



Universidade Federal do Ceará  
Centro de Ciências  
MDCC - Mestrado e Doutorado em Ciência da Computação

**Análise de desempenho de uma aplicação VoIP em redes veiculares**

Dissertação de Mestrado  
Leandro Kravczuk Vieira

Orientador: José Neuman de Souza, PhD.  
Co-Orientador: Joaquim Celestino Júnior, PhD.

Fortaleza - CE  
Novembro – 2011

Leandro Kravczuk Vieira

**Análise de desempenho de uma aplicação VoIP em redes veiculares**

Dissertação de Mestrado submetida ao MDCC - Mestrado e Doutorado em Ciência da Computação da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: José Neuman de Souza, PhD.

Co-Orientador: Joaquim Celestino Júnior, PhD.

Fortaleza - CE

Novembro – 2011

Dedico esta dissertação à  
meus pais, com muito amor  
e carinho.

## **Agradecimentos**

Para alcançarmos nossos objetivos é indispensável dedicação, estudo e renúncia. O momento ideal para avaliarmos se tudo valeu a pena são os resultados conquistados e atingidos.

Nele, concentramos nossas aspirações de crescimento humano e intelectual. Assim como os grandes atletas que ao conquistar o “Ouro Olímpico”, reportam seu pensamento para trás e avaliam que as conquistas dependem de nós, do esforço e da dedicação.

Contudo, nessa trajetória se cheguei até aqui foi com a ajuda, o apoio e os ensinamentos de várias pessoas que participaram desse processo de aprendizagem.

Agradeço inicialmente a Deus pela proteção recebida durante toda minha caminhada vivencial.

Agradeço com amor, carinho e reconhecimento aos meus pais Marlene e Vieira, que sempre estiveram ao meu lado me apoiando e incentivando, como também pelos valores transmitidos para minha formação como ser humano.

Agradeço ao meu professor e orientador José Neuman de Souza, por acreditar e apoiar no desenvolvimento desse trabalho, proporcionado meios para atingir um resultado de qualidade. Pela sua dedicação e, principalmente, paciência em me acompanhar no decorrer de todo o mestrado.

Agradeço ao meu co-orientador Joaquim Celestino Júnior, pelos incentivos e ajuda, acompanhada ainda pelas inúmeras lições de como realizar e desenvolver um trabalho científico.

Aproveito para agradecer de forma carinhosa a professora Rossana Maria de Castro Andrade pelos ensinamentos recebidos, sempre me acompanhando e orientando

na minha trajetória acadêmica. A professora Rossana sempre esteve presente e atenta aos meus percalços e avanços, mas sempre acreditando e confiando na minha superação e crescimento.

Agradeço especialmente ao professor Ricardo José Paiva de Britto Salgueiro da Universidade Federal de Sergipe que sempre esteve presente como educador e incentivador da pesquisa. Não se absteve em nos privilegiar com sua presença e com seus conhecimentos num intercâmbio de cooperação entre as Universidades Federais, para o crescimento e incentivo da pesquisa.

Agradeço profundamente aos professores Joaquim Celestino Junior, Jose Neuman de Souza e Ricardo José Paiva de Britto Salgueiro pela disposição em compor a banca de avaliação de minha dissertação de mestrado. Esse momento proporcionará crescimento, aprendizado e experiências valiosas como o incentivo para pesquisa e sedimentará novas perspectivas no processo do ensino acadêmico.

Agradeço também ao secretário do MDCC Orley Carneiro que me acompanhou no decorrer dos anos do curso, me orientando nas questões burocráticas.

Agradeço a todos os professores do MDCC pelo conhecimento compartilhado e pelo exemplo de dedicação e comprometimento.

Finalmente agradeço aos colegas e pessoas em geral que diretamente ou indiretamente participaram e contribuíram para execução dessa dissertação de mestrado.

Meu muito obrigado a todos.

*Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer.*  
Mahatma Gandhi

## Resumo

As redes veiculares surgiram como um caso particular de redes móveis e passaram a formar um campo específico de pesquisa na área de redes de computadores. Elas têm sido alvo de inúmeras pesquisas científicas nos últimos anos, cujo principal foco é o desenvolvimento do Sistema Inteligente de Transporte. Além disso, dado que os automóveis são cada vez mais importantes na vida das pessoas, embarcar softwares inteligentes em seus carros pode melhorar substancialmente a qualidade de vida dos usuários. Esse fato, somado à significativa demanda do mercado por mais confiabilidade, segurança e entretenimento nos veículos, levou ao desenvolvimento e suporte significantes para as redes veiculares e suas aplicações. Dentre estas aplicações pode-se citar a utilização do VoIP. Entretanto, os aplicativos VoIP sofrem com problemas de atraso, perda de pacotes e *jitter*. Estes desafios técnicos se agravam ainda mais quando utilizado em redes sem fio. Um fator que influencia diretamente a utilização de uma aplicação em redes em fio é o protocolo de roteamento. O roteamento é uma tarefa desafiadora devido à alta mobilidade dos nós, à instabilidade dos enlaces sem-fio e a diversidade de cenários. Por essa razão, diversos protocolos de roteamento foram projetados com o objetivo de solucionar um ou mais problemas específicos de cada cenário. Entretanto, apesar de existirem várias soluções propostas para o problema do roteamento em redes veiculares, nenhuma solução geral foi encontrada, ou seja, nenhum protocolo proposto obteve desempenho considerável nos diversos cenários existentes nas redes veiculares. Sendo assim, nesta dissertação, analisamos através de simulações o impacto da densidade, do alcance de transmissão, da mobilidade e do tipo de protocolo de roteamento no desempenho de uma aplicação VoIP nos cenários urbano e de rodovia em redes veiculares.

**Palavras chave:** Redes Veiculares; VoIP; Análise de Desempenho.

## ***Abstract***

*Vehicular networks have emerged as a particular case of mobile networks and then became a specific field of research in computer networks. They have been the subject of numerous scientific research in recent years, whose main focus is the development of Intelligent Transport System. Furthermore, given that cars are increasingly important in people's lives, smart board software in their cars can substantially improve the quality of life of users. This fact and the significant market demand for more reliability, security and entertainment in vehicles, has led to significant development and support for vehicular networks and their applications. Among these applications we can mention the use of VoIP, however, VoIP applications suffer from problems of delay, packet loss and jitter. These technical challenges are further aggravated when used in wireless networks. One factor that directly influences the use of an application in wireless networks is the routing protocol. Routing is a challenging task due to the high node mobility, the instability of wireless links and the diversity of scenarios. For this reason, several routing protocols have been designed with the goal of solving one or more specific problems of each scenario. However, although there are several proposed solutions to the problem routing in vehicular networks, no general solution was found, in other words, any proposed protocol obtained considerable performance in the various scenarios that exist in vehicular networks. Thus, in this paper, we analyze through simulations the impact of density, of the reach of transmission, the mobility and the type of routing protocol on the performance of a VoIP application in urban and highway scenarios of vehicular networks.*

**Keywords:** *Vehicular Networks; VoIP; Performance Analysis.*



# Sumário

Lista de Figuras .....	11
Lista de Tabelas .....	13
1 Introdução.....	16
1.1 Contexto.....	16
1.2 Motivação .....	18
1.3 Objetivo e a Metodologia .....	19
1.4 Estrutura da dissertação .....	21
2 Redes veiculares .....	23
2.1 Características Principais.....	23
2.1.1 Arquitetura .....	24
2.1.2 Recursos.....	25
2.1.3 Mobilidade dos Nós.....	25
2.1.4 Dinamicidade da Rede .....	27
2.1.5 Conectividade da Rede .....	28
2.1.6 Cenários .....	30
2.2 Aplicações.....	31
2.2.1 Aplicações de Segurança .....	31
2.2.2 Aplicações de Conforto .....	33
2.3 Padrão WAVE.....	35
3 VoIP .....	38
3.1 Visão geral sobre o VoIP.....	38
3.1.1 Digitalização de sinais analógicos.....	38
3.1.2 <i>Codecs</i> para VoIP .....	42
3.1.3 Requisitos da camada de transporte para <i>VoIP</i> .....	43
3.2 Qualidade de serviço em VoIP .....	49
3.2.1 Atraso.....	49
3.2.2 <i>Jitter</i> .....	53
3.2.3 Perda de pacotes .....	54
3.2.4 Banda .....	54
3.3 E-Model.....	57
3.3.1 Visão geral sobre o <i>E-Model</i> .....	57
3.3.2 Relação sinal-ruído básica, <i>Ro</i> .....	58
3.3.3 Perdas simultâneas, <i>Is</i> .....	58
3.3.4 Fator de Vantagem, <i>A</i> .....	59
3.3.5 Perdas com atraso, <i>Id</i> .....	59
3.3.6 Deterioração com equipamentos, <i>Ie</i> .....	62
4 Roteamento em Redes Veiculares .....	63
4.1 Histórico .....	63
4.2 Características Principais.....	66

