

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL CATALÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO ORGANIZACIONAL

Rômulo Muriel Mesquita de Oliveira

**Desenvolvimento de Sistema de
Segurança Veicular a Baixo Custo
Contra Acidentes por Abertura de
Porta**

Catalão
2015

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **Dissertação** **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação


Nome completo do autor: Rômulo Muriel Mesquita de Oliveira

Título do trabalho: Desenvolvimento de Sistema de Segurança Veicular a Baixo Custo Contra Acidentes por Abertura de Porta

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do (a) autor (a)

Data: 28 / 10 / 2016

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Rômulo Muriel Mesquita de Oliveira

**Desenvolvimento de Sistema de
Segurança Veicular a Baixo Custo
Contra Acidentes por Abertura de
Porta**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional da Universidade Federal de Goiás, Regional Catalão, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Gestão Organizacional.

Área de concentração: Inovação, Desenvolvimento e Tecnologia

Orientador: Marcelo H. Stoppa

Catalão

2015

Trata-se da versão corrigida da dissertação. A versão original se encontra disponível na biblioteca da UFG/Regional Catalão – Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob orientação do Sibi/UFG.

Oliveira, Rômulo Muriel Mesquita de
Desenvolvimento de Sistema de Segurança Veicular a Baixo Custo
Contra Acidentes por Abertura de Porta [manuscrito] / Rômulo Muriel
Mesquita de Oliveira. - 2015.
XCV, 95 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo H. Stoppa.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Regional
Catalão, Catalão, Programa de Pós-Graduação em Gestão
Organizacional (profissional), Catalão, 2015.
Bibliografia. Anexos.
Inclui lista de figuras, lista de tabelas.

1. Assistência ao motorista. 2. Sensor ultrassônico. 3. Segurança
veicular. 4. Acidente por abertura de porta. I. Stoppa, Marcelo H.,
orient. II. Título.



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL CATALÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO ORGANIZACIONAL**

ATA DE SESSÃO PÚBLICA DE EXAME DE DEFESA DO PROJETO DO MESTRADO PROFISSIONAL NO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM GESTÃO ORGANIZACIONAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS.

No dia vinte (20) de fevereiro de 2015, às 09:00 horas, no Mini Auditório, Centro Integral da Pesquisa, Regional Catalão da Universidade Federal de Goiás, **RÔMULO MURIEL MESQUITA DE OLIVEIRA**, discente do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Gestão Organizacional (52001016061P6) da Universidade Federal de Goiás, expôs, em Sessão Pública o projeto de pesquisa intitulado **DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE SEGURANÇA VEICULAR A BAIXO CUSTO CONTRA ACIDENTES POR ABERTURA DE PORTA**, para Comissão de Avaliação composta pelos (as) docentes: **Dr. Marcelo Henrique Stoppa** (Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional/ Universidade Federal de Goiás, Presidente da Comissão), **Dr. Tobias Anderson Guimarães** (Universidade Federal do Triângulo Mineiro/UFTM, Membro Convidado Externo) e **Dr. José Waldo Martinez Espinosa** (Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional/ Universidade Federal de Goiás /Membro Convidado Interno). O trabalho da Comissão de Avaliação foi conduzido pelo docente Presidente que, inicialmente, após apresentar os docentes integrantes da Comissão, concedeu 30 minutos o discente candidato para que esta expusesse o trabalho. Após a exposição, o docente Presidente concedeu a palavra a cada membro convidado da Comissão para que estes arguissem o discente candidato. Após o encerramento das arguições, a Comissão de Avaliação do trabalho de defesa avaliou o projeto e o desempenho do (a) discente candidato (a) na exposição, considerando a trajetória deste no curso de mestrado profissional. Como resultado da avaliação, a Comissão de Avaliação deliberou pela:

Aprovação do trabalho de defesa

A Comissão de Avaliação declara o (a) discente candidato (a) **APROVADO NO EXAME DE DEFESA PÚBLICA**. A Comissão de Avaliação pode sugerir alterações de forma e/ou conteúdo consideradas aceitáveis, as correções, quando identificadas, devem ser realizadas no prazo máximo de 30 dias contados a partir do recebimento da Ata de Defesa. As alterações deverão ser indicadas no Anexo ao presente documento e/ou podem constar na versão lida pelo membro da Comissão de Avaliação para a sessão de defesa do trabalho de dissertação. Neste caso, a versão lida corrigida deverá ser entregue ao (à) discente candidato (a) no final da sessão

Reprovação do trabalho de defesa

De acordo com a Resolução – CEPEC N° 1109 é previsto a reprovação quando a Comissão de Avaliação determina que o trabalho apresentado não satisfaz as condições mínimas para ser considerado projeto de mestrado válido, em condições de se desenvolver um trabalho de conclusão de mestrado.

A Comissão de Avaliação:

Dr. Marcelo Henrique Stoppa
Membro Presidente
Universidade Federal de Goiás

Dr. Tobias Anderson Guimarães
Membro Convidado Externo
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Dr. José Waldo Martinez Espinosa
Membro Convidado Interno
Universidade Federal de Goiás

Rômulo Muriel Mesquita de Oliveira
Discente Candidato (a)
Matricula: 2012-1457

Para uso da Coordenação/Secretaria do PPGGO	
	Prof. Dr. André Vasconcelos da Silva Coordenador do Mestrado Profissional no Programa de Pós-Graduação <i>Stricto Sensu</i> em Gestão Organizacional Universidade Federal de Goiás Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional - CAC/UFG
	Prof. Dr. Vagner Rosalem Vice-Coordenador do Mestrado Profissional no Programa de Pós-Graduação <i>Stricto Sensu</i> em Gestão Organizacional Universidade Federal de Goiás
	Observações:
	Visto Secretaria: EX. Defesa. n° 05/2015
	Catalão, 12/03/2015

RÔMULO MURIEL MESQUITA DE OLIVEIRA

**“DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE SEGURANÇA VEICULAR A
BAIXO CUSTO CONTRA ACIDENTES POR ABERTURA DE PORTA”**

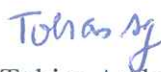
Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Gestão Organizacional, da Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Gestão Organizacional, área de concentração: Gestão Organizacional.

Aprovado em 20 de fevereiro de 2015.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Marcelo Henrique Stoppa
Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão



Prof. Dr. Tobias Anderson Guimarães
Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão



Prof. Dr. José Waldo Martínez Espinosa
Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão

Dedico este trabalho a todos os meus familiares, amigos e colegas. Em especial à minha mãe, mulher espetacular, ao meu pai, homem de caráter, a minha esposa querida, à minha irmã, ao meu cunhado e ao meu amado sobrinho! Vocês são importantes pra mim. Por fim, e não menos importante, eu dedico este trabalho ao Senhor Deus, como os vinte e quatro anciãos, segundo a Bíblia, entregam suas coroas ao Senhor, eu também confio esta conquista a Ele, Rei dos reis!

Agradecimentos

Louvo ao Deus Eterno, na pessoa do Pai, Filho e Espírito Santo, pela graça e oportunidades a mim concedidas. “Que é o homem para que dele Te lembres”? (Sl 8:4).

Agradeço à minha amada família, por todo o apoio e compreensão. À minha esposa Luana, pelo suporte. Ao meu pai, Deoclécio, pelo auxílio em todos os momentos. A minha mãe, por sempre abrir mão de tudo para me ajudar. A minha irmã, Ingrid, pela amizade, ao meu cunhado George, pelo companheirismo. Ao meu sobrinho Pedro, pela alegria que me traz. Aos meus avós e também à toda a família da Luana. Um forte abraço a vocês! Amo a cada um.

A Universidade Federal de Goiás, bem como todos os órgãos que possibilitaram o meu ingresso e conclusão deste mestrado, um sonho para mim.

Ao meu orientador Marcelo H. Stoppa, pelo acompanhamento, diretrizes e confiança. Não me esquecendo do companheirismo teu e da amizade de sua bela família. Obrigado!

Ao meu amigo Leandro Souza, pelo auxílio, conhecimento e instrução. Sua família já faz parte da minha.

A todos os mestrandos da primeira turma e companheiros do laboratório, as opiniões de vocês sempre ajudaram.

Aos meus colegas de trabalho, em especial ao meu supervisor e gerente, vocês tornaram esse sonho possível. Obrigado!

E por fim, a minha igreja, bem como a todos os meus líderes, pelo apoio e compreensão durante essa jornada.

Fica aqui o meu sincero agradecimento!

Que Deus vos abençoe.

Resumo

Oliveira, Rômulo Muriel Mesquita de **Desenvolvimento de Sistema de Segurança Veicular a Baixo Custo Contra Acidentes por Abertura de Porta.** 95 p. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional, Universidade Federal de Goiás, Regional Catalão, 2015.

A elevação do número de acidentes em estradas e rodovias ao redor do mundo vem causando preocupação em muitos órgãos governamentais. Em função disso, ações vêm sendo propostas para erradicação dessa realidade, que tira a vida de milhões anualmente. Dentro os vários tipos de acidentes que ocorrem no trânsito, um muito específico vem ganhando espaço na mídia, aquele envolvendo a porta de um veículo, aberta indevidamente, causando colisão com um ciclista, motociclista ou mesmo outro veículo. A legislação determina ser responsável pelo acidente àquele que abriu a porta sem tomar as devidas precauções, no entanto, devido a fatores físicos e emocionais, que perturbam cada dia mais a sociedade, deixar vidas no trânsito sob responsabilidade de terceiros não é uma escolha prudente. Inúmeras tecnologias assistivas, que auxiliam na tomada de decisão ou mesmo que contribuem para segurança no trânsito, vêm sendo apresentadas ao mercado automobilístico, as quais, uma vez inclusa nos veículos, pouparia a vida de milhares. Nesse contexto, este trabalho apresenta uma proposta de tecnologia que, por meio de sensor ultrassônico de baixo custo, detecta possibilidade de colisão na lateral do veículo devido à abertura da porta e emite alerta ao condutor, de forma que este não abra a porta durante o instante de risco. Para tanto, foi necessário desenvolver um sistema de mapeamento do campo de atuação do sensor, de modo que fosse possível determinar o mais adequado para o desenvolvimento do sistema. Além disso, foi projetado e construído um “*case*” para acomodação dos periféricos do sistema, desenvolvido o software de controle do sistema e posteriormente foi analisado o posicionamento do sistema no veículo e aplicação de testes experimentais

para avaliação funcional do ADS (Avoiding Doored System), assim nomeado o sistema que evita colisões por abertura da porta.

Palavras-chave: Assistência ao Motorista, Sensor Ultrassônico, Segurança Veicular, Acidente por Abertura de Porta.

Abstract

Oliveira, Rômulo Muriel Mesquita de **Development of Low Cost Vehicle Security System Against Doored Injuries**. 95 p. Master Thesis – Organizational Management Post-Graduate Program, Federal University of Goiás, Regional Catalão, 2015.

The increasing number of accidents on roads and highways around the world is causing concern in many government agencies. Because of that, actions have been proposed to eradicate this reality, which claims the lives of millions annually. Within the different types of traffic accidents occurring, one specific has gained space in the media, which involves the door of a vehicle, improperly opened, causing collision with a cyclist, motorcyclist or other vehicle. The law states to be responsible for the accident the one who opened the door without taking proper precautions, however, due to physical and emotional factors that disturb each day more the society, lives in traffic can't be under the responsibility of a person. Many assistive technologies that helps in decision making or even contributing to road safety, have been submitted to the automotive market, which once included in vehicles would save the lives of thousands. Aware of this, this paper proposes a technology that, through low cost ultrasonic sensor detects possibility of collision on the side of the vehicle and sends alerts to the driver so he or she does not open the door during the moment of risk. For development of this security system was necessary to define which ultrasonic sensor to use, to prepare the case for the hardware accommodation, to build the computer program, to analyze the positioning of the system in the vehicle and to execute experimental tests to validate the ADS (Avoiding Doored System), name given to the collision avoidance system.

Keywords: Driver Assistance, Ultrasonic Sensor, Vehicle Safety, Doored.

Lista de ilustrações

Figura 1	Logo referente à década de ação pelo trânsito seguro - Fonte: ONU	20
Figura 2	Número de mortes em acidentes de trânsito no Brasil (em milhares) - Fonte: Waiselfisz (2013)	21
Figura 3	Evolução de mortes em acidentes de trânsito por meio de transporte - Fonte: Waiselfisz (2013)	21
Figura 4	Evolução da frota brasileira de veículos por vítimas fatais - Fonte: Waiselfisz, 2013	25
Figura 5	Estatística de ciclistas feridos por abertura de portas em vias britâ- nicas - Fonte: Daily Mail (adaptado pelo autor)	26
Figura 6	Ciclovia convencional para separar ciclistas de motoristas - Fonte: Eatough (2014)	34
Figura 7	<i>Door Zone</i> (1500 milímetros)	35
Figura 8	Exemplo de ciclovia onde a porta invade o espaço do ciclista - Fonte: adaptado pelo autor	35
Figura 9	Característica do campo horizontal de atuação de um sensor Polaroid - Fonte: Majchrzak <i>et al.</i> , 2009	43
Figura 10	Sensores utilizados (a) US-100, (b) HC-SR04 e (c) US-020	45
Figura 11	Estrutura do sistema de mapeamento de sensores	46
Figura 12	Robô LEGO [©] usado no deslocamento do objeto	46
Figura 13	Fluxograma de movimentação do objeto, executada pelo robô	48
Figura 14	Diagrama dos recursos utilizados para mapeamento	49
Figura 15	Estimativa do campo de atuação 3D do sensor US-100 (em cm)	51
Figura 16	Vista superior do campo de atuação do sensor US-100 (em cm)	52
Figura 17	Vista lateral do campo de atuação do sensor US-100 (em cm)	52
Figura 18	Vista frontal do campo de atuação do sensor US-100 (em cm)	53
Figura 19	Estimativa do campo de atuação 3D do sensor HC-SR04 (em cm)	53

Figura 20	Vista superior do campo de atuação do sensor HC-SR04 (em cm) . . .	54
Figura 21	Vista lateral do campo de atuação do sensor HC-SR04 (em cm) . . .	55
Figura 22	Vista frontal do campo de atuação do sensor HC-SR04 (em cm) . . .	55
Figura 23	Estimativa do campo de atuação 3D do sensor US-020 (em cm) . . .	56
Figura 24	Vista superior do campo de atuação do sensor US-020 (em cm) . . .	57
Figura 25	Vista lateral do campo de atuação do sensor US-020 (em cm) . . .	57
Figura 26	Vista frontal do campo de atuação do sensor US-020 (em cm) . . .	58
Figura 27	Diagrama do sistema desenvolvido	63
Figura 28	Esquema elétrico do ADS	64
Figura 29	Fluxograma do funcionamento do sistema ADS	65
Figura 30	Case para acoplamento do sensor: montado e vista explodida . . .	66
Figura 31	Protótipo ADS	67
Figura 32	Área de cobertura do sistema ADS	70
Figura 33	Ângulo de posicionamento do ADS no veículo	71
Figura 34	Veículo estacionado com porta aberta, cobrindo área de risco	72
Figura 35	Veículo instrumentado com o ADS posicionado para os testes	73
Figura 36	Bancada para avaliação dos testes em pista	74
Figura 37	Diagrama do Teste Experimental	75
Figura 38	Escala métrica para determinação da posição do veículo	76
Figura 39	Momento em que o sistema entra em atuação a 8,33 m/s	77
Figura 40	Momento em que o sistema entra em atuação a 11,11 m/s	78
Figura 41	Momento em que o sistema entra em atuação a 13,89 m/s	79
Figura 42	Representação matemática	80

Lista de tabelas

Tabela 1	Resultados obtidos no teste de pista a 8,33 m/s	76
Tabela 2	Resultados obtidos no teste de pista a 11,11 m/s	77
Tabela 3	Resultados obtidos no teste de pista a 13,89 m/s	78

Sumário

1	Introdução	19
1.1	Motivação	19
1.2	Objetivos	23
1.3	Justificativa	24
1.4	Metodologia	26
1.5	Contribuições do Trabalho	27
1.6	Organização do Trabalho	28
2	Interação Homem-Máquina	29
2.1	Interface Visual	29
2.2	Interface Sonora	30
2.3	Tecnologias Recentes	31
2.4	Oportunidade de Melhoria	33
3	Sensoriamento	37
3.1	Sensores	37
3.1.1	Tipos de sensores	38
3.1.2	Identificação do sensor a ser utilizado	40
3.1.3	Ultrassom	41
3.2	Limitações dos Sensores Ultrassônicos	42

4	Método Experimental para Análise do Campo de Atuação do Sensor	43
4.1	Estimativa do campo de atuação do sensor	43
4.1.1	Sensores considerados no experimento	44
4.1.2	Descrição do Método	45
4.2	Resultado da Análise do Campo de Atuação dos Sensores	50
4.2.1	Análise do sensor US-100	50
4.2.2	Análise do sensor HC-SR04	51
4.2.3	Análise do sensor US-020	54
4.3	Definição do sensor	58
5	Sistema de Segurança Veicular ADS	61
5.1	Definições do Sistema	61
5.2	Circuito Elétrico do ADS	62
5.2.1	Programação do Sistema ADS	64
5.2.2	Invólucro para Acondicionamento do Sensor	65
5.3	Custos do Sistema	66
5.4	Recomendações Adicionais para o Sistema	67
6	Avaliação Experimental do ADS em Testes em Pista	69
6.1	Determinação do Posicionamento do Sensor	69
6.1.1	Resultados do Sistema ADS em Pista	71
6.2	Análise Matemática	79
7	Conclusão	85
7.1	Trabalhos Futuros	87
8	Referências	89
	Anexos	93

Introdução

O trabalho em questão apresenta o desenvolvimento de um sistema veicular de assistência ao motorista, que possibilita a redução de colisões laterais em virtude da abertura indevida da porta pelo condutor. O sistema baseia-se na emissão de avisos sonoros e visuais, no momento em que o motorista tenta abrir a porta do veículo, em situações avaliadas pelo sistema como de risco potencial.

No decorrer desta introdução são apresentados os fatores que motivaram o desenvolvimento, bem como os objetivos que o mesmo se propõe a alcançar. Na sequência são discutidos os dados que justificam a elaboração do trabalho, a metodologia utilizada na pesquisa, as contribuições esperadas e a forma como o mesmo está organizado.

1.1 Motivação

De acordo com a campanha da ONU (Organização das Nações Unidas), esta década (2011-2020) é reconhecida como a década da segurança no trânsito¹. Durante esse período, governos de todo o mundo devem se empenhar para adoção de medidas necessárias para prevenção de acidentes em vias. Segundo dados dessa mesma organização, a violência no trânsito retirou a vida de 1,3 milhões de pessoas em 2009, além de ferir outros milhões. A OMS (Organização Mundial de Saúde) também tem exigido que a segurança rodoviária se torne um assunto de saúde pública e que as medidas efetivas para a redução de mortes e feridos sejam tomadas (IKEDA, 2012).

O Brasil se envolveu nessa campanha no início de 2011, passando a desenvolver estudos e projetos que contribuem para a redução de mortes, lesões e acidentes no trânsito². As estatísticas brasileiras, em função da ausência de um sistema seguro de

¹Disponível em: <http://www.onu.org.br/decada-de-acao-pelo-transito-seguro-2011-2020-e-lancada-oficialmente-hoje-11-em-todo-o-mundo/> - Acesso em: outubro de 2013

²Disponível em: http://www.who.int/roadsafety/decade_of_action/launch/bra/en/ - Acesso em: outubro de 2013

dados, apresentam resultados controversos, no entanto, um estudo publicado pelo DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito) e pelo IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) em 2006, aponta que o custo social dos acidentes em rodovias federais e estaduais foi estimado em R\$ 24,6 bilhões. Segundo um estudo semelhante, realizado em 2004, envolvendo também a ANTP (Associação Nacional de Transportes Públicos), estima-se que os custos sociais gastos em função de acidentes de trânsito em aglomerados urbanos chegam R\$ 5,3 milhões. Além disso, para cada morte no trânsito contam-se outros vinte acidentados, os quais são atendidos por meio dos recursos financeiros do setor da saúde, principalmente para atendimentos de urgência, traumatologia, reabilitação e inclusão social³.

De acordo com a OMS, se nenhuma ação mundial for empreendida, o número de mortes em 2020 poderá chegar a 1,9 milhões por ano e 2,4 em 2030 (WAISELFISZ, 2013). Em função disso, países têm se comprometido a perseguir o objetivo proposto pela ONU. A Fig. 1 apresenta a logo adotada como oficial para este propósito, abordando que essa década refere-se à Década de Ação pela Segurança Rodoviária (*Decade of Action for Road Safety*).



Figura 1 – Logo referente à década de ação pelo trânsito seguro - Fonte: ONU

As estatísticas mais recentes, segundo o Mapa da Violência, elaborado por Waiselfisz (2013), mostra que, no Brasil, nos últimos dez anos vêm ocorrendo uma evolução considerável do número de mortes no trânsito, chegando em 2011 a 43 mil vítimas. A Fig. 2 apresenta o número de vítimas fatais em acidentes de trânsito no Brasil, entre 1980 e 2011.

Quando comparado a outros países, principalmente aos de primeiro mundo, a evolução do número de mortes em acidentes de trânsito no Brasil tem se elevado para quase todos os meios de transporte. Conforme Fig. 3, que apresenta um comparativo da evolução dos acidentes entre 2000 e 2011, na maioria dos países desenvolvidos o número de acidentes sofreu redução, em contrapartida, no Brasil, houve acréscimo de

³Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/download/decada/Proposta%20ANTP-CEDATT-Instituto%20de%20Engenharia%20SP.pdf> - Acesso em: novembro de 2013

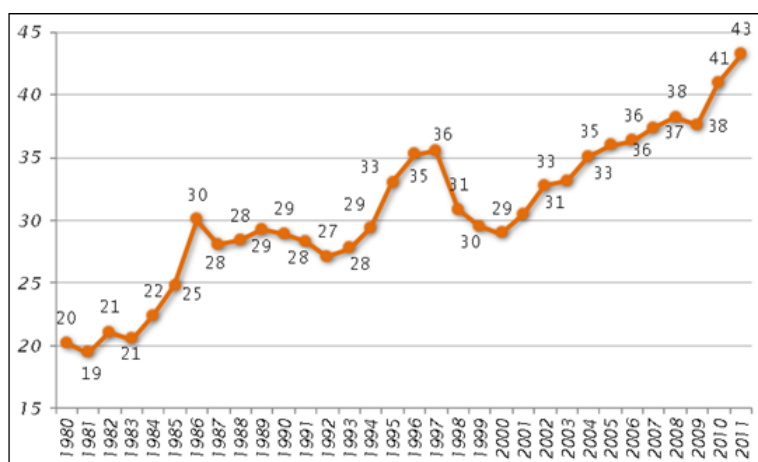


Figura 2 – Número de mortes em acidentes de trânsito no Brasil (em milhares) - Fonte: Waiselfisz (2013)

vítimas fatais. O período em questão aponta para uma elevação de 49% no número de morte em acidentes de trânsito, ao passo que nos demais países citados, os números totais têm sido reduzidos.

País	Bicicleta	Motocicleta	Automóvel	Pedestre	Total
Alemanha	-40%	-25%	-55%	-38%	-47%
Austrália	10%	6%	-34%	-36%	-30%
Áustria	-32%	-46%	-47%	-38%	-46%
Bélgica	-49%	8%	-51%	-22%	-41%
Canadá	25%	12%	-23%	-21%	-23%
Coreia	-14%	-50%	-58%	-46%	-49%
Dinamarca	-48%	-48%	-54%	-67%	-56%
Eslovênia	-46%	-25%	-62%	-65%	-55%
Espanha	-42%	-11%	-70%	-58%	-64%
Estados Unidos	-2%	59%	-42%	-7%	-23%
Suécia	-55%	18%	-60%	-27%	-46%
Suíça	-19%	-34%	-56%	-47%	-46%
Brasil	52%	275%	50%	-13%	49%

Figura 3 – Evolução de mortes em acidentes de trânsito por meio de transporte - Fonte: Waiselfisz (2013)

Os acidentes de trânsito podem ser causados por inúmeros fatores, como defeitos em vias, imprudência dos condutores e/ou pedestres ou até mesmo problemas nos veículos. Estudos brasileiros revelam que 98% dos acidentes são provocados por fatores humanos, sendo que destes, 72% ocorrem por falta de atenção no trânsito (PEREIRA e SOUZA, 2013).

