 2002. Universidade de São Paulo (USP), Society of Automotive Engineers (SAE).
- Hubert, M. K. O protocolo CAN como solução para aplicações distribuídas, baseadas em objetos entre PCs e micro-controladores. 2001. Universidade Federal de Pelotas (UFPel).
- Kawaguchi, H. Comparação da análise de conforto de travagem subjetiva x objetiva de um veículo de passeio. 2005. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI/USP).
- Layton, J. What measures are in place to safeguard against mid-air collisions? Agosto de 2014]; Disponível em: <http://science.howstuffworks.com/transport/flight/modern/mac.htm>.
- Martins, A. S. oes; ANDRADE, D. Cinturão de Ultra-som para o Robô OMNI. 2005. Universidade de Brasília (UnB).
- Matthew'sVolvoSite - Volvo S80. Agosto de 2014]; Disponível em: <http://www.matthewsvolvo.com/volvo-cars-s80/>.
- New Collision Warning with Auto Brake helps prevent rear-end collisions. Agosto de 2014]; Disponível em: http://www.volvoclub.org.uk/press/releases/2007/collision_warning.shtml.
- Nissan EPORO Robot Car "Goes to School" on Collision-free Driving by Mimicking Fish Behavior. Agosto de 2014]; Disponível em: http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2009/_STORY/091001-01-e.html.org/index.php?id=can. Acesso em: 22 nov. 2011. para aplicação em eletrônica embarcada. 2009. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP).
- Sá, J. da S.; Barros, P. R.; Neto, J. S. da R. Implementação e Análise de um Rede CAN para controlo de um Sistema Distribuído. 2005. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Departamento de Engenharia Elétrica.
- Samsung Portugal. Agosto de 2014]; Disponível em: <http://www.samsung.com/pt/>.
- Sebbe, R. D. Redes Industriais sob a tecnologia CAN DEVICENET, CANOPEN e SDS. 2005. Centro Universitário do Leste de Minas Gerais (UNILESTE-MG).
- Silva, V. L. C. Estudo e Elaboração de uma rede de Controlo baseada no protocolo CAN
- Sousa, R. V. de. Can (Controller Area Network): Uma abordagem para Automação e Controlo na área Agrícola. 2002. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP).
- Thomazini, D.; Albuquerque, P. U. B. Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações. São Paulo: Érica, 2009. 6ª edição.

