



**LUCIANO GONÇALVES MOREIRA**

**ESTUDO DE UM SISTEMA EMBARCADO PARA  
SINALIZAÇÃO DE ULTRAPASSAGEM E ANÁLISE DE  
RISCO DE COLISÃO FRONTAL**

**LAVRAS - MG**

**2017**

**LUCIANO GONÇALVES MOREIRA**

**ESTUDO DE UM SISTEMA EMBARCADO PARA SINALIZAÇÃO DE  
ULTRAPASSAGEM E ANÁLISE DE RISCO DE COLISÃO FRONTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, área de concentração em Ciência da Computação, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Wilian Soares Lacerda

Orientador

**LAVRAS - MG**

**2017**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Moreira, Luciano Gonçalves.

Estudo de um sistema embarcado para sinalização de  
ultrapassagem e análise de risco de colisão frontal / Luciano  
Gonçalves Moreira. - 2017.

130 p. : il.

Orientador: Wilian Soares Lacerda.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Sistemas Embarcados. 2. Comunicação RF. 3. Ultrapassagem.  
4. DSRC I. Lacerda, Wilian Soares. II. Título.

**LUCIANO GONÇALVES MOREIRA**

**ESTUDO DE UM SISTEMA EMBARCADO PARA SINALIZAÇÃO DE  
ULTRAPASSAGEM E ANÁLISE DE RISCO DE COLISÃO FRONTAL**

***STUDY OF AN EMBEDDED SYSTEM FOR OVERTAKING SIGNALING AND  
FRONTAL COLLISION RISK ANALYSIS***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, área de concentração em Ciência da Computação, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28 de Julho de 2017.

Prof. Dr. Arthur de Miranda Neto                      UFLA

Prof. Dr. Otávio de Souza Martins Gomes      IFMG

Prof. Dr. Wilian Soares Lacerda  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2017**

*Aos meus pais, Isac Donato Moreira e Maria José Gonçalves (in memoriam) e ao meu irmão Luzimar Gonçalves Moreira (in memoriam), minha eterna família, responsável pelas minhas conquistas de hoje, em especial, à minha mãe, mestra exemplar.*

*Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que, apesar de minhas falhas, nunca me abandonou e sempre me deu forças para seguir em frente.

À minha família maravilhosa que, mesmo diante das dificuldades, sempre me apoiou com paciência, compreensão e amor, sendo fundamentais a esta conquista. Minha esposa Léia Cristina Rodrigues Oliveira, esposa dedicada, companheira, mãe exemplar e meus amados filhos, Matheus e Lucas, razão de viver e vencer.

Ao Dr. Wilian Soares de Lacerda, pela dedicada orientação, disponibilidade, ensinamentos, amizade, compreensão e apoio, sempre com paciência e bom humor.

Ao amigo e colega de mestrado, Tiago André Carbonaro de Oliveira, pela amizade, apoio, dedicação, paciência e companheirismo nas viagens, aulas, pizzas, risadas e dificuldades, durante todo o curso, além da valiosa colaboração aos testes realizados neste trabalho.

A todos os amigos do mestrado, pela amizade e aprendizado compartilhados, especialmente, ao amigo Alexandre Silva de Almeida pelo conhecimento compartilhado, nas aulas de sistemas operacionais, companheirismo e o generoso apoio na realização dos testes neste trabalho.

Aos amigos Yara Mattos, Emerson Mattos e Mateus Duarte pelas orações, compreensão, amizade e a generosa colaboração, nos testes em Barbacena, especialmente, ao Mateus pela disponibilidade, paciência e apoio.

Aos amigos Fernando Machado Rocha pelo apoio nos testes realizados em São João Del Rei e Arthur Nascimento Assunção pelas dicas e apoio com o artigo.

A todos os professores do curso pelas excelentes aulas, pelo conhecimento compartilhado e dedicação.

Ao Dr. Otávio de Souza Martins Gomes e ao Dr. Arthur de Miranda Neto pelo conhecimento compartilhado e disponibilidade na participação da banca.

E a todos aqueles que de alguma forma torceram e vibraram com mais esta vitória.

*“A humildade exprime uma das raras certezas de que estou certo: a de que ninguém é superior a ninguém”.*

*(Paulo Freire)*

## RESUMO

Acidentes no trânsito são uma das maiores causas de mortes no mundo. No Brasil, em 2016, houve uma redução de 6,8% no número de mortes comparado a 2015, porém, no feriado do Carnaval de 2017, houve aumento de 24% em relação ao de 2016. Ultrapassagens em local proibido ou por falha de avaliação do condutor são as maiores responsáveis pelas mortes, devido as colisões frontais. Diversas tecnologias têm sido desenvolvidas, para reduzir as mortes nas rodovias, como sistemas avançados de assistência ao condutor (ADAS) e comunicação dedicada de curto alcance (DSRC), gradativamente implementados em veículos novos, especialmente de alto padrão, ambas, porém, com baixa aplicação na prevenção de colisões frontais em ultrapassagens. Assim, este trabalho propõe o estudo de um sistema, para sinalização de ultrapassagens e análise do risco de colisão frontal, baseado em conceitos da cinemática referentes ao encontro e ultrapassagem de móveis. Para estudo e avaliação, foram construídos dois dispositivos eletrônicos com o sistema embarcado, mais receptor GPS e comunicação por rádio frequência, usados na troca de informações entre os veículos envolvidos na manobra. Foi desenvolvida, também, uma simulação com o software Geogebra, para verificar se o sistema embarcado efetua os cálculos e analisa corretamente se há risco de colisão frontal durante a ultrapassagem. Os testes foram realizados em campo simulando ultrapassagens, em um ambiente controlado, com dois veículos usando os dispositivos eletrônicos percorrendo trechos, em rodovias de pista simples, cujo objetivo foi coletar dados relativos às transmissões, cálculos de ultrapassagem e de encontro com veículo em sentido contrário. A análise dos dados demonstrou que o sistema sinalizou a intenção de ultrapassagem de veículos e efetuiu esses cálculos com precisão, analisando corretamente o risco de uma possível colisão frontal ocorrer, durante a manobra e pode, assim, ajudar os motoristas a julgar se ultrapassam ou não. Porém o desempenho do Hardware demonstra a necessidade de melhorias, para não comprometer esse objetivo, pois apresentou 492 m de alcance máximo do sinal, latência média de 112 ms e um total de 21% de perda de pacotes. Apesar de a limitação do Hardware, por uso de dispositivos de baixo custo, o sistema pode ser útil na prevenção de colisões frontais durante ultrapassagem.

**Palavras-chave:** DSRC. Comunicação RF. Ultrapassagens. Sistemas embarcados.

## ABSTRACT

Traffic accidents are one of the biggest causes of death in the world. In Brazil in 2016 there was a 6.8% reduction in the number of deaths compared to 2015, but in the Carnival holiday of 2017 there was an increase of 24% in relation to 2016. Overtakes in a prohibited place or due to failure of the driver's evaluation are the biggest culprits due to frontal collisions on single lane highways. Several technologies have been developed to reduce road deaths, such as advanced driver assistance systems (ADAS) and dedicated short-range communications (DSRC), gradually implemented in new vehicles, especially those of a high-end, both with low application in prevention of frontal collisions in overtaking. Thus, this work proposes the study of a system for signaling overtaking and analysis of the risk of frontal collision, based on concepts of kinematics related to meeting and overtaking of mobile. For study and evaluation, two electronic devices were built with the embedded system, plus GPS receiver and radio frequency communication, used to exchange information between the vehicles involved in the maneuver. A simulation with the Geogebra software was also developed to verify that the embedded system performs the calculations and analyzes correctly if there is a risk of frontal collision during overtaking. The tests were carried out in the field simulating overtaking in a controlled environment, with two vehicles using the electronic devices traversing stretches on single lane highways, the purpose of which was to collect data on the transmissions, overtaking calculations and against vehicle in the opposite direction. The analysis of the data shows that the system has signaled the intention to overtake vehicles and has performed these calculations accurately by correctly analyzing the risk of a possible frontal collision occurring during the maneuver and can thus assist drivers in judging whether they overtake or not. However, the performance of the hardware demonstrates the need for improvements not to compromise this goal, as it presented 492 m maximum signal reach, average latency of 112 ms and a total of 21% packet loss. Despite the hardware limitation, due to the use of low cost devices, the system can be useful in preventing frontal collisions during overdrive.

**Keywords:** DSRC. RF Communication. Embedded System. Overtaking.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes essenciais de um computador. ....	21
Figura 2 - Microcontrolador genérico. ....	22
Figura 3 - Forma de uma onda eletromagnética. ....	24
Figura 4 - O espectro eletromagnético. ....	25
Figura 5 - Tipos de principais de modulação por chaveamento. (a) sinal digital a ser transmitido; (b) ASK; (c) FSK; (d) PSK. ....	26
Figura 6 - Alocação de espectro para aplicações DSRC. ....	29
Figura 7 - Tipos de comunicação entre veículos. ....	30
Figura 8 - Sistema de Posicionamento Global (GPS). ....	32
Figura 9 - Algoritmo implementado com a fórmula de Haversine. ....	34
Figura 10 - Gráfico do espaço em função do tempo no UM. ....	37
Figura 11 - Gráfico do espaço em função do tempo no MUV. ....	38
Figura 12 - Quatro cenários de ultrapassagem. ....	43
Figura 13 - Manobra de ultrapassagem com distâncias de segurança. ....	46
Figura 14 - Visão geral do funcionamento do sistema proposto. ....	57
Figura 15 - Diagrama de blocos do módulo veicular. ....	58
Figura 16 - Visão geral do Hardware dos módulos. ....	60
Figura 17 - Os dois módulos veiculares desenvolvidos. ....	61
Figura 18 - Veículos usados nos testes e módulo veicular utilizado em um dos veículos. ....	72
Figura 19 - Os três trajetos em duas rodovias usadas nos testes: (a) BR494 no dia 21/02; (b) MG135 nos dias 02 e 17/03/17; (c) BR494 nos dias 07 e 28/03/17. ....	73
Figura 20 - (a) Configuração do cenário. Fase 1 dos testes; (b) Configuração do cenário. Fase 2 dos testes. ....	74
Figura 21 - Simulação de um cenário de ultrapassagem envolvendo três veículos. ....	77
Figura 22 - Latência nas dez últimas transmissões testadas. ....	79
Figura 23 - Maior distância entre VA e VB, trajeto em curva. ....	81
Figura 24 - Maior distância entre VA e VC, trajeto com retas. ....	81
Figura 25 - Tempo e distâncias de ultrapassagem e colisão, (a) com distâncias de segurança e (b) sem distâncias de segurança. ....	88
Figura 26 - Tempo e distâncias de ultrapassagem e colisão, (a) com distâncias de segurança e (b) sem distâncias de segurança. ....	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Alguns exemplos de sistemas embarcados. ....	20
Tabela 2 - Dados das buscas iniciais. ....	48
Tabela 3 - Artigos a serem analisados e revisados. ....	49
Tabela 4 - Formato do pacote que contém a mensagem. ....	64
Tabela 5 - Métricas relacionadas à avaliação de desempenho. ....	76
Tabela 6 - Configurações padrão do rádio e customizadas de melhor desempenho. ....	78
Tabela 7 - Relação de pacotes transmitidos e perdidos. ....	80
Tabela 8 - Alcance da transmissão de VA para VB ou VC. ....	81
Tabela 9 - Dados dos testes de campo para cálculos de ultrapassagem de VA por VB. ....	84
Tabela 10 - Dados dos testes de campo para cálculos de colisão frontal de VA com VC. ....	85
Tabela 11 - Comparação dos resultados obtidos no simulador e no módulo veicular de VA, ..	86

## LISTA DE ALGORITMOS

Algoritmo 1 - Função que envia solicitação de ultrapassagem a VB ou detecta VC. ....	65
Algoritmo 2 - Recepção de Alertas em veículos VB e VC e envio de respostas. ....	67
Algoritmo 3 - Recepção do pacote de resposta de Vb ou VC e cálculos. ....	68
Algoritmo 4 - Decisão se há ou não perigo de colisão frontal e envio de alerta de colisão.....	69
Algoritmo 5 - Função que calcula ultrapassagem de VA por VB. ....	70
Algoritmo 6 - Função que calcula encontro de VA com VC (colisão frontal). ....	71
Algoritmo 7 - Função que calcula a distância entre dois veículos. ....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS

ADAS	<i>Advanced Driver Assistance System</i>
ACK	<i>Acknowledgement</i>
CI	<i>Circuito integrado</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CTB	<i>Código de trânsito Brasileiro</i>
DSRC	<i>Dedicated short-range communications</i>
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>
GPS	<i>Global Position System</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers]</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific &amp; Medical</i>
LNA	<i>Low Noise Amplifier</i>
MCU	<i>Micro Controller Unit</i>
MU	<i>Movimento Uniforme</i>
MUV	<i>Movimento uniformemente variado</i>
NACK	<i>No-Acknowledgement</i>
OEM	<i>Ondas eletromagnéticas</i>
PA	<i>Power Amplifier</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RF	<i>Radio-Frequency</i>
ROM	<i>Ready Only Memory</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
TTL	<i>Transistor-transistor logic</i>
UART	<i>universal asynchronous receiver/transmitter</i>
VANETS	<i>Vehicular Ad-hoc Network</i>
V2V	<i>Vehicle-to-Vehicle</i>
V2I	<i>Vehicle-to-Infrastructure</i>
WAVE	<i>Wireless Access in the Vehicular Environment</i>
TTC	<i>Time To Collision</i>
DNPW	<i>Don Not Passing Warning</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	16
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	16
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	16
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> .....	17
<b>1.3</b>	<b>Organização do trabalho</b> .....	19
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	20
<b>2.1</b>	<b>Sistemas embarcados</b> .....	20
<b>2.2</b>	<b>Transmissões via Rádio frequência</b> .....	23
<b>2.2.1</b>	<b>Banda ISM</b> .....	28
<b>2.2.2</b>	<b>DSRC</b> .....	29
<b>2.2.3</b>	<b>Transceptores RF</b> .....	31
<b>2.3</b>	<b>GPS</b> .....	31
<b>2.3.1</b>	<b>Distância entre dois pontos na superfície terrestre</b> .....	33
<b>2.4</b>	<b>Cinemática</b> .....	35
<b>2.4.1</b>	<b>Posição</b> .....	35
<b>2.4.2</b>	<b>Velocidade</b> .....	35
<b>2.4.3</b>	<b>Aceleração</b> .....	36
<b>2.4.4</b>	<b>Movimento Uniforme (MU)</b> .....	36
<b>2.4.5</b>	<b>Movimento Uniformemente Variado (MUV)</b> .....	37
<b>2.4.6</b>	<b>Movimentos com velocidade escalar variável</b> .....	39
<b>2.4.7</b>	<b>Cálculo de encontro e ultrapassagens de móveis</b> .....	39
<b>2.5</b>	<b>Ultrapassagens de veículos</b> .....	42
<b>2.5.1</b>	<b>Manobras de ultrapassagem</b> .....	42
<b>2.5.2</b>	<b>Fases da ultrapassagem</b> .....	43
<b>2.5.2.1</b>	<b>Fase 1: o motorista decide se deve ultrapassar ou não</b> .....	43
<b>2.5.2.2</b>	<b>Fase 2: prepara-se para a ultrapassagem</b> .....	43
<b>2.5.2.3</b>	<b>Fase 3: mudança de faixa</b> .....	44
<b>2.5.2.4</b>	<b>Fase 4: passe</b> .....	44
<b>2.5.2.5</b>	<b>Fase 5: volta à faixa da direita</b> .....	44
<b>2.5.3</b>	<b>Legislação sobre ultrapassagens</b> .....	44
<b>2.5.4</b>	<b>Distâncias de segurança na conclusão da ultrapassagem</b> .....	46
<b>2.6</b>	<b>Trabalhos relacionados</b> .....	47
<b>2.6.1</b>	<b>Mapeamento</b> .....	47
<b>2.6.2</b>	<b>Revisão Sistemática da Literatura</b> .....	48
<b>2.6.2.1</b>	<b>Artigo 1</b> .....	50
<b>2.6.2.2</b>	<b>Artigo 2</b> .....	50
<b>2.6.2.3</b>	<b>Artigo 3</b> .....	51
<b>2.6.2.4</b>	<b>Artigo 4</b> .....	51
<b>2.6.2.5</b>	<b>Artigo 5</b> .....	52
<b>2.6.2.6</b>	<b>Artigo 6</b> .....	53
<b>2.6.3</b>	<b>Tecnologias relacionadas em uso no mercado automobilístico</b> .....	54

<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>56</b>
<b>3.1</b>	<b>Visão Geral</b> .....	<b>56</b>
<b>3.2</b>	<b>Restrições ao projeto</b> .....	<b>58</b>
<b>3.3</b>	<b>Hardware</b> .....	<b>59</b>
<b>3.4</b>	<b>Software</b> .....	<b>62</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Formato da mensagem</b> .....	<b>63</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Alerta de veículo em ultrapassagem</b> .....	<b>65</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Alerta de risco de colisão</b> .....	<b>68</b>
<b>3.4.4</b>	<b>Cálculos</b> .....	<b>70</b>
<b>3.5</b>	<b>Testes</b> .....	<b>73</b>
<b>3.6</b>	<b>Avaliação dos resultados</b> .....	<b>75</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>78</b>
<b>4.1</b>	<b>Latência</b> .....	<b>78</b>
<b>4.2</b>	<b>Perda de pacotes</b> .....	<b>79</b>
<b>4.3</b>	<b>Alcance das transmissões</b> .....	<b>80</b>
<b>4.4</b>	<b>Prevenção de colisão frontal</b> .....	<b>82</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Sinalização da intenção de ultrapassagem</b> .....	<b>82</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Análise do risco de colisão frontal</b> .....	<b>82</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>92</b>
<b>5.1</b>	<b>Contribuições</b> .....	<b>93</b>
<b>5.2</b>	<b>Trabalhos Futuros</b> .....	<b>94</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>96</b>
	<b>APÊNDICE A - HARDWARE: DESCRIÇÃO DETALHADA DOS DISPOSITIVOS QUE COMPÕEM OS MÓDULOS VEICULARES</b> .....	<b>103</b>
	<b>APÊNDICE B - ESQUEMÁTICO DO HARDWARE DO MÓDULO VEICULAR</b> .....	<b>116</b>
	<b>APÊNDICE C - SOFTWARE: ALGORITMO PARA ALERTA DE ULTRAPASSAGEM E CÁLCULO DO RISCO DE COLISÃO FRONTAL</b> ..	<b>117</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Organização Mundial da Saúde apresentou relatório global sobre a segurança rodoviária de 2015, durante a 2ª Conferência Global de Alto Nível sobre Segurança no Trânsito, realizada no Brasil. Este relatório reflete informações de 180 países indicando que, em todo o mundo, o número total de mortes no trânsito se estabilizou em 1,25 milhão por ano, com as maiores taxas de mortalidade no trânsito em países de baixa renda. Embora tenha havido progressos, no sentido de melhorar a legislação de segurança rodoviária e no sentido de tornar os veículos mais seguros, o relatório mostra que o ritmo de mudança ainda é muito lento (WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO, 2015).

No Brasil, dados divulgados pela Polícia Rodoviária Federal (PRF), em 2017 do balanço de 2016, confirmam essa tendência:

Em 2016, ocorreram 20.994 acidentes graves em rodovias federais contra 21.854 ocorrências em 2015. A PRF contribuiu com a redução por meio de trabalho constante de fiscalização e de conscientização do motorista. Ao todo foram 21.439 feridos graves e 6.405 mortos em decorrência desses acidentes. Em comparação a 2015, houve uma redução de 4,8% no número de feridos graves - em 2015 foram 22.517. Os óbitos nas rodovias também caíram: em 2015 foram 6.871 - redução de 6,8% (BRASIL, 2017).

Várias ações foram tomadas para a redução nos índices de letalidade como campanhas de conscientização e aumento na fiscalização, por meio de um patrulhamento mais ostensivo, operações pontuais em épocas de intensificação de deslocamentos, tais como férias e festas de final de ano, e reforços de policiamento em pontos críticos nas rodovias de todo o país. Assim, em 2016, a PRF contabilizou mais de cinco milhões de autos de infração emitidos, durante fiscalizações nas rodovias federais, dos quais 269.520 autuações por realizar ultrapassagens indevidas, tipo de manobra que causa o maior número de mortes em acidentes, nas rodovias federais pela gravidade do acidente que, geralmente, é uma colisão frontal (BRASIL, 2017).

Porém, segundo a Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2017), durante o carnaval de 2017, principal feriado brasileiro, houve um aumento no número de mortes, apesar da redução do número de acidentes. O balanço da PRF (CNT, 2017), neste mesmo período, mostra que:

O balanço final da Operação Carnaval, da PRF (Polícia Rodoviária Federal), aponta que o feriado deste ano teve 23,9% mais mortes em decorrência de acidentes nas rodovias federais, se comparado ao Carnaval de 2016. O número cresceu, apesar de o total de acidentes ter caído 5,3% (1.696 no total) e o de ocorrências graves ter reduzido 18,6% (323). Conforme os

agentes, isso se deve ao fato de muitas pessoas terem perdido a vida em poucos acidentes: 11 colisões, o equivalente a 1%, responderam por 44 mortes, 31% do total. Em dez dos 11 acidentes houve colisões frontais, tipo de acidente característico de ultrapassagens indevidas (CNT, 2017).

Segundo o site G1 (2014), 87% das estradas brasileiras são de pistas simples e 40% não possuem acostamento, cujo estado de conservação é péssimo ou ruim. Além disso, conforme a Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2016), 61,1% da produção brasileira é transportada em caminhões pelo modal rodoviário e, de acordo com a legislação brasileira, os veículos pesados devem trafegar em velocidade inferior aos veículos leves, obrigando, então, aos motoristas destes veículos a fazer ultrapassagens. Essas condições elevam os riscos de acidentes colocando as colisões frontais como as principais causas de ocorrências com mortes nestas rodovias.

## **1.1 Objetivos**

Esta seção descreve o objetivo geral deste trabalho e seu detalhamento em objetivos específicos.

### **1.1.1 Objetivo geral**

Neste trabalho, o objetivo geral é fazer o estudo de um sistema embarcado para sinalização de ultrapassagem e análise do risco de colisão frontal, baseando-se nos conceitos da cinemática, GPS e transmissão de dados por meio de rádio frequência, para auxiliar os motoristas durante ultrapassagens nas rodovias de pista simples. O sistema permite a troca de informações a uma distância segura entre os veículos envolvidos na manobra, alertando os condutores da sua intenção e, se houver perigo de colisão frontal entre os veículos durante a ultrapassagem, permite ao motorista reagir a tempo de evitar a colisão.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Pretende-se como objetivos específicos:

- a) revisar de forma sistemática a literatura sobre tecnologias de comunicação entre veículos, aplicada à ultrapassagem, visando esclarecer o que já foi publicado e o que pode ainda ser pesquisado em relação a esta temática;
- b) desenvolver Hardware e Software de dois protótipos do sistema embarcado, que capture os dados de localização de ambos os veículos e troque estas informações entre eles, alertando os motoristas sobre o potencial risco de colisão durante ultrapassagem;

- c) testar estes protótipos em campo com veículos trafegando em uma rodovia, simulando ultrapassagens em um ambiente controlado e armazenar os dados relativos às transmissões;
- d) e analisar os dados armazenados, avaliando o desempenho do sistema, por meio da latência, percentual de perda de pacotes e a distância do alcance do sinal, bem como se o sistema alerta os motoristas sobre uma possível manobra de ultrapassagem e analisa corretamente o risco de colisão frontal, antes e durante esta manobra, alertando os motoristas envolvidos, caso haja perigo desta colisão ocorrer.

## **1.2 Justificativa**

Como visto, as ultrapassagens são as manobras mais arriscadas na direção de um veículo e a principal causa de mortes nas rodovias, pela colisão frontal, quando realizadas em local proibido ou por falha de avaliação do condutor. Essa manobra exige atenção, velocidade compatível e boa visão da pista à frente, para o julgamento correto do motorista, se deve ultrapassar ou não. Segundo Hegeman et al. (2005), os seres humanos não julgam corretamente a distância e velocidade, muito menos a velocidade de veículos próximos. Tais manobras seriam mais seguras, se os motoristas envolvidos soubessem da intenção de ultrapassagem e pudessem julgar corretamente quando ultrapassar.

Determinados conhecimentos científicos podem auxiliar um motorista a julgar eficazmente se deve ultrapassar ou não, fazendo, por exemplo, os cálculos do tempo e distância de ultrapassagem de um veículo lento à frente e o de encontro com veículo em sentido contrário. Neste sentido, os conceitos da cinemática (ramo da física), referentes ao encontro e ultrapassagem de corpos móveis, a partir de dados obtidos dos veículos envolvidos na manobra como velocidade, aceleração, sentido e distâncias, podem auxiliar a determinar a probabilidade de uma colisão frontal ocorrer durante uma ultrapassagem. Vieira et al. (2013) fizeram um estudo, baseado em simulações, do uso dos conceitos da cinemática em aplicações para auxílio a ultrapassagens e concluíram que, a partir de um eficiente meio de transmissão de dados, os sistemas desenvolvidos, com base nesses conceitos, podem ter até 99% de confiabilidade. Desta forma, as decisões de ultrapassar ou não poderiam ser julgadas mais adequadamente com o auxílio da ciência e da tecnologia. Assim, pesquisas têm sido feitas, no Brasil e no mundo, para auxiliar os motoristas durante ultrapassagens e, conseqüentemente, diminuir o número de vítimas fatais.

Envolvendo tecnologias da informação, várias propostas de sistemas de auxílio à ultrapassagens estão sendo estudadas, principalmente, em sistemas avançados de assistência ao condutor (ADAS - *Advanced Driver Assistance System*) com comunicação dedicada a curtas distâncias (DSRC - *Dedicated short-range communications*). Assim, desde 1999, quando a Comissão Federal de Comunicações dos Estados Unidos (FCC - *Federal Communications Commission*) alocou 75 MHz do espectro de frequências na faixa de 5,9 GHz, para DSRC (FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION - FCC, 2017) e de 2004, quando foi criado o padrão IEEE 802.11p, para uso nesta faixa, várias aplicações para esse fim, usando comunicação entre veículos (VANET - *Vehicular Ad-hoc Network*), vêm sendo amplamente estudadas. Porém a necessidade de que com os nós seja estabelecida uma conexão (associação) em rede, para transmitir e receber dados (ALVES, 2009) e, em alguns casos, o uso de pontos de acesso externo, para que seja possível conexão e troca de informações constantes entre os veículos, as VANET's têm sido aplicadas, principalmente, na área urbana. Poderiam, no entanto, encarecer e dificultar sua implementação em rodovias rurais, tendo em vista a grande extensão do território brasileiro. Além disso, atualmente, veículos com ADAS e VANET's são disponibilizados no mercado, principalmente nos carros de alto padrão recém-lançados e que não abordam ainda a prevenção de colisão frontal em ultrapassagens.

Entretanto o IEEE 802.11p e a faixa de 5,9 GHz não são os únicos tipos de tecnologias empregadas na comunicação entre veículos, existem, também, diversas outras em uso como *Bluetooth* e *ZigBee*, além dos demais protocolos do padrão IEEE 802.11, que operam na faixa de 2,4 GHz. Apresentam, porém, alguns inconvenientes como, poucos dispositivos desenvolvidos para aplicações com comunicação entre veículos, custo considerável e pequena área de cobertura. Aplicações deste tipo, no entanto, podem ser consideradas parte de uma grande área conhecida como sistemas embarcados, sistemas computacionais completos embutidos em produtos com a função de controlá-los. Nesta área, há diversos outros recursos a serem explorados e que podem permitir aos pesquisadores ampliar as pesquisas em sistemas que auxiliam o motorista em ultrapassagens, saindo do ambiente de simulação por softwares, seguindo para testes de campo. Nesta área, existem diversas plataformas de fácil prototipagem, acesso a diversos tipos de dispositivos com baixo custo, permitindo desenvolvimento de aplicações e realização de testes. Assim, veículos usando sistemas embarcados constituídos de dispositivos de localização, de rádio frequência e de um software desenvolvido, com base nos conceitos da cinemática, podem auxiliar o motorista a julgar

corretamente se há risco de colisão na ultrapassagem, além disso, ao trocarem informações podem alertar os motoristas à intenção de ultrapassar.

### **1.3 Organização do trabalho**

O presente trabalho está dividido em 7 Capítulos: o Capítulo 2 apresenta um referencial teórico com uma revisão da bibliografia da literatura e de tecnologias empregadas atualmente no mercado automobilístico sobre o tema; o Capítulo 3 apresenta a metodologia usada para desenvolvimento do projeto; o Capítulo 4 apresenta os resultados e discussões; o Capítulo 5 apresenta as conclusões; e, em Anexos, estão apresentados o código do software desenvolvido e uma revisão dos dispositivos usados no trabalho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentada uma revisão da literatura, publicações e tecnologias existentes no mercado, relacionados aos objetivos do presente trabalho. Serão abordadas definições e a relevância de cada uma no contexto atual do tema deste estudo.

### 2.1 Sistemas embarcados

Atualmente há computadores de grande poder de processamento disponível ao uso, em todas áreas do conhecimento, alguns mais poderosos são desenvolvidos para aplicações na indústria e na ciência, outros com menor desempenho e de baixo custo são projetados para o lar e escritório. Existe, ainda, outra categoria, pouco reconhecida por ser pouco vista, já que foi criada para um produto específico e a proporcionar o seu controle, conhecida como sistemas embarcados. São pequenos computadores denominados microcontroladores que, por estarem embarcados (escondidos) em um produto, o usuário, muitas vezes, não sabe que estão ali. Hoje em dia sistemas embarcados estão em toda parte, na Tabela 1 listam-se alguns exemplos e suas aplicações. Apesar de a diferença entre os exemplos, todos apresentam o mesmo princípio de funcionamento; assim, para projetar sistemas embarcados, o projetista precisa entender em detalhes as características do produto em que será embutido (WILMSHURST, 2007).

Tabela 1 - Alguns exemplos de sistemas embarcados.

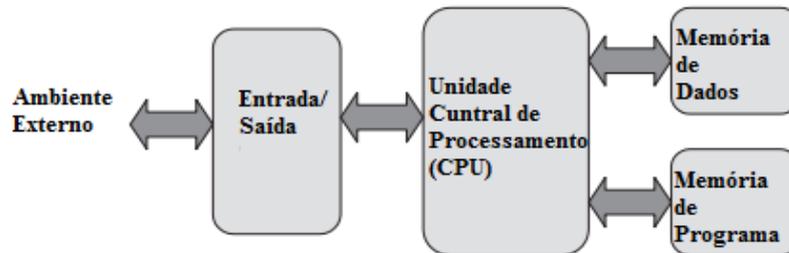
<b>Casa</b>	<b>Trabalho</b>	<b>Carro</b>
Máquinas de lavar	Fotocopiadora	Mecanismos de porta
Geladeira	Máquinas de check-out	Controles de temperatura
Alarmes contra roubo	Impressoras	Sistemas de frenagem
Micro-ondas	Scanner	Controle do Motor

Fonte: Wilmshurst (2007).

Tanto para sistemas embarcados como para qualquer sistema de computador são essenciais os elementos mostrados na Figura 1. A Unidade Central de Processamento (CPU) é responsável por realizar cálculos aritméticos ou lógicos. Ela opera pela execução sequencial de uma série de instruções com funções simples, denominadas programa e que estão armazenadas na memória de programa. No entanto, como no computador são executadas de

forma extremamente rápida, a impressão que se tem é de grande poder computacional (WILMSHURST, 2007).

Figura 1 - Componentes essenciais de um computador.



Fonte: Wilmshurst (2007).

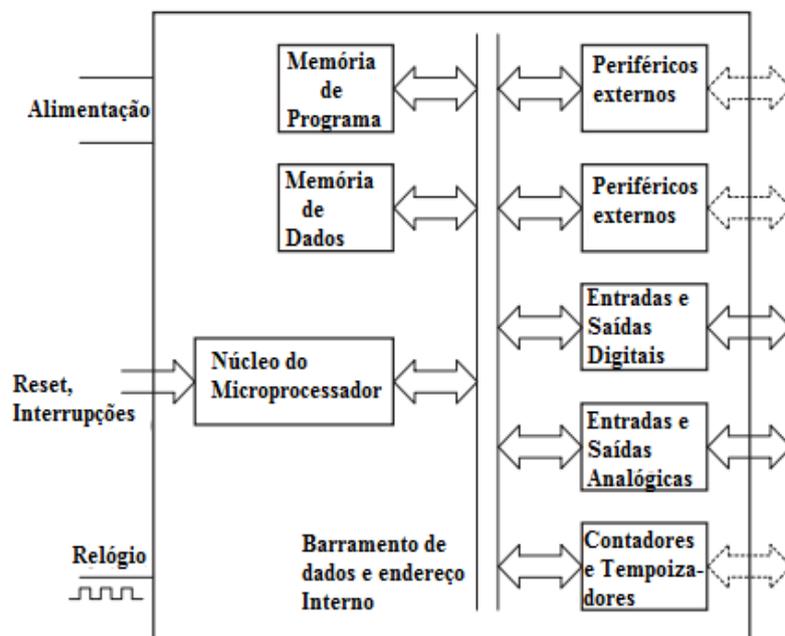
O primeiro microprocessador apareceu, na década de 1970, na qual, pela primeira vez, foi colocado a CPU de um computador em um único circuito integrado (CI). Assim um poder de processamento significativo ficou disponível a baixo custo em um espaço relativamente pequeno. Nas primeiras versões, todas as outras funções, como memória e interfaces de entrada/saída, estavam fora do microprocessador e a integração ainda tinha que ser feita por meio de um bom número de CIs. Aos poucos, o microprocessador incorporou mais funções, como inclusão de diferentes tipos de memória no mesmo CI. Ao mesmo tempo, a CPU passou a ter maior capacidade de processamento e mudou-se rapidamente de 8 para 16 e 32 bits, que possibilitou o desenvolvimento do microprocessador, para aplicações de uso geral, como no computador pessoal, por exemplo (WILMSHURST, 2007).

Enquanto se reconhecia e explorava o poder de computação do microprocessador, de forma acelerada, também se descobria um outro uso para eles, como no controle de processos. Projetistas então começaram a colocar microprocessadores em todos os tipos de produtos que não tinham relação direta com computação, como os citados na Tabela 1. Para eles, a necessidade não era, necessariamente alto poder computacional, com alta velocidade e grande capacidade de armazenamento. Assim, uma categoria especial de microprocessador emergiu e foi destinado às atividades de controle. Depois este tipo de microprocessador ganhou uma identidade própria e passou a ser chamado de microcontrolador, assumindo o papel de computador embutido em sistemas embarcados (WILMSHURST, 2007).

Como um microprocessador, um microcontrolador tem de ser capaz de calcular, embora não necessariamente com números grandes, pois tem outras necessidades. Em

primeiro lugar, deve ter excelente capacidade de entrada/saída, por exemplo, para que possa interagir diretamente com o ambiente em que está embutido. Por se tratar de um computador a ser embarcado deve possuir tamanho e custos adequados aos projetos, ser pequeno, conter diversas funções embutidas e de baixo custo. Um microprocessador, em um computador convencional, normalmente, trabalha em um ambiente controlado. Já um microcontrolador pode precisar trabalhar em duras condições do ambiente industrial ou motor de um carro e ou ser capaz de operar em temperaturas extremas (WILMSHURST, 2007).

Figura 2 - Microcontrolador genérico.



Fonte: Wilmshurst (2007).

Uma visão genérica de um microcontrolador é mostrada na Figura 2. Essencialmente, ele contém um núcleo microprocessador simples acompanhado de uma memória de dados e de programa. A isto acrescentam-se todos os periféricos que lhe permitam fazer interface com o ambiente externo como entrada/saída digital e analógica, ou de contagem e de temporização, além de outras funções mais sofisticadas. Como qualquer circuito eletrônico, o microcontrolador precisa ser alimentado e precisa de um sinal de clock para sincronizar os circuitos lógicos internos (WILMSHURST, 2007).

De um modo geral, existem duas principais aplicações para a memória, em um microcontrolador, como mostra a Figura 2. Uma memória mantém o programa que o

microcontrolador executará. Esta memória precisa ser permanente, para que o programa seja mantido na memória indefinidamente com ou sem alimentação e esteja pronto para ser executado assim que a energia for aplicada. Este tipo de memória é considerada não volátil e, por razões históricas, tem sido comumente chamada de ROM (memória somente leitura). Nos microcontroladores é melhor descrita como “memória de programa” (WILMSHURST, 2007).

A outra memória é utilizada, para armazenar dados temporários, que o programa utiliza quando ele é executado. Este tipo de memória não precisa ser permanente, embora não haja nenhum dano se for. Este tipo de memória é considerada volátil e, por razões históricas, comumente tem sido chamada de RAM (memória de acesso aleatório). Em microcontroladores é conhecida simplesmente como “memória de dados” (WILMSHURST, 2007).