Em virtude destes fatos, a indústria automotiva vem desenvolvendo e implementando funcionalidades que contribuem tanto para a segurança ativa quanto passiva

nos veículos. Os objetivos de ambos os sistemas é zelar pela integridade física dos passageiros, diferenciando-se apenas em função do momento em que cada um entra em atuação.

Entende-se por componentes de segurança ativa, aqueles que, uma vez instalados no veículo, evitam a ocorrência de acidentes. Têm por objetivo impedir que ocorra um incidente no trânsito, como por exemplo os freios ABS (*Anti-lock Braking System*), os quais impedem o travamento das rodas em uma freada brusca, evitando derrapagem. Também são exemplos de sistemas de segurança ativa, o controle de estabilidade e tração, acionamento automático de limpadores de para-brisa, acendimento automático de faróis e sistemas de alertas sonoros, como sensores de estacionamento e buzinas. A segurança ativa pode ser identificada também no trânsito, através de placas, faixas de pedestres, semáforos, proteções entre pistas, semáforos e etc. Todos esses exercem um papel fundamental na segurança, sendo necessário estarem em boas condições de uso (CUNHA e BORGES, 2007; IKEDA, 2012; PEREIRA e SOUZA, 2013).

Quanto à segurança passiva, os componentes que fazem parte dessa classe, são destinados a preservar a vida dos passageiros ou pedestres após o início do acidente, ou seja, são aqueles dispositivos que atuam para reduzir ou evitar lesões nas pessoas que se envolvem em um acidente. Dentre os dispositivos de segurança passiva, os cintos de segurança e o conjunto de *airbags*, são os que mais se destacam quanto a redução de mortes no trânsito. Também são exemplos de dispositivos de segurança passiva, bancos com encosto de cabeça, vidros não estilhaçáveis, carroceria com deformação progressiva, célula de sobrevivência e para-choques (CUNHA e BORGES, 2007; IKEDA, 2012; PEREIRA e SOUZA, 2013).

Ainda quanto à segurança ativa, novos sistemas têm sido desenvolvidos com o intuito de mitigar os incidentes no trânsito. Conhecidos também como sistemas de assistência ao motorista, dispositivos que reconhecem placas, detector de cansaço e identificador de pontos-cego, são itens de segurança ativa que pretendem auxiliar no dia a dia do trânsito.

Cada vez mais, sistemas de assistência ao motorista vêm sendo incorporados a veículos automotores, trazendo consigo a promessa de maior facilidade ao conduzir e elevação da segurança no trânsito (BERTOLDI, 2011). Recentemente, vários sistemas de direção assistida foram apresentados como alternativa para incremento da segurança, entre eles, o veículo autônomo apresentado pela empresa de serviços online e software, Google, que possibilita locomoção mediante comando de voz⁴. Outro que se destaca é o sistema da Volvo, fabricante de automóveis, que é capaz de identificar riscos com

⁴Disponível em: <http://info.abril.com.br/noticias/bitnocarro/2014/04/carro-autonomo-do-google-roda-mais-de-mil-quilometros-e-pode-andar-em-ruas-com-transito-pesado.shtml> - Acesso em: janeiro de 2014

pedestres e tomar o controle do veículo, a fim de executar frenagem antes que algum acidente ocorra (RAMOS, 2013). Um sistema que identifica sinais de cansaço mediante análise da face do motorista e emite sinais de alertas para que este recobre a atenção, também foi proposto pela Denso, fornecedora do mercado automotivo⁵. Sistemas de monitoramento de ponto cego e de auxílio à ultrapassagem, também fazem parte dos sistemas sugeridos para aumento de segurança no trânsito⁶.

O mercado, aliado às legislações vigentes do país tem exigido das montadoras, novos conceitos de veículos, de maior autonomia, inovadores e com melhores sistemas de segurança ativa e passiva. No entanto, os custos têm sido o maior desafio para disseminação dessas tecnologias, as quais, uma vez empregadas, poupariam a vida de milhares de pessoas no trânsito. Para utilização em massa dos sistemas de segurança veicular, um grande desafio a ser vencido refere-se ao custo. De acordo com Mirus *et al.* (2012), para facilitar a utilização desse sistemas, os componentes necessitam atender tanto os requisitos de custos quanto de qualidade.

A fim de contribuir com este cenário, o estudo em questão propõe o desenvolvimento de um sistema de detecção de riscos potenciais, na lateral do veículo, que podem ocorrer em função da abertura indevida da porta, emitindo aviso sonoro e visual ao condutor, evitando que acidentes ocorram. O sistema está baseado na utilização de componentes de baixo custo, como sensores ultrassônicos e Arduino (plataforma de prototipagem eletrônica), que visa alertar o condutor que eventualmente tente abrir a porta do seu veículo de forma distraída, minimizando assim a possibilidade de colisões.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho, de forma geral, refere-se à elaboração e avaliação do projeto de um sistema de segurança veicular ativa, que contribua para a redução de acidentes no trânsito causados por abertura indevida da porta de um veículo.

Fazem parte dos objetivos específicos deste trabalho, desenvolver um sistema que alerte o condutor do veículo, no momento da abertura da porta, sobre eventuais aproximações que podem resultar em acidentes, seja envolvendo pedestres, ciclistas ou outros veículos automotores que trafeguem próximo ao veículo estacionado. Para isso, faz-se necessário analisar os tipos de sensores disponíveis no mercado, identificando aquele que atende melhor a proposta.

Desenvolver um sistema que agregue componentes de baixo custo, não com-

⁵Disponível em: <http://vroom.discoverybrasil.uol.com.br/volvo-desenvolve-tecnologia-que-reconhece-motoristas-cansados/> - Acesso em fevereiro de 2014

⁶Disponível em: <http://www.volkswagen.co.uk/technology/proximity-sensing/side-assist> - Acesso em junho de 2014

prometendo assim sua utilização em massa, também faz parte dos objetivos a serem alcançados pelo trabalho. De acordo com Mirus *et al.* (2012) um dos grandes fatores que limitam a utilização de sistemas de segurança veicular, refere-se ao alto custo incorporado. Dessa forma, busca-se minimizar este problema, propondo um sistema que evite colisões e que ao mesmo tempo seja acessível em termos de custo.

Outro objetivo do projeto está relacionado ao conhecimento do campo de atuação de sensores ultrassônicos de baixo custo. Não se conhece ao certo o alcance destes, tão pouco o campo de atuação, o que limita o seu emprego em situações similares a deste trabalho, onde é necessário o correto posicionamento do sensor. A maioria das especificações técnicas (*datasheets*) que acompanham esses produtos, apresentam uma simples vista superior da área em que as ondas acústicas são capazes de detectar objetos (MAJCHRZAK *et al.*, 2009), no entanto, o campo de atuação não é definido, limitando assim o correto emprego do sensor. Nesse sentido, outro objetivo do trabalho é desenvolver um sistema para mapeamento desse campo de atuação dos sensores ultrassônicos de baixo custo.

Validar o desempenho de sensores ultrassônicos quando utilizados para detecção de objetos em movimento, como veículos no trânsito, também é outro objetivo desta pesquisa. Para o correto funcionamento do sistema, é importante identificar se a relação entre detecção, velocidade, distância do veículo e tempo de resposta ao condutor, atende a problemática apontada.

Uma vez concluídos os objetivos anteriores, será necessário identificar o melhor posicionamento do sensor no veículo, de forma que haja eficiência na detecção de risco de colisão e resposta ao condutor em um prazo satisfatório, contribuindo para que o mesmo redobre sua atenção ao abrir a porta do veículo. Por fim, o último objetivo específico deste trabalho refere-se à definição de procedimento para funcionamento do mesmo, identificando, por exemplo, o momento em que o sistema deve entrar em atuação, o tempo em que permanecerá em funcionamento e a que estará interligado, se ao freio de mão ou a maçaneta interna da porta.

1.3 Justificativa

A frota de veículos brasileiros vem crescendo ano após ano, e com ela, o número de vítimas de acidentes. A Fig. 4 apresenta essa evolução, tanto para veículos automotores, quanto para motocicletas (WAISELFISZ, 2013). Transportes alternativos, como bicicletas também têm aumentado no país, assim como as ciclovias.

Diante desses fatos, é perceptível a necessidade de desenvolvimento de componentes que contribuam para a segurança no trânsito. Neste trabalho, é avaliado um tipo

ANO	Frota Total		Automotores					Motocicletas					Relação taxas
			Frota			Vítimas		Frota			Vítimas		
	milhões	Δ% aa	milhões	% do total	Δ% aa	n	Taxa frota	milhões	% do total	Δ% aa	n	Taxa frota	
2005	42,1	7,2	26,3	62,5	5,5	9.492	36,1	8,2	19,4	14,5	8.089	99,1	2,7
2006	45,4	7,8	27,9	61,4	5,9	9.754	35,0	9,5	20,8	15,8	9.191	97,2	2,8
2007	49,6	9,4	29,9	60,1	7,1	10.218	34,2	11,2	22,5	18,1	10.392	93,1	2,7
2008	54,5	9,8	32,1	58,8	7,4	10.420	32,5	13,1	24,0	17,3	11.471	87,6	2,7
2009	59,4	8,9	34,5	58,2	7,7	10.347	30,0	14,7	24,8	12,3	11.839	80,5	2,7
2010	64,8	9,2	37,2	57,4	7,7	11.405	30,7	16,5	25,5	12,3	13.452	81,5	2,7
2011	70,5	8,8	39,8	56,5	7,1	12.429	31,2	18,4	26,1	11,6	14.666	79,6	2,6
Δ%	189,6		133,5	-19,3		87,5	-19,8	491,1	122,2	16,0	610,1	20,1	

Figura 4 – Evolução da frota brasileira de veículos por vítimas fatais - Fonte: Waiselfisz, 2013

específico de acidente, que ocorre em função da abertura da porta do veículo de forma despercebida ou indevida, ocasionando colisões com outros veículos, motocicletas ou bicicletas, o que internacionalmente é conhecido como *Doored Injuries* (ferimentos por abertura de porta). Para atender a esse trabalho a sigla AAP (acidente por abertura de porta) será utilizada para referenciar acidentes dessa natureza.

Esse tipo de acidente tem tomado maiores proporções nos últimos anos, chamando a atenção da imprensa pelo número de envolvidos. As vítimas que mais sofrem danos físicos são motociclistas e ciclistas. Para esse último grupo, foi criado um termo que especifica o envolvimento em acidentes dessa natureza, conhecido internacionalmente como “*Doored*”, ou seja, uma “portada”. Ao transitar pelas vias, o ciclista é surpreendido por uma porta aberta inesperadamente, que o leva a uma colisão imediata ou a uma tentativa de desvio. Ambos os casos proporcionam riscos ao ciclista, podendo ocasionar ferimentos, envolver outras pessoas e veículos no acidente e até mesmo levá-lo a óbito.

No Brasil, não se tem estatísticas oficiais sobre o número de pessoas que se envolvem em acidentes em função da abertura indevida da porta. No entanto, em países como a Inglaterra já se têm indícios da elevação desses casos, conforme Fig. 5, que mostra a elevação de ciclistas feridos entre o ano de 2009 e 2011. Importante ressaltar que, por ser um tipo de acidente relativamente novo, onde a sociedade não está sensibilizada quanto às ações a serem tomadas após a ocorrência, na maioria das vezes, a polícia não é sequer envolvida, limitando assim os registros das informações.

A cidade de Toronto, no Canadá, possui um site onde ciclistas, vítimas de “*doored*” podem acessar a página e disponibilizar informações quanto ao local, data, número de testemunhas e se existem evidências do acidente, com o objetivo de construir um banco de dados, que tem por finalidade fazer com que a polícia tome medidas

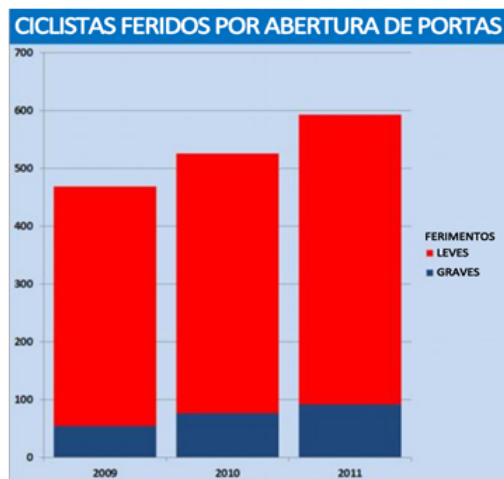


Figura 5 – Estatística de ciclistas feridos por abertura de portas em vias britânicas - Fonte: Daily Mail (adaptado pelo autor)

adequadas para esse tipo de ocorrência⁷.

Apesar de o termo ser empregado especificamente para ciclistas, os acidentes não se limitam somente a esses. Em uma busca pela internet é possível encontrar várias notícias envolvendo motociclistas e automóveis, além de campanhas publicitárias, fotos e vídeos que fazem referência a acidentes dessa natureza.

Segundo o Art. 49 do Código de Trânsito Brasileiro (CTB), fica determinado que o condutor é responsável por não colocar em risco a vida dos usuários da via, ou seja, antes de abrir a porta do veículo, o mesmo deve se certificar de que essa ação não implicará em acidentes. No entanto, uma vida não pode ficar sob a responsabilidade de um condutor, sendo que este, em função de vários fatores, pode despercebidamente abrir a porta do veículo e provocar uma colisão. Sendo assim, este projeto se justifica pelo fato de propor um sistema que auxilie o condutor na tomada de decisões, evitando que o mesmo coloque em risco a vida dos demais usuários da via, no momento da abertura da porta.

Para atender essa demanda, faz-se necessário o desenvolvimento de um sistema capaz de identificar a proximidade de um eventual veículo, no instante anterior à abertura da porta, proporcionando alertas ao motorista, com possibilidade de travar a porta.

1.4 Metodologia

A metodologia utilizada para a elaboração desse trabalho foi baseada em conceitualização bibliográfica, desenvolvimento experimental e validação do sistema por meio da

⁷Disponível em: <http://www.doored.ca/> - Acesso em janeiro de 2014

aplicação de testes. O estudo pretende, através de argumentações e testes empíricos, propor um sistema de segurança veicular, de forma a contribuir com a nova tendência de prevenção de acidentes.

Com o intuito de enquadrar este trabalho (desenvolvimento de um sistema de segurança veicular ativa) conforme os tipos de pesquisa abordados por Gerhardt e Silveira (2009), as seguintes classificações podem ser apontadas:

- Quanto à abordagem, a pesquisa se classifica como quantitativa, pois os resultados podem ser mensurados e se centram na objetividade. Esse tipo de pesquisa recorre à linguagem matemática para descrever relações entre variáveis;
- Quanto à natureza, a pesquisa se classifica como aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicações práticas, dirigidas a soluções de problemas específicos;
- Quanto aos objetivos, o tipo de pesquisa que melhor se enquadra é a exploratória, pois proporciona maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou construir hipóteses;
- Quanto aos procedimentos, a pesquisa se classifica como experimental, pois consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar variáveis que seriam capazes de influenciá-lo e definir as formas de controle.

Este trabalho tem cunho experimental e parte do pressuposto que não existem estudos específicos para atendimento a essa problemática, ao menos não foram detectados nas inúmeras buscas realizadas. Em fim, o método empregado conduzirá o estudo ao desenvolvimento de um sistema que contribua para a segurança no trânsito, o qual espera ser no mínimo eficiente, evitando acidentes em situação de risco próximo à porta do veículo.

1.5 Contribuições do Trabalho

Quanto às contribuições deste trabalho, a principal refere-se ao delineamento dos benefícios obtidos com um sistema de alertas sonoros e visuais, capaz de identificar possíveis ameaças de colisão ao abrir a porta do veículo indevidamente, contribuindo assim para que maior atenção seja dispensada quando o motorista for sair do automóvel.

Além disso, a disponibilidade de informações para a comunidade científica e indústrias do ramo automotivo, também é uma contribuição objetivada pelo trabalho, de forma que este estudo venha a ser referência para futuros desenvolvimentos de sistemas de segurança que utilizam sensores e alertas ao condutor.

Pretende-se também, com os resultados obtidos neste trabalho, fomentar discussões sobre a possibilidade de desenvolvimento de componentes de baixo custo que contribuam para a segurança no trânsito. De acordo com o Instituto Avante Brasil, que realizou um levantamento mundial sobre mortes no trânsito, o Brasil ocupa a quarta posição dos países com maior número de vítimas fatais (GOMES, 2014), sendo que um dos possíveis fatores seja a baixa quantidade de sistemas de segurança ativo e passivo inclusos nos veículos comercializados no país.

1.6 Organização do Trabalho

Em relação à organização do trabalho, o mesmo está dividido em sete capítulos, sendo estes ordenados da seguinte maneira:

- ❑ Capítulo 1 – introdução do trabalho, onde os objetivos, justificativas e metodologia que permeiam o desenvolvimento do mesmo são abordados;
- ❑ Capítulo 2 – discorre sobre a interação entre homem e máquina, neste caso o condutor e o veículo. No decorrer deste capítulo também são abordadas as tecnologias recentes e oportunidade de melhoria existente;
- ❑ Capítulo 3 – no decorrer deste é descrita a definição de sensores, os tipos mais empregados, suas classificações e características. Além disso, aborda os fatores que levaram a decisão por utilizar determinado tipo de sensor;
- ❑ Capítulo 4 – este capítulo descreve sobre o primeiro experimento realizado, que é a determinação do campo de atuação de sensores ultrasônicos, apresentando minuciosamente sua sistemática de execução e resultados;
- ❑ Capítulo 5 – traz especificações do sistema proposto, a fim de contribuir para a segurança veicular no trânsito, bem como o funcionamento do sistema e suas especificações;
- ❑ Capítulo 6 – apresenta a sistemática para aplicação do segundo experimento sobre a efetividade do sistema em testes de pista, bem como os resultados obtidos na sua execução. Ao longo deste é possível verificar o comportamento do sistema desenvolvido em situações reais.
- ❑ Capítulo 7 – conclusão do trabalho, mencionando os resultados alcançados no decorrer da pesquisa e propostas para trabalhos futuros a serem realizados.

Interação Homem-Máquina

A interação entre homem e máquina descreve o modo de operação e comunicação entre o usuário e o sistema, sendo que, atualmente, essa interação é essencial para a segurança, qualidade e eficiência (JOHANNSEN, 2007). Sendo assim, diversas tecnologias vêm sendo implementadas em veículos a cada dia, aperfeiçoando através de sistemas interativos, a dirigibilidade, a segurança e o conforto dos ocupantes. O objetivo dessa interação é a manipulação e controle efetivo da máquina, através de comandos emitidos pelo usuário, de forma que a máquina emita um feedback, com informações que auxiliem na tomada de decisão (BERTOLDI, 2011).

Dentre as várias interfaces disponíveis, o sistema proposto nesse trabalho faz uso de apenas duas, sendo elas, a interface visual e a sonora.

2.1 Interface Visual

De acordo com Bertoldi (2011), a interface visual é uma das formas pela qual o ser humano capta uma grande quantidade de informações externas, o que se tornou um grande aliado da indústria automotiva, passando a inserir em seus veículos painéis e *displays* que interagem com o motorista. Entre eles, o mais comum é o painel de instrumentos, no qual estão inclusos o medidor de velocidade, de quilometragem e de nível de combustível, além de notificações quanto ao superaquecimento do veículo e não utilização do cinto de segurança.

Uma das vantagens em se utilizar a interface visual no interior do veículo, se dá ao fato de esta estar disponível sem prejuízo a atenção do motorista. No entanto, deve-se ter cuidado quanto à forma apropriada para apresentação de informações, de forma que, para cada tipo de notificação, existe um princípio.

Uma das desvantagens da utilização de sinais visuais é que, o motorista, no momento do sinal de alerta, pode não estar com o seu campo visual voltado para o

display, o que impede que ele tome a ação adequada. Outra desvantagem da interface gráfica refere-se à necessidade de atenção no momento da interpretação. Isso pode se tornar um problema devido à complexidade dos dados a serem apresentados, podendo ocasionar equívocos, haja vista a elevada necessidade de percepção visual demandada no ato de dirigir.

2.2 Interface Sonora

Uma das interações mais comuns durante o ato de dirigir, diz respeito aos sons que são gerados interna e externamente ao veículo. É importante que o motorista esteja constantemente atento aos sons emitidos pelo automóvel, tais como sons do motor, que podem indicar necessidade de mudança de marcha, além de setas, alertas e ruídos diversos, que em geral, informam o estado do veículo, recomendando em alguns casos a manutenção, como sons emitidos por pastilhas de freio gastas. Por outro lado, a interface sonora vem sendo muito empregada em veículos, emitindo ao condutor, sons que avisem sobre faróis ligados, baixo nível de combustível, falta do uso do cinto de segurança, excesso de velocidade e outros.

Os dispositivos eletrônicos que emitem sinais sonoros a uma baixa potência são conhecidos como *buzzers*, os quais trabalham com uma baixa frequência e são amplamente aplicados em veículos, como por exemplo, em sistemas de auxílio ao estacionamento (BERTOLDI, 2011).

Ainda de acordo com Bertoldi (2011), a vantagem em se utilizar a interface sonora baseia-se na capacidade que o som tem em produzir no ser humano uma alta percepção de urgência, levando o mesmo a reagir ao sinal sonoro em um curto espaço de tempo. Por isso, o seu emprego em dispositivos de segurança veicular, como avisos de porta aberta e o de atar cintos de segurança já se tornaram comuns. Um dos benefícios do uso da interface sonora, em relação à visual, é que a audição não tem uma região específica de cobertura, como a visão, ou seja, a audição consegue captar sons vindos de quaisquer direções e a visão somente quando é direcionada ao objeto.

A desvantagem da interface sonora se dá em função da variedade de sons que podem ser gerados pelos diversos componentes inclusos em veículos, os quais podem causar confusão ao motorista (BERTOLDI, 2011). Além disso, para emprego de uma interface sonora é importante que se controle avisos não necessários, uma vez que a quantidade de sons emitidos pelo mesmo sistema pode vir a perturbar o condutor, além de reduzir a confiabilidade (MIRUS *et al.*, 2012).

2.3 Tecnologias Recentes

Com o intuito de reduzir o elevado número de acidentes, a indústria automotiva, bem como instituições e centros de pesquisa, vêm trabalhando no desenvolvimento de novos sistemas que cooperam para a segurança do trânsito, fazendo uso de várias interfaces, principalmente as sonoras e visuais. Esses sistemas são também conhecidos como dispositivos assistivos.

A tecnologia assistiva está intrinsecamente relacionada à área da saúde (ROCHA e CASTIGLIONI, 2005), no entanto, nos últimos anos o termo vem sendo utilizado pela indústria automotiva, fazendo referência à dispositivos e funcionalidades que auxiliam no desempenho de determinada atividade, reduzindo incapacidades do cotidiano.

Dessa forma, inúmeros desenvolvimentos foram recém-apresentados como alternativas para facilitar a dirigibilidade. Entre eles, é possível citar:

- ❑ **Sistema FCW (*Foward Collision Warning*)**: sistema que tem por objetivo alertar o condutor, por meio de avisos sonoros e visuais, o momento ideal para execução da frenagem. O mesmo faz uso de dois tipos de sensores, um que utiliza ondas ultrassônicas para detectar a proximidade de veículos que estão a longa distância, e um sensor tipo câmera, que utiliza o método de processamento de imagens para mensurar a distância entre veículos próximos (LIMA, 2011). Esse sistema trabalha unicamente por meio de avisos, alertando o motorista sobre riscos de colisão, porém há equipamentos mais avançados no mercado, como o ACC (*Adaptive Cruise Control*) desenvolvido pela fabricante de veículos Volkswagen, que além de emitir avisos sonoros e visuais, em determinadas situações pode executar a frenagem automaticamente¹.
- ❑ ***Attention Assist***: sistema que tem por objetivo alertar o motorista sobre seu estado de fadiga ou sonolência, contribuindo para que este faça paradas para recuperar o vigor. Esse sistema, desenvolvido pela fabricante Mercedes-Benz, similar ao de Detecção de Fadiga, da Volkswagen, avalia a perda de concentração do condutor, por meio de variáveis como inatividade em relação ao uso de comandos do veículo, duração da viagem, características da direção do motorista, ângulo do volante, aceleração, frenagem e correções da direção, emitindo avisos visuais e sonoros, quando se entende haver riscos, sugerindo uma pausa ao volante². Essa tecnologia também faz uso de sensores para monitoramento das ações do condutor. Outro exemplo similar equipa veículos da marca Lexus, que fazem uso

¹ Disponível em: <http://www.volkswagen.co.uk/technology/adaptive-cruise-control-acc> - Acesso em: julho de 2014

² Disponível em: <http://www.istoedinheiro.com.br/noticias/mercado-digital/20130520/tecnologias-que-ajudam-evitar-acidentes-transito/111138.shtml> - Acesso em: julho de 2014

de sensores biométricos, medindo taxa de pulsação cardíaca e pressão sanguínea do condutor, além de uma câmera que monitora sinais de cansaço na face do motorista³.