4.3	Protocolos de Roteamento .....	68
4.3.1	DSDV.....	70
4.3.2	AODV .....	71
4.3.3	A-DYMO .....	73
5	Modelo de Mobilidade .....	78
5.1	Simulação de Tráfego.....	78
5.2	Modelo de Mobilidade .....	79
5.3	Simuladores de Mobilidade .....	82
5.3.1	<i>Simulation of Urban MObility (SUMO)</i> .....	82
5.3.2	<i>INter-VEhicular Network Technologies (INVENT)</i> .....	83
6	Análise das Simulações.....	84
6.1	Ambiente de Simulação.....	85
6.1.1	Cenários .....	85
6.1.2	Protocolos de Roteamento Simulados .....	92
6.1.3	Mobilidade .....	93
6.1.4	Parâmetros do Simulador de Rede .....	93
6.2	Resultados.....	98
6.2.1	Atraso fim a fim .....	100
6.2.2	MOS.....	110
6.2.3	Perda de Pacotes.....	121
7	Conclusões e Trabalhos Futuros.....	126
7.1	Contribuições .....	126
7.2	Trabalhos futuros .....	129
	Referências Bibliográficas .....	130

## Lista de Figuras

Figura 1: Tipos de redes veiculares [Alves <i>et al.</i> 2009] .....	25
Figura 2: Exemplos de modelos de mobilidade [Mateus 2011].....	26
Figura 3: Pilha de protocolos 802.11p WAVE [Alves <i>et al.</i> 2009].....	36
Figura 4: Sinal Analógico [Haykin 2000].....	39
Figura 5: Sinal Amostrado [Haykin 2000].....	39
Figura 6: Quantização das amostras [Haykin 2000].....	40
Figura 7: Amostras Codificadas [Haykin 2000].....	41
Figura 8: Sequência de <i>bits</i> .....	41
Figura 9: Cabeçalho UDP [Garcia 2011].....	44
Figura 10: (a) Posição do RTP na pilha de protocolos. (b) Alinhamento de pacotes [Tanenbaum 2003]. .....	45
Figura 11: Formato do Pacote RTP [Schulzrinne <i>et al.</i> 2003].....	46
Figura 12: Atrasos total de fala-e-escuta [Cisco 2011a].....	50
Figura 13: Ilustração de empacotamento de frames VoIP [Cisco 2011a] .....	51
Figura 14: Ilustração de um buffer dinâmico de amortização de <i>jitter</i> [Cisco 2011b]...	53
Figura 15: Expansão no tamanho do pacote em relação ao <i>payload</i> VoIP [Garcia 2011] .....	55
Figura 16: Qualidade das conversações com diferentes fatores degradantes. Adaptado de [Telecommunications Industry Association 2006]. .....	56
Figura 17: Ilustração de diferentes tipos de atrasos num sistema de comunicação de voz [Lustosa <i>et al.</i> 2004]. .....	61
Figura 18: Rede <i>ad hoc</i> utilizando DSDV [Martins 2009] .....	71
Figura 19: Busca de rota utilizando AODV [Martins 2009] .....	72
Figura 20: Resposta de rota utilizando AODV [Martins 2009] .....	73
Figura 21: Protocolo total ARREQ + EANTs [Martins 2009].....	75
Figura 22: Busca por um destino [Martins 2009].....	75
Figura 23: Geração de um RREP [Martins 2009] .....	76
Figura 24: Erro de Rota [Martins 2009] .....	76
Figura 25: Esquema geral de simulação em redes veiculares [Mateus 2011].....	79
Figura 26: Mapa do cenário urbano. Adaptado de [Openstreetmap 2009].....	86
Figura 27: Trajetória dos dois veículos com comunicação VoIP. Adaptado de [Openstreetmap 2009].....	86
Figura 28: Mapa do ambiente 01 do cenário de rodovia. ....	87
Figura 29: Mapa do ambiente 02 do cenário de rodovia. Adaptado de [Lemos 2010] ..	88
Figura 30: Mapa do ambiente 03 do cenário de rodovia. Adaptado de [Lemos 2010] ..	89
Figura 31: Mapa do ambiente 04 do cenário de rodovia. Adaptado de [C2CCC 2009].	90
Figura 32: Mapa do ambiente 05 do cenário de rodovia. Adaptado de [C2CCC 2009].	92
Figura 33: Atraso fim a fim em função da densidade de veículos no ambiente 02 do cenário de rodovia.....	103

Figura 34: Atraso fim a fim em função da densidade de veículos no ambiente 03 do cenário de rodovia.....	104
Figura 35: Atraso fim a fim em função da densidade de veículos no ambiente 03 do cenário de rodovia.....	105
Figura 36: Atraso fim a fim em função da mobilidade dos veículos no ambiente 04 do cenário de rodovia.....	106
Figura 37: Atraso fim a fim em função da densidade de veículos no ambiente 05 do cenário de rodovia.....	107
Figura 38: Atraso fim a fim em função da densidade de veículos no cenário urbano..	108
Figura 39: Atraso fim a fim em função da densidade de veículos no cenário urbano..	109
Figura 40: Pontuação MOS dos codecs em função da mobilidade utilizando o protocolo A-DYMO no ambiente 01 do cenário de rodovia.....	113
Figura 41: Pontuação MOS em função da densidade de veículos no ambiente 02 do cenário de rodovia.....	114
Figura 42: Pontuação MOS em função da densidade de veículos no ambiente 03 do cenário de rodovia.....	115
Figura 43: Pontuação MOS em função da densidade de veículos no ambiente 03 do cenário de rodovia.....	116
Figura 44: Pontuação MOS em função da mobilidade do veículo A no ambiente 04 do cenário de rodovia.....	117
Figura 45: Pontuação MOS em função da densidade no ambiente 05 do cenário de rodovia.....	118
Figura 46: Pontuação MOS em função da densidade de veículos no cenário urbano..	119
Figura 47: Pontuação MOS em função da densidade de veículos no cenário urbano..	120
Figura 48: Taxa de perda de pacote em função da densidade de veículos no ambiente 03 do cenário de rodovia.....	123
Figura 49: Taxa de perda de pacote em função da mobilidade do veículo A no ambiente 04 do cenário de rodovia.....	124
Figura 50: Taxa de perda de pacote em função da densidade dos veículos no ambiente 05 do cenário de rodovia.....	125

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Tipos de codificadores [Garcia 2011] .....	42
Tabela 2: Atraso com a codificação dos <i>payloads</i> de voz. [International Telecommunication Union 2003]. .....	51
Tabela 3: Tempo de propagação em diferentes enlaces. [International Telecommunication Union 2003] .....	52
Tabela 4: Ocupação da banda para diferentes <i>codecs</i> . [Cisco 2011c].....	55
Tabela 5: Relação entre o valor de <i>R</i> e a escala MOS [International Telecommunication Union 2005].....	58
Tabela 6: Exemplos de valores provisórios do fator de vantagem <i>A</i> [International Telecommunication Union 2005]. .....	59
Tabela 7: Valores padrões para cálculo do fator <i>Id</i> [International Telecommunication Union 2005].....	61
Tabela 8: Exemplos de valores provisórios do fator <i>Ie</i> [International Telecommunication Union 2001].....	62
Tabela 9: Tabela de roteamento do nó <i>A</i> [Martins 2009] .....	71
Tabela 10: Parâmetros de cada tipo de veículo. ....	93
Tabela 11: Parâmetros de simulação do VoIP para todos cenários.....	94
Tabela 12: Parâmetros de simulação para o cenário urbano .....	94
Tabela 13: Parâmetros de simulação para o ambiente 01 do cenário de rodovia.....	95
Tabela 14: Parâmetros de simulação para o ambiente 02 do cenário de rodovia.....	95
Tabela 15: Parâmetros de simulação para o ambiente 03 do cenário de rodovia.....	96
Tabela 16: Parâmetros de simulação para o ambiente 04 do cenário de rodovia.....	97
Tabela 17: Parâmetros de simulação para o ambiente 05 do cenário de rodovia.....	98

