

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

PAULO SANDINO PEREIRA COELHO

**ANÁLISE DE REDES VEICULARES NO PADRÃO IEEE  
802.11P**

São Luís

2018

PAULO SANDINO PEREIRA COELHO

# **ANÁLISE DE REDES VEICULARES NO PADRÃO IEEE**

## **802.11P**

Trabalho monográfico acadêmico, com o objetivo de obter título de bacharel em Engenharia de Computação pela Universidade Estadual do Maranhão.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Henrique Gonsioroski Furtado da Silva.

São Luís

2018

PAULO SANDINO PEREIRA COELHO  
ANÁLISE DE REDES VEICULARES NO PADRÃO IEEE 802.11P/ PAULO  
SANDINO PEREIRA COELHO. – São Luís, 2018-  
80 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Dr. Leonardo Henrique Gonsioroski Furtado da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual do Maranhão – UEMA  
Curso de Engenharia de Computação  
Programa de Graduação, 2018.

1. Redes Veiculares. 2. IEEE 802.11p. 3. Comunicação V2V. I. Leonardo Henrique Gonsioroski Furtado da Silva. II. Universidade Estadual do Maranhão. III. Curso de Engenharia de Computação. IV. Bacharel em Engenharia de Computação

PAULO SANDINO PEREIRA COELHO

# **ANÁLISE DE REDES VEICULARES NO PADRÃO IEEE 802.11P**

Trabalho monográfico acadêmico, com o objetivo de obter título de bacharel em Engenharia de Computação pela Universidade Estadual do Maranhão.

Trabalho aprovado. São Luís, 20 de fevereiro de 2018:

---

**Dr. Leonardo Henrique Gonsioroski**  
Furtado da Silva  
Orientador

---

**Professor Dr.**  
Rogério Moreira Lima Silva

---

**Professor Me.**  
Antônio Fernando Lavareda Jacob Júnior

São Luís  
2018

*Este trabalho é dedicado ao meu pai João Coelho, a minha mãe Francisca Rosimar, a minha irmã Ana Paula e ao meu amor Bruna Pimentel que me apoiaram e incentivaram por todo esse caminho.*

# Agradecimentos

Primeiro agradeço a Deus, que colocou pessoas maravilhosas em minha vida. Agradeço ao meu orientador o Prof Dr. Leonardo Henrique Gonsioroski F.S. por me guiar no caminho do conhecimento, ao Prof. Dr. Rogerio Moreira L.S. por seus esclarecimentos e incentivos, aos meus amigos e colaboradores Naydson Emmerson, Ricardo Souza, Denner Araujo, Gisele Braga, Emanuel Junior.

Agradecimentos especiais são direcionados ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas – da Universidade Estadual do Maranhão<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> <<http://www.uema.br/>>

*“Nós só podemos ver um pouco  
do futuro, mas o suficiente para  
perceber que há muito a fazer”*  
*Alan Turing*

# Resumo

As redes veiculares propõem uma dinâmica de comunicação que dá suporte tanto a aplicações voltadas para auxílio e segurança como para o conforto e entretenimento dos passageiros. Essa rede de comunicação é regulamentada por uma norma de comunicação que define os parâmetros para o seu funcionamento. Mas devemos definir quais parâmetros devem ser implementados e quais podem ser modificados e/ou melhorados, avaliando o desempenho dessa rede através de tecnologias e normas mais desenvolvidas e maduras atualmente. Um teste de campo é criado para avaliar esse desempenho através da utilização de um ponto de acesso convencional e medir quão próximo das especificações padrões esses dispositivos conseguem operar. Os testes demonstram que os equipamentos utilizados em redes de comunicação sem fio convencionais são capazes de atender, no melhor dos casos, os requisitos de largura de banda. Mas no pior dos casos não é capaz de atingir a velocidade mínima exigida.

**Palavras-chave:** Redes Veiculares. IEEE 802.11p. Comunicação V2V.

# Abstract

The vehicular networks propose a dynamic of communication that supports both interventions aimed at assistance and safety as well as the comfort and entertainment of passengers. This communication network is regulated by a communication standard that defines the parameters for its operation. However we must define which parameters must be implemented and which can be modified and/or improved, evaluating the performance of this network through the technologies and standards more developed and mature nowadays. A field test is designed to evaluate this performance by using a conventional access point and measure how close to the standard specifications these devices can operate. The tests demonstrate that the equipment used in conventional wireless networks is capable of meeting, at best, the bandwidth requirements. But in the worst case it is not able to reach the required minimum speed.

**Keywords:** Vehicular ad hoc networks. IEEE 802.11p. V2V Communication.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Arquitetura das Redes Veiculares . . . . .	20
Figura 2 – Divisão dos canais DSRC . . . . .	24
Figura 3 – Pilha de protocolos WAVE . . . . .	25
Figura 4 – Relação do modelo OSI (a direita) com o IEEE 802.11 (a esquerda) . .	27
Figura 5 – Topologia em Redes Sem Fio . . . . .	29
Figura 6 – Comunicação DCF . . . . .	32
Figura 7 – Problema da estação escondida . . . . .	32
Figura 8 – Quadro MAC . . . . .	34
Figura 9 – Subcamadas da camada Física . . . . .	35
Figura 10 – Pilha de protocolo com as técnica de transmissão . . . . .	36
Figura 11 – Transmissão FHSS . . . . .	37
Figura 12 – Mecanismo de priorização EDCA . . . . .	41
Figura 13 – OFDM . . . . .	43
Figura 14 – Quadro PPDU . . . . .	44
Figura 15 – Configurações básicas do AP . . . . .	49
Figura 16 – Configurações avançadas do AP . . . . .	49
Figura 17 – AP instalado no carro . . . . .	50
Figura 18 – Trecho de Testes . . . . .	51
Figura 19 – Esquema dos Testes . . . . .	51
Figura 20 – Carros em sentidos opostos a 15 Km/h . . . . .	52
Figura 21 – Carros em sentidos opostos a 30 Km/h . . . . .	52
Figura 22 – Carros em sentidos opostos a 40 Km/h . . . . .	53
Figura 23 – Carros no mesmo sentido a 20 Km/h . . . . .	54

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Especificações gerais do IEEE 802.11a e 802.11p . . . . .	46
Tabela 2 – Parâmetros dependentes da modulação . . . . .	46
Tabela 3 – Resultados . . . . .	54

# Lista de abreviaturas e siglas

ACK	<i>Acknowledgment</i>
ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>
AP	<i>Access Point</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AU	<i>Application Unit</i>
BPSK	<i>Binary Phase Shift Keying</i>
BSA	<i>Basic Service Area</i>
BSS	<i>Basic Service Set</i>
CCK	<i>Complementary Code Keying</i>
CSI	<i>Channel State Information</i>
CSMA/CA	<i>Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance</i>
CSMA/CD	<i>Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection</i>
CTS	<i>Clear to Send</i>
DCF	<i>Distributed Coordination Function</i>
DFT	<i>Discrete Fourier Transform</i>
DFWMAC	<i>Distributed Foundation Wireless Medium Access Control</i>
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>
DIFS	<i>DCF Interframe Space</i>
DMT	<i>Discrete MultiTone</i>
DS	<i>Distribution System</i>
DSAP	<i>Destination Service Access Point</i>
DSRC	<i>Dedicated Short range Communications</i>
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>

EDCA	<i>Enhanced Distributed Channel Access</i>
ESA	<i>Extended Service Area</i>
ESS	<i>Extended Service Set</i>
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>
FHSS	<i>Frequency Hopping Spread Spectrum</i>
GFSK	<i>Gaussian Frequency Shift Keying</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IBSS	<i>Independent Basic Service Set</i>
IDFT	<i>Inverse Discrete Fourier Transform</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
ISI	<i>Intersymbol interference</i>
ISM	<i>Industrial Scientific and Medical</i>
LLC	<i>Logical Link Control</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MIB	<i>Management Information Base</i>
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
MSDU	<i>MAC Service Data Unit</i>
NC	Número do canal
OBU	<i>On Board Unit</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
PCF	<i>Point Coordination Function</i>
PHY	<i>Physical</i>
PLCP	<i>Physical Layer Convergence Procedure</i>
PMD	<i>Physical Medium Dependent</i>
PPDU	<i>Protocol Packet Data Unit</i>

PSDU	<i>Physical Layer Service Data Unit</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
RCP	<i>Resource Command Processor</i>
RF	<i>Rádio Frequência</i>
RSU	<i>Roadside Unit</i>
RTS	<i>Request to Sent</i>
SAP	<i>Service Access Points</i>
SIFS	<i>Short Interframe Space</i>
SIG	<i>Signal</i>
SIT	<i>Sistemas Inteligentes de Transportes</i>
SSAP	<i>Source Service Access Point</i>
SSID	<i>Service Set Identification</i>
STA	<i>Station</i>
TXOP	<i>Transmission Opportunities</i>
V2I	<i>Vehicle to infrastructure</i>
V2V	<i>Vehicle to vehicle</i>
VANET	<i>Vehicular Ad Hoc Network</i>
VCO	<i>Voltage Controlled Oscillator</i>
WAVE	<i>Wireless Access in Vehicular Environments</i>
WME	<i>WAVE Management Entity</i>
WSMP	<i>WAVE Short Message Protocol</i>
16QAM	<i>16 Quadrature Amplitude Modulation</i>
64QAM	<i>64 Quadrature Amplitude Modulation</i>

# Sumário

	<b>Introdução</b>	<b>17</b>
<b>1</b>	<b>VANET - VEICULAR <i>Ad-HOC</i> NETWORK</b>	<b>19</b>
<b>1.1</b>	<b>Arquitetura das VANET</b>	<b>19</b>
<b>1.2</b>	<b>Hardware</b>	<b>20</b>
1.2.1	<i>OBU - On Board Unit</i>	20
1.2.2	<i>AU - Application Unit</i>	21
1.2.3	<i>RSU - Road Side Unit</i>	21
<b>1.3</b>	<b>Comunicação entre veículos</b>	<b>22</b>
<b>1.4</b>	<b>Comunicação entre carros e as unidades de acostamento</b>	<b>23</b>
<b>1.5</b>	<b>Padrões de comunicação nas VANETs</b>	<b>23</b>
1.5.1	<i>DSRC - Dedicated Short Range Communications</i>	23
1.5.2	<i>WAVE – Wireless Access in Vehicular Environments</i>	24
<b>2</b>	<b>PADRÃO DE COMUNICAÇÃO SEM FIO IEEE 802.11</b>	<b>27</b>
<b>2.1</b>	<b>Topologia</b>	<b>28</b>
<b>2.2</b>	<b>Camada de Enlace de Dados</b>	<b>29</b>
2.2.1	<i>MAC - Medium Access Control</i>	29
2.2.1.1	<i>DCF (Distributed Coordination Function)</i>	30
2.2.1.2	Problema do terminal escondido	31
2.2.1.3	<i>PCF (Point Coordination Function)</i>	33
2.2.1.4	Quadro MAC	33
<b>2.3</b>	<b>Camada Física</b>	<b>34</b>
2.3.1	Operações da Camada Física	35
2.3.2	Técnicas de transmissão	36
2.3.2.1	<i>FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum</i>	36
2.3.2.2	<i>DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum</i>	37
2.3.2.3	<i>HR-DSSS - High Rate Direct Sequence Spread Spectrum</i>	38
2.3.2.4	<i>OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>	38
<b>3</b>	<b>PADRÃO DE COMUNICAÇÃO SEM FIO VEICULAR IEEE 802.11P</b>	<b>40</b>
<b>3.1</b>	<b>WAVE BSS</b>	<b>40</b>
<b>3.2</b>	<b>WAVE MAC</b>	<b>41</b>
<b>3.3</b>	<b>WAVE PHY</b>	<b>42</b>
3.3.1	Faixa de Frequência	42
<b>3.4</b>	<b>Estrutura da Camada Física</b>	<b>44</b>

3.4.1	Comparativo entre os padrões IEEE 802.11p e 802.11a . . . . .	45
3.5	<b>Desafios do Canal . . . . .</b>	<b>47</b>
4	<b>TESTES DE CAMPO . . . . .</b>	<b>48</b>
4.1	Tipos de dados gerados no teste . . . . .	54
4.2	Problemas e Dificuldades . . . . .	55
5	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>	<b>56</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>57</b>
	 <b>APÊNDICES</b>	 <b>61</b>
	<b>APÊNDICE A – DADOS COLHIDOS EM CAMPO . . . . .</b>	<b>62</b>
A.1	Carros no mesmo sentido a 20Km/h . . . . .	62
A.2	Carros em sentidos opostos a 15 Km/h . . . . .	68
A.3	Carros em sentidos opostos a 30 Km/h . . . . .	75
A.4	Carros em sentidos opostas a 40 Km/h . . . . .	79

# Introdução

O Trânsito é um dos maiores problemas das grandes cidades. A locomoção se tornou um desafio diário para milhares de trabalhadores, que gastam no deslocamento de casa para o trabalho, em média, mais de 41 minutos [1]. No Rio de Janeiro mais de 27% gastam mais de 1 hora para chegar ao trabalho. Congestionamentos causados por diversos fatores como: acidentes, obras ou simplesmente o excesso de carros nas vias [2].

O custo de oportunidade do tempo perdido das pessoas presas no trânsito nas regiões metropolitanas devido às más condições de mobilidade urbana gera um custo adicional de R\$ 62,1 bilhões por ano [3]. A crise da mobilidade urbana em São Paulo custa por ano mais de R\$ 40 bilhões. Supondo que 15% dos congestionamentos sucedem de acidentes de trânsito, o valor deste custo varia entre R\$ 8 e 10 bilhões anualmente. Nesse cenário caótico, podemos ver os Sistemas Inteligentes de Transportes, especificamente as Redes Veiculares ou VANET (*Veicular ad-hoc Network*)<sup>2</sup>, como uma saída para esse problema [4] e [5].

As Redes Veiculares são compostas de veículos automotores e infraestruturas, localizadas nas margens das ruas e avenidas. Essa rede permite que veículos troquem informações com a infraestrutura ou com outros veículos, possibilitando uma grande variedade de aplicações, com o objetivo de melhorar a segurança, o conforto, otimizar o tempo gasto no trânsito [6], assim como ajudar a administrar e monitorar o trânsito e tráfego urbano, objetivando o desenvolvimento de cidades inteligentes [7]. As aplicações em redes veiculares podem ser agrupadas em três categorias [8] e [9]:

1. Segurança Viária: aviso de ocorrência de acidentes, aviso de problemas na via (obstáculo), aviso de veículo lento ou parado, alerta de proximidade de veículos de emergência, frenagem brusca, monitoração cinemática de posição, velocidade e direção dos veículos vizinhos;
2. Conveniência: Detecção e aviso de congestionamentos, pagamento automático de pedágio e postos de combustíveis, alteração dinâmica da velocidade máxima dos carros, localização de vagas de estacionamento;
3. Comerciais e Entretenimento: Acesso a Internet, download de mídias de áudio e vídeo, redes sociais veiculares etc;

Essas aplicações e a comunicação veicular como um todo são definidas por um padrão/norma de comunicação, que indica os modos de operação e funcionamento da rede,

<sup>2</sup> Neste trabalho, para nos referirmos as Redes Veiculares vamos usar a sigla 'VANET'

como por exemplo, qual a melhor técnica de acesso ao meio, melhor modulação e codificação, taxa de transferência de dados aceitáveis etc. Padrão este que visa a interoperabilidade de equipamentos independentemente do fabricante. Mas apesar de ser um padrão internacional, vários países criam especificações diferentes do padrão internacional, devido a questões políticas, climáticas etc.

Este trabalho tem como objetivo descrever as redes veiculares *ad-hoc*. Demonstrar os avanços no desenvolvimento de padrões de comunicação com foco no padrão IEEE 802.11p (USA). Entender o funcionamento das camadas de Enlace de dados e camada Física, permitindo o acesso sem fio as redes veiculares. Avaliar o desempenho de equipamentos das redes sem fio convencionais no ambiente veicular, com base em um teste de campo.

O primeiro capítulo descreve as Redes Veiculares - VANET, terminologias, equipamentos e padrões de comunicação de forma a dar uma visão geral do tema e das normas técnicas que regulamentam essa tecnologia. O segundo capítulo apresenta o padrão de comunicação sem fio IEEE 802.11, dando uma ideia da estrutura em camadas dos protocolos de comunicação, e introduzindo o padrão de comunicação sem fio mais utilizado. No terceiro capítulo é apresentado o padrão IEEE 802.11p, que é uma emenda do protocolo original IEEE 802.11, com especificações de comunicação voltadas exclusivamente para a comunicação em um ambiente veicular. No quarto capítulo é exposto um teste de comunicação veicular efetuado na Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, com o intuito de avaliar o desempenho de equipamentos de comunicação sem fio convencionais, aplicados ao ambiente veicular. No quinto capítulo são feitas as considerações finais do trabalho, do teste de campo, bem como reflexões de possíveis melhorias para testes futuros.

# 1 VANET - *Veicular ah-hoc Network*

Os avanços tecnológicos na indústria moderna, possibilitam a adição de novas tecnologias aos veículos, transformando o paradigma de transporte em um novo sistema integrado de comunicação e automação. Tecnologias como o Sistema de Posicionamento Global(GPS), piloto automático, frenagem automática, melhor rota com base nas condições do trânsito entre outras, vem com o objetivo de auxiliar o motorista ou sistema autônomo na tomada de decisões bem como integrar novos serviços aos veículos.

As redes veiculares são formadas por carros, caminhões e ônibus, de modo que cada veículo automotor representa um nó da rede. Os veículos se comunicam através de uma conexão sem fio, em uma banda dedicada para comunicações de curto alcance ou DSRC (*Dedicated Short-range Communications*). A comunicação se dá entre veículos automotores ou entre veículos e a infraestrutura fixa as margens das vias, os nós da rede tem como característica a ausência de um concentrador, ou seja, todos os nós da rede funcionam como um roteador, encaminhando dados de outros nós, como também gerando e repassando dados aos nós vizinhos.

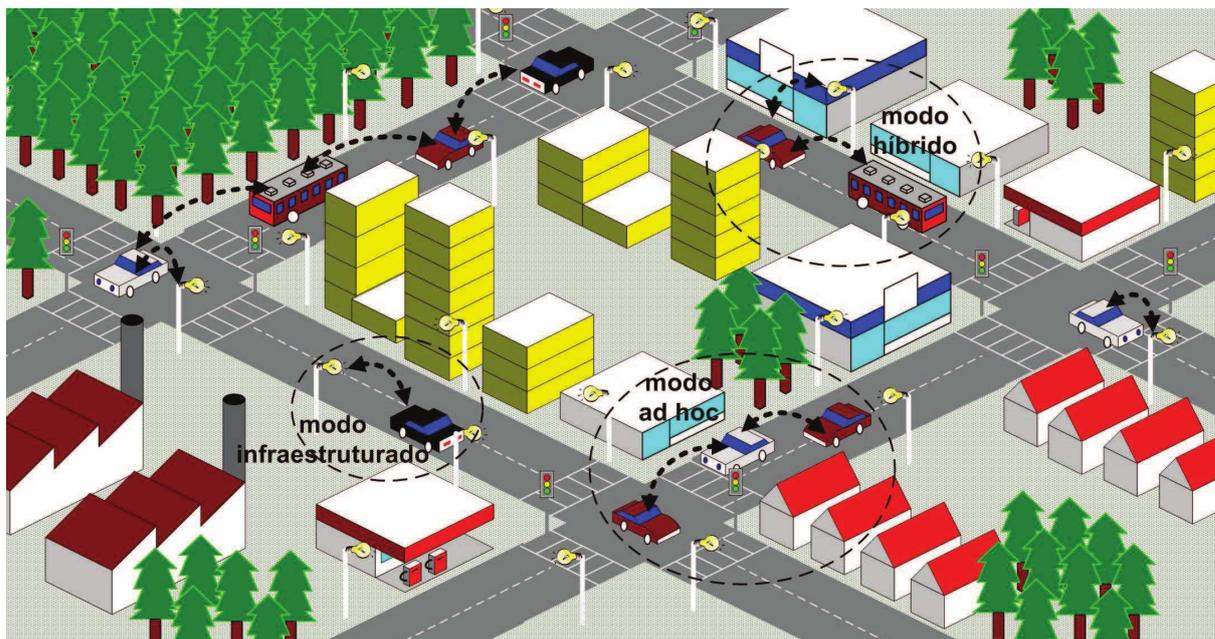
## 1.1 Arquitetura das VANET

A forma como os nós se organizam define a topologia da rede. As soluções topológicas das Redes Veiculares são classificadas de três maneiras, *ad hoc* puro, infraestruturada ou híbrida [10]. Na *ad hoc* puro, os veículos se comunicam sem nenhum elemento centralizador, comunicação V2V (*Vehicle-to-Vehicle*). Na infraestruturada o veículo se comunica apenas com equipamentos fixos, comunicação V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*). E na híbrida a comunicação é tanto V2V como V2I, ver Figura 1.

Na solução exclusivamente infraestruturada, utiliza-se nós estáticos distribuídos pelas vias. Esses pontos de acesso garantem a conectividade total da rede, funcionando como intermediário na comunicação entre os carros e permitindo o acesso a outras redes como a Internet, mas necessita de total conexão nas vias, ou seja, equipamentos instalados em todas as vias, de forma a cobrir todas as ruas e avenidas, já que a comunicação se dá exclusivamente V2I e não V2V. Esta solução é pouco discutida devido a sua inviabilidade econômica, pois é extremamente difícil, ter uma total cobertura das cidades, sendo que em locais sem cobertura os carros ficariam completamente isolados.

Já a solução *ad hoc* puro considera apenas a comunicação entre carros, o que possibilita a implementação de serviços de segurança viária e conveniência, mas impossibilita serviços comerciais e de entretenimento, que necessitam de uma infraestrutura para se

Figura 1 – Arquitetura das Redes Veiculares



Fonte: [11]

comunicar com outras redes, e tem como principal desvantagem a conectividade da rede, que depende diretamente da densidade e direção dos veículos.

A melhor alternativa em topologia das VANETs é a híbrida, que une V2V e V2I. Pois insere uma pequena quantidade de pontos de acesso fixo nas vias, garantindo conectividade e serviços de interconexão. Preservando a comunicação V2V por múltiplos saltos sem necessariamente, ter de passar por um ponto de acesso [11].

As vantagens associada a comunicação V2V e V2I quando comparada com o *ad hoc* convencional é: a baixa restrição do consumo de energia, pois este possui uma fonte de energia superior à de um nó *ad hoc* tradicional. O poder computacional elevado, como não há um limite para consumo pode-se ter uma maior capacidade de processamento e armazenamento, podendo agregar múltiplas antenas, sistema de posicionamento global (GPS) etc [7] [12].