- **Lane Keeping Assist:** conhecido também como assistente de manutenção de faixa, esse sistema, desenvolvido pela Mercedes-Benz, utiliza uma câmera no topo do para-brisa do veículo, que detecta as faixas da via, determinando o trajeto correto em que o veículo precisa percorrer. Caso o motorista, por desatenção ou qualquer outro fator, deixe esse trajeto, adentrando em faixas indevidas, o sistema emite avisos para que o percurso seja corrigido. Se não houver reação ao aviso, o sistema pode tomar o controle do veículo, retornando a faixa devida e frear o mesmo. O sistema também é capaz de detectar quando a faixa ao lado está ocupada e havendo riscos de colisão, executar frenagem em apenas um lado do veículo, evitando assim acidentes⁴.

- **Blind Spot Information System:** desenvolvido pela Ford, fabricante de automóveis, esse sistema ajuda na detecção de veículos fora do alcance dos retrovisores, região conhecida também como “ponto cego” (BRIONES, 2012). O funcionamento se dá mediante a utilização de um sensor tipo radar, instalado na lateral traseira do veículo, que ao identificar a entrada de um veículo na região “cega”, emite um sinal luminoso no retrovisor, informando ao condutor sobre a aproximação.

Nesse sentido, uma tecnologia apresentada pela fabricante Nissan, inclui sensores no volante, câmbio ou freio de mão, a fim de averiguar o nível de álcool através da transpiração do motorista. Sensores de odor também são instalados no habitáculo do automóvel, dessa forma, o sistema é capaz de bloquear o veículo, em casos onde o motorista esteja tentando dirigir alcoolizado, contribuindo para redução de acidentes. A proposta sugere também o monitoramento facial do condutor e comportamento operacional do veículo (PEREIRA e SOUZA, 2013). Outras soluções como faróis adaptativos, que reconhecem uma curva através da rotação do volante, direcionando o feixe de luz para a correta posição, e visão noturna, que identifica obstáculos além do alcance dos faróis, também têm sido propostas⁵.

³Disponível em: <http://www.ubergizmo.com/2012/11/the-racing-to-develop-cars-with-biometric-sensors/> - Acesso em: agosto de 2014

⁴Disponível em: <http://www4.mercedes-benz.com/manual-cars/ba/cars/w166/en/overview/fahrssysteme8.html> - Acesso em: julho de 2014

⁵Disponível em: <http://c4solucoes.com.br/tecnologia-e-seguranca-nas-estradas/> - Acesso em: agosto de 2014

Por fim, inúmeras propostas vêm sendo apresentadas para preservação da vida no trânsito, e nesse sentido, diversas oportunidades estão disponíveis, as quais uma vez acatadas poderão poupar a vida de milhares.

2.4 Oportunidade de Melhoria

Ricardo Plogër, diretor do Comitê de Segurança Veicular do Congresso SAE (*Society of Automotive Engineers*) Brasil, ocorrido em 2013, destaca que o avanço da segurança veicular no país, está diretamente ligado à falta de dados estatísticos, que direcionem o desenvolvimento de novas tecnologias⁶. Waiselfisz (2013), também faz a mesma argumentação, mencionando que as fontes disponíveis para consulta nem sempre são confiáveis ou estão integradas.

Percebe-se uma grande dificuldade para levantamento de estatísticas de AAPs. A população de Toronto, no Canadá, vem exigindo que a polícia local comece a registrar esse tipo de acidentes, bem como reportá-los, de forma que as devidas providências possam ser tomadas (ANDREW-GEE, 2013). Além disso, ocorrências desse gênero, nem sempre envolvem ação policial, ficando os próprios envolvidos responsáveis pelo acordo, prejudicando assim as estatísticas. Em Melbourne, na Austrália, o governo anunciou multas mais elevadas para esse tipo de acidente (GOUGH; CAREY, 2014).

O dinamismo do trânsito envolve tanto pedestres, quanto ciclistas, motociclistas e motoristas, de forma que, se torna difícil compartilharem as mesmas vias sem que acidentes ocorram, principalmente em função de fatores como distração, urgência, imprudência, embriaguez ou uso de entorpecentes, estado emocional abalado, falta de prática, ímpetos juvenis, entre outros. Dentre os meios de transporte mais comuns, o ciclismo e motociclismo vem ganhando destaque, sendo indispensável analisar os impactos que AAPs podem gerar nessas categorias. Dessa forma, confiar a vida de terceiros nas mãos de uma pessoa torna-se uma exigência difícil, sendo necessário um sistema que coopere para uma abertura mais segura da porta do veículo.

O ciclismo vem se tornando um importante meio de mobilidade, principalmente em áreas urbanas, sendo assim, o problema quanto à zona de abertura da porta do veículo precisa ser repensado. Várias cidades têm adotado ciclovias para garantir segurança aos ciclistas, no entanto elas não garantem a sua total segurança. De acordo com Eatough (2014), gerente do programa Bike Arlington's, da cidade de Arlington, localizada nos Estados Unidos da América, as ciclofaixas convencionais, pintadas para separar ciclistas e veículos, quando colocadas ao lado de faixas que possibilitam o estacionamento de automóveis, conforme Fig. 6, criam uma região perigosa para os

⁶Disponível em: <http://www.segs.com.br/segs/arquivados/130953-inovacao-e-oportunidades-em-seguranca-veicular-serao-debatidas-no-congresso-sae-brasil.html> - Acesso em: julho de 2014

ciclistas, podendo estes serem golpeados por portas de veículos estacionados. Sendo assim, a sugestão é que, para segurança de ciclistas, deve ser criada uma barreira física entre essas faixas, como por exemplo, um canteiro. Em suma, ciclovias convencionais contribuem com o tráfego e parcialmente quanto a segurança no trânsito, no entanto, não resolvem o problema da imprudência, e além disso, dificilmente serão delimitadas em regiões menos favorecidas. Outro desafio está em instruir a sociedade quanto ao respeito às ciclovias.



Figura 6 – Ciclovia convencional para separar ciclistas de motoristas - Fonte: Eatough (2014)

O artigo 201 do Código de Trânsito Brasileiro determina que ciclistas e motoristas utilizem as vias com no mínimo 1500 mm de distância entre si. No entanto, identificar e respeitar essa distância não são tarefas fáceis, exige muita conscientização por parte do governo, envolvendo a população. Além disso, a distração no trânsito é um dos fatores que mais desencadeia acidentes, o que piora os resultados de trabalhos de conscientização (PEREIRA e SOUZA, 2013).

A Fig. 9 apresenta um espaço conhecido como *Door Zone*, distância que pode apresentar riscos ao ciclista, caso a porta seja aberta⁷. Pein (2010) faz uma crítica a um relatório apresentado ao Departamento de Trânsito da cidade de São Francisco, Califórnia, inicialmente, o relatório apresentava dimensões para demarcação das vias dessa cidade, com objetivo de garantir segurança aos ciclistas. Na crítica, o autor apresenta as dimensões das portas de alguns veículos, ficando em média a 900 mm.

Sugerido por ciclistas, a distância de 1500 mm entre automóveis e bicicletas, a qual é adotada também pelo código de trânsito brasileiro, pode garantir maior segurança nas vias, no entanto, em vias estreitas, onde não é possível efetuar demarcações, estacionamentos indevidos e fatores como imprudência, continuarão a contribuir para a geração de acidentes. Vale ressaltar também que portas têm dimensões distintas, e os veículos, larguras diferentes, o que dificulta a definição dessa área de segurança, uma vez que para atender todos os modelos de carros, poderia ser inviável ou impraticável a delimitação desta zona de segurança.

⁷Disponível em: <http://www.mpi.mb.ca/en/Rd-Safety/Cycling/Traffic-Skills/pages/fundamentals.aspx> - Acesso em: agosto de 2014

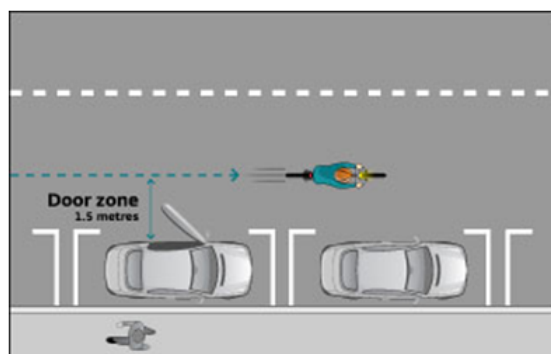


Figura 7 – Door Zone (1500 milímetros)

No cotidiano, devido a fatores como dimensões dos automóveis, veículos mal estacionados e demarcações erradas nas vias, a região definida como segura para o ciclista, pode continuar apresentando riscos, conforme apresenta a Fig. 10, onde é possível perceber que a porta aberta invade o espaço do ciclista, sendo que no dia a dia do trânsito, o mesmo teria que se desviar do obstáculo, se expondo a outros riscos, como o de colisão com outros veículos que transitam na lateral esquerda. Dessa forma, para evitar acidentes, no caso de uma porta se abrir inesperadamente, o ciclista deveria manter-se à esquerda da própria faixa, previamente definida como segura.



Figura 8 – Exemplo de ciclovias onde a porta invade o espaço do ciclista - Fonte: adaptado pelo autor

Os AAPs não estão restritos a ciclistas, se estendem também a motociclistas e veículos. Quanto a motocicletas, o uso das mesmas no Brasil, conforme Waiselfisz (2013) tem crescido significativamente, o que contribui para elevação de acidentes desse gênero no trânsito – principalmente em função da imprudência. Motociclistas costumam ultrapassar pela direita, ficando expostos a veículos que estão estacionados na via. Além disso, se deslocam nos “corredores” do trânsito (assim denominado o espaço entre dois veículos). Recentemente o projeto de lei 3626/12, que restringia a circulação de motocicletas nos “corredores”, o que reduziria os AAPs, foi vetado, principalmente pelo fato da proibição desencadear em outros problemas, como aumento do tráfego e

elevação do risco de colisão traseira⁸. A discussão quanto a viabilidade, ou não, de se aprovar uma lei similar a essa, que garantisse maior segurança aos motociclistas, não é o enfoque desse trabalho, no entanto, um sistema que inibisse o golpe de uma porta contribuiria para a redução desse tipo de acidente no trânsito.

Veículos em movimento também são alvo de abertura inesperada de portas, ocasionando colisão. Para este tipo de acidente, dificilmente ocorrem danos físicos aos integrantes dos veículos, no entanto, prejuízos são inerentes. Em uma busca rápida pela internet é possível visualizar vários processos judiciais sendo movido por pessoas que tiveram seus veículos atingidos por portas que foram abertas sem a devida cautela.

Dessa forma, espera-se suprir esse gap, elaborando um sistema que possa alertar o motorista sobre uma possível colisão, caso este tente descer do veículo sem tomar os devidos cuidados.

⁸Disponível em: <http://infomoto.blogosfera.uol.com.br/2013/07/08/congresso-rejeita-projeto-de-lei-que-proibe-corredor/> Acesso em: maio de 2014

Sensoriamento

Para atender a necessidade proposta nesse trabalho, faz-se necessário o uso de dispositivos capazes de detectar a invasão de um espaço pré-definido, emitindo sinais a um controlador que interprete o sinal e informe ao condutor do veículo sobre o risco em se abrir a porta. Para essa detecção, os sensores são os dispositivos mais indicados, pois têm a capacidade de “sentir” o meio onde estão inseridos, provendo respostas que podem atender a diversas necessidades.

3.1 Sensores

O termo sensor é empregado para designar dispositivos que convertem grandezas físicas em variáveis de sinais (WEBSTER, 2000). Os sensores são sensíveis a alguma forma de energia, tais como térmica e luminosa, e têm a capacidade de relacionar essa energia a alguma grandeza métrica, tais como velocidade e posição (THOMAZINI, 2005). Os mesmos também são conhecidos como transdutores, em função de converterem as grandezas de entrada em grandezas elétricas (FUENTES, 2005).

Sensores podem ser classificados em dois tipos, em função da natureza do sinal de saída, sendo digitais ou analógicos. Sensores analógicos são mais comuns e podem assumir qualquer valor no seu sinal de saída, de acordo com a sua faixa de atuação. Obviamente são assim denominados por se basearem em sinais analógicos, aqueles que, mesmo limitados entre dois valores de tensão, podem assumir valores intermediários variáveis e de forma contínua. Apresentam como resposta, um sinal de tensão, corrente ou resistência proporcional a grandeza física sensoriada (WENDLING, 2010; FUENTES, 2005; PATSKO, 2006).

Sensores digitais, também conhecidos como discretos, são aqueles que assumem apenas dois valores como sinais de saída, que podem ser interpretados como zero ou um, detectando ou não uma determinada grandeza. Naturalmente, não existem gran-

dezas físicas que ao serem sensoriadas assumam tais valores, no entanto são úteis para detecção de objetos, velocidade e distância. Esses sensores utilizam lógica binária, que é a base para funcionamento de sistemas digitais (WENDLING, 2010; FUENTES, 2005; PATSKO, 2006).

Os sensores podem ser divididos em duas classes, de acordo com a interação com o ambiente em que estão sendo empregados, são eles: sensores ativos e sensores passivos. Os sensores ativos são aqueles que adicionam energia como parte do processo de sensoriamento. Um exemplo disso são os radares, onde a distância de um objeto é definida por meio de ondas acústicas (sonar) ou de rádio (radar). Opostamente, os sensores passivos, não adicionam energia como parte do processo de sensoriamento, mas podem absorver energia durante sua operação. Um exemplo disso são os sensores tipo termopar, que em função do aquecimento, converte a temperatura física em sinais de voltagem (WEBSTER, 2000).

Sensores são úteis para informar a um circuito eletrônico eventos que ocorrem externamente. São responsáveis por analisar o meio onde estão inseridos e emitir resposta ao sistema de controle, possibilitando que este efetue determinada ação. No entanto, um sensor nem sempre tem as características elétricas para ser diretamente empregado em um sistema de controle, na maioria dos casos, o sinal de saída precisa ser manipulado, para que o sistema faça leitura e interpretação correta (WENDLING, 2010).

3.1.1 Tipos de sensores

Existe uma gama considerável de sensores no mercado, disponíveis para as mais variadas magnitudes físicas. Dessa forma, qualquer classificação quanto aos tipos de sensores, precisa estar baseada em algum critério (PALLAS, 2005). Analisando os principais tipos de sensores destacados por Webster (2000), Pallas (2005) e Thomazini (2005), é possível abordar os seguintes:

- **Sensores mecânicos:** dispositivos que sensoriam movimentos, posições ou presença usando recursos mecânicos, como por exemplo, chaves comutadoras, onde a atuação se dá em função de uma ação mecânica sobre o elemento atuador. A principal desvantagem dos sensores mecânicos está no fato de terem peças móveis, sujeitas a desgaste ou quebra, além da inércia natural que limita sua velocidade de ação. Outro problema está no repique, oscilações que ocorrem no período entre acionamento e estabilização da corrente no circuito, que pode falsear o sinal enviado.
- **Sensores magnéticos:** esse tipo de sensores também são denominados de Reed-

Switch. Podem ser usados para detectar a posição de um determinado componente por meio de um ímã preso a ele. Atuam com a ação de um campo magnético, e têm um tempo de resposta limitado, em função disso não são empregados em sistemas que necessitem de respostas rápidas. Sensores de efeito Hall, onde a corrente elétrica é influenciada pelo campo magnético, também se enquadram nesse grupo.

- ❑ **Sensores fotoelétricos:** os sensores fotoelétricos são empregados para atendimento a diversas aplicações. Esse tipo de sensor trabalha com luz, de forma que reage rapidamente com a variação da intensidade luminosa. Os mais simples utilizam um elemento fotossensível, que tem a luz incidente interceptada quando um obstáculo passa diante dele. Uma das vantagens é que não possuem peças móveis que se desgastam facilmente e na maioria dos casos não apresentam inércia em sua utilização.
- ❑ **Sensores de imagem:** esse tipo de sensor possibilita a análise da forma, cor e outras características de um objeto, operam também por meio de luz e semicondutores sensíveis a ela. Os sensores de imagem são, na verdade, formados por uma matriz de elevada quantidade de sensores fotoelétricos individuais e conseqüentemente, exigem tanto um circuito complexo para o processamento de seus sinais como um software apropriado, que permita a programação das características dos objetos que devem ser avaliados.
- ❑ **Sensores térmicos:** são aqueles que reagem em função da variação da temperatura do meio em que se encontram. Transformam uma grandeza física, nesse caso a temperatura, em um sinal de tensão, possível de ser interpretado por um sistema de controle.
- ❑ **Sensores piroelétricos:** conhecidos também como sensores de infravermelho, funcionam basicamente por meio de uma substância que é polarizada na presença de radiação infravermelha, gerando uma tensão (resposta) que pode ser amplificada e empregada para efeitos de controle. Para aumentar sua sensibilidade e dirigir as ondas de infravermelho diretamente para o sensor, são usadas lentes especiais denominadas Lentes de Fresnel.
- ❑ **Sensores capacitivos:** os sensores capacitivos são comumente aplicados em alarmes, detecção de posições, medição de níveis de líquidos em reservatórios, além de outros. Funcionam por meio da incidência de um campo elétrico, gerado por cargas elétricas em sua face, formando assim um capacitor de forma que, quanto à armadura móvel se encontra em uma área afetiva à da armadura fixa, respostas são emitidas.

- ❑ **Sensores de pressão:** sensores de pressão, em sua maioria fazem uso do ar, ou gases externos, para obtenção de resultados. Contêm um elemento chamado diafragma, que através da pressão externa se desloca, e por meio de um sensor de posição, obtém-se o sensoriamento.
- ❑ **Sensores de gases:** sensores de gases, como os utilizados para detecção de fumaça, na verdade fazem uso de sensores fotoelétricos, onde a interrupção ou alteração de um feixe de luz provoca reação do sensor. Para detecção propriamente dita, de tipos de gases, são empregados sensores mais complexos, entre eles, os que possuem filamentos recobertos com substâncias que reagem rapidamente à presença de gases no meio onde estão inseridos. Nesse tipo de sensor, um dos filamentos é mantido aquecido, formando um conjunto (conhecido também como ponte), que se equilibra nas condições em que não existem gases reativos no meio ambiente. Caso um gás reativo entre em contato com os filamentos, ao ser absorvido e na presença do calor, ele muda sua resistência, causando desequilíbrio da ponte. Com isso, a presença do gás reativo pode ser detectada.
- ❑ **Sensores indutivos:** esses sensores consistem basicamente em uma bobina em torno de um núcleo. As características da bobina se alteram na presença de objetos que tenham características magnéticas como ímãs, materiais ferrosos e mesmo materiais diamagnéticos (que dispersam as linhas de força de um campo magnético), possibilitando assim o sensoriamento.

3.1.2 Identificação do sensor a ser utilizado

A partir da análise dos tipos de sensores que poderiam atender a demanda proposta inicialmente, dois sensores se mostraram eficientes, sendo o sensor infravermelho e o ultrassônico. Ambos os sensores são aplicados em sistemas de assistência a motoristas, como por exemplo, o de detecção frontal de obstáculos, que faz uso tanto do sensor infravermelho, quanto do ultrassônico¹. No entanto, para esse estudo, o sensor escolhido foi o ultrassônico, em função do seu custo benefício.

Ao comparar os sensores, percebe-se que o alcance do ultrassônico é maior que o infravermelho, para sensores de baixo custo, fator primordial para este trabalho. Além disso, o sensor infravermelho pode facilmente sofrer interferência de outras fontes de luz, comprometendo sua utilização. Já o sensor ultrassônico não sofre tanto a influência desses fatores e vem sendo aplicado em vários sistemas de assistência ao motorista (MIRUS *et al.*, 2012; JEONG *et al.*, 2008; AGARWAL, MURALI e CHANDRAMOULI, 2009).

¹Disponível em: <http://c4solucoes.com.br/tecnologia-e-seguranca-nas-estradas/> - Acesso em: agosto de 2014

3.1.3 Ultrassom

A radiação ultrassônica foi descoberta por cientistas que ao aplicarem uma corrente elétrica em um cristal, entre duas placas metálicas, perceberam a geração de uma vibração de alta frequência. Dessa forma, Francis Galton desenvolveu, por volta de 1883, o primeiro experimento para geração de ultrassons, utilizando assobios (WEBSTER, 2000).

O ultrassom é uma onda acústica com frequência superior à capacidade audível do ouvido humano, a qual se limita a 20.000 ciclos por segundo (20KHz). Diferente do ser humano, a percepção auditiva de alguns animais, como golfinhos e cães, lhes possibilita identificar sons em alta frequência (WEBSTER, 2000). Ainda segundo Webster (2000), as ondas acústicas são geradas por vibrações mecânicas e necessitam de um meio para se propagarem, não sendo possível sua existência no vácuo. Também conhecidas como sinais ultrassônicos as ondas acústicas inaudíveis são obtidas por meio de transdutores, os quais, devido a ressonância (vibrações mecânicas), convertem energia acústica em elétrica e vice versa (THOMAZINI, 2005).

Sensores ultrassônicos são dispositivos que, por meio de transdutores elétricos, fazem uso do método de pulso-eco para medição de distância. Este método é capaz de detectar a distância de um objeto em função do tempo gasto entre emissão e recepção de uma onda ultrassônica (BASTOS *et al.*, 1991). Esse tipo de sensor é comumente utilizado para detectar a presença de objetos em curtas distâncias, sendo por isso usado em aplicações onde outros sensores, mais sujeitos a interferências, não funcionam bem. Isso acontece porque os ultrassons, diferentemente de luz e sinais elétricos não são afetados por interferências elétricas ou mesmo luz ambiente.

Para determinação da distância, conforme Eq.1, o sensor avalia o tempo de trânsito necessário para uma onda ultrassônica percorrer o trajeto de ida e volta. Uma vez obtido esse intervalo de tempo, através do transdutor receptor, por meio do eco refletido, o tempo é convertido em distância.

$$d = \frac{ct}{2} \quad (1)$$

Na Eq.1, o termo d refere-se à distância entre o sensor e o objeto, c a velocidade do som no ar (aproximadamente 340 m/s) e t o tempo do pulso ultrassônico, considerando ida e volta. Sendo as duas últimas variáveis divididas por dois em função do percurso de ida e volta, que uma onda acústica percorre, resultando na distância entre objeto e sensor (RASTOGI; MEHRA, 2012; WEBSTER, 2000).

De acordo com Kim e Kim (2010), Jeong *et al.* (2008), Bastos *et al.* (1991) e Mágori (1994), os sensores ultrassônicos ainda oferecem uma vantagem considerável, a

de ser um componente de baixo custo.

3.2 Limitações dos Sensores Ultrassônicos

Os sensores de proximidade ultrassônicos são costumeiramente empregados para verificação de níveis de fluídos, contagem de produtos que passam em uma linha de montagem, além de detecção da presença de pessoas e objetos. Todavia, para aplicações que requerem um nível de confiabilidade mais elevada, percebe-se uma ausência de informações seguras o suficiente para o correto emprego do sensor. Entre outras dificuldades destacam-se a limitação quanto ao campo acústico de atuação do sensor e seu alcance máximo.

Dessa forma, para atendimento a aplicações específicas, principalmente as que prezam por utilizar componentes de baixo custo, incertezas podem surgir quanto a definição de alcance, ângulo de abertura e campo de atuação. A informação quanto ao campo de atuação do sensor e definição do ângulo de abertura do mesmo (horizontal ou vertical), são informações essenciais para sua adequada utilização.