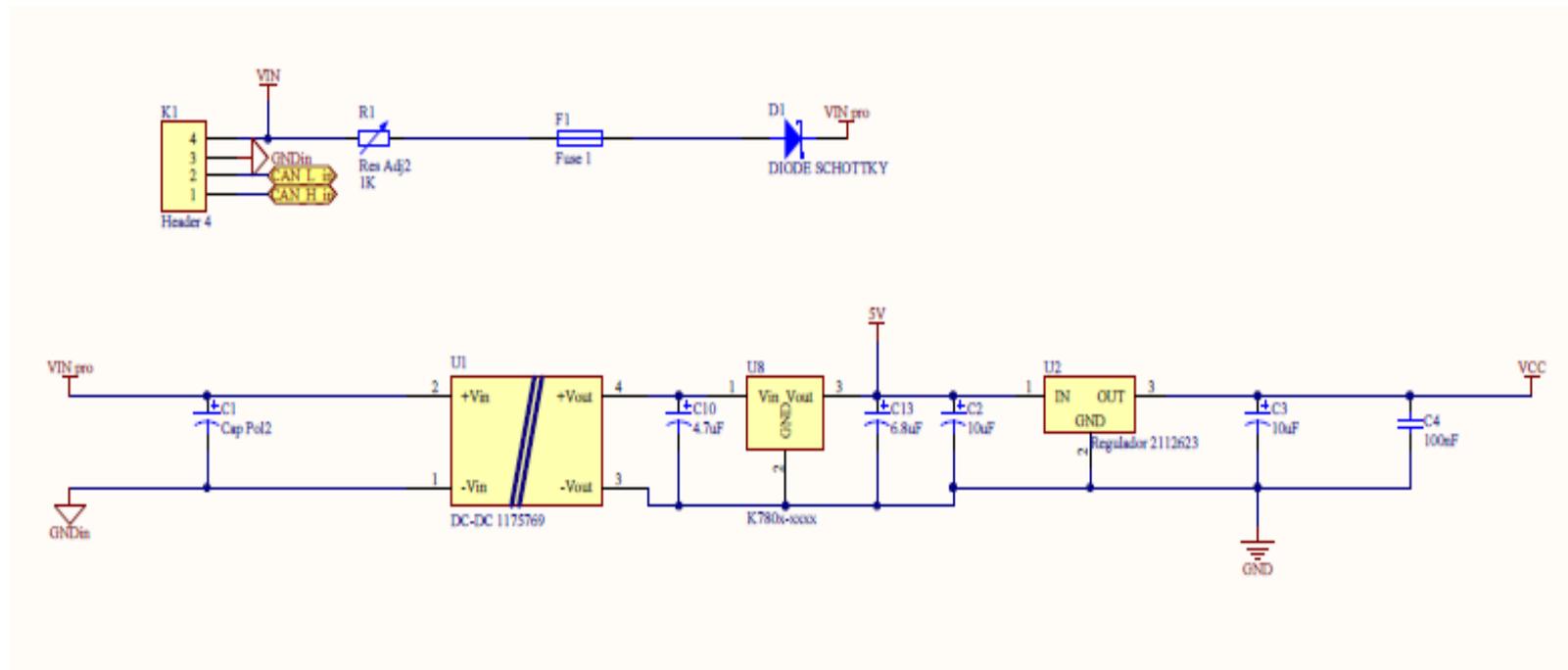
Transporte, D. N. de Infraestrutura de. Estatística de Acidentes 2011. 2011. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/estatisticas-de-acidentes>>. Acesso em: 22 nov. 2011.

Volvo. City Safety. 2006. Disponível em: <<http://asp11.volvo.com.br/CTPVST/frmVisualizaPadrao.aspx>?Acesso em: 22 nov. 2011.