## 1.2 Hardware

### 1.2.1 OBU - *On Board Unit*

Uma Unidade de Bordo é um dispositivo de rádio frequência (RF), geralmente montado a bordo de um veículo e utilizado para trocar informações com RSU (*Road Side Unit*) e OBU. A OBU é formada por um processador de comando de recurso o RCP (*Resource Command Processor*), uma memória de leitura e gravação usada para

armazenar e recuperar informações, uma interface de usuário, uma interface especializada para conectar-se a outras OBUs e um dispositivo de rede para comunicação sem fio de curto alcance com base no padrão IEEE 802.11p. Ele também é composto por outro dispositivo de rede, mais voltado para aplicações não relacionadas a segurança, que se baseia em outras tecnologias de rádio como o IEEE 802.11 a/b/g/n.

A OBU se conecta a outros dispositivos através de um *link* sem fio baseado no canal especificado em [13], serviços de comunicação para a AU (*Application Unit*) e encaminha dados em nome de outras OBUs na rede. As principais funções da OBU no VANET são acesso de rádio sem fio, encaminhamento dados em nome de outras OBUs, roteamento *ad hoc* e geográfico, controle de congestionamento de rede, transferência confiável de mensagens e segurança [14], [15].

### 1.2.2 AU - *Application Unit*

A unidade de aplicação é um dispositivo que fica dentro do veículo e usa da capacidade de comunicação da OBU. A AU pode ser um dispositivo dedicado a aplicações de segurança ou um dispositivo normal de interação com os passageiros, como um tablet, para executar aplicações que necessitam de conexão externa com a Internet. A AU pode se conectar a OBU com ou sem fios, ou podem até mesmo estarem juntas em uma unidade física. A AU se comunica com a rede através da OBU, que tem a responsabilidade por todas as funções de mobilidade e rede [14], [16].

### 1.2.3 RSU - *Road Side Unit*

A Unidade de acostamento é um dispositivo de rádio frequência (RF), normalmente localizado as margens das estradas ou em locais específicos e dedicados a uma tarefa, como em estacionamentos, dedicados a auxiliar no controle de vagas. A RSU é equipado com um dispositivo de rede para comunicações DSRC, com base no padrão IEEE 802.11p e também pode ser equipado com outros sistemas de comunicação para interligar as VANETs com outras redes. De acordo com [12] as principais funções da RSU são:

- Ampliar o alcance da comunicação *ad-hoc*, repassando informações das OBUs para outras RSUs que repassam para as OBUs no seu raio de alcance;
- Executar aplicações de segurança, que gerenciem informações de trânsito, como avisos de acidentes, de vias interditadas por obras, de congestionamento, de velocidade máxima permitida etc;
- Fornecer aos veículos, acesso a outras redes como a Internet;

### 1.3 Comunicação entre veículos

Na configuração da comunicação entre veículos, é utilizado *multi-hop unicast*, *multicast* ou *broadcast* para transmitir dados associados a múltiplas informações para um ou mais receptores. Nos sistemas de transporte inteligentes, os veículos devem receber informações de atividades na estrada à frente e não atrás, apenas os canais de serviço, pois os canais de segurança devem 'escutar' mensagens de todas as direções. Desta forma os dados podem ser transmitidos nos modos:

- *Multi-hop unicast*: é um tipo de comunicação baseada em roteamento onde uma mensagem é propagada em múltiplos saltos até que o veículo receptor seja alcançado;
- *Multicast*: a mensagem é transmitida apenas para os destinatários, simultaneamente, sem passar por terceiros;
- *Broadcast*: a mensagem é transmitida a todos os nós que estão ao alcance do nó transmissor. Este tipo de transmissão se subdivide em dois tipos, *broadcast naïve* e *broadcast intelligent*;

No *broadcast naïve*, os veículos enviam mensagens de *broadcast* constantemente em intervalos regulares. Com base na origem da mensagem, o veículo ignora as mensagens originadas de um veículo atrás. Se a mensagem vier de um veículo a frente, o veículo receptor encaminha sua mensagem aos veículos atrás dele. Isso garante que todos os veículos da rede que se movem na mesma direção obterão todas as mensagens de *broadcast*. O método *broadcast naïve* gera um grande número de mensagens de *broadcast*, aumentando o risco de colisão das mensagens, resultando em menor largura de banda e aumento dos *delays*/atrasos, pois o tráfego estará inundado de transmissões repetidas [12].

O *broadcast intelligent* é usado para contornar os problemas do *broadcast naïve*, diminuindo o número de mensagens retransmitidas. Um veículo recebe uma mensagem de um veículo a frente e detecta/recebe a mesma mensagem de outro veículo atrás dele, então assume que, pelo menos, um dos veículos atrás o recebeu e deixa de retransmitir. A ideia é que o veículo na parte de trás será capaz de enviar a mensagem para o resto dos veículos. Se um veículo receber uma mensagem de mais de uma fonte, ele retransmitirá apenas a primeira mensagem.

As principais aplicações da comunicação entre veículos, conforme explicado em [17], podem ser categorizadas em três tipos:

- Funções de informação e aviso: Divulgação de informações rodoviárias (incluindo incidentes, congestionamentos, condições da via) para veículos distantes do local;

- Controle baseado em comunicação: Exploração da capacidade de 'observar' da rede para ajudar a evitar acidentes e acionar veículos para melhorar a capacidade rodoviária;
- Sistemas de assistência cooperativa: Controle de veículos em pontos críticos, como cruzamentos sem semáforo e rodovias;

## 1.4 Comunicação entre carros e as unidades de acostamento

Nas redes veiculares *ad-hoc*, a comunicação do carro com as unidades de acostamento é uma parte importante da comunicação. Esta comunicação consiste em sistemas de transmissão de um único salto, a RSU envia uma mensagem a todos os outros veículos no raio de alcance. Para isso é utilizado um link de alta largura de banda para a comunicação entre RSUs e veículos. A distância entre essas RSUs é de até um quilômetro ou menos, para garantir a máxima cobertura a altas taxas de dados em todos os ambientes de trânsito.

A principal informação nessa comunicação é a divulgação da posição e da velocidade do veículo. Ou seja, a OBU transmitirá regularmente mensagens com a sua velocidade e posição para a RSU, que comparará a velocidade atual dos veículos nas proximidades com a velocidade máxima daquela via. Se um veículo violar o limite de velocidade exigido, uma transmissão de alerta será entregue ao veículo, que poderá emitir um aviso sonoro ou visual, solicitando a redução da velocidade ao motorista [12].

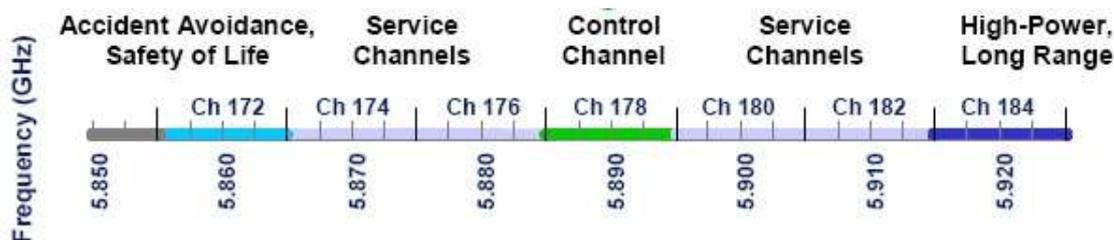
## 1.5 Padrões de comunicação nas VANETs

### 1.5.1 DSRC - *Dedicated Short Range Communications*

Em 1997, a ITS America pediu à FCC (*Federal Communications Commission*) que alocasse 75 MHz de espectro na faixa de 5,9 GHz para SIT (Sistemas Inteligentes de Transportes), sendo 5 MHz para a banda de guarda, em particular para as comunicações dedicadas de curto alcance (DSRC). Em outubro de 1999, a FCC atribuiu a banda de 5.850-5.925 GHz para aplicações SIT baseadas no DSRC e adotou regras técnicas básicas para as operações da DSRC [18].

O DSRC está em um espectro de frequência livre mas licenciado. É livre pois a FCC não cobra para utilizar o espectro. Mas livre não quer dizer que pode ser utilizado de qualquer forma, pois diferentemente de frequências não licenciadas, como 900 MHz, 2,4 GHz, 5 GHz que possuem apenas algumas restrições de emissão, o espectro do DSRC é bem mais restrito em termos de usos e tecnologia. A FCC determina e restringe a utilização dentro de determinados canais, delimitando um padrão de compatibilidade para todos os

Figura 2 – Divisão dos canais DSRC



Fonte: [11]

rádios. Ou seja, não é permitido desenvolver uma tecnologia de rádio diferente para uso do espectro DSRC, como por exemplo, um rádio que utilize todos os 75 MHz como um canal.

Desde a 2008 a *European Commission* permite a utilização de uma única banda em toda a Europa que pode ser aplicado para comunicações instantâneas e confiáveis entre veículos e entre veículos e infraestrutura. São 70 MHz do espectro na banda 5.855-5.925 GHz, que é alocada para uso em toda a Europa para aplicações SIT, sem excluir outros serviços já existentes. O objetivo é que a compatibilidade com os EUA seja garantida mesmo que os canais alocados não sejam exatamente os mesmos, pois a proximidade das frequências permitem que o mesmo hardware seja utilizado.

O DSRC utilizado nas VANETs tem uma largura de banda que varia entre 6 e 27 Mbps. O espectro foi dividido em 7 canais (Figura 2), de 10 MHz cada, sendo o canal 178 um canal de controle, aproveitado para comunicações de segurança. Os canais 174, 176, 180 e 182 são canais de serviço, o canal 172 é usado para segurança, no sentido de evitar acidentes, e o canal 184 é para aplicações de segurança pública [19]. Os pares de canais 174-176 e 180-182, podem ser combinados para formar um único canal de 20 MHz. A potência de transmissão (Tx), pode variar de 0 dBm a 28 dBm. O raio de cobertura de um único link transmissor depende diretamente da potência de transmissão, do ambiente ao redor, da modulação e do esquema de codificação utilizado. Essa distância deve variar de 10 metros a 1 quilômetro.

O número do canal (NC) é derivado contando o número de espectro de 5 MHz na banda de frequência de 5000 MHz para o centro frequência  $f(NC)$  do canal NC, isto é,

$$f(CN) = 5000 + 5CN(\text{MHz})$$

### 1.5.2 WAVE – Wireless Access in Vehicular Environments

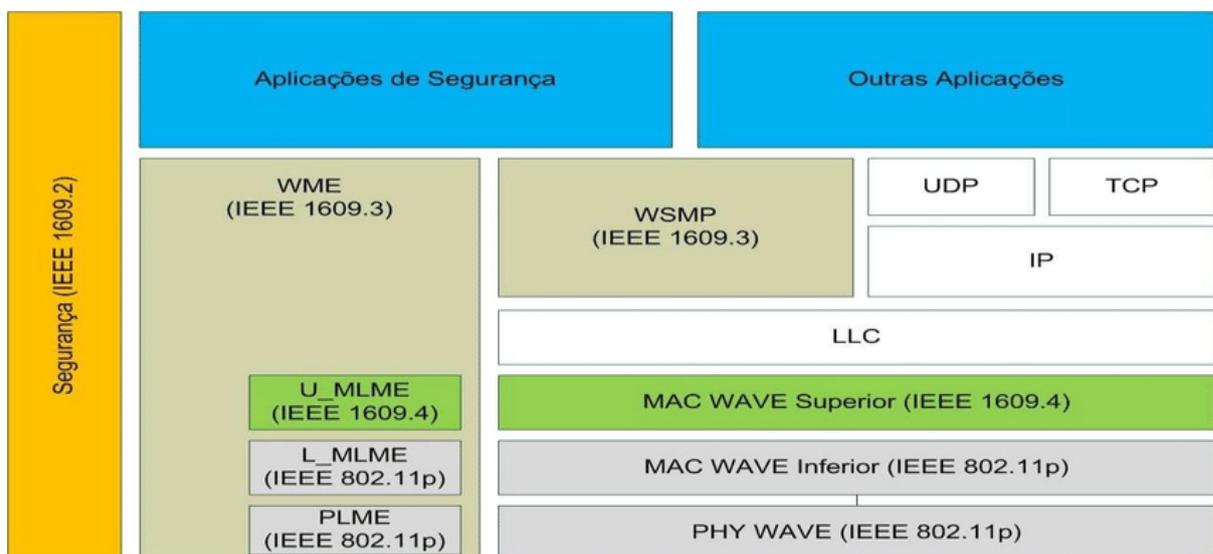
As primeiras tentativas de padronizar a tecnologia DSRC vieram do grupo ASTM Std. E2213-03 [20]. Tendo em vista que a FCC apenas especificava as regras de utilização do espectro do DSRC. Em 2004 grupo de trabalho IEEE 802.11 tomou a frente do

desenvolvimento desse padrão uma vez que o DSRC é essencialmente o IEEE 802.11a ajustado para operações de baixo *overhead* [21].

No IEEE 802.11, o DSRC é conhecido como IEEE 802.11p WAVE (*Wireless Access in Vehicular Environments*), acesso sem fio em ambiente veicular [22], que representa uma emenda/modificação do padrão geral IEEE 802.11. A maior vantagem de mover o padrão de tecnologia rádio DSRC para a IEEE 802.11p é que agora a WAVE está determinada a servir como um padrão internacional aplicável em outras partes do mundo.

O padrão IEEE 802.11p é limitado pelo escopo do IEEE 802.11, que é especificamente um padrão de nível MAC (*Medium Access Control*) e PHY (*Physical*) que deve operar dentro de um único canal lógico. Todos os conhecimentos e complexidades relacionados ao canal e ao conceito técnico do DSRC são solucionados pelos padrões IEEE 1609 da camada superior. A nomenclatura utilizada, normalmente se refere ao projeto conceitual como arquitetura WAVE e aos sistemas que o utiliza como sistemas WAVE [15]. Desta forma a arquitetura WAVE é definida em cinco documentos: IEEE P1609.1, IEEE P1609.2, IEEE P1609.3, IEEE P1609.4 e IEEE 802.11p, que definem todas as etapas de comunicação no ambiente veicular.

Figura 3 – Pilha de protocolos WAVE



Fonte: [11]

A família de protocolos IEEE 1609 determina um conjunto de padrões e interfaces que permitem a comunicação veículo a veículo (V2V) ou veículo a infraestrutura (V2I), entre dispositivos de diferentes fabricantes de automóveis. A Figura 3, representa a pilha de protocolos e sua hierarquia em camadas.

Além da padronização das interfaces, o padrão deve levar em consideração outros fatores específicos das redes veiculares como a velocidade dos veículos, que impõe restrições ao tempo de comunicação, que devem ser completadas rapidamente, de forma a garantir o

funcionamento das aplicações nos Sistemas Inteligentes de Transporte [23]. Os principais documentos da família IEEE 1609 são:

- IEEE P1609.0 - Define a arquitetura WAVE, o funcionamento dos padrões bem como os serviços necessários a comunicação V2V e V2I, através dos múltiplos canais DSRC;
- IEEE P1609.1 - Protocolo de gerenciamento de recursos. Descreve os componentes básicos da arquitetura WAVE, como formato de armazenamento dos dados (que devem ser usados pelas aplicações para comunicações entre os componentes da arquitetura), os formatos de mensagens de status e de pedido, os tipos de dispositivos que podem ser suportados por uma OBU;
- IEEE 1609.2 - Define os serviços de segurança e o gerenciamento de mensagens, ou seja, o formato das mensagens de seguras bem como o seu processamento. Serviços que suportam mensagens seguras e privacidade na comunicação veicular;
- IEEE 1609.3 - Define os serviços da camada de transporte e de rede, como o endereçamento, roteamento com possibilidade de troca de mensagens seguras. O WAVE possui duas pilhas de protocolos: o IPv6 e o WSMP (*WAVE Short-Message Protocol*). Pois é necessário permitir tanto comunicação de alta prioridade e sensíveis ao tempo, como também aplicações não tão exigentes. Também é definido um grupo de funções de gerenciamento o WME (*WAVE Management Entity*), que é utilizado para fornecer serviços de rede, e uma base de informações de gerenciamento o MIB (*Management Information Base*);
- IEEE 1609.4: descreve as operações em múltiplos canais que utilizam o protocolo IEEE 802.11p (controle de acesso ao meio e camada física) para a arquitetura WAVE;
- IEEE 1609.11 - Define o formato das mensagens e os serviços que são indispensáveis para os sistemas de pagamentos eletrônicos seguros;
- IEEE 1609.12 - Informa os valores dos identificadores que foram alocados para os sistemas WAVE;

## 2 Padrão de Comunicação Sem Fio IEEE 802.11

Em 1990 um grupo de pesquisa do *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) *LAN/MAN Standards Committee* (IEEE 802) iniciou a criação do padrão IEEE 802.11, com o objetivo de prover conectividade sem fio, e desse jeito prover Internet via radiofrequência. Em 1997 foi lançada a primeira versão do IEEE 802.11, em 1999 foi feito uma revisão do padrão e adicionado duas novas emendas a IEEE 802.11b e 802.11a, operando nas faixas de 2,4 e 5 GHz respectivamente. A Figura 4, mostra a relação das camadas do modelo OSI e das camadas do padrão IEEE 802.11 [24].

Figura 4 – Relação do modelo OSI (a direita) com o IEEE 802.11 (a esquerda)



Fonte: Autor

O IEEE 802.11 define um padrão de comunicação sem fio para as camadas de enlace e física segundo o modelo de referência OSI (*Open System Interconnection*).

1. Camada Física: Define como as informações são trocadas no meio através de transmissão por radiofrequência. Ou seja, seleciona as frequências que serão utilizadas, gera a portadora, detecta, modula e codifica o sinal.
2. Camada de Controle de Acesso ao Meio: Define a subcamada MAC (*Media Access*

*Control*), que é o método de acesso a um canal de comunicação, bem como o endereçamento dos dispositivos da rede;

## 2.1 Topologia

O padrão IEEE 802.11 define um modelo de arquitetura para redes sem fio, baseado na área de cobertura de uma célula, o BSA (*Basic Service Área*). O tamanho do BSA depende diretamente do ambiente e da potência de transmissão/recepção das STAs (estações móveis) [25]. No ambiente BSA é definido alguns conceitos como:

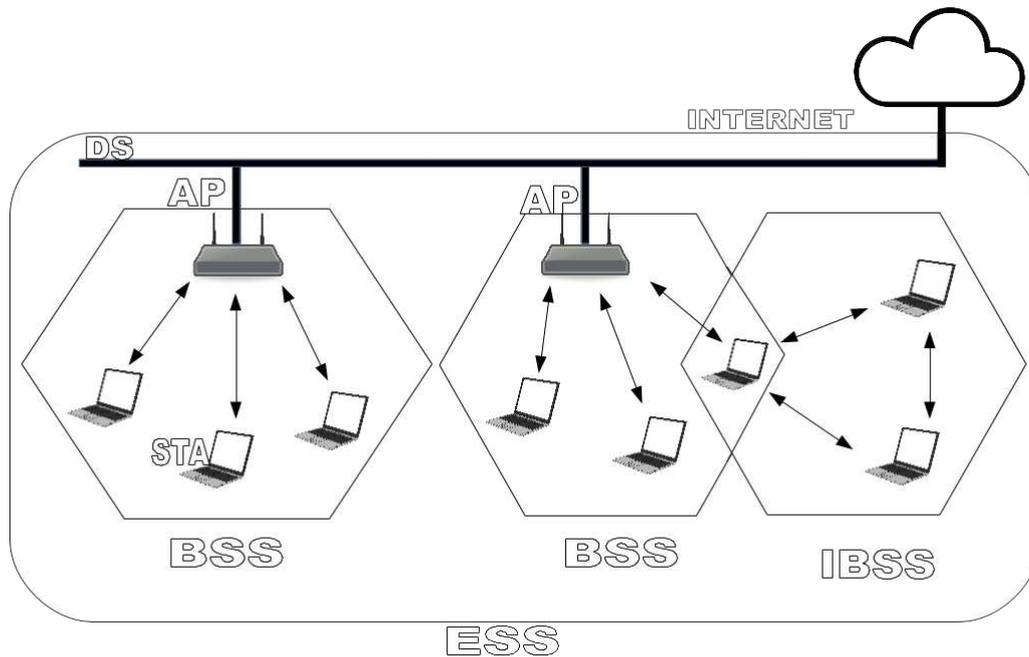
- BSS (*Basic Service Set*) - É um conjunto de STAs que se comunicam através de um BSA;
- IBSS (*Independent Basic Service Set*) – Também conhecida como *ad-hoc*, é um conjunto de STA que se comunica sem o intermédio de um BSA;
- AP (*Access Point*) - Conecta a rede sem fio e a rede cabeada;
- DS (*Distribution System*) - É a interconexão de várias BSA;
- ESA (*Extended Service Área*) - É a conexão de várias BSA pelo sistema de distribuição através dos AP;
- ESS (*Extended Service Set*) - É um conjunto de STA criado pela junção de vários BSS conectados por um DS. Essa configuração permite, a conexão de todas os APs com a internet;

Dentro de uma BSA, as estações que se comunicam através de um ponto de acesso(AP) fazem parte de um conjunto básico de serviço ou BSS. O BSS filtra o acesso a recursos e serviços do AP e filtra quadros de outras estações fora do BSS.

Para entrar em um BSS, uma estação deve primeiramente ouvir sondas transmitidas pelo AP, e então executar diversos passos incluindo processos de autenticação e associação. O modo *ad hoc* de operação segue um método semelhante para o estabelecimento de um IBSS (*Independent BSS*). Os usuários de uma rede IEEE 802.11 detectam um BSS através de uma SSID (*Service Set Identification*) anunciada nas sondas. No entanto, as interfaces de rádio detectam um BSS no nível MAC através do BSSID (*BSS Identification*), que é um campo da sonda com formato semelhante ao endereço MAC. Cada BSS deve ser identificado por um BSSID único, que em uma rede infraestruturada é normalmente escolhido como o endereço MAC do ponto de acesso.

Em um IBSS, a primeira estação no IBSS define o BSSID. A STA escolhe um número aleatório de 46 bits e concatena esses 46 bits com dois bits adicionais para criar

Figura 5 – Topologia em Redes Sem Fio



Fonte: Autor

um endereço MAC administrado localmente de 48 bits. O padrão IEEE 802.11 define um BSSID especial, com todos os 48 bits em 1 [11]. A Figura 5 representa as topologias de rede e nomenclaturas.

## 2.2 Camada de Enlace de Dados

A camada de enlace do modelo de comunicação OSI se subdivide em duas camadas:

- Controle Lógico do Link (LLC – *Logical Link Control*);
- Controle de Acesso ao Meio (MAC – *Media Access Control*);

O padrão IEEE 802.11 define apenas a subcamada MAC do modelo OSI, não a subcamada LLC. Logo o foco da camada de enlace é apenas a subcamada MAC.

### 2.2.1 MAC - *Medium Access Control*

O controle de acesso ao meio é a camada imediatamente acima da camada física, ela tem como função alocar o meio físico de forma que a transmissão não sofra interferência no meio físico, ou seja, garantir um acesso ao meio de qualidade.