Finalmente, um computador deve ser capaz de se comunicar com o mundo exterior por dispositivos de entrada/saída de dados. Em um computador pessoal, isso implica interação humana, por meio do teclado, monitor de vídeo e impressora. Em um sistema embarcado, a comunicação é provável que seja, principalmente com o mundo físico, em torno dele, por sensores e atuadores (WILMSHURST, 2007).

Com custo cada vez menor e acessível, consumindo menos energia, mais compactos e com maior poder de processamento crescente, o mundo será cada vez mais microconectado, em que não só os computadores acessam a internet, mas também os objetos ao nosso redor. Portanto sistemas embarcados estão presentes, cada vez mais, no dia a dia das pessoas, seja salvando vidas como em marcapassos, garantindo a segurança em aviões e carros, localizando pessoas por satélites, bem como para entretenimento e serviços (EMBARCADOS, 2014).

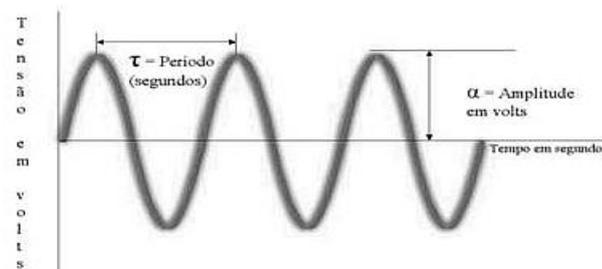
## **2.2 Transmissões via Rádio frequência**

Rádio frequência (RF) são correntes alternadas de alta frequência que, passando por cabos condutores, ao chegarem nas antenas, são irradiadas pelo ar na forma de ondas eletromagnéticas (OEM). Um receptor a uma determinada distância, por meio, também, de uma antena, capta as OEM e as transforma em sinais elétricos afim de que a informação que elas carregam possa ser compreendida, ou seja, o processo inverso do transmissor (BRITO FILHO, 2014). Segundo Tanenbaum (2011), ondas de RF são OEM amplamente utilizadas para comunicação seja em ambientes fechados ou abertos, pois são fáceis de gerar, percorrem longas distâncias e penetram facilmente em prédios. Além disso, são omnidirecionais, o que significa que elas viajam em todas as direções, a partir da fonte, desse modo, o transmissor e o

receptor não precisam estar fisicamente alinhados. Conforme Figura 3, uma OEM possui as seguintes características:

- Amplitude: tensão máxima em volts que pode atingir.
- Período: é o tempo em segundos que uma onda leva para completar um ciclo (em segundos).
- Comprimento de onda: espaço em metros que a onda percorre entre dois sinais a partir do qual ela se repetiu. Ou seja, o espaço que essa onda percorre em um período.
- Frequência: número de ciclos que a onda percorre no tempo, ou seja, em um segundo, sua unidade é o Hertz (H). A frequência é inversa do período (BRITO FILHO, 2014).

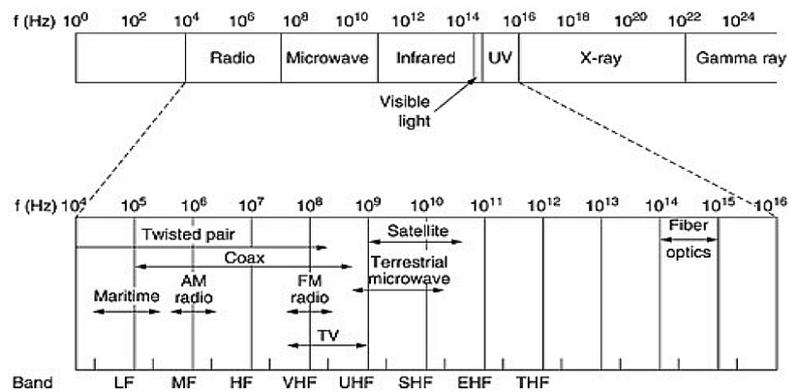
Figura 3 - Forma de uma onda eletromagnética



Fonte: Brito Filho (2014).

Para Seybold (2005), RF é qualquer OEM com frequência na faixa de 1 MHz a 300 GHz do espectro eletromagnético representado pela Figura 4. Em uma transmissão digital por RF, a quantidade de bits que uma onda eletromagnética pode transportar, segundo Tanenbaum (2011), está diretamente relacionada à sua largura de banda, ou seja, à capacidade de transmissão de um determinado meio. A taxa (velocidade) de transmissão, conforme Torres (2014), mede a quantidade de bits que é transferida em uma quantidade específica de tempo.

Figura 4 - O espectro eletromagnético.



Fonte: Tanenbaum (2011).

Para a transmissão de bits pela OEM, é preciso colocar os bits a serem transmitidos sobre a onda portadora, cujo processo é denominado modulação. Desta forma, todas as técnicas de modulação resultam no deslocamento de um sinal portador da sua gama de frequências ou amplitudes originais, para uma outra gama de frequências ou amplitudes. Na recepção, o sinal transmitido é recuperado pelo processo inverso, ou seja, é realizada a desmodulação que elimina a portadora e recupera os bits transmitidos (AZEVEDO, 2017).

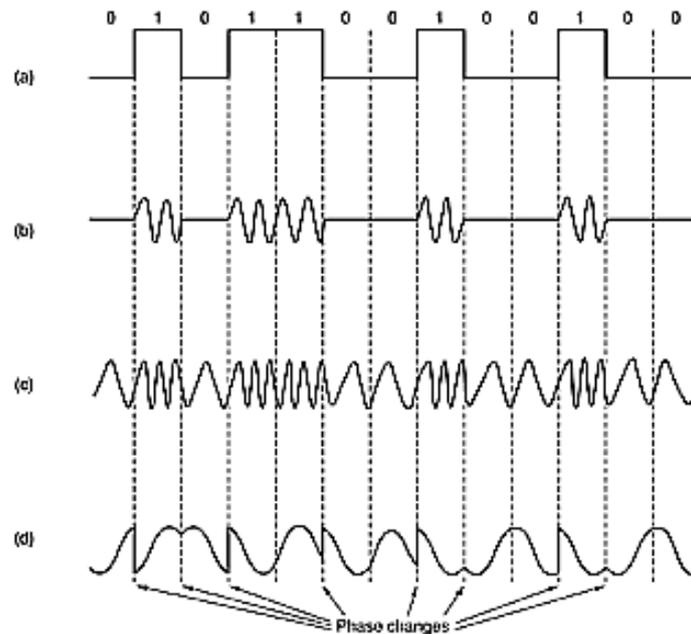
Conforme Figura 5, Brito Filho (2014) declara que:

Quando o sinal é digital e a portadora é analógica, refere-se a esse tipo de modulação como chaveada, as mais conhecidas são: *Amplitude Shift Keying* (ASK - modulação por chaveamento de amplitude), *Frequency Shift Keying* (FSK - modulação por chaveamento de frequência) e *Phase Shift Keying* (PSK - modulação por chaveamento de fase). Os tipos de modulação mais usadas nas WLAN's de alta velocidade são o *Binary Phase Shift Keying* (BPSK - modulação por chaveamento de fase binário), *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK - modulação por chaveamento de fase em quadratura), ambas são subdivisões da modulação PSK e o *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM - Modulação por Amplitude em Quadratura).

Na transmissão de dados por ondas eletromagnéticas, também, existem algumas características importantes quanto ao sentido e sincronização da comunicação, à forma de transmissão dos dados paralela ou serial, ao atraso (latência) no envio e recepção dos dados e quanto à detecção de erros na transmissão. Quanto ao sentido, Tanenbaum (2011) explica que:

Uma conexão que permite tráfego, em ambos os sentidos simultaneamente, é chamada *full-duplex*. Uma estrada de duas pistas é *full-duplex*. Uma conexão que permite o tráfego nos dois sentidos, mas apenas em um sentido de cada vez, é chamada *half-duplex*. Uma estrada de ferro única é *half-duplex*. Uma conexão que permite o tráfego apenas em um sentido é chamada *simplex*. Uma rua de mão única é *simplex* (TANENBAUM, 2011, p. 97).

Figura 5 - Tipos de principais de modulação por chaveamento. (a) sinal digital a ser transmitido; (b) ASK; (c) FSK; (d) PSK.



Fonte: Tanenbaum (2011).

Numa transmissão em paralelo, vários bits são transmitidos ao mesmo tempo, enquanto em série os bits são transmitidos, um a um, sequencialmente, pelo canal ou fio. Quanto à sincronização, em uma comunicação síncrona, a transmissão é controlada por um relógio (*clock*) do início ao fim da transmissão. Na comunicação assíncrona, a transmissão ocorre sem uso de um relógio, desta forma, ela pode ser iniciada e encerrada a qualquer momento por bits de início e fim de um conjunto de dados. A latência se refere ao tempo que um pacote de dados, enviado pelo transmissor, leva para chegar ao receptor. Finalmente é importante garantir que os dados recebidos pelo receptor estejam íntegros, pois, estando os dados corretos, o receptor envia uma confirmação (*ACK - Acknowledgement*) ao transmissor e aguarda os próximos dados, em caso contrário aguarda os mesmos dados serem retransmitidos, ou efetua as correções nos dados recebidos. Para detecção de erros na recepção, os mecanismos mais comuns são paridade, soma de verificação (*checksum*) e verificação cíclica de redundância (*CRC*). Porém o receptor, também, pode corrigir o erro sem solicitar reenvio, por códigos de correção de erros (*ECC*) (TORRES, 2014).

Para a correta transmissão de dados pelas ondas de RF, suas propriedades devem ser compreendidas. Brito Filho (2014) as elencou da seguinte forma:

- a) Relação sinal-ruído (SNR): receptores de ondas RF precisam identificar um nível mínimo de energia de sinal para poder diferenciá-lo do ruído. Uma SNR descreve a relação da potência do sinal recebido, comparada com a potência do sinal de fundo, sendo assim, quanto maior for a SNR melhor é a potência do sinal.
- b) Atenuação: perda de potência do sinal, ao se propagar pelo meio, neste caso o ar.
- c) Ganho: pode ser entendido como o aumento da amplitude de um sinal de RF, ele é dado em referência a uma antena padrão, normalmente uma antena isotrópica que irradia igualmente em todas as direções, cujo ganho é expresso em dBi.
- d) Reflexão: pode ocasionar a inversão completa ( $180^\circ$ ) ou parcial da fase da onda, quando essa onda refletida combinada com a onda original chega ao receptor, pode ocasionar interferências e degradação do sinal.
- e) Refração: desvio sofrido por uma onda RF ao passar por meios de diferentes densidades.
- f) Difração: quando se deparam com os obstáculos, as ondas RF têm a tendência de contornar esses obstáculos.
- g) Espalhamento: ocorre em superfícies irregulares em que as dimensões são menores que o comprimento de onda.
- h) Absorção: é quando o sinal da onda RF atinge um objeto e é absorvido pelo material, sem atravessar, refletir ou contornar.
- i) Interferência: podem ser do ambiente e ou de outros sistemas que atuam na mesma área e ou frequência. A interferência, como o nome sugere, interfere e prejudica a comunicação entre sistemas.
- j) Múltiplos caminhos: ocorre quando há mais de um caminho disponível para a propagação do sinal de rádio. Podem ser causados, por exemplo, pelos fenômenos da reflexão, difração e espalhamento que dão origem a caminhos adicionais de propagação entre transmissor e receptor.
- k) Formação de Dutos no Percurso de Onda: fenômeno atmosférico, que altera o curso de um feixe de ondas e o mantém “canalizado”.
- l) Desvanecimento: quando o sinal recebido varia de intensidade a cada instante, em razão de alguns dos problemas mencionados acima, ocorridos durante a propagação do sinal.

### 2.2.1 Banda ISM

Em 1985, a FCC, nos Estados Unidos, liberou uma faixa de frequências para o desenvolvimento industrial, científico e médico (ISM - *Industrial Scientific and Medical*). Essa liberação proporcionou aos fabricantes um desenvolvimento livre, sem a necessidade de licenciamento do uso destas frequências por parte dos usuários. Porém os limites de potência ficaram a critério dos órgãos regulamentadores de cada país. Segundo Brito Filho (2014), foram liberadas 3 faixas de frequência em ISM descritas abaixo:

- A primeira faixa com 900 a 928 MHz com largura de banda de 26 MHz.
- A segunda faixa com 2,4 a 2,4835 GHz com largura de banda de 83,5 MHz.
- Já a terceira faixa em 5 GHz foi subdividida em três: de 5.15 a 5.35 GHz com uma largura de banda de 100 MHz, de 5.470 a 5.725 GHz com uma largura de banda de 100 MHz e 5.725 a 5.850 GHz com uma largura de banda de 100 MHz, totalizando uma largura total de banda de 300 MHz.

Isto possibilitou, por exemplo, o surgimento das redes Wi-Fi, padrão IEEE 802.11, em que duas faixas de frequências são usadas por redes deste padrão, 2,4 GHz e 5 GHz. A faixa de 2,4 GHz é normalmente dividida em 14 canais, com uma distância de 5 MHz entre cada canal, exceto entre os canais 13 e 14 que possuem 12 MHz, porém os protocolos do padrão IEEE 802.11 podem usar ainda distância entre os canais de 20 MHz, 22 MHz ou 40 MHz dependendo da configuração. A faixa de 5 GHz é dividida em 13 canais de 20 MHz, exceto o padrão IEEE 802.11a que tem acesso a 12 canais, sendo mais indicada, para ambientes fechados, pois quanto maior a frequência de transmissão menor o alcance. A vantagem da faixa de 5 GHz é que ela é menos usada, por isso, tem menos interferência em relação à faixa de 2,4 GHz que possui diversos dispositivos que usam esta frequência. Um mesmo canal em uso por vários dispositivos é chamado de barramento. Quando uma mensagem é enviada a todos, neste mesmo canal, este tipo de envio é denominado *broadcast*, quando enviado a um determinado grupo de dispositivo neste canal, este tipo de envio é chamado de *multicast* e, quando enviado a somente um dispositivo no canal, é chamado de *unicast* (TORRES, 2014).

Além das técnicas de modulação há, também, técnicas de espalhamento do espectro, ou seja, de alocação de espaço no espectro. As mais conhecidas, para a frequência 2,4 GHz da banda ISM para transmissões a 1 ou 2 Mbps, são: o espectro de dispersão de saltos de frequência (FHSS - *Frequency Hopping Spread Spectrum*) que utiliza salto entre 79 canais, cada um com 1 MHz de largura, começando na extremidade baixa da banda ISM de 2,4 GHz para transmissão; e o espectro de dispersão de sequência direta (DSSS - *Direct Sequence*

*Spread Spectrum*), que, em vez de fazer a separação entre utilizadores por meio de frequência, a cada utilizador é atribuído um código, de forma que a sua transmissão possa ser identificada, assim, consiste em transmitir cada bit codificado, em uma sequência de Barker de 11 bits denominados *chips*. Com o DSSS foi possível aumentar a taxa de transmissão para até 11 Mbps, com o padrão IEEE 802.11b. As primeiras LANs, sem fios de alta velocidade, padrão IEEE 802.11a, utilizavam uma outra técnica, a multiplexação ortogonal por divisão de frequência (OFDM - *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), para transmitir até 54 Mbps na banda ISM mais larga de 5 GHz, pois permite várias transmissões em frequências diferentes ao mesmo tempo, ou seja, em paralelo. Em virtude de questões de compatibilidade com produtos 2,4 GHz, já no mercado, o OFDM passou a ser usado, também nesta frequência, nesse caso, com o padrão IEEE 802.11g alcançando também 54 Mbps (TANENBAUM, 2011).

### 2.2.2 DSRC

Em 1999, a FCC (2017), nos Estados Unidos, alocou 75 MHz do espectro de frequências na faixa de 5,9 GHz, para aplicações com comunicação dedicada a curtas distâncias (DSRC), em Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS). O serviço DSRC envolve comunicações entre veículos e entre veículos e infraestrutura, melhorando a segurança no trânsito. De acordo com a FCC (2017), esse tipo de comunicação pode salvar vidas, pois os condutores podem ser avisados de uma condição ou evento perigoso iminente a tempo de tomar ações corretivas ou evasivas. A banda também pode ser usada por entidades não públicas de segurança para operações DSRC comerciais ou privadas (FCC, 2017). A alocação de canais DSRC está representada na Figura 6. Na Europa, nove anos depois, as autoridades governamentais alocaram 30 MHz, na mesma faixa, para destiná-las à DSRC (GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO - GTA, 2012a).

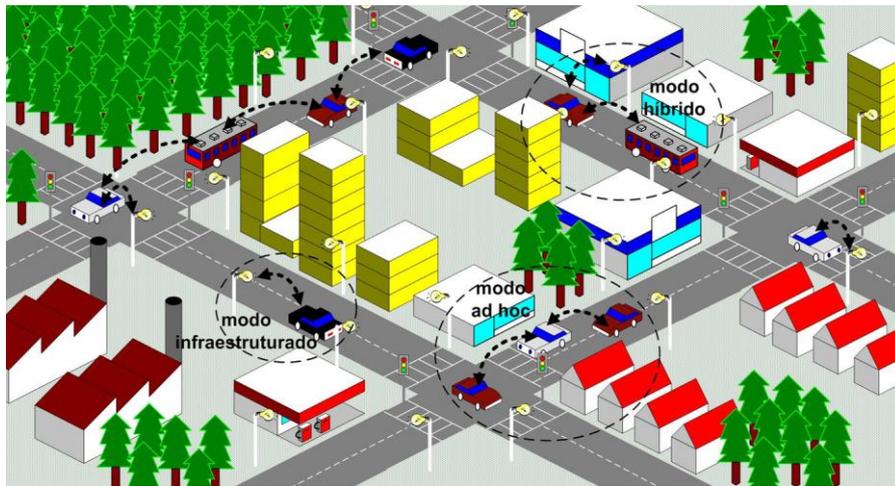


Fonte: Alves (2009).

Em 2004, foi iniciado um grupo de trabalho no padrão IEEE 802.11p, arquitetura WAVE (*Wireless Access in the Vehicular Environment*), para aplicações com comunicação

entre veículos VANET (*Vehicle Ad-hoc Network*), usando DSRC. Este tipo de comunicação pode ser de veículo para veículo (V2V - *Vehicle-to-Vehicle*), em que os veículos comunicam-se diretamente uns com os outros, funcionando como roteadores e encaminhando tráfego por múltiplos saltos. A conectividade da rede, no entanto, depende da densidade e do padrão de mobilidade dos veículos. Pode ser do tipo infraestruturada (V2I - *Vehicle-to-Infrastructure*) que emprega equipamentos fixos, instalados no entorno das vias, funcionando como pontos de acesso de redes IEEE 802.11p, centralizando todo o tráfego da rede e servindo como nós intermediários das comunicações. Fato que aumenta a conectividade e permite a comunicação com outras redes, como, por exemplo, a Internet. Porém a instalação de equipamentos fixos pode elevar os custos da rede. Uma solução intermediária entre o V2V e o V2I é chamada de híbrida, que requer a instalação mínima de equipamentos fixos apenas para melhorar a conectividade da rede e prover serviços de acesso a redes externas. Na Figura 7 apresentam-se as diversas arquiteturas de comunicação entre veículos (ALVES, 2009).

Figura 7 - Tipos de comunicação entre veículos.



Fonte: Alves (2009).

Apesar de a faixa DSRC ter sido alocada e destinada a aplicações com comunicação entre veículos, conforme já descrito, e muitas pesquisas estarem sendo realizadas, com base nela, principalmente pelas simulações em software, muitos pesquisadores usam também a frequência de 2,4 GHz embora não seja a ideal devido às interferências. Um dos motivos para seu uso é o fato de haver poucos dispositivos disponíveis na frequência de 5,9 GHz, como o padrão IEEE 802.11p, por exemplo. Assim, em diversos trabalhos como, por exemplo, de Braescu e Caruntun (2017), Chen et al. (2012), Djajadi e Putra (2014), Ghatwai, Harpale e Kale (2016) e Sant'Ana (2014), usam 2,4 GHz por meio de diferentes tipos de protocolos

como Wi-Fi, ZigBee, entre outros, para aplicações em segurança no trânsito usando comunicações entre veículos.

### **2.2.3 Transceptores RF**

Dispositivos eletrônicos que têm a função de permitir a comunicação entre dois pontos pela RF, ora como transmissor, ora como receptor, englobam as funções tanto de transmissão quanto de recepção em um único dispositivo (CARISSIMI; ROCHOL; GRANVILLE, 2009). Como transmissor, o transceptor faz a modulação e amplifica a potência para produzir sinais de radiofrequência para a transmissão. Como receptor, desmodula a frequência para receber sinais de RF. Além disso, possuem especificações importantes para a transmissão e recepção como, taxa de transmissão, a sensibilidade, a potência de saída, interface de comunicação, frequência de operação, resolução de medição e distância de transmissão máxima. Normalmente um tipo de transceptor é compatível apenas com outro do mesmo tipo, a não ser quando projetado para ser compatível com outros tipos (KUMARI, 2016).

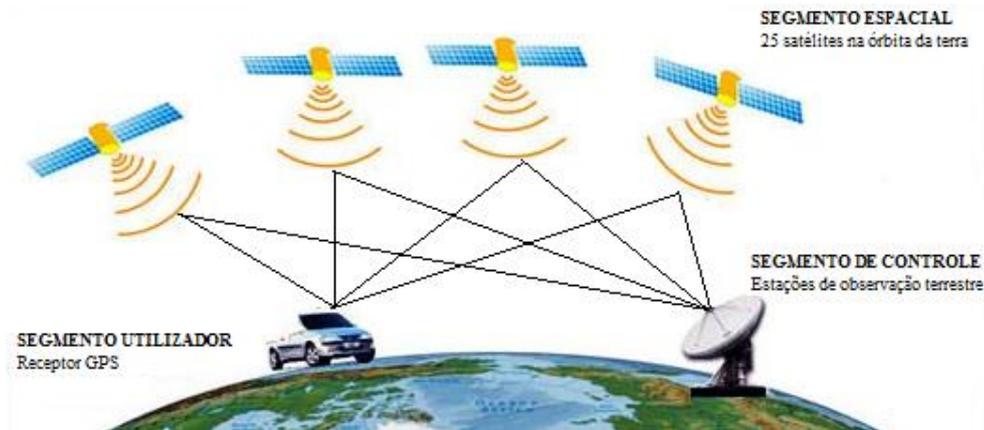
Os transceptores possuem antenas para transmitir e receber os sinais, sendo elas, geralmente, o elemento irradiante da portadora local no momento da transmissão e as responsáveis pela captura desta portadora remota no momento da recepção. Se o enlace entre os transceptores for *half-duplex*, eles operam alternadamente, nos dois sentidos, no mesmo canal de RF. Se for *full-duplex*, utilizam canais RF de transmissão e recepção separados (CARISSIMI; ROCHOL; GRANVILLE, 2009). Segundo Boche (2017), os transceptores podem executar algum tipo de algoritmo, para a detecção de erros de transmissão, permitindo uma comunicação ponto a ponto de forma confiável.

## **2.3 GPS**

De acordo com Liu (2015), o sistema de posicionamento Global (GPS - *Global Position System*) usa um dispositivo receptor GPS para fornecer a posição de um ponto específico na superfície terrestre. Este posicionamento se dá, por meio de um sistema composto de 26 satélites em órbita, a cerca de 20.000 km de altitude, distribuídos em grupos de seis planos orbitais espaçados em 55 graus, de forma que cada satélite tenha um período útil de 12 horas sobre horizonte. Tais arranjos garantem que, a qualquer momento, pelo menos quatro satélites estejam sobre o céu do receptor do usuário em qualquer ponto do planeta (LIU, 2015). Este arranjo, na verdade, representa uma parte do sistema GPS, pois, como um todo, ele é composto por três segmentos: o segmento espacial, composto pelos satélites artificiais descritos no parágrafo acima; o segmento de controle, composto pelas estações

terrestres que mantêm os satélites em funcionamento; e o segmento dos usuários, composto pelos receptores que captam os sinais enviados pelos satélites e com eles calculam sua posição. A Figura 8 reproduz esse sistema (BIANCHINI, 2014).

Figura 8 - Sistema de Posicionamento Global (GPS).



Fonte: Google Images (2017).

Segundo Gomes (2010), os fundamentos básicos do GPS baseiam-se na determinação da distância entre um ponto, o receptor, a outros de referência, os satélites. Verificando a distância que nos separa de 3 pontos, podemos determinar a nossa posição relativa a esses mesmos 3 pontos pela interseção de 3 circunferências cujos raios são as distâncias medidas entre o receptor e os satélites. Um receptor rastreia um satélite pela recepção de seu sinal sendo necessários, no mínimo, 4 satélites para determinar a nossa posição corretamente.

Para que cada ponto da superfície terrestre possa ser localizado, existe um sistema de linhas imaginárias, denominado meridianos e paralelos, o qual está situado na intercessão entre um meridiano e um paralelo determinado pela sua latitude e longitude (GOMES, 2010).

Para Moi, Moreira e Geremia (2014, p. 73):

a localização de um determinado ponto é dada em termos de coordenadas geográficas, são elas: latitude, longitude e elevação. A latitude de um ponto P é a medida do arco meridiano que passa por P situado entre o paralelo que contém P e o Equador. A latitude é expressa em graus, minutos e segundos e se mede de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  N (Norte) ou de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  S (Sul). A longitude de um ponto P é a medida do arco de paralelo que passa por P situado entre o meridiano que contém P e o meridiano de Greenwich. A longitude é expressa em graus, minutos e segundos e se mede de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  E (Leste) ou de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  W (Oeste) e a elevação normalmente é associada à altura em relação ao nível do mar.

O GPS já faz parte do cotidiano das pessoas. Pela sua precisão no posicionamento, ele tem sido utilizado para diversos fins, desde uma simples navegação, até a realização de posicionamento de ordem milimétrica (POLEZEL; SOUZA; MONICO, 2008). Entretanto existem alguns erros que prejudicam a precisão do posicionamento, os quais GTA (2017a) descreve como os principais:

- a) Nos satélites: um erro mínimo no relógio, ou a posição dos satélites que podem sofrer pequenas variações, em virtude de inúmeros fatores, podem causar variações na medição da posição.
- b) Nos receptores: o relógio dos receptores por ser menos preciso que o do satélite é, portanto, mais sensível a erros. Além disso, erros de multitrajeto, cujos sinais recebidos dos satélites podem sofrer reflexões em objetos na atmosfera, causam erros no cálculo da distância que atualmente está em torno de 50 cm.
- c) No meio de transmissão: atrasos na velocidade de propagação do sinal na ionosfera, que varia, de acordo com condições climáticas, causam erros no cálculo da distância, já que os receptores dependem de uma velocidade constante para este cálculo. Além disso, quando passa pela troposfera, o sinal também sofre um atraso, principalmente, pela umidade que também gera erros na medição.

Segundo Polezel, Souza e Monico (2008, p. 1):

Tais erros deterioram a qualidade das observáveis GPS (código e fase da onda portadora) e precisam ser tratados adequadamente, para que seja possível realizar posicionamento de ordem milimétrica. Este tratamento se faz necessário devido à impossibilidade do modelo matemático representar a realidade física com total fidelidade. A maioria dos erros envolvidos pode ser minimizada no posicionamento relativo através de combinações lineares na modelagem funcional.

Estes erros, apesar de pequenos individualmente, somados atrapalham uma melhor precisão no cálculo da posição. Assim, mesmo com algumas soluções já em uso, esta tecnologia ainda tem desafios pela frente.

### **2.3.1 Distância entre dois pontos na superfície terrestre**

Uma fórmula muito usada, em sistemas de navegação, para calcular a distância entre dois pontos na superfície terrestre, é uma função trigonométrica conhecida como *Haversine*. Presumindo a terra como uma esfera perfeita, a localização de dois pontos em coordenadas

esféricas são denominadas longitude e latitude. Esta fórmula é, então, usada para calcular a distância entre longitude e latitude, normalmente em quilômetros ou milhas, mas também muito precisa para calcular curtas distâncias (NORDIN et al., 2012). Realizando uma aproximação da Terra como uma esfera perfeita, é possível apresentar um erro médio de 0.3% nos cálculos (RIBEIRO JUNIOR et al., 2013). A distância entre dois pontos calculados pela fórmula de *Haversine* é dada pelas seguintes equações, em Nordin et al. (2012), encontrando a variação da latitude e longitude  $\Delta lat = lat_2 - lat_1$  e  $\Delta long = long_2 - long_1$  tem-se  $a = \sin^2 \cdot \left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos \cdot (lat_1) \cdot \cos \cdot (lat_2) \cdot \sin^2 \cdot \left(\frac{\Delta long}{2}\right)$  e, então,  $c = 2 \cdot \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{(1 - a)})$  o que resulta em  $d = R \cdot c$ , em que:

- a)  $R$ : raio da terra, que, segundo Wall et al. (2015), tem o valor de 6371 km.
- b)  $lat$ : latitude;
- c)  $long$ : longitude;
- d)  $\Delta lat$ : mudança de latitude;
- e)  $\Delta long$ : mudança de longitude;
- f)  $a$ : o quadrado da metade da distância da linha reta entre dois pontos;
- g)  $c$ : a grande distância do círculo em radianos;
- h)  $d$ : Distância.

Figura 9 - Algoritmo implementado com a fórmula de Haversine.

```

/**
 * distanciaPontosGPS()
 * Função que traz a distância em linha reta de um ponto a outro
 * @param $id
 */
public function distanciaPontosGPS($p1LA, $p1LO, $p2LA, $p2LO)
{
    $r = 6371.0;

    $p1LA = $p1LA * pi() / 180.0;
    $p1LO = $p1LO * pi() / 180.0;
    $p2LA = $p2LA * pi() / 180.0;
    $p2LO = $p2LO * pi() / 180.0;

    $dLat = $p2LA - $p1LA;
    $dLong = $p2LO - $p1LO;

    $a = sin($dLat / 2) * sin($dLat / 2)
        +
        cos($p1LA) * cos($p2LA) * sin($dLong / 2) * sin($dLong / 2);

    $c = 2 * atan2(sqrt($a), sqrt(1 - $a));

    return round($r * $c * 1000); // resultado em metros.
}

```

Fonte: Rohr (2014).

Na Figura 9 um exemplo de um algoritmo com a fórmula de *Haversine* foi implementada. Segundo Nordin et al. (2012), as latitudes e longitudes podem estar em graus decimais, sendo, por isso, necessário converter em radianos, logo deve-se multiplicar o número de graus por  $\pi / 180$ . Para expressar  $c$  em graus decimais, multiplica-se o número de radianos por  $180 / \pi$ , mas deve-se certificar de multiplicar o número de radianos  $c$  por  $R$  para obter  $d$ .

## 2.4 Cinemática

Fundamentalmente, o conceito de mecânica (ramo da física) é o de movimento, ou seja, o estudo da mudança nas posições dos corpos ao longo do tempo. Cinemática é a parte da mecânica que descreve como se processam esses movimentos, isto é, estabelece as posições que os corpos ocupam, ao longo do tempo, suas respectivas velocidades e acelerações, independentemente das causas desses movimentos (DANTAS, 2013).

### 2.4.1 Posição

Segundo Ramalho, Nicolau e Toledo (2007), a primeira etapa em cinemática é a determinação, em cada instante, da posição de um móvel. Para isso, é preciso escolher um referencial, um ponto do espaço quanto ao qual se determina a posição deste móvel. Esse ponto pode ser a origem de um sistema de coordenadas, que é a ferramenta matemática usada para expressar as distâncias em termos das coordenadas dos móveis nesse sistema (CORRADI et al., 2010). Ou seja:

$$\Delta x = x_2 - x_1 \quad (2.1)$$

a unidade de distância no SI é o metro [ $m$ ].

### 2.4.2 Velocidade

Dantas (2013) afirma que um corpo estará em movimento sempre que mudar de posição, no decorrer do tempo, em relação a um referencial adotado. A este movimento Ramalho et al. (2007) associam uma grandeza chamada velocidade escalar média, para medir a variação desta mudança de posição, no decorrer do tempo, ou seja:

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad (2.2)$$

a unidade de velocidade no SI é o metro por segundo [ $m/s$ ].

Esta velocidade pode ser constante ou variável. Para Dantas (2013), a velocidade é constante, quando ela é igual, em qualquer instante de tempo, ou seja, o móvel percorre distâncias iguais em tempos iguais. Variáveis são diferentes, em qualquer instante de tempo, percorrendo distâncias diferentes em tempos iguais. Corradi et al. (2010) afirmam que pela medida da velocidade média, em espaços de tempo cada vez menores, obtém-se a velocidade instantânea e que ambas as medidas são grandezas vetoriais e requerem, portanto, a especificação de seu módulo, direção e sentido. Segundo Ramalho et al. (2007), de acordo com a orientação da trajetória, a velocidade pode ser positiva ou negativa, assim, quando o módulo da velocidade, em sentido contrário ao da trajetória, diminuir, no decorrer do tempo, o movimento é chamado de retardado; e, quando no mesmo sentido a velocidade aumenta, é chamado de acelerado.

### 2.4.3 Aceleração

Corradi et al. (2010) explicam que, na maioria das situações reais, a velocidade dos corpos não permanece constante durante o seu movimento. A aceleração é a grandeza física que caracteriza a variação da velocidade, em um dado intervalo de tempo, sendo também uma grandeza vetorial. Assim:

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \quad (2.3)$$

a unidade de aceleração no SI é o metro por segundo ao quadrado [ $m/s^2$ ].

Ramalho et al. (2007) afirmam que pela medida da aceleração média, em espaços de tempo cada vez menores, obtém-se a aceleração instantânea e que ambas as medidas necessitam da especificação de seu módulo, direção e sentido. Assim, quando o módulo da aceleração possui o mesmo sinal do módulo da velocidade, ou seja, seguem o mesmo sentido da trajetória em um movimento acelerado, este movimento é também chamado de progressivo. Porém, quando o módulo de velocidade segue o mesmo sentido da trajetória e a aceleração o sentido contrário, eles possuem sinais diferentes, sendo este movimento chamado de retrógrado. O mesmo acontece para o movimento retardado.

### 2.4.4 Movimento Uniforme (MU)

De acordo com Ramalho et al. (2007), são movimentos que possuem velocidade escalar instantânea constante e não nula, sendo a mesma em todos os instantes. Matematicamente, pode ser representada por uma função do 1º grau que relaciona o espaço  $s$

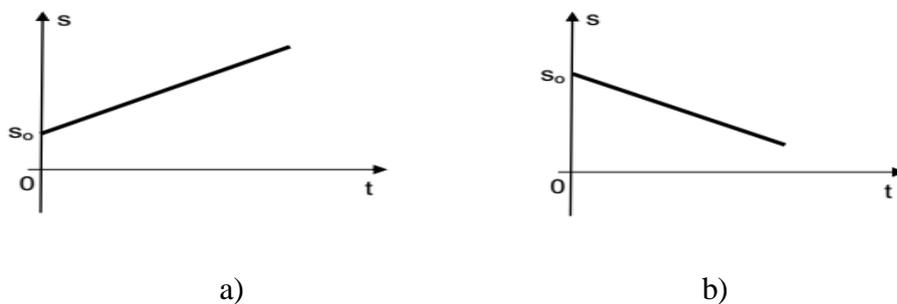
com os correspondentes instantes  $t$ , denominada função horária do movimento, representada por  $s = f(t)$ . Portanto, de  $v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$  resulta  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ , fazendo  $\Delta s = s - s_0$  e  $\Delta t = t - 0 = t$  vem,  $v = \frac{s - s_0}{t}$  e, na sequência,  $v \cdot t = s - s_0$  em que:

$$s = s_0 + vt \quad (2.4)$$

e  $s_0$  é o espaço inicial e  $v$  é a velocidade escalar.

Ainda, segundo Ramalho et al. (2007), esta função horária, equação (2.4), define o MU em qualquer tipo de trajetória e, para usá-la, deve-se indicar as unidades. Se  $s$  estiver em metros ( $m$ ) e  $t$  em segundos ( $s$ ), a unidade da velocidade  $v$  será  $m/s$ ; se  $s$  estiver em quilômetros ( $km$ ) e  $t$  em horas ( $h$ ), a unidade de  $v$  será em  $km/h$ . Conforme Dantas (2013), uma função de 1º grau é representada graficamente por uma reta, no sistema de coordenadas cartesianas, em relação ao eixo dos tempos. Para a velocidade positiva ( $v > 0$ ), a função é crescente, assim, o gráfico da função pode ser, conforme Figura 10 a), se velocidade é negativa ( $v < 0$ ), a função é decrescente ver Figura 10 b).

Figura 10 - Gráfico do espaço em função do tempo no MU.



Fonte: Dantas (2013).