As informações técnicas que os fabricantes de sensores disponibilizam para seus produtos, apresentam em geral uma região plana de atuação, o que não garante o correto funcionamento do sensor, principalmente em casos onde uma projeção do campo também é importante. Além disso, a distância de atuação, mencionada pelo fabricante, nem sempre é efetiva, proporcionando imprecisões nas aplicações que requerem segurança. Outra utilização que requer uma melhor definição do campo de atuação de um sensor ultrassônico é a de segurança ativa veicular, a qual possibilitaria maior precisão no posicionamento de sensores.

Método Experimental para Análise do Campo de Atuação do Sensor

4.1 Estimativa do campo de atuação do sensor

Em função da dificuldade na identificação do campo de atuação dos sensores ultrassônicos, foi elaborado um método para mapear uma estimativa da região efetiva de atuação, garantindo assim maior precisão nas aplicações de sensores. Normalmente, nas especificações técnicas (*datasheets*) dos fabricantes é possível encontrar, entre outras informações, os parâmetros elétricos de funcionamento, conexões e área de atuação. Para esta última, além de mencionar a distância de detecção (*minimum* e *maximum range*), os *datasheets*, apresentam geralmente um gráfico contendo a área horizontal de atuação, similar ao apresentado na Fig. 9.

Neste contexto, conforme Fig. 9, é possível perceber que o campo horizontal de atuação do sensor ultrassônico 600-series Polaroid, possui uma abertura de aproximadamente 120 graus, no entanto, se esse campo também se comporta da mesma forma

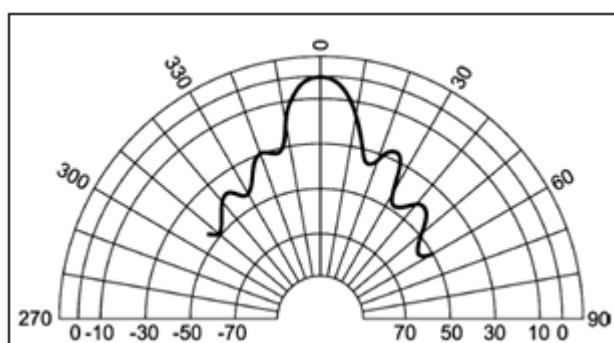


Figura 9 – Característica do campo horizontal de atuação de um sensor Polaroid - Fonte: Majchrzak *et al.*, 2009

na vertical, formando uma espécie de cone cujo vértice coincide com o ponto onde o sensor está posicionado, não fica evidente.

Existe uma distinção entre a zona de atuação horizontal, definida pelo fornecedor e a zona de atuação efetiva, as quais podem ser referenciadas, respectivamente como, distância sensora nominal e operacional. Distância sensora nominal (S_n) é a máxima distância que o sensor pode operar, no entanto despreza intempéries do tempo, tensão de alimentação e variações causadas pelos processos inerentes a sua fabricação. Distância sensora operacional (S_a) é a distância que seguramente pode-se operar, levando em consideração as intempéries do tempo, tensões e variações na industrialização (FUENTES, 2005). Sendo assim, comumente se encontra nos documentos que especificam sensores ultrassônicos, um destaque a área sensora nominal, o que não garante a correta aplicação do mesmo, com possibilidade de prejuízos em projetos que requerem confiabilidade na detecção.

Com o objetivo de corrigir esta limitação de informação que os sensores possuem, quanto ao campo de atuação, principalmente para os de baixo custo, onde se tem a dificuldade de obter inclusive o *datasheet*, foi proposto um método de mapeamento do campo de atuação de sensores ultrassônicos. Os benefícios iniciais para esse experimento referem-se aos resultados que o mesmo pode proporcionar, auxiliando na escolha do sensor a ser empregado, assim como na determinação do correto posicionamento do mesmo em diversas aplicações.

4.1.1 Sensores considerados no experimento

Para este experimento, foram utilizados três diferentes sensores, a saber, o US-100¹, o US-020² e o HC-SR04³, conforme apresentado na Fig. 10. De acordo com as especificações técnicas obtidas em sites que distribuem esses produtos, assim como nos *datasheets* encontrados, cada um dos sensores apresenta um alcance diferente.

O *datasheet* do sensor US-100 informa que o mesmo está apto para efetuar medições até 3500 mm, enquanto o HC-SR04 provê uma faixa de atuação até 4000 mm e o US-020 tem um alcance máximo de 7000 mm. Para aplicações que requerem maior segurança, quanto à possibilidade de detecção de objetos, as informações citadas não atendem perfeitamente a aplicação, pois não se conhece o comportamento do campo acústico. Nem mesmo a imagem de um campo de atuação horizontal, como o apresen-

¹Disponível em: <http://www.e-gizmo.com/KIT/images/ultrasonicsonar/ultrasonic%20sonar%20module%201r0.pdf> - Acesso em: dezembro de 2013

²Disponível em: <http://www.arduiner.com/en/ultrasuoni/1579-us-020-ultrasonic-ranging-module-5v-can-be-measured-7m.html> - Acesso em: dezembro de 2013

³Disponível em: http://www.elec Freaks.com/store/download/product/Sensor/HC-SR04/HC-SR04_Ultrasonic_Module_User_Guide.pdf - Acesso em: dezembro de 2013



Figura 10 – Sensores utilizados (a) US-100, (b) HC-SR04 e (c) US-020

tado na Fig. 9 contribuiria para a confiabilidade na aplicação. Necessário seria uma definição do campo 3D de atuação de cada um dos sensores.

Em nenhum dos *datasheets* é apresentado algum gráfico que aponte o campo de atuação dos sensores e por serem de baixo custo, a dificuldade na obtenção de informações confiáveis, se torna um desafio.

4.1.2 Descrição do Método

A proposta para varredura e identificação do campo de atuação do sensor ultrassônico está baseada em um método experimental, onde um objeto é deslocado diante do sensor e as posições onde ocorre a detecção são armazenadas, gerando assim uma matriz com os resultados da leitura do sensor. As matrizes são compostas por dígitos 0 (zero) e 1 (um), respectivamente, quando não houver detecção e quando o objeto entra na zona de atuação do sensor. Dessa forma, para identificação do possível campo de atuação, foi desenvolvida uma estrutura cartesiana ortogonal, capaz de assegurar o deslocamento do objeto sem interferir na detecção do sensor. A estrutura foi construída com barras metálicas de seção transversal retangular de 20×30 mm, com chapa de aço de 0,7mm de espessura. A estrutura foi projetada com dimensões de $1000 \times 1000 \times 4000$ mm (altura, largura e comprimento), conforme Fig. 11.

Sobre essa estrutura, desloca-se uma barra, feita com o mesmo material da estrutura, que se movimenta ao longo do eixo Z , por meio de polias com acionamento manual. Sobre a barra foi posicionado um robô LEGO[©] (Fig. 12), responsável por movimentar uma massa nos eixos X e Y , possibilitando assim que o espaço contido dentro da estrutura possa ser mapeado.

Esse robô movimenta uma chapa metálica quadrada, com dimensões de 40×38 mm e espessura de 4,3mm, fazendo uma varredura em cada face perpendicular ao eixo Z . O robô desloca o objeto por 625 pontos em cada seção transversal do volume prismático retangular da estrutura, sendo 25 pontos verticais e 25 horizontais. Dois motores foram instalados no robô, de forma que, um efetua o deslocamento do próprio robô sobre a barra (eixo X) e o outro é responsável pela movimentação da massa (eixo Y).

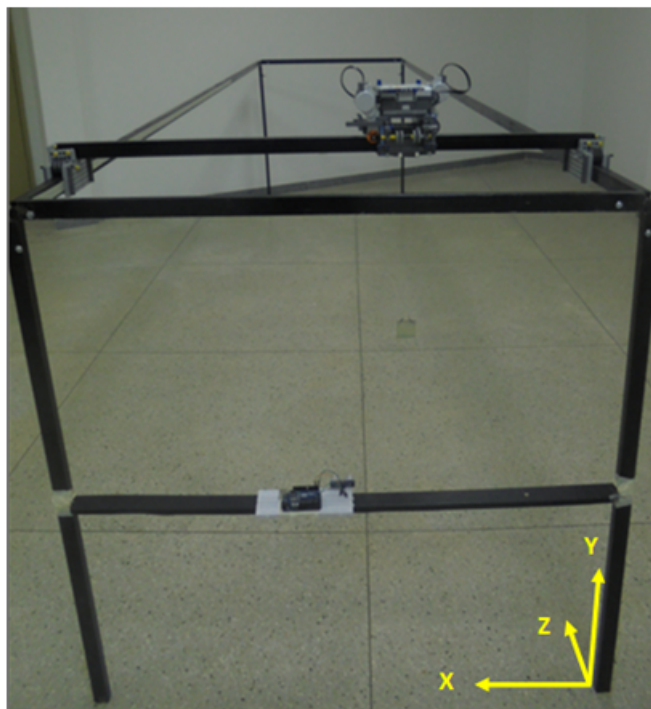
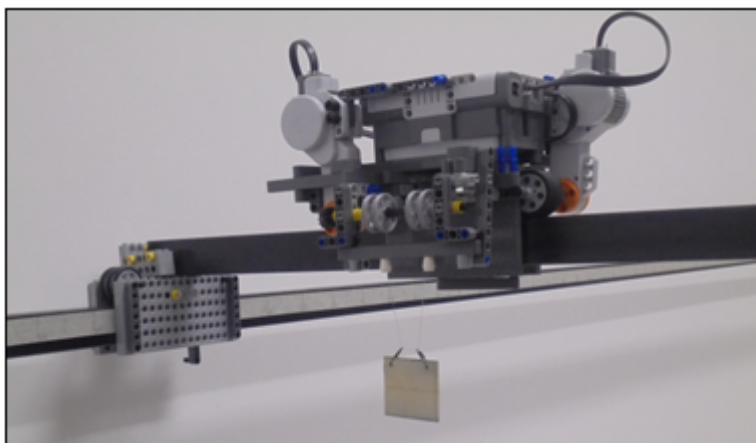


Figura 11 – Estrutura do sistema de mapeamento de sensores

Figura 12 – Robô LEGO[®] usado no deslocamento do objeto

A chapa metálica foi envolvida com uma fita branca e fixada em uma carretilha, que recolhe ou libera a chapa no decorrer do teste. Para tal, foi utilizado um fio de Nylon, com 0,25mm de espessura, o qual, não interfere na detecção do sensor ultrassônico.

Quanto aos sensores, os mesmos são posicionados no centro da parte frontal da estrutura, a qual contém uma barra horizontal de acomodação (Fig. 11), ficando os mesmos apontados para o interior da estrutura. Dentre os sensores utilizados para esse experimento, dois não apresentam em suas especificações, alcance maior do que os limites disponibilizados pela estrutura, não comprometendo assim os resultados dos

testes. Por outro lado o terceiro sensor, o US-020, tem um alcance de 7000 mm, ultrapassando os limites da estrutura. No entanto, isso não compromete a aplicação e confirmação da funcionalidade do experimento, podendo este ser realizado com os sensores de menor alcance. Além disso, estando ambos os sensores em atuação, no centro da estrutura, nenhuma distância é detectada, o que prova não haver interferência entre a estrutura e o campo de atuação.

A utilização dos sensores US-100 e HC-SR04 no experimento se deu em função destes serem de baixo custo e apresentarem em suas especificações um limite de alcance menor que a estrutura proposta, possibilitando validação do método. Em função dos resultados obtidos no teste, o sensor US-020 foi incluso na lista como um possível sensor a ser utilizado no sistema de segurança. Todos os sensores (Fig. 10) contém dois transdutores, um emissor e outro receptor, além de operar na frequência de 40 KHz.

O experimento consiste em utilizar o robô, que efetua o deslocamento do objeto, em sincronia com a atuação do sensor, que por sua vez está conectado a um Arduino. Após o início do processo de varredura, o Arduino efetua a leitura por meio do sensor, aguardando 5 segundos para repetir a leitura, tempo necessário para deslocamento do objeto.

O Arduino é uma placa eletrônica que possui um microcontrolador passível de programação, que tem a capacidade de interagir com dispositivos e componentes externos conectados a ele. Também é um sistema de entrada e saída de dados, onde as entradas referem-se a dispositivos que fornecem informações ao microcontrolador, como por exemplo, sensores, e as saídas, dispositivos que atuam em função dos dados emitidos pelo microcontrolador, como por exemplo, sonorizadores, LEDs (*Light-Emitting Diode*) e motores. Surgiu em 2005, na Itália, quando professores decididos a ensinar eletrônica e programação, perceberam a inexistência de placas poderosas, com custo acessível e com linguagem simples. Pensando nisso, criaram juntamente com um aluno, o primeiro Arduino, o qual se tornou uma poderosa ferramenta eletrônica (McROBERTS, 2011).

Neste trabalho, o programa do robô foi desenvolvido no software LEGO[®] Mindstorms NXT 2.0, versão estudante, o qual faz com que a placa se movimente por todos os pontos pré-determinados dos eixos X e Y , construindo assim uma malha, dividida em 40mm, para cada plano Z , por toda a estrutura. Dessa forma, o robô move o objeto por toda malha da estrutura, passando pelos pontos pré-definidos, os quais serão avaliados pelo sensor.

Uma vez definida as coordenadas a serem percorridas pelo sensor, basta confrontar os resultados obtidos na leitura, com as posições da malha 3D. O fluxo de movimentação do objeto, conforme Fig. 13, ocorre da seguinte maneira: o robô libera

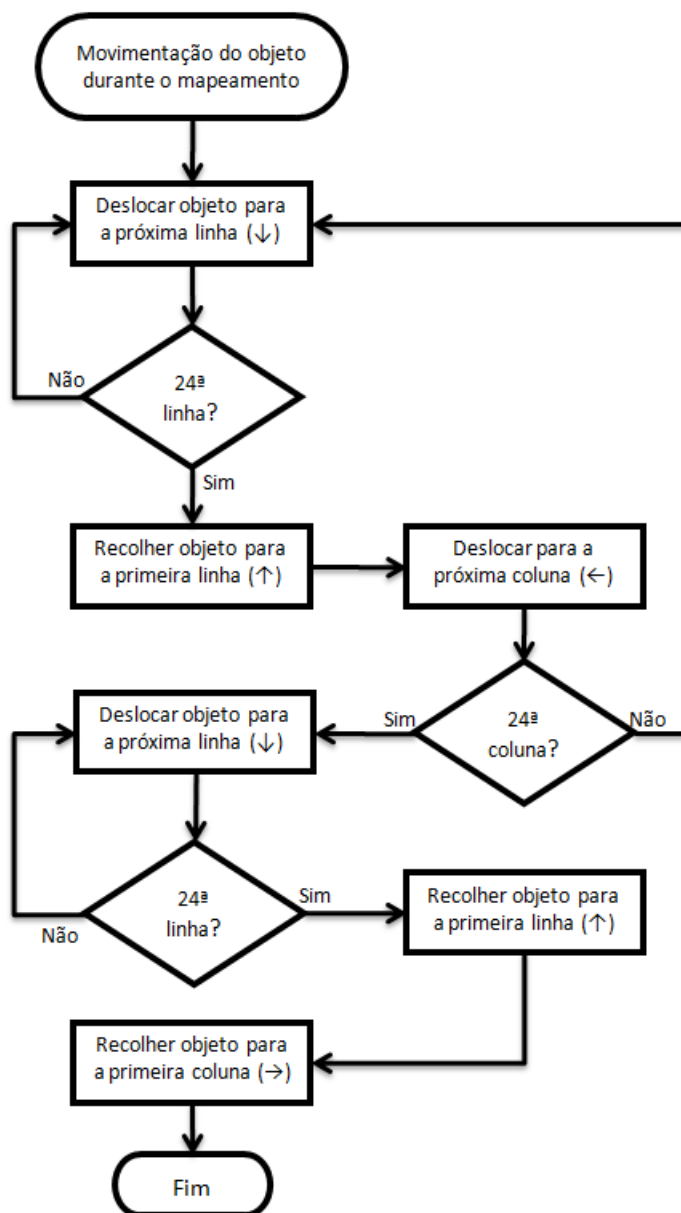


Figura 13 – Fluxograma de movimentação do objeto, executada pelo robô

verticalmente o objeto, recolhendo-o ao final da vigésima quarta posição e se deslocando para a próxima coluna a ser mapeada. O processo se repete por todas as demais colunas pré-definidas da estrutura. Para início do mapeamento, o objeto parte da primeira linha e primeira coluna da estrutura, com isso, ao se movimentar pelas próximas vinte e quatro posições (linhas e colunas), cumpre o percurso total de um plano da estrutura.

Os resultados do mapeamento são armazenados pelo *Serial Monitor* do Arduino, os quais são, posteriormente, ordenados de acordo com as coordenadas pré-definidas da estrutura. O software livre utilizado para elaboração do programa de leitura do sensor

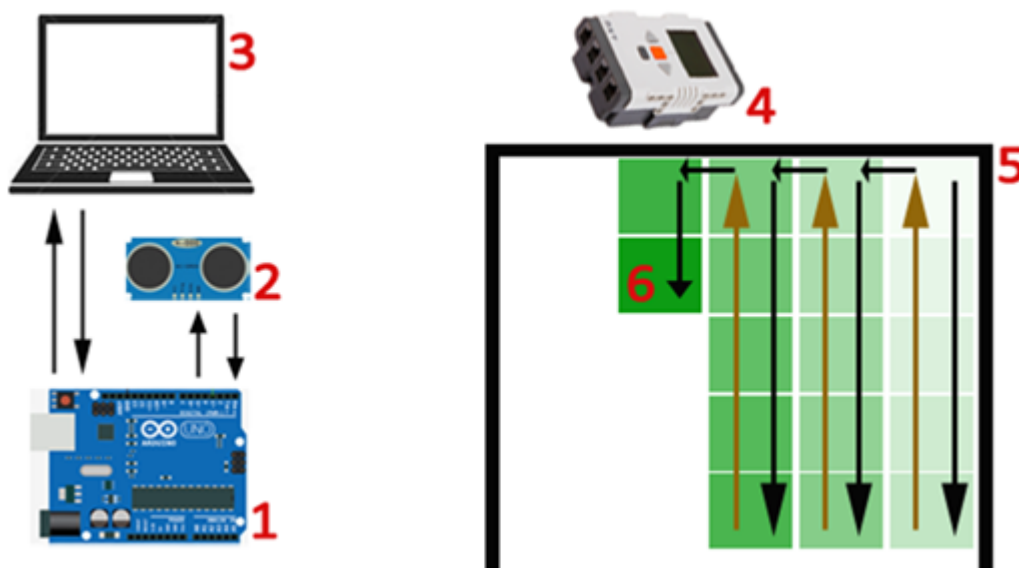


Figura 14 – Diagrama dos recursos utilizados para mapeamento

foi o Arduino 1.0.5-r2. Para geração dos gráficos, que apresentam os pontos onde o objeto foi detectado, utilizou-se o software Matlab[©], versão 7.8.0.347 (R2009a).

O experimento foi executado em um local fechado, onde as condições do ambiente se mantiveram constantes, com temperatura em torno de 30° Celsius, isenta de ventos, ruídos e qualquer outra intempérie que influenciasse nos resultados. Além disso, o experimento foi realizado com o objeto perpendicularmente posicionado em relação ao sensor.

Os componentes utilizados nesse experimento, conforme Fig. 14 foram, um microcontrolador Arduino (1), um sensor ultrassônico (2), um notebook (3), um robô controlado pelo *Brick* NXT (4), a estrutura metálica (5) e uma placa de 40 mm² (6). A especificação dos itens 1, 2, 3 e 4, é descrita como segue:

1– **Arduino.** Utilizado um Arduino UNO, o qual possui uma placa com microcontrolador Atmega328.

2– **Sensor.** Foram utilizados três sensores ultrassônicos, sendo o modelo US-100, o HC-SR04 e o US-020, que trabalha com uma frequência de 40Hz.

3– **Notebook.** O notebook utilizado no experimento foi um Lenovo SL410, cujo processador é um Intel Core 2 Duo, 2.53GHz e memória de 3GB. O sistema operacional é o Windows 7 Professional, Service Pack 1, de 32 Bits.

4– **Brick NXT.** O *Brick* NXT utilizado foi o modelo 9841 da LEGO[©].

Através do notebook foi realizada a programação a ser executada no microcon-

trolador, utilizando o software específico da plataforma Arduino. O microcontrolador executa uma comunicação mútua com o notebook, disponibilizando resultados do experimento. O sensor ultrassônico permanece conectado ao microcontrolador durante todo o experimento, pois é através deste que as leituras do sensor são solicitadas. A comunicação entre eles também se dá de forma mútua, sendo o sensor, responsável por captar o eco refletido e transformando em sinais elétricos, informar o resultado da detecção ao microcontrolador.

O robô, representado pelo Brick NXT (item 4 na Fig. 14), tem a função de deslocar o objeto dentro da estrutura (5), conforme apresentado no diagrama, deslocando a placa (6) para baixo, até a vigésima quarta posição, em seguida a recolhendo (por meio de uma carretilha) e deslocando 40mm para a esquerda. E assim, sucessivamente até varrer todo o plano.

Tanto as ações de deslocamento, quanto a de leitura do sensor, são executadas em paralelo, de forma que a cada intervalo de movimentação da placa, o sensor executa a leitura do posicionamento. O sistema está sincronizado de maneira que o sensor ultrassônico executa leitura a cada 5 segundos, e o robô desloca a placa em 2 segundos com um tempo de espera adicional de 3 segundos, para que a leitura seja executada.

É possível executar esse experimento utilizando tecnologia Bluetooth, pareando o microcontrolador Arduino e o LEGO[©] NXT, no entanto, por falta do módulo Bluetooth, os testes foram realizados através de sincronização.

4.2 Resultado da Análise do Campo de Atuação dos Sensores

Neste experimento, três sensores foram analisados, sendo eles, o US-100, o HC-SR04 e o US-020. Os resultados de cada sensor são apresentados na sequência.

4.2.1 Análise do sensor US-100

De acordo com as especificações obtidas no datasheet do sensor ultrassônico US-100, este é capaz de detectar distância de objetos entre 20 e 4500 mm. No método desenvolvido para mapear o campo de atuação de sensores, a varredura foi realizada até o vigésimo segundo plano da estrutura, localizado no eixo Z , a 2200 mm do sensor. O eixo Z da estrutura foi dividido em vários planos, dispostos a cada 100 mm, resultando em 22 planos mapeados, frente ao sensor. Em cada um desses, o objeto se deslocou criando uma malha de pontos, em X e Y , formando assim, através dos pontos de detecção, uma estimativa do campo de atuação 3D do sensor, conforme Fig. 15.

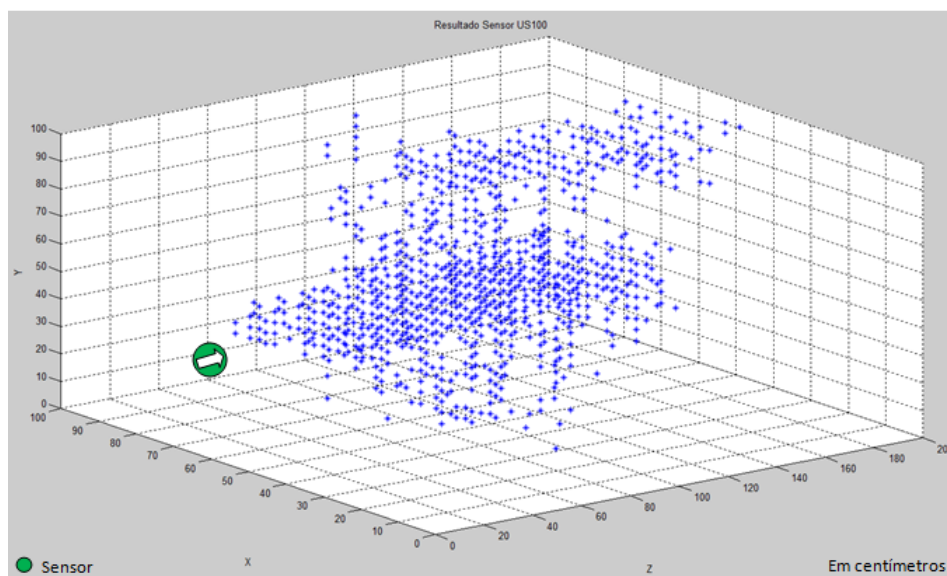


Figura 15 – Estimativa do campo de atuação 3D do sensor US-100 (em cm)

É possível perceber através do resultado do mapeamento que, o alcance máximo do sensor US-100 é de 2000 mm, quando se trata da identificação de uma chapa quadrada de 40 mm. Diferente do que é informado no *datasheet* deste sensor, onde é apresentada somente a distância máxima e mínima de alcance, o experimento foi capaz de definir um campo de atuação, antes desconhecido, além de identificar a distância real de detecção.