## Lista de Abreviaturas e Siglas

ACO	<i>Ant Colony Optimization</i>
A-DYMO	<i>Ant- Dynamic MANET On-demand Routing Protocol</i>
AODV	<i>Ad hoc On-Demand Distance Vector</i>
APP	<i>Application</i>
ARREQ	<i>Ant Route Requisition</i>
C2CCC	<i>Car2Car Communication Consortium</i>
CC	<i>CSRC count</i>
CCH	<i>Control CHannel</i>
CNAME	<i>Canonical Name</i>
CSRC	<i>Contributing Source Identifier</i>
DSDV	<i>Destination Sequence Distance Vector</i>
DSP	<i>Digital Signal Processor</i>
DTMF	<i>Dual-Tone Multi-Frequency</i>
DTNs	<i>Delay and Disruption Tolerant Networks</i>
DYMO	<i>Dynamic MANET On-demand Routing Protocol</i>
EANT	<i>Exploration ANT</i>
EPFL	<i>École Polytechnique Fédérale de Lausanne</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSM.AMR	<i>Global System for Mobile Communications Adaptive Multi-Rate</i>
GSM.EFR	<i>Global System for Mobile Communications Enhanced Full Rate</i>
ID	<i>Identity</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
INVENT	<i>INter-VEhicular Network Technologies</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ITS	<i>Intelligent Transportation Systems</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
LLC	<i>Link Layer Control</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MANETs	<i>Mobile ad hoc network</i>
MOS	<i>Mean Opinion Score</i>
NS2	<i>Network Simulator 2</i>
NTP	<i>Network Time Protocol</i>

P2P	<i>Peer-to-Peer</i>
PCM	<i>Pulse Code Modulation</i>
PHYs	<i>Physical Layer</i>
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i>
QoE	<i>Quality of Experience</i>
QoS	<i>Quality of Services</i>
RERR	<i>Route Error</i>
RLS	<i>Reactive Location Service</i>
RR	<i>Receiver Report</i>
RREP	<i>Route Reply</i>
RREQ	<i>Route Requisition</i>
RSU	<i>Roadside Units</i>
RTCP	<i>Real-time Transport Control Protocol</i>
RTP	<i>Real-time Transport Protocol</i>
SCH	<i>Service CHannel</i>
SDES	<i>Source Description</i>
SR	<i>Sender Report</i>
SSRC	<i>Synchronization Source Identifier</i>
SUMO	<i>Simulation of Urban MObility</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TIC	<i>Tecnologia da Informação e Comunicação</i>
TTL	<i>Time-To-Live</i>
UDP	<i>User Diagram Protocol</i>
V2I	<i>Vehicle to Infrastructure</i>
V2V	<i>Vehicle to Vehicle</i>
VAD	<i>Voice activity detection</i>
VANETS	<i>Veicular Ad Hoc Networks</i>
VoIP	<i>Voice over Internet Protocol</i>
WAVE	<i>Wireless Access in the Vehicular Environment</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WME	<i>Wireless Management Entity</i>
WSMP	<i>Wireless Short Message Protocol</i>

# 1 Introdução

Através desta dissertação propomos a análise do desempenho, através de simulações, do impacto da densidade veicular, do alcance de transmissão e da mobilidade no desempenho de uma aplicação VoIP (*Voice over Internet Protocol*) em redes veiculares (VANETs), utilizando-se três tipos de protocolos de roteamento (um pró-ativo, um reativo e um híbrido).

Na Seção 1.1 é apresentada a contextualização deste trabalho com relação aos problemas que buscamos solucionar. Na Seção 1.2 discutimos a motivação que impulsionou o desenvolvimento desta pesquisa. Em seguida, na Seção 1.3 são expostos os principais objetivos a serem alcançados com este trabalho, sendo a metodologia utilizada também discutida nesta Seção. Por fim, na Seção 1.4 é apresentada a estrutura dos capítulos na qual esta dissertação está organizada.

## 1.1 Contexto

É cada vez mais evidente a importância da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) no desenvolvimento social, econômico e cultural de uma nação desenvolvida. Neste contexto, existe uma demanda crescente do usuário de permanecer conectado onde quer que esteja e a qualquer momento, até mesmo quando está em movimento. As redes sem fio desempenham um papel fundamental nessa tarefa, possibilitando que o usuário se conecte em sua casa, no trabalho, no *shopping* e, até mesmo, no veículo. Este último cenário vem recebendo crescente atenção dos pesquisadores e da indústria automobilística, que estudam soluções de redes capazes de integrar a nova geração de redes sem fio em veículos automotores. O objetivo é desenvolver um Sistema de Transporte Inteligente (*Intelligent Transportation Systems - ITS*) capaz de integrar diferentes veículos e comumente possibilitar que aplicações com



diferentes requisitos sejam atendidas satisfatoriamente. Para alcançar este objetivo foram criadas as redes veiculares [Hartenstein and Laberteaux 2008].

O ambiente veicular é um cenário na qual aplicações de redes móveis podem desempenhar um papel importante, como a formação de um sistema de comunicação em que os veículos pudessem dispor de informações coletadas colaborativamente entre os diversos veículos, aparelhos do sistema de trânsito, e sistemas de auxílio à navegação. Este sistema poderia auxiliar o condutor a tomar a decisão adequada nas situações de perigo, ou simplesmente auxiliá-lo a reconhecer antecipadamente as sinalizações, interagir com diversos serviços e localizar pontos de interesse.

As redes veiculares surgiram como um caso particular de redes móveis e passaram a formar um campo específico de pesquisa na área de redes de computadores. Nestas redes, questões relacionadas à mobilidade, envolvendo direção, sentido e velocidade dos nós, poder computacional e as desconexões frequentes, culminaram na especificação de um novo modelo físico e de enlace, e na formulação de uma pilha de protocolos próprias para o desenvolvimento de aplicações e gerenciamento da rede.

No âmbito acadêmico, cada vez mais pesquisas sobre redes veiculares vêm sendo desenvolvidas em parceria com a indústria. Vários consórcios foram criados com parceria entre universidades e grandes montadoras de veículos. Dentre estes consórcios, pode-se destacar o *Car2Car Communication Consortium* [C2CCC 2009], uma organização sem fins lucrativos criadas pelos fabricantes europeus de veículos e aberta para a participação de fornecedores, órgãos de pesquisa e outros parceiros. Do lado acadêmico, a *École Polytechnique Fédérale de Lausanne* (EPFL) é um dos parceiros desse consórcio. Os principais objetivos do consórcio são: criar e estabelecer um padrão para sistemas de comunicação inter-veículos baseado em componentes sem fio na Europa; garantir a nível europeu a operabilidade desses sistemas; criar aplicações de segurança ativa através de especificações; prototipar e demonstrar sistemas inter-veículos; além de impulsionar uma padronização a nível mundial e desenvolver estratégias de implantação realista e modelos de negócios objetivando acelerar a penetração no mercado.

Por ser uma tecnologia emergente, muitas aplicações já foram desenvolvidas para ambientes de redes veiculares. Grande parte dessas aplicações sugere a existência de uma comunicação de múltiplos saltos. Por isso, surge a necessidade de um protocolo de roteamento eficiente capaz de lidar com a topologia altamente dinâmica da rede e as

frequentes desconexões. Além disso, outra característica inerente das redes veiculares, que contribui para tornar ainda mais desafiador o desenvolvimento de um protocolo de roteamento, é a variedade de cenários, tais como: urbano, rodovia e rural [Mateus *et. al.* 2011].

Nas redes veiculares o cenário é uma característica que influencia diretamente a mobilidade dos nós [Viriyasitavat *et al.* 2009]. Logo, independentemente do cenário onde um dado veículo esteja presente, é necessário que o protocolo de roteamento opere de forma satisfatória [Bernsen *and* Manivannan 2008], devendo ser inclusive tolerante às mudanças de cenário.

## 1.2 Motivação

Voz sobre IP, também conhecida como VoIP (*Voice over Internet Protocol*), telefonia IP ou telefonia Internet, é um conjunto de tecnologias, largamente utilizadas em redes IP, Internet ou Intranet, com o objetivo de realizar comunicação de voz. Os sistemas VoIP empregam protocolos de controle, geralmente chamados protocolos VoIP, para o provimento do transporte dos sinais de voz em uma rede IP [Anatel 2011].

Com o VoIP é necessário somente fornecer uma conexão de dados e/ou banda de rede, não sendo necessário distribuir uma rede específica. Seu funcionamento consiste em digitalizar a voz em pacotes de dados para que trafegue pela rede IP e converter em voz novamente em seu destino.

Como o UDP não fornece um mecanismo para assegurar que os pacotes de dados sejam entregues em ordem sequencial, ou ainda que forneça garantias de qualidade de serviço, as implementações VoIP sofrem com o problema de latência, *jitter* (variações de atraso) e perda de pacotes.

Em decorrência disso, utilizar uma aplicação VoIP em redes veiculares é um grande desafio devido as frequentes desconexões, a alta velocidade dos nós, a transmissão através de múltiplos saltos, a topologia altamente dinâmica, a potência de transmissão, dentre outros fatores que implicariam na degradação da rede e conseqüentemente da utilização da aplicação VoIP.

Em [Tonguz 2007] é mostrado que quanto maior a densidade, maior a taxa de perdas de pacotes, devido a problemas de contensão e colisão. Quando a densidade

aumenta, aumenta-se a disputa pelo meio gerando problemas de interferências e de aumento no tempo para transmissão. Neste trabalho, observa-se ainda que quanto maior a densidade, menor o atraso, devido a um menor número de retransmissões. Um nó pode transmitir para mais nós, de forma direta (alcance de transmissão), devido à proximidade que eles estão uns dos outros.