A comunicação sem fio propõe um novo paradigma de comunicação com diversas características únicas e diferentes dos meios confinados mais conhecidos como par trançado,

fibra ótica e cabo coaxial. E deve ser analisado e desenvolvido visando superar esses problemas [26]. As características do meio sem fio envolvem:

- Dinâmica do canal: as mudanças no canal ocorrem em espaços de tempo muito curtos, o que ocasiona grandes perdas de pacotes frequentemente;
- Mobilidade e topologia de rede dinâmica: os nós são “livres”, ou seja, mudam de posição com certa frequência. Essa liberdade torna a topologia da rede altamente instável;
- Vazão: A vazão é a principal unidade de medida para os protocolos de múltiplo acesso, uma vez que o espectro eletromagnético é limitado;
- Retardo: Atrasos são inerentes a comunicação sem fio mas, para algumas aplicações, limitações e atrasos são inadmissíveis;
- Divisão de acesso justa: Todos os Aps deve ter igual prioridade de acesso ao meio, independente da qualidade/potência do sinal;
- Consumo de energia: Como as STA se deslocam no espaço e são alimentados por baterias, a camada MAC deve fazer considerações a respeito da potência de transmissão;

Antes do pacote ser transmitido, a subcamada MAC deve garantir acesso ao meio. Existem dois métodos de acesso ao meio, que se diferem pelas prioridades dadas as estações. Esses métodos são a Função de Coordenação Centralizada, PCF (*Point Coordination Function*) e a Função de Coordenação Distribuída, DCF (*Distributed Coordination Function*). O PCF é uma técnica mais centralizada em que o ponto de acesso assume a posição de controlador de acesso. Sendo assim só é aplicado a redes infraestruturadas, já o DCF é uma técnica distribuída, podendo ser implementada em redes *ad-hoc* e infraestruturada.

### 2.2.1.1 DCF (*Distributed Coordination Function*)

O DCF ou Função de Coordenação Distribuída faz uso do CSMA/CA (*Carrier-Sense Multiple Access/Collision Avoidance*) para controlar o acesso ao meio. É uma técnica de acesso múltiplo assíncrono, com contenção, detecção de portadora e prevenção de colisão. Então, para se que se tenha certeza do sucesso da transmissão é necessário o retorno de uma mensagem de reconhecimento (ACK), por parte do receptor [26].

O CSMA/CA funciona semelhante com o CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) do padrão IEEE 802.3, mas com a diferença que o CSMA/CD procura detectar as colisões, se ocorrerem, enquanto o CSMA/CA apenas tenta evitar as colisões. Neste tipo de situação não é possível detectar erros devido a grande

diferença de potência entre o sinal recebido e o sinal transmitido, ou seja, o dispositivo transmissor não é capaz de detectar possíveis colisões no receptor [27].

A utilização dessa função distribuída é obrigatória para todas as estações e pontos de acesso, nas configurações *ad hoc* e com infraestrutura, e ela, a DCF, trabalha da seguinte maneira, quando uma estação deseja transmitir:

- A estação sente o meio para determinar se outra estação já está transmitindo;
- Se o meio estiver livre, a estação transmite seu quadro, caso contrário, ela aguarda o final da transmissão;
- Após cada transmissão com ou sem colisão, a rede fica em um modo onde as estações só podem começar a transmitir em intervalos de tempo a elas pré-determinados;
- Ao findar uma transmissão, as estações alocadas ao primeiro intervalo têm o direito de transmitir. Se não o fazem, o direito passa as estações alocadas ao segundo intervalo, e assim sucessivamente até que ocorra uma transmissão, quando todo o processo reinicia;

Se todos os intervalos não são utilizados, a rede entra então no estado onde o CSMA comum é usado para acesso, podendo, dessa forma, ocorrer colisões [28].

Algumas colisões podem ocorrer no método CSMA/CA e esse método não garante a entrega correta dos dados. Com isso, uma estação após transmitir um quadro, necessita de um aviso de recebimento que deve ser enviado pela estação destino. Para isso, a estação que enviou o quadro aguarda um tempo (*timeout*) pelo aviso de recebimento do quadro por parte da estação destino. Caso este aviso não chegue no tempo considerado, denominado de DIFS (*DCF Interframe Space*), é realizada novamente a transmissão do quadro. Se o destino recebeu o quadro com sucesso, ele deve esperar um período SIFS (*Short Interframe Space*) e transmitir em seguida um ACK para a estação fonte.

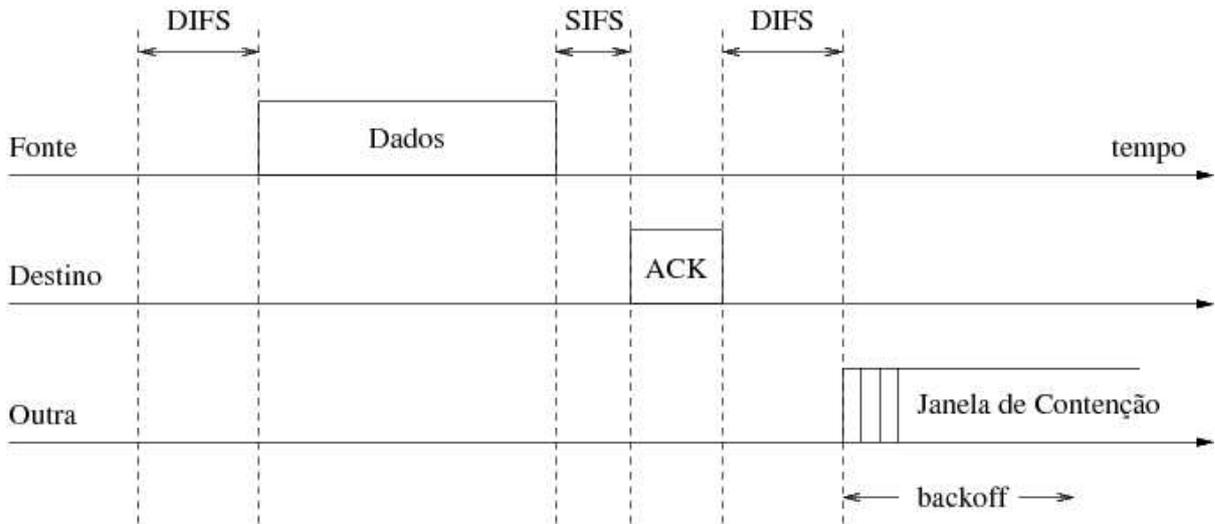
O tempo de SIFS é menor que DIFS e, desta forma, é efetuado um mecanismo de provisão de prioridade, que permite ao destino enviar o ACK antes que outra estação ocupe o meio. A Figura 6 apresenta o esquema básico do DCF:

A Figura 6 ilustra um caso em que a fonte encontra o meio vazio e pode transmitir seu quadro imediatamente após a espera de DIFS. O destino recebe o quadro corretamente e responde com um ACK após um tempo SIFS.

### 2.2.1.2 Problema do terminal escondido

Dados os terminais A, B e C na Figura 7, B está ao alcance dos sinais transmitidos por A e C, mas estes estão fora do alcance um do outro. Se o terminal A estiver transmitindo

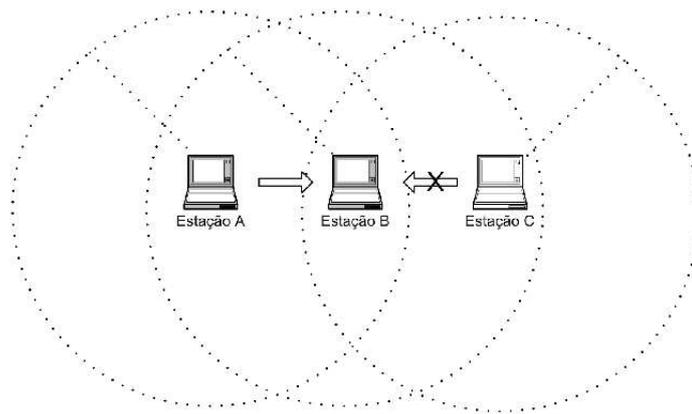
Figura 6 – Comunicação DCF



Fonte: [27]

para B e o terminal C deseja também transmitir para B, o terminal C incorretamente avaliará que o canal está livre uma vez que ele está fora do alcance de A, o terminal presentemente transmitindo. Se C começar transmitir, vai interferir com a recepção em B. Neste caso C é denominado o terminal escondido para A. O problema do terminal escondido pode ser atenuado com o uso de um diálogo de 'pedido para transmitir' RTS (*Request-to-Sent*) e 'permissão para transmitir' CTS (*Clear-to-Send*).

Figura 7 – Problema da estação escondida



Fonte: [27]

Muitos protocolos de MAC para redes *ad-hoc* usam variantes do diálogo RTS/CTS com o intuito de minimizar os problemas do terminal escondido e exposto. Neste diálogo, um terminal desejando transmitir dados primeiro verifica o estado do canal. Se o canal

estiver livre por uma quantidade de tempo determinada, o terminal transmite um pacote de RTS. O terminal de destino ao receber o RTS responde com um pacote de CTS. Ao receber o CTS, o primeiro terminal entende que o canal foi adquirido e inicia a transmissão de dados. Todos os terminais (exceto os envolvidos no estabelecimento da comunicação) adiam qualquer tentativa de adquirir o canal ao ouvir o RTS ou o CTS [29].

### 2.2.1.3 PCF (*Point Coordination Function*)

Trata-se de uma função opcional que pode ser inserida no protocolo DFWMAC (*Distributed Foundation Wireless Medium Access Control*), sendo construída sobre uma função de coordenação distribuída (DCF). É implementada através de um mecanismo de acesso ordenado ao meio, que suporta a transmissão de tráfego com retardo limitado ou tráfego assíncrono.

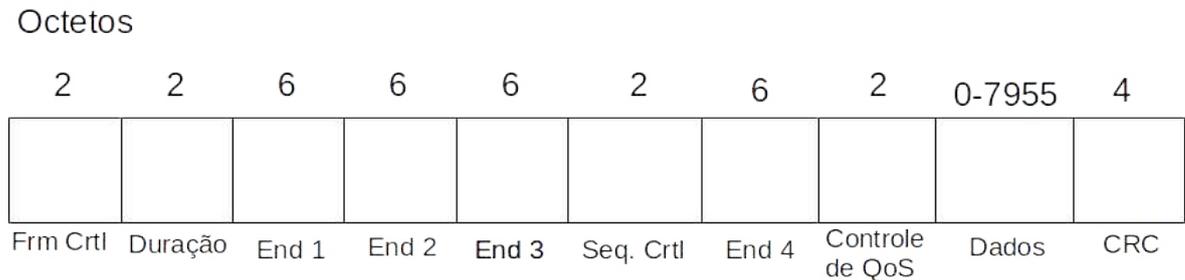
Para a integração dessas duas funções, pontual e distribuída, é utilizado o conceito de superquadro, fazendo com que o protocolo possa trabalhar de uma forma em que a função pontual assuma o controle da transmissão, para evitar a ocorrência de colisões. Para isso, o protocolo DFWMAC divide o tempo em períodos denominados superquadros, que consiste em dois intervalos de tempo consecutivos, que são usados da seguinte maneira: no primeiro tempo, controlado pela PCF, o acesso é ordenado, o que evita a ocorrência de colisões; no segundo tempo, controlado pela DCF, o acesso baseia-se na disputa pela posse do meio, podendo ocorrer colisões [26].

### 2.2.1.4 Quadro MAC

Um quadro MAC IEEE 802.11 tem os seguintes campos (Figura 8) [30], [31]

- Controle do quadro: Os primeiros 2 octetos indicam:
  1. A versão do protocolo;
  2. O tipo de quadro (controle, dados, manutenção);
  3. Se o quadro foi ou não fragmentado;
  4. Informações de privacidade e os dois bits do sistema; de distribuição.
- Duração ID: Utilizado para a reserva virtual do meio, usando RTS/CTS. Este campo indica a duração do período de ocupação do meio de transmissão;
- Endereços 1 a 4: Cada um desses campos contém endereços MAC padrão (48 bits) assim como nas demais LAN 802.x Seu significado depende dos dois bits do sistema de distribuição;
- Sequência de controle: Utilizado para se filtrar quadros que possam ser eventualmente duplicados;

Figura 8 – Quadro MAC



Fonte: [22]

- Dados: Variam de 0 à 7955 octetos;
- CRC: 32 bits do código corretor de erro comum a todas as LANs 802.x;

Os primeiros 32 *bytes* representam o cabeçalho MAC para as principais emendas dos padrões IEEE 802.11, apenas a emenda IEEE 802.11n inclui um quadro adicional entre o Controle de QoS e os Dados, que é o campo de Controle de HT.

## 2.3 Camada Física

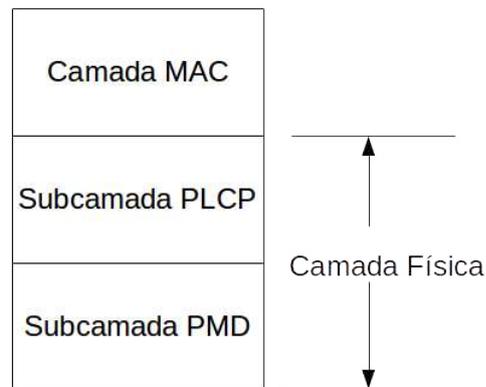
A camada física, no padrão 802.11 define vários tipos de padrões de transmissão e codificação para comunicações sem fio, sendo os mais conhecidos: FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*), DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) e OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), estas características são descritas nos itens adiantes.

A camada física especificada é responsável pela transmissão dos bits através do canal de comunicação. Os diversos padrões são divididos em partes, publicados separadamente e diferem principalmente nas especificações da camada física, como por exemplo frequência de funcionamento, tipo de modulação e codificação, uma ou múltiplas antenas etc [26]. Na Figura 9, podemos observar a estrutura da camada física.

Essa camada se subdivide em duas outras subcamadas:

- PMD (*Physical Medium Dependent*) - esta subcamada trata das técnicas de transmissão, modulação e codificação do sinal sendo responsável pelo envio e recebimento de pacotes no meio;
- PLCP (*Physical Layer Convergence Procedure*) - esta subcamada serve de interface entre a camada de enlace e a camada física, pois entrega as informações recebidas da PMD à subcamada MAC;

Figura 9 – Subcamadas da camada Física



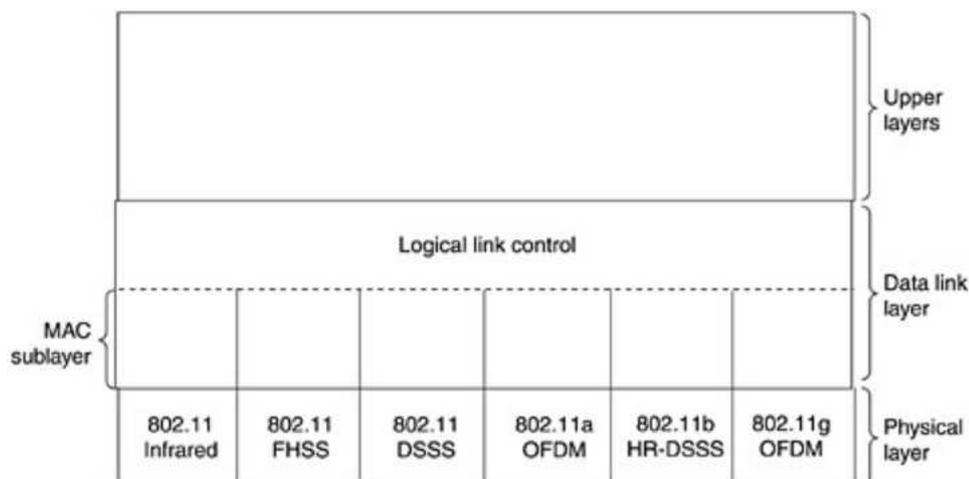
Fonte: [25]

### 2.3.1 Operações da Camada Física

As operações que fazem parte da camada física, são bem parecidas independente da técnica utilizada. O Padrão definiu três estados possíveis, [25] são eles:

- **Detecção de Portadora:** As estações podem ou não detectar se o canal está sendo usado. Estado que permite a camada MAC 'escutar' o meio;
- **Transmissão:** Este estado conta com uma ferramenta importante, o preâmbulo. O preâmbulo é usado para informar ao receptor que os dados estão a caminho. Tecnicamente falando, esta é a primeira parte do Protocolo de convergência da camada física/Unidade de dados de protocolo de procedimento (PLCP). A PLCP envia uma mensagem para a PMD alterar seu estado de detecção de portadora para transmissão, assim que recebe um pedido de requisição de transmissão da subcamada MAC. A PMD responde à solicitação garantindo que o serviço está disponível e envia um preâmbulo. O preâmbulo permite ao receptor adquirir o sinal sem fio e sincronizar-se com o transmissor;
- **Recepção:** O modo recepção tem início sempre que a PMD se encontra no modo de detecção de portadora e um pacote é detectado. O sinal do pacote para ser detectado deverá possuir uma intensidade de potência mínima de 85 dBm e seu preâmbulo ser considerado válido, para então o processo de verificação de cabeçalho ser iniciado. A verificação do tamanho do pacote é executada através de um contador de *bytes* que é comparado a um campo deste pacote, o qual contém a informação do seu tamanho. Assim, a PLCP pode notificar a subcamada MAC do fim do pacote, e o processo de recebimento é concluído;

Figura 10 – Pilha de protocolo com as técnicas de transmissão



Fonte: [32]

### 2.3.2 Técnicas de transmissão

Os protocolos usados por todas as variantes do 802, inclusive a Ethernet, têm características comuns em sua composição. O padrão 802.17 especifica três técnicas de transmissão permitidas na camada física.

O método de infravermelho utiliza quase a mesma tecnologia que os controles remotos dos televisores. Os outros dois métodos empregam rádio de alcance limitado, utilizando técnicas chamadas FHSS e DSSS. Ambas utilizam uma parte do espectro que não exige licenciamento (a banda ISM de 2,4 GHz). Os dispositivos de abertura de portas de garagem controlada por rádio também empregam essa parte do espectro. Os telefones sem fios e os fornos de micro-ondas também utilizam essa banda. Todas essas técnicas operam a 1 ou 2 Mbps e com baixa potência, suficiente para evitar muitos conflitos.

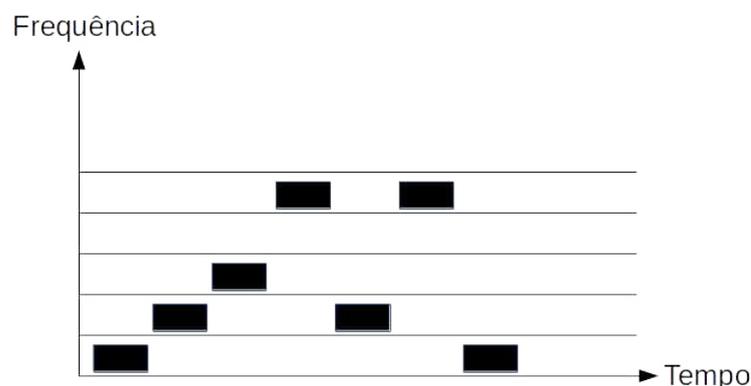
Em 1999, foram apresentadas duas novas técnicas para alcançar maior largura de banda. Essas técnicas são chamadas OFDM e HR-DSSS. Elas operam em até 54 Mbps e 11 Mbps, respectivamente [32]. A Figura 10 mostra essas diferentes técnicas na pilha de protocolos.

#### 2.3.2.1 FHSS - *Frequency Hopping Spread Spectrum*

O FHSS é uma técnica que utiliza como meio de transmissão o rádio de alcance limitado, operando na banda ISM (*Industrial Scientific and Medical*) de 2,4 GHz. A banda de frequência é dividida em 79 canais de frequência com 1 MHz de largura, sendo que é gerada uma sequência pseudo randômica destes canais, por onde o sinal é difundido.

É necessário garantir o sincronismo de todas as estações, para que elas mudem

Figura 11 – Transmissão FHSS



Fonte: Autor

para as mesmas frequências de forma simultânea, utilizando igualmente os canais da sequência. Isso pode ser assegurado com a utilização de um mesmo gerador de números pseudoaleatórios. Em um determinado momento, um canal desta sequência é utilizado por curto período de tempo para transmissão dos dados. Com o sincronismo entre receptor e o transmissor, considerando que a série de canais deste é conhecida pelo receptor, a informação será totalmente recuperada, fornecendo, além disso, maior segurança, já que um intruso não poderá espionar as transmissões se não conhecer a sequência de saltos ou o tempo de parada.

Esta camada provê operações em 1 Mbps, com 2 Mbps opcional. A versão de 1 Mbps utiliza 2 (dois) níveis da modulação GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*), e a de 2 Mbps utiliza 4 (quatro) níveis da mesma modulação. O FHSS também é razoavelmente insensível à interferência de rádio, e tem como principal desvantagem sua baixa largura de banda [32]. Podemos verificar na Figura 11, uma esquematização da transmissão FHSS:

### 2.3.2.2 DSSS – *Direct Sequence Spread Spectrum*

Nesta técnica, cada bit a ser transmitido é codificado com um padrão redundante chamado um CHIP, e os bits codificados são estendidos através da banda inteira de frequência disponível. O código *Chipping* usado na transmissão é conhecido somente nas estações transmissoras e receptoras, tornando difícil para um intruso interceptar e decifrar os dados codificados no sistema sem fio, desta maneira. O padrão redundante também torna possível recuperar os dados sem retransmissão, isto se um ou mais bits são danificados ou perdidos durante a transmissão. Por este motivo, esta tecnologia atualmente é a mais usada nas redes que utilizam o padrão IEEE 802.11.

A técnica DSSS distribui o sinal em cima de uma gama extensiva da faixa de

frequência e reorganiza os pacotes no receptor. Para suportar ambientes onde o ruído pode ser elevado em determinados momentos, a especificação IEEE 802.11b determina a troca da taxa de transmissão, dinamicamente, dependendo das condições do sinal, sendo essa troca transparente às camadas superiores do protocolo. As velocidades possíveis são: 2 Mbps e 1Mbps [25].

### 2.3.2.3 HR-DSSS - *High Rate Direct Sequence Spread Spectrum*

Esta técnica é uma extensão da DSSS com modificações para aumentar a velocidade de transmissão. Ela utiliza 11 milhões de chips/s para alcançar 11 Mbps na banda de 2,4 GHz. As taxas de dados admitidas são 1, 2, 5 e 11 Mbps e podem ser adaptadas dinamicamente durante a operação, para alcançar a velocidade ideal sob condições de carga e ruído. Para aumentar a taxa de transferência, a especificação IEEE 802.11b mudou a técnica de codificação de *Barker Sequence* para uma denominada CCK (*Complementary Code Keying*). Esta nova codificação consiste de um conjunto de 64 palavras de 8 bits. Esse conjunto de palavras tem propriedades matemáticas únicas, as quais permitem que haja uma distinção entre elas, mesmo com a presença de ruído. Esta técnica é a utilizada pelo padrão 802.11b e, embora seja mais lenta que o padrão 802.11a, seu alcance é sete vezes maior[33].