#### 2.4.5 Movimento Uniformemente Variado (MUV)

Segundo Ramalho et al. (2007), são movimentos que possuem aceleração escalar instantânea constante e não nula, sendo a mesma em todos os instantes. Desta forma, no MUV, a velocidade escalar apresenta variações iguais em intervalo de tempos iguais. Da mesma forma que no MU, o MUV possui a sua função horária dos espaços, ou seja, como os espaços variam no decurso do tempo. Matematicamente esta é representada por uma função do 2º grau em  $t$  do tipo:

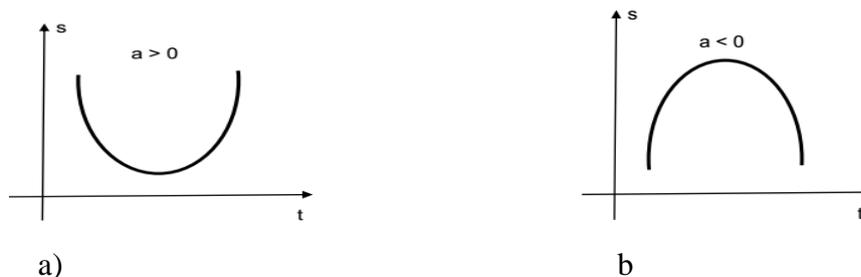
$$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{a}{2} \cdot t^2 \quad (2.5)$$

em que  $s_0$  é o espaço inicial,  $v_0$  é a velocidade escalar inicial e  $a$  é a aceleração escalar constante do MUV.

Ainda, segundo Ramalho et al. (2007), esta função horária, equação (2.5), define o MUV em qualquer tipo de trajetória, no entanto seu conhecimento apenas não permite nenhuma conclusão sobre a forma da trajetória. Para usá-la, deve-se indicar as unidades,  $s$  em metros ( $m$ ),  $t$  em segundos ( $s$ ) e velocidade  $v$  em  $m/s$ , porque a aceleração é dada em  $m/s^2$ . Conforme Dantas (2013), uma função do 2º grau em  $t$  do tipo  $y = ax^2 + bx + c$  é representada graficamente por uma curva (parábola), no sistema de coordenadas cartesianas, em relação ao eixo dos tempos.

Com aceleração positiva ( $a > 0$ ), a função apresenta intervalos decrescentes antes do vértice  $v$  e intervalos crescentes depois do vértice  $v$ . Desta forma, conforme Figura 11 a), o gráfico da função é uma curva com concavidade voltada para cima, portanto o movimento é retardado e acelerado. Ou seja, o móvel caminha diminuindo o módulo da velocidade e depois aumentando o módulo de sua velocidade, na mesma direção e mudando o sentido da orientação na trajetória (DANTAS, 2013).

Figura 11 - Gráfico do espaço em função do tempo no MUV.



Fonte: Dantas (2013).

Com aceleração negativa ( $a < 0$ ), a função apresenta intervalos crescentes, antes do vértice  $v$  e intervalos decrescentes, depois do vértice  $v$ , conforme Figura 11 b). O gráfico da função é uma curva, com concavidade para baixo, portanto o movimento é retardado e acelerado. Ou seja, o móvel caminha diminuindo o módulo da velocidade e depois aumentando o módulo de sua velocidade na mesma direção e mudando o sentido da orientação na trajetória (DANTAS, 2013).

### 2.4.6 Movimentos com velocidade escalar variável

Segundo Ramalho et al. (2007), os movimentos podem ser classificados em uniformes, quando possuem velocidade escalar constante, uniformemente variado, quando possuem aceleração escalar constante. Mas também estes movimentos podem ser variados, quando a velocidade escalar variar com o tempo e, neste caso, haver também variação da aceleração escalar, em curto espaço de tempo, sendo estes movimentos os mais comuns.

Assim, nos movimentos variados, distinguem-se duas velocidades: a velocidade escalar média, equação (2.2), definida em um determinado intervalo de tempo e a velocidade escalar instantânea, equação (2.6), definida em um intervalo de tempo próximo de zero.

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad (2.6)$$

O mesmo acontece com a aceleração escalar média, equação (2.3) e com a aceleração instantânea, equação (2.7), já que é a aceleração que indica quanto varia a velocidade.

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \quad (2.7)$$

### 2.4.7 Cálculo de encontro e ultrapassagens de móveis

O encontro de dois móveis ocorre, quando, sob o mesmo referencial, estiverem na mesma posição. Ramalho et al. (2007) afirmam que, no instante do encontro, os móveis têm espaços iguais, independentemente de quanto cada móvel percorreu. Segundo eles, para descobrir quando ocorre esse encontro, é preciso igualar as funções horárias de cada móvel, porém, antes disso, deve-se:

- a) adotar uma origem dos espaços;
- b) orientar a trajetória;
- c) adotar uma origem dos tempos;
- d) escrever as funções horárias;
- e) impor a condição de encontro.

Desta forma, como exemplificado em Cabral (2017), para dois móveis *A* e *B* com movimento uniforme, seguindo em direções opostas, ao igualar as funções horárias pode-se

encontrar o instante do encontro. Pode também ser deduzida a equação do tempo do encontro em MU, ou seja, fazendo:

$s_A = s_B$  em que  $s_{A0} + v_A \cdot t = s_{B0} - v_B \cdot t$  obtém-se  $v_A \cdot t + v_B \cdot t = s_{B0} - s_{A0}$  que resulta em

$$t = \frac{s_{B0} - s_{A0}}{v_A + v_B}. \quad (2.8)$$

Para determinar onde ocorre o encontro em relação ao móvel A, basta substituir o valor do tempo encontrado na função horária do espaço do móvel A. Ainda, em Cabral (2017), mas agora para dois móveis A e B com movimento uniforme, seguindo em mesma direção, ao igualar as funções horárias pode-se encontrar também o instante do encontro. Neste caso, este encontro é normalmente chamado de ultrapassagem, pois os móveis estão na mesma direção sendo também possível a dedução da sua equação, assim fazendo:

$s_A = s_B$  em que  $s_{A0} + v_A \cdot t = s_{B0} + v_B \cdot t$  obtém-se  $v_A \cdot t - v_B \cdot t = s_{B0} - s_{A0}$  que resulta em

$$t = \frac{s_{B0} - s_{A0}}{v_A - v_B}. \quad (2.9)$$

Nota-se que, na definição da equação (2.8) do instante do encontro o sinal da velocidade de  $v_B$  na sua função horária é negativo, porque foi assumido que a orientação da trajetória teve como referência o sentido do móvel A, ou seja, o móvel B seguia direção contrária ao A. Diferente da definição da equação (2.9) que tem também A como referência ambos seguiam a mesma direção (CABRAL, 2017).

Da mesma maneira, em Ramalho et al. (2007) pode-se também deduzir a equação para o instante do encontro de dois móveis em MUV. Para se calcular então o tempo e posição de encontro de dois móveis A e B, em MUV, seguindo a mesma direção (ultrapassagem), precisa-se também igualar as funções horárias  $s_A = s_B$  fazendo então:

$$s_{A0} + v_{A0} \cdot t + \frac{a_A}{2} \cdot t^2 = s_{B0} + v_{B0} \cdot t + \frac{a_B}{2} \cdot t^2 \quad \text{obtem-se} \quad s_{A0} + v_{A0} \cdot t + \frac{a_A}{2} \cdot t^2 - s_{B0} - v_{B0} \cdot t - \frac{a_B}{2} \cdot t^2 = 0, \text{ que resulta em uma nova função do 2º grau:}$$

$$s_{A0-B0} + v_{A0-B0} \cdot t + \frac{a_{A-B}}{2} \cdot t^2 = 0 \quad (2.10)$$

Como toda equação do 2º grau, ela possui duas raízes reais:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

neste caso, pode ter dois tempos de encontro, ou seja:

$$t = \frac{-v_{A0-B0} \pm \sqrt{v_{A0-B0}^2 - \frac{4 \cdot s_{A0-B0} \cdot a_{A-B}}{2}}}{2 \cdot a_{A-B}} \quad (2.11)$$

Conforme Ramalho et al. (2007), admitindo-se que a função horária, equação (2.10), seja definida apenas para instantes posteriores a  $t=0$ , logo somente tempos positivos são resultados válidos, na equação (2.11). Para determinar, desse modo, onde ocorre o encontro em relação ao móvel A, basta substituir o valor do tempo na função horária do espaço do móvel A. Para Mondadori (2017), um resultado  $\Delta < 0$  na equação (2.10) significa que não existe um  $t$  que satisfaça as duas funções horárias, ao mesmo tempo, assim os móveis não se encontram.

Para dois móveis A e B em MUV, seguindo em direções contrárias, também, deve-se igualar as funções horárias, para encontrar o instante do encontro, como exemplificado em Silva (2017), a partir dos quais é possível deduzir a equação do encontro que segue os mesmos passos para a equação (2.10), encontrando, também, uma equação do 2º grau:

$$s_{A0-B0} + v_{A0+B0} \cdot t + \frac{a_{A+B}}{2} \cdot t^2 = 0 \quad (2.12)$$

O que a difere da equação (2.10) é que, nesta equação (2.12), por estarem em sentidos opostos, os sinais da velocidade e aceleração, nas funções horárias, são diferentes. Ou seja, as velocidades e acelerações do móvel A são positivas e as de B negativas, tendo como referência do sentido da trajetória o móvel A e, ao igualar as funções, os módulos de velocidade e aceleração serão somados. Isto ocorre, neste caso, como afirma Silva (2017), porque a aceleração aumenta a velocidade, isto é, em ambos os móveis as acelerações possuem o mesmo sinal das suas respectivas velocidades iniciais, pois estão em movimentos acelerados. Quando se tratar de um movimento retardado, a aceleração de um móvel deve possuir sinal contrário de sua velocidade inicial. Assim, pela equação (2.12), também, encontram-se dois instantes de encontro na equação (2.13) abaixo:

$$t = \frac{-v_{A0+B0} \pm \sqrt{v_{A0+B0}^2 - \frac{4 \cdot s_{A0-B0} \cdot a_{A+B}}{2}}}{2 \cdot a_{A+B}} \quad (2.13)$$

E, como afirmado por Ramalho et al. (2007), somente o instante positivo é um resultado válido.

Para Ramalho et al. (2007), em determinadas situações, como cálculos de encontro em ultrapassagens, deve ser levado em consideração o tamanho dos corpos, quando suas dimensões forem relevantes, sendo denominados corpos extensos e, quando estas dimensões não são relevantes, são chamados de pontos materiais. Por exemplo, um carro em uma viagem, ao longo de uma estrada, pode ser considerado um ponto material, mas este mesmo carro, ao estacionar em uma vaga, é um corpo extenso.

## 2.5 Ultrapassagens de veículos

Segundo Pellegrini (2006), o Código de Trânsito Brasileiro (CTB) dispõe que ultrapassagem é o movimento de passar à frente de outro veículo que se desloca no mesmo sentido, em menor velocidade e na mesma faixa de tráfego, necessitando sair e retornar à faixa de origem. Segundo Motro et al. (2016), as manobras de ultrapassagem são tarefas complexas, exigindo que o condutor processe múltiplas informações e tome decisões em pouco tempo, sendo estas relacionadas à condução do seu veículo, do veículo à frente, do possível tráfego oposto e outros tipos de tráfego a velocidades relativamente elevadas. Hegeman et al. (2005), fizeram várias observações de diferentes manobras de ultrapassagem e nas tarefas envolvidas nas mesmas em rodovias de pistas simples (duas uma em cada sentido), os resultados destas observações são descritas a seguir.

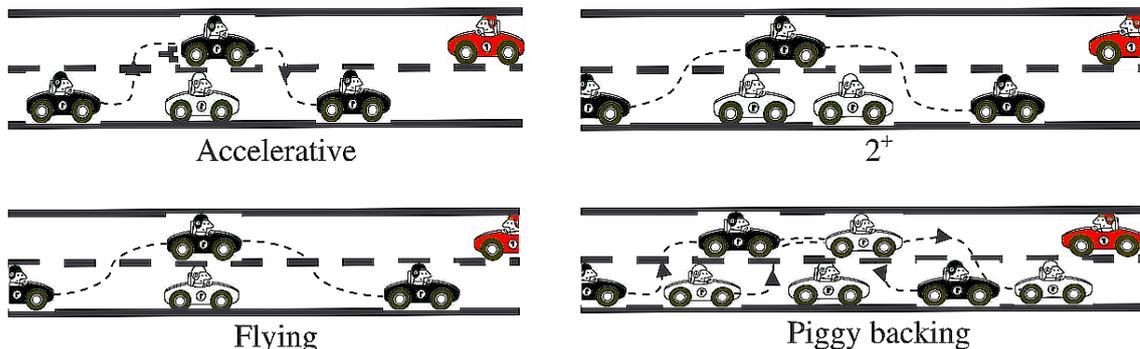
### 2.5.1 Manobras de ultrapassagem

Hegeman et al. (2005) categorizaram diferentes manobras de ultrapassagem em quatro tipos de cenários. Na Figura 12 ilustram-se os quatro cenários de ultrapassagens e abaixo a sua descrição:

- a) *Normal (Accelerative)* - Um motorista se aproxima de um veículo mais lento à frente e tem que esperar por uma oportunidade de ultrapassagem e, portanto ajusta a sua velocidade em relação a ele. Quando houver oportunidade de ultrapassar, acelera durante a manobra.

- b) *flying* - Um motorista dirige com sua velocidade desejada. Observa um veículo lento à frente e ultrapassa-o sem ajustar sua velocidade.
- c) *Piggy backing* - Quando um veículo segue outro na ultrapassagem a um veículo lento.
- d) *2+ (plus)* - Quando um motorista ultrapassa dois ou mais veículos lentos que seguem juntos à sua frente.

Figura 12 - Quatro cenários de ultrapassagem.



Fonte: Hegeman et al. (2005).

## 2.5.2 Fases da ultrapassagem

Hegeman et al. (2005), também, detalharam várias tarefas em uma manobra de ultrapassagem. Após a observação de várias manobras executadas, dividiram a manobra de ultrapassagem em cinco fases.

### 2.5.2.1 Fase 1: o motorista decide se deve ultrapassar ou não

A primeira tarefa, em uma manobra de ultrapassagem, é a decisão de ultrapassar ou não. A primeira pergunta é se o motorista sente a necessidade de ultrapassar, o que vai depender da velocidade desejada, da velocidade do veículo da frente, além de fatores comportamentais, como, por exemplo, se o condutor está com pressa. Essa necessidade é então difícil de medir em nível individual (HEGEMAN et al., 2005).

### 2.5.2.2 Fase 2: prepara-se para a ultrapassagem

Em uma rodovia de pista simples, a oportunidade de ultrapassar é altamente dependente do tráfego em sentido contrário. A distância, ao se aproximar do veículo da frente, tem de ser julgada. Segundo os autores, os seres humanos não julgam corretamente a distância e velocidade, muito menos a velocidade de veículos próximos. Para a maior parte das

manobras de ultrapassagem observadas, não houve nenhum veículo oposto visível no momento em que a manobra de ultrapassagem começou (HEGEMAN et al., 2005).

#### **2.5.2.3 Fase 3: mudança de faixa**

A Fase 3 começa com direção, indicando a mudança de faixa, aceleração e monitoramento para deixar o veículo entrar no centro da nova pista (oposta). A sua duração média, isto é, o tempo entre a roda dianteira esquerda tocar a linha central até roda direita atravessá-la, foi de 0,5 s a 1,5 s, para todas as manobras observadas de ultrapassagem (HEGEMAN et al., 2005).

#### **2.5.2.4 Fase 4: passe**

Nesta fase, o veículo de ultrapassagem já está na pista oposta, passando pelo veículo lento que seguia à sua frente, mantendo a aceleração ou, se necessário, aumentando-a. O motorista em ultrapassagem monitora constantemente o espaço entre seu veículo e um possível veículo em sentido contrário. Se a oportunidade de completar a ultrapassagem for incerta, ela é abortada e o motorista retorna à pista da direita, atrás do veículo lento que tentou ultrapassar e a manobra de ultrapassagem deve começar novamente na Fase 1. O tempo médio em que um veículo em ultrapassagem permanece na pista oposta, durante esta fase, ficou entre 2,3 s a 4,2 s (HEGEMAN et al., 2005).

#### **2.5.2.5 Fase 5: volta à faixa da direita**

A quinta e última fase da manobra de ultrapassagem é o retorno à pista da direita. Similar ao início da manobra, o indicador deve ser usado para indicar uma nova mudança de faixa. Mas, se o espaço com o veículo oposto torna-se crítico, o motorista pode decidir voltar à pista da direita mais cedo. Uma vez que a velocidade do veículo em ultrapassagem é maior que a do veículo que está sendo ultrapassado, o perigo de uma colisão entre estes dois veículos é menor do que entre o veículo em ultrapassagem e o veículo em sentido oposto. A duração média da quinta fase, nas manobras de ultrapassagem observadas, ou seja, o tempo entre a roda dianteira direita tocar a linha central e a roda traseira esquerda cruzá-la, foi de 0,7 s a 2,7 s (HEGEMAN et al., 2005).

### **2.5.3 Legislação sobre ultrapassagens**

De acordo com o CTB, em Brasil (2007), a ultrapassagem deverá seguir as seguintes normas, em rodovias de pistas simples:

Artigo 29:

- a ultrapassagem de outro veículo em movimento deverá ser feita pela esquerda, obedecendo à sinalização regulamentar e às demais normas estabelecidas neste Código, exceto quando o veículo a ser ultrapassado estiver sinalizando o propósito de entrar à esquerda;

- todo condutor deverá, antes de efetuar uma ultrapassagem, certificar-se de que:

a) nenhum condutor que venha atrás haja começado uma manobra para ultrapassá-lo;

b) quem o precede na mesma faixa de trânsito não haja indicado o propósito de ultrapassar um terceiro;

c) a faixa de trânsito que vai tomar esteja livre numa extensão suficiente para que sua manobra não ponha em perigo ou obstrua o trânsito que venha em sentido contrário;

- todo condutor ao efetuar a ultrapassagem deverá:

a) indicar com antecedência a manobra pretendida, acionando a luz indicadora de direção do veículo ou por meio de gesto convencional de braço;

b) afastar-se do usuário ou usuários aos quais ultrapassa, de tal forma que deixe livre uma distância lateral de segurança;

c) retomar, após a efetivação da manobra, a faixa de trânsito de origem, acionando a luz indicadora de direção do veículo ou fazendo gesto convencional de braço, adotando os cuidados necessários para não pôr em perigo ou obstruir o trânsito dos veículos que ultrapassou;

Art. 30:

- Todo condutor, ao perceber que outro que o segue tem o propósito de ultrapassá-lo, deverá:

- se estiver circulando pela faixa da esquerda, deslocar-se para a faixa da direita, sem acelerar a marcha;

- se estiver circulando pelas demais faixas, manter-se naquela na qual está circulando, sem acelerar a marcha.

Parágrafo único. Os veículos mais lentos, quando em fila, deverão manter distância suficiente entre si para permitir que veículos que os ultrapassem possam se intercalar na fila com segurança

Art. 32:

- o condutor não poderá ultrapassar veículos em vias com duplo sentido de direção e pista única, nos trechos em curvas e em aclives sem visibilidade suficiente, nas passagens de nível, nas pontes e viadutos e nas travessias de pedestres, exceto quando houver sinalização permitindo a ultrapassagem (BRASIL, 2007, p. 11-12).

### 2.5.4 Distâncias de segurança na conclusão da ultrapassagem

Segundo o Artigo 29 do Código de Trânsito Brasileiro, em Brasil (2007), é importante que se mantenha uma distância segura, em relação ao veículo da frente, para que não haja perigo de colisão quando ele parar repentinamente, porém não especifica qual seria esta distância. De acordo com recomendação do Manual de Direção Defensiva do DENATRAN, em Vias-Seguras (2017), esta distância pode ser estimada, de acordo com a orientação conhecida como regra dos dois segundos. O motorista que segue atrás de um veículo identifica um ponto fixo na rodovia e, após o veículo da frente passar por ele, conta dois segundos e seu veículo, então, deve passar pelo mesmo ponto. A orientação da direção defensiva corresponde, assim, a dois segundos de distância do veículo da frente e considera válida esta estimativa para veículos de até 6 metros e com velocidades de até 90 km/h, em condições normais da pista e do clima. Apesar desta recomendação não mencionar ultrapassagem, o mesmo fundamento pode ser aplicado para determinar uma distância de segurança entre o veículo que foi ultrapassado e o veículo que efetuou a ultrapassagem, após o término desta manobra, indicando a este último, quando seria o melhor momento de retornar à pista de origem, ao término da ultrapassagem.

Além da distância mencionada acima, também é possível determinar uma distância de segurança entre o veículo em ultrapassagem e o veículo em sentido contrário, após a realização da manobra. Segundo Kooten (2011), o melhor é expressar esta distância como uma função do tempo para colisão com o veículo em sentido contrário (*Time-To-Collision - TTC*). O TTC indica o número de segundos necessários, para que o veículo em ultrapassagem e o veículo em sentido contrário passem um ao outro, após a conclusão da manobra. Um valor seguro para o TTC, segundo Kooten (2011), é de 3 segundos. Na Figura 13 mostra-se uma visão geral da ultrapassagem, considerando estas distâncias de segurança.

Figura 13 - Manobra de ultrapassagem com distâncias de segurança.



Fonte: Do Autor (2017).

## 2.6 Trabalhos relacionados

Nesta seção, serão apresentados, analisados e revisados artigos publicados relacionados ao tema deste trabalho. Também será apresentado um levantamento das tecnologias, em uso atualmente no mercado automobilístico, relacionadas também ao tema.

### 2.6.1 Mapeamento

Para análise dos trabalhos relacionados, foi efetuado inicialmente um mapeamento sistemático da literatura, investigando e reunindo trabalhos sobre sistemas para sinalização de ultrapassagem e análise do risco de colisão frontal, baseados em conceitos da cinemática e no uso de sistemas embarcados com transmissão de dados pelo Rádio frequência, para auxílio a motoristas durante ultrapassagens nas rodovias de pista simples, visando esclarecer o que já foi publicado e o que pode ainda ser pesquisado em relação a esta temática. Para mapeamento, a pesquisa deverá estar relacionada às palavras-chave, critérios de inclusão e exclusão de artigos e à questão da pesquisa, descritas abaixo:

Palavras-chave: DSRC, Ultrapassagens, Sistemas Embarcados, Comunicação RF.

A partir das palavras-chave foram geradas as seguintes strings de busca:

- a) DSRC AND Overtaking.
- b) Embedded System AND RF Communication AND Overtaking.

As fontes de pesquisa utilizadas para a busca dos estudos primários foram: (1) IEEEXplore; (2) ACM; (3) SPRINGER; (4) ELSEVIER; (5) Outros Repositórios. A ferramenta de busca utilizado, em todos os repositórios, foi o *GoogleScholar*. Para inclusão e exclusão de artigos, aplicaram-se os seguintes critérios:

- a) Idioma dos Artigos: Inglês e português.
- b) Ser um artigo científico disponível para leitura completa.
- c) Ter sido publicado de 2010 em diante.
- d) Ter sido publicado em conferência ou periódico.
- e) Abordar o tema DSRC e ultrapassagem.
- f) Abordar o tema Comunicação RF e Ultrapassagem.

Questão de pesquisa (QP):

Quais são as principais soluções com comunicação entre veículos, baseadas em DSRC ou Comunicação RF, para sinalização de ultrapassagem, com análise e alerta do risco de colisão frontal entre veículos em rodovias de pistas simples?

Assim, as buscas primárias, baseadas nas strings de busca, retornaram em um total de **550** trabalhos. Utilizando-se os critérios de inclusão/exclusão de artigos, **85** foram considerados potencialmente relevantes. Aplicando-se novamente os critérios de inclusão e exclusão, baseados na leitura do resumo, **61** estudos foram excluídos, chegando-se, então, ao total de **17** estudos primários (Tabela 2).

Tabela 2 - Dados das buscas iniciais.

<b>Fontes</b>	<b>Resultados das Buscas Iniciais</b>	<b>Potencialmente Relevantes</b>	<b>Não Relevante</b>	<b>Repetidos</b>	<b>Incompletos</b>	<b>Estudos Primários</b>
IEEEXplore	166	40	29	1		10
ACM	25	2	1	1		0
SPRINGER	47	2	1			1
ELSEVIER	27	10	8			2
Outros	285	31	22	3	2	4
<b>TOTAL</b>	<b>550</b>	<b>85</b>	<b>61</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>17</b>

Fonte: Do Autor (2017).

### 2.6.2 Revisão Sistemática da Literatura

Para selecionar os artigos encontrados no mapeamento e sobre os quais será realizada revisão completa, eles devem responder à questão de pesquisa (QP). Foi feita uma análise geral dos 17 artigos encontrados no mapeamento, dos quais, 11 artigos considerados de pouca relevância foram descartados, pois não respondiam, adequadamente, à QP, sendo, então, seis artigos selecionados para revisão completa. Todos os 17 artigos estão descritos na Tabela 3, na qual os seis primeiros artigos foram os selecionados e cuja revisão será realizada nas próximas Seções. Os 11 artigos seguintes foram desconsiderados, o artigo 7 que, apesar de tratar o tema ultrapassagem, não usa comunicação entre veículos, e os dez artigos seguintes que a usam, mas usam também diversos outros dispositivos como câmeras, pontos de acesso na rodovia (RSU - *road side unit*), sensores instalados no veículo e ou na rodovia. Seu uso

eleva o custo final do projeto, o que pode dificultar sua implementação no Brasil, pelo fato, por exemplo, de sua extensa malha rodoviária. Além disso, estes trabalhos não analisam risco de colisão frontal durante uma ultrapassagem.

Tabela 3 - Artigos a serem analisados e revisados.

Artigos	Solução proposta/Título	Autor/Ano	Base
1	<i>Driver Assistance System Towards Overtaking in Vehicular Ad Hoc Networks</i>	Vieira et al. (2013)	Elsevier
2	<i>V2V-Based Evaluation of Overtaking Risk in Curved Road Conditions</i>	Jeon e Kim (2016)	Ripublication.com
3	<i>Vehicular ad-hoc network simulations of overtaking maneuvers on two-lane rural highways</i>	Motro et al. (2016)	Elsevier
4	<i>Network performance analysis and maneuver model for overtaking assistant service using wave</i>	Seo, Jung e Lee (2014)	Springer
5	<i>Assisting drivers during overtaking using Car-2-Car communication and multi-agent systems</i>	Cara et al (2016)	ieeexplore
6	<i>Adaptive Cooperative Awareness Messaging for Enhanced Overtaking Assistance on Rural Roads</i>	Bohm, Jonsson e Uhlemann (2011)	ieeexplore
7	<i>Overtaking Assistant System Based on Fuzzy Logic</i>	BASJARUDDIN et al. (2014)	Telkomnika
8	<i>interactIVe - High precision maps for sustainable accident reduction with the enhanced Dynamic Pass Predictor</i>	Wevers et al. (2010)	Durekovic.com
9	<i>Autonomous Manoeuvring Systems for Collision Avoidance on Single Carriageway Roads</i>	Jiménez, Naranjo e Gómez (2012)	Mdpi.com
10	<i>An Adaptive Overtaking Maneuver Assistant System Using VANET</i>	Marefat et al. (2014)	ieeexplore
11	<i>Power Control in See-Through Overtaking Assistance System</i>	Belyaev et al. (2013)	ieeexplore
12	<i>A Real-time Augmented Reality System to See-Through Cars</i>	Rameau et al. (2016)	ieeexplore
13	<i>Cross-Layer Optimization of Vehicle-to-Vehicle Video Streaming for Overtaking Maneuver Assistance Systems</i>	Puangpronpitag, Kasabai e Suwannasa (2013)	ieeexplore
14	<i>Making Vehicles Transparent Through V2V Video Streaming</i>	Gomes, Olaverri-Monreal e Ferreira (2012)	ieeexplore
15	<i>The See-Through System: A VANET-Enabled Assistant for Overtaking Maneuvers</i>	Olaverri-Monreal et al. (2010)	ieeexplore
16	<i>VANET based Overtake mishap preventive advance road safety system</i>	Sathe et al. (2016)	ieeexplore
17	<i>Embedded Driver-Assistance System Using Multiple Sensors for Safe Overtaking Maneuver</i>	Chiang et al. (2014)	ieeexplore

Fonte: Do Autor (2017).

### 2.6.2.1 Artigo 1

Vieira et al. (2013) fazem um estudo e avaliação, por meio de simulação, dos conceitos fundamentais da cinemática aplicados ao desenvolvimento de um sistema de auxílio à ultrapassagens, semelhante ao deste trabalho. Os autores aplicam estes conceitos, em cálculos de ultrapassagem do veículo à frente, para decidir se o veículo pode efetuar uma ultrapassagem segura. Tais cálculos levam em consideração a posição do veículo, que vem em sentido contrário, então, sugerem o uso de comunicação entre veículos para enviar mensagens com as posições dos veículos. Assim, avaliam que esses conceitos têm características promissoras ao desenvolvimento de aplicativos reais, quando operando em um eficiente ambiente de transmissão de dados, podendo detectar uma manobra de ultrapassagem com uma confiabilidade de quase 99%.

Vieira et al. (2013) não mencionam qual tipo de tecnologia seria eficiente e qual foi usada na comunicação entre os veículos durante as simulações. Também não mencionam que dispositivos são usados, para o processamento dos dados e para captar as posições dos veículos

### 2.6.2.2 Artigo 2

Jeon e Kim (2016) apresentam um estudo em que avaliam um sistema baseado em V2V, para auxílio à ultrapassagem de veículos em curvas nas rodovias de pista simples, cuja função é enviar mensagens de “não ultrapasse” DNPW (*Do Not Pas Warning*) apenas para o veículo em ultrapassagem, caso ele esteja em uma área (*DNPW Zone*) na qual a ultrapassagem pode ocasionar uma colisão. Neste sentido, o sistema usa comunicação entre veículos para enviar e receber dados com as posições e velocidades do veículo à frente e do veículo em sentido contrário. Com base nestes dados, calcula-se o tempo e distância de ultrapassagem, considerando o raio de curvatura da rodovia, para avaliar se o veículo está ou não na zona de colisão. Portanto avaliaram o sistema usando simulações e verificaram que o algoritmo calcula corretamente quando o veículo está na zona de ultrapassagem ou de colisão. Porém não avaliaram o envio das mensagens de “não ultrapasse”, não especificaram o tipo de tecnologia usada para as transmissões, nem como serão obtidos os dados de posicionamento do veículo.

No trabalho de Jeon e Kim (2016), apesar de semelhante à proposta deste projeto, a ultrapassagem só é permitida pela legislação nas retas, sendo assim, não há necessidade de efetuar cálculos de ultrapassagem em curvas. Além disso, alertas enviados aos veículos

envolvidos podem evitar uma colisão, enquanto um alerta apenas ao veículo em ultrapassagem pode não ser o suficiente, para evitar colisão, caso ele force a manobra.

### **2.6.2.3 Artigo 3**

Motro et al. (2016) avaliam o uso de V2V em um sistema de auxílio à ultrapassagem em rodovias de pista simples. O sistema proposto por eles usa conceitos da cinemática para calcular a ultrapassagem do veículo à frente e de colisão com o veículo em sentido contrário. Usa também sensores internos no veículo, para perceber o comportamento do motorista, durante ultrapassagens e comunicação V2V, para envio dos dados de posição, distância, velocidade e aceleração dos veículos envolvidos na manobra. A função do sistema é alertar o motorista que deseja ultrapassar se será ou não possível realizar a manobra antes que ela ocorra.

O sistema foi então avaliado por dados simulados, para isso, Motro et al. (2016) consideram que os veículos possuem algum dispositivo de comunicação que envia dados de posicionamento, aceleração e velocidade do veículo. Com base nas características da comunicação, avaliam por resultados encontrados que, mesmo com uma quantidade de pacotes perdidos próxima a 50%, o sistema previu 67% das colisões com sucesso. Ponderam, também, que a maioria das colisões não detectadas ocorreram pelo fato dos veículos não estarem no campo de alcance do sinal, em torno de 600 m. Concluem, dessa forma, que as perdas não influenciaram na previsão da colisão e que um ponto fundamental, para sistemas de assistência a ultrapassagem em rodovias rurais, é o alcance da transmissão.

Apesar de ser uma proposta semelhante à deste projeto, o sistema proposto por Motro et al. (2016) tem a função de apenas alertar o motorista que ultrapassará e não os demais veículos, o que pode não ser o suficiente para evitar uma ultrapassagem forçada surpreendendo os demais motoristas. Além disso, não especifica quais tecnologias seriam usadas, para comunicação V2V, captar os dados que foram simulados e não apresenta, ainda, como seria calculada a distância entre os veículos.

### **2.6.2.4 Artigo 4**

Seo, Jung e Lee (2014) estimam o uso de V2V com arquitetura WAVE, para um sistema de auxílio à ultrapassagem, baseado também em DNPW. Primeiramente modelaram o problema da ultrapassagem, baseando-o em conceitos da cinemática e considerando três fases da manobra, mudança de faixa, passagem e retorno à pista. Deduziram então uma fórmula para cálculo da distância de ultrapassagem. Após a modelagem do problema, encontraram a

distância máxima de ultrapassagem 620 m e, com este resultado, foi feita avaliação do desempenho da rede, usando um simulador.

Analisando os resultados obtidos na simulação, Seo, Jung e Lee (2014) avaliam o desempenho do sistema em relação ao alcance do sinal durante a ultrapassagem. Desta forma, concluem que, usando a arquitetura WAVE, a comunicação V2V pode cobrir a área que envolve a distância total de uma ultrapassagem, com taxa de dados de 12 Mbps e potência de transmissão a 33 dBm. Em seguida, avaliam a eficiência da comunicação, concluindo que a latência foi constante em 4,5 ms, para os veículos envolvidos na ultrapassagem e a recepção de pacotes apresentou desempenho superior a 90%. Os autores avaliaram, de igual modo, uma tecnologia de comunicação, para verificar se ela atende as necessidades de um sistema de auxílio à ultrapassagem, mas não foi testada a função do sistema, ou seja, se ele calcula o risco de colisão e alerta os demais veículos corretamente.

#### **2.6.2.5 Artigo 5**

Cara et al. (2016) propõem um sistema de auxílio aos motoristas, durante ultrapassagem, baseado em comunicação V2V e sistemas multiagente. Foi proposto pelos autores um protocolo, para ultrapassagem de segurança, com base em uma linguagem de comunicação entre agentes (ACL - *Agent Communication Language*) e filtro Kalman para minimizar erros de localização do GPS. O sistema proposto efetua cálculos para determinar a possibilidade ou não de uma ultrapassagem ocorrer com base no cenário 2+ (*Plus*) de Hegeman et al. (2005). Esse cálculo é feito com base na posição, velocidade e distâncias de 4 veículos, sendo eles um veículo em ultrapassagem, 2 veículos a serem ultrapassados e um veículo em sentido contrário.

Com todos os veículos envolvidos conectados à rede, o sistema calcula se o tempo de ultrapassagem será menor que o tempo de colisão com o veículo em sentido contrário e, se isto ocorrer, o sistema inicia um protocolo de comunicação entre veículos para confirmar a possível ultrapassagem. De acordo com este protocolo, o veículo que segue por último na fila envia uma mensagem, solicitando a ultrapassagem e aguarda primeiro a confirmação do veículo líder, que segue à frente da fila, se há veículo em sentido contrário; se não houver, o veículo solicitante recebe um ACK confirmando que pode efetuar a ultrapassagem, caso contrário, recebe um NACK (*No-Acknowledgement*) sendo alertado para não ultrapassar. Desta forma, assumindo que a comunicação usa protocolo IEEE 802.11p/WAVE foram efetuados testes simulados com o objetivo de identificar a quantidade de falhas de predição de ultrapassagem segura, ou seja, quantas vezes o sistema falhou, ao avaliar que seria segura a

ultrapassagem, quando, na verdade, não era. Durante as simulações, variaram dados de velocidade, distâncias entre os veículos e ranges de alcance do sinal, em diferentes cenários. Considerando 500 manobras de ultrapassagem em cada cenário, os autores avaliam que o sistema, em até 600 m de alcance do sinal, não alcança o número de falhas de predição, isto é, não chega a 250. Quando, porém o range de comunicação ultrapassa os 600 m, o número de erros cai para próximo de zero em todos os cenários.

Os autores não concluíram se o sistema pode ser usado como sistema de auxílio em ultrapassagem. Apenas concluem que o framework proposto pode ser usado para desenvolver vários protocolos de comunicação entre veículos baseadas em mensagens ACL.