Para contornar o problema ocasionado pela natureza dinâmica das redes veiculares, parâmetros de mobilidade passaram a ser utilizados por protocolos de roteamento. Entretanto, a dinamicidade não é o único fator que torna o roteamento um desafio no contexto veicular. A diversidade de cenários existentes nas redes veiculares contribui também para tornar ainda mais desafiador o roteamento, pois cada um desses cenários possui características peculiares que, por sua vez, influenciam no padrão de mobilidade dos nós [Mateus 2011].

Devido a grande variedade de cenários, diversos protocolos de roteamento foram projetados com objetivo de solucionar um ou mais problemas específicos de cada cenário [Jin *et al.* 2009].

Contudo, apesar de existirem várias soluções propostas para o problema do roteamento em redes veiculares, ainda não está esclarecido que características específicas os protocolos devem levar em consideração na tomada de decisão, já que nenhuma das soluções propostas alcançou um desempenho satisfatório em mais de um cenário como por exemplo urbano e de rodovia [Boban *et al.* 2008].

O cenário urbano e de rodovia representam a maior parte das redes veiculares, já que em escala global a maior parte do tráfego de veículos ocorrem em vias urbanas, enquanto as vias rurais são menos movimentadas, resultando na baixa densidade comumente presente nas vias rurais, o que torna a utilização de uma estratégia de roteamento capaz de possibilitar um bom desempenho dos protocolos no cenário rural e em outro cenário mais difícil.

### **1.3 Objetivo e a Metodologia**

Considerando o que foi discutido nas seções anteriores, nesse trabalho direcionamos nosso foco para análise sobre o impacto da densidade veicular, do alcance

de transmissão, da mobilidade e do tipo de protocolo de roteamento no desempenho do VoIP em redes veiculares.

Para atingir esse objetivo apresentamos as principais características do VoIP e das redes veiculares, focando nossas discussões no comportamento da aplicação VoIP no ambiente das redes veiculares. Para validar nossa discussão teórica, realizamos simulações em dois cenários, com diversas características diferentes, e utilizamos três protocolos de roteamento bastante citados na literatura.

Foi realizada uma análise que considerou as características subjetivas relacionadas à qualidade da voz. Essa avaliação foi feita em termos do Fator R, descrito pela E-Model do ITU-T, que é um dos principais métodos computacionais não-intrusivos utilizados na avaliação da qualidade da voz.

A metodologia científica utilizada nesta dissertação pode ser resumida a seguir:

- Revisão bibliográfica

Inicialmente, foi efetuada uma revisão bibliográfica sobre os conceitos e desafios das redes veiculares e do VoIP. Em seguida, realizamos a revisão bibliográfica dos principais protocolos de roteamento para redes veiculares, simuladores e geradores de mobilidade.

- Estudo de ferramentas para geração de modelos de mobilidade, do VoIP e de simuladores de redes

A próxima etapa foi realizar um estudo detalhado para encontrar o melhor método para realizar uma análise de desempenho VoIP confiável a nível de usuário para ser executada através de simulações. No entanto, para se realizar uma boa avaliação da qualidade do VoIP, deve-se levar em conta vários fatores que se estendem para além do nível IP. Por exemplo, suporte para *codecs* diferentes, Detecção de Atividade de Voz (VAD), agregação de múltiplos quadros de voz no mesmo pacote IP e suporte para *playout buffers*. Todos esses fatores desempenham um papel crucial em uma aplicação VoIP. Após essa fase, realizamos um estudo sobre como simular de forma realista os modelos de mobilidade aplicados nas redes veiculares. Uma vez definido os modelo de mobilidades, foi realizado um estudo das ferramentas capazes de implementar os modelos de mobilidade desejados. Em paralelo, foi realizado um estudo para

definir um simulador de rede compatível com o formato das ferramentas geradoras dos modelos de mobilidade.

- Simulação e Análise dos Resultados

Finalmente, foram efetuadas simulações em ambiente computacional com características similares às encontradas em cenários reais. Em seguida, foi efetuada a análise dos resultados obtidos e realizada a comparação do comportamento dos protocolos utilizados nos diversos cenários simulados considerando a densidade veicular, o alcance de transmissão, a mobilidade dos nós e as métricas do VoIP.

## 1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação foi organizada e distribuída conforme os seguintes capítulos:

- Capítulo 1

No Capítulo 1 é apresentada a contextualização e a motivação deste trabalho, bem como o objetivo e a metodologia seguida no seu desenvolvimento.

- Capítulo 2

No Capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica sobre as redes veiculares, focando principalmente suas principais características e conceitos.

- Capítulo 3

O Capítulo 3 apresenta a fundamentação teórica sobre o VoIP, focando em suas principais características e conceitos. Além disso, são detalhados os fatores que influenciam diretamente na qualidade das ligações e, por fim, o *E-Model*.

- Capítulo 4

O Capítulo 4 apresenta um histórico sobre o roteamento nas redes veiculares, um esquema geral que caracteriza os protocolos de roteamento e, por fim, um resumo dos principais protocolos de roteamento.

- Capítulo 5

O Capítulo 5 apresenta uma discussão sobre os modelos de mobilidade utilizados para simulação das redes veiculares. É realizada uma análise

comparativa entre os principais modelos utilizados na literatura. Também são apresentadas as ferramentas necessárias para trabalhar com a simulação de redes veiculares, as quais incluem ferramentas específicas para trabalhar com a mobilidade dos veículos e ferramentas para a simulação de rede.

- Capítulo 6

No Capítulo 6 são apresentadas os cenários escolhidos para simular o ambiente real, bem como todos parâmetros utilizados. Além disso, são apresentados os resultados das simulações realizadas neste trabalho.

- Capítulo 7

Finalizando, no Capítulo 7, são apresentadas as conclusões sobre esta dissertação e as perspectivas para trabalhos futuros.

## 2 Redes veiculares

Os avanços alcançados na computação móvel e na comunicação sem fio levaram ao desenvolvimento do Sistema Inteligente de Transporte, cujo principal foco é melhorar a segurança nas estradas e prover conforto ao usuário [Almalag 2009].

Nesse contexto, as redes veiculares assumem um papel importante, devido principalmente aos altos custos gerados por acidentes no trânsito e consequentes gastos com saúde. Entretanto, para que as redes veiculares se tornem uma realidade para os usuários, é necessário solucionar os desafios de pesquisas existentes [Mateus 2011].

Nesse capítulo são apresentadas as redes veiculares e suas principais características e desafios. Na Seção 2.1 são descritas as principais características e desafios que diferem as redes veiculares dos demais tipos de rede. Na Seção 2.2 são discutidas e categorizadas as aplicações desenvolvidas para as redes veiculares. Na Seção 2.3 é apresentado o padrão WAVE, que está sendo desenvolvido pelo IEEE para possibilitar a comunicação veículo-veículo e veículo-infra-estrutura.

### 2.1 Características Principais

Recentes avanços nas tecnologias de comunicação de curto alcance têm permitido o desenvolvimento dos mais variados tipos de redes sem fio. Em particular, as redes *ad hoc* têm emergido nos últimos anos como uma das áreas de pesquisa de destaque na comunidade de redes de computadores. Uma rede *ad hoc* consiste em um conjunto de nós equipados com interfaces sem fio, as quais permitem que os nós se comuniquem entre si sem a necessidade de qualquer tipo de infra-estrutura.

As redes veiculares possuem características inerentes que as diferenciam das outras redes e influenciam diretamente no desenvolvimento dessa tecnologia. Nas

próximas subseções, apresentamos as principais características das redes veiculares, seus cenários e desafios.

### 2.1.1 Arquitetura

A arquitetura das redes veiculares define como os nós se organizam e se comunicam. Nas redes veiculares podemos encontrar três tipos de arquitetura [Li and Wang 2007] [Mo *et al.* 2006]:

**Infra-estruturada:** Nessa arquitetura são usados pontos de acesso WLAN e *gateways* celulares para prover acesso à Internet e realizar o roteamento de mensagens. A comunicação é do tipo veículo-infra-estrutura (V2I). Desta forma, os pontos de acesso WLAN têm prioridade para conexão e onde não há cobertura a rede celular é utilizada. Apesar de ser uma boa solução para o problema de conectividade, esse tipo de arquitetura é inviável devido aos altos custos envolvidos, principalmente na instalação de antenas celulares, e largura de banda limitada. Na Figura 1 vemos um exemplo deste tipo de comunicação.