### 2.3.2.4 OFDM – *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*

Essa técnica é uma forma de espectro de dispersão, pois as transmissões estão presentes em várias frequências ao mesmo tempo. Dentre as principais vantagens da divisão do sinal em muitas bandas estreitas, em contraposição ao uso de uma única banda larga, está a maior imunidade à interferência de banda estreita e a possibilidade de utilizar bandas não contíguas.

O sistema de codificação é complexo e se baseia na modulação por deslocamento de fase. A técnica tem boa eficiência de espectro em termos de bits/Hz e maior imunidade ao esmaecimento de vários caminhos.

OFDM é uma tecnologia comprovada e provê uma alta eficiência espectral, proteção contra interferência de RF e redução das distorções por multipercurso, encontrados dentro do ambiente empregado. O OFDM, às vezes é chamado de modulação multiportadora ou DMT (*Discrete MultiTone*), onde se trabalham com múltiplas portadoras de baixa potência, por esta razão foi à técnica escolhida para implementação em diversos países para instalação dos sistemas de TV Digital e também numa base principal largamente empregada nos sistemas de transmissão de dados que utilizam a tecnologia ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*).

É utilizada para codificar uma string de dados da rede sem fio, operando na banda ISM (*Industrial Scientific and Medical*) de 5 GHz e acima de 11 GHz em redes de 2,4 GHz,

permitindo transmitir até a velocidade de 54 Mbps. Para se transmitir um grande volume de informações, o canal de transmissão é dividido em vários subcanais, cada um com uma portadora independente.

Na sua forma de implementação, o OFDM é chamado de COFDM (*coded* OFDM). O COFDM quebra uma portadora de dados de alta velocidade em várias portadoras de velocidades menores, e todas transmitem em paralelo.

## 3 Padrão de Comunicação sem fio veicular IEEE 802.11p

O padrão IEEE 802.11p é uma extensão/emenda da família de protocolos IEEE 802.11. Ele foi criado baseado na emenda 'a' do IEEE 802.11, porém, opera na faixa DSRC de 5,9 GHz. Tem como principal objetivo de dar suporte a aplicações SIT (Sistemas Inteligentes de Transporte)[34], isso inclui troca de dados entre veículos em alta velocidade e entre veículos e a infraestrutura na banda licenciada. Possibilitando enviar dados a 6, 12 e 24 Mbps obrigatoriamente, enquanto 9, 18, 36, 48 e 54 Mbps são opcionais.

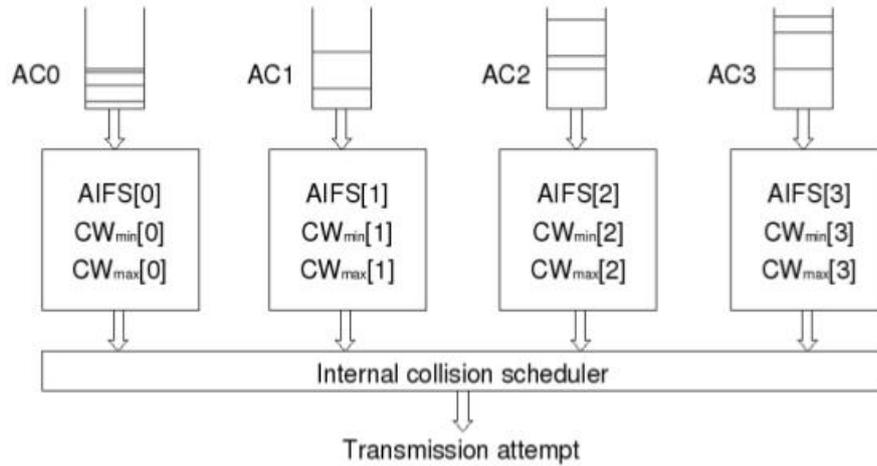
### 3.1 WAVE BSS

A extensão IEEE 802.11p facilita a entrada de um nó em um BSS (Basic Service Set), sabendo-se da agilidade dos nós, nas redes veiculares. Nesse padrão, uma estação em modo WAVE pode transmitir e receber quadros de dados com o BSSID coringa, sem a necessidade de estar associada a um BSS. Assim, podem ser enviadas mensagens urgentes no canal de controle CCH. As aplicações que requerem o envio de mensagens urgentes podem gastar um tempo excessivo com a associação a um BSS no IEEE 802.11 original. Por exemplo, o tempo entre a entrada em contato e a perda de sinal entre um carro e uma RSU instalada em um poste pode ser por volta de uma dezena de segundos. Nesse caso, os poucos segundos que normalmente são necessários para uma estação se associar a um ponto de acesso no protocolo IEEE 802.11 podem ser excessivos, comparados ao tempo total disponível para a comunicação, como mostrado em experimentos descritos em [35].

O padrão IEEE 802.11p define um novo tipo de BSS, o WAVE BSS (*WAVE Basic Service Set*), para reduzir o tempo de associação. Uma estação (RSU ou OBU) cria uma WBSS apenas enviando um quadro de anúncio, que pode ser repetido periodicamente ou não. Esse quadro contém as informações necessárias para que uma estação conheça os serviços oferecidos naquele WBSS e decida por se associar ou não. Caso a estação decida se associar, ela completa o processo de entrada em um WBSS baseada apenas na recepção de um quadro de anúncio.

Os processos de associação e autenticação de entrada em um BSS no IEEE 802.11 original foram eliminados, reduzindo o tempo de início da transmissão de dados. Contudo, é deixado para as camadas superiores o gerenciamento do grupo referente aquele WBSS assim como a implementação de mecanismos de segurança [11].

Figura 12 – Mecanismo de priorização EDCA



Fonte: [36]

## 3.2 WAVE MAC

O padrão IEEE 802.11p se aproveita da técnica de acesso ao meio EDCA proposto no IEEE 802.11e [31], que foi projetado para dar suporte ao QoS priorizado baseado em contenção. O EDCA define quatro ACs, que oferecem suporte para o tráfego de dados com 4 tipos de prioridades. Cada fila de AC funciona como uma estação (STA) DCF independente com a *Enhanced Distributed Channel Access Function* (EDCAF) para lidar com TXOP (*Transmission Opportunities*) usando seus próprios parâmetros EDCA. A Figura 12 ilustra o mecanismo de priorização dentro de cada STA, onde existem quatro filas de transmissão e quatro EDCAFs independentes para diferentes tipos de tráfego. O valor de AIFS para cada AC é indicado por AIFS [AC]. Cada fila CA usa diferentes AIFS, CW min e CW max.

A priorização da transmissão na EDCA é implementada por um novo espaço entre os *frames*/quadros o *Interframe Space* (IFS), ou seja, AIFS, que pode ser considerado como uma extensão do procedimento *backoff* no DCF. Além do espaçamento de SIFS (*Short Interframe Spacing*), PCF *Interframe Space* (PIFS) e do DCF DIFS (*Interframe Space*), novos valores AIFS para diferentes ACs são introduzidos na EDCA [23]. A duração AIFS [AC] é uma duração derivada do valor AIFSN [AC] pela relação em a seguir,

$$AIFS[AC] = AIFSN[AC] \times aSlotTime + aSIFSTime$$

onde AIFSN [AC] é o valor definido por cada protocolo MAC na tabela de parâmetros EDCA, aSlotTime é a duração de um slot de tempo e aSIFSTime é o comprimento do SIFS. ACs diferentes são alocados com diferentes AIFSNs. O AC com o menor AIFS, tem

maior prioridade para acessar o canal. Além disso, diferentes tamanhos de CWmin e CWmax são atribuídos a diferentes ACs. Atribuir um tamanho CW mais curto a uma AC de prioridade alta garante que a AC de maior prioridade tenha mais chances de acessar o canal do que uma AC de baixa prioridade.[37]

Cada estação tem quatro filas AC atuando como quatro estações independentes. Se o canal for detectado ocioso durante a duração do AIFS [x], e se a fila ACx tiver dados atrasados para transmitir, o temporizador de *backoff* para o EDCAF será verificado. Caso contrário, o EDCAF deve tentar iniciar uma sequência de transmissão. Se tiver um valor diferente de zero, o EDCAF deve diminuir o temporizador de *backoff*. No entanto, uma vez que cada STA tem quatro EDCAFs, existe uma probabilidade de que mais de uma fila de AC inicie uma sequência de transmissão ao mesmo tempo. Portanto, uma colisão pode ocorrer dentro de uma única STA. Um programa dentro da STA evitará esse tipo de colisão ao conceder o EDCF-TXOP ao AC de maior prioridade. Ao mesmo tempo, as outras AC em colisão invocarão o procedimento de *backoff* devido à colisão interna e se comportam como se houvesse uma colisão externa no meio sem fio. No entanto, uma STA não define o bit de repetição nos cabeçalhos MAC das filas de baixa prioridade para colisões internas. Uma colisão externa ocorre quando mais de uma AC é garantida para a *Transmission Opportunities* TXOPs por STAs diferentes. Como não há prioridade entre STAs, elas tem que competir por acesso de canal com iguais oportunidades [37].

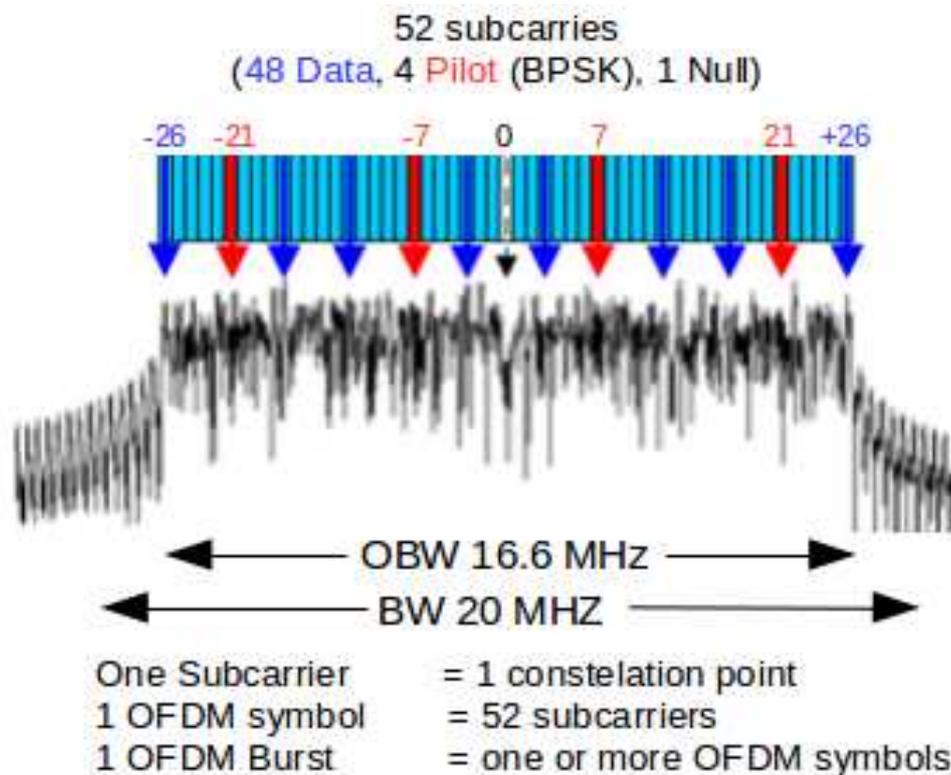
### 3.3 WAVE PHY

Essa camada funciona na faixa de 5.850 a 5.925 GHz, com um espaçamento de canal igual a 20 MHz, 10 MHz e 5 MHz de acordo com os requerimentos de funcionamento no EUA e Europa. Utiliza os mecanismos inicialmente fornecidos pelo IEEE 802.11 para operar no DSRC, que é uma tecnologia de comunicação baseada no IEEE 802.11a para trabalhar na banda de 5,9 GHz nos Estados Unidos ou faixa de 5,8 GHz no Japão e Europa [38]. Trabalha com uma distância máxima de 1 Km a taxas de 3 a 27 Mbps com velocidade veicular de até 260 Km/h [23].

#### 3.3.1 Faixa de Frequência

No IEEE 802.11p, a largura de banda do canal é dividida pela metade para manter a par dos requerimentos das VANETs, resultando em uma largura de banda de 10 MHz em vez de 20 MHz do 802.11a. Além disso, o espaçamento da portadora é reduzido pela metade, normalmente 0.15625 MHz, em comparação com 802.11a que é 0.3125 MHz (Tabela 1). Enquanto a duração do símbolo para o 802.11p é duas vezes maior (8 us), já o do 802.11a (4 us). Isso envolve principalmente a duplicação de todos os parâmetros de temporização OFDM utilizados nas transmissões regulares 802.11a.

Figura 13 – OFDM

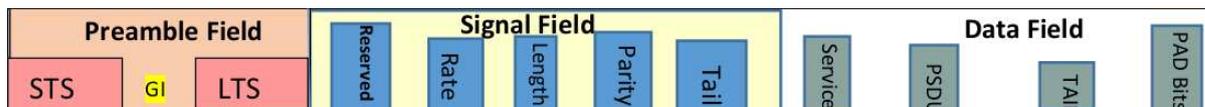


Fonte: [40]

Vários esquemas de modulação são usados para uma transmissão mais eficiente de pacotes. O padrão IEEE 802.11 especifica a disposição das 64 subportadoras fornecidas. 52 subportadoras são utilizadas (dados + *pilot*) às quais são atribuídos números de -26 a 26. Os sinais *pilot* estão incorporados nas subportadoras de -21, -7, 7 e 21 como mostrado na Figura 13. O resto das subportadoras são nulas e alocadas no começo (0), e no meio (27 a 37) para eliminar o efeito das subportadoras nulas nas de dados [39].

As subportadoras são processadas por uma IDFT (*Inverse Discrete Fourier Transform*) de para ser transmitida no domínio do tempo depois de adicionar um prefixo cíclico (CP). O CP é aplicado por prefixo de um símbolo com uma repetição de uma parte de seu fim em sua criação, de modo a servir como um intervalo de proteção para eliminar a interferência entre símbolos, ISI (*Intersymbol interference*) causada pelo símbolo anterior. Além disso, permite que a convolução linear de um canal *multipath* seletivo de frequência seja modelada como convolução circular, que por sua vez se transformou no domínio da frequência usando uma DFT (*Discrete Fourier Transform*). Na unidade receptora, após a sincronização do tempo, o CP é destacado antes do sinal ser desmodulado [41].

Figura 14 – Quadro PPDU



Fonte: [39]

### 3.4 Estrutura da Camada Física

A camada Física é essencialmente responsável pela especificação de hardware, conversão de bits, codificação de sinal e formatação de dados. Essa camada do padrão IEEE 802.11p é semelhante a IEEE 802.11a, que é composto por duas subcamadas como mostrado na Figura 9. A primeira é a camada PLCP (*Physical Layer Convergence Protocol*), que é responsável pela comunicação com a camada superior MAC. É também o ponto onde se transforma os quadros o *Packet Data Unit* (PDU) que chega da camada MAC para formar bits. A segunda subcamada é a *Physical Medium Access* (PMD), que é basicamente a interface do meio de transmissão física, como os canais de rádio e links de fibra óptica. Sua tarefa é gerenciar a codificação de dados e executar a modulação [42], [43]. A Unidade de dados de pacotes de protocolo (PPDU) composta por um campo de preâmbulo, campo de sinal e um campo de dados contendo os dados úteis como mostrado na Figura 14.

O campo do preâmbulo marca o início do quadro. É usado para selecionar a antena apropriada e corrigir a frequência e o *timing offset*, que é o atraso do sinal recebido em relação ao sinal esperado. Um preâmbulo é usado para treinar o VCO (*Voltage Controlled Oscillator*) do receptor para o relógio do sinal de entrada, de modo a produzir um relógio no receptor que está sincronizado com o sinal recebido. Também para obter, as informações do estado do canal CSI (*Channel State Information*), os símbolos OFDM de treinamento ou símbolos *pilot* embutidos em cada símbolo OFDM são utilizados. Os símbolos *pilot* são utilizados para fins de estimativa de canal e correção de erro de transmissão, porque o canal sem fio tem um grande efeito sobre as características do sinal. Podendo alterar a fase e a frequência do sinal de forma a afetar o processo de demodulação. Estes efeitos geralmente são a rotação de fase, a mudança de frequência Doppler, degradação da amplitude e distorção de fase. [39].

Um dos efeitos possíveis é a alteração do local da frequência de algumas subportadoras do OFDM, podendo assim, causar a perda de sinais com características ortogonais. Portanto, no transmissor um símbolo predeterminado é inserido entre as subportadoras para levar/transportar os efeitos do canal, e no receptor é demodulado e então todos os efeitos do canal são calculados e o sinal recebido é corrigido e estimado de acordo com as alterações calculados. O número de *pilots* utilizados em um sistema OFDM depende das

características do canal que o sinal é enviado [41].

A estimativa de canal através do treinamento de símbolos OFDM pode ser suficiente para a detecção de símbolos em caso de canal permanecer constante em vários símbolos OFDM, mas em caso de variação do canal, os símbolos de treinamento OFDM, devem ser retransmitidos com frequência para obter estimativas de canais confiáveis para detecção [44].

Por outro lado, para rastrear o canal que varia rapidamente, os símbolos *pilot* são inseridos em cada símbolo OFDM para facilitar a estimativa do canal. Isso é conhecido como *Pilot-Assisted Channel Estimation*. A principal desvantagem da estimativa do canal assistido por *pilot* está na redução da taxa de transmissão, especialmente quando uma grande quantidade de símbolos *pilot* está inserido em cada símbolo OFDM. Assim, é desejável minimizar o número de símbolos piloto embutidos para evitar a perda de taxa de transmissão excessiva. Geralmente, reduzir e imunizar o sinal a efeitos do canal usando símbolos de treinamento é um mecanismo no domínio do tempo enquanto o *Pilot-Assisted Channel Estimation* é mecanismo no domínio da frequência. Os símbolos de treino usam todas as subportadoras enquanto o *pilot* esta incorporado em algumas subportadoras.

O campo de *Signal* (SIG) é usado para especificar a taxa e o tamanho da informação. Consiste em um símbolo OFDM atribuído a todas as 52 subportadoras. Este símbolo é modulado com BPSK a 6 Mbps e codificado a uma taxa de 1/2. O SIG é intercalado e mapeado e tem pilotos inseridos nas subportadoras -21, -7, 7 e 21. O SIG não é mexido. O campo SIG é composto por 24 bits divididos em cinco subcampos, *LENGTH*, *RATE*, *RESERVED*, *PARAITY* e *TAIL*, como mostra a Figura 14. O campo *RATE* são os primeiros 4 bits que transmitem informações sobre o tipo de modulação e a taxa de codificação utilizada no resto do pacote.

O procedimento de codificação inclui codificação convolucional, *interleaving*, processos de mapeamento de modulação e inserção do *pilot*, enquanto a modulação OFDM é usada para a transmissão de dados a uma taxa específica.

O campo *LENGTH* indica o número de octetos na PSDU (*Physical Layer Service Data Unit*). O bit número 17 no campo de SIG é uma paridade par para o bit 0 - 16. Os últimos 6 bits no campo SIG é o *TAIL*, que é setado como zeros. Desta forma é utilizado para sincronizar o decodificador no receptor, e também usado para retornar o codificador convolucional para o estado zero. O campo de dados destina-se a transportar os dados que são símbolos OFDM [39].

### 3.4.1 Comparativo entre os padrões IEEE 802.11p e 802.11a

A mudança da largura de banda do canal de 20 MHz no padrão IEEE 802.11a para 10 MHz no padrão 802.11p, resulta em diferentes medidas físicas nos domínios da

frequência e do tempo de cada padrão.

Tabela 1 – Especificações gerais do IEEE 802.11a e 802.11p

Parâmetros	IEEE 802.11a	IEEE 802.11p	Mudança
Total de Subportadoras	64	64	-
Total de Subportadoras utilizadas	52	52	-
Subportadoras utilizadas	48	48	-
Portadoras Pilot	4	4	-
Subportadoras nulas	12	12	-
Largura de banda Disponível	20Mhz	10MHz	Metade
Espaço entre Subportadoras	0.3125MHz	0.15625MHz	Metade
Taxa de Codificação	1/2 2/3 3/4	1/2 2/3 3/4	-

Fonte: [39]

Largura de banda de 10 MHz no 802.11p, torna o sinal mais robusto contra o desvanecimento. O modo de 20 MHz, utilizar dois canais com se fossem um, é opcional. O sinal usa um espaçamento de suporte reduzido pela metade em comparação com 802.11a. O comprimento do símbolo é duplicado, tornando o sinal mais robusto contra o desvanecimento.

Tabela 2 – Parâmetros dependentes da modulação

Modulação	Taxa de Codific.	Bits por subport.	Bits codificados por símbolo	Bits de dados por símbolo	Taxa de dados 802.11a em Mbps	Taxa de dados 802.11p em Mbps
BPSK	1/2	1	48	24	6	3
BPSK	3/4	1	48	36	9	4,5
QPSK	1/2	2	96	48	12	6
QPSK	3/4	2	96	72	18	9
16QAM	1/2	4	192	96	24	12
16QAM	3/4	4	192	144	36	18
64QAM	2/3	6	288	192	48	24
64QAM	3/4	6	288	216	54	27

Fonte: [39]

Então nota-se que para os mesmos parâmetros de modulação e taxa de codificação, a camada física do padrão IEEE 802.11a atinge uma taxa de dados duas vezes maior que a camada física do padrão IEEE 802.11p (Tabela 2)

## 3.5 Desafios do Canal

As redes WAVE têm um grupo de desafios técnicos não encontrado em outras redes sem fio. Um deles é o uso da tecnologia WAVE na prevenção de colisões entre veículos em altas velocidades, que eleva a mobilidade, impactando diretamente na qualidade da comunicação. Fundamentalmente, as redes WAVE devem ser extremamente robustas e de rápida resposta, porque sua falha pode causar a perda de vidas.

Além disso, algumas mensagens transmitidas em uma rede WAVE tem exigências de latência restritas e uma decisão baseada em informações atrasadas pode ser bastante prejudicial. O IEEE definiu que a latência para aplicações de segurança no VANET deve ser 50 ms e não excede 100 ms, no entanto, para outras aplicações, mais de 100 ms é aceitável [45]. Para superar esses desafios, a camada PHY deve ser robusta, escalável, confiável, ter baixa latência e relação sinal ruído mínima.

Devido à mobilidade de nós e variação no ambiente de transmissão, tais como urbanos, desertos, florestas e estradas, a PHY pode executar transmissão dentro de canais variáveis, porque areia, poeira, chuva e outros fatores ambientais podem afetar diretamente o processo de transmissão. Além disso, múltiplos fatores técnicos como codificação, modulação, tamanho do quadro, taxa de dados e número de subportadoras não utilizadas, tem uma enorme influência no desempenho da camada PHY [39].