A chapa metálica, com dimensões de $40\text{mm} \times 38\text{mm}$, foi escolhida em função da nuvem de pontos que esta seria capaz de formar. Além disso, uma conclusão intuitiva é que, se o sensor é capaz de identificar um objeto tão pequeno, teria bom desempenho com objetos maiores, tais como, automóveis e motocicletas. Para melhor compreensão do campo de atuação o resultado do mapeamento é apresentado em diferentes vistas, como as vistas superior, lateral e frontal, respectivamente, nas Figs. 16, 17 e 18.

Os resultados mostram que o sensor US-100, tem uma capacidade limitada de atuação, o alcance é curto e dificilmente poderia ser empregado em um sistema de segurança veicular, como o proposto neste trabalho.

4.2.2 Análise do sensor HC-SR04

De acordo com as especificações da Elec Freaks, o sensor ultrassônico HC-SR04, é capaz de detectar distância de objetos entre 20 e 4000 mm. Durante o mapeamento do campo de atuação do sensor, a varredura foi realizada até o trigésimo segundo plano da estrutura, localizada no eixo Z a 3200 mm do sensor. Conforme o teste anterior, o eixo Z da estrutura foi dividido em vários planos, distantes 100 mm um do outro,

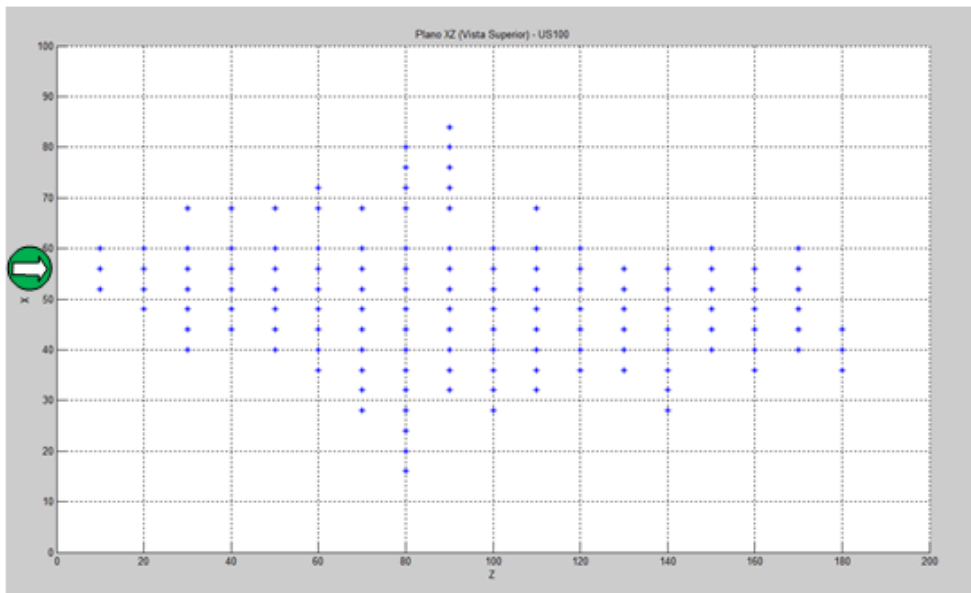


Figura 16 – Vista superior do campo de atuação do sensor US-100 (em cm)

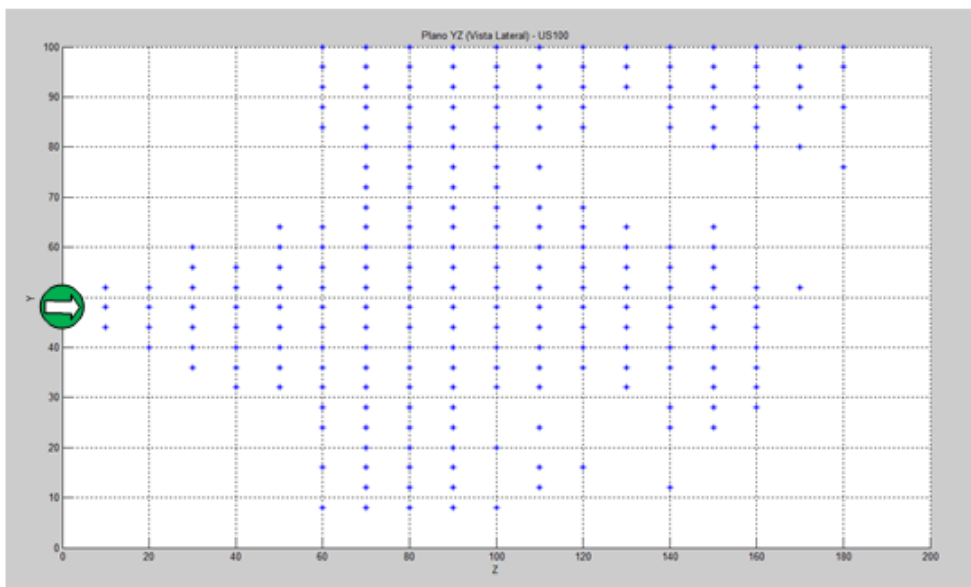


Figura 17 – Vista lateral do campo de atuação do sensor US-100 (em cm)

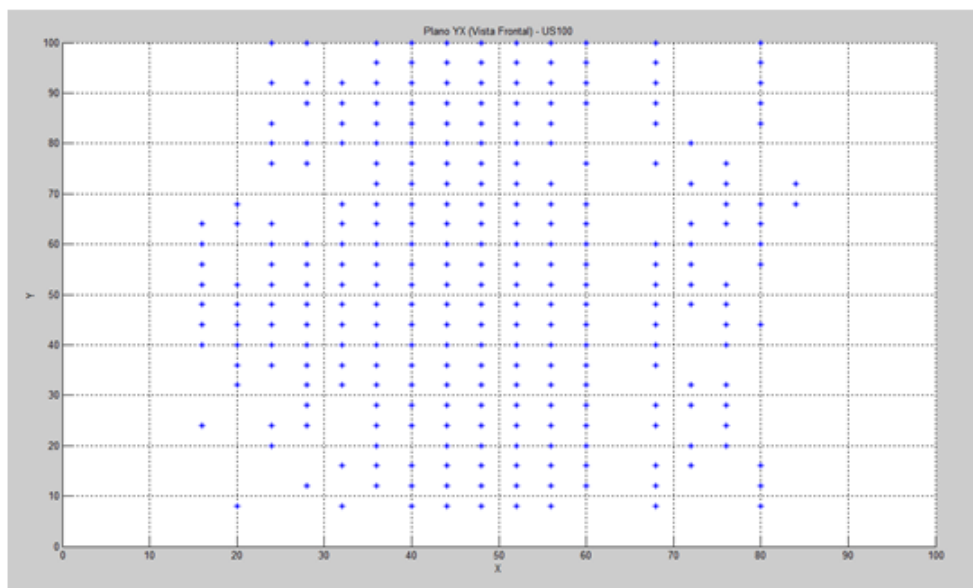


Figura 18 – Vista frontal do campo de atuação do sensor US-100 (em cm)

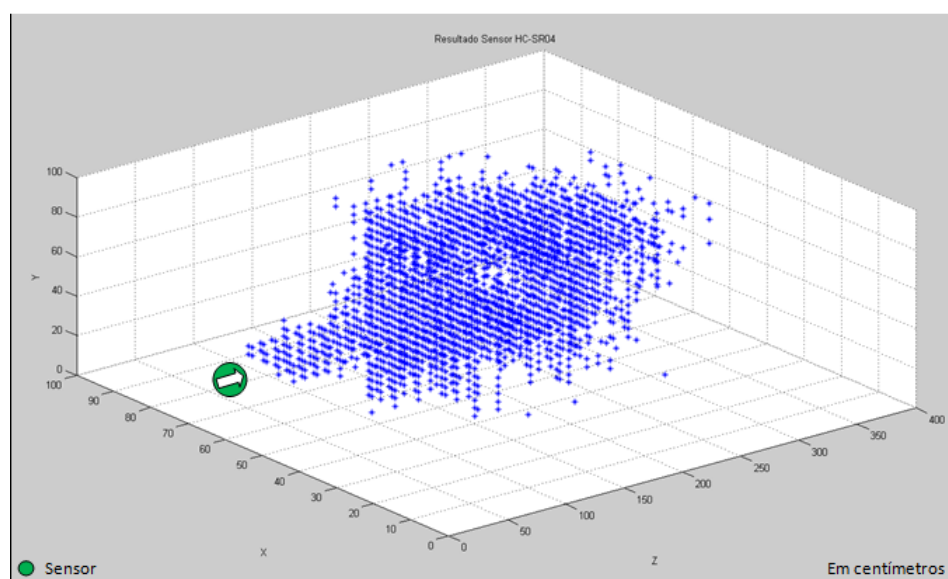


Figura 19 – Estimativa do campo de atuação 3D do sensor HC-SR04 (em cm)

resultando em 30 planos a serem analisados, frente ao sensor. Em cada um desses, o objeto se deslocou criando uma malha de pontos, em X e Y, formando assim, através dos pontos de detecção, uma estimativa do campo de atuação do sensor, conforme Fig. 19.

Os trinta primeiros planos mapeados sugerem o limite de atuação do sensor, sendo que a partir do trigésimo plano, o sensor não conseguiu detectar a presença do objeto em nenhum dos pontos avaliados. Com este resultado é possível perceber que

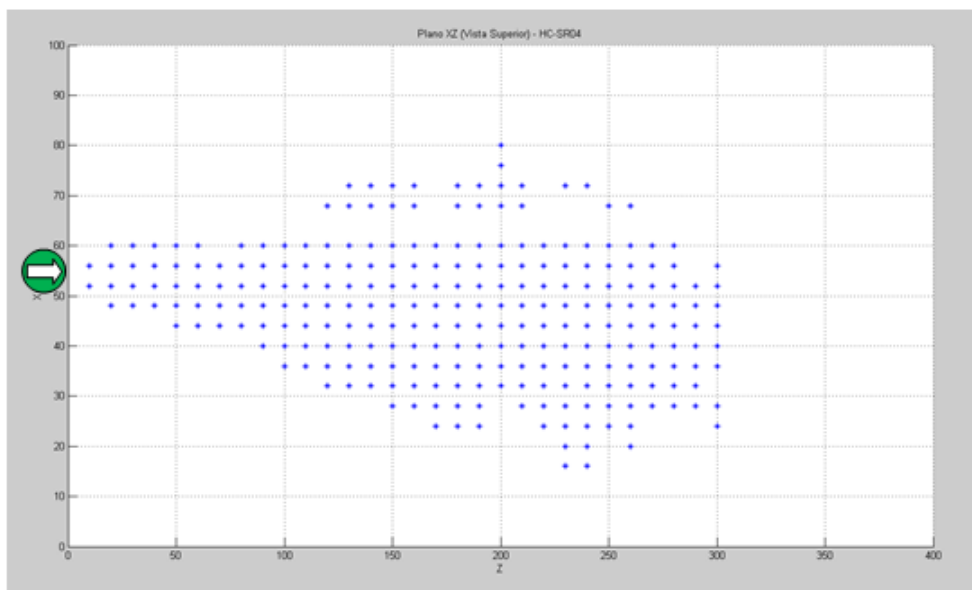


Figura 20 – Vista superior do campo de atuação do sensor HC-SR04 (em cm)

o sensor, instalado no centro da estrutura, nas coordenadas $X(-500mm)$, $Y(500mm)$ e $Z(0,0mm)$, emite ondas acústicas capazes de detectar o objeto em um espaço não superior a 3000 mm, diferente do que é citado nas especificações técnicas, que menciona 4000 mm. Importante ressaltar que o experimento foi realizado utilizando apenas o objeto de $40mm^2$. Para este, a capacidade de detecção não ultrapassou 3000 mm. Para objetos de maiores dimensões, o teste não foi realizado.

Verificou-se também, que as características de trabalho do sensor, discriminadas no *datasheet* do produto, não transmitem informações suficientes para definição do campo de atuação do mesmo, diferentemente do observado na Fig. 19, que sugere uma melhor compreensão desse campo acústico.

Os resultados apontam que a distância de melhor detecção do sensor está entre 1000 e 2500 mm. Além desses valores, tem-se uma redução do campo de atuação. Para melhor entendimento, as figuras seguintes mostram as três vistas do campo de atuação do sensor HC-SR04, sendo, vista superior, lateral e frontal.

4.2.3 Análise do sensor US-020

De acordo com as especificações obtidas no *datasheet* do sensor ultrassônico US-100, este é capaz de detectar distância de objetos entre 20 e 7000 mm. No método desenvolvido para mapear o campo de atuação de sensores, a varredura foi realizada até o décimo plano da estrutura, localizado no eixo Z a 1000 mm do sensor. O eixo Z da estrutura foi dividido em dez planos, a cada 100 mm, resultando em apenas planos

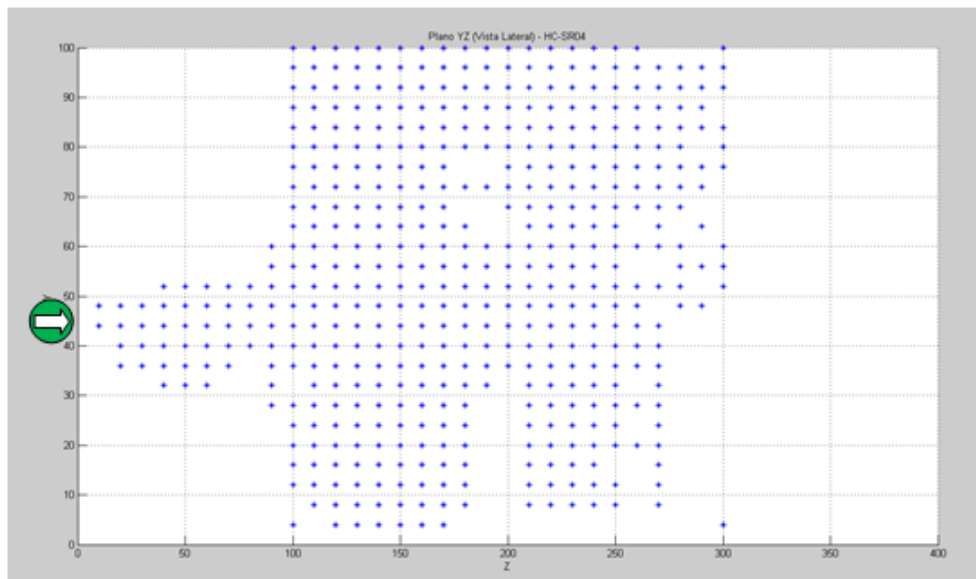


Figura 21 – Vista lateral do campo de atuação do sensor HC-SR04 (em cm)

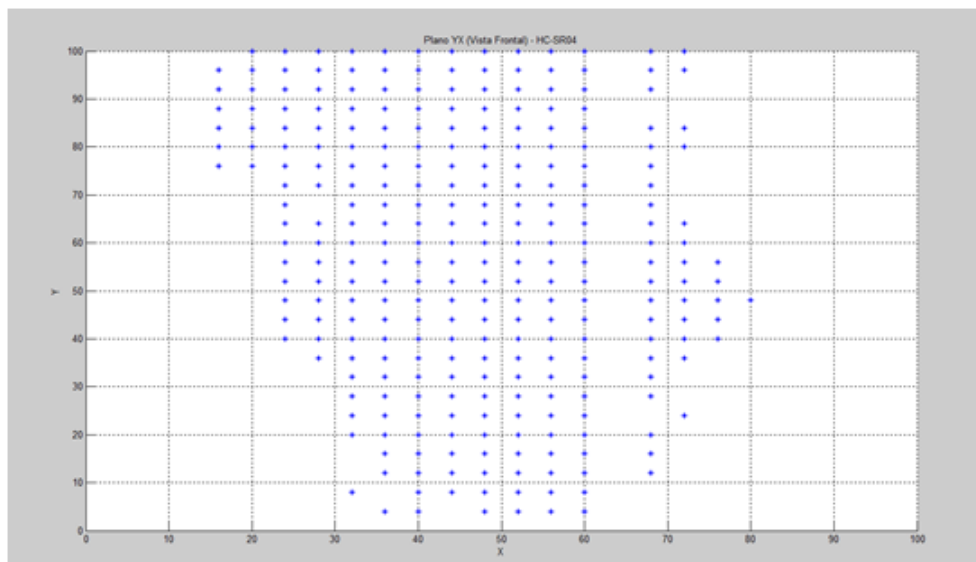


Figura 22 – Vista frontal do campo de atuação do sensor HC-SR04 (em cm)

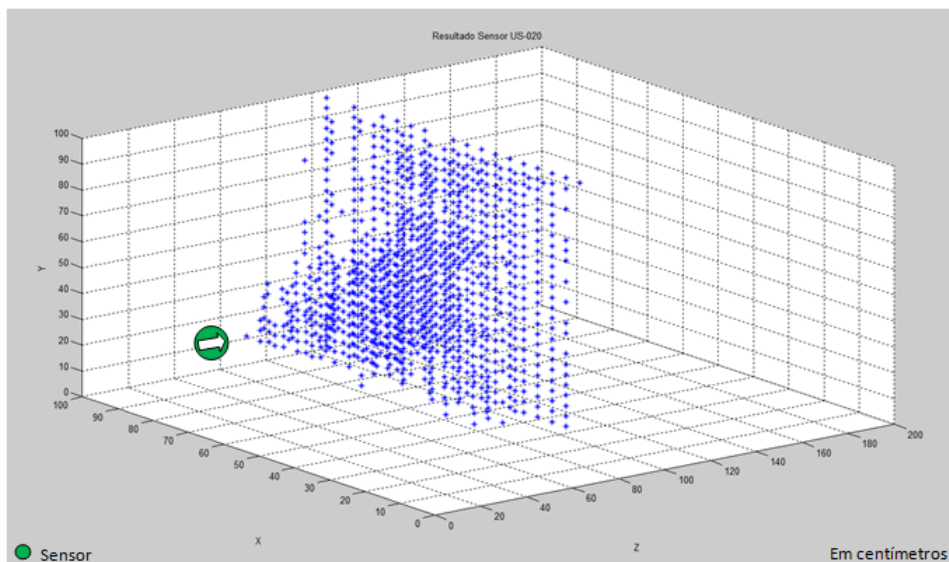


Figura 23 – Estimativa do campo de atuação 3D do sensor US-020 (em cm)

mapeados, frente ao sensor. Diferente da análise dos demais sensores, o US-020 possui um campo de atuação muito robusto, não sendo possível com a estrutura desenvolvida, efetuar o mapeamento completo.

No início do mapeamento deste sensor, notou-se que, mesmo não deslocando o objeto frente ao sensor, resultados estavam sendo gerados, o que sugere que a estrutura estava sendo detectada pelo sensor, provavelmente com o rebatimento das ondas acústicas ao tocar a estrutura. Dessa forma, para que fosse possível coletar algum resultado no mapeamento, a programação do Arduino foi alterada, de forma que as detecções superiores a 2000 mm fossem desconsideradas, o que permitiu executar o teste até o décimo plano. Após esse plano, o sensor capta inclusive a presença do robô, não sendo possível dar sequência ao mapeamento. Uma possibilidade seria construir uma estrutura maior, no entanto, para o presente trabalho isto não foi possível. Além disso, o resultado poderia comprovar a intuição de que o programa a ser utilizado pelo sistema de segurança, precisa limitar as leituras do sensor.

Devido às detecções de 4000 mm que o sensor executa ao estar posicionado na barra de acomodação de sensores, sugerindo o limite da estrutura como alvo, leva a conclusão que de qualquer forma, mapeado ou não, é necessário restringir o programa do sistema de segurança, de modo que este não perturbe o usuário. A Fig. 23 mostra os planos mapeados durante a execução do experimento. Para este, o objeto se deslocou criando uma malha de pontos, em X e Y , formando assim, através dos pontos de detecção, uma estimativa do campo de atuação do sensor, até 1000 mm.

É possível perceber através do resultado do mapeamento que, o sensor US-020

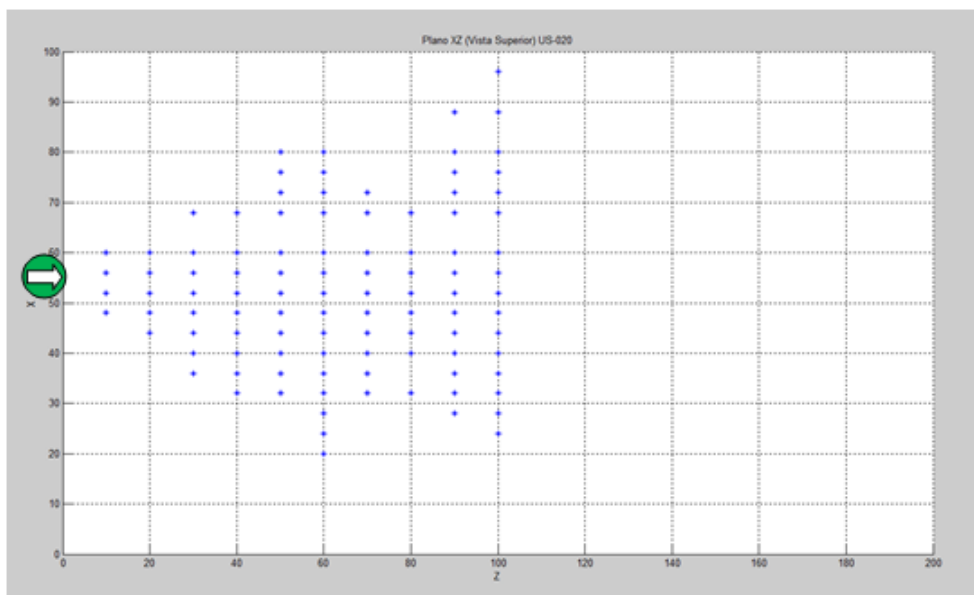


Figura 24 – Vista superior do campo de atuação do sensor US-020 (em cm)

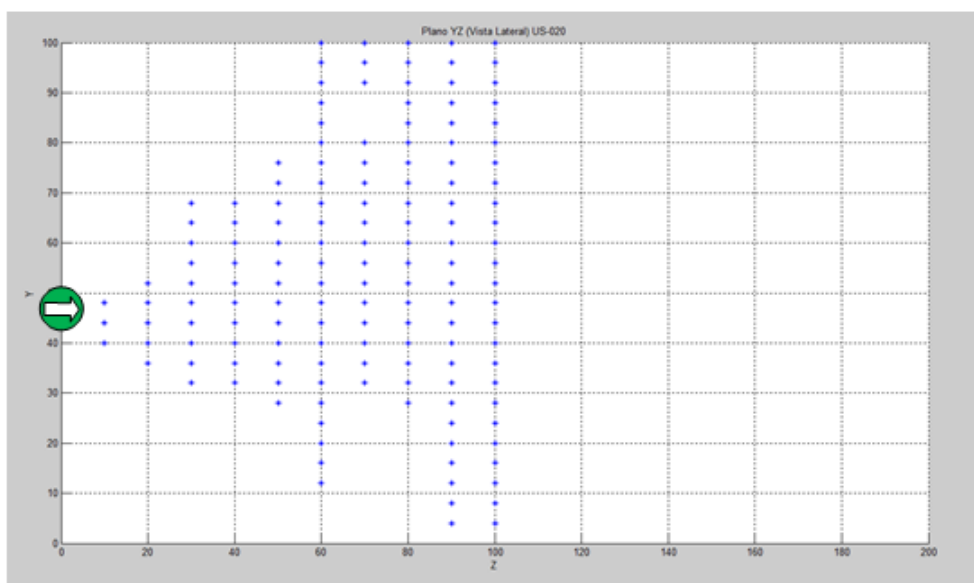


Figura 25 – Vista lateral do campo de atuação do sensor US-020 (em cm)

é incomparavelmente mais robusto que os anteriores, quando se trata da identificação de uma chapa quadrada de 40mm. Para melhor compreensão do campo de atuação mapeado, as Figs. 26, 25 e 26 apresentam as diferentes vistas do campo de atuação.

Os resultados apontam que o sensor US-020 tem uma capacidade de detecção superior aos demais sensores, sendo o mais indicado na composição do sistema ADS, uma vez que os limites de atuação podem ser determinados via programação.