**Ad hoc:** Nessa arquitetura todos os nós móveis comunicam-se sem qualquer elemento centralizador, ou seja, em modo *ad hoc* puro. A comunicação é do tipo veículo-veículo (V2V). Cada veículo desempenha o papel de roteador e encaminha o tráfego através de múltiplos saltos. A principal desvantagem dessa configuração está no fato da conectividade da rede depender da densidade e do padrão de mobilidade dos veículos [Alves *et al.* 2009]. Apesar disso, devido ao seu baixo custo e sua alta flexibilidade de implantação, essa arquitetura vem sendo a mais utilizada nas pesquisas [Mo *et al.* 2006]. Na Figura 1 vemos um exemplo deste tipo de comunicação.

**Híbrida:** Como ilustrado na Figura 1, a arquitetura híbrida combina as duas arquiteturas detalhadas anteriormente, ou seja, ela combina a comunicação V2I e V2V. Assim, se o nó *A* desejar se comunicar com o nó *B* em uma arquitetura híbrida, esta comunicação pode ocorrer tanto através de pontos de acesso WLAN e *gateways* celulares, quanto através de uma comunicação *ad hoc*.



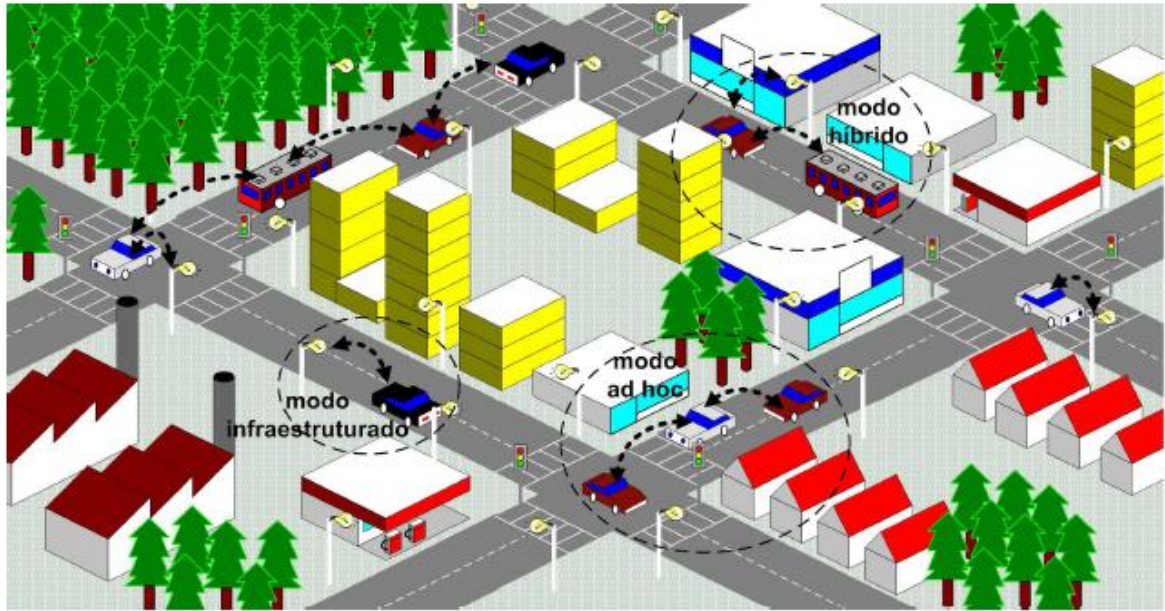


Figura 1: Tipos de redes veiculares [Alves *et al.* 2009]

### 2.1.2 Recursos

No desenvolvimento de protocolos para a nova geração de redes veiculares é importante considerar que os nós desse tipo de rede possuem características diferentes dos nós das redes tradicionais *ad hoc* sem fio. Uma das principais características é a disponibilidade contínua que possui de energia elétrica, pois a energia da bateria disponível nos carros é constantemente recarregada quando o veículo está em funcionamento. A disponibilidade de energia praticamente constante permite a utilização de um *hardware* mais sofisticado e o uso de algoritmos mais complexos e aplicações mais robustas para explorar um modelo de comunicação diferenciado que deve ser capaz de atender a novos requisitos de dados e de mobilidade. Portanto, o consumo de energia não é um fator crítico em redes veiculares.

Outro diferencial das redes veiculares é o tamanho e o peso dos nós, que possuem uma ordem de magnitude consideravelmente maior que os nós de outras redes sem fio.

### 2.1.3 Mobilidade dos Nós

Nas redes veiculares, os nós não se movem aleatoriamente. A movimentação dos veículos é limitada por uma topologia fixa (*e.g.*, ruas e avenidas) que muitas vezes

impõe limites de velocidade, podendo variar repentinamente. Além disso, um veículo pode ter seus movimentos restringidos pelos veículos mais próximos.

Considerando essas características peculiares da mobilidade das redes veiculares, modelos de mobilidade que representam o movimento (localização, velocidade, aceleração) de nós móveis que varia ao longo do tempo [Alam 2009] são particularmente importantes no estudo dessas redes. Afinal, realizar experimentos em ambiente real típico das redes veiculares é uma tarefa bem complexa, que envolve questões de logística e alto custo financeiro, bem como limitações tecnológicas.

Sendo assim, essas características tornam o modelo de mobilidade para redes veiculares único e desafiador e ao realizarmos estudos sobre as redes veiculares não podemos separá-los do estudo dos modelos de mobilidade, já que a dinamicidade da rede influencia diretamente o desempenho dos protocolos de roteamento.

No entanto, ao aplicar os estudos sobre redes veiculares no domínio de simulação, introduzimos um elemento intermediário complexo, representado pela necessidade de reproduzir o movimento peculiar dos veículos dentro do ambiente de simulação de rede. Além disso, o grau de complexidade dos movimentos dos veículos encontrados na literatura de redes veiculares vem evoluindo constantemente nos últimos anos. A tendência de utilização de modelos estocásticos simplistas, prática comum nos trabalhos pioneiros, vem dando espaço a modelos cada vez mais complexos, como mostra a Figura 2 .

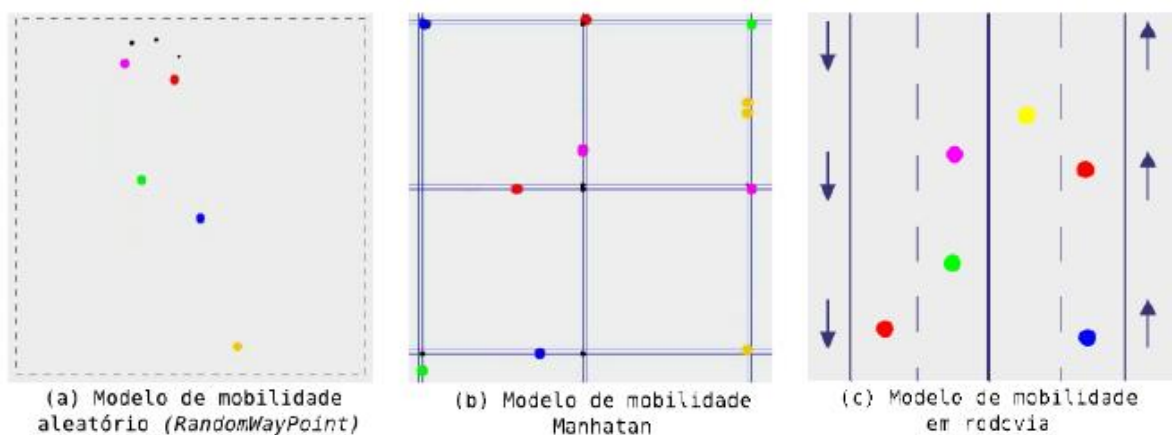


Figura 2: Exemplos de modelos de mobilidade [Mateus 2011].

A Figura 2(a) mostra um modelo de mobilidade típico das redes móveis *ad hoc*, onde os nós se movimentam aleatoriamente. A Figura 2(b) ilustra o modelo de mobilidade *Manhattan* [Buruhanudeen *et al.* 2007], que é um modelo estocástico onde os nós param em cada cruzamento e escolhem que direção seguir. A Figura 2(c) apresenta um exemplo de cenário em rodovia, onde existem rápidas interações entre veículos que se movimentam em sentidos contrários e no mesmo sentido.

No Capítulo 5 discutimos mais profundamente detalhes dos modelos de mobilidade nas redes veiculares. Ao final deste mesmo capítulo apontamos o modelo de mobilidade que mais se aproxima do ambiente real esperado e, em seguida, tratamos das ferramentas necessárias para utilizar tal modelo nas simulações, bem como torná-las mais realistas.

#### **2.1.4 Dinamicidade da Rede**

As redes veiculares são altamente dinâmicas devido à alta mobilidade dos automóveis, cuja velocidade é muito superior à velocidade dos nós em outros tipos de rede *ad hoc*. Uma consequência direta da alta velocidade dos nós na rede é a constante mudança na topologia da rede e, conseqüentemente, o aumento da instabilidade dos enlaces sem-fio.