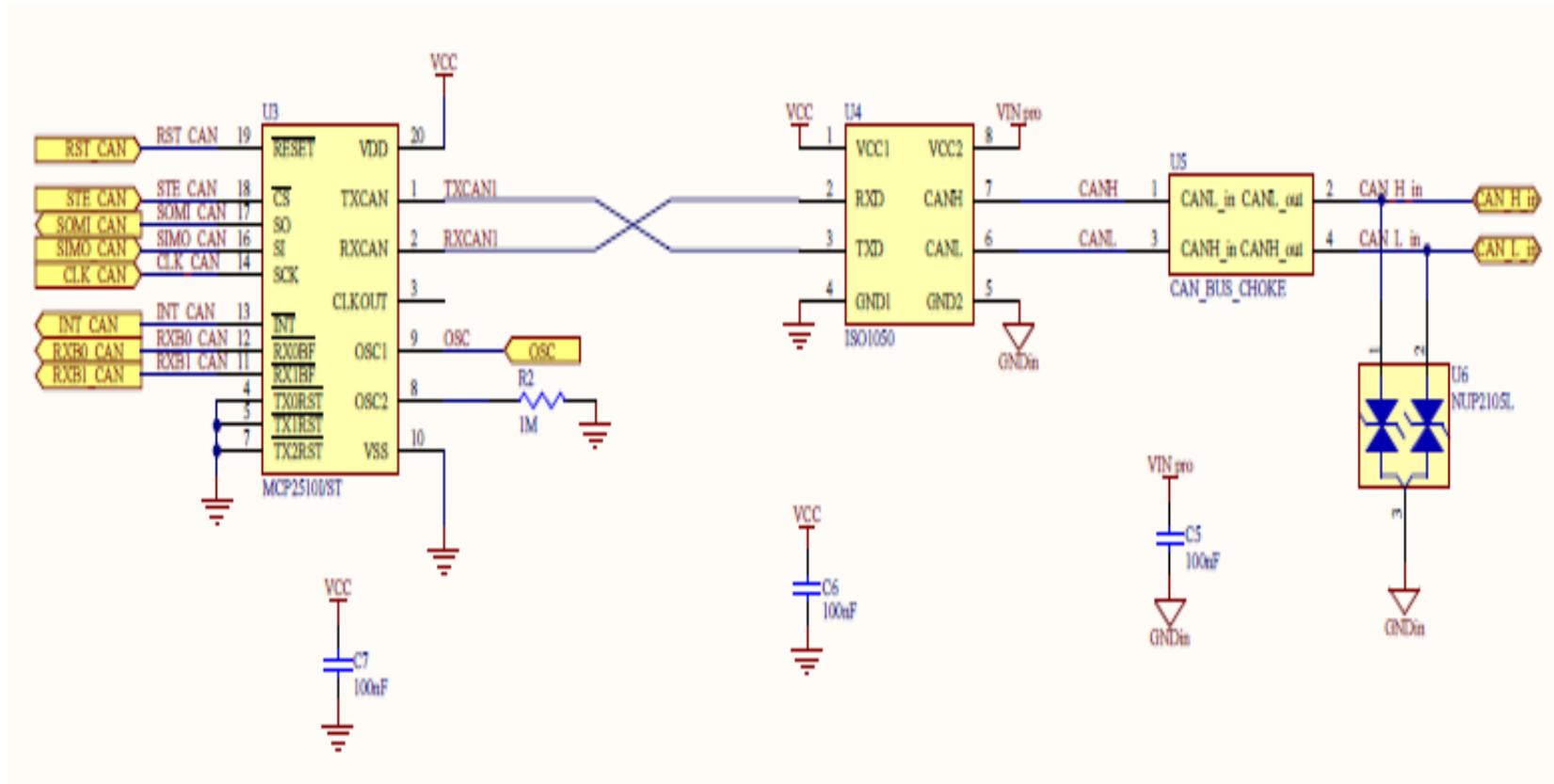
Widmer, J. A. Análise Teórica da Eficiência de Travagem de algumas configurações de veículos unitários e combinações de veículos rodoviários de carga brasileiros. 2002. Congresso SAE Brasil.