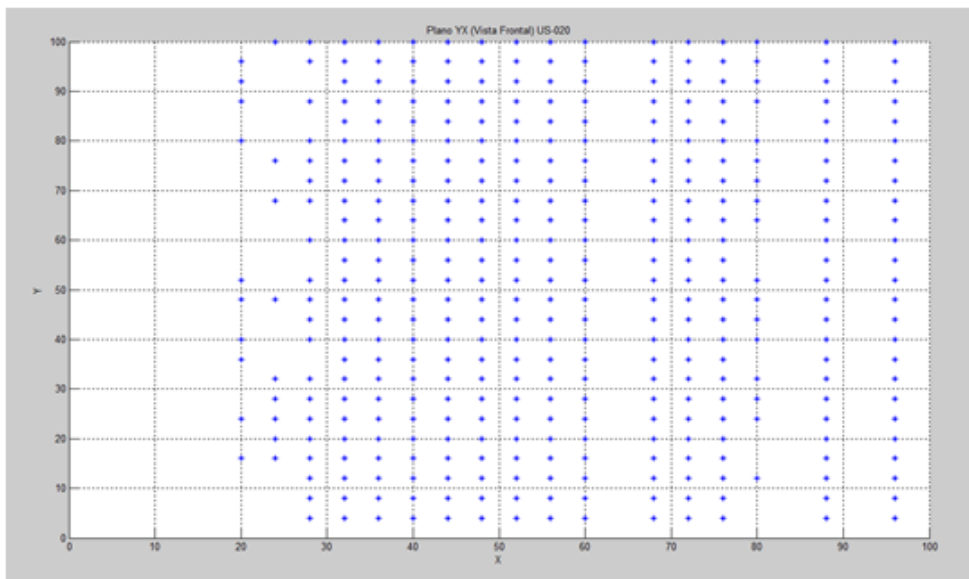


Figura 26 – Vista frontal do campo de atuação do sensor US-020 (em cm)

4.3 Definição do sensor

Baseado nos resultados obtidos através do mapeamento do campo de atuação dos sensores foi possível definir qual sensor utilizar no sistema de segurança. Em função da sua robustez, o sensor US-020 foi escolhido para compor esse sistema.

Antes da execução do experimento, a única informação que se tinha sobre a atuação dos sensores, era quanto ao alcance máximo, no entanto sem nenhuma garantia de que esse alcance fosse efetivo. Além disso, o formato do campo de atuação de cada um dos sensores não é apresentado em nenhum dos *datasheets*. Nem mesmo um gráfico contendo um plano horizontal dos limites de detecção é fornecido pelo fabricante. Uma vez que o sistema exige confiabilidade, o método de mapeamento precisou ser aplicado, atendendo assim a necessidade de definição de limites de atuação. Esse método se mostrou eficiente para definição do campo acústico de sensores de baixo custo.

Em função da curta distância de atuação, menos de 2000 mm, o sensor US-100, após ser submetido ao mapeamento foi desclassificado, não sendo capaz de equipar o sistema de auxílio à abertura de portas por atuar em uma limitada região. O sensor HC-SR04, por sua vez, apresenta um desempenho melhor que o US-100, contando com um campo de atuação de até 3000 mm, no entanto, devido à redução do campo de atuação, após 2500 mm, o mesmo foi desclassificado. Ou seja, a partir desse ponto, o resultado do mapeamento mostra uma nuvem de pontos com grande dispersão.

Por ser um sistema de segurança veicular, onde vidas estão envolvidas, o comportamento do campo de atuação, deve ser o mais homogêneo possível, não apresentando

um comportamento pulverizado. Em função disso, o sensor que melhor atendeu essa necessidade foi o US-020, o qual apresentou um campo de atuação maior que os limites da estrutura de mapeamento. Contudo, foi possível mapear até o décimo plano sem que o robô interferisse no resultado. Além disso, desde o primeiro plano mapeado, foi possível perceber que há mais pontos de detecção no campo acústico do US-020 do que nos demais.

Com o comportamento do campo de atuação superando os limites da estrutura, não foi possível identificar os limites de atuação do US-020, no entanto, na programação do sistema, foi inclusa uma restrição, de forma que o sistema considere válido o campo de atuação até 3000 mm, qualquer detecção superior a isso, deverá ser desprezada pelo mesmo. A definição desse limite de atuação contribui para que o sistema não se torne um transtorno para o usuário, emitindo alertas de perigo a todo momento que um objeto entrar no seu campo de detecção.

Sistema de Segurança Veicular ADS

O sistema ADS (*Avoiding Doored System*), assim nomeado devido à função que exerce de evitar colisões no momento da abertura da porta, foi desenvolvido com o intuito de fornecer uma segurança adicional aos usuários da via, emitindo alertas ao condutor, caso haja possibilidade de colisão.

5.1 Definições do Sistema

O sistema proposto nesse trabalho deve atender a alguns requisitos, dentre eles, é importante que não se torne um incômodo aos usuários, emitindo alertas por um longo período de tempo. Sugere-se então a inclusão de uma rotina ao sistema, que funcione com um temporizador, limitando a ação do ADS após um período de tempo. Por isso, é importante que o sistema seja acionado ao destravar da porta, e permaneça em funcionamento por tempo suficiente para que o motorista deixe o veículo. Esse tempo não deve gerar incômodo aos usuários do veículo, principalmente a passageiros que tenham permanecido dentro do veículo. As necessidades do ADS foram definidas utilizando como referência os demais sistemas de segurança citados nesse trabalho, seus modos de operação e atuação.

O ADS deverá ser conectado à bateria do veículo, a qual irá prover corrente elétrica para funcionamento do mesmo. Além disso, o sistema deverá conter uma chave comutadora, que venha energizar o ADS no momento em que a trava unlock da porta for acionada. Naturalmente, entende-se que, naturalmente, ao destravar a porta do veículo a próxima ação seja abrir a mesma para descer do mesmo. Dessa forma, enquanto a porta do veículo estiver travada, o sistema permanecerá ocioso. Quando a mesma for destravada, o ADS entrará em atuação.

Para que o sistema não permaneça ativado durante todo o período em que o freio de mão estiver acionado, a rotina de tempo deverá cancelar a atuação do ADS

após 60 segundos, dessa forma, o sistema entrará novamente em atuação na próxima vez em que o freio de mão for acionado. Para o desenvolvimento desse sistema, foi utilizado o microcontrolador Arduino em função da facilidade de programação que o mesmo apresenta, além do seu baixo custo, se apresentando como uma boa opção para prototipagem e testes do ADS. No entanto, é possível definir um microcontrolador que efetue a mesma função do Arduino, recebendo alimentação da bateria do veículo e entrando em funcionamento quando a porta for destravada, executando a leitura de potenciais riscos, emitindo alertas e desligando após o período definido.

Sugere-se ainda, a utilização do sistema interligado com o sistema de travamento da porta do veículo, sendo que, ao ser destravada a porta, o ADS entre em funcionamento, efetuando a varredura do espaço de risco. Caso o sistema detecte alguma possibilidade de colisão, antes que a maçaneta interna da porta seja acionada, o sistema de travamento deve ser acionado, mantendo a porta fechada, impedindo assim a descida do condutor em um momento de risco. Após o momento de risco, sugere-se que o usuário destrave novamente a porta para a descida, ou até mesmo para confirmação de que não há risco, impedindo o sistema de travamento de atuar. Dessa forma, o usuário conseguiria abrir a porta do veículo, o que lhe induziria a um maior cuidado na ação.

Esse trabalho não visa desenvolver a funcionalidade de integração entre o ADS e o sistema de travamento da porta do veículo, uma vez que atualmente existe uma gama considerável de travas.

5.2 Circuito Elétrico do ADS

Para desenvolvimento do sistema ADS, foi utilizado o software gratuito Fritzing, o qual permite desenhar *lay-out* de sistemas elétricos, conforme a Fig. 27, que apresenta todos os componentes do sistema proposto.

O diagrama do circuito elétrico do ADS pode ser melhor entendido detalhando-se de cada componente do sistema, descritos a seguir:

1 – Arduino: componente responsável por controlar o sistema, alimentando todo o circuito. Há comutação de dados entre o Arduino e o sensor, além de envio de sinais ao buzzer e ao LED. Esse microcontrolador possui toda a programação necessária para o correto funcionamento do sistema de detecção via sensor ultrassônico.

2 – Sensor Ultrassônico: O sensor utilizado possui quatro conexões:

VCC: pino por onde o sensor é alimentado com uma tensão de 5V;

TRIG: pino de gatilho, por onde é solicitada a leitura do sensor;

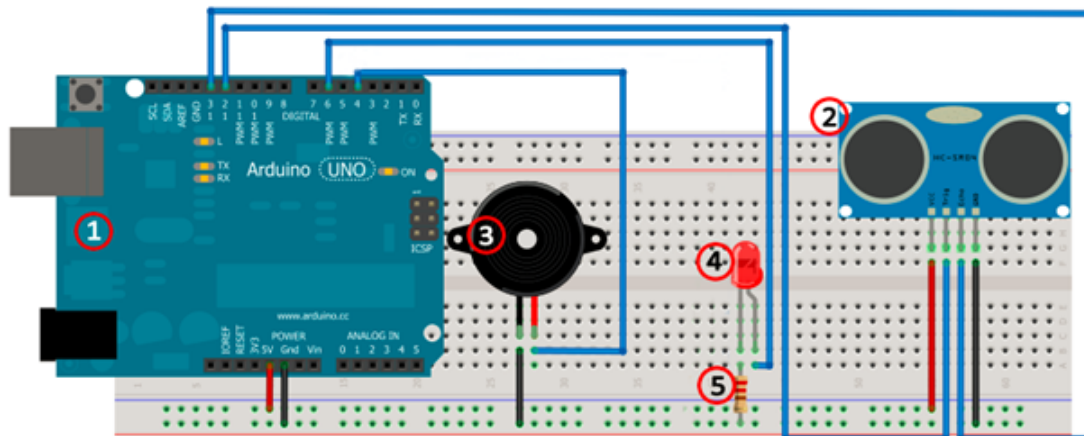


Figura 27 – Diagrama do sistema desenvolvido

ECHO: pino por onde são disponibilizadas as informações referente a leitura do sensor. Esse pino traz informações sobre as ondas sonoras rebatidas;

GND: pino terra, por onde eventuais cargas são dissipadas.

O sensor permanece ligado à saída do Arduino, que oferece uma tensão de 5V. Os pinos TRIG e ECHO estão conectados nas portas 12 e 13, respectivamente. O pino GND está conectado na saída *ground* (terra) do Arduino. Os termos GND ou GRD são utilizados para indicar o terra elétrico, e vêm da palavra *ground*, terra, em inglês.

3 – Buzzer: como uma sirene, esse componente permanece com o pino positivo conectado à saída da porta 4 do Arduino, o qual fornece sinal elétrico quando o sensor detecta a presença de algum corpo no campo de atuação. Esse sinal elétrico é convertido em sinal sonoro ao passar pela sirene, alertando sobre a detecção. O segundo pino do *buzzer* é um pino terra e está conectado ao *ground* do Arduino.

4 – LED: O quarto componente do diagrama é um LED (em português um Diodo Emissor de Luz), o qual é conectado pelo pino positivo à porta 6 do Arduino, a qual emite sinal elétrico quando o sensor detecta invasão no campo de atuação. Ao passar pelo LED o sinal elétrico é convertido em luminoso, alertando sobre a detecção.

5 – Resistor: O último componente do circuito, conectado ao LED, é um resistor, que é um componente que oferece resistência à passagem de corrente elétrica, adequando-a à capacidade de corrente do LED.

Em adicional, a Fig. 28 apresenta o esquema elétrico do ADS, considerando a utilização do Arduino. Nesse esquema é possível visualizar o microcontrolador ligado a uma fonte (V_1) de 12 Volts, que irá fornecer alimentação para todo o circuito. O sensor ultrassônico (S_1), permanece ligado às portas 12 e 13, por onde as leituras são

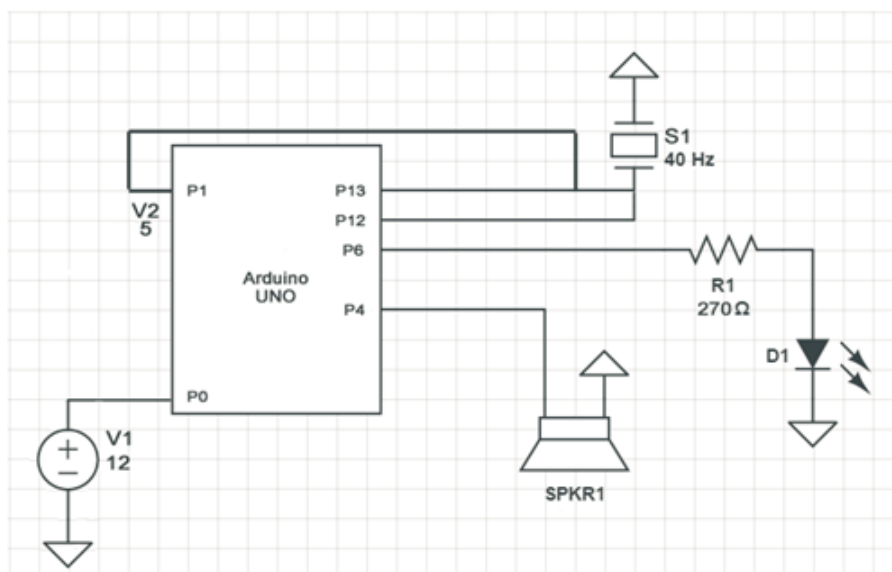


Figura 28 – Esquema elétrico do ADS

solicitadas e os resultados recebidos, além de estar conectado a P1, por onde recebe alimentação de 5V, mantendo o sensor energizado. Por fim, o mesmo está ligado ao terra (GND).

Quanto ao LED, utilizado como alerta visual, uma resistor de 270 Ohms foi incluso para limitar a corrente elétrica na entrada deste, a qual depois de mensurada com o um multímetro, ficou em 18,5 mA. O LED permanece conectado à porta 2 e também ao terra (GND), para correto funcionamento.

O *buzzer* (SPKR1), está conectado diretamente a porta 4 e com a saída para o terra (GND), o qual entra em atuação após o sensor detectar algum objeto dentro do seu campo de atuação.

5.2.1 Programação do Sistema ADS

Após definição do sensor a ser utilizado, bem como estudo do melhor posicionamento no veículo, a programação do Arduino de modo que este controle os demais dispositivos do sistema, foi desenvolvida. A linguagem utilizada pelo Arduino é própria, no entanto está baseada na linguagem de programação C (McROBERTS, 2011). No Anexo 1 é possível visualizar o código utilizado pelo sistema ADS, onde a leitura do sistema se repete a cada 5 milissegundos, emitindo alertas caso algum corpo entre no campo de atuação, desde que este seja menor que três metros e a proximidade esteja aumentando.

O fluxograma apresentado na Fig. 29 apresenta o modo de funcionamento do

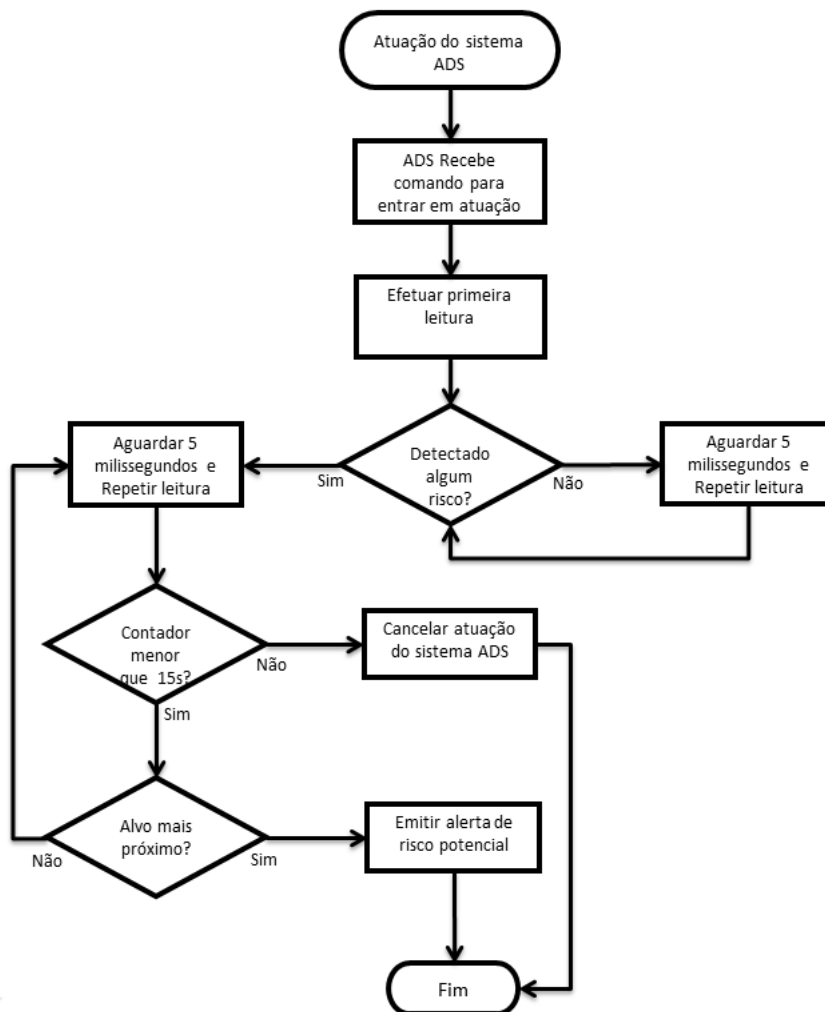


Figura 29 – Fluxograma do funcionamento do sistema ADS

sistema ADS. Neste, é possível compreender a rotina executada pelo mesmo, bem como o tempo em que permanece em funcionamento e espera para uma nova leitura.

De acordo com o fluxograma, o sistema ADS trabalha sempre considerando duas leituras, efetuando uma comparação entre elas. Quando a distância da segunda leitura for menor que a obtida na primeira, prova que o objeto detectado está em deslocamento e se aproximando do sensor, o que oferece risco em caso de abertura da porta. Para este caso o sistema emite alertas ao usuário. Por outro lado, quando as distâncias são similares (considerando uma tolerância de 200 mm), o sistema não entra em atuação.

5.2.2 Invólucro para Acondicionamento do Sensor

Para realização dos testes, um invólucro (case) foi projetado e confeccionado para acomodação do sensor, fios e da *protoboard*, que é uma matriz de contatos para ligação de sensores eletrônicos e construção experimental de circuitos.

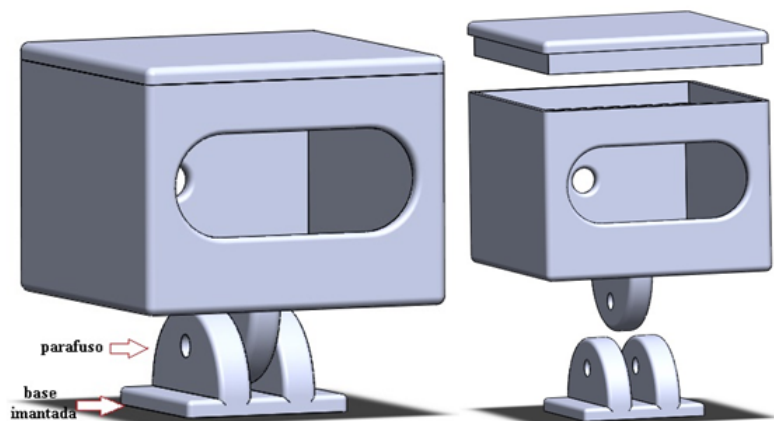


Figura 30 – Case para acoplamento do sensor: montado e vista explodida

A Fig. 30 apresenta esse case, que é utilizado para fixação do sensor na lateral esquerda do veículo. Ele possui uma base imantada, para facilitar a fixação à carroceria do veículo. O corpo que acondiciona a *proto-board*, contém uma abertura frontal, onde os dois canhões do sensor ultrassônico estão posicionados, direcionando seu campo de atuação, conforme disposição do case. A base e o corpo do case são conectados por um parafuso e borboletas que permitem variação angular do ADS em relação à carroceria do veículo, proporcionando liberdade à determinação do melhor ângulo de ação do sensor. Existe ainda uma tampa para o corpo do case que finaliza a configuração física do protótipo. Estas peças foram impressas em impressora 3D, utilizando plástico PLA, muito comuns em sistemas de prototipagem rápida.

Além disso, os fios, acoplados à *proto-board* dentro do case, são conduzidos para o interior do veículo utilizando cabo CAT5, onde o microcontrolador Arduino, o *buzzer*, o LED, e o *notebook* completam o ADS, possibilitando seu funcionamento. Contudo, estes componentes externos ao case, podem ser substituídos por um circuito integrado e acoplado aos componentes elétricos do veículo.

A Fig. 31 mostra uma versão do protótipo elaborado para o ADS. Neste, tanto o *buzzer*, quanto o LED foram incluídos dentro do case para validação do posicionamento externo do carro. Além disso, as placas imantadas foram fixadas à base do case, proporcionando aderência do sistema ao veículo.

5.3 Custos do Sistema

A proposta inicial desse projeto foi de que o sistema a ser desenvolvido atendesse ao critério de baixo custo. O orçamento dos componentes do sistema ficou em aproximadamente R\$ 100 reais, considerando o microcontrolador Arduino, o *buzzer*, o

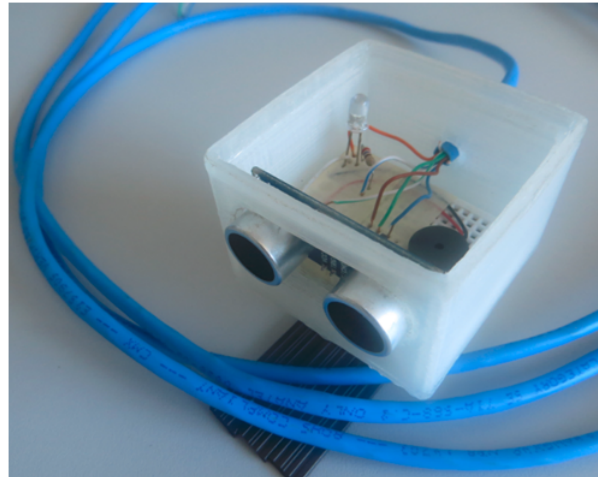


Figura 31 – Protótipo ADS

sensor ultrassônico, o LED, a *protoboard* e o cabo CAT5. O case foi impresso em uma impressora 3D, porém o custo do material utilizado não ultrapassa os R\$ 30 reais, podendo ser substituído por outro tipo de acoplamento ou incluindo o sensor diretamente no veículo.

De acordo com Bertoldi (2011) e Mirus *et al.* (2012), a crescente demanda da indústria automotiva por soluções de segurança a baixo custo é um desafio para os desenvolvedores, principalmente pela necessidade de produtos de qualidade e confiabilidade. A proposta desse trabalho atende à necessidade de custo reduzido, principalmente para uma produção em massa, onde o valor dos componentes, possivelmente, seria ainda mais reduzido.

5.4 Recomendações Adicionais para o Sistema

O sistema ADS, apresentado neste trabalho pode contribuir para preservação da vida no trânsito, no entanto, não dispensa a necessidade de atenção dos condutores. Em momento nenhum pode-se substituir o cuidado que motoristas devem dispensar ao descer do veículo, bem como os demais condutores, ao trafegarem nas proximidades de veículos estacionados.

6. Avaliação Experimental do ADS em Testes em Pista

6.1 Determinação do Posicionamento do Sensor

Para validação do correto posicionamento do sensor no veículo, de maneira que a sua área de atuação cubra toda a região de perigo, lateralmente à porta do motorista, foi necessário o desenvolvimento e a aplicação de um segundo experimento, o de velocidade em pista, para avaliar o comportamento do sensor em função da aproximação de veículos. Além disso, esse experimento contribui para a validação do funcionamento de sensores de baixo custo, aplicados nessa situação.