#### **2.6.2.6 Artigo 6**

Bohm, Jonsson e Uhlemann (2011) avaliam quanto o aumento na largura de banda do canal diminui o atraso na transmissão de mensagens de consciência cooperativa (CAM), usando comunicação V2V com protocolo IEEE 802.11p e a influência deste atraso no tempo de reação do motorista em uma aplicação para auxílio à ultrapassagens em estradas rurais de pista simples. Segundo os autores, na Europa, o Instituto de padronização em telecomunicações ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) define uma largura de banda de 2 MHz para CAM's, escolhida para evitar congestionamentos na rede em que a densidade de veículos é alta. No entanto, para os autores, em estradas rurais de pista simples com um número limitado de veículos na rede, esta largura leva a um atraso desnecessário na transmissão de mensagens cooperativas. Eles propõem, assim, um esquema de priorização, baseado na adaptação da largura, dependendo do papel que o veículo possui no aplicativo, para demonstrar que os perigos podem ser detectados com antecedência e a largura de banda disponível usada de forma mais eficiente.

O sistema proposto, ao detectar o tráfego que se aproxima em sentido contrário, deve distribuir esta informação para outros veículos nas proximidades, alertando os seus respectivos motoristas. Sugerem que um aviso de ultrapassagem só pode ser visto como bem-sucedido, se houver tempo de reagir adequadamente. Assumem, logo um tempo de reação do motorista de 2 s como ideal, pois o aviso só deve impedir o motorista de iniciar uma manobra de ultrapassagem ou abortá-la, caso em andamento, antes que uma possível colisão aconteça. Desta forma, se houver um atraso entre o momento em que um veículo principal entrou na faixa de transmissão do veículo na direção oposta e enviou seu primeiro pacote até o momento em que os veículos em ambas as direções tiveram consciência da situação, este atraso pode influenciar no tempo reação do motorista. Portanto, por simulações de

computador, avaliaram que diferentes larguras de banda como 10 MHz, 20 MHz e a priorização de QoS das mensagens podem ser reduzidas, o atraso na detecção do tráfego à frente e, assim, aumentar o tempo disponível de 6 a 10 s para o motorista reagir evitando um possível acidente.

Concluem, em consequência, que o número limitado de nós comunicantes nas estradas rurais permite aumentar, consideravelmente, a largura de banda do canal, para mensagens de consciência cooperativa, o que diminui o atraso na detecção de tráfego em sentido contrário, enquanto ainda ocupa uma parcela relativamente pequena da largura de banda total disponível. O sistema proposto pelos autores, no entanto, não analisa se haverá risco de colisão, durante a ultrapassagem, nem se ela pode ser executada com segurança, também, não especificaram o tipo de tecnologia usada para identificar a localização do tráfego em sentido contrário.

### **2.6.3 Tecnologias relacionadas em uso no mercado automobilístico**

Realizou-se, ainda, uma busca sobre os tipos de tecnologias de assistência ao condutor para auxílio a ultrapassagens ou prevenção de colisões frontais em ultrapassagens já disponíveis no mercado automobilístico, relacionados ao tema deste trabalho. Esta busca foi efetuada na Internet e nos sites oficiais dos principais fabricantes de automóveis no mundo.

De acordo com os resultados das buscas, não foram encontrados, nos veículos atuais, sistemas relacionados especificamente à prevenção de colisão frontal durante ultrapassagens. Mas foram encontrados três tipos de sistemas que mais se aproximam deste propósito e oferecem auxílio ao condutor nas ultrapassagens sendo eles, Sistemas de aviso de mudança de faixa, Sistemas prevenção de colisão e Sistemas de anticolisão lateral. Desta forma, os maiores fabricantes de automóveis do mundo possuem veículos, em sua maioria, de alto padrão com algum ou todos estes três sistemas. Conforme BMW (2017), Ford (2017), GM (2016), Honda (2017), Hyndayusa (2017), Mercedes-Benz (2017), Nissan-Global (2017), Toyota (2017), Volkswagen (2017) e Volvocars (2017), os três tipos de sistemas mencionados estão presentes, atualmente, em alguns de seus modelos mais novos, também, descrevem, de forma bem semelhante, a função destes sistemas:

- a) Sistemas de aviso de mudança de faixa, que monitoram a pista, registrando os traços de marcação de faixa e, caso seja detectada mudança sem intenção, ou também seja detectado um veículo próximo com risco de colisão pela câmera, o motorista é alertado.

- b) Sistemas prevenção de colisão, que, por meio de radares, câmeras e ou sensores instalados no veículo, é possível detectar a presença de obstáculos ou outros veículos e, em caso de risco de colisão, o freio é acionado e podem ser efetuadas manobras automáticas para evitar a colisão.
- c) Sistemas de anticolisão lateral, que, por meio de sensores, monitora veículos ao redor, auxiliando o motorista na mudança de faixa e alertando-o quando há veículos em ponto cego.

Estes sistemas, apesar de ajudarem a prevenir acidentes em manobras arriscadas como é o caso da ultrapassagem, não são específicos para isso, não usam comunicação entre veículos, nem alertam os motoristas sobre risco de colisão frontal, antes ou durante ultrapassagens, a qual é foco deste trabalho. Quanto à comunicação entre veículos, as fabricantes Ford, segundo Infocarro (2010), BMW, conforme Shopcar (2011), já apresentaram pesquisas e testes em sistemas com uso deste tipo de comunicação. Já a fabricante Toyota (2017) implantou V2V, em veículos Prius no Japão, em 2016, segundo Techcrunch (2016), e a GM implantou, em 2017, no Cadillac CTS também, conforme Techcrunch (2017). Além destes, a Volkswagen, segundo Adrenaline (2017), informou que implementará V2V, em alguns de seus modelos lançados em 2019. Porém todos estes sem relação com auxílio a ultrapassagens.

### 3 METODOLOGIA

Para realizar o estudo de um sistema embarcado para sinalização e análise do risco de colisão frontal, durante ultrapassagens em rodovias de pista simples, foi desenvolvido Hardware e Software de dois protótipos deste sistema embarcado, denominados módulos veiculares. Após o desenvolvimento, foram colocados em veículos e testados em rodovias de pista simples em que foram avaliados o seu desempenho e funcionalidade, pela análise dos dados coletados durante os testes.

Neste capítulo descrevem-se a metodologia e as técnicas empregadas, para realização do projeto de desenvolvimento do Hardware e Software, testes, armazenamento dos dados, análise e avaliações dos resultados. Além disso, destacam-se as tecnologias, dispositivos usados e funções do algoritmo implementado.

#### 3.1 Visão Geral

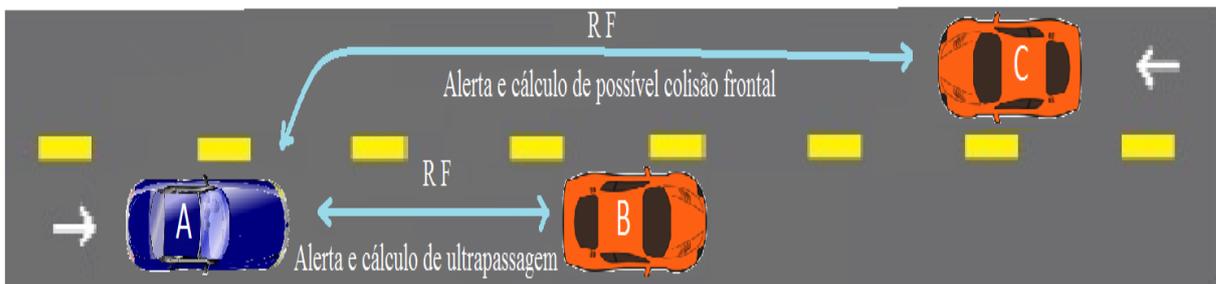
Uma manobra de ultrapassagem, como visto na Seção 2.5, pode ter vários cenários diferentes. Neste trabalho, será considerado apenas o que envolve rodovias de pista simples com três veículos, mais especificamente *flying*, assim como em Vieira et al. (2013). Tal cenário é composto de um veículo mais rápido, com intenção de ultrapassar, aqui denominado de Veículo A (VA); um veículo mais lento, à frente de VA, na mesma pista e sentido, a ser ultrapassado denominado Veículo B (VB); um veículo na pista oposta em sentido contrário ao de VA e VB, denominado Veículo C (VC). Essas denominações são para facilitar o reconhecimento destes veículos no decorrer do trabalho.

Conforme Seção 2.5, a ultrapassagem nessas rodovias exige que VA ultrapasse VB, usando a pista oposta e que não haja um VC durante esta manobra. O motorista do VA deve verificar a pista oposta, antes de efetuar a manobra e sinalizar a intenção de ultrapassar, para os veículos que vêm atrás, mas esta última não será abordada neste trabalho. Além disso, é importante também que VB e VC saibam da manobra de VA e reduzam suas velocidades permitindo a ultrapassagem do veículo mais rápido. Essas ações evitam um risco de possível colisão frontal enquanto VA estiver na pista oposta.

No sistema aqui proposto, quando o motorista de VA tiver intenção de ultrapassar, indicada pelo acionamento de um botão, seu módulo veicular primeiramente envia alertas aos motoristas de VB e VC sinalizando a intenção da ultrapassagem. Os módulos veiculares em VB e VC, ao receberem os alertas, respondem ao VA enviando seus dados. O módulo veicular em VA, ao receber os dados, processa-os, caso identifique uma possível colisão com VC, alerta seu motorista a não iniciar a manobra, ou, se ele já estiver ultrapassando, que não

deva continuar. Identificado o risco de colisão, o módulo em VA, também, envia alertas ao VB e ao VC para que tomem atitudes que a evitem. Caso não identifique perigo de colisão ou não detecte o VC, o sistema não emite alerta algum. Os procedimentos anteriores se repetirão periodicamente até que o motorista pressione novamente o botão encerrando a manobra de ultrapassagem. Uma visão geral do funcionamento do sistema como exposto pode ser visto na Figura 14.

Figura 14 - Visão geral do funcionamento do sistema proposto.

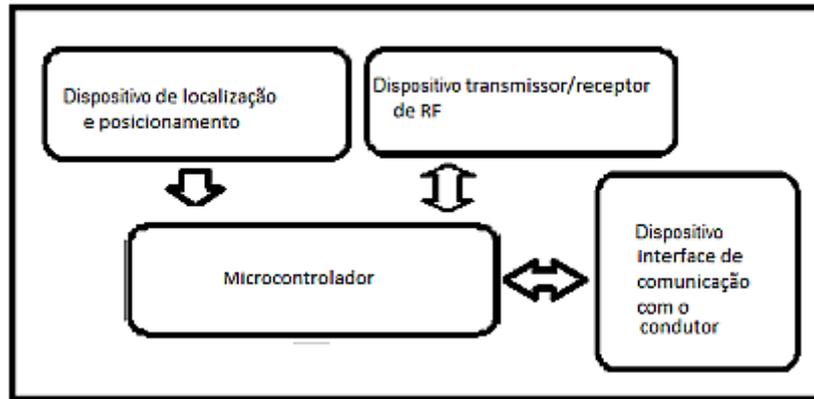


Fonte: Do Autor (2017).

Para enviar os alertas e receber dados, cada módulo veicular é composto de um dispositivo transceptor RF (transmissor/receptor) na frequência de 2,4 GHz. Foi escolhida esta frequência pelo grande número de dispositivos, para prototipagem que a usam, encontrados facilmente no mercado e com custo acessível. Os cálculos, para identificar perigo de colisão, são processados por um microcontrolador, cujo algoritmo foi implementado, com base nos conceitos da cinemática descritos na Seção 2.4. O algoritmo então necessita de dados como velocidade, sentido, posição (distância) e aceleração dos veículos, os quais serão fornecidos por um dispositivo receptor de sinal GPS. Para que o motorista seja adequadamente alertado, o módulo veicular conta com dispositivos de interface de comunicação com o condutor.

Todos os dispositivos que compõem os módulos veiculares estão descritos na Seção 3.3. O algoritmo capaz de sinalizar ultrapassagem, efetuar os cálculos necessários para avaliar os riscos de colisão frontal e alertar corretamente os motoristas da possibilidade da colisão ocorrer está descrito na Seção 3.4. A Figura 15 esboça o diagrama em blocos dos dispositivos mencionados acima.

Figura 15 - Diagrama de blocos do módulo veicular.



Fonte: Do Autor (2017).

### 3.2 Restrições ao projeto

Antes de iniciar o desenvolvimento dos módulos veiculares e efetuar os testes, para obter o funcionamento adequado do sistema conforme descrito, é importante deixar claras as restrições ao projeto. Assim, fica estabelecido:

- a) que, conforme já descrito, este trabalho aborda apenas a ultrapassagem envolvendo três veículos VA, VB e VC, em rodovias de pista simples, pois, de acordo com CTB Brasil (2007), recomenda-se que os motoristas deixem um espaço entre veículos em uma fila, para que veículos mais rápidos o utilizem nas ultrapassagens (ver Seção 2.5.3);
- b) que nos cálculos de ultrapassagem não são consideradas distâncias ou tempos para mudança de faixa, tanto para a pista oposta quanto para retorno à pista de origem, visto que estas distâncias, ou tempos em tais manobras, representam pouca diferença em relação ao total da ultrapassagem real, quando comparado ao acréscimo de uma distância de segurança entre VA e VB, assim como entre VA e VC, após a ultrapassagem. O cálculo da distância de segurança segue a recomendação do Manual de Direção Defensiva do DENATRAN, disponível em Vias-Seguras (2017) que se baseia na regra de dois segundos, explicada na Seção 3.4;
- c) que o sistema não detecta automaticamente a intenção de o motorista ultrapassar, cabe a ele indicar esta necessidade, para que o sistema o auxilie na ultrapassagem. Escolheu-se esta opção, pois, dependendo das condições, da via, do veículo e do próprio comportamento do motorista, ele pode não ter interesse em ultrapassar,

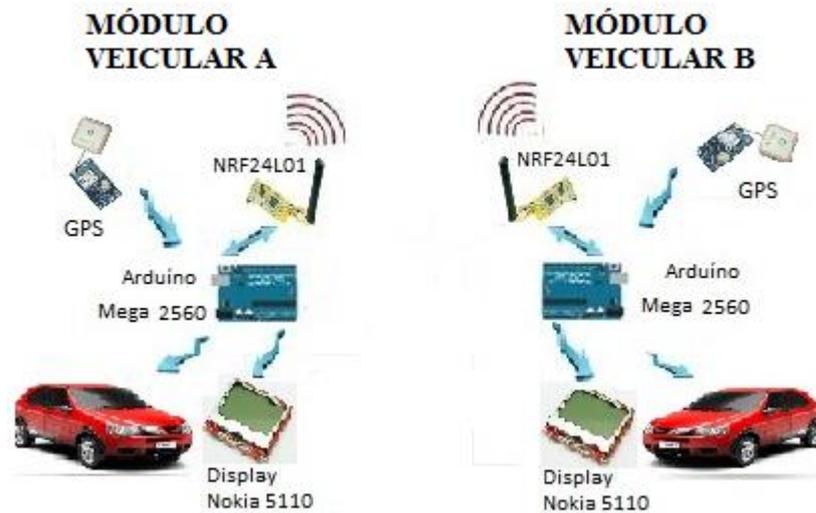
por exemplo. Desta forma, o sistema não precisa ficar enviando mensagens desnecessárias;

- d) que o sistema não informa ao motorista, quando deve ultrapassar, se não houver perigo de colisão, cabe ao motorista tomar esta decisão. Como exposto, por não ter conhecimento das condições da rodovia, climáticas, dos veículos e de comportamento dos motoristas, ele não tem como afirmar seguramente ao motorista que ele pode ultrapassar;
- e) que o sistema também não tem a função de alertar veículos atrás de VA antes de efetuar a ultrapassagem;
- f) que não foram efetuados testes com ultrapassagens reais, porque envolvem mudança para faixa oposta, ultrapassagem e retorno a pista original. Tais manobras realizadas, em pistas com fluxo real e regular de veículos, coloca os motoristas em risco desnecessário;
- g) que não foram considerados erros de precisão do GPS, conforme Seção 2.3, segundo o fabricante do GPS usado neste projeto, U-BLOX AG (2011), este erro está em torno de 2,5 m. Também não foram consideradas as dimensões do veículo, durante as ultrapassagens, sendo elas inferiores a 4 m nos testes realizados. Porém foi acrescentado, além dos 2 s de distância de segurança, um segundo da diferença na comparação dos resultados finais dos tempos para colisão com VC e de ultrapassagem de VB, quando o sistema decide se há ou não perigo de colisão;
- h) também não foram considerados nos testes, interferências na frequência de 2,4 GHz durante as transmissões. Porém, procurou-se usar canais cuja frequência estava acima da maioria dos canais Wi-Fi, pois, de acordo com Nordic (2016), apesar do módulo NRF24L01+, usado neste trabalho, transmitir na frequência de 2,4 GHz, ele pode operar até na frequência de 2,525 GHz.

### **3.3 Hardware**

Os módulos veiculares consistem basicamente em dois protótipos idênticos compostos pelos dispositivos descritos na Figura 15. Para construção do Hardware, após identificada a funcionalidade e necessidade de cada componente, iniciou-se uma pesquisa por diversos dispositivos eletrônicos de baixo custo, fácil prototipagem e acessíveis, que satisfizessem as necessidades descritas acima, mas com boa precisão e qualidade.

Figura 16 - Visão geral do Hardware dos módulos.



Fonte: Do Autor (2016).

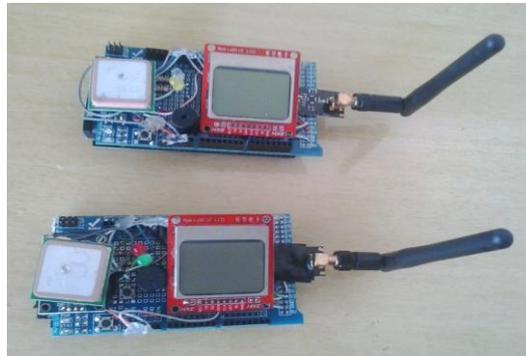
Nesta pesquisa, foram encontrados os dispositivos apresentados na Figura 16 que demonstra a visão geral, a partir de um Hardware básico e a Figura 17 mostra os módulos veiculares desenvolvidos. A função de cada dispositivo que o compõe está descrito a seguir e a sua descrição detalhada pode ser encontrada no Apêndice A:

- a) para transmissão/recepção de dados entre os veículos, foram usados dois transceptores NRF24L01+LNA+PA. Foi escolhido este transceptor, pois opera na faixa de 2,4 GHz a 2,525 GHz; pode transmitir a 250 Kbps, 1 ou 2 Mbps; pode alcançar 1000 m; alimentação entre 1,9 e 3,6 V; e com correntes de pico RX/TX inferiores a 14 mA (NORDIC, 2016). Além de uma boa quantidade de documentos disponíveis na Internet, ele também tem sido usado em pesquisas com comunicação entre veículos como nos trabalhos de Pothirasan e Rajasekaran (2016) e Ghatwai, Harpale e Kale (2016);
- b) para obter informações sobre posicionamento, velocidade e direção dos veículos, foram usados dois receptores GPS UBLOX NEO-6MV2. Foi escolhido este receptor GPS, já que possui mecanismo de posicionamento com 50 canais que permite estabelecer uma primeira conexão com satélites em menos de 1 segundo; mecanismos de auxílio GPS que memorizam as últimas informações fornecidas pelo satélite como posições, status, tempos e sinal de sincronização; suprime fontes de interferência e mitiga os efeitos *multipath*. Além disso, possui as seguintes características, alimentação a 5v; consumo máximo de corrente a 67 mA; taxa máxima de atualização de navegação entre 1 a 5 Hz; precisão da posição horizontal de 2,5 m;

precisão de velocidade de 0,1 m/s; e interfaces de comunicação USB, UART, SPI e I2C (U-BLOX AG, 2011);

- c) para interface com o motorista e alertas, foram usados dois display LCD Nokia PCD8544, que possuem alimentação de 3,3 V, corrente máxima 50 mA, resolução de 48 linhas por 84 linhas e tensão de operação dos pinos de 3 a 5 V (PHILIPS, 2016). Além do display, foram usados leds e Buzzers;
- d) para integrar e controlar os dispositivos acima, foram usados dois microcontroladores Atmega2560 da plataforma Arduino. Foi escolhida esta plataforma, dado que possui bom suporte da comunidade Arduino, prototipagem rápida, software acessível e compatibilidade com os demais dispositivos acima. Além disso, pode ser alimentado pela porta USB ou fonte externa com 7 a 12 V; consumo máximo de 500 mA pela USB; possui 54 pinos digitais que operam a 5 volts e podem fornecer ou receber um máximo de 40 mA; 256 KB de memória flash para armazenamento de código, 8 KB de RAM e 4 KB de EEPROM para dados; e processamento a 16 MHz (ARDUINO, 2017).

Figura 17 - Os dois módulos veiculares desenvolvidos.



Fonte: Do Autor (2017)

Os dispositivos adquiridos e descritos foram selecionados também, pois permitem que cada módulo veicular possa ser alimentado pelo notebook via USB ou pela alimentação fornecida pelo veículo, 5 e 12 V, respectivamente, sem a necessidade de fontes externas. Com o módulo veicular alimentado pela USB do notebook, ele apresentou um consumo médio de 80 mA, tanto como transmissor quanto como receptor e esta medição foi realizada com ambos os módulos. O esquemático completo do Hardware do módulo veicular pode ser visto no Apêndice B. Para armazenamento dos dados durante os testes, foram usados dois notebooks

com software do Arduíno instalado, no qual, por meio do monitor de serial deste programa, foi salvo o *log* das mensagens enviadas e recebidas em ambos.

### 3.4 Software

De acordo com a visão geral do sistema e do Hardware expostos, o algoritmo implementado tem a função de processar os dados fornecidos pelos dispositivos e sinalizar os veículos à intenção de ultrapassagem, bem como se houver risco de colisão frontal durante a operação. Assim, quando cada módulo veicular for iniciado em seu veículo, o algoritmo faz com que ele funcione em modo recepção, aguardando por mensagens de VA's, na mesma direção ou em sentido contrário, ou até que o motorista do veículo, em que está colocado, acione o botão para iniciar a ultrapassagem de um VB.

Um dos veículos como VA, quando o motorista indicar a intenção de ultrapassar pressionando o botão, o algoritmo passa o módulo ao VA para o modo de transmissão, enviando dois tipos de mensagens; solicita ultrapassagem sinalizando VB da intenção de ultrapassagem e detecta VC, alertando-o também, voltando ao modo recepção e aguardando por respostas. Ao recebê-las, o módulo em VA calcula o tempo e distância de ultrapassagem, quando os dados recebidos forem de VB e calcula o tempo e distância para encontro quando recebidos de VC. Para saber se os dados são de VB ou VC, ele compara os ângulos (direção) recebidos com o de VA, se tiverem uma diferença próxima de zero graus, estão no mesmo sentido, caso a diferença seja de 180 graus, eles estão em sentido contrário, respectivamente. Se o tempo de ultrapassagem por VB for maior que o tempo para encontro com VC, alerta os motoristas em VB e VC sobre risco de colisão frontal e ao VA para não insistir na ultrapassagem. Caso não haja perigo, o módulo não alerta os motoristas, deixando para o condutor de VA a decisão de ultrapassar ou não.

Este processo de envio de mensagens e de cálculo do tempo de ultrapassagem por VB e de encontro com VC, será realizado periodicamente enquanto VA estiver realizando a manobra e finalizado, quando seu motorista pressionar novamente o botão, indicando que a manobra foi encerrada. Esse período será de no mínimo um segundo e no máximo dois segundos, pois depende do tempo da resposta do pacote enviado. O fluxo de informações descrito será detalhado nas Seções seguintes. O código completo deste algoritmo está reproduzido no Apêndice C.

### 3.4.1 Formato da mensagem

Após indicada a intenção de ultrapassar, ou quando responder às solicitações de ultrapassagem como visto acima, o módulo veicular sai do modo recepção e ativa o modo de transmissão, de onde envia um pacote, conforme Tabela 4. O pacote contém: número de identificação; tempo de processamento no receptor, enviado vazio e retornando com o valor do tempo de processamento no receptor para cálculo da latência; o tipo de mensagem, se é de intenção de ultrapassagem (11 ou 12), resposta às solicitações (13), ou de risco de colisão (15), quando tempo de ultrapassagem for maior que o de colisão; suas coordenadas (latitude e longitude), velocidade, ângulo (direção), todos fornecidos pelo GPS; e aceleração média calculada pela variação da velocidade a cada segundo. Desta forma, VA envia este pacote com seus dados, primeiramente ao VB, solicitando ultrapassagem e depois ao VC, a fim de detectá-lo, aguarda o retorno das respectivas respostas, contendo um pacote semelhante, mas agora com os dados de VB ou VC. Na Tabela 4 mostra-se o formato do pacote transmitido, contendo os campos e exemplos de dados, e o algoritmo com as ações descritas, responsável pelo envio do pacote, está implementado e comentado no Algoritmo 1.

Tabela 4 - Formato do pacote que contém a mensagem.

Pacote de 32 bytes								
Campo	Nº Pacote transmitido	Tempo de processamento no receptor (ms)	Tipo de mensagem	Latitude	Longitude	Velocidade (Km/h)	Ângulo (graus)	Aceleração (m/s <sup>2</sup> )
<b>Exemplos</b>	4	0	11 - Solicita ultrapassagem 12 - Detecta veículo sentido contrário 13 - Resposta. 15 - Risco de colisão frontal	21,24543	43,766005	45,45	160,5	2,3

Fonte: Do Autor (2017).

O pacote da Tabela 4 foi criado na camada de aplicação e, especificamente para o projeto, não seguindo um tipo de padronização de formato. Um pacote de dados padronizado e específico da camada física do rádio pode ser visto no Apêndice A, Figura A-3. Valores como o tempo de envio e recepção do pacote foram armazenados, localmente em cada módulo, para serem usados no cálculo da latência e processamento do pacote, respectivamente. Não se preocupou, neste projeto, em diferenciar mensagens enviadas de outros sistemas semelhantes, segurança dos dados trafegados, nem com outra situação de ultrapassagem em curso em um sentido oposto.

#### Algoritmo 1 - Função que envia solicitação de ultrapassagem a VB ou detecta VC.

```

1.   Entrada: TipoDeMensagem, AceleraçãoVA;
2.   VelocidadeVA ← GPS.velocidade * 1.852; // lendo e convertendo a velocidade atual do GPS deste veículo em KM/H
3.   mensagem[0] ← TipoDeMensagem; // primeiro 11 - Solicita ultrapassagem a VB, depois 12 - Detecta VC
4.   mensagem[1] ← GPS.latitude; // latitude de VA
5.   mensagem[2] ← GPS.longitude; // longitude de VA
6.   mensagem[3] ← VelocidadeVA; // velocidade de VA
7.   mensagem[4] ← GPS.ângulo; // direção/ângulo de VA
8.   mensagem[5] ← AceleraçãoVA; // aceleração média de VA
9.   enviaMsg (mensagem); // enviando pacote
10.  TemResposta ← Falso;
11.  Enquanto Não.TemResposta faça // aguardando respostas
12.    TemResposta ← Radio.Disponível();
13.    Se TemResposta = Verdadeiro então // se receber respostas armazena pacote recebido
14.      Concluido ← falso;
15.      Enquanto NãoConcluido faça
16.        Concluido ← Leia.Radio (mensagem, Tamanho (mensagem));
17.      fimEnquanto
18.      fimSe
19.      Se Não.TemResposta e TempoDeEspera = 1 segundo então // Se não houver resposta
20.        Retorna Não.TemResposta; // retorna que não tem resposta para reiniciar as operações
21.      fimSe
22.      fimEnquanto
23.      Retorna mensagem; // retorna mensagem recebida para dar prosseguimento ao processamento

```

Fonte: Do Autor (2017).

### 3.4.2 Alerta de veículo em ultrapassagem

Em um VB o módulo veicular está no modo recepção aguardando pelo pacote contendo mensagens de VA's mencionado anteriormente, para responder. Estas mensagens, quando recebidas, só são respondidas se forem do tipo solicita ultrapassagem e se os veículos seguem na mesma direção. Ao receber pacotes, então, confere se a mensagem é de solicitação de ultrapassagem indicada no campo tipo de mensagem do pacote recebido, assim sendo, compara também o ângulo recebido com o ângulo do seu veículo. Se os ângulos forem iguais, ou seja, com diferença entre eles próxima a zero, os veículos seguem a mesma direção, logo o módulo veicular em VB alerta o seu motorista que um VA deseja ultrapassar e cabe ao motorista de VB, conforme Artigo 30 do código de trânsito brasileiro (ver Seção 2.5.3), diminuir ou manter sua velocidade permitindo a ultrapassagem de um VA. Por fim, envia um

pacote identificado como resposta, porém, com dados relacionados ao seu veículo para o VA, a fim de que o módulo deste possa calcular o tempo de ultrapassagem.

Agora em um VC, se o pacote recebido contém um tipo de mensagem para detectá-lo, enviado por um VA e os ângulos têm uma diferença de 180 graus, os veículos estão em sentido contrário, então o motorista em VC é alertado de que um veículo está tentando uma ultrapassagem à frente pela sua pista. O alerta de ultrapassagem permite ao motorista em VC tomar uma decisão que evite uma possível colisão frontal, como diminuir sua velocidade, por exemplo. Por fim, envia também um pacote de resposta para VA, vindo em sentido contrário, para que o seu módulo possa calcular o tempo de encontro entre estes veículos e alertar o seu motorista da presença de um veículo em sentido contrário.

## Algoritmo 2 - Recepção de Alertas em veículos VB e VC e envio de respostas.

```

1. Se rádio.disponível então // verifica se tem mensagem disponível
2.   concluído ← falso;
3.   Enquanto Não.concluído faça
4.     concluído ← leia.rádio (mensagem, tamanho (mensagem)); // recebe mensagem
5.   fimEnquanto
6. Escolha mensagem [0]
7.   caso 11: // Veículo atrás solicita ultrapassagem
8.     VBa ← mensagem[4]; // recebendo a ângulo/direção do outro veículo
9.     VAa ← GPS.ângulo; // lendo o ângulo/direção deste veículo
10.    R = VAa - Vba; // armazena o resultado da diferença entre os ângulos
11.    Se R < 0 então
12.      R ← -R; // torna positiva a diferença
13.    fimSe
14.    Se R >= 0 e R < 5 então // se a diferença entre 0 e 5 graus, os veículos estão no mesmo sentido
15.
16.      // enviando dados de VA para VB;
17.      mensagem[0] = TipoDeMensagem; // 13 - Respostas
18.      mensagem[1] = GPS.latitude; // latitude deste veículo
19.      mensagem[2] = GPS.longitude; // longitude deste veículo
20.      mensagem[3] = GPS.velocidade; // velocidade lida do GPS deste veículo
21.      mensagem[4] = GPS.ângulo; // direção/ângulo deste veículo
22.      mensagem[5] = aceleração; // aceleração deste veículo para o outro
23.      enviaMsg (mensagem);
24.      // Alerta motorista
25.      Escreva.LCD ("ATENÇÃO!!! Veículo solicita ultrapassagem");
26.      AcionaBuzzer (); //Liga Buzzer veículo detectado
27.    fimSe
28.  fimCaso
29.  caso 12: // Detectando veículo em sentido contrário
30.    VCa ← mensagem[4]; // recebendo a ângulo/direção do outro veículo
31.    VAa ← GPS.ângulo; // lendo o ângulo/direção deste veículo
32.    R = VAa - Vba; // armazena o resultado da diferença entre os ângulos
33.    Se R < 0 então
34.      R ← -R; // torna positiva a diferença
35.    fimSe
36.    Se R >= 175 e R <= 185 então // se a diferença estiver entre 175 e 185 graus, os sentidos são opostos
37.
38.      // enviando dados de VA para VC
39.      mensagem[0] = TipoDeMensagem; // 13 - Respostas
40.      mensagem[1] = GPS.latitude; // latitude deste veículo
41.      mensagem[2] = GPS.longitude; // longitude deste veículo
42.      mensagem[3] = GPS.velocidade; // velocidade lida do GPS deste veículo
43.      mensagem[4] = GPS.ângulo; // direção/ângulo deste veículo
44.      mensagem[5] = aceleração; // aceleração deste veículo para o outro
45.      enviaMsg (mensagem);
46.      // Alerta motorista
47.      Escreva.LCD ("ATENÇÃO!!! Veículo em ultrapassagem no sentido oposto");
48.      AcionaBuzzer (); //Liga Buzzer veículo detectado
49.    fimSe
50.  fimCaso
51.  caso 15:
52.    Escreva.LCD ("ATENÇÃO!!! RISCO DE COLISÃO");
53.    AcionaBuzzer(); //Liga Buzzer durante um segundo
54.  fimCaso
55. fimEscolha
56. fimSe

```

Fonte: Do Autor (2017).

Caso o tipo de mensagem seja de risco de colisão frontal calculado e enviado por VA, os motoristas em VB e em VC são alertados, para que tomem ciência da situação e as devidas providências, a fim de evitar esta possível colisão. As ações descritas, nesta Seção, como, recepção de mensagens, alertas e envio de respostas, estão implementadas e comentadas no Algoritmo 2.

### 3.4.3 Alerta de risco de colisão

O módulo veicular em VA, ao receber um pacote de resposta, verifica de qual veículo o recebeu, por ângulos (direção). Se o ângulo recebido e o de VA são iguais, eles estão na mesma direção, então efetua o cálculo do tempo de ultrapassagem, pois os dados são de VB. Se os ângulos tiverem diferença de 180 graus, eles estão em direção contrária e, portanto efetua o cálculo do tempo de encontro com VC, já que os dados são seus, além de avisar ao motorista em VA sobre a presença de VB e VC, como está implementado e comentado no Algoritmo 3.

#### Algoritmo 3 - Recepção do pacote de resposta de Vb ou VC e cálculos.

```

1.   Entrada: mensagem, A1m;
2.   lat1 ← GPS.latitude;           // latitude de VA
3.   long1 ← GPS.longitude;        // longitude de VA
4.   lat2 ← mensagem[1];           // latitude de VB ou VC
5.   long2 ← mensagem[2];         // longitude de VB ou VC
6.   vel2 ← mensagem[3];          // velocidade de VB ou VC
7.   V2a ← mensagem[4];           // sentido de VB ou VC
8.   A2m ← mensagem[5];           // aceleração de VB ou VC
9.   V1a ← GPS.angulo;             // direção de VA
10.  R ← V1a - V2a;
11.  Se R < 0 então
12.    R ← -R;
13.  fimSe
14.  // se a diferença entre os angulos for igual ou proxima a 180 os veiculos estao em sentidos opostos
15.  Se R > 175 e R < 185 então
16.    vel1 ← GPS.speed * 1.852;    // lendo e convertendo a velocidade deste veiculo em Km/h
17.    // chama a função que calcula a colisão
18.    TempoDeEncontro ← CalculaColisão (A1m, A2m, 0, Distância, vel1, vel2);
19.    AcionaBuzzer ();             // Dois bips
20.    Escreve.LCD (" Veiculo na contramão se aproxima"); //Mensagens no LCD
21.    Escreve.LCD (Distância);
22.    TipoDeMensagem ← 11;        // muda o tipo de mensagem para iniciar cálculo da ultrapassagem
23.
24.  Senão // se a diferença entre os angulos for igual ou proxima de zero os veiculos estao no mesmo sentido
25.    Se R >= 0 e R < 5 então
26.      vel1 ← GPS.speed * 1.852;  // lendo e convertendo a velocidade deste veiculo em Km/h
27.      // chama a função que calcula a ultrapassagem
28.      TempoDeUltrapassagem ← CalculaUltrapassagem (A1m, A2m, 0, Distância, vel1, vel3);
29.      Escreve.LCD ("Detectado veículo à frente");
30.      AcionaBuzzer ()           // Um bip
31.      TipoDeMensagem ← 12;      // muda o tipo de mensagem para iniciar cálculo da colisão
32.    fimSe
33.  fimSe

```

Fonte: Do Autor (2017).

Com base nos resultados dos referidos tempos, o módulo veicular em VA decide se há possibilidade de colisão ou não. Se a diferença entre o tempo de encontro com o veículo em sentido contrário e o tempo de ultrapassagem do veículo lento for menor que um segundo, envia alerta a todos os motoristas sobre perigo de colisão frontal e reinicia todo o processo de envio e recebimento de mensagens, para nova análise de risco de colisão, que só se encerra, quando o motorista pressionar novamente o botão, indicando a conclusão da ultrapassagem.

Como afirmado na Seção 3.2, caso seja possível ultrapassagem, por exemplo, se tempo de ultrapassagem for menor que o tempo para colisão, em no mínimo um segundo, não será emitido aviso de permissão de ultrapassagem, deixando a critério do motorista ultrapassar ou não. Esta diferença de um segundo entre o tempo de encontro com VC e de ultrapassagem por VB foi acrescentada, especificamente neste projeto, para que a decisão de que não há risco de colisão frontal não se baseasse numa diferença muito pequena, quando for avaliado se o tempo de ultrapassagem é menor que o tempo de encontro. Assim, essa diferença garante uma distância a mais até o momento real do encontro com VC, que somada aos dois segundos de segurança entre VA e VC, chega-se aos três segundos sugeridos por Kooten (2011), como um tempo para colisão (TTC) mais seguro, explicado na Seção 2.5.4, além de minimizar o erro de precisão do GPS, conforme Seção 3.2. Estas ações estão reproduzidas e comentadas no Algoritmo 4 e os cálculos mencionados explicados na próxima Seção.