7. ANEXO A

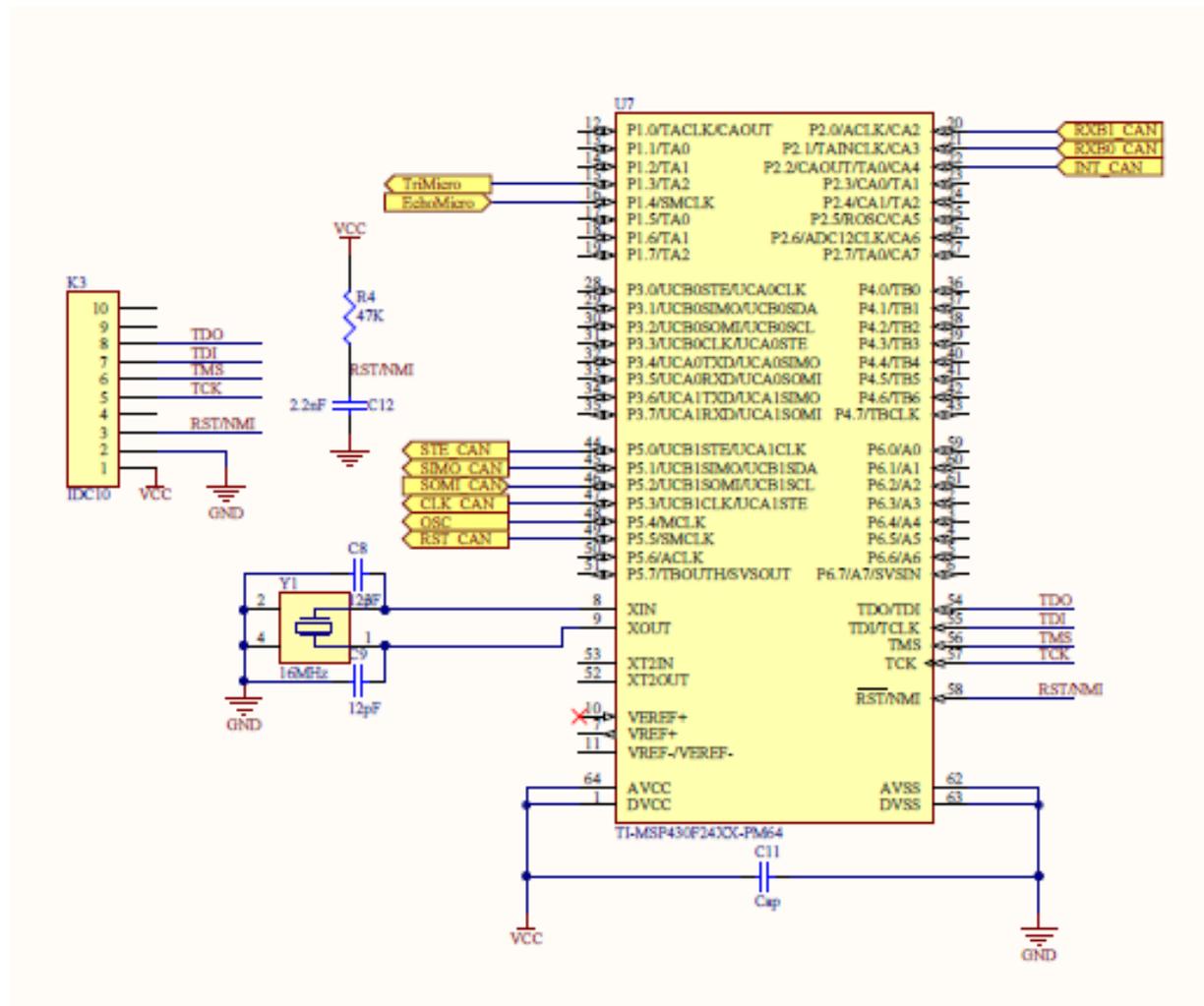
Esquemático Elétrico – Alimentação Módulo do Ultra-som



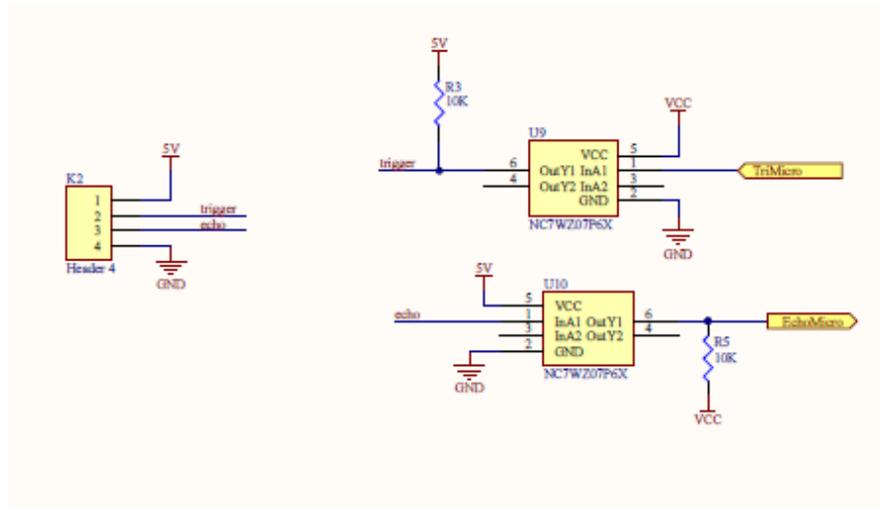
Esquemático Elétrico – Controlador CAN Módulo do Ultra-som