## 4 Testes de Campo

As Redes Veiculares impõem uma série de barreiras a análise de desempenho e viabilidade dos nós, uma vez que o ambiente veicular envolve dinâmicas específicas e diferentes das comunicações convencionais. Através de testes práticos podemos perceber quais aplicações se adaptam as condições dessa rede e o que é necessário mudar para permitir a comunicação e o funcionamento de mais aplicações nesses ambientes. As importantes características que influenciam grandemente o desempenho dessas aplicações são: o tempo de contato entre os veículos, o tempo de adaptação ou reação dos algoritmos, tipo conexão das placas de rede, bem como a velocidade do barramento.

Neste trabalho define-se como tempo de contato como o intervalo entre o primeiro e o último pacote de dados recebido, esse contato é relativamente curto, quando os nós estão em sentidos opostos e longo, quando os nós estão no mesmo sentido de deslocamento. A velocidade dos nós pode ser relativa ou absoluta, quando um ou os dois nós estão em movimento, podendo ser no mesmo sentido ou em sentidos opostos. O desempenho é avaliado de acordo com a quantidade de dados transferidos nesse tempo de contato. Uma maneira de aumentar a taxa de vazão de dados é demonstrada por [46], que utiliza antenas MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) que podem aperfeiçoar o desempenho de rede sem fio.

Os testes escolhidos para avaliar a rede foi baseado em [10], que testa a capacidade da rede sem fio com a tecnologia 802.11g a 2,4 GHz. O objetivo deste teste é refazer essas análises com uma tecnologia de frequência mais próxima dos padrões das redes veiculares, IEEE 802.11a na faixa de 5,8 GHz e avaliar a viabilidade das redes veiculares para aplicações comuns, ou seja, verificar se a taxa de transferência obtida satisfaz os requisitos do padrão IEEE 802.11p. A análise será feita com base na vazão de dados e velocidade dos veículos. A plataforma de teste é composta de dois computadores portáteis, um *Access Pointer* e dois carros. Os dispositivos são:

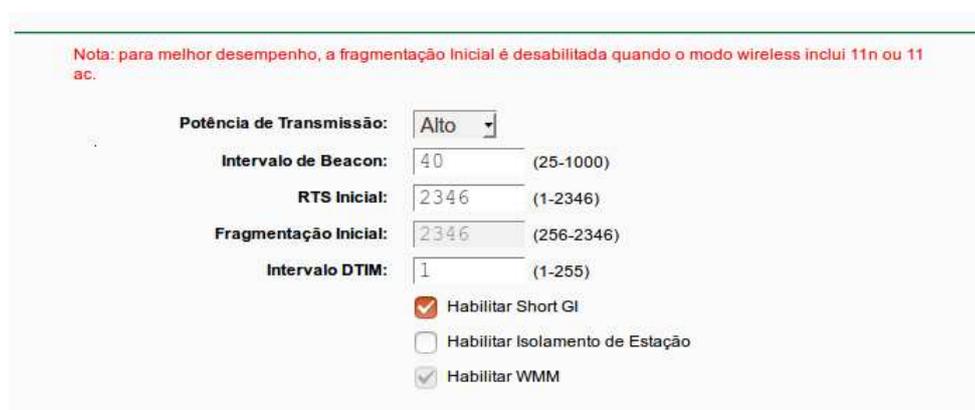
- Computador 1: Asus K45A com *Intel*® *Core*™ *i5-3210M*, placa Con., Ltd *RTL8111/8168/8411 PCI Express Gigabit Ethernet Controller*. Com sistema Operacional Linux 4.4.0-97-generic x86\_64 Ubuntu;
- Computador 2: Lenovo V310 *Intel*® *Core*™ *i3-6100U*; Adaptador de Rede *Qualcomm Atheros QCA9377 Wireless Network Adapter*. Com sistema Operacional Microsoft Windows 10.
- Um AP TP-Link *Archer C20 v1, Roteador Wireless Dual Band AC750, Versão de Firmware:0.9.1 4.0 v0044.0 Build 160815 Rel.34552n.*;

Figura 15 – Configurações básicas do AP



Fonte: Autor

Figura 16 – Configurações avançadas do AP



Fonte: Autor

Figura 17 – AP instalado no carro



Fonte: Autor

O Ap foi configurado como mostra a Figura 15 e 16, de forma a otimizar o tempo de associação ao AP.

Então é instalado na parte superior do carro(Figura 17), o computador 1 é conectado por um cabo Ethernet ao AP, o computador 2 fica dentro do outro carro no colo do passageiro. Para a medição da qualidade do enlace, foi utilizado a ferramenta de geração de tráfego *Iperf* na versão 2.0.5. Para diminuir o tráfego de dados de configuração não provenientes no software, o servidor DHCP foi desativado e o endereço IP das máquinas foi fixado, a segurança *wireless* foi desativada, a largura de banda é de 20 MHz(valor mínimo que o dispositivo pode trabalhar), o canal utilizado é o 165 na faixa de frequência de 5815–5835 MHz, pois esse é o canal de operação do AP, que está mais próximo da faixa de canais do DSRC e por esse mesmo motivo se utilizou a tecnologia 802.11a/n/ac que o dispositivo opera, a sensibilidade de recepção é de  $<-66$  dbm, a potência de transmissão é de  $<23$  dbm [47].

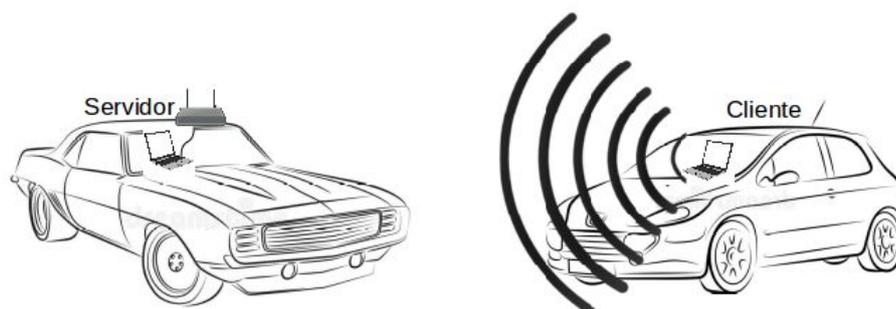
Os testes foram realizados na Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, campus Paulo VI, por um percurso de aproximadamente 500 metros, ver linha vermelha na Figura 18, em um horário sem tráfego de veículos. Não foi detectado nenhuma outra rede IEEE 802.11 que pudesse interferir nos resultados. Foram feitos diversos testes envolvendo várias situações de tráfego. Carros em sentidos contrários em velocidades variando de 15 a 40 Km/h e velocidade relativa de 30 a 80 Km/h, carros no mesmo sentido e mesma velocidade. O computador 1 está conectado, via cabo, ao AP, funcionando como o servidor *Iperf*

Figura 18 – Trecho de Testes



Fonte: Google Maps

Figura 19 – Esquema dos Testes



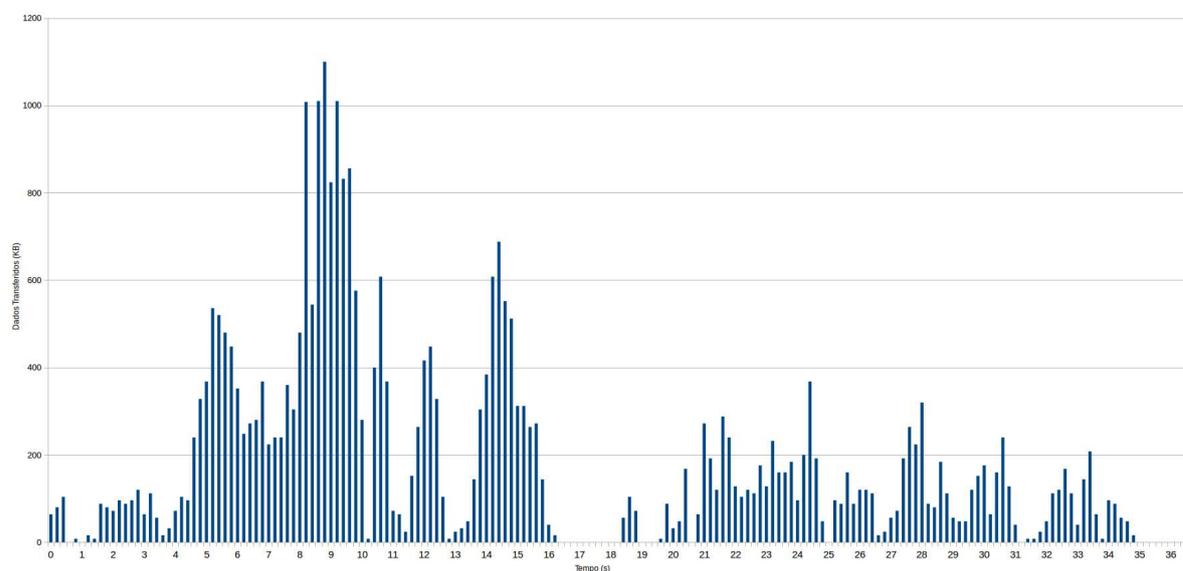
Fonte: Autor

e o computador 2 está como cliente *Iperf*. Nos testes o computador cliente se conecta automaticamente ao servidor, que conta os dados transmitidos a cada 200 milissegundos, com pacotes de 1500 *bytes*, ver esquema na Figura 19.

Os dados coletados configuram uma aproximação da comunicação real entre veículos. Cada situação foi executada uma vez, sendo a métrica de avaliação, a quantidade de dados transferidos nesse tempo. Outras informações podem ser observadas nos dados brutos (Anexo A) como o *Jitter*, largura de banda instantânea e pacotes perdidos a cada 200 ms.

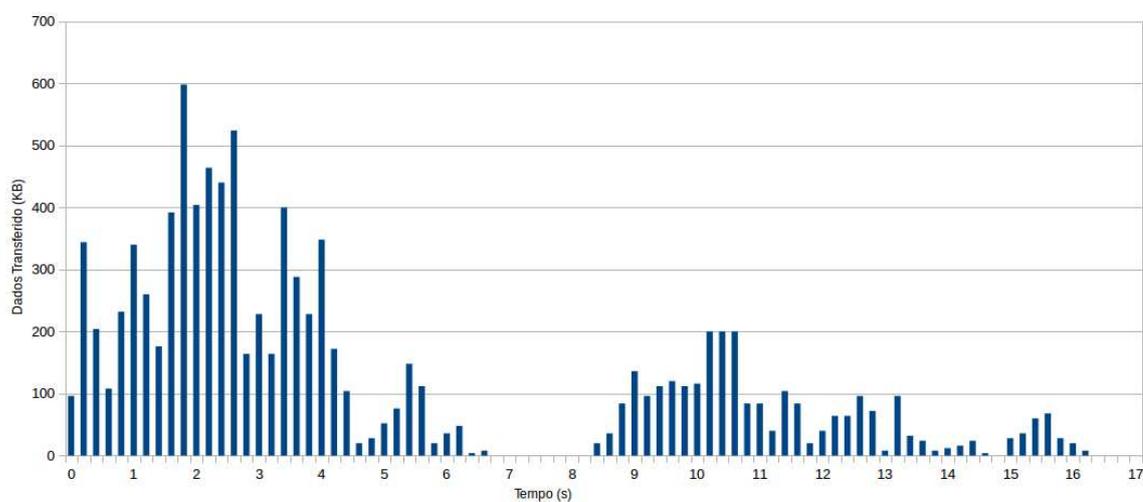
A Figura 20 mostra a quantidade de dados recebidos pelo carro que executa o servidor *Iperf*, quando os dois carros estão a 15 Km/h, o tempo de contato é de aproximadamente 35 segundos com um pico de vazão de 38,2 Mbps e velocidade média de 7,5 Mbps.

Figura 20 – Carros em sentidos opostos a 15 Km/h



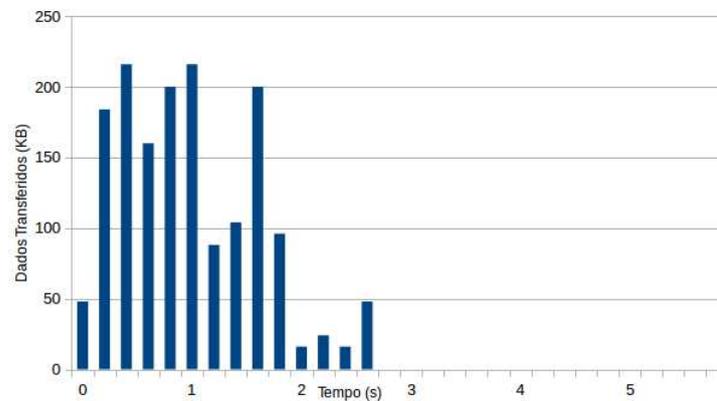
Fonte: Autor

Figura 21 – Carros em sentidos opostos a 30 Km/h



Fonte: Autor

Figura 22 – Carros em sentidos opostos a 40 Km/h

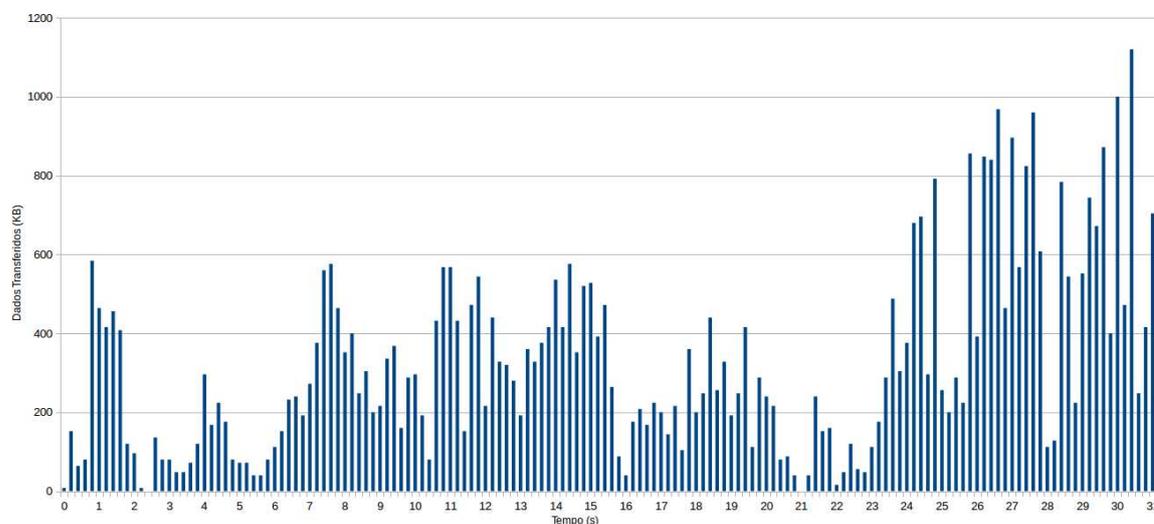


Fonte: Autor

Quando aumentamos a velocidade para 30 Km/h e 40 Km/h temos uma clara diminuição da vazão de dados devido, principalmente, a redução do tempo de contato entre os carros. A 30 Km/h o tempo de contato é de 16 segundos com pico de 19,4 Mbps e velocidade média de 4,9 Mbps. A 40 Km/h o tempo de contato é menos de 3 segundos, o pico chega a 7,8 Mbps com velocidade média de 4,6 Mbps.

Testes com maiores velocidades do veículo foram feitos, mas não geraram dados significativos. Em um outro cenário, em que os carros estão no mesmo sentido, a vazão é claramente maior e mais constante. Com pico de 32,1 Mbps e velocidade média de 13,06 Mbps. A tabela 3 mostra um resumo dos resultados com uma avaliação. A avaliação é baseada na taxa de transferência mínima definida pelo padrão IEEE 802.11p que é de 3 a 27 Mbps. Todos os resultados apresentam taxa de transferência dentro dos padrões estabelecidos pelo padrão IEEE 802.11p, contudo devemos levar em consideração o tempo de contato entre estes nós que pode inviabilizar a transmissão de dados em tempo hábil. No caso de dois veículos em sentidos contrários a 40 Km/h a transmissão só foi iniciada após os carros se cruzarem, o que torna o tempo de contato extremamente curto e informações que deveriam ser entregues antes dos veículos se cruzarem chegam atrasadas. Ou seja, a taxa de transmissão é satisfatória, mas o tempo de início da transmissão é muito lento.

Figura 23 – Carros no mesmo sentido a 20 Km/h



Fonte: Autor

Tabela 3 – Resultados

Situações	Média	Máxima	Resultado
Mesmo Sentido (20 Km/h)	13,06 Mbps	32,1 Mbps	Satisfatório
Sentido Oposto (15 Km/h)	7,5 Mbps	38,2 Mbps	Satisfatório
Sentido Oposto (30 Km/h)	4,9 Mbps	19,4 Mbps	Satisfatório
Sentido Oposto (40 Km/h)	4,6 Mbps	7,8 Mbps	Satisfatório

## 4.1 Tipos de dados gerados no teste

Nos testes são gerados dados quantitativos de vazão, largura de banda, perda e *jitter*, sendo que o protocolo de comunicação utilizado é o UDP, ou seja, os dados fluem do cliente para o servidor sem confirmação de recebimento [48].

- Largura de banda (*Bandwidth*) e *Transfer*: A largura de banda indica a capacidade máxima de transmissão nominal da conexão, enquanto que o *Transfer* trata-se da quantidade de dados transferidos de um ponto a outro no período de 200 ms;
- Perda de pacotes (*Lost/Total*): Trata-se do número de pacotes enviados pelo emissor, mas não recebidos pelo receptor, sendo, geralmente, obtido como um percentual de perda de pacotes na rede. Esse percentual é estimado com base no número total de pacotes perdidos dividido pelo total de pacotes enviados;

- *Jitter*: É obtido com o desvio padrão do atraso de pacotes enviados em sequência. A medição da variação da latência impacta no uso da rede para transferência de grandes volumes de dados, em especial para aplicações que necessitem de alto desempenho em tempo real;

## 4.2 Problemas e Dificuldades

A coleta de dados envolve muita preparação, mas mesmo assim ocorrem erros não previstos, a primeira dificuldade é a falta de equipamento para esse tipo de teste. Então para melhor atender os requisitos necessários para justamente por ser um padrão relativamente novo. O teste foi realizado visando preço e disponibilidade dos equipamentos, feito com equipamentos baratos e disponíveis.

Inicialmente foi pensado em um dispositivo *wifi-usb*(com antena) que funcionava com a tecnologia 802.11a que poderia fazer a ponte entre os dois dispositivos. Em testes foi descoberto que o barramento usb do computador não conseguia disponibilizar velocidades aceitáveis de vazão, provavelmente devido ao *driver*. Os testes com o computador 2 tiveram maior vazão mesmo com o dispositivo dentro do carro, provavelmente por que a placa de rede sem fio do dispositivo está conetada direto no barramento do computador, garantindo velocidade de dados bem superiores.

## 5 Considerações Finais

O estudo das redes veiculares demonstra a maturidade teórica das normas técnicas, mas que faltam significativos avanços em testes prático de desempenho destes protocolos. Uma vez que a maioria dos trabalhos aborda o desempenho da rede com base exclusivamente em simulações. Simulações estas que podem refletir aspectos reais do ambiente, contudo o ambiente veicular envolver uma grande gama de possibilidades de topologia e ambientes, o que torna o desenvolvimento e a escolha do simulador, extremamente difícil, como demonstrado em [8]. Pois não é possível prever o comportamento da rede sob determinadas condições. Testes de campo dos mais variados contribuem para a elaboração de modelos empíricos matemáticos que simulem a rede de forma fidedigna.

O teste desenvolvido não usa o protocolo de comunicação IEEE 802.11p, mas sim o protocolo de operação do equipamento, IEEE 802.11a/n/ac visando: analisar o desempenho desses dispositivos de acordo com as exigências dos padrões de comunicação veicular, observar os fatores que impactam de forma negativa o desempenho da rede,

No teste os dados coletados demonstram uma clara relação entre vazão de dados e velocidade relativa dos nós, uma vez que carros trafegando no mesmo sentido, possuem maior vazão, apesar da instabilidade na taxa de transmissão, diferentemente de carros que trafegam em sentidos contrários, que além de grande instabilidade devido as rápidas variações do meio, também estão sujeitos a demoras no início da comunicação. As demoras podem ser atribuídas a configurações de associação e sincronização, ponto crucial, pois o tempo de ‘contato’ até a perda completa do sinal é extremamente curta. O objetivo do IEEE 802.11p é justamente agilizar e otimizar as comunicações nesse meio.

Pode-se então afirmar que os mesmos equipamentos utilizados em redes sem fio convencionais podem operar nas redes veiculares no melhor dos casos, que são carros no mesmo sentido e carros em sentidos contrários em baixas velocidades(até 40 Km/h). Contudo em outras situações estes mesmos equipamentos, não demonstram a eficiência exigida nesses ambientes, como carros em sentidos contrários em altas velocidades(mais de 40 Km/h).

Em testes futuros diferentes aspectos de desempenho da rede podem ser avaliados, como por exemplo, as contribuições de ganho da utilização de uma ou múltiplas antenas separadas espacialmente no carro, utilizar placas de redes sem fio que operam a 5,8 GHz conectadas diretamente a antenas externas, diminuindo perdas e aumentando os ganhos. Automatizar os testes através de *scripts* que buscam ativamente o sinal (SSID), se associam e iniciam o programa *Iperf*.

# Referências

- 1 MONTEIRO, S. *Metrópoles em marcha lenta Vol. 68 nº12*. 2014. <<http://portalibre.fgv.br/main.jsp>>. [ acessado em 2017-11-04]. Citado na página 17.
- 2 SUGIYAMA, Y. et al. Traffic jams without bottlenecks—experimental evidence for the physical mechanism of the formation of a jam. *New journal of physics*, IOP Publishing, v. 10, n. 3, p. 033001, 2008. Citado na página 17.
- 3 CASTELAR, A. e. C. F. *Mobilidade Urbana: Desafios e Perspectivas para as Cidades Brasileiras*. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2015. Citado na página 17.
- 4 CINTRA, M. Os custos dos congestionamentos na cidade de são paulo. *Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getulio Vargas FGV-EESP*, Conjuntura econômica, 2013. Citado na página 17.
- 5 CONTADOR, N. O. C. R. *ESTATÍSTICAS DA DOR E DA PERDA DO FUTURO:NOVAS ESTIMATIVAS*. Rio de Janeiro: Fundação Escola Nacional de Seguros – Funenseg, 2015. Citado na página 17.
- 6 SOARES, R.; GALENO, S.; SOARES, A. Simulação de redes veiculares. *Escola Regional de Informática do Piauí ERIPI*, 2016. Citado na página 17.
- 7 WANGHAM, M. S. et al. Segurança em redes veiculares: Inovações e direções futuras. *Minicursos do XIV Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais*, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 20.
- 8 MÜHLBAUER, R. Estudo de simuladores para redes ad hoc veiculares (vanets). *Universidade Federal do ABC. Santo André, Brasil*, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 56.
- 9 EMMELMANN, M.; BOCHOW, B.; KELLUM, C. *Vehicular networking: Automotive applications and beyond*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2010. v. 2. Citado na página 17.
- 10 ALVES, R. d. S. et al. Uma análise experimental da capacidade de redes ad hoc veiculares. *SBrT Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*, p. 8, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 48.
- 11 ALVES, R. d. S. et al. Redes veiculares: Princípios, aplicações e desafios. *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, SBRC*, 2009. Citado 5 vezes nas páginas 20, 24, 25, 29 e 40.
- 12 ZEADALLY, S. et al. Vehicular ad hoc networks (vanets): status, results, and challenges. *Telecommunication Systems*, Springer, v. 50, n. 4, p. 217–241, 2012. Citado 4 vezes nas páginas 20, 21, 22 e 23.
- 13 UCAR, S.; ERGEN, S. C.; OZKASAP, O. Multihop-cluster-based ieee 802.11p and lte hybrid architecture for vanet safety message dissemination. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, v. 65, n. 4, p. 2621–2636, April 2016. ISSN 0018-9545. Citado na página 21.