#### Algoritmo 4 - Decisão se há ou não perigo de colisão frontal e envio de alerta de colisão.

```

1.     Se TempoDeEncontro - TempoDeUltrapassagem < 1 segundo então           // com diferença de 1 segundo
2.         Escreve.LCD ("EVITE ULTRAPASSAGEM!!! RISCO DE COLISÃO");
3.         AcionaBuzzer ();           // Bip longo alerta motorista em VA
4.         TipoDeMensagem ← 15;       // código de alerta
5.         enviaMsg (mensagem);       // envia alerta de colisão a VB e VC
6.         TipoDeMensagem ← 11;
7.         PreparaEnvio (TipoDeMensagem);           // reinicia os envios para novo cálculo de ultrapassagem
8.     Senão
9.         NãoEmiteAviso;
10.    fimSe
11.    Se TipoDeMensagem <> 11 então           // inverte o tipo de mensagem para reiniciar os cálculos
12.        TipoDeMensagem ← 11;
13.        PreparaEnvio (TipoDeMensagem);           // reinicia os envios para novo cálculo de ultrapassagem
14.    Senão
15.        TipoDeMensagem ← 12;
16.        PreparaEnvio (TipoDeMensagem);           // reinicia os envios para novo cálculo de colisão frontal
17.    fimSe

```

Fonte: Do Autor (2017).

Também não há aviso de que a ultrapassagem pode ser realizada no caso do VA não detectar VC, ou seja, não receber o pacote de resposta de VC e o sistema continuará enviando mensagens enquanto o motorista em VA não indicar que a ultrapassagem terminou. Porém, mesmo que VA não receba respostas, não significa que os veículos VB e VC não receberam o alerta e que portanto eles podem já ter conhecimento da situação. O VA só receberá a confirmação, se os módulos em VB ou VC detectarem que o veículo em ultrapassagem está na mesma direção ou oposta a deles, respectivamente, para então responder.

### 3.4.4 Cálculos

A fim de que o sistema analise o risco de colisão em uma ultrapassagem, o módulo em VA calcula se há tempo suficiente para ultrapassagem de VB, antes de encontrar com VC, evitando, assim, uma possível colisão frontal. Foram usadas as equações baseadas nos conceitos da cinemática estudados na Seção 2.4, para implementar o algoritmo que calcula o tempo de ultrapassagem e o de encontro (possível colisão frontal) de VA com VC. As funções que efetuam os respectivos cálculos estão reproduzidas e comentadas nos Algoritmos 5 e 6.

#### Algoritmo 5 - Função que calcula ultrapassagem de VA por VB.

```

1.  Entradas: Aa, Ab, Va, Vb, Sa, Sb
2.  // Respectivamente, Aceleração de VA, Aceleração de VB, Velocidade de VA, Velocidade de VB, Posição de VA, Distância de VB.
3.  T1 ← 0, T2 ← 0, TU ← 0; // Respectivamente Tempo 1, Tempo 2, Tempo total de ultrapassagem
4.  Sa ← 0; // Posição de Va é referência igual a zero
5.  Va ← Va / 3.6; Vb ← Vb / 3.6; // convertendo as velocidades de Km/h para m/s
6.  //Sa ← Sa + 2.5; Sb ← Sb + 2.5; // Acrescentando a diferença do GPS (desconsiderada)
7.  //Sa ← Sa + 6; Sb ← Sb + 6; // Acrescentando o tamanho dos veículos (desconsiderada)
8.  Sb ← Sb + (Vb * 2); // Acrescentando a Distância de segurança
9.
10. Se Aa = 0 e Ab = 0 então // calcula o tempo de ultrapassagem sem aceleração, velocidade constante MU
11.     TU ← (Sc + Sa) / (Va - Vc);
12.     SU ← Sa + Va * TU; // Armazena a distância de ultrapassagem
13.     Retorna TU; // retorna o tempo de ultrapassagem
14. Senão // calcula o tempo de ultrapassagem com aceleração, velocidade variando MUV
15.     Aa ← Aa / 2; Ac ← Ac / 2;
16.     T1 ← (- (Va - Vc) + Rad (Pot ((Va - Vc), 2) - 4 * ((Aa - Ac) * (Sa - Sc)))) / (2 * (Aa - Ac));
17.     T2 ← (- (Va - Vc) - Rad (Pot ((Va - Vc), 2) - 4 * ((Aa - Ac) * (Sa - Sc)))) / (2 * (Aa - Ac));
18. fimSe
19.
20. Se T1 > 0 e T2 > 0 então // verifica se há um tempo negativo e o elimina retornando somente o positivo
21.     Se T1 > T2 então // se houver dois tempos positivos retorna o maior
22.         SU ← Sa + Va * T1 + Aa * Pot (T1, 2); // Armazena a distância de ultrapassagem
23.         Retorna T1; // retorna o tempo de ultrapassagem
24.     Senão
25.         SU ← Sa + Va * T2 + Aa * Pot (T2, 2); // retorna a distância de ultrapassagem
26.         Retorna T2; // retorna o tempo de ultrapassagem
27.     fimSe
28. Senão
29.     Se T1 > 0 então
30.         SU ← Sa + Va * T1 + Aa * Pot (T1, 2); // retorna a distância de ultrapassagem
31.         Retorna T1; // retorna o tempo de ultrapassagem
32.     Senão
33.         SU ← Sa + Va * T2 + Aa * Pot (T2, 2); // retorna a distância de ultrapassagem
34.         Retorna T2; // retorna o tempo de ultrapassagem
35.     fimSe
36. fimSe

```

Fonte: Do Autor (2017).

De acordo com os Algoritmos 5 e 6, para efetuar os cálculos dos tempos, o módulo em VA precisa, além das velocidades e acelerações de VB e VC recebidas via rádio e as suas obtidas pelo seu GPS, calcular as distâncias de VB e VC. Para efetuar o cálculo da distância entre os veículos envolvidos na ultrapassagem, foi usada a fórmula de *Haversine*, estudada na Seção 2.3.1 e cuja função está implementada e comentada no Algoritmo 7. A função do algoritmo de *Haversine*, após receber os dados das coordenadas GPS (Latitude e Longitude)

de entrada dos veículos VA e VB ou VC, fornece como saída as distâncias entre VA e VB, ou VA e VC.

#### Algoritmo 6 - Função que calcula encontro de VA com VC (colisão frontal).

```

1.  Entradas: Aa, Ac, Va, Vc, Sa, Sc
2.  // Respectivamete, Aceleração de VA, Aceleração de VC, Velocidade de VA, Velocidade de VC, Posição de VA, distância de VC.
3.  TE ← 0;
4.
5.  Va ← Va / 3.6;      Vc = Vc / 3.6;      // convertendo as velocidades de Km/h para m/s
6.  //Sa ← Sa + 2.5;    Sc ← Sc + 2.5;      // Acrescentando a diferença do GPS
7.  //Sa ← Sa + 6;      Sc ← Sc + 6;        // Acrescentando o tamanho dos veículos
8.  Sc ← Sc - (Vc+Vb)*2;      // Acrescentando a distância de segurança
9.
10. Se Aa = 0 e Ac = 0 então              // calcula o tempo de encontro sem aceleração, velocidade constante MU
11.     TE ← (Sc - Sa) / (Va + Vc);
12.     SE ← Sa + Va * TE;                  // Armazena a distância de encontro
13.     Retorna TE;                          // retorna o tempo de encontro
14.
15. Senão                                  // calcula o tempo de encontro com aceleração velocidade varia MUV
16.
17.     TE = ( - (Va + Vc) + Rad (Pot ((Va + Vc), 2) - 4 * ((Aa + Ac) * (Sa - Sc)))) / (2 * (Aa + Ac));
18.     SE = Sa + Va * TE + Aa * Pot (TE, 2); // Armazena a distância de encontro
19.     Retorna TE;                          // retorna o tempo de encontro
20. fimSe

```

Fonte: Do Autor (2017).

#### Algoritmo 7 - Função que calcula a distância entre dois veículos.

```

1.  Entrada: V1LA, V1LO, V2LA, V2LO) // respectivamente V1 é VA, enquanto V2 pode ser VB ou VC
2.  r ← 6371.0;                          //raio da terra
3.
4.  V1LA ← V1LA * PI / 180.0;
5.  V1LO ← V1LO * PI / 180.0;
6.  V2LA ← V2LA * PI / 180.0;
7.  V2LO ← V2LO * PI / 180.0;
8.
9.  dLat ← p2LA - p1LA;
10. dLong ← p2LO - p1LO;
11.
12. a ← sin (dLat / 2) * sin (dLat / 2) + cos (V1LA) * cos (V2LA) * sin (dLong / 2) * sin (dLong / 2);
13. c ← 2 * atan2 (sqrt (a), sqrt (1 - a));
14.
15. Retorna round (r * c * 1000);          // resultado em metros.

```

Fonte: Do Autor (2017).

Nota-se, nos Algoritmos 5 e 6, linhas 6 e 7, que o tamanho dos veículos e erros de precisão do GPS foram desconsiderados, pois, como afirmado na Seção 3.2, foi acrescentada ao resultado do Algoritmo 7 uma distância de segurança. Desta forma, o cálculo de uma distância segura entre VA e VB está implementada, na linha 8 do Algoritmo 5, que é igual a duas vezes (regra dos 2 s, Seção 2.5.4) a velocidade em *m/s* de VB, somada, por fim, à distância real encontrada pelas coordenadas GPS, conforme Algoritmo 7. Assim, a distância a ser considerada ideal, para ultrapassagem completa e segura, é, quando VA, além de ultrapassar VB, encontrar o limite máximo da distância de segurança, o que garante que VA

pode seguramente retornar para sua pista. Além de VA e VB, também foi calculada uma distância de segurança entre VA e VC, porém, neste caso, ela deve ser tal que, quando VA terminar de ultrapassar VB, esteja ainda a uma distância segura de VC. A implementação da distância de segurança entre VA e VC pode ser vista, na linha 8 do Algoritmo 6, que é igual a duas vezes a soma das velocidades de VA e VC em m/s, subtraindo-se da distância real calculada, conforme Algoritmo 7. Os valores das velocidades de VA e VC são somados, tendo em vista que os veículos seguem em direções opostas. As distâncias de segurança foram calculadas, conforme Seção 2.5.4 entre VA e VC; além dos dois segundos, é somado um segundo a mais da diferença entre o tempo de encontro com VC e de ultrapassagem por VB, quando o sistema decide se há ou não risco de colisão frontal, totalizando três segundos, conforme explicado na mesma Seção.

Figura 18 - Veículos usados nos testes e módulo veicular utilizado em um dos veículos.

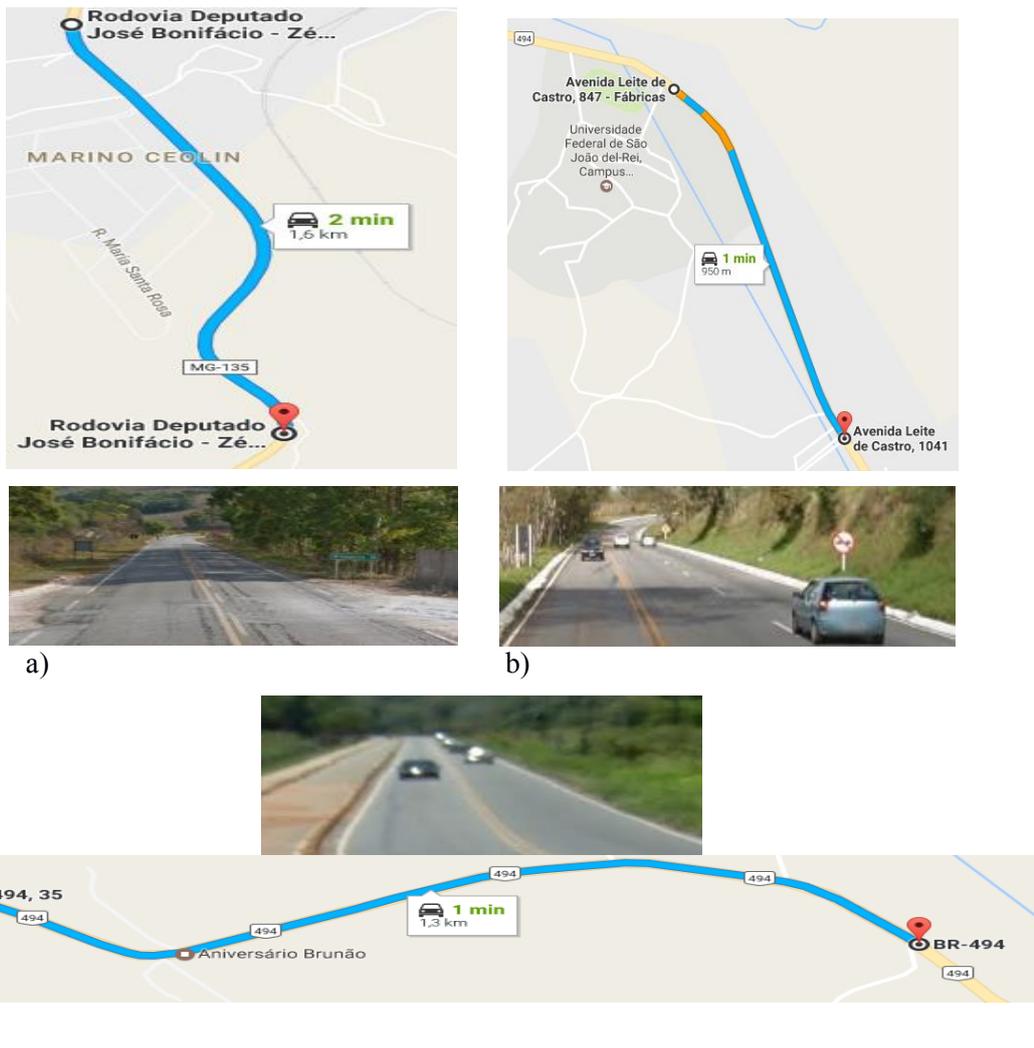


Fonte: Do Autor (2017).

### 3.5 Testes

Na Figura 18 mostram-se quatro imagens mais à esquerda com os veículos usados nos testes, VolksWagem UP, Fiat UNO, Palio Weekend Adventure e Ford Fiesta, sendo apenas dois em cada dia de testes. A imagem mais à direita tem um dos módulos veiculares utilizado nos veículos e conectado a um notebook para armazenar os dados. Para testes de campo com os veículos utilizando os módulos veiculares, foram usadas duas rodovias de pistas simples BR494 e MG135, cujos trajetos estão definidos na Figura 19. Nestes trajetos, foram simulados um ambiente de ultrapassagem envolvendo três veículos, dois veículos seguem por estas rodovias em uma das pistas, um à frente do outro na mesma direção, mas com velocidades diferentes, respectivamente,  $V_A$  e  $V_B$ , e um terceiro  $V_C$ , que segue na mesma rodovia, porém na outra pista em sentido contrário.

Figura 19 - Os três trajetos em duas rodovias usadas nos testes: (a) BR494 no dia 21/02; (b) MG135 nos dias 02 e 17/03/17; (c) BR494 nos dias 07 e 28/03/17.



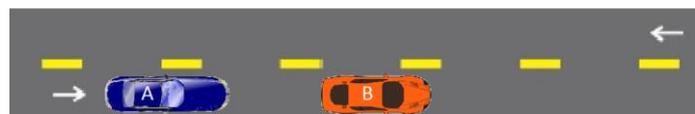
Fonte: Google Maps (2017).

Pelos motivos explicados na Seção 3.2, não foram efetuados testes com ultrapassagens reais, além disso, como foram construídos somente dois módulos veiculares, apenas dois veículos foram usados de cada vez nos testes utilizando os módulos. Em razão destes motivos, para que os testes e seus resultados não fossem prejudicados, a sua realização foi dividida em duas fases:

A primeira fase se refere a um cenário antes da ultrapassagem, envolvendo dois veículos, VA e VB. Nesta fase, VA e VB percorreram no mesmo sentido os trajetos determinados, nos trechos da Figura 19, com o objetivo de colher dados referentes ao alerta de solicitação de ultrapassagem enviado a VB pelo VA, conforme cenário da Figura 20 a). Ainda nesta fase e cenário, porém agora considerando que VA já está na pista oposta, pronto para ultrapassar VB, foram registrados os dados referentes ao cálculo da ultrapassagem, após VA receber resposta de VB.

A segunda fase se refere ao cenário de ultrapassagem envolvendo agora VA e VC. Nesta fase, VA e VC percorreram os mesmos trechos da primeira fase, realizando algumas voltas nos referidos trajetos, porém cada veículo em uma pista e com sentidos diferentes. O objetivo agora é colher dados referentes a alertas enviados aos motoristas da presença de veículo em sentido contrário e cálculo da colisão frontal de VA e VC, conforme cenário da Figura 20 b). É importante lembrar que os veículos, apesar de em pistas diferentes, estavam simulando no teste uma ultrapassagem de VA por VB usando a pista do VC.

Figura 20 - (a) Configuração do cenário. Fase 1 dos testes; (b) Configuração do cenário. Fase 2 dos testes.



a)



b)

Fonte: Do Autor (2017).

Adotados os critérios acima, os módulos veiculares foram então colocados no interior de dois veículos e conectados aos seus respectivos notebooks, assim, foram realizados testes de campo, nos dias 21 de Fevereiro, 02, 07, 17 e 28 de Março de 2017, com os veículos percorrendo os trechos das rodovias mostradas na Figura 19. A cada dia de testes, foi realizada uma média de 10 voltas, nos referidos trechos, sendo metade em cada cenário da Figura 20.

### **3.6 Avaliação dos resultados**

Para avaliar se o sistema está funcionando adequadamente como proposto, foi feita uma análise dos pacotes de dados armazenados nos testes, considerados válidos para análise, os pacotes cuja velocidade dos veículos estava acima de 40 km/h, principalmente VA, considerando uma velocidade máxima 80 Km/h permitida nas rodovias. Conforme CTB em Brasil (2007), artigo 62, a velocidade mínima permitida não poderá ser inferior à metade da velocidade máxima permitida.

A análise dos dados armazenados foi realizada sobre dois quesitos principais, desempenho e finalidade do sistema. A análise dos dados sob os quais foi avaliado o desempenho se referem às métricas descritas na Tabela 5. A finalidade consiste em alertar corretamente os motoristas, envolvidos na ultrapassagem, primeiramente, sinalizando realização da manobra e, finalmente, ao analisar corretamente o risco de colisão frontal durante esta manobra, emitir alerta aos motoristas sobre a possibilidade de ela ocorrer. Para avaliar então essas finalidades, foi feita análise dos dados sobre tempo de ultrapassagem por VB e de encontro a VC, ângulo, velocidade, distância e aceleração dos veículos. Procurou-se, nesta análise, verificar se os veículos receberam alertas de intenção de ultrapassagem e se o sistema está calculando corretamente os tempos de ultrapassagem e de encontro, cuja precisão é essencial para julgar o risco de colisão frontal durante a manobra.

Tabela 5 - Métricas relacionadas à avaliação de desempenho.

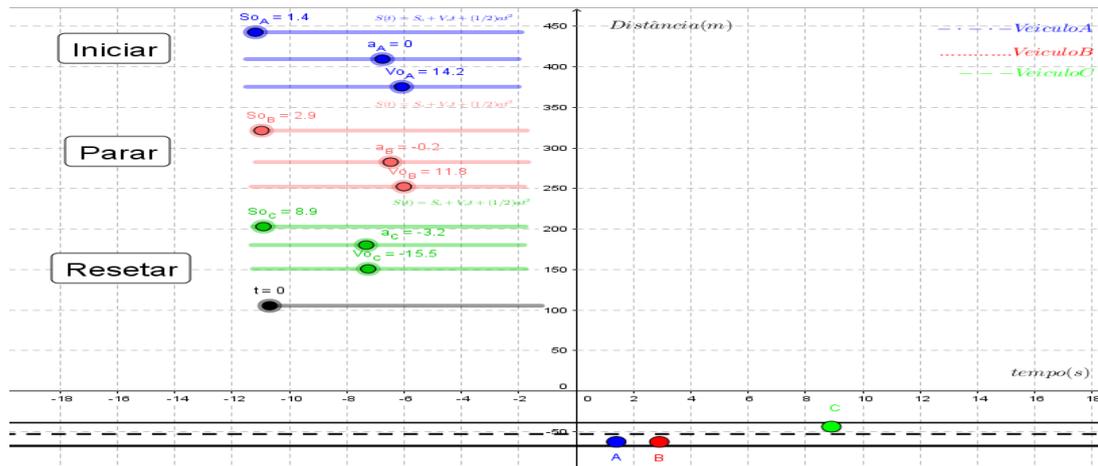
<b>Análise do desempenho do protótipo</b>	
<b>Métricas</b>	<b>Descrição</b>
Latência (milisegundos)	Refere-se à medida do tempo do envio completo de um pacote, contado desde o momento em que foi escrito pelo Arduíno, no módulo de rádio no emissor para envio, até sua recepção completa no rádio do receptor, quando estará disponível para leitura pelo Arduíno no receptor. Para isso, a latência calculada no emissor é igual ao tempo de envio de uma solicitação pelo emissor, subtraídos o tempo de recepção no emissor da resposta do receptor e tempo de processamento no receptor, cujo resultado será dividido por 2.
Perda de pacotes	Refere-se à quantidade de pacotes enviados pelo emissor e não recebidos no receptor, sendo contabilizados os pacotes enviados e recebidos, a partir do início da recepção do primeiro pacote, ou seja, dentro do alcance do sinal.
Alcance do sinal (m)	Refere-se à distância máxima em que foi recebido o primeiro pacote. Para isso, será usada a latitude e longitude dos veículos, enviadas entre emissores e receptores. Para se calcular esta distância, será usada a fórmula de <i>Haversine</i> .

Fonte: Do Autor (2017).

A análise dos dados das métricas de desempenho, estatisticamente, comprovará se as tecnologias empregadas, bem como o software em execução, podem ou não comprometer os resultados finais do sistema, ou seja, o fim a que se destina. Para o desempenho adequado, a latência deverá ser menor que 100 ms, considerados por Eze, Zhang e Liu (2014), ideal para mensagens de veículos em ultrapassagem, assim como por Xu et al. (2004) ideal para mensagens de segurança em VANET's. Serão avaliados também o percentual total de pacotes perdidos que quanto menor melhor o desempenho e o alcance do sinal, que quanto maior melhor será o resultado para prevenção de colisão.

Para avaliar se os módulos veiculares sinalizam a intenção de ultrapassagem, ao enviar alertas antes da manobra, a própria avaliação feita, no quesito desempenho, já indica se os motoristas receberam os avisos. Por fim, foi avaliado se o sistema pode analisar corretamente o risco de colisão e alertar os motoristas, caso haja perigo de colisão frontal durante ultrapassagem. Para essa avaliação, foi construída uma simulação, com base nos conceitos da cinemática, demonstrados na Seção 2.4, usando software *Geogebra* (2017), disponível em <https://www.geogebra.org/> do cenário de ultrapassagem com três veículos (Figura 21).

Figura 21 - Simulação de um cenário de ultrapassagem envolvendo três veículos.



Fonte: Do Autor (2017).

Nesta simulação, temos, em consequência, três partículas que representam VA, VB e VC, cada uma com seus controles de distância ( $S_0$ ), aceleração ( $a$ ) e velocidade ( $V_0$ ). O deslocamento de cada partícula ocorre, quando, após ser configurado nos controles, esses respectivos valores obtidos pelos módulos veiculares nos testes, for pressionado o botão de iniciar. Esse deslocamento gera um gráfico com o percurso das três partículas, em que é possível visualizar o ponto de encontro e comparar os resultados de distância e tempo de encontro com os obtidos pelo módulo veicular. Desta forma, se o sistema estiver calculando corretamente os tempos de ultrapassagem de VA por VB e encontro de VA com VC, então, conclui-se que ele corretamente pode julgar se há ou não risco de colisão frontal. Assim, quando o módulo veicular verificar que o tempo de ultrapassagem é maior que o tempo de colisão, alertará com precisão os motoristas da possibilidade de colisão frontal, caso a manobra seja realizada.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, serão avaliados e discutidos os resultados da latência, percentual de perda de pacotes, alcance do sinal, sinalização de ultrapassagem e da análise do risco de colisão frontal com veículo sentido contrário. A avaliação será feita, com base nos pacotes armazenados durante os testes realizados, conforme metodologia descrita.

### 4.1 Latência

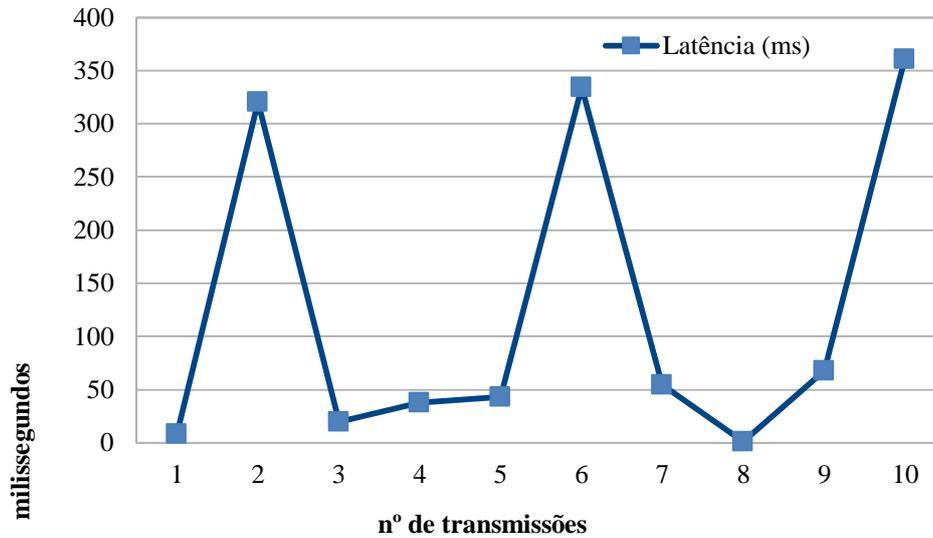
Para avaliação da latência, foram selecionados, do módulo veicular de VA, apenas pacotes armazenados respectivos a transmissões com troca de dados entre VA e VB ou VA e VC; ou seja, VA enviou uma solicitação e recebeu uma resposta de VB ou VC, com as quais efetuou o cálculo da ultrapassagem e do encontro, respectivamente. Desta forma, em 51 transmissões (pacotes enviados e suas respectivas respostas) selecionadas, cujos pacotes são considerados válidos (ver Seção 3.6), houve grande variação da latência. A variação da latência ocorreu por configurações do rádio, inicialmente usando parâmetros padrão. Com a configuração do rádio descrita na Tabela 6, testada nos dois últimos dias de testes, 17 e 28 de Março, a latência média das dez transmissões efetuadas ficou em 112 ms, conforme gráfico da Figura 22.

Tabela 6 - Configurações padrão do rádio e customizadas de melhor desempenho.

Configurações <i>default</i> do Rádio	Configurações personalizadas do Rádio	Descrição
SelecionaCanal (Automatico)	SelecionaCanal (108)	0 e 125 canais
SelecionaTaxaDeDados (RF24_1MBPS)	SelecionaTaxaDeDados (RF24_250KBPS)	RF24_250KBPS = 250kbs, RF24_1MBPS = 1Mbps, RF24_2MBPS = 2Mbps
SelecionaNívelAmplificado r (RF24_PA_MAX)	SelecionaNívelAmplificador (RF24_PA_MAX)	RF24_PA_MIN= -18dBm, RF24_PA_LOW= -12dBm, RF24_PA_HIGH= -6dBm, RF24_PA_MAX=0dBm.
SelecionaTempoeNumeroDeRetransmissões (15, 15)	SelecionaTempoeNumeroDeRetransmissões (5, 5)	Tempo entre 0 e 15. 0= 250 us e 15 = 4000 us. Nº de retransmissões entre 0 e 15.
SelecionaCRC (RF24_CRC_16)	SelecionaCRC (RF24_CRC_8)	RF24_CRC_8 = 8-bit, RF24_CRC_16 = 16-bit

Fonte: Do Autor (2017).

Figura 22 - Latência nas dez últimas transmissões testadas.



Fonte: Do Autor. (2017)

Essa latência se refere ao tempo total de envio de um pacote completo pelo módulo veicular em VA e sua recepção completa pelo módulo veicular em VB ou VC. Este tempo foi contabilizado, então, desde o instante em que o pacote completo foi escrito pelo microcontrolador, no dispositivo de rádio em VA para envio, até o momento em que o dispositivo de rádio em VB ou VC estivesse com o pacote completo disponível para leitura pelo seu respectivo microcontrolador, como explicado na Seção 3.6. Assim, a latência média ficou acima dos 100 ms recomendados, para mensagens de segurança em ultrapassagens, o que demonstra que o dispositivo de rádio utilizado é limitado e pode não ser o mais indicado, para este tipo aplicação, porém a maioria das latências, nestes dois últimos dias de teste, ficou próxima de 50 ms, o que também demonstra ser possível obter um desempenho melhor com um desenvolvimento mais adequado do Hardware.

#### 4.2 Perda de pacotes

As perdas de pacotes nas transmissões foram contabilizadas desde o recebimento dos primeiros pacotes pelos módulos veiculares em VB ou VC. A partir deste momento, com os módulos veiculares sob o alcance do sinal, todos os pacotes foram contabilizados, para isso, foi conferido o número de sequência dos pacotes transmitidos com os recebidos. Desta forma, dos 94 pacotes transmitidos considerados válidos (ver Seção 3.6), durante todos os testes, o percentual de perda total ficou em 21% como mostra a Tabela 7, porém pouco influenciaram nos resultados dos cálculos de ultrapassagens por VB e de encontro com VC. Poucas perdas

aconteceram, durante estes cálculos, isto é, quando os veículos estavam alinhados na mesma direção (ultrapassagem) ou em ângulos opostos (encontro), ocorrendo, em sua maioria, de forma sequencial e isolada antes dos veículos estarem alinhados. Esse fato que demonstra que as principais causas foram a distância e o os veículos não estarem em linha apontada direta.

Tabela 7 - Relação de pacotes transmitidos e perdidos.

Total de Pacotes enviados em todos os testes	94
Total de pacotes perdidos	20
Total de pacotes sem erro	74
Percentual de pacotes perdidos	21%

Fonte: Do Autor (2017).

### 4.3 Alcance das transmissões

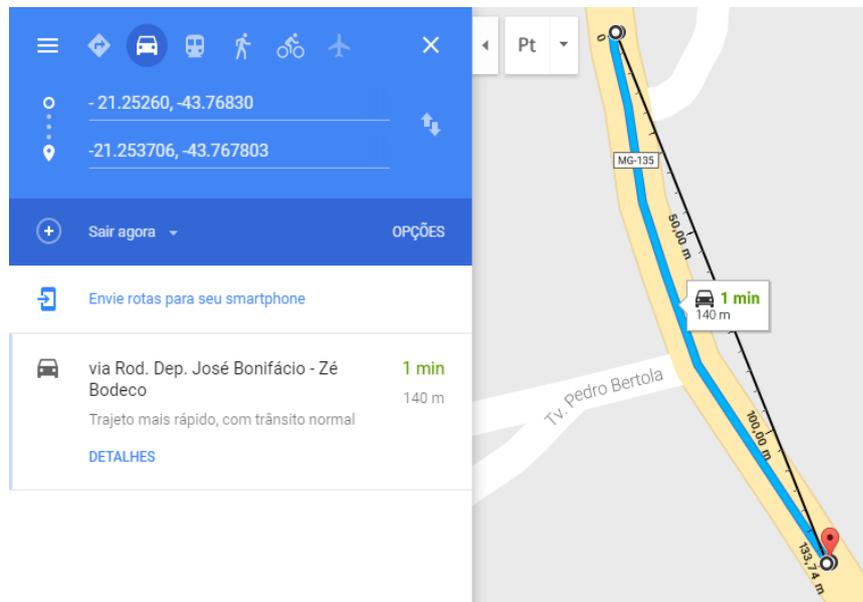
O alcance do sinal nas transmissões obtiveram bons resultados, considerando-se a limitação do Hardware utilizado, o fato do rádio e demais dispositivos do módulo veicular serem alimentados pela mesma fonte com tensão de 5 V, além de estarem internamente nos veículos. Antes de avaliar se o sistema tem um bom alcance do sinal, é preciso saber se os cálculos das distâncias entre os veículos estão corretos, para isso, foi usada a ferramenta *GoogleMaps* disponível em <https://www.google.com.br/maps>. Nesta ferramenta, foram inseridos os dados de latitude e longitude obtidas nos testes e comparados seus resultados com os dos módulos veiculares. Nesta avaliação, não foram considerados os erros de precisão do GPS. Desta forma, dois exemplos do uso desta ferramenta podem ser vistos, nas Figuras 23 e 24, nas quais, na primeira, mostra-se o maior alcance registrado entre VA e VB e, na segunda, entre VA e VC, cujas distâncias obtidas, usando esta ferramenta, foram 133,74 m e 491,90 m, respectivamente, e os resultados obtidos pelos módulos podem ser vistos na Tabela 8. Sendo assim, é possível observar que os resultados obtidos por ambos estão muito próximos, como também é possível verificar, na Figura 23, que há recepção do sinal mesmo em curvas.

Tabela 8 - Alcance da transmissão de VA para VB ou VC.

Maior distância do veículo da frente	135
Maior distância do veículo em sentido contrário	492
Distância média do carro à frente	61
Distância média do carro em sentido contrário	173

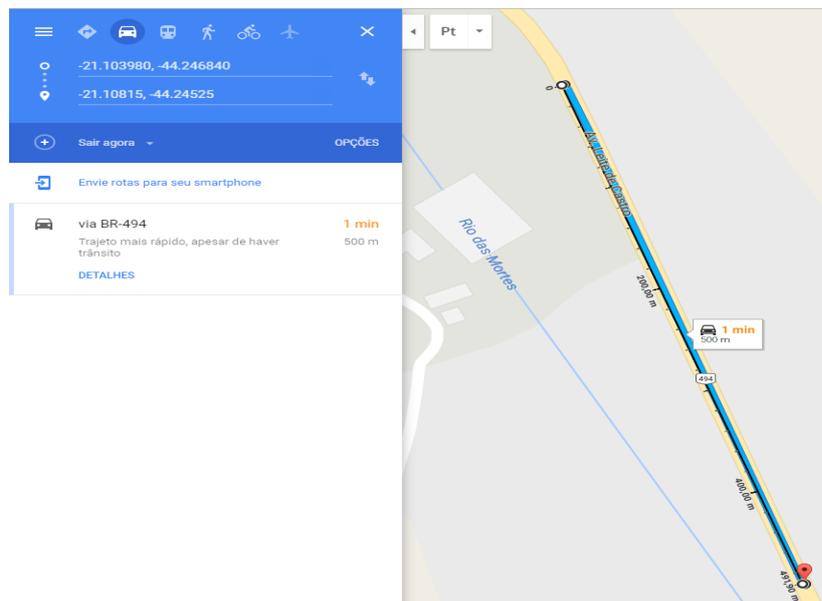
Fonte: Do Autor (2017).

Figura 23 - Maior distância entre VA e VB, trajeto em curva.



Fonte: Google Maps (2017).

Figura 24 - Maior distância entre VA e VC, trajeto com retas.



Fonte: Google Maps (2017).

Portanto, conforme Tabela 8, o alcance máximo do sinal entre VA e VC foi 492 m (Figura 24) e a média do alcance nas transmissões entre estes veículos, para cálculo do tempo de encontro com VC, ficou em 173 m, estando os veículos alinhados e em sentidos opostos. O maior alcance na transmissão entre VA e VB foi 135 m (Figura 23) e a média do alcance, na troca de dados para cálculo da ultrapassagem por VB, ficou em 61 m com os veículos alinhados e no mesmo sentido. O maior alcance obtido nos testes de 492 m foi com o rádio configurado com os parâmetros customizados da Tabela 6.

#### **4.4 Prevenção de colisão frontal**

Os primeiros resultados discutidos avaliaram o desempenho do módulo veicular e, a partir de agora, é avaliada a sua funcionalidade dividida em duas partes. Primeiramente, é avaliado se os protótipos usados nos veículos estão sinalizando corretamente os veículos envolvidos na ultrapassagem, VA, VB e VC, antes mesmo de ela ocorrer. Em segundo, é avaliado se o sistema analisa corretamente o risco de colisão frontal durante esta manobra e, em caso de haver esse risco, se ele pode alertar os motoristas.