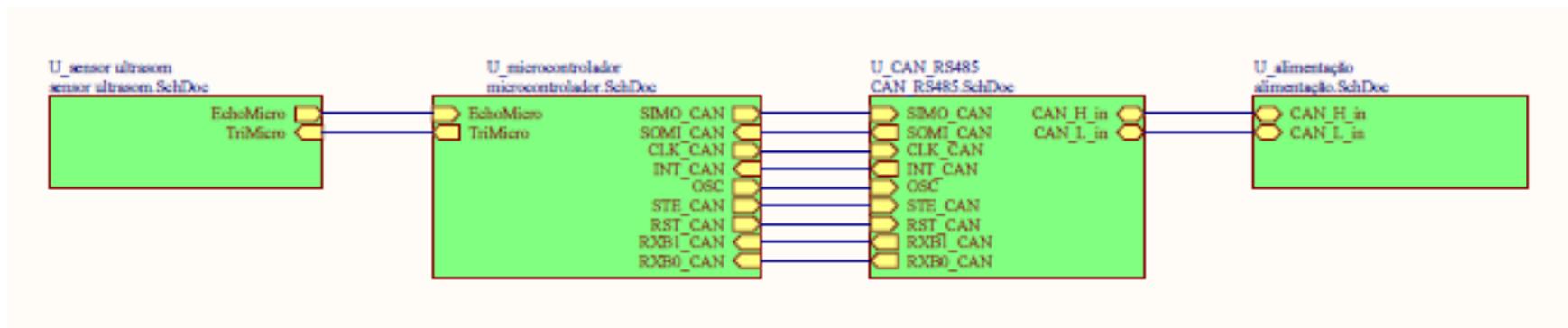
Esquemático Elétrico – Micro-Controlador Módulo do Ultra-som



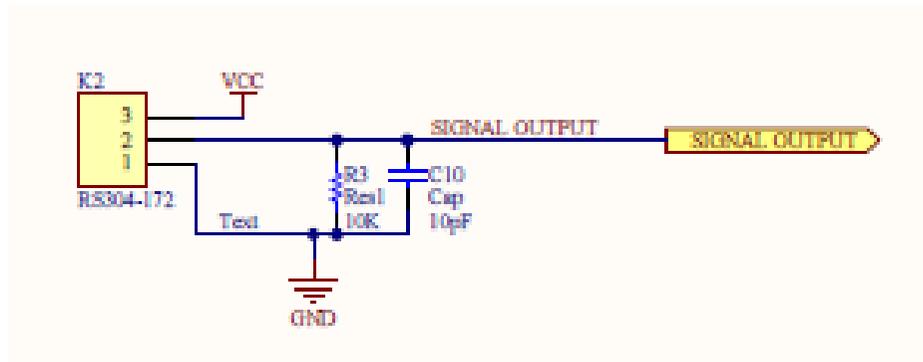
Esquemático Elétrico – Sensor Ultra-som



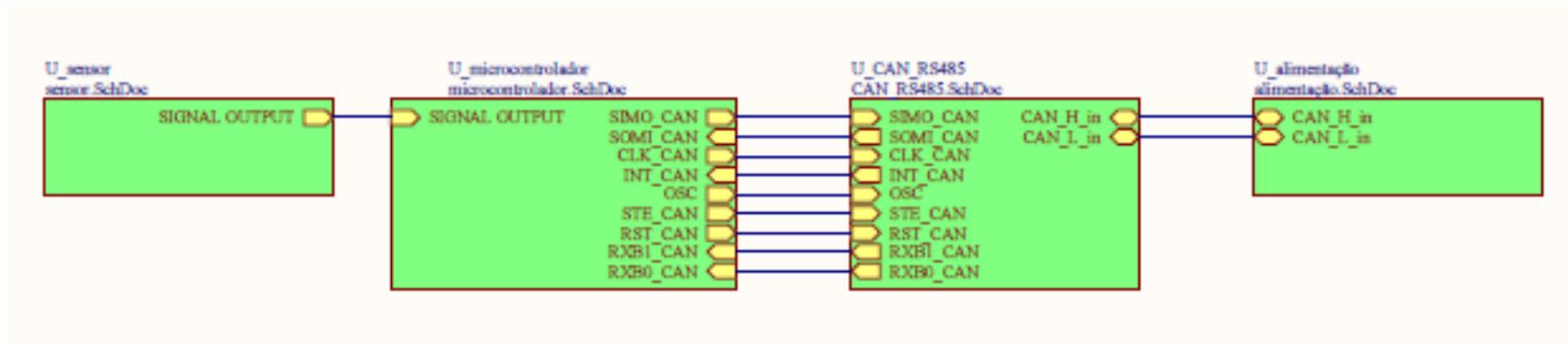
Esquemático de Ligação do Módulo Ultra-som