Um grande número de protocolos de roteamento para redes *ad hoc* móveis encontrados na literatura se baseia na topologia da rede para encontrar o melhor caminho entre pares origem-destino da rede. Em geral, o melhor caminho é aquele que oferece o menor custo de acordo com as métricas utilizadas (*e.g.* menor número de saltos entre origem e destino). Esses protocolos podem ter seu desempenho bastante degradado pela alta mobilidade dos nós devido à alta carga de controle gerada. Por exemplo, quando executado em um ambiente de redes veiculares *ad hoc*, 70% a 95% do tráfego de rede gerado pelo protocolo *Ad hoc On-Demand Distance Vector* (AODV) é dedicado à difusão de mensagens de descoberta de rotas (*Route REQuest* - RREQ) [Naumov *et al.* 2006].

Outra característica presente nas redes veiculares é que os veículos que trafegam em alta velocidade podem diminuir ou zerar a velocidade em poucos segundos, mudando para um ambiente com uma taxa de mobilidade mais baixa. Esse tipo de comportamento torna a topologia da rede praticamente estática. Desta forma, um nó

móvel mudaria em questões de segundos de um cenário altamente dinâmico para um cenário praticamente estático.

### **2.1.5 Conectividade da Rede**

Nas redes veiculares a conectividade da rede está relacionada a três fatores principais: a densidade da rede, a sinalização de trânsito e o alcance de transmissão dos veículos.

Em relação à densidade, quanto maior o número de nós em uma via, maior é a garantia de estabelecimento de caminhos fim-a-fim entre pares origem-destino. Logo, uma via com escassez de nós sofre com problemas como frequentes desconexões, interrupções de serviço e, até mesmo, ausência de um caminho fim-a-fim entre pares origem-destino.

A densidade de veículos em um determinado instante depende diretamente do dia e horário em questão. Uma baixa densidade de veículos é esperada nas madrugadas, mas pode ser extremamente alta em horário de pico nos grandes centros urbanos. Entretanto, a densidade de veículos é diferente em feriados, finais de semana, eventos esporádicos e situações inesperadas como acidentes e vias interditadas. Devemos também levar em conta que as condições meteorológicas podem influenciar na densidade de veículos. Assim, uma avenida em zona urbana pode ser ideal para comunicação entre veículos às 8 horas de uma quarta-feira, mas às 22 horas do domingo a comunicação pode ser prejudicada se o número de veículos for insuficiente para estabelecer rotas e encaminhar mensagens.

As sinalizações (*e.g.*, sinais de trânsito, placas e fiscalizações eletrônicas) e até mesmo os outros veículos na via, podem fragmentar a rede. Por exemplo, se dois carros trafegando no mesmo sentido estão se comunicando e apenas um pára no sinal, provavelmente a conexão entre eles deixará de existir. O alcance da transmissão dos nós também é um fator importante quando se fala em conectividade em redes veiculares. Quanto maior o alcance de transmissão dos nós, maior será o período de conexão.

No cenário das VANETs há uma variação considerável da densidade de nós em função da área e do tempo. Segundo [Hou *and* Li 1986], utilizar um alcance de transmissão menor, que implica em uma menor potência de transmissão, em uma rede

densa e de topologia altamente dinâmica, a transmissão através de saltos múltiplos alcança melhor vazão da rede.

Assim, a configuração da potência de transmissão está diretamente associada à densidade da rede, de forma que a aquisição e o monitoramento de valores relativos a densidade de nós passa a ter um importante papel no cenário de transmissão de dados em VANETs. Em [Panichpapiboon *et al.* 2008], ao estudar a conectividade em VANETs é considerado que a densidade é um importante fator na decisão de como alterar a potência de transmissão. O padrão em VANETs define o alcance máximo de transmissão em 1km.

Assim, como a escolha da potência de transmissão está diretamente ligada aos valores de densidade, torna-se necessário à definição de métodos de aquisição de valores de densidade da rede, sem que com isto seja gerada sobrecarga de comunicação. Isto define o problema da alteração da potência de transmissão a partir da medida de densidade.

[Artimy *et al.* 2005] apresentam um mecanismo de alteração da potência a partir da medida de densidade de tráfego em uma via, utilizando uma forma autônoma do veículo perceber o contexto da densidade da vizinhança na qual está inserido sem a ocorrência de sobrecarga da rede.

Várias medidas de contexto são utilizadas para a gerar o conhecimento sobre a densidade da vizinhança, tal como a fração de tempo que um veículo permanece parado, o que exige que cada veículo notifique periodicamente sua velocidade e posição, ou a quantidade de *beacons* [Sheu *et al.* 2007].

Na literatura de VANETs, existem algumas abordagens de alteração dinâmica da potência de transmissão. Em [Chigan *and* Li 2007] a potência de transmissão é alterada, dependendo da quantidade de nós vizinhos e da distância entre os nós. Em [Torrent-Moreno *et al.* 2006] um nó coleta dados de todos os seus vizinhos tais como: posição corrente, velocidade e direção, e a partir daí computa o alcance de transmissão, considerando as diferenças entre *beacons* e mensagens de evento. A coleta destas informações considera que os veículos periodicamente anunciam sua posição, velocidade e direção de deslocamento.

Como visto, assim como a potência de transmissão, a densidade de veículos equipados com dispositivos de comunicação também influencia significativamente no

desempenho da rede VANET. Fatores como capacidade, eficiência de roteamento, atraso e robustez são gradativamente impactados por densidade.

Em uma estrada, as variações de velocidade dos veículos são fatores que contribuem para a mudança da densidade perturbando a distribuição homogênea dos veículos. Essas mudanças abruptas e frequentes criam uma topologia altamente dinâmica, frequentes desconexões e conseqüentemente podem causar degradação do desempenho da rede, seja pela impossibilidade temporária de transmissão, seja para o caso dos protocolos em VANETs não estarem projetados para atuarem eficientemente nestas situações.

### 2.1.6 Cenários

Uma característica peculiar das redes veiculares é a diversidade de cenários. Em geral, os cenários de redes veiculares são classificados em urbano, rural e rodovia [Ros *et al.* 2009].

**Cenário Urbano:** Em ambientes urbanos, a densidade de veículos pode favorecer a comunicação de múltiplos saltos, graças à menor mobilidade dos nós. Entretanto, isso varia de acordo com o horário. Em algumas horas do dia, o tráfego de veículos pode ser baixo, com poucos carros, porém, nos horários de pico, o número de carros nas vias cresce consideravelmente. Além disso, nesse cenário a presença de obstáculos que degradam as redes sem fio é mais frequente, como por exemplo, árvores e prédios. Acidentes e obras na pista também podem influenciar o comportamento do trânsito de maneira considerável, prejudicando a comunicação [Mateus 2011].

**Cenário Rural:** Em um ambiente rural, a densidade de veículos é baixa, o que resulta em uma rede com conectividade intermitente. Isso significa que a rede é particionada em pequenos grupos de veículos, formando *clusters*, que não conseguem se comunicar diretamente. Para superar esse problema, uma solução seria os veículos encaminharem seus pacotes de dados através de infra-estruturas físicas como ponto de acesso WLAN e *gateways* celulares. Entretanto, como dito anteriormente, os altos custos envolvidos na instalação dessas infra-estruturas tornam essa solução inviável. Acrescenta-se a esse problema a carência de infra-estrutura de rede em ambientes rurais, o que agrava drasticamente o problema da conectividade. Uma solução de mais baixo custo para a conectividade intermitente é usar os próprios nós móveis (veículos) para armazenar,

transportar e entregar os dados entre os *clusters* [Oliveira *and* Duarte 2007]. Neste caso, são necessários protocolos eficientes para lidar não somente com a conectividade intermitente, mas, em alguns casos, com os longos atrasos determinados pela soma dos tempos de atraso salto-a-salto. Outra característica do cenário rural é que nele espera-se que a velocidade média dos veículos seja baixa.

**Cenário de Rodovia:** Em um cenário de rodovia, o padrão de mobilidade é claramente diferente dos outros cenários, pois os veículos podem trafegar em alta velocidade sem cruzamentos e sinais de trânsito. Este cenário é aparentemente mais simples que os demais. Entretanto, o fato de normalmente dois veículos só se cruzarem uma vez aumenta a chance da rede ficar desconectada.

## 2.2 Aplicações

As redes veiculares têm sido alvo de inúmeras pesquisas científicas nos últimos anos, cujo principal foco é o desenvolvimento do Sistema Inteligente de Transporte. Além disso, dado que os automóveis são cada vez mais importantes na vida das pessoas, embarcar *softwares* inteligentes em seus carros pode melhorar substancialmente a qualidade de vida dos usuários. Esse fato, somado à demanda do mercado por mais confiabilidade, segurança e entretenimento nos veículos, levou ao desenvolvimento e suporte para as redes veiculares e suas aplicações [Lee *et al.* 2009].