##### **4.4.1 Sinalização da intenção de ultrapassagem**

Pode-se avaliar esta primeira parte pelos resultados discutidos na Seção 4.3 sobre distância de alcance do sinal. Desta forma, de acordo com os resultados do alcance do sinal, também é possível afirmar que VA sinalizou a intenção de ultrapassagem e recebeu alerta da presença dos demais veículos, em média, a 61 m de VB e 173 m de VC, quando estiveram alinhados, ou seja, em uma reta cuja ultrapassagem é permitida. Estes alertas permitiram a todos os motoristas estarem cientes da situação de ultrapassagem e tomarem as devidas precauções, para que não ocorra uma colisão frontal durante a manobra. Como, por exemplo, VB e VC diminuam suas velocidades, para facilitar uma ultrapassagem, como recomenda o Código de Trânsito Brasileiro em Brasil (2007), ou até mesmo fazer com que o VA desista de ultrapassar.

##### **4.4.2 Análise do risco de colisão frontal**

Para avaliar esta segunda parte, primeiro deve ser verificado se o sistema está calculando corretamente os tempos e distâncias de ultrapassagem de VA por VB e do encontro de VA com VC. Com os cálculos efetuados eficazmente, o sistema pode analisar, de forma precisa, o risco de colisão frontal, durante a manobra e alertar, adequadamente, os motoristas sobre esta possível colisão com VC, quando o tempo de ultrapassagem por VB for maior que o tempo para encontro com VC. Caso não haja perigo de colisão, o módulo

veicular em VA não emite alerta algum, deixando a cargo do seu motorista tomar a decisão de ultrapassar ou não.

Tabela 9 - Dados dos testes de campo para cálculos de ultrapassagem de VA por VB.

Testes	Veículo A		Veículo B				A ultrapassa B em		
	Velocidade (Km/h)	Aceleração (m/s <sup>2</sup> )	Velocidade (Km/h)	Posição real em relação a A (m)	Distância segura após ultrapassagem	Distância total necessária para ultrapassagem	Aceleração (m/s <sup>2</sup> )	Tempo (s)	Distância (m)
1	53,39	0	39,6	16	22	38	-0,5	6,85	101,65
2	47,64	2,12	38,46	81	21,37	102,37	0	8,70	195,29
3	49,85	1,07	34,42	72	19,12	91,12	-0,83	7,79	140,43
4	54	1,11	43,04	34	23,91	57,91	0	7,83	151,57
5	50,98	1,35	44,32	61	24,62	85,62	-0,3	9,13	185,50
6	54,56	1,32	44,62	36	24,79	60,79	0	7,73	156,61
7	49,09	0	43,71	40	24,28	64,28	-0,82	10,83	147,69

Fonte: Do Autor (2017).

Tabela 10 - Dados dos testes de campo para cálculos de colisão frontal de VA com VC.

Teste	Veículo A		Veículo C				A encontra C em		
	Velocidade (Km/h)	Aceleração (m/s <sup>2</sup> )	Posição real em relação a A (m)	Distância Segurança entre A e C	Distância total	Velocidade (Km/h)	Aceleração (m/s <sup>2</sup> )	Tempo (s)	Distância (m)
1	39,39	0,14	86	57,64	28,36	64,36	0,42	0,97	10,73
2	57,6	3,2	212	55,1	156,9	41,58	0	4,51	104,78
3	50,18	1,99	73	58,88	14,12	55,81	0,68	0,47	6,76
4	59,32	0	205	71,94	133,06	70,18	0	3,70	60,95
5	43,33	1,08	143	59,37	83,63	63,54	0,92	2,59	34,81
6	43,97	0	84	51,75	32,25	49,18	0	1,25	15,22
7	50,25	0	231	57,42	173,58	53,1	1,75	5,22	72,82
8	51,46	0	194	61,34	132,66	58,95	0	4,33	61,83
9	47,05	0	204	51,11	152,89	44,95	1,49	5,20	67,90

Fonte: Do Autor (2017).

Para esta análise, então, foram selecionados e avaliados alguns dos pacotes de dados usados na avaliação da latência, organizando-os em duas tabelas. Foram selecionados pacotes de dados em que VA possui velocidade no mínimo 5 Km/h maior que VB, o que possibilita uma ultrapassagem, sendo desconsiderados os demais dados. Desta forma, na Tabela 9, organizados por teste realizado, constam os dados necessários ao cálculo do tempo e distância de ultrapassagem de VA por VB e os resultados destes cálculos obtidos pelos módulos veiculares, assim como, na Tabela 10, estão os dados usados para cálculo do tempo e distância de encontro de VA com VC e seus resultados. Os dados destas tabelas respectivos à velocidade, aceleração e distância (incluindo distância de segurança) de cada veículo foram inseridos na simulação construída com o software *Geogebra* (2017), conforme Seção 3.6 e a média dos resultados dos cálculos do simulador comparados com a dos módulos veiculares. Portanto pode-se observar, na Tabela 11, que os resultados ficaram bem próximos, o que comprova que o algoritmo está calculando com boa precisão os tempos e distâncias de ultrapassagem por VB e de encontro com VC.

Tabela 11 - Comparação dos resultados obtidos no simulador e no módulo veicular de VA,

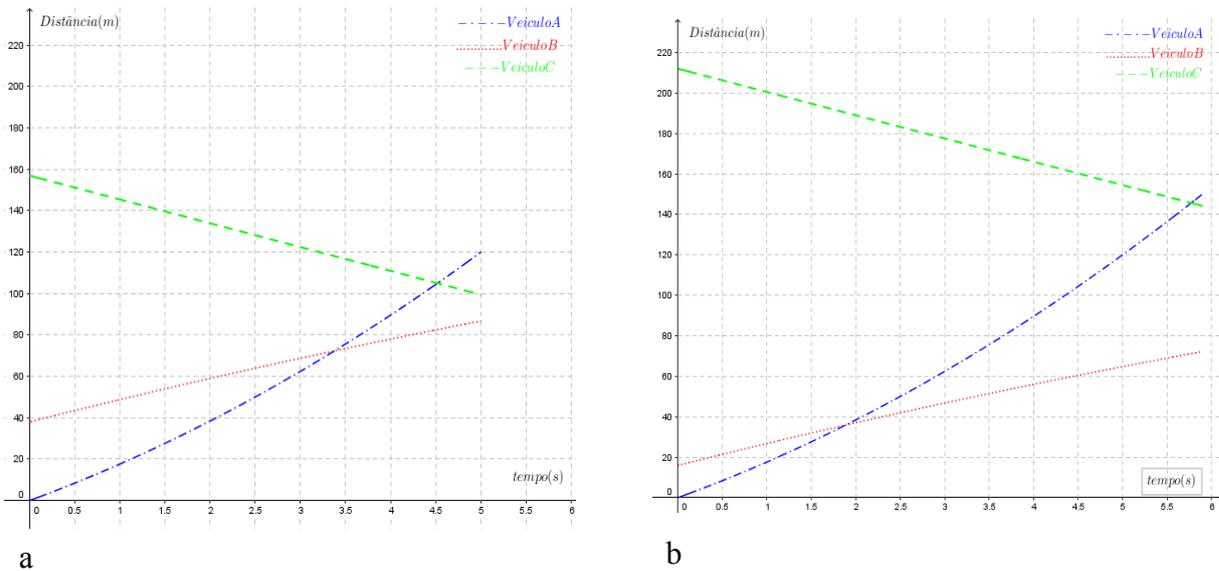
Simulado por software (Geogebra)				Simulado em campo (protótipo)			
Ultrapassagem de VB		Encontro com VC		Ultrapassagem		Encontro com VC	
Tempo (s)	Distância (m)	Tempo (s)	Distância (m)	Tempo (s)	Distância (m)	Tempo (s)	Distância (m)
6,88	101,87	0,96	10,62	6,85	101,65	0,97	10,73
8,74	195,9	4,62	108,22	8,70	195,29	4,51	104,78
7,95	141,23	0,47	6,82	7,79	140,43	0,47	6,76
7,9	152,77	3,69	60,98	7,83	151,57	3,70	60,95
9,28	186,83	2,6	34,87	9,13	185,50	2,59	34,81
7,82	157,71	1,24	15,07	7,73	156,61	1,25	15,22
10,91	148,41	5,24	73,31	10,83	147,69	5,22	72,82
-	-	4,3	61,49	-	-	4,33	61,83
-	-	5,2	67,61	-	-	5,20	67,90
Média							
8,49 s	154,96 m	3,14 s	48,77 m	8,50 s	154,52 m	3,06 s	46,85 m

Fonte: Do Autor (2017),

Após ser verificado que os resultados dos cálculos estão precisos, afirma-se com segurança que o sistema, com base nos resultados dos tempos de ultrapassagem por VB e de encontro com VC, pode julgar corretamente, se há risco de colisão frontal ocorrer, durante a manobra, quando o tempo de ultrapassagem for maior que o tempo de encontro e alertar os motoristas envolvidos sobre este perigo. Para comprovar se esta análise está correta, foi utilizada simulação construída com o software *Geogebra* (2017), conforme Seção 3.6 que demonstrará em um gráfico, se realmente haverá ou não o risco da colisão frontal, detectada pelo sistema ocorrer, caso a manobra seja realizada. Para isso, serão usados dados obtidos pelos módulos veiculares, durante os testes como velocidade, aceleração e distância de cada veículo envolvido na manobra, que, inseridos na simulação geraram gráficos de deslocamento dos três veículos e, de acordo com o cruzamento dos gráficos, é possível afirmar se há ou não risco desta colisão frontal ocorrer.

Para esta avaliação, foram selecionados dois conjuntos de dados descritos nas Tabelas 9 e 10 a serem inseridos na simulação construída com o software *Geogebra*. A seleção destes conjuntos de dados foi feita, mediante análise dos diversos dados das duas tabelas, com o propósito de achar dois conjuntos de dados que representassem bem duas situações. Uma em que a ultrapassagem de VA por VB pode ser realizada sem perigo de colisão frontal com VC e outra em que, durante esta ultrapassagem, houvesse possibilidade desta colisão ocorrer. Desta forma, para simular ultrapassagem sem risco de colisão frontal, foram selecionados dados do teste 1 da Tabela 9 e teste 2 da Tabela 10. Para simular ultrapassagens com perigo desta colisão ocorrer, foram selecionados dados do teste 4 da Tabela 9 e teste 4 da Tabela 10. Os dados selecionados foram inseridos no software da simulação que gerou gráficos do deslocamento de três móveis (VA, VB e VC). Primeiramente, os gráficos da Figura 25 que representam uma ultrapassagem de VA por VB sem risco de colisão frontal com VC e os gráficos da Figura 26 que representam este risco.

Figura 25 - Tempo e distâncias de ultrapassagem e colisão, (a) com distâncias de segurança e (b) sem distâncias de segurança.



Fonte: Do Autor (2017)

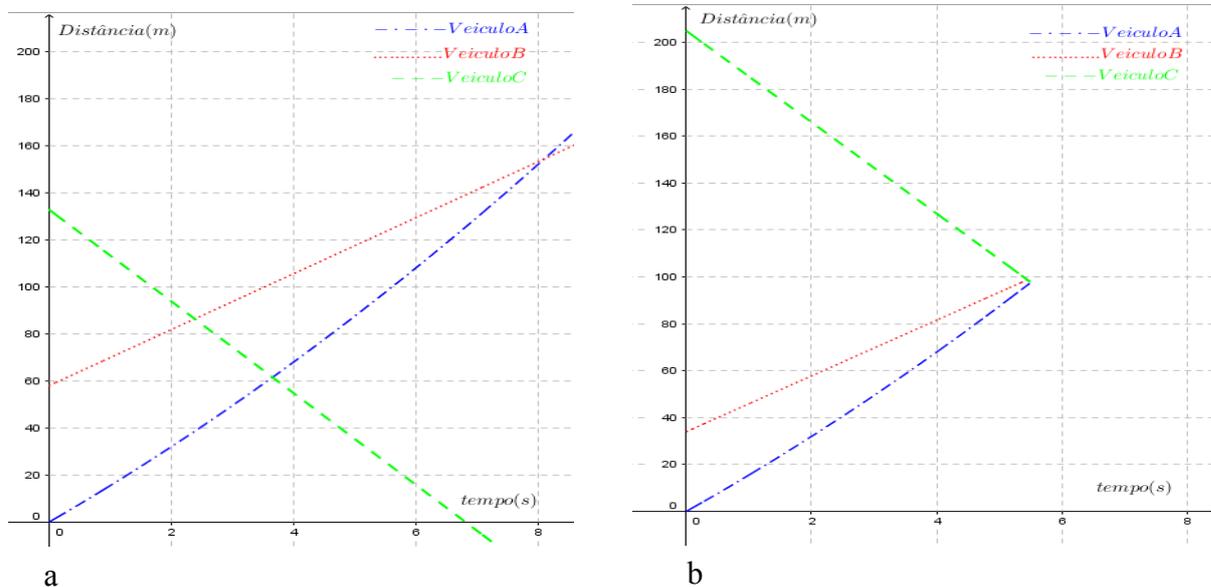
O gráfico da Figura 25 a) mostra VA, VB e VC, ponderando suas posições iniciais no início da ultrapassagem, considerando distâncias de segurança, respectivamente zero (posição referência), 38 e 156,9 m. Após 3,4 s, VA se encontra com VB a 72,31 m e, aos 4,5 s depois, VA se encontra com VC a 104,94 m. Porém nota-se que o ponto de encontro de VA e VB, na verdade, ocorre, quando VA encontra o limite da distância segura de VB que é 22 m (Tabela 9, teste 1). Ou seja, na realidade, VA já ultrapassou VB e já está a 22 m à frente, tendo espaço suficiente em relação a VB para retornar a sua pista com segurança. Além disso, esse encontro ocorre um segundo antes, a 32,63 m do encontro com o início da distância de segurança de VC que é 55,10 m (Tabela 10, teste 2). Ou seja, ao terminar de ultrapassar VB, VA tem 32,63 m à frente e um segundo para retornar à sua pista, antes de encontrar com a distância segura de VC. Isso significa que o tempo para ultrapassagem de VB é de no mínimo um segundo menor que o tempo de encontro com VC, então, de acordo com a análise do sistema, a ultrapassagem pode ser realizada, neste caso, não seria emitido nenhum alerta aos motoristas, pois não há risco de colisão frontal entre VA e VC.

O gráfico da Figura 25 b) comprova a situação acima, usando as posições reais dos veículos sem distâncias de segurança, conforme dados do GPS (com VA, VB e VC a 0, 16 e 212 m, respectivamente). Observa-se que a ultrapassagem seria realizada realmente sem problemas, pois o encontro de VA e VB (quando VA está na pista oposta ao lado de VB) ocorre 1,8 s após o início da ultrapassagem, a 38,5 m, bem antes do encontro de VA com VC, que ocor-

rerá aos 5,75 s a 110 m à frente. Esse fato equivale dizer que VA tem 4 s e 110 m à frente para terminar a ultrapassagem com segurança. Ambas as simulações se referem ao primeiro conjunto de dados selecionados e demonstram que a ultrapassagem seria realmente bem-sucedida caso VA insistisse na manobra.

Já o gráfico da Figura 26 a) considerando distância de segurança, mostra VA, VB e VC partindo de suas posições iniciais, no começo da ultrapassagem, respectivamente 0, 57,91 e 133,06 m. Após 3,8 s, VA se encontra a 61 m com VC e 4 s depois se encontra com VB a 151 m. Porém, na verdade, VA se encontra com o início da distância de segurança de VC que é 71,94 m (Tabela 10, teste 4). Ou seja, VA iniciou a manobra de ultrapassagem e aos 3,8 s já está no limite da distância segura de VC e ainda não passou VB. Somente 4 s depois e a 110 m à frente é que VA encontra a distância segura de VB que é 23,91 m (Tabela 9, teste 4). Isso significa que o tempo e distância de ultrapassagem de VA por VB são maiores que os de encontro com VC, logo, se VA insistir com a ultrapassagem poderá ocorrer colisão frontal com VC. O sistema, neste caso, julga que há risco de colisão frontal durante ultrapassagem, assim, deve alertar a todos os motoristas envolvidos sobre este perigo caso se realize a manobra. O gráfico Figura 26 b) comprova esse risco sem considerar distância de segurança, cujos veículos VA, VB e VC partem de suas posições reais 0, 34, e 205 m, respectivamente. Nesta ultrapassagem, realmente há um grande risco de ocorrer colisão frontal, pois os três veículos se encontram quase no mesmo instante aos 5,5 s a 100 m do início da manobra, com VA, ainda, na pista oposta. Ambas as simulações se referem ao segundo conjunto de dados selecionados e demonstram que a ultrapassagem não seria bem-sucedida caso VA insistisse na manobra.

Figura 26 - Tempo e distâncias de ultrapassagem e colisão, (a) com distâncias de segurança e (b) sem distâncias de segurança.



Fonte: Do Autor (2017)

De acordo com os gráficos da Figura 26, VA, mesmo a uma distância de 34 m de VB e 205 m de VC, enviou e recebeu dados destes veículos, assim todos eles tiveram conhecimento da situação de ultrapassagem. Em seguida, o sistema efetuou com precisão os cálculos de ultrapassagem por VB e encontro com VC e pode, conseqüentemente, julgar corretamente o risco de colisão frontal, alertando a todos os veículos da possível colisão ocorrer, caso a manobra seja realizada.

Não foram considerados, nos cálculos realizados, o tempo e distância de reação do motorista para evitar uma colisão, mas, conforme Tabela 11, a detecção da presença de VC por VA ocorreu, em média, a 3 s antes do encontro com início da distância de segurança entre os dois veículos que é de 2 s. O motorista em VA tem, portanto um tempo de reação que varia de 5 s a 2 s para evitar a colisão frontal, sendo esta variação dependente do tempo de recepção e processamento dos dados em VA. Assumindo um tempo seguro de reação do motorista de 2 s como em Bohm, Jonsson e Uhlemann (2011) e desconsiderando o tamanho do veículo e erros de precisão do GPS, em todos os testes realizados, mostrados na Tabela 11, o motorista de VA teria, no mínimo, estes 2 s para reagir e evitar a colisão. Isto também se o tempo de recepção e processamento dos dados pelo módulo veicular de VA não for superior a 500 ms. Tais análises demonstram que só o uso de distância de segurança, baseada na regra de 2 s, pode não ser o suficiente para minimizar os erros de precisão do GPS e tamanho dos veículos,

assim como o desempenho do Hardware analisado anteriormente pode comprometer o tempo de reação do motorista. Contudo, estando os demais veículos cientes da intenção de ultrapassagem e do risco de colisão frontal, este tempo de reação pode aumentar, quando os demais motoristas diminuïrem suas velocidades.

As situações de ultrapassagem, sem colisão e com colisão vistas, realmente aconteceria, se os veículos mantivessem as mesmas velocidades e acelerações até completar a manobra, porém como se identifica se estes valores vão variar durante esta manobra, por isso mesmo, o sistema continuamente atualiza os cálculos até que o motorista em VA indique o fim da manobra. Desta forma, o sistema inicialmente julgando que não há perigo de colisão em uma ultrapassagem continuará atualizando os cálculos, enviando e recebendo dados. Havendo risco de colisão, os motoristas serão alertados enquanto houver esse risco, a cada atualização. O mesmo acontece para a situação contrária em que o motorista, após ser alertado de que há risco de colisão, pois pode estar com uma velocidade que não permita uma ultrapassagem, insistir na manobra acelerando o carro e ganhando maior velocidade. O sistema atualizará os cálculos e, neste próximo cálculo, ele pode julgar que não há mais risco de colisão, permitindo ao motorista completar a ultrapassagem.

Portanto foi possível demonstrar que o sistema pode sinalizar os motoristas à intenção de ultrapassagem e a presença dos três veículos envolvidos na manobra, bem como analisar e alertar corretamente o risco de colisão frontal com VC, antes mesmo da manobra ocorrer. O motorista do VA pode desistir da ultrapassagem, evitando a possível colisão, além disso, VB e VC já cientes da situação podem, também, ajudar a evitá-la. Entretanto, para o funcionamento adequado deste sistema, como visto na análise do desempenho, dependerá, principalmente, de um Hardware mais robusto, ou seja, com um eficiente meio de transmissão, processamento e informação ao motorista.

## 5 CONCLUSÕES

Com este trabalho objetivou-se fazer o estudo de um sistema embarcado para sinalização de ultrapassagem e análise do risco de colisão frontal, baseando-se nos conceitos da cinemática, GPS e transmissão de dados por rádio frequência, para auxiliar os motoristas durante ultrapassagens nas rodovias de pista simples. Procurou-se, também, testar o sistema em campo simulando ultrapassagens, em um ambiente controlado, armazenando os dados, analisando e avaliando os resultados, de forma a demonstrar que com o sistema pode-se realizar o objetivo proposto.

A ultrapassagem de veículos, em rodovias de pistas simples, é uma das manobras mais arriscadas na direção de um veículo e é responsável direta pela maioria de acidentes com vítimas fatais nas estradas brasileiras. Uma ultrapassagem forçada, ou em local proibido, ou sem condições favoráveis de clima e rodovia, pode causar acidentes graves, muitas vezes, envolvendo pessoas e veículos, que, a princípio, não têm uma relação direta com a forma imprudente de condução de um veículo na respectiva manobra. Isto acontece, muitas vezes, como mencionado no trabalho, pela pressa na condução de um veículo e o fato do ser humano não julgar muito bem todas as variáveis envolvidas na manobra e simplesmente achar que seria possível realizá-la, colocando em risco sua vida e de outras pessoas.

Portanto, o Sistema aqui desenvolvido, testado e avaliado pode ser usado para sinalizar a intenção da ultrapassagem, em um cenário com três veículos e auxiliar o motorista na decisão da ultrapassagem, principalmente, porque cada veículo teve conhecimento da presença dos demais no início da manobra, sendo eles o veículo em ultrapassagem, ciente da presença de um veículo em sentido contrário; o veículo mais lento à frente da intenção de ultrapassar do veículo de trás e o veículo em sentido contrário de um veículo que se aproxima, usando sua pista à frente para ultrapassar. Ter o conhecimento antecipado desta situação permite a estes motoristas tomarem as ações necessárias, para evitar uma possível colisão frontal, ou seja, antes da manobra efetivamente ocorrer. Isto foi demonstrado pela avaliação do alcance do sinal em que os módulos veiculares enviaram e receberam dados, em média, a 61 m entre o veículo em ultrapassagem e o veículo lento à frente e, em média, a 173 m entre o veículo em ultrapassagem e o veículo em sentido contrário, com o alcance máximo entre os módulos atingindo 135 e 492 m, respectivamente.

Também ficou demonstrado que o sistema calcula com precisão os tempos de ultrapassagem do veículo lento à frente e de encontro com o veículo em sentido contrário, analisando, então, corretamente o risco de uma colisão frontal ocorrer e pode auxiliar os

condutores a julgar a possibilidade de tentar ou não a ultrapassagem. Esta precisão foi demonstrada por avaliação dos respectivos cálculos no módulo veicular comparados aos efetuados pelo simulador, em que se verificou que os resultados estão muito próximos. O sistema pode, assim, com base nos seus resultados, alertar um motorista a não iniciar a ultrapassagem ou desistir dela, quando houver risco de colisão frontal. Este alerta também pode ser enviado aos demais motoristas de forma a lhes permitir tomarem as devidas precauções, a fim de evitar esta possível colisão ou com ela se envolverem.

O sistema foi, também, avaliado com relação ao desempenho do Hardware utilizado e não se mostrou adequado o suficiente, para alertar os condutores, pelo fato de o tempo de resposta estar alto, sendo necessário realizar melhorias. Isto ficou claro, quando, a partir de algumas melhorias feitas, a latência média diminuiu para 112 ms, porém, ainda, acima dos 100 ms considerado ideal para aplicações de ultrapassagens. O percentual de perda de pacotes também ficou um pouco alto, em média, de 21 %, porém não prejudicou os cálculos do tempo de ultrapassagem e de encontro com o veículo em sentido contrário, não tendo impacto na análise do risco de colisões frontais. Assim, percebe-se que as limitações do Hardware utilizado influenciaram no desempenho geral. Neste sentido, o mais indicado é o uso de um Hardware mais robusto, com um eficiente meio de transmissão, processamento e informação ao motorista, para que ele não comprometa a funcionalidade do sistema, que exige um tempo de resposta mais rápido, permitindo-lhe ter tempo suficiente para reagir e evitar a colisão.

Conclui-se que, apesar das dificuldades encontradas, o uso de um sistema embarcado para sinalizar a intenção de ultrapassagem e analisar o risco de colisão frontal é possível e viável, podendo ser muito útil para a sociedade ao contribuir para um trânsito mais seguro nas rodovias. As limitações podem ser resolvidas com um desenvolvimento mais adequado de Hardware e Software, principalmente, com apoio de empresas e autoridades responsáveis no setor automotivo.

## **5.1 Contribuições**

Além da pesquisa, o desenvolvimento e testes de um sistema, para sinalização e análise do risco de colisão frontal em ultrapassagens, baseado em um sistema embarcado. Da avaliação dos resultados foi possível demonstrá-la e aplicá-la ao auxílio e prevenção de colisões frontais nas ultrapassagens em rodovias de pista simples. Outras contribuições podem ser atribuídas a este trabalho na prevenção de acidentes em rodovias:

- a) teste e avaliação de um dispositivo de rádio frequência diferente do normalmente usado para a faixa de 2,4 GHz, na comunicação entre veículos, como os protocolos

do padrão IEEE 802.11 e ZigBee, por exemplo. Este dispositivo se mostrou adequado para testes, pois é de fácil prototipagem, além de canais acima da faixa de frequência com maior interferência, baixo consumo, bom alcance e acessível, porém limitado a aplicações reais deste tipo que exigem um tempo de resposta menor;

- b) teste e avaliação do módulo GPS GY-NEO6MV2 que demonstrou ter boa precisão a um custo relativamente baixo sendo adequado para uso em tais aplicações;
- c) teste e avaliação da plataforma Arduíno no processamento dos dados, demonstrando ser uma boa alternativa na prototipagem e testes iniciais, mas não indicado para aplicações reais por ser limitado;
- d) testes e avaliação dos conceitos da cinemática para análise do risco de colisão frontal, baseados nos cálculos da ultrapassagem e encontro de móveis;
- e) o uso do software *Geogebra*, que se mostrou uma importante ferramenta de comparação de resultados de cálculos de ultrapassagem e de encontro com o veículo em sentido contrário, efetuado pelos módulos veiculares, inclusive, como simulação de movimento dos veículos.
- f) Soma-se, enfim, às contribuições mencionadas a pesquisa básica sobre Sistemas Embarcados, Rádio Frequência, ISM, DSRC, GPS, cinemática e ultrapassagens de veículos, na elaboração de referencial teórico, além de uma descrição mais detalhada dos dispositivos que compõem o hardware na elaboração do Apêndice A.

## 5.2 Trabalhos Futuros

Como propostas de continuidade pretende-se:

- a) desenvolver placa de circuito impresso, a partir do protótipo desenvolvido, aprimorando o projeto de Hardware às configurações do rádio para melhorar o tempo de resposta;
- b) aprimorar e acrescentar funções ao software, para que os veículos, atrás do veículo em ultrapassagem, em sentido contrário que já passaram pelo veículo em ultrapassagem e os veículos à frente do veículo a ser ultrapassado ignorem os dados recebidos, além de efetuar mais testes com eles;
- c) desenvolver um terceiro protótipo e efetuar testes com 3 veículos incluindo testes de ultrapassagens;

- d) transferir as funções de análise de risco de colisão frontal, para serem executadas no veículo mais lento à frente, pois ele pode alcançar uma distância maior e detectar com mais antecedência veículos que vêm em sentido contrário;
- e) desenvolver outros protótipos com tecnologias mais robustas e comparar os resultados;
- f) desenvolver e testar outras formas de se identificar a intenção de ultrapassagem, automaticamente, seja pelo comportamento do motorista, por variação de velocidade e aceleração ou detecção de mudança de faixa do veículo;
- g) desenvolver e testar técnicas que permitam ao veículo reagir de forma autônoma a uma situação de risco de colisão frontal, pois a reação humana é mais lenta.

## REFERÊNCIAS

- ADRENALINE. **Volkswagen vai embarcar tecnologia V2V para comunicação entre carros autônomos em 2019**. Disponível em: <<http://adrenaline.uol.com.br/2017/06/28/50424/volkswagen-vai-embarcar-tecnologia-v2v-para-comunicacao-entre-carros-autonomos-em-2019/>>. Acesso em: 18 ago. 2017.
- ALVES, R. dos S. Redes veiculares: princípios, aplicações e desafios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES SBRC, 2009, Recife. **Anais...** Recife: SBRC, 2009. p. 199-254.
- ARDUINO. **Arduino MEGA 2560 & Genuino MEGA 2560**. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Guide/Intro><https://www.arduino.cc/en/main/arduinoBoardMega2560>>. Acesso em: 1 jun. 2017.
- ARDUINO. **What is Arduino, 2016**. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 10 maio 2016.
- AZEVEDO, J. P. M. **Manual de FTL: modulações analógicas e digitais**. Disponível em: <<http://opac.iefp.pt:8080/images/winlibimg.aspx?skey=&doc=73175&img=1181>>. Acesso em: 4 ago. 2017.
- BASJARUDDIN, N. C. et al. Overtaking assistant system based on fuzzy logic. **Telkomnika** (Telecommunication Computing Electronics and Control), Yogyakarta, v. 13, n. 1, p. 76-84, 2014.
- BELYAEV, E. et al. Power control in see-through overtaking assistance system. **IEEE Communications Letters**, New York, v. 17, n. 3, p. 612-615, 2013.
- BIANCHINI, D. **Navegação visual para piloto privado**. São Paulo: Bianch, 2014. 240 p.
- BOCHE, D. A. O. **Projeto conceitual mecatrônico para inspeção em linhas de transmissão**. 2017. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.
- BOHM, A.; JONSSON, M.; UHLEMANN, E. Adaptive cooperative awareness messaging for enhanced overtaking assistance on rural roads. In: VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE (VTC FALL), 2011, San Francisco. **Proceedings...** San Francisco: IEEE, 2011. p. 1-5.
- BMW. **Driver assistance**. Disponível em: <<https://www.bmw.com/en/topics/fascination-bmw/connected-drive/driver-assistance.html>>. Acesso em: 17 ago. 2017.
- BRAESCU, F. C.; CARUNTU, C. F. Prototype model car design for vehicle platooning. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON OPTIMIZATION OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT (OPTIM); INTL AEGEAN CONFERENCE ON ELECTRICAL MACHINES AND POWER ELECTRONICS (ACEMP), 2017, Brasov. **Proceedings...** Brasov: IEEE, 2017. p. 953-958.

BRASIL. **Código de trânsito brasileiro**: código de trânsito brasileiro: instituído pela Lei nº 9.503, de 23-9-97. 3. ed. Brasília, DF: DENATRAN, 2007.

BRASIL. Polícia Rodoviária Federal. **PRF registra redução de 6,8% no número de óbitos nas rodovias federais em 2016**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<https://www.prf.gov.br/portal/noticias/prf-registra-reducao-de-6-8-no-numero-de-obitos-nas-rodovias-federais-em-2016>>. Acesso em: 8 jun. 2017.

BRITO FILHO, F. X. M. **Redes Wi-fi I**: radiofrequência. 2014. Disponível em: <[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwifimanaus1/pagina\\_3.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwifimanaus1/pagina_3.asp)>. Acesso em: 4 ago. 2017.

CABRAL, M. **Encontro e ultrapassagem**: uma aplicação do Movimento Uniforme (MU). Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/encontro-ultrapassagem-uma-aplicacao-movimento-uniforme-.htm>>. Acesso em: 25 maio 2017.

CARA, C. et al. Assisting drivers during overtaking using Car-2-Car communication and multi-agent systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT COMPUTER COMMUNICATION AND PROCESSING (ICCP), 12., 2016, Cluj-Napoca. **Proceedings...** Cluj-Napoca: IEEE, 2016. p. 293-299.

CARISSIMI, A. da S.; ROCHOL, J.; GRANVILLE, L. Z. **Redes de computadores**. Porto Alegre: Bookman, 2009. 390 p.

CHEN, Y. et al. A real-time vehicle safety system. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SYSTEM INTEGRATION (SII), 2012, Fukuoka. **Proceedings...** Fukuoka: IEEE, 2012. p. 957-962.

CHIANG, H. H. et al. Embedded driver-assistance system using multiple sensors for safe overtaking maneuver. **IEEE Systems Journal**, New York, v. 8, n. 3, p. 681-698, 2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **Boletim estatístico, 2016**. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Boletim/boletim-estatistico-cnt>>. Acesso em: 18 ago. 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **Rodovias federais têm cerca de 24% mais mortes no Carnaval deste ano**. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Imprensa/noticia/balanco-final-operacao-carnaval-2017-prf-acidentes-mortes-multas>>. Acesso em: 8 jun. 2017.

CORRADI, W. et al. **Fundamentos de física 1**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2010. 514 p.

CZERNEK, W. et al. GPS and ultrasonic distance sensors for Autonomous Mobile Platform. **Studia Informatica**, Gliwice, v. 37, n. 4A, p. 51-67, 2016.

DANTAS, V. **As aplicações das funções de primeiro e segundo grau na cinemática**. 2013. 66 f. Dissertação (Mestrado em Matemática)-Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2013.

DJAJADI, A.; PUTRA, R. J. Inter-cars safety communication system based on Android smartphone. In: IEEE CONFERENCE ON OPEN SYSTEMS (ICOS), 2014, Subang. **Proceedings...** Subang: IEEE, 2014. p. 12-17.

EMBARCADOS. **Sistema Embarcado: o que é? qual a sua importância?** 2014. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/sistema-embarcado/>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

EZE, E. C.; ZHANG, S.; LIU, E. Vehicular ad hoc networks (VANETs): current state, challenges, potentials and way forward. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATION AND COMPUTING (ICAC), 20., 2014, Bedfordshire. **Proceedings...** Bedfordshire: IEEE, 2014. p. 176-181.

FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION. **Dedicated Short Range Communications (DSRC) Service.** Disponível em: <<https://www.fcc.gov/wireless/bureau-divisions/mobility-division/dedicated-short-range-communications-dsrc-service>>. Acesso em: 11 ago. 2017.

FORD. **F-150 features.** Disponível em: <<http://www.ford.com/trucks/fl50/2017/features/smart/>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

G1. **Maior parte das estradas brasileiras está em condições ruins ou péssimas.** 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-da-globo/noticia/2014/10/maior-parte-das-estradas-brasileiras-esta-em-condicoes-ruins-ou-pessimas.html>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

GEOGEBRA. **GeoGebra Math Calculators with Graphing, Geometry, 3D, Spreadsheet, CAS and more!** Disponível em: <<https://www.geogebra.org/home>>. Acesso em: 23 maio 2017.

GHATWAI, N. G.; HARPALE, V. K.; KALE, M. Vehicle to vehicle communication for crash avoidance system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING COMMUNICATION CONTROL AND AUTOMATION (ICCUBEA), 2016, Pune. **Proceedings...** Pune: IEEE, 2016. p. 1-3.

GM. **Safety first for the all-new 2018 Chevrolet Equinox.** 2016. Disponível em: <<http://www.gm.com/mol/m-2016-sep-0922-2018-equinox-safety.html>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

GOMES, P.; OLAVERRI-MONREAL, C.; FERREIRA, M. Making vehicles transparent through V2V video streaming. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, New York, v. 13, n. 2, p. 930-938, 2012.

GOMES, T. S. **Fundamentos de GPS: conceitos, operação e configuração.** Brasília, DF: Ministério da Agricultura, 2010. Disponível em: <[http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user\\_arquivos\\_383/Apostila%20de%20GPS%20-%20Curso%20Sig@livre%20Sist%C3%AAmico.pdf](http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_arquivos_383/Apostila%20de%20GPS%20-%20Curso%20Sig@livre%20Sist%C3%AAmico.pdf)>. Acesso em: 26 maio 2017.

GOOGLE IMAGES. Disponível em: <<https://images.google.com/>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO. **Limitações, erros e precisão.** Disponível em: <[https://www.gta.ufrj.br/grad/08\\_1/gps/erros.htm](https://www.gta.ufrj.br/grad/08_1/gps/erros.htm)>. Acesso em: 10 ago. 2017a.

GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO. **Padrões e normas.** Disponível em: <[https://www.gta.ufrj.br/grad/08\\_1/gps/normas.htm](https://www.gta.ufrj.br/grad/08_1/gps/normas.htm)>. Acesso em: 1 jun. 2017b.

GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO. **O que são redes veiculares?** 2012. Disponível em: <[http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos\\_vf\\_2012\\_2/80211p/intro.html](http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2012_2/80211p/intro.html)>. Acesso em: 5 ago. 2016.

HEGEMAN, G. et al. Opportunities of advanced driver assistance systems towards overtaking. **EJTIR**, Delt, v. 5, n. 4, p. 281-296, 2005.