- 14 BALDESSARI, R. et al. Car-2-car communication consortium-manifesto. *CAR 2 CAR Communication Consortium*, 2007. Citado na página 21.
- 15 AL-SULTAN, S. et al. A comprehensive survey on vehicular ad hoc network. *Journal of network and computer applications*, Elsevier, v. 37, p. 380–392, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 25.
- 16 OLARIU, S.; WEIGLE, M. C. *Vehicular networks: from theory to practice*. [S.l.]: Crc Press, 2009. Citado na página 21.
- 17 BARSKAR, R.; CHAWLA, M. Vehicular ad hoc networks and its applications in diversified fields. *International Journal of Computer Applications*, Foundation of Computer Science, v. 123, n. 10, 2015. Citado na página 22.
- 18 BASAGNI, S. et al. *Mobile Ad Hoc networking: the cutting edge directions*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2013. v. 35. Citado na página 23.
- 19 YIN, J. et al. Performance evaluation of safety applications over dsrc vehicular ad hoc networks. In: ACM. *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks*. [S.l.], 2004. p. 1–9. Citado na página 24.
- 20 SHAH, S. R. C.; ROY, S.; BRUNETTE, W. Standard specification for telecommunications and information exchange between roadside and vehicle systems-5 ghz band dedicated short range communications (dsrc) medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications. *ASTM Std. E2213-03*, 2003. Citado na página 24.
- 21 SUKUVAARA, T. Field measurements of iee 802.11 p based vehicular networking entity. In: IEEE. *Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), 2012 Fourth International Conference on*. [S.l.], 2012. p. 135–139. Citado na página 25.
- 22 IEEE. Ieee standard for information technology– local and metropolitan area networks– specific requirements– part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications amendment 6: Wireless access in vehicular environments. *IEEE Std 802.11p-2010 (Amendment to IEEE Std 802.11-2007 as amended by IEEE Std 802.11k-2008, IEEE Std 802.11r-2008, IEEE Std 802.11y-2008, IEEE Std 802.11n-2009, and IEEE Std 802.11w-2009)*, p. 1–51, July 2010. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 34.
- 23 LI, Y. J. An overview of the dsrc/wave technology. In: SPRINGER. *International Conference on Heterogeneous Networking for Quality, Reliability, Security and Robustness*. [S.l.], 2010. p. 544–558. Citado 3 vezes nas páginas 26, 41 e 42.
- 24 ROCHA, J. W. V. *Redes WLAN de Alta Velocidade II: Recomendações Aplicáveis*. 2006. <[teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeswlanii](http://teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeswlanii)>. [ acessado em 2017-29-12]. Citado na página 27.
- 25 SIRUFO, S. H. *Análise de desempenho de redes IEEE 802.11 b utilizando mecanismos de segurança*. Tese (Doutorado) — PUC-Rio, 2005. Citado 3 vezes nas páginas 28, 35 e 38.
- 26 FOROUZAN, B. A.; MOSHARRAF, F. *Computer networks: a top-down approach*. [S.l.]: McGraw-Hill, 2012. Citado 3 vezes nas páginas 30, 33 e 34.

- 27 VILLELA, B. A. M. *ANÁLISE DA VAZÃO MÁXIMA EM REDES AD HOC*. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.
- 28 DANIELLE, L. F. G. V. *IEEE 802.11*. 2005. <[http://www.ravel.ufrj.br/sites/ravel.ufrj.br/files/publicacoes/tutorial\\_padrao\\_ieee\\_802.11\\_2.pdf](http://www.ravel.ufrj.br/sites/ravel.ufrj.br/files/publicacoes/tutorial_padrao_ieee_802.11_2.pdf)>. [acessado em 2017/06/12]. Citado na página 31.
- 29 LEONARDO, E. J.; SHINODA, A. A. Revisão de protocolos de acesso ao meio em redes ad-hoc sem fio. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, v. 25, n. 2, p. 172–182, 2004. Citado na página 33.
- 30 GTA-UFRJ. *REDES 802-11 (Camada de Enlace)*. 2006. <[https://www.gta.ufrj.br/grad/01\\_2/802-mac/R802\\_11-4.htm](https://www.gta.ufrj.br/grad/01_2/802-mac/R802_11-4.htm)> [acessado em 2017-15-12]. Citado na página 33.
- 31 IEEE. Ieee standard for information technology—local and metropolitan area networks—specific requirements—part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications - amendment 8: Medium access control (mac) quality of service enhancements. *IEEE Std 802.11e-2005 (Amendment to IEEE Std 802.11, 1999 Edition (Reaff 2003))*, p. 1–212, Nov 2005. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 41.
- 32 TANENBAUM, A. S. *Computer networks*, /andrew s. tanenbaum, david j. wetherall. *Cloth: Prentice Hall*, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 37.
- 33 ROCHA, J. W. V. *WLAN de Alta Velocidade I: Protocolos*. 2006. <[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeswlanI/pagina\\_5.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeswlanI/pagina_5.asp)>. [acessado em 2017-30-12]. Citado na página 38.
- 34 EICHLER, S. Performance evaluation of the ieee 802.11 p wave communication standard. In: IEEE. *Vehicular Technology Conference, 2007. VTC-2007 Fall. 2007 IEEE 66th*. [S.l.], 2007. p. 2199–2203. Citado na página 40.
- 35 HADALLER, D. et al. Vehicular opportunistic communication under the microscope. In: ACM. *Proceedings of the 5th international conference on Mobile systems, applications and services*. [S.l.], 2007. p. 206–219. Citado na página 40.
- 36 HAN, C. et al. Analytical study of the ieee 802.11 p mac sublayer in vehicular networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, IEEE, v. 13, n. 2, p. 873–886, 2012. Citado na página 41.
- 37 BILSTRUP, K. et al. Evaluation of the ieee 802.11 p mac method for vehicle-to-vehicle communication. In: IEEE. *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC 2008-Fall. IEEE 68th*. [S.l.], 2008. p. 1–5. Citado na página 42.
- 38 JIANG, D.; DELGROSSI, L. Ieee 802.11 p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments. In: IEEE. *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC Spring 2008. IEEE*. [S.l.], 2008. p. 2036–2040. Citado na página 42.
- 39 ABDELGADER, A.; LENAN, W. The physical layer of the ieee 802.11 p wave communication standard: the specifications and challenges. In: *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*. [S.l.: s.n.], 2014. v. 2, p. 22–24. Citado 5 vezes nas páginas 43, 44, 45, 46 e 47.

- 40 MAGAZINE, F. T. *802.11a OFDM physical parameters*. 2016. <<http://www.my-ftm.com/2016/10/future-electronics-mimo-how-does-802-11benefit-from-multiple-antenna-techniques/>>. [acessado em 2017-12-16]. Citado na página 43.
- 41 OHNO, S.; MANASSEH, E.; NAKAMOTO, M. Preamble and pilot symbol design for channel estimation in ofdm systems with null subcarriers. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Springer, v. 2011, n. 1, p. 2, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 43 e 45.
- 42 MITTAG, J. et al. Enabling accurate cross-layer phy/mac/net simulation studies of vehicular communication networks. *Proceedings of the IEEE*, IEEE, v. 99, n. 7, p. 1311–1326, 2011. Citado na página 44.
- 43 BERNADO, L. et al. Physical layer simulation results for iee 802.11 p using vehicular non-stationary channel model. In: IEEE. *Communications Workshops (ICC), 2010 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2010. p. 1–5. Citado na página 44.
- 44 DENEIRE, L.; GYSELINCKX, B.; ENGELS, M. Training sequence versus cyclic prefix—a new look on single carrier communication. *IEEE Communications Letters*, IEEE, v. 5, n. 7, p. 292–294, 2001. Citado na página 45.
- 45 LI, B. et al. Wireless access for vehicular environments. *Telematics Communication Technologies and Vehicular Networks: Wireless Architectures and Applications*, p. 90–107, 2010. Citado na página 47.
- 46 ABBAS, T.; KAREDAL, J.; TUFVESSON, F. Measurement-based analysis: The effect of complementary antennas and diversity on vehicle-to-vehicle communication. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, IEEE, v. 12, p. 309–312, 2013. Citado na página 48.
- 47 TP-LINK. *Archer C20 Datasheet*. <[https://static.tp-link.com/resources/document/Archer\\_C20\\_V1\\_Datasheet.pdf](https://static.tp-link.com/resources/document/Archer_C20_V1_Datasheet.pdf)>. [acessado em 2017/26/12]. Citado na página 50.
- 48 DINIZ, P. H.; JUNIOR, N. A. Ferramenta iperf: geração e medição de tráfego tcp e udp. *NOTAS TÉCNICAS*, v. 4, n. 2, 2014. Citado na página 54.

# Apêndices

# APÊNDICE A – Dados colhidos em campo

Dados colhidos na Universidade Estadual do Maranhão no dia 11 de novembro de 2017.

## A.1 Carros no mesmo sentido a 20Km/h

Accepted connection from 192.168.0.30, port 49656

[5] local 192.168.0.5 port 5201 connected to 192.168.0.30 port 57460

[ID] Interval Transfer Bandwidth Jitter Lost/Total Datagrams

[5] 0.00-0.20 sec 8.00 KBytes 328 Kbits/sec 7247.894 ms 0/1 (0%)

[5] 0.20-0.40 sec 152 KBytes 6.23 Mbits/sec 2128.768 ms 0/19 (0%)

[5] 0.40-0.60 sec 64.0 KBytes 2.62 Mbits/sec 1280.701 ms 1/9 (11%)

[5] 0.60-0.80 sec 80.0 KBytes 3.28 Mbits/sec 677.655 ms 1/11 (9.1%)

[5] 0.80-1.00 sec 584 KBytes 23.9 Mbits/sec 9.372 ms 1/74 (1.4%)

[5] 1.00-1.20 sec 464 KBytes 19.0 Mbits/sec 3.522 ms 0/58 (0%)

[5] 1.20-1.40 sec 416 KBytes 17.0 Mbits/sec 3.838 ms 0/52 (0%)

[5] 1.40-1.60 sec 456 KBytes 18.7 Mbits/sec 3.825 ms 0/57 (0%)

[5] 1.60-1.80 sec 408 KBytes 16.7 Mbits/sec 5.140 ms 0/51 (0%)

[5] 1.80-2.00 sec 120 KBytes 4.92 Mbits/sec 8.616 ms 0/15 (0%)

[5] 2.00-2.20 sec 96.0 KBytes 3.93 Mbits/sec 10.140 ms 0/12 (0%)

[5] 2.20-2.40 sec 8.00 KBytes 328 Kbits/sec 19.929 ms 0/1 (0%)

[5] 2.40-2.60 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 19.929 ms 0/0 (-nan%)

[5] 2.60-2.80 sec 136 KBytes 5.58 Mbits/sec 19.115 ms 2/19 (11%)

[5] 2.80-3.00 sec 80.0 KBytes 3.28 Mbits/sec 43.919 ms 0/10 (0%)

[5] 3.00-3.20 sec 80.0 KBytes 3.28 Mbits/sec 28.709 ms 0/10 (0%)

[5] 3.20-3.40 sec 48.0 KBytes 1.97 Mbits/sec 27.312 ms 0/6 (0%)

[5] 3.40-3.60 sec 48.0 KBytes 1.97 Mbits/sec 30.634 ms 0/6 (0%)

[5] 3.60-3.80 sec 72.0 KBytes 2.95 Mbits/sec 24.662 ms 0/9 (0%)

[5] 3.80-4.00 sec 120 KBytes 4.92 Mbits/sec 26.953 ms 0/15 (0%)

- [5] 4.00-4.20 sec 296 KBytes 12.1 Mbits/sec 10.333 ms 0/37 (0%)
- [5] 4.20-4.40 sec 168 KBytes 6.88 Mbits/sec 11.735 ms 0/21 (0%)
- [5] 4.40-4.60 sec 224 KBytes 9.18 Mbits/sec 9.302 ms 0/28 (0%)
- [5] 4.60-4.80 sec 176 KBytes 7.21 Mbits/sec 8.410 ms 0/22 (0%)
- [5] 4.80-5.00 sec 80.0 KBytes 3.28 Mbits/sec 9.154 ms 0/10 (0%)
- [5] 5.00-5.20 sec 72.0 KBytes 2.95 Mbits/sec 11.390 ms 0/9 (0%)
- [5] 5.20-5.40 sec 72.0 KBytes 2.95 Mbits/sec 16.807 ms 0/9 (0%)
- [5] 5.40-5.60 sec 40.0 KBytes 1.64 Mbits/sec 20.818 ms 0/5 (0%)
- [5] 5.60-5.80 sec 40.0 KBytes 1.64 Mbits/sec 19.349 ms 0/5 (0%)
- [5] 5.80-6.00 sec 80.0 KBytes 3.28 Mbits/sec 14.627 ms 0/10 (0%)
- [5] 6.00-6.20 sec 112 KBytes 4.59 Mbits/sec 18.854 ms 0/14 (0%)
- [5] 6.20-6.40 sec 152 KBytes 6.23 Mbits/sec 14.370 ms 0/19 (0%)
- [5] 6.40-6.60 sec 232 KBytes 9.50 Mbits/sec 8.747 ms 0/29 (0%)
- [5] 6.60-6.80 sec 240 KBytes 9.83 Mbits/sec 6.998 ms 0/30 (0%)
- [5] 6.80-7.00 sec 192 KBytes 7.86 Mbits/sec 9.291 ms 0/24 (0%)
- [5] 7.00-7.20 sec 272 KBytes 11.1 Mbits/sec 7.811 ms 0/34 (0%)
- [5] 7.20-7.40 sec 376 KBytes 15.4 Mbits/sec 2.187 ms 0/47 (0%)
- [5] 7.40-7.60 sec 560 KBytes 22.9 Mbits/sec 1.336 ms 0/70 (0%)
- [5] 7.60-7.80 sec 576 KBytes 23.6 Mbits/sec 2.221 ms 0/72 (0%)
- [5] 7.80-8.00 sec 464 KBytes 19.0 Mbits/sec 4.627 ms 0/58 (0%)
- [5] 8.00-8.20 sec 352 KBytes 14.4 Mbits/sec 5.408 ms 0/44 (0%)
- [5] 8.20-8.40 sec 400 KBytes 16.4 Mbits/sec 4.750 ms 0/50 (0%)
- [5] 8.40-8.60 sec 248 KBytes 10.2 Mbits/sec 6.381 ms 0/31 (0%)
- [5] 8.60-8.80 sec 304 KBytes 12.5 Mbits/sec 4.377 ms 0/38 (0%)
- [5] 8.80-9.00 sec 200 KBytes 8.19 Mbits/sec 4.861 ms 0/25 (0%)
- [5] 9.00-9.20 sec 216 KBytes 8.85 Mbits/sec 5.713 ms 0/27 (0%)
- [5] 9.20-9.40 sec 336 KBytes 13.8 Mbits/sec 5.249 ms 0/42 (0%)
- [5] 9.40-9.60 sec 368 KBytes 15.1 Mbits/sec 4.970 ms 0/46 (0%)
- [5] 9.60-9.80 sec 160 KBytes 6.55 Mbits/sec 7.810 ms 0/20 (0%)
- [5] 9.80-10.00 sec 288 KBytes 11.8 Mbits/sec 5.509 ms 0/36 (0%)

[5] 10.00-10.20 sec 296 KBytes 12.1 Mbits/sec 2.587 ms 0/37 (0%)  
[5] 10.20-10.29 sec 192 KBytes 18.2 Mbits/sec 3.637 ms 0/24 (0%)  
-----  
[ ID] Interval Transfer Bandwidth Jitter Lost/Total Datagrams  
[5] 0.00-10.29 sec 11.0 MBytes 8.98 Mbits/sec 3.637 ms 5/1408 (0.36%)

---

Server listening on 5201

---

Accepted connection from 192.168.0.30, port 49657

[5] local 192.168.0.5 port 5201 connected to 192.168.0.30 port 57461  
[ ID] Interval Transfer Bandwidth Jitter Lost/Total Datagrams  
[5] 0.00-0.20 sec 80.0 KBytes 3.28 Mbits/sec 4055.631 ms 0/10 (0%)  
[5] 0.20-0.40 sec 432 KBytes 17.7 Mbits/sec 128.120 ms 0/54 (0%)  
[5] 0.40-0.60 sec 568 KBytes 23.3 Mbits/sec 3.165 ms 0/71 (0%)  
[5] 0.60-0.80 sec 568 KBytes 23.3 Mbits/sec 3.475 ms 0/71 (0%)  
[5] 0.80-1.00 sec 432 KBytes 17.7 Mbits/sec 3.352 ms 0/54 (0%)  
[5] 1.00-1.20 sec 152 KBytes 6.22 Mbits/sec 7.209 ms 0/19 (0%)  
[5] 1.20-1.40 sec 472 KBytes 19.3 Mbits/sec 3.607 ms 0/59 (0%)  
[5] 1.40-1.60 sec 544 KBytes 22.3 Mbits/sec 3.593 ms 0/68 (0%)  
[5] 1.60-1.80 sec 216 KBytes 8.85 Mbits/sec 4.622 ms 0/27 (0%)  
[5] 1.80-2.00 sec 440 KBytes 18.0 Mbits/sec 4.057 ms 0/55 (0%)  
[5] 2.00-2.20 sec 328 KBytes 13.4 Mbits/sec 7.102 ms 0/41 (0%)  
[5] 2.20-2.40 sec 320 KBytes 13.1 Mbits/sec 5.363 ms 0/40 (0%)  
[5] 2.40-2.60 sec 280 KBytes 11.5 Mbits/sec 7.841 ms 0/35 (0%)  
[5] 2.60-2.80 sec 192 KBytes 7.86 Mbits/sec 5.373 ms 0/24 (0%)  
[5] 2.80-3.00 sec 360 KBytes 14.7 Mbits/sec 4.151 ms 0/45 (0%)  
[5] 3.00-3.20 sec 328 KBytes 13.4 Mbits/sec 5.354 ms 0/41 (0%)  
[5] 3.20-3.40 sec 376 KBytes 15.4 Mbits/sec 4.644 ms 0/47 (0%)  
[5] 3.40-3.60 sec 416 KBytes 17.0 Mbits/sec 4.144 ms 0/52 (0%)  
[5] 3.60-3.80 sec 536 KBytes 22.0 Mbits/sec 2.444 ms 0/67 (0%)

- [5] 3.80-4.00 sec 416 KBytes 17.0 Mbits/sec 3.279 ms 0/52 (0%)
- [5] 4.00-4.20 sec 576 KBytes 23.6 Mbits/sec 1.578 ms 0/72 (0%)
- [5] 4.20-4.40 sec 352 KBytes 14.4 Mbits/sec 4.744 ms 0/44 (0%)
- [5] 4.40-4.60 sec 520 KBytes 21.3 Mbits/sec 4.021 ms 0/65 (0%)
- [5] 4.60-4.80 sec 528 KBytes 21.6 Mbits/sec 2.437 ms 0/66 (0%)
- [5] 4.80-5.00 sec 392 KBytes 16.1 Mbits/sec 2.772 ms 0/49 (0%)
- [5] 5.00-5.20 sec 472 KBytes 19.3 Mbits/sec 2.949 ms 0/59 (0%)
- [5] 5.20-5.40 sec 264 KBytes 10.8 Mbits/sec 4.194 ms 0/33 (0%)
- [5] 5.40-5.60 sec 88.0 KBytes 3.60 Mbits/sec 8.783 ms 0/11 (0%)
- [5] 5.60-5.80 sec 40.0 KBytes 1.64 Mbits/sec 21.267 ms 1/6 (17%)
- [5] 5.80-6.00 sec 176 KBytes 7.21 Mbits/sec 24.652 ms 0/22 (0%)
- [5] 6.00-6.20 sec 208 KBytes 8.52 Mbits/sec 10.901 ms 0/26 (0%)
- [5] 6.20-6.40 sec 168 KBytes 6.88 Mbits/sec 8.886 ms 0/21 (0%)
- [5] 6.40-6.60 sec 224 KBytes 9.17 Mbits/sec 12.275 ms 0/28 (0%)
- [5] 6.60-6.80 sec 200 KBytes 8.19 Mbits/sec 6.287 ms 0/25 (0%)
- [5] 6.80-7.00 sec 144 KBytes 5.90 Mbits/sec 11.415 ms 0/18 (0%)
- [5] 7.00-7.20 sec 216 KBytes 8.85 Mbits/sec 10.010 ms 0/27 (0%)
- [5] 7.20-7.40 sec 104 KBytes 4.26 Mbits/sec 9.824 ms 0/13 (0%)
- [5] 7.40-7.60 sec 360 KBytes 14.7 Mbits/sec 6.192 ms 0/45 (0%)
- [5] 7.60-7.80 sec 200 KBytes 8.19 Mbits/sec 5.124 ms 0/25 (0%)
- [5] 7.80-8.00 sec 248 KBytes 10.2 Mbits/sec 10.081 ms 0/31 (0%)
- [5] 8.00-8.20 sec 440 KBytes 18.0 Mbits/sec 3.224 ms 0/55 (0%)
- [5] 8.20-8.40 sec 256 KBytes 10.5 Mbits/sec 6.184 ms 0/32 (0%)
- [5] 8.40-8.60 sec 328 KBytes 13.4 Mbits/sec 5.778 ms 0/41 (0%)
- [5] 8.60-8.80 sec 192 KBytes 7.86 Mbits/sec 6.293 ms 0/24 (0%)
- [5] 8.80-9.00 sec 248 KBytes 10.2 Mbits/sec 9.423 ms 0/31 (0%)
- [5] 9.00-9.20 sec 416 KBytes 17.0 Mbits/sec 1.556 ms 0/52 (0%)
- [5] 9.20-9.40 sec 112 KBytes 4.59 Mbits/sec 7.777 ms 0/14 (0%)
- [5] 9.40-9.60 sec 288 KBytes 11.8 Mbits/sec 6.409 ms 0/36 (0%)
- [5] 9.60-9.80 sec 240 KBytes 9.83 Mbits/sec 3.867 ms 0/30 (0%)

```

[5] 9.80-10.00 sec 216 KBytes 8.85 Mbites/sec 7.210 ms 0/27 (0%)
[5] 10.00-10.20 sec 80.0 KBytes 3.28 Mbites/sec 11.248 ms 0/10 (0%)
[5] 10.20-10.40 sec 88.0 KBytes 3.60 Mbites/sec 11.063 ms 0/11 (0%)
[5] 10.40-10.60 sec 40.0 KBytes 1.64 Mbites/sec 20.768 ms 1/6 (17%)
[5] 10.60-10.60 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 20.768 ms 0/0 (-nan%)
-----
[ ID] Interval Transfer Bandwidth Jitter Lost/Total Datagrams
[5] 0.00-10.60 sec 15.5 MBytes 12.3 Mbites/sec 20.768 ms 2/1987 (0.1%)