O grande sucesso das redes veiculares deve-se então a esses avanços e à variedade de aplicações que podem ser oferecidas nestas redes. De acordo com [Li *and* Wang 2007] essas aplicações podem ser divididas em duas categorias, aplicações voltadas para segurança e aplicações voltadas para o conforto.

### 2.2.1 Aplicações de Segurança

A segurança no trânsito sempre foi a principal motivação para o desenvolvimento das redes veiculares e do Sistema de Transporte Inteligente. Além disso, os altos gastos gerados por acidentes de trânsito e consequentes gastos com saúde, fazem com que as aplicações de segurança recebam uma atenção ainda maior dos grandes consórcios automobilísticos. As aplicações de segurança em geral têm caráter preventivo e emergencial, no qual o objetivo principal é divulgar rapidamente

informações para que o condutor ou um sistema de segurança ativo tenha tempo de reagir e evitar uma situação de perigo. Nesse tipo de aplicação é comum a utilização da comunicação via difusão, a fim de maximizar o número de veículos alertados. Como principais requisitos para as aplicações de segurança podemos destacar a baixa latência e a alta confiabilidade. Além disso, as aplicações precisam ser robustas à inserção de mensagens falsas e informações conflitantes. As tecnologias de segurança atualmente utilizadas nos veículos são baseadas em um único veículo base como, por exemplo, o sensor de estacionamento. No entanto, veículos com esse tipo de tecnologia não estão aptos a compartilhar dados com veículos próximos, limitando assim sua capacidade. Além disso, quando não existem veículos dentro do raio de visão direto, tais tecnologias não funcionam. Esses problemas levaram ao desenvolvimento de outras tecnologias para aumentar a segurança no trânsito [Mateus 2011].

Com veículos aptos a se comunicarem entre si, informações importantes podem ser compartilhadas e utilizadas por alguma aplicação de segurança para aumentar a segurança no trânsito. Estas aplicações podem utilizar a comunicação V2V, V2I ou ambas. Elas podem ser classificadas em cinco diferentes categorias [Almalag 2009]:

- **Sistema de anti-colisão em cruzamentos:** Geralmente, sistemas de anti-colisão em cruzamentos são baseados na comunicação V2I e/ou V2V. A infra-estrutura nas proximidades dos cruzamentos possui sensores que coletam informações dos veículos próximos. Os dados coletados pelos sensores são processados e analisados para determinar se existe alguma situação perigosa que possa provocar um acidente. Se o risco existir, uma mensagem de aviso é enviada para os veículos naquela área.
- **Segurança pública:** Aplicações de segurança pública são desenvolvidas para assistir as equipes de emergência na provisão de seus serviços, bem como ajudar motoristas que precisam de cuidados médicos. Minimizar o tempo de viagem das equipes de emergência é o foco da maioria das aplicações de segurança pública. Outro tipo de aplicação dessa categoria foca na requisição de ajuda quando motoristas sofrem acidentes, evitando assim acidentes secundários.
- **Sinalização estendida:** Manter os motoristas em alerta é o principal objetivo das aplicações de sinalização estendida. A grande motivação dessa categoria de aplicação é o fato de que nos últimos anos novas tecnologias, como telefonia



celular, vêm sendo utilizadas durante o ato de dirigir, o que pode distrair os motoristas. Basicamente, esse tipo de aplicação alerta os motoristas sobre as sinalizações das vias. Esta categoria de aplicação utiliza comunicação V2I, principalmente através de mensagens enviadas periodicamente.

- **Diagnóstico e manutenção de veículos:** Aplicações de diagnóstico e manutenção de veículos alertam os proprietários dos veículos sobre defeitos que podem comprometer a segurança do veículo e também sobre programas de manutenção de seus veículos.
- **Informações de outros veículos:** Este tipo de aplicação utiliza comunicação de curto alcance entre os veículos. De acordo com o objetivo de cada aplicação, diferentes informações são obtidas através da comunicação entre veículos. Por sua vez, essas informações podem ser utilizadas de diversas maneiras por cada aplicação com o intuito de prover sua funcionalidade da melhor forma. São exemplos de aplicações dessa categoria: alerta de mudança de faixa, alerta sobre a condição da via e alerta de colisão cooperativa.

### 2.2.2 Aplicações de Conforto

Atualmente, as pessoas passam grande parte do tempo dirigindo, logo, ao embarcarmos aplicações em seus veículos podemos melhorar potencialmente a qualidade de vida desses usuários. Esse é justamente o foco das aplicações de conforto.

As aplicações dessa categoria têm como objetivo prover conforto e conveniência aos usuários. Algumas dessas aplicações são simples adaptações de aplicações comuns na Internet, como correio eletrônico, dentre outras. Outras aplicações mais sofisticadas envolvem a descoberta local de serviços baseado na vizinhança do veículo. Além disso, algumas aplicações podem ser baseadas na interação entre veículos, como alguns jogos, aplicações de compartilhamento de arquivos entre usuários, aplicações VoIP, dentre outras.

Muitas aplicações para redes veiculares utilizam a arquitetura *ad hoc* por dispensar elementos de infra-estrutura para possibilitar a comunicação entre veículos. Por essa razão, muitas aplicações de entretenimento preferem utilizar sistemas ponto-a-ponto (*Peer-to-Peer* - P2P) ao modelo cliente-servidor, que é centralizado [Alves *et al.* 2009]. Esse fato, somado à capacidade de armazenamento e processamento dos nós das

redes veiculares, torna as aplicações P2P viáveis no contexto das redes veiculares. As aplicações P2P envolvem diversos tipos de aplicação, dentre elas a aplicação VoIP, que é o foco desta dissertação, e não apenas a troca de arquivos.

Em [Lee *et al.* 2009], os autores classificam as aplicações P2P de acordo com o papel do veículo na gestão de dados:

- **Fonte de dados:** Nessa categoria de aplicações, os veículos são exclusivamente fonte de dados. Graças aos recursos existentes nos veículos, eles são uma plataforma ideal para coleta e produção de dados, especialmente no contexto de monitoramento urbano, através do uso de diversos sensores. Destaca-se nessa categoria o uso de sensores nos veículos, como câmera de vídeo, detectores químicos ou até sensores acústicos. Dessa forma, um veículo pode, por exemplo, captar imagens das ruas e depois processá-las, ou encaminhá-las em forma de mensagem para outros veículos alertando sobre um possível acidente ou congestionamento. Devido à abundância de recursos observada nos nós das redes veiculares, estes podem gerar dados a uma taxa que seria impossível de ser utilizada nas redes de sensores tradicionais. Um dos requisitos para esse tipo de aplicação é o armazenamento persistente e confiável dos dados para uma recuperação posterior. Além disso, são necessários protocolos de rede para a retirada eficiente de dados de interesse, por exemplo, encontrando todos os veículos em dado período de tempo e em certa localização.
- **Consumidor de dados:** Nessa categoria, os veículos são apenas consumidores de dados ou conteúdo. Os veículos podem ser potencialmente consumidores de conteúdo, dado que eles possuem recursos locais que possibilitam a transferência de grande quantidade de dados. O tipo de conteúdo consumido pelos veículos engloba vários tipos de dados, que vão desde arquivos de multimídia a dados sobre as condições da via. Durante uma viagem, motorista e passageiro podem utilizar aplicações dessa categoria para diversas finalidades, tais como entretenimento e auxílio à navegação. Destacam-se nessa categoria as aplicações relacionadas à multimídia, como *streaming* de filmes, músicas e aplicações sensíveis à localização, que utilizam informações de localização para, por exemplo, auxiliar na navegação ou para entregar anúncios que possam interessar aos usuários dos veículos.

- **Consumidor e produtor de dados:** Nessa classe de aplicações, os veículos são consumidores e produtores de conteúdo. Destacam-se nessa categoria aplicações interativas, como o VoIP ou/e jogos, *online* ou não. Estas aplicações requerem comunicação em tempo real entre os veículos.
- **Intermediário:** Em todas as categorias de aplicações descritas anteriormente é necessário confiar em veículos intermediários. Em um grupo de veículos, um dado veículo pode cooperar para aumentar a qualidade do desempenho da aplicação no grupo todo. Mais especificamente, veículos podem fornecer armazenamento temporário para outros, assim como encaminhar dados ou consultas.

Em resumo, as aplicações de conforto abrangem inúmeras aplicações. Mesmo aplicações da mesma categoria podem ter requisitos diferentes. Devido a essa diversidade, a análise de requisitos deve ser realizada caso a caso.

## 2.3 Padrão WAVE

Em 2004, o IEEE iniciou a padronização das comunicações em redes veiculares através do grupo de trabalho IEEE 802.11. O padrão é conhecido como 802.11p *Wireless Access in the Vehicular Environment* (WAVE). O principal objetivo do 802.11p WAVE é prover um conjunto padronizado de interfaces para que diferentes fabricantes de automóveis possam prover comunicação entre veículos ou entre veículos e infra-estrutura. A padronização é fundamental para o desenvolvimento em escala global das redes veiculares, já que é essencial que haja a interoperabilidade entre todos os dispositivos fabricados para a expansão do uso das redes veiculares [Mateus 2011].