HONDA. **Hondasensing and acurawatch.** Disponível em: <<http://www.honda.com/safety/hondasensing-and-acurawatch>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

HYNDAYUSA. **Santa Fe safety.** Disponível em: <<https://www.hyundaiusa.com/santa-fe/safety.aspx>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

INFOCARRO. **Ford lança anti-acidente.** 2010. Disponível em: <<http://www.infocarro.com.br/noticias/ford-lanca-anti-acidente-abicas--sistema-anti-colisao/186.aspx>>. Acesso em: 19 ago. 2016.

JEON, S.; KIM, B. V2V-based evaluation of overtaking risk in curved road conditions. **International Journal of Applied Engineering Research**, New Delhi, v. 11, n. 2, p. 1104-1108, 2016.

JIMÉNEZ, F.; NARANJO, J. E.; GÓMEZ, Ó. Autonomous manoeuvring systems for collision avoidance on single carriageway roads. **Sensors**, Basel, v. 12, n. 12, p. 16498-16521, 2012.

KOOTEN, V. van. **Feasibility study: advanced co-operative overtaking system using vehicular ad-hoc networks.** 2011. 136 p. Thesis (Ph.D. in Telematics)-Faculty of Electrical Engineering, Math and Computer Science, University of Twente, Twent, 2011.

KUMARI. **O que é um transceptor RF?** Disponível em: <<http://www.aiacustominnovations.com/o-que-e-um-transceptor-rf/>>. Acesso em: 4 ago. 2016.

LIMA, W. **Display LCD Nokia 5110: aprenda como utilizá-lo com seu Arduino.** Disponível em: <<http://blog.vidadesilicio.com.br/arduino/display-lcd-nokia-5110>>. Acesso em: 10 maio 2016.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto.** São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MAREFAT, A. et al. An adaptive overtaking maneuver assistant system using VANET. In: IEEE ASIA PACIFIC CONFERENCE ON WIRELESS AND MOBILE, 2014, Bali. **Proceedings...** Bali: IEEE, 2014. p. 316-321.

MERCEDES-BENZ. **Mercedes-benz intelligent drive**. Disponível em: <<https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/innovation/mercedes-benz-intelligent-drive/>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

MOI, A.; MOREIRA, R. C.; GEREMIA, M. Métodos matemáticos para definição de posicionamento. **ÁGORA Revista Eletrônica**, Cerro Grande, n. 19, 2014. Disponível em: <[http://agora.ceedo.com.br/ojs/index.php/AGORA\\_Revista\\_Eletronica/article/viewFile/167/161](http://agora.ceedo.com.br/ojs/index.php/AGORA_Revista_Eletronica/article/viewFile/167/161)>. Acesso em: 10 mar. 2017.

MONDADORI, E. B. **Fisicaexe: exercícios resolvidos de física**. Disponível em: <<http://fisicaexe.com.br/fisica2/mecanica/cinematica/execinematica.html>>. Acesso em: 26 maio 2017.

MOTRO, M. et al. Vehicular ad-hoc network simulations of overtaking maneuvers on two-lane rural highways. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, Amsterdam, v. 72, p. 60-76, 2016.

NISSAN-GLOBAL. **Safety activities**. Disponível em: <<http://www.nissan-global.com/EN/safety/introduction/>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

NORDIC. **Datasheet NRF24L01**. Disponível em: <[https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Pluss\\_Preliminary\\_Product\\_Specification\\_v1\\_0.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Pluss_Preliminary_Product_Specification_v1_0.pdf)>. Acesso em: 8 jun. 2016.

NORDIN, N. A. M. et al. Finding shortest path of the ambulance routing: interface of A\* algorithm using C# programming. In: IEEE SYMPOSIUM ON HUMANITIES, SCIENCE AND ENGINEERING RESEARCH (SHUSER), 2012, Kuala Lumpur. **Proceedings...** Kuala Lumpur: IEEE, 2012. p. 1569-1573.

OLAVERRI-MONREAL, C. et al. The see-through system: a VANET-enabled assistant for overtaking maneuvers. In: INTELLIGENT VEHICLES SYMPOSIUM (IV), 2010, La Jolla. **Proceedings...** La Jolla: IEEE, 2010. p. 123-128.

PELLEGRINI, P. T. **Contribuição para o estudo das distâncias de visibilidade de ultrapassagem para rodovias bidirecionais com duas faixas de tráfego**. 2006. 275 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PHILIPS. **Datasheet PCD8544**. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/Monochrome/Nokia5110.pdf>>. Acesso em: 8 jun. 2016.

POLEZEL, W. G. C.; SOUZA, E. M. de; MONICO, J. F. G. Método de posicionamento relativo por satélite GPS com correção do efeito do multicaminho em estações de referência: formulação matemática, resultados e análises. **Trends in Applied and Computational Mathematics**, São Carlos, v. 9, n. 1, p. 133-142, 2008.

POTHIRASAN, N.; RAJASEKARAN, M. P. Automatic vehicle to vehicle communication and vehicle to infrastructure communication using NRF24L01 module. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL, INSTRUMENTATION,

COMMUNICATION AND COMPUTATIONAL TECHNOLOGIES (ICCICT), 2016, Kanyakumari. **Proceedings...** Kanyakumari: IEEE, 2016. p. 400-405.

PUANGPRONPITAG, S.; KASABAI, P.; SUWANNASA, A. Cross-layer optimization of Vehicle-to-Vehicle video streaming for overtaking maneuver assistance systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON UBIQUITOUS AND FUTURE NETWORKS (ICUFN), 5., 2013, Da Nang. **Proceedings...** Da Nang: IEEE, 2013. p. 345-349.

RAMALHO, F. J.; NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P. S. **Os fundamentos da física 1: mecânica**. São Paulo: Moderna, 2007.

RAMEAU, F. et al. A real-time augmented reality system to see-through cars. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, New York, v. 22, n. 11, p. 2395-2404, 2016.

RIBEIRO JÚNIOR, J. G. et al. Sistema para monitoramento descentralizado de trânsito baseado em redes veiculares infraestruturadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS, 2013, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF, 2013. p. 863-876.

ROHR, M. P. **Ferramenta otimizadora e roteirizadora de cargas**. 2014. 118 p. Monografia (Graduação em Sistemas de Informação)-Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2014.

SANT'ANA, A. R. **Sistema de detecção de colisão entre veículos utilizando GPS e ZIGBEE**. 2014. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SATHE, A. D. et al. VANET based overtake mishap preventive advance road safety system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INVENTIVE COMPUTATION TECHNOLOGIES (ICICT), 2016, Coimbatore. **Proceedings...** Coimbatore: IEEE, 2016. p. 1-6.

SEO, H. S.; JUNG, J. S.; LEE, S. S. Network performance analysis and maneuver model for overtaking assistant service using wave. **International Journal of Automotive Technology**, Shanghai, v. 15, n. 1, p. 1-8, 2014.

SEYBOLD, J. S. **Introduction to RF propagation**. New Jersey: J. Wiley, 2005. 349 p.

SILVA, W. M. **Sinais do movimento variado**. Disponível em: <<http://fizencadeando.blogspot.com.br/?view=magazine>>. Acesso em: 26 maio 2017.

SHOPCAR. **Nova tecnologia BMW promete evitar colisões entre carros e motos em cruzamentos**. 2011. Disponível em: <<https://www.shopcar.com.br/noticias/nova-tecnologia-bmw-promete-evitar-colis-es-entre-carros-e-m/20-05-2011/5670>>. Acesso em: 19 ago. 2016.

TANENBAUM, A. **Computer network**. 5<sup>th</sup> ed. Boston: Pearson, 2011. 962 p.

TECHCRUNCH. **2017 Cadillac CTS gets V2V upgrade**. Disponível em: <<https://techcrunch.com/2016/08/16/in-japan-priuses-can-talk-to-other-priuses/>>. Acesso em: 18 ago. 2017.

TECHCRUNCH. **In Japan, priuses can talk to other priuses**. 2016. Disponível em: <<https://techcrunch.com/2016/08/16/in-japan-priuses-can-talk-to-other-priuses/>>. Acesso em: 18 ago. 2017.

TORRES, G. **Redes de computadores**. 2. ed. Rio de Janeiro: Novaterra, 2014. 1005 p.

TOYOTA. **Toyota safety sense**. Disponível em: <<https://www.toyota.com/safety-sense/animation/pcspd>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

U-BLOX AG. **NEO-6: u-blox 6 GPS modules data sheet**. Thalwil, 2011. Disponível em: <[https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6\\_DataSheet\\_\(GPS.G6-HW-09005\).pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf)>. Acesso em: 10 mar. 2017.

VIAS-SEGURAS. **Manual de direção defensiva do DENATRAN, 2005**. Brasília, DF: Associação Brasileira de Prevenção dos Acidentes de Trânsito, 2017. Disponível em: <[http://vias-seguras.com/comportamentos/direcao\\_defensiva\\_manual\\_denatran](http://vias-seguras.com/comportamentos/direcao_defensiva_manual_denatran)>. Acesso em: 23 maio 2017.

VIEIRA, A. S. S. et al. Driver assistance system towards overtaking in vehicular ad hoc networks. In: THE NINTH ADVANCED INTERNATIONAL CONFERENCE ON TELECOMMUNICATIONS, 2013, Rome. **Proceedings...** Rome, 2013. p. 100-107.

VOLKSWAGEN. **Innovation & technology**. Disponível em: <<http://webspecial.volkswagen.de/innovative-technologies/com/en/mainpage.html?deep=7437e371-244f-4dad-bd8a-08779718dc25>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

VOLVOCARS. **Autonomous driving**. Disponível em: <<http://www.volvocars.com/intl/about/our-innovation-brands/intellisafe/autonomous-driving>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

WALL, N. et al. P3\_4 Junk physics. **Physics Special Topics**, Leicester, v. 14, n. 1, p. 3-4, 2015.

WEVERS, K. et al. **InteractIVe-High precision maps for sustainable accident reduction with the enhanced Dynamic Pass Predictor**. Busan: ITS Korea, 2010. 9 p.

WILMSHURST, T. **Designing embedded systems with PIC microcontrollers: principles and applications**. São Paulo: Elsevier, 2007.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global status report on road safety**. Geneva, 2015. Disponível em: <[http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2015/en/](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/)>. Acesso em: 3 jun. 2016.

XU, Q. et al. Vehicle-to-vehicle safety messaging in DSRC. In: ACM INTERNATIONAL WORKSHOP ON VEHICULAR AD HOC NETWORKS, 1., 2004, Philadelphia. **Proceedings...** Philadelphia: ACM, 2004. p. 19-28.

## APÊNDICE A - HARDWARE: DESCRIÇÃO DETALHADA DOS DISPOSITIVOS QUE COMPÕEM OS MÓDULOS VEICULARES

### 1 ARDUÍNO

Arduíno é uma plataforma de prototipagem de código aberto baseado em *easy-to-use* de Hardware e Software. Placas Arduíno são capazes de ler entradas como a luz em um sensor, um dedo em um botão, ou uma mensagem de *Twitter* e transformá-los em uma saída para ativação de um motor, ligar um LED, publicar algo *on-line*. A programação é feita através do envio de um conjunto de instruções para o microcontrolador na placa. Para isso deve se usar o software (IDE) próprio do Arduíno (ARDUÍNO, 2016).

Arduíno surgiu no *Ivrea Interaction Design Institute* como uma ferramenta fácil para prototipagem rápida, destinado a estudantes sem experiência em eletrônica e programação. Assim que chegou a uma comunidade mais ampla, a placa Arduíno começou a mudar para se adaptar às novas necessidades e desafios. Diversificou sua oferta de placas de 8 bits simples para produtos com aplicações da Internet das coisas, *wearable*, impressão 3D e ambientes incorporados. Todas as placas Arduíno são completamente *open-source*, capacitando os usuários para construí-los de forma independente e, eventualmente, adaptá-los às suas necessidades específicas. O software também é *open-source* e está crescendo através das contribuições dos usuários em todo o mundo (ARDUÍNO, 2016).

Arduíno simplifica o processo de trabalhar com microcontroladores o que o torna vantajoso em relação aos demais sistemas seja para professores, estudantes e amadores. Segundo Arduíno (2016), algumas de suas vantagens são:

- ⑩ Custo - placas Arduíno tem custo relativamente mais baixo em comparação com outras plataformas de microcontroladores. Algumas versões custam menos de US \$ 50.
- ⑩ Multiplataforma - O Software Arduíno (IDE) é executado em sistemas operacionais Windows, Macintosh OSX e Linux. A maioria dos sistemas de microcontroladores são limitados ao Windows.
- ⑩ Ambiente de programação simples e claro - O Arduíno Software (IDE) é fácil de usar para iniciantes, mas suficientemente flexível para usuários avançados que desejarem maior desempenho.
- ⑩ *Open source* e software extensível - O software Arduíno é publicado como ferramentas de código aberto, disponível para a extensão por programadores experientes. A

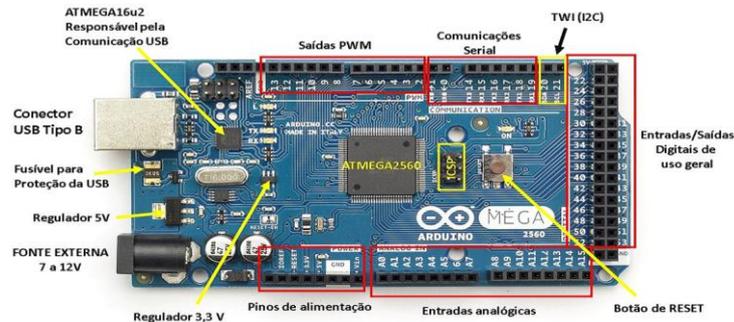
linguagem pode ser expandida através de bibliotecas C ++, e as pessoas que querem entender os detalhes técnicos podem fazer o salto do Arduino para a linguagem de programação C AVR no qual ele se baseia. Da mesma forma, pode se adicionar código AVR-C diretamente nos programas Arduino.

⑩ *Open source* e Hardware extensível - Os projetos das placas Arduino são publicados sob uma licença *Creative Commons*, para que projetistas de circuitos possam fazer a sua própria versão do módulo, estendendo-o e melhorando-o. Mesmo os usuários relativamente inexperientes podem construir a versão de placa de ensaio do módulo, a fim de entender como ele funciona.

## 1.2 Características

O Arduino Mega 2560 (Figura A-1), será a versão do Arduino adotada neste projeto, é uma placa de microcontrolador baseado no ATmega2560. Dispõe de 54 pinos digitais de entrada/saída (dos quais 15 podem ser usados como saídas PWM), 16 entradas analógicas, um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB, um conector de alimentação, um cabeçalho ICSP e um botão de *reset*. O Mega 2560 é uma atualização do Arduino Mega, que ele substitui (ARDUÍNO, 2017).

Figura A-1 - Arduino Mega 2560



Fonte: Google Images (2017).

O ATmega2560 possui 256 KB de memória flash para armazenamento de código (8 KB é usado para o carregador de inicialização), 8 KB de SRAM e 4 KB de EEPROM (ARDUÍNO, 2017).

Cada um dos 54 pinos digitais do Uno pode ser usado como uma entrada ou saída, usando *pinMode()*, *digitalWrite()*, e funções *digitalRead()*. Eles operam a 5 volts. Cada pino pode fornecer ou receber um máximo de 40 mA e tem um resistor pull-up interno

(desconectado por padrão) de 20-50 Kohms. Além disso, alguns pinos têm funções especializadas conforme Arduíno (2017):

- a) Serial: 0 (RX) e 1 (TX); Sérial 1: 19 (RX) e 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) e 16 (TX);
- b) Serial 3: 15 (RX) e 14 (TX). Usado para receber (RX) e transmitir (TX) dados em série TTL. Os pinos 0 e 1 também estão conectados aos pinos correspondentes do chip serial ATmega16U2 USB-to-TTL.
- c) Interrupções externas: 2 (interrupção 0), 3 (interrupção 1), 18 (interrupção 5), 19 (interrupção 4), 20 (interrupção 3) e 21 (interrupção 2). Esses pinos podem ser configurados para disparar uma interrupção em um nível baixo, uma borda ascendente ou descendente ou uma mudança de nível.
- d) PWM: pinos 2 a 13 e 44 a 46. Fornece saída PWM de 8 bits com a função `analogWrite ()`.
- e) SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Esses pinos suportam a comunicação SPI usando a biblioteca SPI.
- f) LED: 13. Há um *built-in* LED conectado ao pino digital 13.

O Mega 2560 tem 16 entradas analógicas, cada uma das quais com 10 bits de resolução (ou seja, de 1024 valores diferentes). Por padrão elas medem de 5 volts, embora seja possível mudar a extremidade superior da sua gama usando o pino AREF e a função `analogReference ()`. Além disso, alguns pinos têm funcionalidades especializadas conforme Arduíno (2017):

- ⑩ TWI: pin 20 ou SDA e 21 ou pino SCL. comunicação TWI suporte usando a biblioteca *Wire*.
- ⑩ AREF. tensão de referência para as entradas analógicas. Usado com `analogReference()`.
- ⑩ *Reset*. Reinício de operação e limpeza de erros.

### 1.3 Funcionamento

O Mega 2560 tem uma série de facilidades para se comunicar com um computador, outro Arduíno ou outros microcontroladores. O ATmega2560 fornece quatro interfaces UARTs de *hardware* para comunicação serial TTL (5V). Um ATmega16U2 nos canais de comunicação serial por USB aparecendo como uma porta virtual para o Software no

computador. O *firmware* 16U2 usa os *drivers* USB COM padrão, e não é necessário controlador externo. No entanto, no Windows, um arquivo .inf é necessário. O Software Arduíno inclui um monitor serial que permite que dados simples de texto sejam enviados de e para a placa Arduíno. Os LEDs RX e TX na placa piscam quando os dados estão sendo transmitidos através do chip USB. Uma biblioteca *SoftwareSerial* permite comunicação serial em qualquer um dos pinos digitais do Mega 2560. O ATmega2560 também suporta I2C (TWI) e comunicação SPI. O Software Arduíno inclui uma biblioteca *Wire* para simplificar o uso do barramento I2C. Para a comunicação SPI, usa-se a biblioteca SPI (ARDUÍNO, 2017).

O Arduíno Mega2560 pode ser alimentado através da conexão USB ou com uma fonte de alimentação externa selecionada automaticamente. Fonte de energia externa pode vir com um adaptador AC-CC ou a bateria. O adaptador pode ser ligado, ligando um plug 2,1 milímetros de centro positivo ao conector de alimentação da placa. Pontas de uma bateria podem ser inseridos nos pinos GND e Vin da placa. A placa pode operar com uma fonte externa de 6 a 20 volts. Se fornecido com menos de 7V, no entanto, o pino 5V pode fornecer menos de cinco volts e pode ficar instável. Se usar mais de 12V, o regulador de tensão pode superaquecer e danificar a placa. O intervalo recomendado é de 7 a 12 volts. Além disso possui ainda um pino 3V3 fornece alimentação de 3,3 volt gerado pelo regulador de tensão e corrente máxima de 50 mA. E um pino GND para terra (ARDUÍNO, 2017).

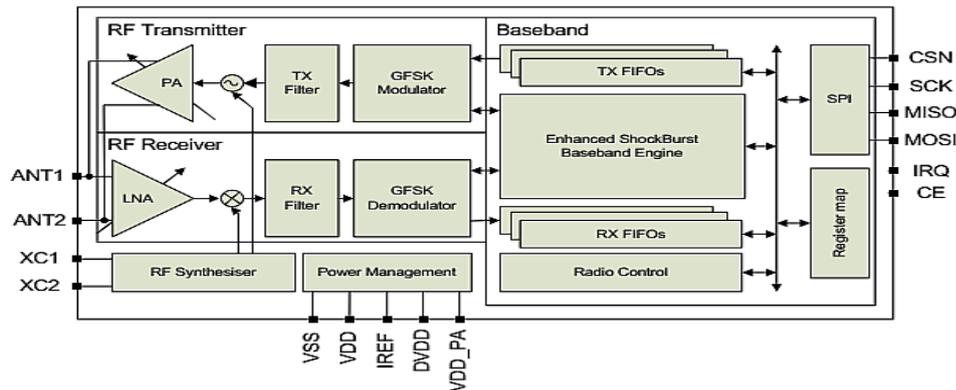
## **2 NRF24L01+ (Plus)**

O NRF24L01+ é um chip transceptor (transmissor/receptor) que opera na faixa de 2,4 GHz, com um protocolo de banda base embutido (*ShockBurstTM Enhanced*) projetado para aplicações de ultrabaixo consumo de energia (ULP). O NRF24L01+ está configurado e opera através de uma interface periférica serial (SPI) com o microcontrolador. Através desta interface o mapa de registro está disponível, onde todos os registros de configuração no NRF24L01+ estão acessíveis em qualquer modo de operação do chip. O protocolo *ShockBurstTM Enhanced* se baseia na comunicação de pacotes e suporta vários modos de operação do manual ao automático. Filas internas do tipo FIFO asseguram um fluxo regular dos dados entre o módulo e o microcontrolador do sistema. O protocolo *ShockBurstTM Enhanced* reduz o custo do sistema na manipulação de todas as operações da camada de enlace de alta velocidade (NORDIC, 2016).

O NRF24L01+ usa modulação GFSK e tem parâmetros configuráveis como canal de frequência, potência de saída e taxa de transmissão. A taxa de transmissão suportada é

configurável para até 2Mbps. A alta taxa transmissão combinado com dois modos de economia de energia faz com que o NRF24L01+ seja muito adequado para projetos que exigem baixíssimo consumo de energia (ULP). A Figura A-2 mostra o diagrama em blocos do módulo NRF24L01+ e a Tabela A-1 relaciona as funções dos pinos (NORDIC, 2016).

Figura A-2 - Diagrama em blocos do NRF24L01+



Fonte: Nordic (2016)

Conforme seu *datasheet*, o NRF24L01+ tem uma máquina de estado interno que controla as transições entre os diferentes modos de operação do chip. Esta máquina lê valores de registro que podem ser definidos pelo usuário ou por sinais internos, configurando o módulo em quatro principais modos de operação, modo RX, TX, espera e *power down* (NORDIC, 2016). Descritos a seguir.

Tabela A-1 - Função dos pinos NRF24L01+

Pinos	Nomes	Função	Descrição
1	CE	Entrada digital	Ativa o modo TX e RX
2	CSN	Entrada digital	Seleciona o chip SPI
3	SCK	Entrada digital	<i>Clock</i> SPI
4	MOSI	Entrada digital	Entrada dados SPI
5	MISO	Saída digital	Saída de dados SPI
6	IRQ	Saída digital	Interrupção
7	VDD	Alimentação	+1,9V - +3,9V DC
8	VSS	GND	Aterramento (0V)
9	XC2	Saída analógica	Cristal Oscilador Pin2
10	XC1	Entrada	Cristal Oscilador Pin1
11	VDD PA	Saída de energia	Fornece alimentação (1,8V) para o amplificador de
12	ANT1	RF	Interface 1 da Antena
13	ANT2	RF	Interface 2 da Antena
14	IREF	Entrada	Corrente de referência
15	DVDD	Saída de energia	Fornece alimentação

Fonte: Nordic (2016)

## 2.1 Modos de operação

O modo RX, é um modo ativo que se inicia quando no pino CE o NRF24L01+ lê um pulso em nível alto (1) e automaticamente o rádio passa a ser um receptor com mecanismo de detecção de portadora ativado. Quando um sinal de RF é detectado dentro do canal de frequência de recepção, o módulo desmodula os sinais do canal de RF e apresenta os dados desmodulados ao protocolo *ShockBurstTM*. Assim durante a recepção o *ShockBurstTM* constantemente procura por um endereço válido nos dados recebidos. Quando encontra um endereço válido, processa o resto do pacote e valida-o por CRC. Se é um pacote válido ele é transferido para o RX FIFO. O NRF24L01+ permanece no modo RX até que o microcontrolador configure-o para o modo de espera-I ou modo de *power down*, quando pino CE recebe nível baixo (0). Ou em outros modos dependendo das configurações do protocolo *ShockBurstTM Enhanced* (NORDIC, 2016).

O modo TX é também um modo ativo e é iniciado quando no pino CE o módulo lê um pulso em nível alto (1) durante 10 $\mu$ s, o NRF24L01+ então transmite o pacote que está na TX FIFO e permanece neste modo até que termine de transmitir o pacote atual. Durante a transmissão o protocolo *ShockBurstTM* monta o pacote e ajusta os relógios dos bits do pacote de dados para transmissão. Se o pino CE receber pulso em nível baixo (0) o NRF24L01+ retorna ao modo de espera-I. Se receber novamente nível alto durante 10 $\mu$ s a próxima ação é

determinada pelo estado da TX FIFO. Se não estiver vazia o NRF24L01+ permanece no modo de TX e transmite o pacote seguinte. Se estiver vazia o módulo entra em modo espera-II (NORDIC, 2016).

O NRF24L01+ possui dois modos de espera. O modo de espera-I é usado para minimizar o consumo médio atual com o oscilador de cristal ativo. Este modo é ativado quando o rádio retorna do modo TX ou RX, pino CE foi definido como baixo. No modo espera-II, *buffers* de *clock* extra estão ativos em relação ao modo de espera-I e muito mais corrente é usada em comparação com o modo de espera-I. Espera-II ocorre quando o pino CE recebe nível alto em modo TX com TX FIFO vazia. Se um novo pacote é enviado para o TX FIFO ele é transmitido. Os valores de registro são mantidas durante os modos de espera e o SPI pode ser ativado. E por fim no modo de *power down* o NRF24L01+ é desativado passando a ter um consumo de corrente mínima, todos os valores de registro disponíveis a partir do SPI são mantidos e o SPI pode ser ativado (NORDIC, 2016).

## 1.2 Transmissão e recepção

O NRF24L01+ tem taxa de transmissão que varia de 250 Kbps, 1 Mbps ou 2 Mbps. Transmitindo a 1 Mbps o rádio tem melhor sensibilidade na recepção em relação a 2Mbps. Alta taxa de transmissão significa menor consumo de corrente média e menor probabilidade de colisões no ar. O transmissor e o receptor devem ser programados com a mesma taxa de transmissão (NORDIC, 2016).

Os módulos NRF24L01+ operam na banda de frequência ISM, entre 2,400 e 2,4835 GHz, alcançando até 2,525 GHz. A resolução do ajuste de frequência do canal RF é de 1 MHz. O canal ocupa uma largura de banda de 1 MHz a 1 Mbps e 2 MHz a 2 Mbps. A 2 Mbps a largura de banda deve ser mais larga do que a resolução do ajuste de frequência do canal RF para garantir que os canais não se sobreponham. O transmissor e o receptor devem ser programados com a mesma frequência de canal RF. Possuem controle do amplificador de potência (PA) que é utilizado para ajustar a sua potência de saída no transmissor e do ganho no Amplificador de baixo ruído (LNA) no receptor NRF24L01+, o que faz com que seja possível reduzir o consumo de corrente no modo de RX em 0,8mA ao custo de redução de 1,5 dB na sensibilidade do receptor (NORDIC, 2016).

O protocolo *ShockBurst™* possui recursos avançados (versão *Enhanced*) de controle de transmissão e recepção automáticos o que permite a implementação de uma ligação de dados bidirecional confiável. Para uma troca de pacotes entre transceptores, um transceptor é configurado como receptor primário (PRX) e o outro como transmissor primário (PTX). A

troca de pacotes *ShockBurst™ Enhanced* é sempre iniciada por uma transmissão de pacotes a partir do PTX, a transação está completa quando o PTX recebeu um pacote de confirmação (ACK) do PRX. Caso PTX não receba a confirmação ele retransmite o pacote. O PRX pode anexar dados do usuário ao pacote ACK para estabelecer uma conexão de dados bidirecional confiável (NORDIC, 2016).

O *ShockBurst™ Enhanced* é altamente configurável sendo possível configurar parâmetros tais como o número máximo de retransmissões e o atraso de uma transmissão para a próxima retransmissão. Todo processamento automático é feito sem o envolvimento do microcontrolador. O pacote *ShockBurst™ Enhanced* contém um campo preâmbulo, campo de endereço, campo de controle de pacotes, campo de carga útil e um campo de CRC. Figura A-3 mostra o formato do pacote (NORDIC, 2016).

Figura A-3 - Um pacote *ShockBurst* melhorada com carga útil (0-32 bytes)



Fonte: Nordic (2016)

*Multiceiver* é um recurso utilizado no modo RX que contém um conjunto de 6 canais (tubos de dados paralelos) com endereços únicos. Estes tubos são canais lógicos no canal de RF físico. Cada tubo tem seu endereço físico no NRF24L01+. Um transceptor configurado como PRX pode receber então dados endereçados a seis tubos com diferentes configurações. Todos os endereços de tubos de dados são pesquisados simultaneamente. Mas apenas um tubo pode receber um pacote de cada vez. Todos os tubos podem executar a funcionalidade *ShockBurst™ Enhanced*. Para garantir que o pacote ACK do PRX seja transmitido para a PTX correto, o PRX converte o endereço do tubo de dados onde recebeu o pacote e usa-o como o endereço de TX. Nenhum outro canal de dados pode receber dados até que um pacote completo seja recebido por um tubo de dados (NORDIC, 2016).

O módulo NRF24L01+ com LNA+PA (Figura A-4) é um módulo baseado no NRF24L01+ da Nordic Semicondutores. Esta placa possui, circuito PA e LNA integrado, conector RPSMA polarizado inversamente e antena 2.4 GHz (2Dbi) que com taxa de transmissão a 250 Kbps permite um alcance maior do sinal de RF em relação às versões

anteriores, segundo o fabricante em campo aberto a distância pode alcançar entre 800 e 1000 metros. O conjunto de comandos é compatível com o NRF24L01+ original (NORDIC, 2016).

Características NRF24L01 LNA+PA descrita em Nordic (2016):

- a) Tensão: 3-3.6V (3.3V recomendado)
- b) Potência máxima de saída: 0dBm
- c) Modo de emissão atual (pico): 11,3 mA
- d) Modo de recepção atual (pico): 13,5 mA
- e) Modo de desligamento atual: 4.2uA
- f) Ganho da antena (pico): 2 dBi
- g) Alcance à taxa de 2MB (espaço aberto): 520m
- h) Alcance à taxa de 1 MB (espaço aberto): 750m
- i) Alcance à taxa de 250kb (espaço aberto): 1000m

Figura A-4 - Módulo NRF24L01+PA+LNA 2,4 GHZ



Fonte: Google Images (2017)

### 3 DISPLAY NOKIA 5110 (PCD 8544)

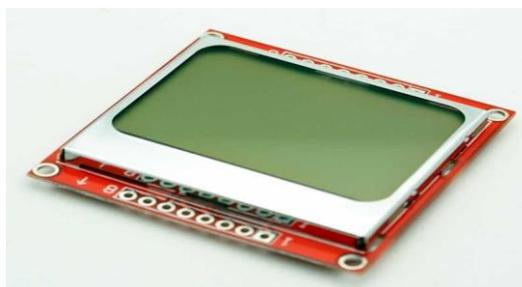
Nokia 5110 foi um celular lançado pela Nokia em 1998 e que se tornou bastante popular conforme descrito em Lima (2016):

Permitia a troca da tampa frontal por outras de cores diferentes, era de fácil utilização e tinha novas funcionalidades, como jogos e o recebimento de mensagens SMS. Além disso, o aparelho possuía um bom custo-benefício e uma bateria com duração de vários dias. A tela não era colorida, porém, tinha uma ótima resolução para época e deu vida ao clássico jogo *Snake* que fez sua primeira aparição justamente no modelo 5110. A Nokia vendeu milhões de unidades do aparelho, contudo com o passar do tempo ele foi substituído por lançamentos mais modernos.

Com a popularização do Arduino e suas diversas aplicações algumas fábricas fizeram adaptações nestes *displays*, que estavam em desuso, colocando-os em uma placa junto com o chip controlador PCD8544 da Philips para serem usados com o Arduino. Assim, esses *displays* possuem duas versões de placas, a primeira com placa azul que funciona em 5V e a segunda placa vermelha que funciona em 3.3V (LIMA, 2016).

O PCD8544 é um controlador CMOS LCD de baixa potência, projetado para controlar um visor gráfico de 48 linhas e 84 colunas. Todas as funções necessárias para a exibição são fornecidos num único chip, incluindo a geração de tensões de alimentação LCD e polarização (Bias), resultando em um mínimo de componentes externos e baixo consumo de energia. A comunicação do PCD8544 com os microcontroladores é feita através de uma interface serial bus (PHILIPS, 2016). A Figura A-5 mostra um *display* Nokia montado na versão com placa vermelha e controlador PCD8544, usada neste projeto.

Figura A-5 - Display Nokia 5110 - PCD8544

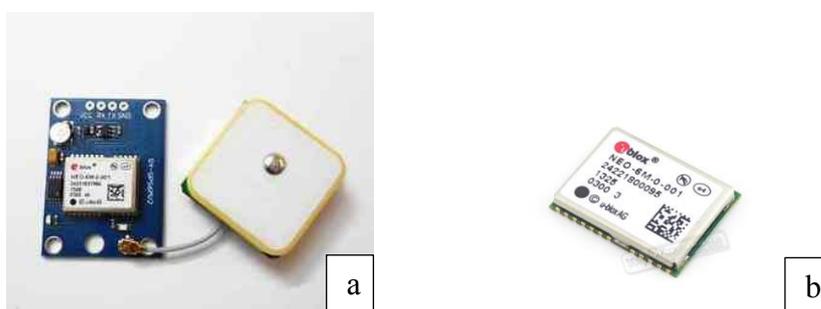


Fonte: Google Images (2016)

#### 4 GPS GY-NEO6MV2

Segundo Czernek et al. (2016), O módulo GPS GY-NEO6MV2 de fabricante desconhecido, foi desenvolvido com base no chip NEO-6M-0-001 da fabricante U-blox. A Figura A-6 mostra o módulo e o chip da U-blox. A série NEO-6 da U-blox é uma família de receptores GPS autônomos de alta performance, flexíveis, de baixo custo e oferecem numerosas opções de conectividade (U-BLOX AG, 2011).

Figura A-6 - a) Módulo GPS e antena, b) Chip controlador U-blox NEO-6M-0-001



Fonte: Google Images (2017).

#### 4.1 Características

As principais características do NEO-6M-0-001 podem ser vistas na Tabela A-2. Sua arquitetura compacta e opções de alimentação e memória tornam os módulos NEO-6 ideais para dispositivos móveis operados a bateria com restrições de custo e espaço muito rígidas (U-BLOX AG, 2011).

Tabela A-2 - Característica do U-blox NEO-6M-0-001

Característica	Descrição
50 canais	Recepção dos sinais do satélite
-161 dBm	Sensibilidade no Rastreamento e Navegação
27 s e 1s	Tempo para estabelecer a primeira conexão com o satélite no início a frio e a quente respectivamente
1 a 5 Hz	Taxa máxima de atualização de navegação
2,5 m	Precisão da posição horizontal
0,1 m/s	Precisão de velocidade
0,5 graus	Precisão em graus
50.000 m	Altitude máxima
500 m/s	Velocidade máxima
USB, UART, SPI e I2C	Interfaces de comunicação
NMEA 0183	Padrão das mensagens GPS

Fonte: Do Autor (2017).

Possui mecanismo de posicionamento com 50 canais que permite estabelecer uma primeira conexão com satélites em menos de 1 segundo (TTFF - *Time-To-First-Fix*). Design e tecnologia inovadores suprimem fontes de interferência e mitiga os efeitos *multipath*, dando aos receptores GPS NEO-6 um excelente desempenho de navegação mesmo nos ambientes mais desafiadores (U-BLOX AG, 2011).

#### 4.2 Funcionamento

Possui mecanismos de auxílio GPS (Assisted GPS - A-GPS) que memorizam as últimas informações fornecidas pelo satélite como posições, status, tempos e sinal de sincronização. O uso deste mecanismo diminui o tempo quando uma nova primeira conexão ocorrer e aumenta a sensibilidade na aquisição dos dados. Todos os chips NEO-6 possuem serviços A-GPS denominados AssitNow On-line e Off-line, este último necessita de memória externa, que está presente no módulo GY-NEO6MV2 além de bateria. O AssitNow Autonomous fornece funcionalidade de auxílio GPS sem a necessidade de um host ou conexão de rede externa. Com base em dados de satélite armazenados pelo receptor GPS em transmissão anterior, o AssitNow Autonomous gera automaticamente dados orbitais precisos de satélite para usar em futuras correções de posição GPS. Os dados autônomos do AssitNow são confiáveis por até 3 dias após a captura inicial (U-BLOX AG, 2011).