```

---

Server listening on 5201

---

Accepted connection from 192.168.0.30, port 49658

```

[5] local 192.168.0.5 port 5201 connected to 192.168.0.30 port 57462
[ ID] Interval Transfer Bandwidth Jitter Lost/Total Datagrams
[5] 0.00-0.20 sec 40.0 KBytes 1.64 Mbites/sec 5600.941 ms 0/5 (0%)
[5] 0.20-0.40 sec 240 KBytes 9.83 Mbites/sec 814.086 ms 0/30 (0%)
[5] 0.40-0.60 sec 152 KBytes 6.23 Mbites/sec 245.653 ms 0/19 (0%)
[5] 0.60-0.80 sec 160 KBytes 6.55 Mbites/sec 72.908 ms 0/20 (0%)
[5] 0.80-1.00 sec 16.0 KBytes 655 Kbits/sec 76.582 ms 2/4 (50%)
[5] 1.00-1.20 sec 48.0 KBytes 1.97 Mbites/sec 54.942 ms 0/6 (0%)
[5] 1.20-1.40 sec 120 KBytes 4.92 Mbites/sec 31.466 ms 0/15 (0%)
[5] 1.40-1.60 sec 56.0 KBytes 2.29 Mbites/sec 30.675 ms 0/7 (0%)
[5] 1.60-1.80 sec 48.0 KBytes 1.97 Mbites/sec 34.353 ms 1/7 (14%)
[5] 1.80-2.00 sec 112 KBytes 4.59 Mbites/sec 18.294 ms 0/14 (0%)
[5] 2.00-2.20 sec 176 KBytes 7.21 Mbites/sec 15.538 ms 0/22 (0%)
[5] 2.20-2.40 sec 288 KBytes 11.8 Mbites/sec 6.641 ms 0/36 (0%)
[5] 2.40-2.60 sec 488 KBytes 20.0 Mbites/sec 3.616 ms 0/61 (0%)
[5] 2.60-2.80 sec 304 KBytes 12.5 Mbites/sec 3.984 ms 0/38 (0%)
[5] 2.80-3.00 sec 376 KBytes 15.4 Mbites/sec 4.423 ms 0/47 (0%)
[5] 3.00-3.20 sec 680 KBytes 27.9 Mbites/sec 2.110 ms 0/85 (0%)

```

- [5] 3.20-3.40 sec 696 KBytes 28.5 Mbits/sec 3.215 ms 0/87 (0%)
- [5] 3.40-3.60 sec 296 KBytes 12.1 Mbits/sec 5.232 ms 0/37 (0%)
- [5] 3.60-3.80 sec 792 KBytes 32.4 Mbits/sec 2.184 ms 0/99 (0%)
- [5] 3.80-4.00 sec 256 KBytes 10.5 Mbits/sec 6.648 ms 0/32 (0%)
- [5] 4.00-4.20 sec 200 KBytes 8.19 Mbits/sec 4.309 ms 0/25 (0%)
- [5] 4.20-4.40 sec 288 KBytes 11.8 Mbits/sec 8.218 ms 0/36 (0%)
- [5] 4.40-4.60 sec 224 KBytes 9.17 Mbits/sec 10.050 ms 0/28 (0%)
- [5] 4.60-4.80 sec 856 KBytes 35.1 Mbits/sec 2.019 ms 0/107 (0%)
- [5] 4.80-5.00 sec 392 KBytes 16.1 Mbits/sec 3.707 ms 0/49 (0%)
- [5] 5.00-5.20 sec 848 KBytes 34.7 Mbits/sec 1.999 ms 0/106 (0%)
- [5] 5.20-5.40 sec 840 KBytes 34.4 Mbits/sec 1.996 ms 0/105 (0%)
- [5] 5.40-5.60 sec 968 KBytes 39.7 Mbits/sec 1.959 ms 0/121 (0%)
- [5] 5.60-5.80 sec 464 KBytes 19.0 Mbits/sec 3.310 ms 1/59 (1.7%)
- [5] 5.80-6.00 sec 896 KBytes 36.7 Mbits/sec 2.207 ms 0/112 (0%)
- [5] 6.00-6.20 sec 568 KBytes 23.3 Mbits/sec 3.486 ms 0/71 (0%)
- [5] 6.20-6.40 sec 824 KBytes 33.8 Mbits/sec 2.028 ms 0/103 (0%)
- [5] 6.40-6.60 sec 960 KBytes 39.3 Mbits/sec 1.399 ms 0/120 (0%)
- [5] 6.60-6.80 sec 608 KBytes 24.9 Mbits/sec 5.112 ms 0/76 (0%)
- [5] 6.80-7.00 sec 112 KBytes 4.59 Mbits/sec 9.888 ms 0/14 (0%)
- [5] 7.00-7.20 sec 128 KBytes 5.24 Mbits/sec 14.196 ms 1/17 (5.9%)
- [5] 7.20-7.40 sec 784 KBytes 32.1 Mbits/sec 1.663 ms 0/98 (0%)
- [5] 7.40-7.60 sec 544 KBytes 22.3 Mbits/sec 2.435 ms 0/68 (0%)
- [5] 7.60-7.80 sec 224 KBytes 9.17 Mbits/sec 8.972 ms 0/28 (0%)
- [5] 7.80-8.00 sec 552 KBytes 22.6 Mbits/sec 4.684 ms 0/69 (0%)
- [5] 8.00-8.20 sec 744 KBytes 30.5 Mbits/sec 2.090 ms 0/93 (0%)
- [5] 8.20-8.40 sec 672 KBytes 27.5 Mbits/sec 4.314 ms 0/84 (0%)
- [5] 8.40-8.60 sec 872 KBytes 35.7 Mbits/sec 1.595 ms 0/109 (0%)
- [5] 8.60-8.80 sec 400 KBytes 16.4 Mbits/sec 7.480 ms 0/50 (0%)
- [5] 8.80-9.00 sec 1000 KBytes 41.0 Mbits/sec 1.298 ms 0/125 (0%)
- [5] 9.00-9.20 sec 472 KBytes 19.3 Mbits/sec 3.417 ms 0/59 (0%)

```

[5] 9.20-9.40 sec 1.12 MBytes 46.9 Mbits/sec 1.208 ms 0/143 (0%)
[5] 9.40-9.60 sec 248 KBytes 10.2 Mbits/sec 11.099 ms 0/31 (0%)
[5] 9.60-9.80 sec 416 KBytes 17.0 Mbits/sec 6.824 ms 0/52 (0%)
[5] 9.80-10.00 sec 704 KBytes 28.8 Mbits/sec 3.692 ms 0/88 (0%)
[5] 10.00-10.08 sec 232 KBytes 22.9 Mbits/sec 1.865 ms 0/29 (0%)
-----
[ ID] Interval Transfer Bandwidth Jitter Lost/Total Datagrams
[5] 0.00-10.08 sec 23.0 MBytes 19.2 Mbits/sec 1.865 ms 5/2946 (0.17%)

```

## A.2 Carros em sentidos opostos a 15 Km/h

Testes feitos Server listening on 5201

```

Accepted connection from 192.168.0.30, port 49689
[5] local 192.168.0.5 port 5201 connected to 192.168.0.30 port 60014
[ ID] Interval Transfer Bandwidth Jitter Lost/Total Datagrams
[5] 0.00-0.20 sec 64.0 KBytes 2.62 Mbits/sec 4618.287 ms 0/8 (0%)
[5] 0.20-0.40 sec 80.0 KBytes 3.28 Mbits/sec 2431.296 ms 0/10 (0%)
[5] 0.40-0.60 sec 104 KBytes 4.26 Mbits/sec 1059.346 ms 0/13 (0%)
[5] 0.60-0.80 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 1059.346 ms 0/0 (-nan%)
[5] 0.80-1.00 sec 8.00 KBytes 328 Kbits/sec 1013.428 ms 1/2 (50%)
[5] 1.00-1.20 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 1013.428 ms 0/0 (-nan%)
[5] 1.20-1.40 sec 16.0 KBytes 656 Kbits/sec 913.055 ms 2/4 (50%)
[5] 1.40-1.60 sec 8.00 KBytes 328 Kbits/sec 864.482 ms 1/2 (50%)
[5] 1.60-1.80 sec 88.0 KBytes 3.61 Mbits/sec 435.943 ms 1/12 (8.3%)
[5] 1.80-2.00 sec 80.0 KBytes 3.28 Mbits/sec 271.667 ms 0/10 (0%)
[5] 2.00-2.20 sec 72.0 KBytes 2.95 Mbits/sec 180.640 ms 0/9 (0%)
[5] 2.20-2.40 sec 96.0 KBytes 3.93 Mbits/sec 94.486 ms 0/12 (0%)
[5] 2.40-2.60 sec 88.0 KBytes 3.60 Mbits/sec 55.073 ms 0/11 (0%)
[5] 2.60-2.80 sec 96.0 KBytes 3.93 Mbits/sec 35.866 ms 0/12 (0%)
[5] 2.80-3.00 sec 120 KBytes 4.92 Mbits/sec 25.344 ms 0/15 (0%)

```

- [5] 3.00-3.20 sec 64.0 KBytes 2.62 Mbits/sec 22.556 ms 0/8 (0%)
- [5] 3.20-3.40 sec 112 KBytes 4.59 Mbits/sec 22.240 ms 0/14 (0%)
- [5] 3.40-3.60 sec 56.0 KBytes 2.29 Mbits/sec 22.339 ms 0/7 (0%)
- [5] 3.60-3.80 sec 16.0 KBytes 655 Kbits/sec 31.197 ms 0/2 (0%)
- [5] 3.80-4.00 sec 32.0 KBytes 1.31 Mbits/sec 39.271 ms 2/6 (33%)
- [5] 4.00-4.20 sec 72.0 KBytes 2.95 Mbits/sec 26.504 ms 0/9 (0%)
- [5] 4.20-4.40 sec 104 KBytes 4.26 Mbits/sec 32.964 ms 0/13 (0%)
- [5] 4.40-4.60 sec 96.0 KBytes 3.93 Mbits/sec 27.692 ms 0/12 (0%)
- [5] 4.60-4.80 sec 240 KBytes 9.83 Mbits/sec 12.908 ms 0/30 (0%)
- [5] 4.80-5.00 sec 328 KBytes 13.4 Mbits/sec 3.833 ms 0/41 (0%)
- [5] 5.00-5.20 sec 368 KBytes 15.1 Mbits/sec 4.838 ms 0/46 (0%)
- [5] 5.20-5.40 sec 536 KBytes 22.0 Mbits/sec 1.924 ms 0/67 (0%)
- [5] 5.40-5.60 sec 520 KBytes 21.3 Mbits/sec 3.303 ms 0/65 (0%)
- [5] 5.60-5.80 sec 480 KBytes 19.7 Mbits/sec 3.163 ms 0/60 (0%)
- [5] 5.80-6.00 sec 448 KBytes 18.3 Mbits/sec 3.673 ms 0/56 (0%)
- [5] 6.00-6.20 sec 352 KBytes 14.4 Mbits/sec 5.123 ms 0/44 (0%)
- [5] 6.20-6.40 sec 248 KBytes 10.2 Mbits/sec 7.176 ms 0/31 (0%)
- [5] 6.40-6.60 sec 272 KBytes 11.1 Mbits/sec 3.617 ms 0/34 (0%)
- [5] 6.60-6.80 sec 280 KBytes 11.5 Mbits/sec 3.044 ms 0/35 (0%)
- [5] 6.80-7.00 sec 368 KBytes 15.1 Mbits/sec 1.958 ms 0/46 (0%)
- [5] 7.00-7.20 sec 224 KBytes 9.18 Mbits/sec 5.242 ms 0/28 (0%)
- [5] 7.20-7.40 sec 240 KBytes 9.83 Mbits/sec 5.088 ms 0/30 (0%)
- [5] 7.40-7.60 sec 240 KBytes 9.83 Mbits/sec 5.367 ms 0/30 (0%)
- [5] 7.60-7.80 sec 360 KBytes 14.7 Mbits/sec 3.106 ms 0/45 (0%)
- [5] 7.80-8.00 sec 304 KBytes 12.5 Mbits/sec 4.486 ms 0/38 (0%)
- [5] 8.00-8.20 sec 480 KBytes 19.7 Mbits/sec 1.831 ms 0/60 (0%)
- [5] 8.20-8.40 sec 1008 KBytes 41.3 Mbits/sec 1.730 ms 0/126 (0%)
- [5] 8.40-8.60 sec 544 KBytes 22.3 Mbits/sec 3.849 ms 0/68 (0%)
- [5] 8.60-8.80 sec 1.01 MBytes 42.3 Mbits/sec 1.272 ms 0/129 (0%)
- [5] 8.80-9.00 sec 1.10 MBytes 46.2 Mbits/sec 1.568 ms 0/141 (0%)

```
[5] 9.00-9.20 sec 824 KBytes 33.7 Mbits/sec 2.306 ms 0/103 (0%)
[5] 9.20-9.40 sec 1.01 MBytes 42.3 Mbits/sec 1.425 ms 0/129 (0%)
[5] 9.40-9.60 sec 832 KBytes 34.1 Mbits/sec 1.833 ms 0/104 (0%)
[5] 9.60-9.80 sec 856 KBytes 35.1 Mbits/sec 1.997 ms 0/107 (0%)
[5] 9.80-10.00 sec 576 KBytes 23.6 Mbits/sec 3.100 ms 0/72 (0%)
[5] 10.00-10.09 sec 280 KBytes 25.4 Mbits/sec 2.999 ms 0/35 (0%)
-----
[ ID] Interval Transfer Bandwidth Jitter Lost/Total Datagrams
[5] 0.00-10.09 sec 15.6 MBytes 12.9 Mbits/sec 2.999 ms 7/1991 (0.35%)
```

---

Server listening on 5201

---

Accepted connection from 192.168.0.30, port 49690

```
[5] local 192.168.0.5 port 5201 connected to 192.168.0.30 port 50911
[ ID] Interval Transfer Bandwidth Jitter Lost/Total Datagrams
[5] 0.00-0.20 sec 8.00 KBytes 327 Kbits/sec 7251.231 ms 0/1 (0%)
[5] 0.20-0.40 sec 400 KBytes 16.4 Mbits/sec 291.528 ms 0/50 (0%)
[5] 0.40-0.60 sec 608 KBytes 24.9 Mbits/sec 4.575 ms 0/76 (0%)
[5] 0.60-0.80 sec 368 KBytes 15.1 Mbits/sec 4.944 ms 0/46 (0%)
[5] 0.80-1.00 sec 72.0 KBytes 2.95 Mbits/sec 12.360 ms 0/9 (0%)
[5] 1.00-1.20 sec 64.0 KBytes 2.62 Mbits/sec 14.324 ms 0/8 (0%)
[5] 1.20-1.40 sec 24.0 KBytes 983 Kbits/sec 23.383 ms 0/3 (0%)
[5] 1.40-1.60 sec 152 KBytes 6.23 Mbits/sec 18.813 ms 0/19 (0%)
[5] 1.60-1.80 sec 264 KBytes 10.8 Mbits/sec 9.287 ms 0/33 (0%)
[5] 1.80-2.00 sec 416 KBytes 17.0 Mbits/sec 1.867 ms 0/52 (0%)
[5] 2.00-2.20 sec 448 KBytes 18.3 Mbits/sec 2.807 ms 0/56 (0%)
[5] 2.20-2.40 sec 328 KBytes 13.4 Mbits/sec 4.290 ms 0/41 (0%)
[5] 2.40-2.60 sec 104 KBytes 4.26 Mbits/sec 8.629 ms 0/13 (0%)
[5] 2.60-2.80 sec 8.00 KBytes 328 Kbits/sec 18.994 ms 1/2 (50%)
[5] 2.80-3.00 sec 24.0 KBytes 983 Kbits/sec 26.604 ms 0/3 (0%)
```

- [5] 3.00-3.20 sec 32.0 KBytes 1.31 Mbits/sec 30.166 ms 0/4 (0%)
- [5] 3.20-3.40 sec 48.0 KBytes 1.97 Mbits/sec 30.533 ms 0/6 (0%)
- [5] 3.40-3.60 sec 144 KBytes 5.90 Mbits/sec 35.433 ms 0/18 (0%)
- [5] 3.60-3.80 sec 304 KBytes 12.5 Mbits/sec 10.408 ms 0/38 (0%)
- [5] 3.80-4.00 sec 384 KBytes 15.7 Mbits/sec 3.625 ms 0/48 (0%)
- [5] 4.00-4.20 sec 608 KBytes 24.9 Mbits/sec 2.993 ms 0/76 (0%)
- [5] 4.20-4.40 sec 688 KBytes 28.2 Mbits/sec 2.155 ms 0/86 (0%)
- [5] 4.40-4.60 sec 552 KBytes 22.6 Mbits/sec 3.099 ms 0/69 (0%)
- [5] 4.60-4.80 sec 512 KBytes 21.0 Mbits/sec 3.741 ms 0/64 (0%)
- [5] 4.80-5.00 sec 312 KBytes 12.8 Mbits/sec 5.356 ms 0/39 (0%)
- [5] 5.00-5.20 sec 312 KBytes 12.8 Mbits/sec 3.921 ms 0/39 (0%)
- [5] 5.20-5.40 sec 264 KBytes 10.8 Mbits/sec 5.778 ms 0/33 (0%)
- [5] 5.40-5.60 sec 272 KBytes 11.1 Mbits/sec 5.337 ms 0/34 (0%)
- [5] 5.60-5.80 sec 144 KBytes 5.90 Mbits/sec 6.961 ms 0/18 (0%)
- [5] 5.80-6.00 sec 40.0 KBytes 1.64 Mbits/sec 9.024 ms 0/5 (0%)
- [5] 6.00-6.20 sec 16.0 KBytes 655 Kbits/sec 20.639 ms 0/2 (0%)
- [5] 6.20-6.40 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 20.639 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 6.40-6.60 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 20.639 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 6.60-6.80 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 20.639 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 6.80-7.00 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 20.639 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 7.00-7.20 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 20.639 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 7.20-7.40 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 20.639 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 7.40-7.60 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 20.639 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 7.60-7.80 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 20.639 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 7.80-8.00 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 20.639 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 8.00-8.20 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 20.639 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 8.20-8.40 sec 56.0 KBytes 2.30 Mbits/sec 108.057 ms 7/14 (50%)
- [5] 8.40-8.60 sec 104 KBytes 4.26 Mbits/sec 62.174 ms 0/13 (0%)
- [5] 8.60-8.80 sec 72.0 KBytes 2.95 Mbits/sec 130.196 ms 0/9 (0%)
- [5] 8.80-9.00 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 130.196 ms 0/0 (-nan%)

```

[5] 9.00-9.20 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 130.196 ms 0/0 (-nan%)
[5] 9.20-9.40 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 130.196 ms 0/0 (-nan%)
[5] 9.40-9.60 sec 8.00 KBytes 328 Kbits/sec 172.600 ms 3/4 (75%)
[5] 9.60-9.80 sec 88.0 KBytes 3.60 Mbits/sec 92.050 ms 0/11 (0%)
[5] 9.80-10.00 sec 32.0 KBytes 1.31 Mbits/sec 77.916 ms 0/4 (0%)
[5] 10.00-10.20 sec 48.0 KBytes 1.97 Mbits/sec 61.000 ms 0/6 (0%)
[5] 10.20-10.40 sec 168 KBytes 6.88 Mbits/sec 52.448 ms 0/21 (0%)
[5] 10.40-10.40 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 52.448 ms 0/0 (-nan%)
-----
[ ID] Interval Transfer Bandwidth Jitter Lost/Total Datagrams
[5] 0.00-10.40 sec 8.39 MBytes 6.77 Mbits/sec 52.448 ms 11/1073 (1%)

```

---

Server listening on 5201

---

Accepted connection from 192.168.0.30, port 49691

```

[5] local 192.168.0.5 port 5201 connected to 192.168.0.30 port 50912
[ ID] Interval Transfer Bandwidth Jitter Lost/Total Datagrams
[5] 0.00-0.20 sec 64.0 KBytes 2.62 Mbits/sec 4617.051 ms 0/8 (0%)
[5] 0.20-0.40 sec 272 KBytes 11.1 Mbits/sec 521.648 ms 0/34 (0%)
[5] 0.40-0.60 sec 192 KBytes 7.86 Mbits/sec 113.727 ms 0/24 (0%)
[5] 0.60-0.80 sec 120 KBytes 4.92 Mbits/sec 51.389 ms 0/15 (0%)
[5] 0.80-1.00 sec 288 KBytes 11.8 Mbits/sec 12.198 ms 0/36 (0%)
[5] 1.00-1.20 sec 240 KBytes 9.83 Mbits/sec 5.743 ms 0/30 (0%)
[5] 1.20-1.40 sec 128 KBytes 5.24 Mbits/sec 8.447 ms 0/16 (0%)
[5] 1.40-1.60 sec 104 KBytes 4.26 Mbits/sec 8.426 ms 0/13 (0%)
[5] 1.60-1.80 sec 120 KBytes 4.92 Mbits/sec 8.670 ms 0/15 (0%)
[5] 1.80-2.00 sec 112 KBytes 4.59 Mbits/sec 8.370 ms 0/14 (0%)
[5] 2.00-2.20 sec 176 KBytes 7.21 Mbits/sec 10.005 ms 0/22 (0%)
[5] 2.20-2.40 sec 128 KBytes 5.24 Mbits/sec 6.774 ms 0/16 (0%)
[5] 2.40-2.60 sec 232 KBytes 9.50 Mbits/sec 6.566 ms 0/29 (0%)