Esquemático Elétrico – Sensor de Velocidade



Esquemático de Ligação do Módulo de Velocidade



8. ANEXO B

Lista de Componentes e Custo.

Tipo	Componente	Fabricante	Fornecedor	Código	Quant.	Preço	Total
Capacitor	TAJA685K010RNJ	AVX	Farnell	2283842	6	0,158	0,948
Capacitor	MC0805B104K500CT	MULTICOMP	Farnell	1759265	42	0,013	0,546
Polarized Capacitor	T491A105K035AT	Kemet	Mouser	80-T491A105K035	6	0,32	1,92
Polarized Capacitor	B45196H2106K109	KEMET	Farnell	9751041	6	0,23	1,38
Capacitor	MC0805B222K101CT	MULTICOMP	Farnell	1759290	6	0,02	0,12
Capacitor	MC0805N120J500CT	MULTICOMP	Farnell	1759192	12	0,021	0,252
Schottky Diode	PMEG3050EP	NXP	Farnell	1829197	6	0,52	3,12
Fuse	0154.125DR	LITTELFUSE	Farnell	9943609	6	2,14	12,84
Header, 10-Pin	M50-3600542.	HARWIN	Farnell	1022310	6	1,04	6,24
Header, 4-Pin	M20-7820446	HARWIN	Farnell	7991932	3	1,49	4,47
Header, 3-Pin	CTB3051/3BK	CAMDENBOSS	Farnell	3882627	6	0,61	3,66
OPTOCOUPLER, 3KV, TRANSISTOR O/P	ACPL-217-500E	AVAGO TECHNOLOGIES	Farnell	1602614	8	0,42	3,36
N-Channel MOSFET	IPD135N03L G	INFINEON	Farnell	1775582	8	0,294	2,352
Variable Resistor	NANOSMDC016F	TE CONNECTIVITY / RAYCHEM	Farnell	1345938	6	0,336	2,016
Resistências	CRGH0805J1M0	TE CONNECTIVITY	Farnell	2331836	6	0,014	0,084
Resistências	CRGH0805J47K	TE CONNECTIVITY	Farnell	2331818	6	0,014	0,084
Resistor, Resistências	CRGH0805J10K	TE CONNECTIVITY	Farnell	2331808	8	0,014	0,112
Resistências	MCPWR05FTEW2001	MULTICOMP	Farnell	1887288	8	0,018	0,144
Resistências	CRGH0805J22K	TE CONNECTIVITY	Farnell	2331814	8	0,014	0,112
POSITIVE VOLTAGE REGULATORS	LF50ABDT-TR	STMICROELECTRONICS	Farnell	2296041	6	1,02	6,12
DC/DC 5V to 5V, ISOLATED & REGULATED SINGLE OUTPUT, 1W	IE0505S	XP POWER	Farnell	8727694	6	5,15	30,9
LDO 5V to 3v3; Voltage Regulator.	MCP1701AT-3302I/CB	MICROCHIP	Farnell	1605554	6	0,675	4,05
Stand-Alone CAN Controller with SPI Interface (TSSOP20)	MCP2515-I/ST	MICROCHIP	Farnell	1196851	6	2,05	12,3
IC, CAN TRANSCEIVER, ISOLATED, 5V	ISO1050DUBR	TEXAS INSTRUMENTS	Farnell	1755712	6	5,05	30,3
INDUCTOR, 51UH, 30%, 100MA	B82799S513N1	EPCOS	Farnell	3877772	6	5,41	32,46
MCU, 16BIT, MSP430, 16MHZ, LQFP-64	MSP430F249TPM	TEXAS INSTRUMENTS	Farnell	1649448	6	6,86	41,16
Dual Buffer (Open-Drain Outputs)	NC7WZ07P6X	FAIRCHILD SEMICONDUCTOR	Farnell	1470998	6	0,142	0,852
Crystal	C3E-16.000-12-3030-X	AKER	Farnell	1538855	6	2,81	16,86
							218,762

9. ANEXO C

Protocolos Classe A [Guimarães, 2010].