Os chips NEO-6 possuem uma solução exclusiva U-blox denominada Automotive Dead Reckoning (ADR) que combina dados digitais do GPS e sensores, para melhorar a precisão da posição durante períodos em que não há sinal de GPS ou este é degradado. Os receptores U-blox suportam também diferentes modos de energia. Esses modos representam estratégias de como controlar os mecanismos de aquisição e rastreamento para obter o melhor desempenho possível com menor consumo de energia. Durante um início a frio, um receptor no modo de desempenho máximo executa continuamente o mecanismo de aquisição para procurar todos os satélites visíveis. No modo econômico a diferença é que o mecanismo de aquisição é desligado quando já tiver sido calculada uma posição e um número de satélites suficiente encontrado (U-BLOX AG, 2011).

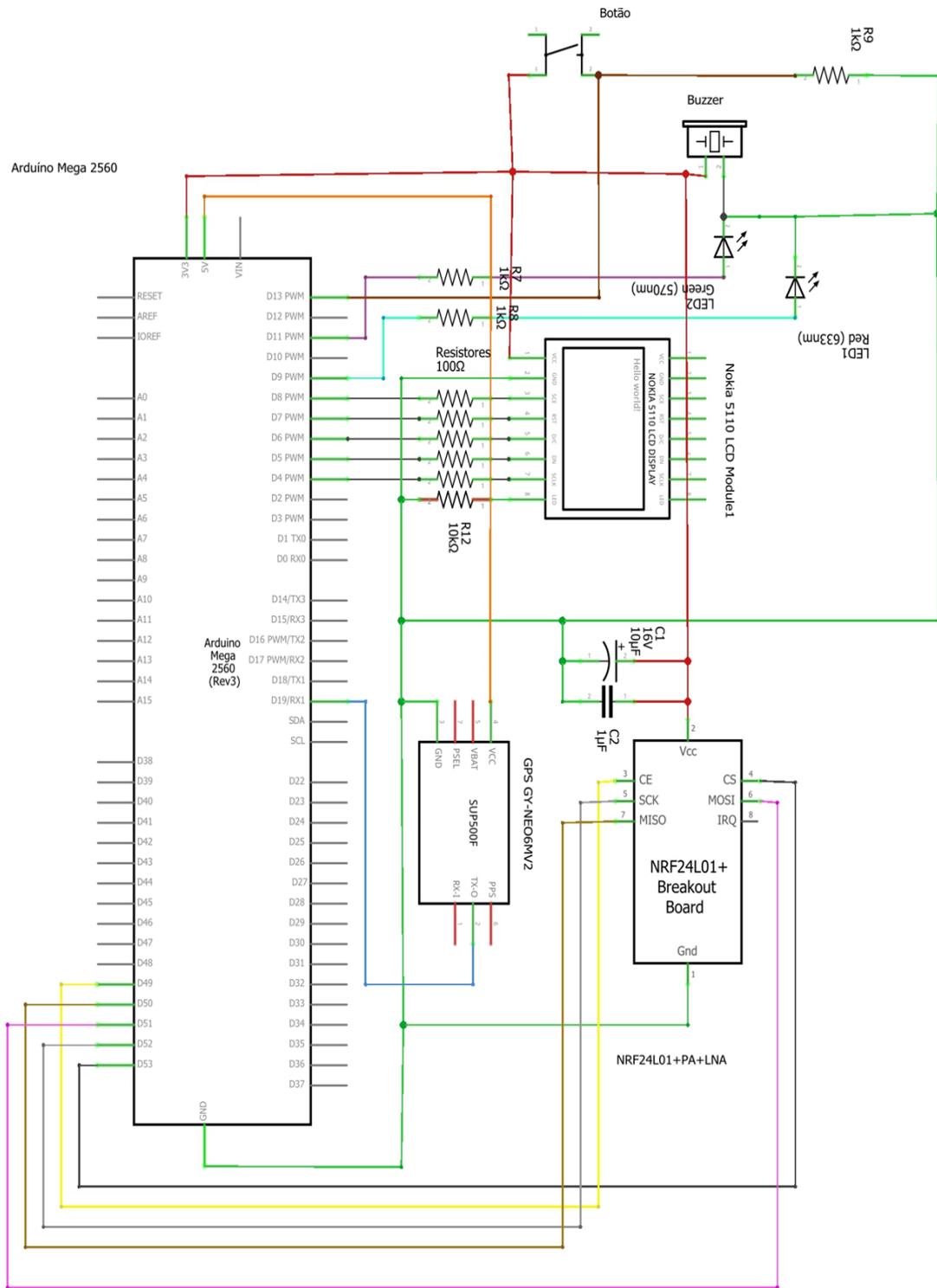
As informações fornecidas pelo GPS estão de acordo com o protocolo padrão NMEA 0183 (U-BLOX AG, 2011). Esta padronização segundo GTA (2017b) normaliza diversas informações importantes utilizadas por aparelhos GPS. O formato padronizado das informações, exemplificado e descrito em GTA (2017b) estão reproduzidos abaixo:

Exemplo de mensagem NMEA (National Marine Electronics Association):\$GPRMC,211232,A,2230.9860,S,04405.9376,W,2.3,24.3,190408,21.2,W,A\*0C<CR><LF>

Onde:

- a) GP - é a sigla da marca Garmin©;
- b) RMC - Informação mínima de navegação recomendada - tipo C;
- c) 211232 - hora global;
- d) A - significa que a informação é válida. Caso o GPS não esteja reconhecendo nenhum satélite, é transmitido um V;
- e) 2230.9860 - 22° 30.986' de latitude;
- f) S - hemisfério Sul;
- g) 04405.9376 - 44° 5.9376' de longitude;
- h) W - lado Oeste;
- i) 2.3 - velocidade de 2.3 nós sobre a superfície;
- j) 24.3 - ângulo onde se encontra o destino programado;
- k) 190408 - data;
- l) 21.2 - graus de variação magnética;
- m) W - variação magnética para o lado Oeste;
- n) A\*0C - código de correção de erros

## APÊNDICE B - ESQUEMÁTICO DO HARDWARE DO MÓDULO VEICULAR



## APÊNDICE C - SOFTWARE: ALGORITMO PARA ALERTA DE ULTRAPASSAGEM E CÁLCULO DO RISCO DE COLISÃO FRONTAL

```

1.  /*=====*/
2.
3.  // Incluindo bibliotecas
4.  #include <Adafruit_GPS.h>
5.  #include <SoftwareSerial.h>
6.  #include <PCD8544.h>
7.  #include <nRF24L01.h>
8.  #include <RF24.h>
9.  #include <SPI.h>
10. #include <avr/wdt.h>
11.
12. //-----DECLARACAO DE VARIAVEIS E CONFIGURACOES-----//
13.
14. static PCD8544 lcd;
15.
16. // Configurando o radio NRF24L01
17. RF24 radio(49, 47);
18. const uint64_t PIPE_COMANDO = 0xE8E8F0F0E1LL;
19. const uint64_t PIPE_RESPOSTA = 0xE8E8F0F0E2LL;
20.
21. // configurando o GPS
22. #define mySerial Serial1
23. Adafruit_GPS GPS(&mySerial);
24. #define GPSECHO true
25.
26. //Declaracao de demais variaveis e constantes
27. int TIPO_MSG = 11;
28. const int RESPOSTA = 13;
29. double msg[8];
30. int CMD, x = 0, count = 0;
31. const byte pinoChave = 14;
32. boolean temMensagem;
33. boolean usingInterrupt = false;
34. void useInterrupt(boolean);
35. double S = 0, SU = 0, Distancia = 0, lat1 = 0, long1 = 0, lat2 = 0, long2 = 0;
36. long microsec = 0;
37. float BotaoPressionado = 0;
38. int Buzzer = 10;
39. int LRED = 9;
40. int LGREEN = 11;
41. double TTE = 0, TTU = 0;
42. double Vi = 0, Vf = 0, Aatual = 0, A1m = 0;
43. int NumSeqResp11 = 0, NumSeqResp12 = 0, NumSeqPerg = 0;
44. uint32_t TempoRec = 0, TempoEnv = 0, Latencia = 0, TempoProcess = 0, timer1 = 0;
45. uint32_t timer = millis();
46.
47. //-----FUNCOES-----//
48.
49. //*****Funcao que calcula o tempo para encontro de VA com VC
50. double CheckColision (double Aa, double Ac, double Sa, double Sc, double Va, double Vc) {
51.     double TE = 0;
52.
53.     //calculo do encontro dos veiculos
54.     Va = Va / 3.6; Vc = Vc / 3.6;
55.     //Sa += 2.5; Sc += 2.5;
56.     //Sa += 6; Sc += 6;

```

```

57.     Sc = Sc - (Va + Vc) * 2;
58.
59.     if ((int(Aa) == 0) && (int(Ac) == 0)) {
60.         TE = (Sc - Sa) / (Va + Vc);
61.         S = Sa + Va * TE;
62.         return TE;
63.
64.     } else {
65.         Aa = Aa / 2; Ac = Ac / 2;
66.         TE = (-(Va + Vc) + sqrt(pow((Va + Vc), 2) - 4 * ((Aa + Ac) * (Sa - Sc)))) / (2 * (Aa + Ac));
67.         S = Sa + Va * TE + Aa * pow(TE, 2);
68.         return TE;
69.     }
70. }
71.
72. //*****Funcao que calcula o tempo de ultrapassagem de VA por VB*****
73. double Ultrapassagem (double Aa, double Ab, double Sa, double Sb, double Va, double Vb) {
74.     double T1 = 0, T2 = 0, TU = 0 ;
75.
76.     //calculo do tempo de ultrapassagem do veiculo C
77.     Va = Va / 3.6; Vb = Vb / 3.6;
78.     //Sa += 6; Sc += 6;
79.     //Sa += 2.5; Sc += 2.5;
80.
81.     if ((int(Aa) == 0) && (int(Ab) == 0)) {
82.
83.         TU = (Sb + Sa) / (Va - Vb);
84.         SU = Sa + Va * TU;
85.         return TU ;
86.
87.     } else {
88.         Aa = Aa / 2; Ab = Ab / 2;
89.         T1 = (-(Va - Vb) + sqrt(pow((Va - Vb), 2) - 4 * ((Aa - Ab) * (Sa - Sb)))) / (2 * (Aa - Ab));
90.         T2 = (-(Va - Vb) - sqrt(pow((Va - Vb), 2) - 4 * ((Aa - Ab) * (Sa - Sb)))) / (2 * (Aa - Ab));
91.
92.         if ((T1 > 0) && (T2 > 0))
93.             if (T1 > T2) {
94.                 SU = Sa + Va * T1 + Aa * pow(T1, 2);
95.                 return T1;
96.             } else {
97.                 SU = Sa + Va * T2 + Aa * pow(T2, 2);
98.                 return T2;
99.             } else if (T1 > 0) {
100.                SU = Sa + Va * T1 + Aa * pow(T1, 2);
101.                return T1;
102.            } else if (T2 > 0) {
103.                SU = Sa + Va * T2 + Aa * pow(T2, 2);
104.                return T2;
105.            }
106.        }
107.    }
108.
109.    // *****Funcao que faz a conversao do padrao NMEA para decimal*****
110.    double ConvertDecimal (double X) {
111.        double Decimal, Min;
112.        int Graus;
113.        Graus = (int)X / 100;
114.        Min = X - Graus * 100;
115.        Decimal = Graus + Min / 60;
116.        return Decimal;

```

```

117.     }
118.
119.     // *****Funcao que calcula a distancia entre dois veiculos *****
120.     double distanciaPontosGPS(double p1LA, double p1LO, double p2LA, double p2LO) {
121.         float r = 6371.0;
122.
123.         p1LA = p1LA * PI / 180.0;
124.         p1LO = p1LO * PI / 180.0;
125.         p2LA = p2LA * PI / 180.0;
126.         p2LO = p2LO * PI / 180.0;
127.
128.         double dLat = p2LA - p1LA;
129.         double dLong = p2LO - p1LO;
130.
131.         double a = sin(dLat / 2) * sin(dLat / 2) + cos(p1LA) * cos(p2LA) * sin(dLong / 2) * sin(dLong / 2);
132.         double c = 2 * atan2(sqrt(a), sqrt(1 - a));
133.
134.         return round(r * c * 1000);
135.     }
136.
137.     // *****Funcao que envia mensagem ao receptor*****
138.     void enviaMsg() {
139.         radio.stopListening();
140.         if (int(msg[0]) == RESPOSTA) {
141.             msg[7] = millis() - TempoRec;
142.             radio.write(msg, sizeof(msg));
143.             TempoProcess = int(msg[7]);
144.         } else {
145.             radio.write(msg, sizeof(msg));
146.             TempoEnv = millis();
147.             TempoProcess = 0;
148.         }
149.         radio.startListening();
150.     }
151.
152.     //*****Funcao que pergunta se ha veiculo na pista oposta e aguarda confirmacao*****
153.     void Pergunta(int TipoDeMsg) {
154.         int R = 0, A = 0, B = 0;
155.         double vel2 = 0, vel1 = 0, vel3 = 0, Angulo = 0, A2m = 0;
156.         vel1 = GPS.speed * 1.852;
157.         msg[0] = TipoDeMsg;
158.         msg[1] = NumSeqPerg;
159.         msg[2] = GPS.latitude;
160.         msg[3] = GPS.longitude;
161.         msg[4] = vel1;
162.         msg[5] = GPS.angle;
163.         msg[6] = Aatual;
164.         enviaMsg();
165.
166.         // Aguarda por respostas de VB ou VC
167.         for (int i = 0; i < 500; i++) {
168.             temMensagem = radio.available();
169.             if (temMensagem) {
170.                 TempoRec = millis(); // TempoRec = GPS.milliseconds;
171.                 break;
172.             }
173.             timer1 = millis();
174.             while (millis() - timer1 <= 2);
175.             //delay(4);
176.         }

```

```

177.
178. // registrando envio dos dados
179. Serial.println("\n \n *****Pacote enviado: TX *****");
180. Serial.print("Hora: ") ;
181. Serial.print(GPS.hour - 3, DEC);
182. Serial.print(':');
183. Serial.print(GPS.minute, DEC);
184. Serial.print(':');
185. Serial.println(GPS.seconds, DEC);
186. Serial.print("Comando: ");
187. Serial.println(msg[0]);
188. Serial.print("Sequencia: ");
189. Serial.println(msg[1]);
190. Serial.print("Latitude: ");
191. Serial.println(ConvertDecimal(msg[2]), 5);
192. Serial.print("Longitude: ");
193. Serial.println(ConvertDecimal(msg[3]), 5);
194. Serial.print("Velocidade: ");
195. Serial.println(msg[4]);
196. Serial.print("Angulo: ");
197. Serial.println(msg[5]);
198. Serial.print("Aceleracao: ");
199. Serial.println(msg[6]);
200. Serial.print("Tempo do envio: ");
201. Serial.println(TempoEnv);
202. Serial.print("*****\n \n ");
203.
204. // Verifica se chegou a confirmacao de que ha veiculo na pista oposta
205. if (temMensagem) {
206.   boolean concluido = false;
207.   while (!concluido) {
208.     concluido = radio.read(msg, sizeof(msg));
209.   }
210.   TempoProcess = int(msg[7]);
211.   Latencia = (TempoRec - TempoEnv - TempoProcess) / 2;
212.
213.   lat1 = GPS.latitude;
214.   long1 = GPS.longitude;
215.   lat2 = msg[2];
216.   long2 = msg[3];
217.   vel2 = msg[4];
218.   Angulo = msg[5];
219.   A2m = msg[6];
220.
221.   // ##### Inicio do calculo da distancia e da previsao de colisao #####
222.   lat1 = ConvertDecimal(lat1);
223.   long1 = ConvertDecimal(long1);
224.   lat2 = ConvertDecimal(lat2);
225.   long2 = ConvertDecimal(long2);
226.
227.   Distancia = distanciaPontosGPS(lat1, long1, lat2, long2);
228.
229.   CMD = int(msg[0]);
230.   switch (CMD) {
231.     case RESPOSTA:
232.       NumSeqPerg = 0;
233.
234.       // verifica se os veiculos estao no mesmo sentido ou em sentidos opostos
235.       A = GPS.angle;
236.       B = Angulo;

```

```

237.     R = A - B;
238.     if (R < 0) {
239.         R = -R;
240.     }
241.     if ((R > 165) && (R < 195)) {
242.         vel1 = GPS.speed * 1.852;
243.         TTE = CheckColision(Aatual, A2m, 0, Distancia, vel1, vel2);
244.         digitalWrite(Buzzer, HIGH);
245.
246.         //Mensagens no LCD
247.         lcd.clear();
248.         lcd.setCursor(0, 0);
249.         lcd.print(" Veiculo na contramao se aproxima");
250.         lcd.setCursor(0, 3);
251.         lcd.print("A: ");
252.         lcd.print(Distancia);
253.         lcd.print(" m ");
254.         digitalWrite(Buzzer, HIGH);
255.         for (int i = 0; i < 100; i++) delay (1);
256.         digitalWrite(Buzzer, LOW);
257.         for (int i = 0; i < 100; i++) delay (1);
258.         digitalWrite(Buzzer, HIGH);
259.         for (int i = 0; i < 100; i++) delay (1);
260.         digitalWrite(Buzzer, LOW);
261.         TIPO_MSG = 11;
262.
263.     } else if ((R >= 0) && (R < 15)) {
264.         vel1 = GPS.speed * 1.852;
265.         TTU = Ultrapassagem(Aatual, A2m, 0, Distancia, vel1, vel3);
266.         lcd.clear();
267.         lcd.setCursor(0, 0);
268.         lcd.print("Detectando veiculo na contramao");
269.         digitalWrite(Buzzer, HIGH);
270.         for (int i = 0; i < 200; i++) delay(1);
271.         digitalWrite(Buzzer, LOW);
272.         TIPO_MSG = 12;
273.     }
274.
275.     Serial.println("\n \n *****Pacote recebido: TX *****");
276.     Serial.print("Hora: ");
277.     Serial.print(GPS.hour - 3, DEC);
278.     Serial.print(":");
279.     Serial.print(GPS.minute, DEC);
280.     Serial.print(":");
281.     Serial.println(GPS.seconds, DEC);
282.     Serial.print("Comando: ");
283.     Serial.println(msg[0]);
284.     Serial.print("Sequencia: ");
285.     Serial.println(msg[1]);
286.     Serial.print("Latitude: ");
287.     Serial.println(lat2, 5);
288.     Serial.print("Longitude: ");
289.     Serial.println(long2, 5);
290.     Serial.print("Velocidade: ");
291.     Serial.println(msg[4]);
292.     Serial.print("Angulo: ");
293.     Serial.println(msg[5]);
294.     Serial.print("Aceleracao: ");
295.     Serial.println(msg[6]);
296.     Serial.print("Tempo recepcao: ");

```

```

297. Serial.println(TempoRec);
298. Serial.print("Tempo processamento: ");
299. Serial.println(TempoProcess);
300. Serial.print("Latencia: ");
301. Serial.println(Latencia);
302. Serial.print("Distancia: ");
303. Serial.println(Distancia);
304. Serial.print("TTE: ");
305. Serial.println(TTE);
306. Serial.print("TTU: ");
307. Serial.println(TTU);
308. Serial.print("Dist. Ultrapassagem: ");
309. Serial.println(SU);
310. Serial.print("Dist. Encontro: ");
311. Serial.println(S);
312. Serial.print("*****\n\n");
313.
314.   if (( TTU == 0) || ( TTE == 0)) {
315.       break;
316.   }
317.   timer1 = millis();
318.   while (millis() - timer1 < 1000);
319.   // calculo da probabilidade de colisao
320.   if ((TTE-TTU)<=1) {
321.
322.       // Alerta ao motorista deste veiculo do risco de colisao
323.       lcd.clear();
324.       lcd.setCursor(0, 0);
325.       lcd.print("EVITE ULTRAPASSAGEM!!! RISCO DE COLISAO");
326.       Serial.print("\n\n EVITE ULTRAPASSAGEM!!! RISCO DE COLISAO\n\n");
327.
328.       // envia alerta de colisao para os outros veiculos
329.       TIPO_MSG = 15;
330.       msg[0] = TIPO_MSG;
331.       msg[1] = NumSeqPerg;
332.       msg[2] = GPS.latitude;
333.       msg[3] = GPS.longitude;
334.       msg[4] = GPS.speed * 1.852;
335.       msg[5] = GPS.angle;
336.       msg[6] = Aactual;
337.       enviaMsg();
338.       TTU = 0; TTE = 0;
339.       TIPO_MSG = 11;
340.       //wdt_enable(WDTO_1S);
341.       timer1 = millis();
342.       while (millis() - timer1 < 1000) digitalWrite(Buzzer, HIGH);
343.       digitalWrite(Buzzer, LOW);
344.       timer = millis();
345.   } else {
346.       lcd.clear();
347.       lcd.setCursor(0, 0);
348.       lcd.print("NÃO DETECTADO RISCO DE COLISÃO");
349.       lcd.setCursor(0, 3);
350.       lcd.print("RECALCULANDO");
351.       digitalWrite(LGREEN, HIGH);
352.       TTU = 0; TTE = 0;
353.       TIPO_MSG = 11;
354.   }
355. }
356. // ##### Fim do calculo da distancia e da previsao de colisao TX #####//

```

```

357.
358.     break;
359.
360.     default:
361.         lcd.clear();
362.         lcd.setCursor(0, 0);
363.         lcd.print("Recebi resposta desconhecida ou impropria:");
364.     }
365. } else {
366.     timer = millis();
367.     NumSeqPerg++;
368.     digitalWrite(Buzzer, LOW);
369. }
370.
371. //Se forem enviadas tres perguntas verifica se foi calculado o tempo de ultrapassagem senão calcula o
de colisão
372. if (NumSeqPerg == 3) {
373.     NumSeqPerg = 0;
374.     if ((TTE == 0) && (TTU != 0)) {
375.         //Mensagem LCD
376.         lcd.clear();
377.         lcd.setCursor(0, 0);
378.         lcd.print("Nao detectado veiculo na contramao");
379.         lcd.setCursor(0, 4);
380.         lcd.print("RECALCULANDO");
381.         digitalWrite(LGREEN, HIGH);
382.         wdt_enable(WDTO_1S);
383.         while (1);
384.     } else {
385.         if (TIPO_MSG == 12) {
386.             TIPO_MSG = 11;
387.         } else {
388.             TIPO_MSG = 12;
389.             //timer = millis();
390.         }
391.     }
392. }
393. }
394.
395. //*****Funcao de recepcao fica aguardando perguntas*****
396. void responde() {
397.
398.     int A = 0, B = 0, R = 0;
399.     if (radio.available()) {
400.         TempoRec = millis();
401.         boolean concluido = false;
402.         while (!concluido) {
403.             concluido = radio.read(msg, sizeof(msg));
404.         }
405.
406.         // Inicio do calculo da distancia//
407.         lat2 = msg[2];
408.         long2 = msg[3];
409.         lat1 = GPS.latitude;
410.         long1 = GPS.longitude;
411.
412.         lat1 = ConvertDecimal(lat1);
413.         long1 = ConvertDecimal(long1);
414.         lat2 = ConvertDecimal(lat2);
415.         long2 = ConvertDecimal(long2);

```

```

416.
417. Distancia = distanciaPontosGPS(lat1, long1, lat2, long2);
418.
419. // Registrando a recepcao para avaliacao
420. Serial.println("\n \n *****Pacote recebido: RX *****");
421. Serial.print("Hora: ");
422. Serial.print(GPS.hour - 3, DEC);
423. Serial.print(':');
424. Serial.print(GPS.minute, DEC);
425. Serial.print(':');
426. Serial.println(GPS.seconds, DEC);
427. Serial.print("Comando: ");
428. Serial.println(msg[0]);
429. Serial.print("Sequencia: ");
430. Serial.println(msg[1]);
431. Serial.print("Latitude: ");
432. Serial.println(lat2, 5);
433. Serial.print("Longitude: ");
434. Serial.println(long2, 5);
435. Serial.print("Velocidade: ");
436. Serial.println(msg[4]);
437. Serial.print("Angulo: ");
438. Serial.println(msg[5]);
439. Serial.print("Aceleracao: ");
440. Serial.println(msg[6]);
441. Serial.print("Tempo recepcao: ");
442. Serial.println(TempoRec);
443. Serial.print("Distancia: ");
444. Serial.println(Distancia);
445. Serial.print("*****\n \n
");
446.
447. CMD = int(msg[0]);
448. switch (CMD) {
449.     case 11: // Veiculo atras solicita ultrapassagem
450.         B = msg[5];
451.         A = GPS.angle;
452.
453.         // se a diferenca entre os angulos for igual ou proxima de zero os veiculos estao no mesmo sentido
454.         R = A - B;
455.         if (R < 0) R = -R;
456.         if ((R >= 0) && (R < 15)) {
457.
458.             // enviando dados deste veiculo para o outro
459.             msg[0] = RESPOSTA;
460.             msg[1] = NumSeqResp11;
461.             msg[2] = GPS.latitude;
462.             msg[3] = GPS.longitude;
463.             msg[4] = GPS.speed * 1.852;
464.             msg[5] = GPS.angle;
465.             msg[6] = Aatual;
466.             enviaMsg();
467.
468.             //Mensagem LCD
469.             lcd.clear();
470.             lcd.setCursor(0, 0);
471.             lcd.print("ATENCAO!!!");
472.             lcd.setCursor(0, 1);
473.             lcd.print("Reduza a velocidade");
474.             lcd.setCursor(0, 3);

```

```

475.     lcd.print("Veiculo solicita ultrapassagem");
476.     digitalWrite(LRED, HIGH);
477.     digitalWrite(Buzzer, HIGH);
478.     NumSeqResp11++;
479.
480.     // Registrando o envio para avaliacao
481.     Serial.println("\n \n *****Pacote enviado: RX *****");
482.     Serial.print("Hora: ");
483.     Serial.print(GPS.hour - 3, DEC);
484.     Serial.print(':');
485.     Serial.print(GPS.minute, DEC);
486.     Serial.print(':');
487.     Serial.println(GPS.seconds, DEC);
488.     Serial.print("Comando: ");
489.     Serial.println(msg[0]);
490.     Serial.print("Sequencia: ");
491.     Serial.println(msg[1]);
492.     Serial.print("Latitude: ");
493.     Serial.println(ConvertDecimal(msg[2], 5));
494.     Serial.print("Longitude: ");
495.     Serial.println(ConvertDecimal(msg[3], 5));
496.     Serial.print("Velocidade: ");
497.     Serial.println(msg[4]);
498.     Serial.print("Angulo: ");
499.     Serial.println(msg[5]);
500.     Serial.print("Aceleracao: ");
501.     Serial.println(msg[6]);
502.     Serial.print("Tempo de processamento: ");
503.     Serial.println(TempoProcess);
504.     Serial.print("*****\n
\n ");
505.     }
506.     break;
507.
508.     case 12:           // Veiculo em ultrapassagem verifica se ha veiculo na contramao
509.         B = msg[5];
510.         A = GPS.angle;
511.
512.         // se a diferenca entre os angulos NAO for igual ou proxima de zero os veiculos estao em sentido
diferentes
513.         R = A - B;
514.         if (R < 0) R = -R;
515.         if ((R > 165) && (R < 195)) {
516.
517.             // enviando dados deste veiculo para o outro
518.             msg[0] = RESPOSTA;
519.             msg[1] = NumSeqResp12;
520.             msg[2] = GPS.latitude;
521.             msg[3] = GPS.longitude;
522.             msg[4] = GPS.speed * 1.852;
523.             msg[5] = GPS.angle;
524.             msg[6] = Aatual;
525.             enviaMsg();
526.
527.             //Mensagem LCD
528.             lcd.clear();
529.             lcd.setCursor(0, 0);
530.             lcd.print("ATENCAO!!!");
531.             lcd.setCursor(0, 1);
532.             lcd.print("Reduza a velocidade");

```

```

533.     lcd.setCursor(0, 3);
534.     lcd.print("Veiculo em ultrapassagem");
535.     lcd.setCursor(0, 5);
536.     lcd.print("A: ");
537.     lcd.print(Distancia);
538.     lcd.print(" m ");
539.     digitalWrite(LRED, HIGH);
540.     digitalWrite(Buzzer, HIGH);
541.     NumSeqResp12++;
542.
543.     // Registrando o envio para avaliacao
544.     Serial.println("\n \n *****Pacote enviado: RX *****");
545.     Serial.print("Hora: ");
546.     Serial.print(GPS.hour - 3, DEC);
547.     Serial.print(':');
548.     Serial.print(GPS.minute, DEC);
549.     Serial.print(':');
550.     Serial.println(GPS.seconds, DEC);
551.     Serial.print("Comando: ");
552.     Serial.println(msg[0]);
553.     Serial.print("Sequencia: ");
554.     Serial.println(msg[1]);
555.     Serial.print("Latitude: ");
556.     Serial.println(ConvertDecimal(msg[2], 5));
557.     Serial.print("Longitude: ");
558.     Serial.println(ConvertDecimal(msg[3], 5));
559.     Serial.print("Velocidade: ");
560.     Serial.println(msg[4]);
561.     Serial.print("Angulo: ");
562.     Serial.println(msg[5]);
563.     Serial.print("Aceleracao: ");
564.     Serial.println(msg[6]);
565.     Serial.print("Tempo de processamento: ");
566.     Serial.println(TempoProcess);
567.     Serial.print("*****\n
\n ");
568.     }
569.     break;
570.
571.     case 15:           // mensagem de risco de colisao
572.         //Mensagem LCD
573.         lcd.clear();
574.         lcd.setCursor(0, 0);
575.         lcd.print("ATENCAO!!!");
576.         lcd.setCursor(0, 1);
577.         lcd.print("REDUZA A VELOCIDADE");
578.         lcd.setCursor(0, 3);
579.         lcd.print("RISCO DE COLISÃO");
580.         lcd.setCursor(0, 5);
581.         lcd.print("A: ");
582.         lcd.print(Distancia);
583.         lcd.print(" m ");
584.         timer = millis();
585.
586.         //Aciona Buzzer veiculo detectado
587.         digitalWrite(LRED, HIGH);
588.         digitalWrite(Buzzer, HIGH);
589.         timer = millis(); // reset the timer
590.         NumSeqResp12++;
591.         break;

```

```

592.
593.     case 13:
594.         break;
595.
596.     default:
597.         lcd.clear();
598.         lcd.setCursor(0, 1);
599.         lcd.print("Recebi comando desconhecido ou improprio:");
600.         lcd.print(msg[0]);
601.     }
602. } else {           // se nao houver mensagens recebidas o transito esta livre
603.     lcd.clear();
604.     lcd.setCursor(0, 0);
605.     lcd.print("Transito Livre");
606. }
607. }
608.
609. //-----FIM DAS FUNCOES E INICIO DAS CONFIGURAÇÕES-----//
610.
611. void setup() {
612.     wdt_disable();
613.     // Inicializando o display
614.     lcd.begin(84, 48);
615.     lcd.clear();
616.
617.     // Configurando os pinos de saida
618.     pinMode(LRED, OUTPUT);
619.     pinMode(LGREEN, OUTPUT);
620.     pinMode(pinoChave, INPUT_PULLUP);
621.     pinMode(Buzzer, OUTPUT);
622.     pinMode(53, OUTPUT);
623.
624.     // Inicializando o radio NRF24L01
625.     radio.begin();
626.     radio.openWritingPipe(PIPE_COMANDO);
627.     radio.openReadingPipe(1, PIPE_RESPOSTA);
628.     //radio.setDataRate(RF24_250KBPS);
629.     //radio.setPALevel(RF24_PA_MAX);
630.     radio.setChannel(10);
631.     //radio.setAutoAck(0);
632.     radio.setRetries(5, 5);
633.     //radio.setPayloadSize(28);
634.     radio.setCRCLength(RF24_CRC_8);
635.     //radio.disableCRC();
636.     //radio.flush_tx();
637.     radio.startListening();
638.
639.     // inicializando o GPS
640.     Serial.begin(9600);
641.     Serial.println("Programa WCOM_19");
642.     Serial.println(radio.getDataRate());
643.     Serial.println(radio.getPALevel());
644.     GPS.begin(9600);
645.     mySerial.begin(9600);
646.     Serial2.begin(9600);
647.     GPS.sendCommand(PMTK_SET_NMEA_OUTPUT_RMCGGA);
648.     GPS.sendCommand(PMTK_SET_NMEA_UPDATE_5HZ);
649.     GPS.sendCommand(PGCMD_ANTENNA);
650.
651.     // Configurando o GPS de acordo com o processador

```

```

652.  #ifndef __arm__
653.    usingInterrupt = false;
654.  #else
655.    useInterrupt(true);
656.  #endif
657.    timer1 = millis();
658.    while (millis() - timer1 <= 4);
659.    mySerial.println(PMTK_Q_RELEASE);
660.  }
661.
662.  #ifndef __AVR__
663.
664.  SIGNAL(TIMER0_COMPA_vect) {
665.    char c = GPS.read();
666.
667.    #ifdef UDR0
668.    if (GPSECHO)
669.    if (c) UDR0 = c;
670.
671.    #endif
672.  }
673.
674.  void useInterrupt(boolean v) {
675.    if (v) {
676.
677.      OCR0A = 0xAF;
678.      TIMSK0 |= _BV(OCIE0A);
679.      usingInterrupt = true;
680.    }
681.    else {
682.
683.      TIMSK0 &= ~_BV(OCIE0A);
684.      usingInterrupt = false;
685.    }
686.  }
687.  #endif // #ifndef __AVR__
688.
689.  //-----INICIO DO ROGRAMA PRINCIPAL-----//
690.
691.  void loop() {
692.
693.    //*****EXECUCAO DO GPS*****//
694.    if (! usingInterrupt) {
695.      char c = GPS.read();
696.      if (GPSECHO)
697.        if (c) Serial2.print(c);
698.    }
699.    if (GPS.newNMEAreceived()) {
700.      if (!GPS.parse(GPS.lastNMEA()))
701.        return;
702.    }
703.
704.    if (GPS.fix) {
705.      timer = millis();
706.      if (millis() - timer == 1) {
707.        Vi = (GPS.speed * 1.852) / 3.6;
708.        lcd.clear();
709.        lcd.setCursor(0, 0);
710.        lcd.print(GPS.hour - 3, DEC);
711.        lcd.print(':');

```

```

712.     lcd.print(GPS.minute, DEC);
713.     lcd.print(':');
714.     lcd.print(GPS.seconds, DEC);
715.     lcd.setCursor(55, 0);
716.     lcd.print(GPS.day, DEC);
717.     lcd.print('/');
718.     lcd.print(GPS.month, DEC);
719.     lcd.setCursor(0, 15);
720.     lcd.print("VA: ");
721.     lcd.print(GPS.speed * 1.852);
722.     lcd.print(" Km/h");
723.     lcd.setCursor(0, 16);
724.     lcd.print("Ac: ");
725.     lcd.print(Aatual);
726.     lcd.print(" m/s");
727.     lcd.setCursor(0, 5);
728.     lcd.print("Dir-> ");
729.     lcd.print(GPS.angle);
730. }
731.
732. // desliga o Buzzer se estiver ligado
733. digitalWrite(Buzzer, LOW);
734. digitalWrite(LGREEN, LOW);
735.
736. EstadoBotao = digitalRead(13);
737. if (EstadoBotao == HIGH)
738.     if (BotaoPressionado == 1) {
739.         BotaoPressionado = 0;
740.         digitalWrite(LRED, LOW);
741.     } else {
742.         BotaoPressionado = 1;
743.         digitalWrite(LRED, HIGH);
744.     }
745.
746. // atualiza as proximas informacoes a cada 2s
747. while (millis() - timer >= 2000) {
748.
749.     // calcula a aceleração média
750.     if (millis() - timer == 2000) {
751.         lcd.clear();
752.         Vf = (GPS.speed * 1.852) / 3.6;
753.         Aatual = (Vf - Vi) / 1;
754.     }
755.
756.     if (millis() - timer < 2100) lcd.clear();
757.
758.     // Se o motorista desejar ultrapassar muda para o modo de transmissão
759.     if (BotaoPressionado == 1) {
760.         digitalWrite(LRED, HIGH);
761.         lcd.setCursor(0, 3);
762.         lcd.print("Preparando ultrapassagem");
763.
764.         //*****EXECUCAO DO RADIO*****//
765.
766.         // Caso haja obstrucao da passagem do veiculo o pino chave eh setado em baixo e o modo de
transmissao eh acionado
767.         if (digitalRead(pinoChave) == LOW) {
768.             Pergunta(TIPO_MSG);
769.         }
770.     } else {

```

```
771.     if(millis() - timer >= 3000) {
772.         timer = millis();
773.         count++;
774.     }
775.     TTE = 0; TTU = 0;
776.     NumSeqPerg = 0; NumSeqResp11 = 0; NumSeqResp12 = 0;
777.     TIPO_MSG = 11;
778. }
779. }
780.
781. } else if (millis() - timer == 1000)
782. {
783.     // caso nao detecte satelites aguarde
784.     lcd.clear();
785.     lcd.setCursor(0, 0);
786.     lcd.print("Aguardando GPS");
787. }
788. }
789. }
```