Estudos como o desenvolvido por Mirus *et al.* (2012), utilizam sensores ultrasônicos para detecção de veículos em alta velocidade, o qual se tornou um motivador para a problemática tratada neste trabalho. Em suma, o experimento elaborado foi realizado utilizando dois veículos, um instrumentado com o sistema proposto para identificação de potenciais de risco na lateral do veículo, em virtude de abertura da porta, e um segundo veículo, que se desloca na região lateral ao veículo instrumentado. Esse segundo veículo deverá deslocar paralelamente ao veículo estacionado, passando na região coberta pelo sistema, de forma que se obtenha a correta distância em que o sistema entrou em atuação.

Para garantir a correta velocidade, o segundo veículo fez uso de um controlador de velocidade, o que torna possível identificar a faixa de velocidade em que o ADS consegue captar a presença de um veículo e transmitir o aviso ao motorista.

Os resultados foram gravados por uma câmera, possibilitando analisar o posicionamento do veículo e o momento em que o sistema entra em atuação, onde tanto os sinais sonoros quanto luminosos serão acionados.

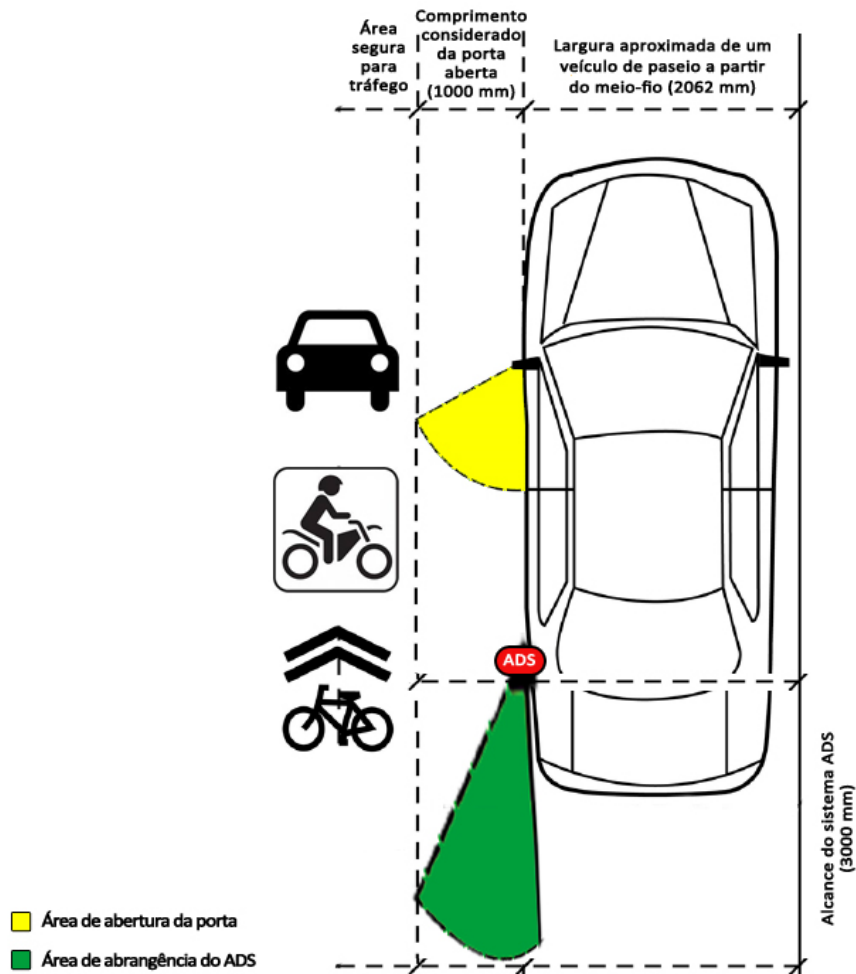


Figura 32 – Área de cobertura do sistema ADS

Após a execução do primeiro experimento citado, bem como a definição do sensor a ser utilizado, foi sugerida uma posição inicial para o ADS, limitando a atuação do sistema para detecções menores que 3000 mm, distância essa que cobre a área considerada de risco. Conforme pode ser observado na Fig. 32, o comprimento médio da porta de veículos de passeio foi adotado como 1000 mm, e conseqüentemente essa foi a área definida como de risco. Distâncias maiores que esta, paralelamente ao veículo, foram consideradas seguras para tráfego.

A Fig. 32 apresenta, por meio de uma vista superior, a área de cobertura do sistema ADS, a abrangência da porta do veículo e as distâncias consideradas como seguras para preservação da vida no trânsito. A região de abrangência do sistema ADS tem um alcance de 3000 mm e 1000 mm de alcance lateral, conforme área verde da Fig. 32. Essa área foi obtida de forma experimental, através do posicionamento de um objeto na lateral do veículo, onde foi possível verificar que o campo de atuação a

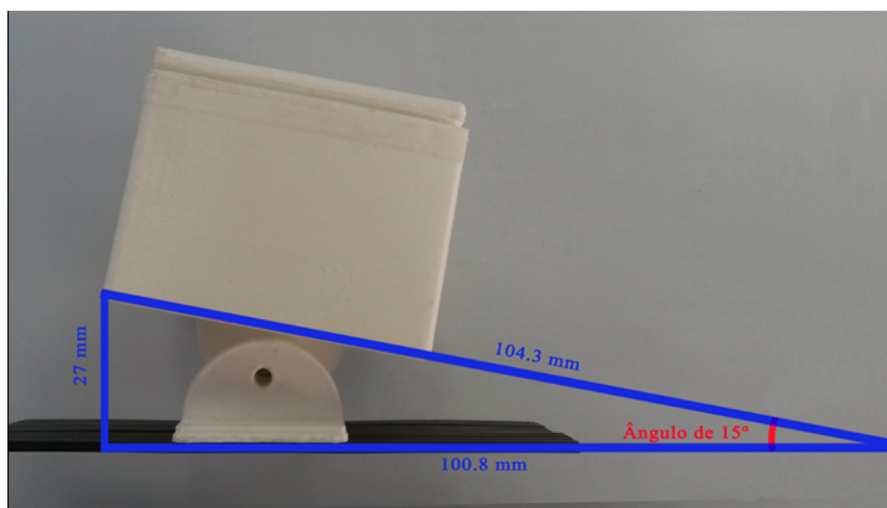


Figura 33 – Ângulo de posicionamento do ADS no veículo

3000 mm de distância, cobria a largura considerada de risco na lateral do veículo. Sua abrangência cobre a região definida como de risco, sendo 1000 mm na lateral do veículo, devido ao espaço médio coberto pela porta ao ser aberta, conforme representação em amarelo.

A partir dos 1000 mm na lateral do veículo, encontra-se a região segura para tráfego, onde mesmo que uma porta seja aberta, não há risco de colisão.

Para aplicação do teste em pista, o sistema foi posicionado na lateral do veículo a uma altura de 900 mm em relação ao solo, fixado através de lâminas imantadas, que compõem a base do case, conforme Fig. 33.

6.1.1 Resultados do Sistema ADS em Pista

Para validação do sistema desenvolvido, testes experimentais fizeram-se necessários, para validar a funcionalidade do sistema de segurança em situações reais. Os testes em pista foram realizados considerando um veículo estacionado, fazendo uso do ADS e outro em deslocamento, passando lateralmente ao veículo estacionado. Esses testes simulam a rotina diária de condutores de veículos no trânsito, onde ao estacionar, outros veículos trafegam nas proximidades laterais do mesmo.

O experimento foi realizado utilizando-se um veículo instrumentado com o ADS, o qual faz uso do sensor ultrassônico US020, conectado ao microcontrolador Arduino, que requisita leitura do sensor e processa os resultados. Uma vez detectada a entrada de algum objeto no campo de atuação, de forma progressiva, aumentando a proximidade, o sistema trava a porta do veículo e dispara um aviso sonoro e luminoso ao condutor, para que o mesmo recobre sua atenção antes de abrir a porta do veículo.



Figura 34 – Veículo estacionado com porta aberta, cobrindo área de risco

Para o teste em questão, o sistema ADS permaneceu conectado a um notebook, utilizando-o apenas como fonte de alimentação e não para armazenagem das distâncias detectadas pelo sensor, uma vez que o intuito do experimento era averiguar o posicionamento real do veículo em deslocamento, em relação ao estacionado.

O segundo veículo designado para o teste, foi responsável por se deslocar na lateral do veículo estacionado em velocidade constante. Para obtenção dessa velocidade, o veículo utilizado foi um Fluence, ano 2012, da fabricante Renault, o qual possui a funcionalidade piloto automático, que permite configurar uma velocidade constante no veículo. Dessa forma, o veículo passou dentro do campo de atuação do ADS, na lateral do veículo estacionado, em três velocidades distintas, 8,33m/s, 11,11m/s e 13,89m/s.

As velocidades escolhidas para o teste foram definidas com base no artigo 61 do CTB, de acordo com as velocidades permitidas por tipo de via, sendo 8,33 m/s em vias locais, 11,11 m/s vias coletoras e 13,89 m/s em outras vias.

Para cada velocidade estabelecida, dez voltas foram executadas, sendo possível assim, obter uma média da distância de atuação do sistema, frente a uma situação real.

Quanto ao veículo instrumentado com o ADS, um Punto, ano 2012, da fabricante FIAT, o mesmo foi estacionado dentro de uma área controlada, sendo posicionado a 1000 mm em relação a faixa central da pista, distância essa, configurada de risco, pois a abertura total da porta do mesmo ocupa esse espaço, conforme Fig. 34.

Considerando que veículos leves, motocicletas, automóveis, utilitários e caminhonetes correspondem à maioria dos veículos no trânsito, principalmente urbano, bem como o estudo desenvolvido por Pein (2010), que sugere o comprimento médio de 900 mm para portas de veículos, foi considerado para este estudo como área de risco a ser



Figura 35 – Veículo instrumentado com o ADS posicionado para os testes

coberta pelo sensor, a distância lateral de 1000 mm, conforme Fig. 32.

Durante a execução dos testes, o veículo em deslocamento deveria passar pela lateral do veículo estacionado, dentro da área risco. Para confirmação dessa passagem dentro da área definida, foi utilizada uma marcação lateral na pista, a 1000 mm em relação ao veículo. Testes foram realizados para averiguar se um veículo transitando fora da faixa de risco seria detectado pelo sensor, os resultados apontaram que não, ou seja, fora da área de risco, o sistema não entra em atuação.

O sensor utilizado no ADS, o US020, tem uma distância de atuação de aproximadamente 7000 mm, conforme especificação técnica. Em função do campo de atuação mais robusto, ao ser comparado com os demais, o sensor foi escolhido, no entanto, como o alcance se mostrou maior que o necessário, o que poderia causar incômodos ao motorista no trânsito, a programação do ADS limitou o acionamento do sistema para distâncias menores que 3000 mm. Ou seja, o sistema foi configurado para que desprezasse as leituras do sensor acima de 3000 mm, impedindo assim que o sistema atuasse em distâncias maiores que essa. Quando o sistema detectar algum objeto a uma distância menor que 3000 mm, aproximando, o mesmo emitirá alertas ao condutor.

Para identificação da distância em que um veículo é detectado pelo sistema ADS, faixas foram pintadas na pista, iniciando na posição em que o sensor ultrassônico está instalado, considerada como origem, até 3000, graduada a cada 500 mm, conforme mostra a Fig. 35. Dessa forma, com a aproximação do veículo em deslocamento é possível, verificar a posição em que o mesmo se encontra no momento da atuação do sistema e avaliar se o tempo de resposta do ADS é satisfatório, atendendo ao quesito segurança.



Figura 36 – Bancada para avaliação dos testes em pista

Para validação do funcionamento do sistema, uma câmera (Canon SX260 HS, de 12.1 Megapixels) foi posicionada atrás do veículo estacionado, sendo responsável pela captura de vídeos a cada passagem do veículo em deslocamento pelo campo de atuação do sensor. Dessa forma, as marcações na pista possibilitaram a identificação da distância na qual o sistema entrou em atuação. Para averiguar o momento em que o sistema detecta a entrada do veículo no campo de abrangência do ADS, um LED foi posicionado no canto inferior da câmera, assim, quando o sistema entra em atuação, o LED é acionado. Com isso, é possível, ao visualizar o vídeo em câmera lenta (*slow motion*) de cada teste, e quadro a quadro identificar o momento de acendimento do LED, indicando que o sistema detectou uma possibilidade de colisão.

Com as marcações estabelecidas na pista, é possível, através de uma leitura quadro a quadro dos vídeos, observar a distância em que o veículo se encontra, em relação ao sensor ultrassônico, possibilitando uma estimativa de resposta do sistema nas distintas velocidades.

Além da câmera, posicionada frente às marcações na pista, na Fig. 36, é possível visualizar também o microcontrolador Arduino, que é ligado ao sensor, posicionado na lateral do veículo. Um *notebook*, Lenovo, com processador Intel Core 2 Duo, com memória de 3GB e sistema operacional Windows 7, também faz parte do aparato experimental, sendo responsável por manter o sistema em funcionamento.

Durante a execução dos testes, a temperatura ambiente registrada, girou em torno de 35 graus Celsius. Testes não foram aplicados considerando outros meios de transporte, como por exemplo, bicicleta ou motocicleta, o fator principal diz respeito

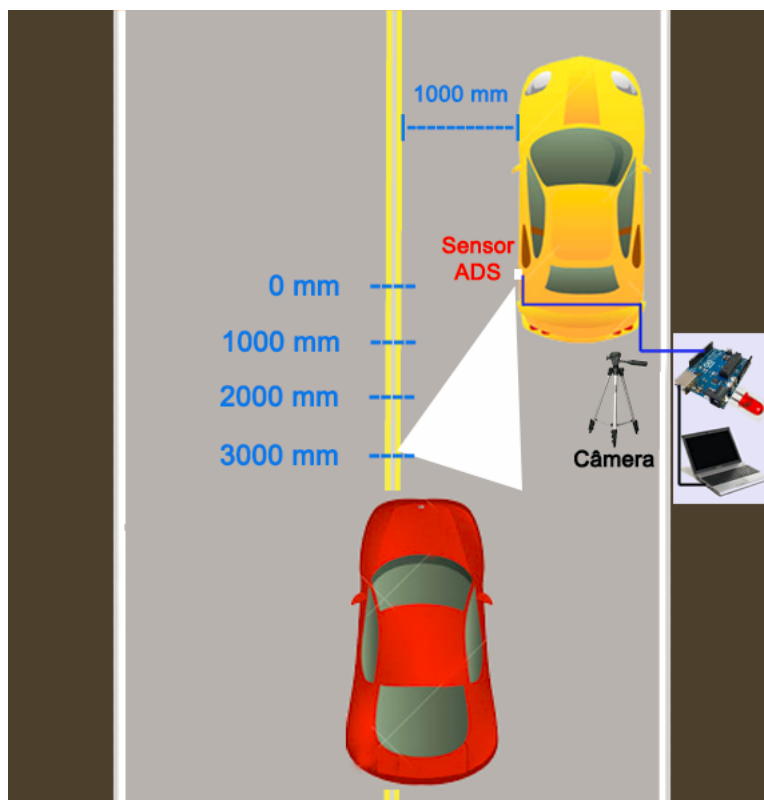


Figura 37 – Diagrama do Teste Experimental

à dificuldade em estabelecer velocidades constantes para esses veículos.

O diagrama da Fig. 37 apresenta o posicionamento de todos os componentes utilizados para a execução do teste experimental, sendo possível compreender a disposição dos veículos e o local onde o veículo em deslocamento deveria transitar. Na figura, o veículo amarelo faz uso do ADS, enquanto o vermelho executa o percurso dentro do campo de atuação do sistema.

Os resultados obtidos no experimento realizado, principalmente em função da velocidade, podem não ser suficientes para determinar com exatidão milimétrica o posicionamento do veículo em deslocamento, no entanto, é possível confirmar que ao adentrar no campo de atuação do sensor ultrassônico, o tempo de resposta do sistema mostrou-se satisfatório. Através da análise das imagens obtidas ao longo dos testes, é possível perceber que o tempo de resposta do sistema, que está baseado na emissão de ondas acústicas, retorno destas, processamento dos resultados e emissão do aviso sonoro/luminoso, ocorre em frações de segundo.

Adotando a escala métrica da Fig. 38 para posicionamento do veículo é possível determinar a distância em que o sistema consegue detectar o veículo em deslocamento.

Ao considerar a velocidade de 8,33 m/s no percurso estipulado para os testes,

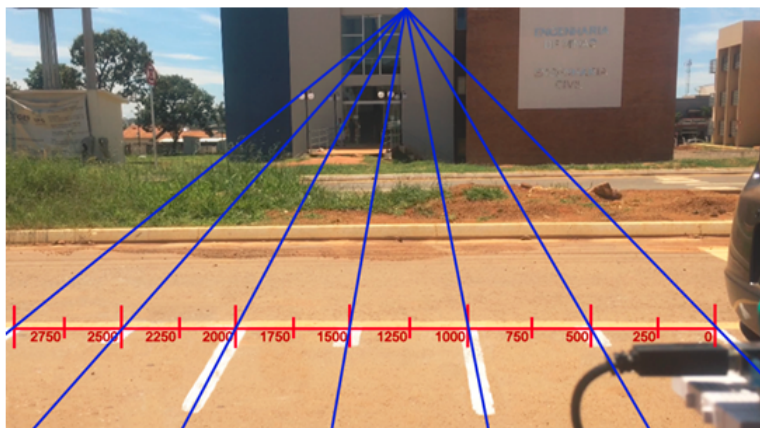


Figura 38 – Escala métrica para determinação da posição do veículo

Tabela 1 – Resultados obtidos no teste de pista a 8,33 m/s

Percurso	Distância (mm)
Volta 1	2250
Volta 2	2000
Volta 3	2250
Volta 4	2000
Volta 5	2000
Volta 6	2000
Volta 7	2250
Volta 8	2250
Volta 9	2000
Volta 10	2250
Distância Média	2125

o ADS identificou a entrada do veículo em deslocamento no seu campo de atuação em todas as dez voltas realizadas. Os resultados obtidos em cada volta podem ser observados na Tab. 1, e dizem respeito à distância de detecção do veículo em relação ao sensor, instalado na lateral do veículo estacionado.

Dessa forma, a distância média em que o sistema detecta a presença do veículo, se deslocando a 8,33 m/s é de 2125 mm. A Fig. 39 apresenta uma volta do teste, sendo possível visualizar o exato momento em que o ADS entra em atuação. Na imagem à esquerda, ao adentrar no campo de atuação, em aproximadamente 2500 mm, o sistema não conseguiu identificar a presença do veículo, uma vez que o LED (localizado ao canto inferior direito) não foi ativado. Já na imagem à direita, referente à mesma volta, em poucos milímetros após a primeira imagem, em cerca de 2250 mm (em relação ao sensor), o LED está aceso, informando que o sistema detectou uma invasão no seu



Figura 39 – Momento em que o sistema entra em atuação a 8,33 m/s

Tabela 2 – Resultados obtidos no teste de pista a 11,11 m/s

Percurso	Distância (mm)
Volta 1	2000
Volta 2	2000
Volta 3	2000
Volta 4	2000
Volta 5	2000
Volta 6	2000
Volta 7	1500
Volta 8	2000
Volta 9	2000
Volta 10	2000
Distância Média	1950

campo de atuação.

Ao considerar a velocidade de 11,11 m/s no percurso estipulado para os testes, o ADS identificou a entrada do veículo em deslocamento no seu campo de atuação em todas as dez voltas realizadas. Os resultados obtidos em cada volta podem ser observados na Tab. 2, e dizem respeito à distância do veículo em relação ao sensor, instalado na lateral do veículo.

Dessa forma, a distância média em que o sistema detecta a presença do veículo, se deslocando a 11,11 m/s é de 1195 mm. A Fig. 40 apresenta uma volta do teste, sendo possível visualizar o exato momento em que o ADS entra em atuação. Na imagem à esquerda, ao adentrar no campo de atuação, em aproximadamente 2500 mm, o sistema não conseguiu identificar a presença do veículo, uma vez que o LED (localizado ao canto inferior direito) não foi ativado. Já na imagem à direita, referente à mesma volta, em poucos milímetros após a primeira imagem, em cerca de 2000 mm (em relação ao sensor), o LED está ligado, informando que o sistema detectou uma invasão ao campo de atuação do sistema.



Figura 40 – Momento em que o sistema entra em atuação a 11,11 m/s

Tabela 3 – Resultados obtidos no teste de pista a 13,89 m/s

Percurso	Distância (mm)
Volta 1	1500
Volta 2	1500
Volta 3	1500
Volta 4	1500
Volta 5	2000
Volta 6	2000
Volta 7	2000
Volta 8	1500
Volta 9	1500
Volta 10	1500
Distância Média	1650

Ao considerar a velocidade de 13,89 m/s no percurso estipulado para os testes, o ADS identificou a entrada do veículo em deslocamento no seu campo de atuação em todas as dez voltas realizadas. Os resultados obtidos em cada volta podem ser observados na Tab. 3, e dizem respeito à distância do veículo em relação ao sensor, instalado na lateral do veículo.

Dessa forma, a distância média em que o sistema detecta a presença do veículo, se deslocando a 13,89 m/s é de 1650 mm. A Fig. 41 apresenta uma volta do teste, sendo possível visualizar o exato momento em que o ADS atua. Na imagem à esquerda, ao adentrar no campo de atuação, em aproximadamente 1750 mm, o sistema não conseguiu identificar a presença do veículo, uma vez que o LED (localizado ao canto inferior direito) não foi ativado. Já na imagem à direita, referente à mesma volta, em poucos milímetros após a primeira imagem, em cerca de 1500 mm (em relação ao sensor), o LED está aceso, informando que o sistema detectou um objeto e entrou em atuação.

Por fim, os resultados se mostraram promissores, uma vez que não houve falha



Figura 41 – Momento em que o sistema entra em atuação a 13,89 m/s

na detecção do veículo em deslocamento em nenhuma das voltas. Nas três velocidades consideradas, o ADS apresentou bom desempenho.

6.2 Análise Matemática

Estabelecendo uma análise matemática das variáveis obtidas no teste em pista, é possível estimar o comportamento do sistema em diferentes velocidades, bem como, avaliar a velocidade máxima em que o sistema consegue detectar um veículo se deslocando lateralmente.

Através dos resultados obtidos no teste de velocidade, é possível avaliar o tempo de resposta do ADS. Através deste tempo de processamento, é possível identificar o tempo que será gasto pelo veículo em movimento, até eventualmente atingir a porta aberta do veículo estacionado. Uma vez que a distância para o impacto é conhecida, utilizando a Eq. (2), basta considerar os valores obtidos no experimento para definir o limite de velocidade que o sistema consegue detectar um veículo em deslocamento.

$$v = \frac{d}{t} \quad (2)$$

Na equação, de acordo com Júnior, Ferraro e Soares (2009), v representa a velocidade, d , a distância e t o tempo. A Fig. 42 exibe uma representação das variáveis e fórmulas utilizadas para essa análise.

Na representação, o início da porta foi adotada como o ponto de impacto, que é representado por P_i , que está a 1000 mm de distância de P_s , que representa o posicionamento do sensor. A sigla P_d representa o ponto de detecção do sensor, ou seja, momento em que o ADS emite alerta ao usuário, informando objeto detectado no seu campo de atuação. Esse momento varia em função da velocidade do veículo em deslocamento, quanto maior a aceleração, maior a distância percorrida dentro do campo do sensor, sem que o sistema emita o alerta. A posição final sensoriada, representado por P_f , refere-se ao limite de abrangência do sensor ultrassônico.