```

- [5] 2.60-2.80 sec 160 KBytes 6.55 Mbits/sec 9.231 ms 0/20 (0%)
- [5] 2.80-3.00 sec 160 KBytes 6.55 Mbits/sec 8.679 ms 0/20 (0%)
- [5] 3.00-3.20 sec 184 KBytes 7.54 Mbits/sec 8.512 ms 0/23 (0%)
- [5] 3.20-3.40 sec 96.0 KBytes 3.93 Mbits/sec 14.448 ms 0/12 (0%)
- [5] 3.40-3.60 sec 200 KBytes 8.19 Mbits/sec 14.131 ms 0/25 (0%)
- [5] 3.60-3.80 sec 368 KBytes 15.1 Mbits/sec 2.924 ms 0/46 (0%)
- [5] 3.80-4.00 sec 192 KBytes 7.86 Mbits/sec 5.456 ms 0/24 (0%)
- [5] 4.00-4.20 sec 48.0 KBytes 1.97 Mbits/sec 6.838 ms 0/6 (0%)
- [5] 4.20-4.40 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 6.838 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 4.40-4.60 sec 96.0 KBytes 3.93 Mbits/sec 22.045 ms 2/14 (14%)
- [5] 4.60-4.80 sec 88.0 KBytes 3.60 Mbits/sec 18.379 ms 0/11 (0%)
- [5] 4.80-5.00 sec 160 KBytes 6.56 Mbits/sec 19.806 ms 0/20 (0%)
- [5] 5.00-5.20 sec 88.0 KBytes 3.60 Mbits/sec 16.235 ms 0/11 (0%)
- [5] 5.20-5.40 sec 120 KBytes 4.92 Mbits/sec 12.574 ms 0/15 (0%)
- [5] 5.40-5.60 sec 120 KBytes 4.92 Mbits/sec 14.245 ms 0/15 (0%)
- [5] 5.60-5.80 sec 112 KBytes 4.59 Mbits/sec 15.031 ms 0/14 (0%)
- [5] 5.80-6.00 sec 16.0 KBytes 655 Kbits/sec 16.904 ms 0/2 (0%)
- [5] 6.00-6.20 sec 24.0 KBytes 983 Kbits/sec 31.761 ms 0/3 (0%)
- [5] 6.20-6.40 sec 56.0 KBytes 2.29 Mbits/sec 25.026 ms 2/9 (22%)
- [5] 6.40-6.60 sec 72.0 KBytes 2.95 Mbits/sec 19.926 ms 0/9 (0%)
- [5] 6.60-6.80 sec 192 KBytes 7.87 Mbits/sec 26.490 ms 0/24 (0%)
- [5] 6.80-7.00 sec 264 KBytes 10.8 Mbits/sec 7.796 ms 0/33 (0%)
- [5] 7.00-7.20 sec 224 KBytes 9.18 Mbits/sec 7.789 ms 0/28 (0%)
- [5] 7.20-7.40 sec 320 KBytes 13.1 Mbits/sec 6.029 ms 0/40 (0%)
- [5] 7.40-7.60 sec 88.0 KBytes 3.60 Mbits/sec 9.656 ms 0/11 (0%)
- [5] 7.60-7.80 sec 80.0 KBytes 3.28 Mbits/sec 15.019 ms 0/10 (0%)
- [5] 7.80-8.00 sec 184 KBytes 7.54 Mbits/sec 13.040 ms 0/23 (0%)
- [5] 8.00-8.20 sec 112 KBytes 4.59 Mbits/sec 12.659 ms 0/14 (0%)
- [5] 8.20-8.40 sec 56.0 KBytes 2.29 Mbits/sec 17.549 ms 0/7 (0%)
- [5] 8.40-8.60 sec 48.0 KBytes 1.97 Mbits/sec 19.397 ms 0/6 (0%)

```

[5] 8.60-8.80 sec 48.0 KBytes 1.97 Mbits/sec 21.664 ms 0/6 (0%)
[5] 8.80-9.00 sec 120 KBytes 4.91 Mbits/sec 16.408 ms 0/15 (0%)
[5] 9.00-9.20 sec 152 KBytes 6.23 Mbits/sec 14.977 ms 0/19 (0%)
[5] 9.20-9.40 sec 176 KBytes 7.21 Mbits/sec 9.132 ms 0/22 (0%)
[5] 9.40-9.60 sec 64.0 KBytes 2.62 Mbits/sec 12.614 ms 0/8 (0%)
[5] 9.60-9.80 sec 160 KBytes 6.55 Mbits/sec 9.149 ms 0/20 (0%)
[5] 9.80-10.00 sec 240 KBytes 9.83 Mbits/sec 5.814 ms 0/30 (0%)
[5] 10.00-10.20 sec 128 KBytes 5.24 Mbits/sec 8.415 ms 0/16 (0%)
[5] 10.20-10.40 sec 40.0 KBytes 1.64 Mbits/sec 9.964 ms 0/5 (0%)
[5] 10.40-10.60 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 9.964 ms 0/0 (-nan%)
[5] 10.60-10.80 sec 8.00 KBytes 328 Kbits/sec 39.741 ms 3/4 (75%)
[5] 10.80-11.00 sec 8.00 KBytes 327 Kbits/sec 40.983 ms 0/1 (0%)
[5] 11.00-11.09 sec 24.0 KBytes 2.12 Mbits/sec 45.367 ms 1/4 (25%)
-----
[ ID] Interval Transfer Bandwidth Jitter Lost/Total Datagrams
[5] 0.00-11.09 sec 7.17 MBytes 5.42 Mbits/sec 45.367 ms 8/917 (0.87%)

```

---

Server listening on 5201

---

Accepted connection from 192.168.0.30, port 49692

```

[5] local 192.168.0.5 port 5201 connected to 192.168.0.30 port 53880
[ ID] Interval Transfer Bandwidth Jitter Lost/Total Datagrams
[5] 0.00-0.20 sec 48.0 KBytes 1.97 Mbits/sec 5249.467 ms 0/6 (0%)
[5] 0.20-0.40 sec 112 KBytes 4.59 Mbits/sec 2132.955 ms 0/14 (0%)
[5] 0.40-0.60 sec 120 KBytes 4.92 Mbits/sec 818.749 ms 0/15 (0%)
[5] 0.60-0.80 sec 168 KBytes 6.88 Mbits/sec 218.021 ms 0/21 (0%)
[5] 0.80-1.00 sec 112 KBytes 4.59 Mbits/sec 94.681 ms 0/14 (0%)
[5] 1.00-1.20 sec 40.0 KBytes 1.64 Mbits/sec 80.676 ms 0/5 (0%)
[5] 1.20-1.40 sec 144 KBytes 5.90 Mbits/sec 28.907 ms 0/18 (0%)
[5] 1.40-1.60 sec 208 KBytes 8.52 Mbits/sec 14.078 ms 0/26 (0%)

```

[5] 1.60-1.80 sec 64.0 KBytes 2.62 Mbits/sec 15.723 ms 0/8 (0%)  
 [5] 1.80-2.00 sec 8.00 KBytes 328 Kbits/sec 26.011 ms 0/1 (0%)  
 [5] 2.00-2.20 sec 96.0 KBytes 3.93 Mbits/sec 18.385 ms 0/12 (0%)  
 [5] 2.20-2.40 sec 88.0 KBytes 3.60 Mbits/sec 14.584 ms 0/11 (0%)  
 [5] 2.40-2.60 sec 56.0 KBytes 2.29 Mbits/sec 22.056 ms 0/7 (0%)  
 [5] 2.60-2.80 sec 48.0 KBytes 1.97 Mbits/sec 25.166 ms 0/6 (0%)  
 [5] 2.80-3.00 sec 16.0 KBytes 655 Kbits/sec 26.465 ms 0/2 (0%)  
 [5] 3.00-3.20 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 26.465 ms 0/0 (-nan%)  
 [5] 3.20-3.40 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 26.465 ms 0/0 (-nan%)  
 [5] 3.40-3.60 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 26.465 ms 0/0 (-nan%)  
 [5] 3.60-3.80 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 26.465 ms 0/0 (-nan%)  
 [5] 3.80-4.00 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 26.465 ms 0/0 (-nan%)  
 [5] 4.00-4.20 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 26.465 ms 0/0 (-nan%)

### A.3 Carros em sentidos opostos a 30 Km/h

Testes feitos duas vezes. Server listening on 5201

Accepted connection from 192.168.0.30, port 49700

[5] local 192.168.0.5 port 5201 connected to 192.168.0.30 port 52420

[ ID] Interval Transfer Bandwidth Jitter Lost/Total Datagrams

[5] 0.00-0.20 sec 48.0 KBytes 1.97 Mbits/sec 5248.978 ms 0/6 (0%)  
 [5] 0.20-0.40 sec 184 KBytes 7.54 Mbits/sec 1196.915 ms 0/23 (0%)  
 [5] 0.40-0.60 sec 216 KBytes 8.85 Mbits/sec 217.006 ms 0/27 (0%)  
 [5] 0.60-0.80 sec 160 KBytes 6.55 Mbits/sec 66.803 ms 0/20 (0%)  
 [5] 0.80-1.00 sec 200 KBytes 8.19 Mbits/sec 19.307 ms 0/25 (0%)  
 [5] 1.00-1.20 sec 216 KBytes 8.85 Mbits/sec 9.097 ms 0/27 (0%)  
 [5] 1.20-1.40 sec 88.0 KBytes 3.60 Mbits/sec 10.804 ms 0/11 (0%)  
 [5] 1.40-1.60 sec 104 KBytes 4.26 Mbits/sec 10.201 ms 0/13 (0%)  
 [5] 1.60-1.80 sec 200 KBytes 8.19 Mbits/sec 11.253 ms 0/25 (0%)  
 [5] 1.80-2.00 sec 96.0 KBytes 3.93 Mbits/sec 10.931 ms 0/12 (0%)  
 [5] 2.00-2.20 sec 16.0 KBytes 655 Kbits/sec 20.105 ms 0/2 (0%)

[5] 2.20-2.40 sec 24.0 KBytes 982 Kbits/sec 19.788 ms 0/3 (0%)  
[5] 2.40-2.60 sec 16.0 KBytes 656 Kbits/sec 29.782 ms 1/3 (33%)  
[5] 2.60-2.80 sec 48.0 KBytes 1.97 Mbits/sec 29.826 ms 1/7 (14%)  
[5] 2.80-3.00 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 29.826 ms 0/0 (-nan%)  
[5] 3.00-3.20 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 29.826 ms 0/0 (-nan%)  
[5] 3.20-3.40 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 29.826 ms 0/0 (-nan%)  
[5] 3.40-3.60 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 29.826 ms 0/0 (-nan%)  
[5] 3.60-3.80 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 29.826 ms 0/0 (-nan%)  
Server listening on 5201

---

Accepted connection from 192.168.0.30, port 49705

[5] local 192.168.0.5 port 5201 connected to 192.168.0.30 port 60886  
[ ID] Interval Transfer Bandwidth Jitter Lost/Total Datagrams  
[5] 0.00-0.20 sec 144 KBytes 5.90 Mbits/sec 2420.221 ms 0/18 (0%)  
[5] 0.20-0.40 sec 504 KBytes 20.6 Mbits/sec 44.618 ms 0/63 (0%)  
[5] 0.40-0.60 sec 192 KBytes 7.86 Mbits/sec 15.306 ms 0/24 (0%)  
[5] 0.60-0.80 sec 56.0 KBytes 2.29 Mbits/sec 20.992 ms 0/7 (0%)  
[5] 0.80-1.00 sec 264 KBytes 10.8 Mbits/sec 16.206 ms 0/33 (0%)  
[5] 1.00-1.20 sec 464 KBytes 19.0 Mbits/sec 4.098 ms 0/58 (0%)  
[5] 1.20-1.40 sec 432 KBytes 17.7 Mbits/sec 4.035 ms 0/54 (0%)  
[5] 1.40-1.60 sec 248 KBytes 10.2 Mbits/sec 7.954 ms 0/31 (0%)  
[5] 1.60-1.80 sec 584 KBytes 23.9 Mbits/sec 1.943 ms 0/73 (0%)  
[5] 1.80-2.00 sec 1.10 MBytes 46.2 Mbits/sec 1.323 ms 0/141 (0%)  
[5] 2.00-2.20 sec 792 KBytes 32.4 Mbits/sec 2.131 ms 0/99 (0%)  
[5] 2.20-2.40 sec 904 KBytes 37.0 Mbits/sec 1.704 ms 0/113 (0%)  
[5] 2.40-2.60 sec 864 KBytes 35.4 Mbits/sec 2.152 ms 0/108 (0%)  
[5] 2.60-2.80 sec 1.00 MBytes 41.9 Mbits/sec 1.485 ms 0/128 (0%)  
[5] 2.80-3.00 sec 328 KBytes 13.4 Mbits/sec 6.852 ms 0/41 (0%)  
[5] 3.00-3.20 sec 456 KBytes 18.7 Mbits/sec 4.021 ms 0/57 (0%)  
[5] 3.20-3.40 sec 328 KBytes 13.4 Mbits/sec 6.704 ms 0/41 (0%)

- [5] 3.40-3.60 sec 800 KBytes 32.8 Mbits/sec 2.070 ms 0/100 (0%)
- [5] 3.60-3.80 sec 576 KBytes 23.6 Mbits/sec 3.113 ms 0/72 (0%)
- [5] 3.80-4.00 sec 456 KBytes 18.7 Mbits/sec 3.411 ms 0/57 (0%)
- [5] 4.00-4.20 sec 696 KBytes 28.5 Mbits/sec 1.854 ms 0/87 (0%)
- [5] 4.20-4.40 sec 344 KBytes 14.1 Mbits/sec 5.413 ms 0/43 (0%)
- [5] 4.40-4.60 sec 208 KBytes 8.52 Mbits/sec 7.700 ms 0/26 (0%)
- [5] 4.60-4.80 sec 40.0 KBytes 1.64 Mbits/sec 10.606 ms 0/5 (0%)
- [5] 4.80-5.00 sec 56.0 KBytes 2.29 Mbits/sec 18.942 ms 0/7 (0%)
- [5] 5.00-5.20 sec 104 KBytes 4.26 Mbits/sec 13.215 ms 0/13 (0%)
- [5] 5.20-5.40 sec 152 KBytes 6.23 Mbits/sec 18.274 ms 0/19 (0%)
- [5] 5.40-5.60 sec 296 KBytes 12.1 Mbits/sec 7.663 ms 0/37 (0%)
- [5] 5.60-5.80 sec 224 KBytes 9.18 Mbits/sec 5.559 ms 0/28 (0%)
- [5] 5.80-6.00 sec 40.0 KBytes 1.64 Mbits/sec 10.854 ms 0/5 (0%)
- [5] 6.00-6.20 sec 72.0 KBytes 2.95 Mbits/sec 17.025 ms 0/9 (0%)
- [5] 6.20-6.40 sec 96.0 KBytes 3.93 Mbits/sec 13.875 ms 0/12 (0%)
- [5] 6.40-6.60 sec 8.00 KBytes 328 Kbits/sec 15.359 ms 1/2 (50%)
- [5] 6.60-6.80 sec 16.0 KBytes 655 Kbits/sec 21.588 ms 0/2 (0%)
- [5] 6.80-7.00 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 21.588 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 7.00-7.20 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 21.588 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 7.20-7.40 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 21.588 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 7.40-7.60 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 21.588 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 7.60-7.80 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 21.588 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 7.80-8.00 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 21.588 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 8.00-8.20 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 21.588 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 8.20-8.40 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 21.588 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 8.40-8.60 sec 40.0 KBytes 1.64 Mbits/sec 101.038 ms 3/8 (38%)
- [5] 8.60-8.80 sec 72.0 KBytes 2.95 Mbits/sec 66.219 ms 0/9 (0%)
- [5] 8.80-9.00 sec 168 KBytes 6.88 Mbits/sec 100.855 ms 0/21 (0%)
- [5] 9.00-9.20 sec 272 KBytes 11.1 Mbits/sec 16.965 ms 0/34 (0%)
- [5] 9.20-9.40 sec 192 KBytes 7.86 Mbits/sec 7.928 ms 0/24 (0%)

- [5] 9.40-9.60 sec 224 KBytes 9.18 Mbits/sec 6.702 ms 0/28 (0%)
- [5] 9.60-9.80 sec 240 KBytes 9.83 Mbits/sec 6.663 ms 0/30 (0%)
- [5] 9.80-10.00 sec 224 KBytes 9.18 Mbits/sec 5.498 ms 0/28 (0%)
- [5] 10.00-10.20 sec 232 KBytes 9.50 Mbits/sec 6.623 ms 0/29 (0%)
- [5] 10.20-10.40 sec 400 KBytes 16.4 Mbits/sec 2.449 ms 0/50 (0%)
- [5] 10.40-10.60 sec 400 KBytes 16.4 Mbits/sec 2.049 ms 0/50 (0%)
- [5] 10.60-10.80 sec 400 KBytes 16.4 Mbits/sec 2.294 ms 0/50 (0%)
- [5] 10.80-11.00 sec 168 KBytes 6.88 Mbits/sec 7.028 ms 0/21 (0%)
- [5] 11.00-11.20 sec 168 KBytes 6.88 Mbits/sec 8.647 ms 0/21 (0%)
- [5] 11.20-11.40 sec 80.0 KBytes 3.28 Mbits/sec 11.827 ms 0/10 (0%)
- [5] 11.40-11.60 sec 208 KBytes 8.52 Mbits/sec 13.729 ms 0/26 (0%)
- [5] 11.60-11.80 sec 168 KBytes 6.88 Mbits/sec 8.731 ms 0/21 (0%)
- [5] 11.80-12.00 sec 40.0 KBytes 1.64 Mbits/sec 16.531 ms 0/5 (0%)
- [5] 12.00-12.20 sec 80.0 KBytes 3.28 Mbits/sec 16.021 ms 0/10 (0%)
- [5] 12.20-12.40 sec 128 KBytes 5.24 Mbits/sec 18.273 ms 0/16 (0%)
- [5] 12.40-12.60 sec 128 KBytes 5.24 Mbits/sec 14.639 ms 0/16 (0%)
- [5] 12.60-12.80 sec 192 KBytes 7.86 Mbits/sec 10.793 ms 0/24 (0%)
- [5] 12.80-13.00 sec 144 KBytes 5.90 Mbits/sec 11.030 ms 0/18 (0%)
- [5] 13.00-13.20 sec 16.0 KBytes 655 Kbits/sec 22.408 ms 0/2 (0%)
- [5] 13.20-13.40 sec 192 KBytes 7.86 Mbits/sec 12.323 ms 0/24 (0%)
- [5] 13.40-13.60 sec 64.0 KBytes 2.62 Mbits/sec 22.353 ms 0/8 (0%)
- [5] 13.60-13.80 sec 48.0 KBytes 1.97 Mbits/sec 26.865 ms 0/6 (0%)
- [5] 13.80-14.00 sec 16.0 KBytes 655 Kbits/sec 26.141 ms 0/2 (0%)
- [5] 14.00-14.20 sec 24.0 KBytes 984 Kbits/sec 42.327 ms 0/3 (0%)
- [5] 14.20-14.40 sec 32.0 KBytes 1.31 Mbits/sec 42.382 ms 0/4 (0%)
- [5] 14.40-14.60 sec 48.0 KBytes 1.97 Mbits/sec 37.091 ms 0/6 (0%)
- [5] 14.60-14.80 sec 8.00 KBytes 328 Kbits/sec 40.843 ms 0/1 (0%)
- [5] 14.80-15.00 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 40.843 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 15.00-15.20 sec 56.0 KBytes 2.30 Mbits/sec 47.944 ms 2/9 (22%)
- [5] 15.20-15.40 sec 72.0 KBytes 2.95 Mbits/sec 54.112 ms 0/9 (0%)

[5] 15.40-15.60 sec 120 KBytes 4.92 Mbits/sec 55.331 ms 0/15 (0%)  
 [5] 15.60-15.80 sec 136 KBytes 5.57 Mbits/sec 34.252 ms 0/17 (0%)  
 [5] 15.80-16.00 sec 56.0 KBytes 2.29 Mbits/sec 30.697 ms 1/8 (12%)  
 [5] 16.00-16.20 sec 40.0 KBytes 1.64 Mbits/sec 27.609 ms 0/5 (0%)  
 [5] 16.20-16.40 sec 16.0 KBytes 655 Kbits/sec 30.809 ms 0/2 (0%)  
 [5] 16.40-16.60 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 30.809 ms 0/0 (-nan%)  
 [5] 16.60-16.80 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 30.809 ms 0/0 (-nan%)  
 [5] 16.80-17.00 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 30.809 ms 0/0 (-nan%)  
 [5] 17.00-17.20 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 30.809 ms 0/0 (-nan%)  
 [5] 17.20-17.40 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 30.809 ms 0/0 (-nan%)

## A.4 Carros em sentidos opostas a 40 Km/h

Accepted connection from 192.168.0.30, port 49700

[5] local 192.168.0.5 port 5201 connected to 192.168.0.30 port 52420  
 [ ID] Interval Transfer Bandwidth Jitter Lost/Total Datagrams  
 [5] 0.00-0.20 sec 48.0 KBytes 1.97 Mbits/sec 5248.978 ms 0/6 (0%)  
 [5] 0.20-0.40 sec 184 KBytes 7.54 Mbits/sec 1196.915 ms 0/23 (0%)  
 [5] 0.40-0.60 sec 216 KBytes 8.85 Mbits/sec 217.006 ms 0/27 (0%)  
 [5] 0.60-0.80 sec 160 KBytes 6.55 Mbits/sec 66.803 ms 0/20 (0%)  
 [5] 0.80-1.00 sec 200 KBytes 8.19 Mbits/sec 19.307 ms 0/25 (0%)  
 [5] 1.00-1.20 sec 216 KBytes 8.85 Mbits/sec 9.097 ms 0/27 (0%)  
 [5] 1.20-1.40 sec 88.0 KBytes 3.60 Mbits/sec 10.804 ms 0/11 (0%)  
 [5] 1.40-1.60 sec 104 KBytes 4.26 Mbits/sec 10.201 ms 0/13 (0%)  
 [5] 1.60-1.80 sec 200 KBytes 8.19 Mbits/sec 11.253 ms 0/25 (0%)  
 [5] 1.80-2.00 sec 96.0 KBytes 3.93 Mbits/sec 10.931 ms 0/12 (0%)  
 [5] 2.00-2.20 sec 16.0 KBytes 655 Kbits/sec 20.105 ms 0/2 (0%)  
 [5] 2.20-2.40 sec 24.0 KBytes 982 Kbits/sec 19.788 ms 0/3 (0%)  
 [5] 2.40-2.60 sec 16.0 KBytes 656 Kbits/sec 29.782 ms 1/3 (33%)  
 [5] 2.60-2.80 sec 48.0 KBytes 1.97 Mbits/sec 29.826 ms 1/7 (14%)  
 [5] 2.80-3.00 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 29.826 ms 0/0 (-nan%)

- [5] 3.00-3.20 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 29.826 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 3.20-3.40 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 29.826 ms 0/0 (-nan%)
- [5] 3.40-3.60 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec 29.826 ms 0/0 (-nan%)