	SINEBUS	I ² C	SAE J1708	CCD	ACP	BEAN	LIN
Instituição diretamente relacionada	Delco Electronics	Philips	SAE/TCM	Chrysler	Ford	Toyota	Motorola
Aplicação principal	Sistemas de áudio	Comunicação entre displays e rádios	Controle e diagnóstico	Controle e diagnóstico	Sistemas de áudio	Controle e diagnóstico	Sensores e atuadores inteligentes
Tipo de barramento	Fio único	Par trançado	Par trançado	Fio único	Par trançado	Fio único	Fio único
Codificação dos sinais	SAM	AM	NRZ (Non-Return to Zero)				
Deteção de erros	Não disponível	Bit ACK	Check SUM de 8 bits	Check SUM de 8 bits	Check SUM de 8 bits	CRC de 8 bits	Check SUM de 8 bits
Quantidade de dados	10 - 18 bits	—	—	5 Bytes	6 - 12 Bytes	1 - 11 Bytes	8 Bytes
Taxa de transmissão	66,6 Kbps - 200 Kbps	1 Kbps - 100 Kbps	9.600 bps	7.812,5 bps	9.600 bps	10 Kbps	20 Kbps
Comprimento máximo do barramento	10 metros	Não especificado	40 metros	—	40 metros	—	40 metros
Quantidade máxima de nós na rede	—	—	20	10	20	20	16

Protocolos Classe B [Guimarães, 2010]

	CAN 2.0 ISO 11898 & ISO 11519-2	CAN 2.0 SAE J1939	J1859 Classe 2	J1850 SCP	J1850 PCI
Instituição diretamente relacionada	SAE & ISO	SAE	GM	Ford	Chrysler
Aplicação principal	Controle e diagnóstico	Controle e diagnóstico	Controle e diagnóstico	Controle e diagnóstico	Controle e diagnóstico
Tipo de barramento	Par trançado	Par trançado	Fio único	Par trançado	Fio único
Codificação dos sinais	NRZ (Non-Return to Zero)	NRZ (Non-Return to Zero)	VPW	PWM	VPW
Deteção de erros	CRC	CRC	CRC	CRC	CRC
Quantidade de dados	0 - 8 Bytes	8 Bytes	0 - 8 Bytes	0 - 8 Bytes	0 - 10 Bytes
Taxa de transmissão	10 Kbps - 1 Mbps	250 Kbps	10,4 Kbps	41,6 Kbps	10,4 Kbps
Comprimento máximo do barramento	40 metros (p/ 1 Mbps)	40 metros (p/ 1 Mbps)	35 metros	35 metros	35 metros
Quantidade máxima de nós na rede	32	32	32	32	32

Protocolos Classe C [Guimarães, 2010]

	CAN 2.0 ISO 11898 & ISO 11519-2	CAN 2.0 SAE J139
Instituição diretamente relacionada	SAE & ISO	SAE
Aplicação principal	Controle e diagnóstico	Controle e diagnóstico
Tipo de barramento	Par trançado	Par trançado
Codificação dos sinais	NRZ (Non-Return to Zero)	NRZ (Non-Return to Zero)
Deteção de erros	CRC	CRC
Quantidade de dados	0 - 8 Bytes	8 Bytes
Taxa de transmissão	10 Kbps - 1 Mbps	250 Kbps
Comprimento máximo do barramento	40 metros (p/ 1 Mbps)	40 metros (p/ 1 Mbps)
Quantidade máxima de nós na rede	32	32