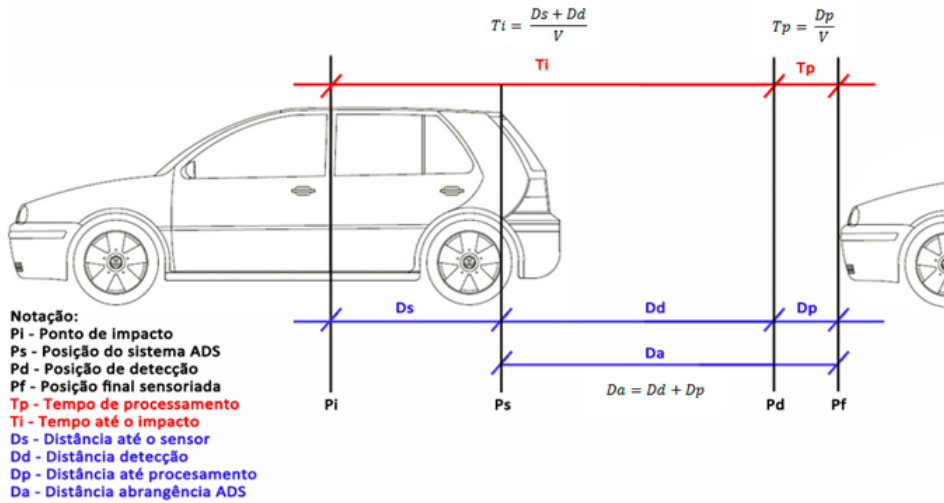


Figura 42 – Representação matemática

Através da definição desses pontos é possível determinar a distância entre cada um deles, sendo que Ds representa a distância entre o ponto de impacto e o sensor, neste estudo, 1000 mm. A distância de abrangência (Da) do sensor pode ser obtida através da soma entre a distância de detecção (Dd) e a distância percorrida até o processamento do sistema (Dp), conforme Eq. (3).

$$Da = Dd + Dp \quad (3)$$

Com isso, é possível obter o tempo de processamento (Tp) gasto pelo sistema em cada uma das velocidades avaliadas, sendo que o deslocamento é sempre constante. O resultado pode ser constatado pela Eq. (4), onde os valores de Dp (distância percorrida até o processamento) foram obtidos através do segundo experimento.

$$Tp = \frac{Dp}{V} \quad (4)$$

O tempo de impacto (Ti) é obtido pela distância entre o sensor e a porta juntamente com a distância em que o sistema pôde detectar o veículo em deslocamento, dividido pela velocidade do mesmo, conforme Eq. (5).

$$Ti = \frac{Ds + Dd}{V} \quad (5)$$

Dessa forma, considerando os parâmetros obtidos nos testes, para a velocidade constante de 8,33 metros por segundo:

$$V1 = \frac{dp}{tp}$$

$$8,33 = \frac{0,875}{tp}$$

$$tp = 0,105ms$$

De acordo com o experimento realizado em pista, a distância média percorrida pelo veículo até o processamento do sistema foi de 0,875 metros, o que leva a um tempo de processamento do sistema de 0,105 milissegundos.

Para a velocidade constante de 11,11 metros por segundo:

$$V2 = \frac{dp}{tp}$$

$$11,11 = \frac{1,05}{tp}$$

$$tp = 0,095ms$$

De acordo com o experimento realizado, a distância média percorrida pelo veículo até o processamento do sistema foi de 1,05 metros, o que leva a um tempo de processamento do sistema de 0,095 milissegundos. Para a velocidade constante de 13,84 metros por segundo:

$$V3 = \frac{dp}{tp}$$

$$13,84 = \frac{1,350}{tp}$$

$$tp = 0,097ms$$

De acordo com o experimento realizado, a distância média percorrida pelo veículo até o processamento do sistema foi de 1,350 metros, o que leva a um tempo de processamento do sistema de 0,097 milissegundos.

Percebe-se que o tempo de processamento médio do sistema, é de 0,099 milissegundos, tornando possível definir a velocidade máxima em que o sistema emite uma resposta a tempo de não colidir com a porta. Nessa análise, considerando o tempo médio de processamento do sistema, foi avaliada a velocidade máxima em que o veículo pode estar para que o ADS emita algum alerta, a tempo de evitar uma colisão.

Caso o tempo de processamento do ADS seja menor que o tempo gasto pelo veículo para entrar no campo de atuação do sensor e se deslocar até o ponto de impacto, entende-se que o sistema atende o requisito de segurança, emitindo alertas antes que o acidente possa ocorrer. Caso o tempo de processamento seja menor ou igual ao tempo gasto pelo veículo para percorrer o campo de atuação até o ponto de impacto, entende-se que o sistema, a essa determinada velocidade, não emite alertas satisfatórios.

Para determinação dessa velocidade foram utilizados os parâmetros obtidos ao longo dos testes, a saber:

$$V = \frac{Ds + Da - Dp_{m\u00e9dia}}{Tp_{m\u00e9dio}}$$

$$V = \frac{1 + 3 - 1,092}{0,099}$$

$$V = \frac{2,908}{0,099}$$

$$V = 29,37m/s$$

Onde, Ds é a distância até o sensor, aqui considerada como 1 metro; Da refere-se à distância de abrangência do sensor (3 metros), menos a distância média percorrida até o processamento do sistema. Com isso se obtém 2,908 metros, o qual dividido pelo tempo médio de processamento (0,099), resulta na velocidade máxima em que o sistema consegue emitir um alerta até o ponto de impacto, 29,37 metros por segundo.

Dessa forma, caso o veículo em deslocamento esteja em velocidade igual ou superior a 29,37 m/s, o sistema não será eficiente na detecção, pois o alerta será emitido no instante ou após o veículo ter alcançado o ponto de impacto.

Caso o tempo de processamento (Tp) seja maior ou igual ao tempo de impacto (Ti), o sistema não conseguirá emitir satisfatórios. É importante que o tempo de processamento seja maior que o tempo gasto desde a detecção até o ponto de impacto.

$$V = \frac{Ds + Dd - Dp_{m\u00e9dia}}{Tp_{m\u00e9dio}}$$

$$29,37 = \frac{2,908}{Tp}$$

$$Tp = 0,099m/s$$

Um veículo em velocidade de 29,37 metros por segundo entrará no campo de detecção do sensor e se deslocará até a região da porta (ponto de impacto) em 0,099 milissegundos, tempo esse igual ao tempo médio de processamento do sistema, o que sugere não ser seguro o suficiente.

Para que o sistema funcione corretamente, veículos em deslocamento devem estar em velocidades menores que 29,37 m/s, de modo que seja possível o sistema detectar, processar e emitir o sinal de alerta ao condutor, antes da abertura da porta.

Todos os cálculos aqui mencionados levam em consideração apenas a porta do motorista, para utilização do sistema de forma a oferecer segurança também aos passageiros, o sistema deveria ser replicado para o lado direito do veículo. Nesse aspecto,

considerando um veículo de quatro portas, a distância do sensor (Ds) em relação ao ponto de impacto (Pi), seria praticamente zero, pois o sensor estaria posicionado (Ps) no limite de abertura da porta traseira. Dessa forma, ao fazer uma análise matemática, considerando a distância média percorrida pelo veículo em cada velocidade, temos os seguintes resultados:

Para 8,33 m/s	Para 11,11 m/s	Para 13,89 m/s
$V = \frac{Ds+Dd-Dp}{Tp}$	$V = \frac{Ds+Dd-Dp}{Tp}$	$V = \frac{Ds+Dd-Dp}{Tp}$
$8,33 = \frac{0+3-0,875}{Tp}$	$11,11 = \frac{0+3-1,050}{Tp}$	$13,89 = \frac{0+3-1,350}{Tp}$
$Tp = \frac{2,126}{8,33}$	$Tp = \frac{1,950}{11,11}$	$Tp = \frac{1,650}{13,89}$
$Tp = 0,255$	$Tp = 0,176$	$Tp = 0,119$

Considerando o tempo de impacto de, 0,36 ms para a velocidade de 8,33 m/s, 0,27 ms para a velocidade de 11,11 m/s e 0,22 ms para a velocidade de 13,89 m/s, obtidos através da Eq. 5, juntamente com as análise dos cálculos, é possível avaliar que o sistema, sendo utilizado também para evitar colisão ao abrir as portas traseiras, é capaz de detecta invasão do campo de atuação, processar e emitir sinal de alerta antes que o veículo em deslocamento alcance o ponto de impacto (nesse caso a porta traseira).

O tempo de impacto para todos os casos permanece superior ao tempo de processamento do sistema, garantindo que o passageiro seja notificado a tempo de evitar uma colisão, ao considerar essas velocidades.

Conclusão

Com a elevação do número de mortes no trânsito campanhas vêm sendo implantadas ao redor do mundo, a fim de controlar esse mal, que dizima milhares de vida anualmente. Com isso, um leque de oportunidades de desenvolvimento surgem, demandando novas funcionalidades que contribuirão para a preservação da vida, que tem se tornado mais estressante a cada dia. Dentre os vários tipos de acidentes que ocorrem no trânsito, um muito específico denominado “*doored*”, tem se destacado. Ocorre basicamente quando um condutor, ou mesmo passageiro de um veículo, abre a porta de maneira descuidada, não se atentando para os que estão utilizando a via, ocasionando uma colisão entre o objeto móvel e a porta.

Devido a falta de atenção, cansaço, urgência e fatores similares, motoristas ao abrirem a porta de seus veículos têm exposto a vida de pessoas no trânsito. Ainda que a legislação resguarde o condutor ou passageiro como o responsável por essa ação, a vida de terceiros não deve permanecer sob os cuidados de uma pessoa. Dessa forma, novos sistemas de assistência ao motorista são necessários, os quais emitem alertas sobre possíveis colisões. O sistema ADS busca atender essa necessidade, evitando que os usuários do veículo abram a porta sem ao menos uma avaliação sobre a existência de veículos se aproximando da lateral do carro.

Os resultados obtidos no decorrer desse trabalho apontam para uma possível oportunidade de redução de acidentes envolvendo a abertura da porta do veículo, através de alertas emitidos ao usuário e travamento da porta. A pesquisa resultou no desenvolvimento de um modelo do sistema de segurança veicular ADS, o qual uma vez empregado pode contribuir para preservação da vida no trânsito, bem como redução de gastos hospitalares ou mesmo danos materiais.

Iniciando pela análise do comportamento dos sensores ultrassônicos, onde com o método de avaliação do campo acústico proposto, foi possível obter resultados satisfatórios quanto ao alcance dos sensores de baixo custo, além de uma estimativa

do seu campo de atuação. Nesta fase da pesquisa, o experimento pôde determinar o sensor mais adequado, capaz de equipar o sistema ADS, em detrimento de outros que foram rejeitados em função do alcance e dispersão do campo de atuação. Dessa forma, os resultados apontaram para a utilização do sensor US-020, cujo mapeamento não pode ser completamente realizado, uma vez que a estrutura desenvolvida para o experimento, não comportava totalmente seu campo acústico. Através da avaliação de posicionamento do mesmo no veículo, foi possível estabelecer um limite de atuação para o sensor, de modo que o sistema atue somente distâncias menores que 3000 mm. Assim, foi possível empregar o sensor ao sistema, varrendo aproximadamente 1000 mm lateralmente ao veículo com 3000 mm de alcance.

Foram concluídos também o desenvolvimento do circuito elétrico e invólucro de acomodação do sensor ultrassônico. Quanto ao circuito elétrico, os componentes foram discriminados ao longo do estudo, apresentando as informações elétricas pertinentes, tais como tensão, resistência e especificação de cada componente. O case foi desenhado e confeccionado em uma impressora 3D, utilizando o conceito de prototipagem rápida. Após montagem e ligação de todos os componentes do sistema, foi possível perceber um correto funcionamento do mesmo. Ao longo da pesquisa foram criados dois protótipos, um para validação do case e possibilidade de montagem do circuito, esse impresso em uma qualidade inferior, e o segundo em alta definição, para utilização final do desenvolvimento e aplicação de testes.

Em seguida foi concluída a programação utilizada pelo micro controlador Arduino, possibilitando o correto funcionamento do ADS. No decorrer da pesquisa, o sistema de detecção foi sendo gradativamente melhorado, passando a receber uma rotina para que emita alertas apenas quando identificar corpos em movimento e temporizador, para que execute leituras dentro de uma determinada faixa de tempo.

A aplicação do teste em pista, considerando o deslocamento de um veículo passando pelo campo de atuação do ADS em diferentes velocidades, também apresentou resultados muito relevantes para a pesquisa. Mesmo utilizando um sensor de baixo custo, em velocidades elevadas, o tempo necessário para identificação, processamento e emissão de alerta ao motorista foi satisfatório. A distância percorrida pelo veículo em deslocamento dentro do campo de atuação pôde ser estimada e contribuiu para identificação do tempo médio de processamento do sistema, o que permitiu avaliar a velocidade máxima em que o sistema consegue emitir resposta a tempo de evitar uma colisão.

A avaliação do sistema, realizada em pista, leva ao entendimento de que a posição ideal para uso do sistema seja na lateral esquerda do veículo, a 900 mm do solo e o mais distante possível da porta, na parte traseira, sempre com o campo de atuação

apontando para o fundo do veículo.

Percebe-se que dispositivos de segurança veicular estão ganhando espaço no mercado automobilístico e que um sistema para auxílio no momento da abertura da porta, contribuiria para a conservação da vida no trânsito, bem como minimizaria gastos com consertos. Tendo em vista essa oportunidade foi que o surgiu motivação para a busca por um sistema que atendesse essa necessidade.

Por fim, o sistema desenvolvido comportou-se conforme esperado, alertando o motorista sobre possíveis colisões antes que a ação de abertura da porta seja executada. Entre o destravamento da porta e o acionamento da maçaneta interna para sua abertura, o sensor, que faz leitura a cada cinco milissegundos, consegue varrer toda a área de abrangência, avaliando se existe algum corpo em deslocamento e emitir resposta ao usuário do ADS.

É importante ressaltar que o sistema não substitui, em momento algum, a atenção do ser humano que deve ser dispensada ao descer do veículo. O ADS foi desenvolvido como um auxílio para a preservação da vida, contribuindo em casos onde, por algum fator, a devida precaução não seja tomada.

7.1 **Trabalhos Futuros**

Quanto aos trabalhos futuros pretende-se avaliar o comportamento do sistema ADS em outras situações, como a de trânsito intenso ou mesmo congestionado. Pretende-se ainda aplicar o teste em pista utilizando como veículo invasor do campo de atuação, bicicletas e motocicletas.

A velocidade adotada em cada teste se manteve constante, espera-se também desenvolver uma metodologia para aplicação de testes em velocidades variáveis, considerando tanto aceleração como desaceleração. Há ainda intensão em se buscar componentes menores para equipar o ADS, a fim de se obter um sistema em escala reduzida, todavia preservando o baixo custo e robustez.

O trabalho foi desenvolvido considerando inicialmente, apenas a porta do motorista. Como a gama de veículos de quatro portas no país é considerável, espera-se estender o estudo para as demais portas do veículo.

Quanto ao desenvolvimento das funcionalidades necessárias para a integração do ADS com os sistemas eletromecânicos dos veículos, objetiva-se definir um veículo e realizar essa atividade, uma vez que veículos utilizam diferentes sistemas de trava em portas.

Há ainda a possibilidade de estabelecer uma rotina de validação para o sistema,

de maneira que o sistema funcione ciclicamente até que a porta seja aberta. Isso substituiria o temporizador, pois ao fechar da porta, o sistema não entraria mais em funcionamento.

Referências

AGARWAL, Vivek; MURALI, N. Venkata; CHANDRAMOULI, C. A Cost-Effective Ultrasonic Sensor-Based Driver-Assistance System for Congested Traffic Conditions. *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, Mumbai, v. 10, n. 3, p.486-498, set. 2009.

ANDREW-GEE, Eric. Toronto cop 'doored' on duty wants police to track incidents. 2013. Disponível em: http://www.thestar.com/news/gta/2013/09/02/toronto_cop_doored_on_duty_wants_police_to_track_incidents.html. Acesso em: 25 ago. 2014.

BASTOS, Teodiano F.; ABREU, José Miguel M.; CERES, Ramón. Uso De Sensores Ultra-Sônicos na Medição de Parâmetros em Robótica e Outras Aplicações. *Sba - Controle & Automação*, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p.299-303, abr. 1991. Disponível em: <http://www.sba.org.br/revista/vol3.htm>. Acesso em: 25 fev. 2014.

BERTOLDI, Eduardo. Sistema Anti-Colisão de Alerta ao Motorista com o Uso de Estímulo Auditivo e Háptico. 2011. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

BRIONES, Gene Ryan. Auto Manufacturers Developing Cars With Biometric Sensors. 2012. Disponível em: <http://www.ubergizmo.com/2012/11/the-racing-to-develop-cars-with-biometric-sensors/>. Acesso em: 23 ago. 2014.

CUNHA, Lidiane Araujo Inacio da; BORGES, José Antônio Ferreira. Análise Temática para Dissertação de Mestrado. In: Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 17., 2007, Uberlândia. Anais. Uberlândia: FEMEC, 2007.

EATOUGH, Chris. Would Protected Bike Lanes Encourage You to Bike More?, 2014. Disponível em: <http://mobilitylab.org/2014/05/20/would-protected-bike-lanes-encourage-you-to-bike-more/>. Acesso em: 18 ago. 2014.

FUENTES, Rodrigo C. Apostila de Automação Industrial. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

GERHARDT, T. Engel; SILVEIRA, D. Tolfo. Métodos de Pesquisa. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UAB/UFRGS, 2009.

GOMES, Luiz Flávio. Mortes no Trânsito: Brasil é o 4° do Mundo. 2014. Instituto Avante Brasil. Disponível em: <http://institutoavantebrasil.com.br/mortes-no-transito-brasil-e-o-4o-do-mundo-2/>. Acesso em: 25 fev. 2014.

GOUGH, Deborah; CAREY, Adam. Man comes forward to police over CBD car-dooring. 2014. Disponível em: <http://www.theage.com.au/victoria/man-comes-forward-to-police-over-cbd-cardooring-20140319-35146.html>. Acesso em: 03 maio 2014.

IKEDA, Toshiaki. Segurança Veicular: Dispositivos de Segurança Passiva - Descrição e Recomendações. 2012. 72 f. Monografia (Especialista) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Automotiva, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2012.

JEONG, S. H.; CHOI, C. G.; OH, J. N.. Low Cost Design of Parallel Parking Assist System Based on an Ultrasonic Sensor. International Journal Of Automotive Technology, Korea, v. 11, n. 3, p.409-416, 07 jan. 2014.

JOHANNSEN, Gunnar. Human-Machine Interaction: Control Systems, Robotics, and Automation. 21. ed. Kassel: Encyclopedia Of Life Support Systems (EOLSS), 2007. Disponível em: <http://www.eolss.net/sample-chapters/>. Acesso em: 25 abr. 2014.

KIM, Sungbok; KIM, Hyunbin. Optimally Overlapped Ultrasonic Sensor Ring Design for Minimal Positional Uncertainty in Obstacle Detection. International Journal Of Control, Automation, And Systems, Korea, v. 010, n. 12555, p.1280-1287, 2010.

LIMA, M. Leandro. Apresentação do Sistema FCW como Alternativa Para Diminuir Acidentes de Trânsito do Tipo Colisão Traseira. 2011. 59 f. Monografia (Tecnólogo) - Curso de Tecnologia Autotrônica, Departamento Centro Paula Souza, Faculdade de Tecnologia de Santo André, Santo André, 2011.

MAJCHRZAK, Jaroslaw; MICHALSKI, Mateusz; WICZYNSKI, Grzegorz. Distance Estimation With a Long-Range Ultrasonic Sensor System. IEEE Sensors Journal. [s. L.], p. 767-773. jul. 2010.

MCROBERTS, Michael. Arduino Básico. São Paulo: Novatec, 2011. 453 p. Tradução de: Rafael Zanolli.

MIRUS, Florian; PFADT, Jürgen; CONNETTE, Christian; EWERT, Björn; GRÜDL, Dietmar; VERL, Alexander. Detection of Moving and Stationary Objects at

High Velocities using Cost-Efficient Sensors, Curve-Fitting and Neural Networks. Iros 2012 - Workshops And Tutorials, Germany, 2012. Disponível em: <http://intern.ipa.fhg.de/bibliothek/FhGOnlineVollText.php?what=2012390.pdf>. Acesso em: 14 maio 2014.

PALLÁS, Ramón. Sensores y Acondicionadores de Señal. 4. ed. Marcombo: Barcelona, 2005. 494 p.

PATSKO, Luís Fernando. Tutorial Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores. 2006. Disponível em: http://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000_kdr5000/tutorial_eletronica_aplicacoes_e_funcionamento_de_sensores.pdf. Acesso em: 6 jul. 2014.

PEREIRA, F. O, Gomes; SOUZA, R. F. L. Lino. Segurança Veicular Ativa Sistemas de Monitoramento do Motorista. 2013. 59 f. Monografia (Tecnólogo) - Curso de Tecnologia Autotrônica, Departamento de Centro Paula Souza, Faculdade de Tecnologia de Santo André, Santo André, 2013.

RAMOS, Ademilson. Volvo lança tecnologia que identifica ciclistas e freia carro para evitar acidentes. 2013. Disponível em: <http://www.engenhariae.com.br/tecnologia/volvo-lanca-tecnologia-que-identifica-ciclistas-e-freia-carro-para-evitar-acidentes/>. Acesso em: 22 set. 2013.

RASTOGI, Rahul Kumar; MEHRA, Rajesh. Efficient Error Reduction in Ultrasonic Distance Measurement Using Temperature Compensation. International Journal Of Advanced Electrical And Electronics Engineering (IJAEEE). Chandigarh, p. 57-63. set. 2012. Disponível em: <www.irdindia.in>. Acesso em: 24 maio 14.

ROCHA, E. F.; CASTIGLIONI, M. C. Reflexões sobre Recursos Tecnológicos: Ajudas Técnicas, Tecnologia Assistiva, Tecnologia de Assistência e Tecnologia de Apoio. Rev. Ter. Ocup. Univ. São Paulo, v. 16, n. 3, p. 97-104, set./dez., 2005

THOMAZINI, Daniel. Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações. São Paulo: Érica, 2005.

WASELFISZ, Julio Jacobo. Mapa da Violência 2013: Acidentes de Trânsito e Motocicletas. Rio de Janeiro: Cebela, 2013. 96 p. Disponível em: http://www.mapadaviolencia.org.br/pdf2013/mapa2013_transito.pdf. Acesso em: 04 ago. 2014.

WEBSTER, John G. Measurements, Instrumentation, and Sensors. Boca Raton: Crc Press Llc, 1999.

WENDLING, Marcelo. Sensores. São Paulo: Colégio Técnico Industrial de Guaratinguetá, 2010.

Anexos


```

//Program for ADS (Avoiding Doored System)
//Mestrado Profissional em Gestão Organizacional
//Rômulo Muriel, Setembro de 2014

#define trigPin 12; // Definindo pino 12 como emissor do ultrassom
#define echoPin 13; // Definindo pino 13 como receptor do ultrassom
#define led 6 // Define porta do LED
const int buzzer = 4; // Define porta do buzzer
int maximumRange = 300; // Distância máxima configurada para o sistema
int minimumRange = 1; // Distância mínima de resposta
int lastDistance = -1; // Inicialização de variável
    // Determinando as configurações do programa;

void setup()
{
  Serial.begin (9600); // Configura a taxa de comunicação;
  pinMode(trigPin, OUTPUT); // Define o trigPin como pino de saída;
  pinMode(echoPin, INPUT); // Define o echoPin como pino de entrada;
  pinMode(led, OUTPUT); // Define o LED como pino de saída;
}
    // Configurando etapas do funcionamento contínuo do controle;
void loop()
{
  long duration, distance; // Cria as variáveis de longa duração e distância
  digitalWrite(trigPin, LOW); // Escreve um sinal de nível baixo no trigPin
  delayMicroseconds(200); // Aguarda 2 micro segundos(0,000002 segundos
  digitalWrite(trigPin, HIGH); // Escreve um sinal de nível alto no trigPin
  delayMicroseconds(100); // Aguarda 10 micro segundos(0,00001 segundos)
  digitalWrite(trigPin, LOW); // Escreve um sinal de nível baixo no trigPin

  duration = pulseIn(echoPin, HIGH); // A duração será igual ao o tempo
  // entre a chamada e o nível alto no pino de recepção do ultrassom (echo)
  distance = (duration/2) / 29.1; // A distância será igual a metade da
  // duração, pois esta é o tempo de ida e volta do ultrassom, dividido por um
  // valor fixo determinado para este sensor
    // Se a distância for menor que 200 mm
  If (abs(distance - lastDistance)>20)
  {
    if (distance < maximumRange)
    {
      lastDistance = distance;
      Serial.println("Perigo!"); // escreve perigo no Serial Monitor
      digitalWrite (led, HIGH); // Ativa o LED
      tone(buzzer,500); // Ativa o buzzer
    }
    else { // Caso contrário;
      Serial.println("Fora de alcance!"); // escreve fora de alcance no
      // Serial Monitor
      digitalWrite (led, LOW); // desativa o LED
      noTone(buzzer); // desativa o buzzer
    }
  }
  else
  {
    Serial.println("Sem movimento!");
    DigitalWrite (led, LOW);
  }
  delay(5); // Aguarda 5 milissegundos (0,005 segundos)para repetição.
}

```