A arquitetura WAVE é definida em: IEEE P1609.1, IEEE P1609.2, IEEE P1609.3, IEEE P1609.4, IEEE 802.11, IEEE 802.11p e um draft em desenvolvimento: IEEE P1609.11.

O padrão 802.11p, que é baseado no padrão de redes locais 802.11a, define as camadas físicas e de controle de acesso ao meio (MAC) para redes veiculares. Os padrões da família IEEE 1609 definem outras camadas da pilha de protocolos da arquitetura WAVE, bem como características de segurança [Mateus 2011]. A Figura 3 ilustra a pilha da arquitetura WAVE.

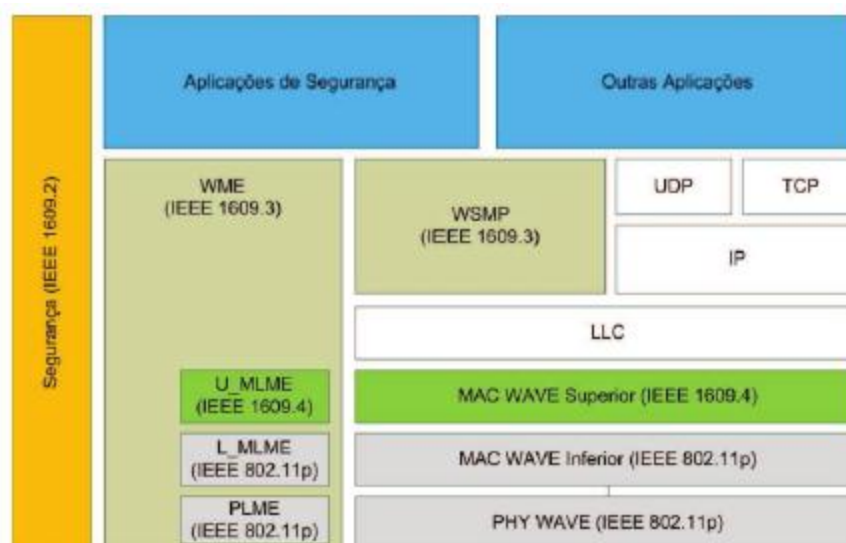


Figura 3: Pilha de protocolos 802.11p WAVE [Alves *et al.* 2009].

O padrão de IEEE P1609.1 [IEEE1609.1 2006] especifica serviços e interfaces da aplicação de gerenciamento de recursos da arquitetura WAVE. O principal objetivo desse padrão é permitir a completa interoperabilidade de aplicações utilizando a arquitetura WAVE, de forma a simplificar a unidade de bordo, reduzindo o custo e aumentando o desempenho. Por se tratar de uma aplicação WAVE, o gerente de recursos definido pelo padrão IEEE 1609.1 não é representado na arquitetura WAVE.

A natureza de segurança crítica de muitas aplicações para redes veiculares torna vital a necessidade do uso dos serviços especificados na arquitetura WAVE para proteger as mensagens de ataques maliciosos. Como a arquitetura WAVE será utilizada em veículos pessoais, cujos proprietários têm direito à privacidade, é necessário que os serviços de segurança sejam concebidos de modo a respeitar esses direitos. Para alcançar esse objetivo, o padrão IEEE 1609.2 [IEEE1609.2 2006] define a pilha de segurança da arquitetura WAVE, o formato e processamento das mensagens seguras.

O IEEE P1609.3 [IEEE1609.3 2007] especifica os serviços da camada de rede e transporte, incluindo o endereçamento e o roteamento e é representada na arquitetura pela *Wireless Management Entity* (WME) e pelo *Wireless Short Message Protocol* (WSMP). Também fazem parte do escopo do padrão IEEE P1609.3 os protocolos *User Datagram Protocol* (UDP), *Transmission Control Protocol* (TCP) e o *Internet Protocol* (IP), bem como a camada de controle lógico (*Link Layer Control* - LLC).

O padrão IEEE 1609.4 [IEEE1609.4 2006] define as modificações no padrão IEEE 802.11 para operar em múltiplos canais, as camadas físicas (PHYs), e a camada de acesso ao meio (MAC). O padrão 1609.4 define também a utilização do canal de controle (*Control CHannel* - CCH) e dos canais de serviços (*Service CHannel* - SCH).

O padrão IEEE P1609.11 *Over-the-Air Data Exchange Protocol for Intelligent Transportation Systems* (ITS) projetará os serviços de segurança e formatos de mensagens necessários aos sistemas de pagamento eletrônico [Roberto 2010].

## 3 VoIP

A arquitetura VoIP possibilita que sejam agregadas às conversações novas funcionalidades, tal como a possibilidade dos usuários serem encontrados em qualquer ponto na rede, ou a oportunidade do compartilhamento de dados entre os participantes [Tanenbaum 2003].

Apesar dessas vantagens, o sucesso dessa tecnologia depende de fatores como a qualidade do serviço e a disponibilidade de banda [Barbieri *et al.* 2002].

### 3.1 Visão geral sobre o VoIP

Os fatores determinantes para uma arquitetura de conferência são as comunicações entre grupos de pessoas e a entrega de informações em tempo real [Handley *et al.* 2000].

As principais arquiteturas de conferência multimídia pela Internet são as recomendadas pelo ITU - *Internet Telecommunication Union* e pelo IETF - *Internet Engineering Task Force* [Tanenbaum 2003].

A recomendação H.323, feita pelo ITU, faz referências a um conjunto de protocolos específicos para configuração de chamadas, sinalização, codificação, transmissão de dados, entre outros. Essa arquitetura é amplamente utilizada devido a sua interoperabilidade com a rede de telefonia pública comutada. [Tanenbaum 2003].

#### 3.1.1 Digitalização de sinais analógicos

A voz é um sinal analógico e antes de transportá-la em uma rede IP é necessário digitalizá-la. O processo de digitalização é dividido em três passos:

- Amostragem
- Quantização
- Codificação

Esses passos serão discutidos a seguir.

### 3.1.1.1 Amostragem

Durante o processo de amostragem ocorre à aquisição periódica de medidas da amplitude de um sinal analógico a uma determinada frequência. Segundo o teorema de Nyquist, amostras retiradas a um taxa igual ou superior ao dobro da maior frequência presente no sinal analógico, contêm toda informação necessária para a posterior recuperação desse sinal [Haykin 2000]. A Figura 4 ilustra um sinal analógico, contínuo em relação ao tempo e amplitude, e a Figura 5 mostra o mesmo sinal após a fase de amostragem, que agora é representado por um número discreto de amostras.

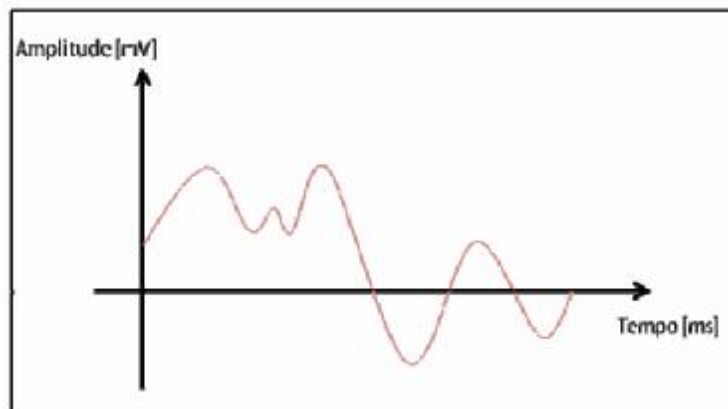


Figura 4: Sinal Analógico [Haykin 2000]

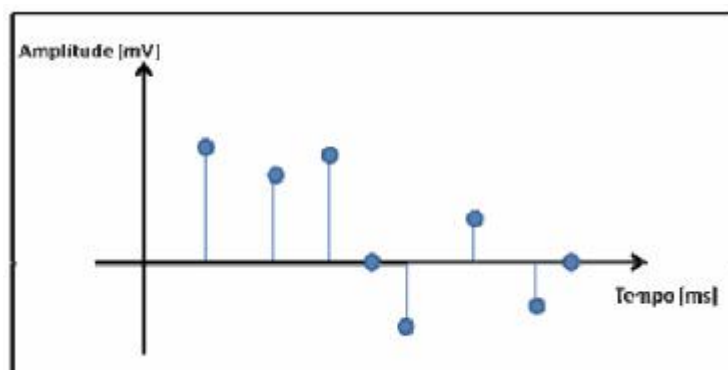


Figura 5: Sinal Amostrado [Haykin 2000]

No sistema telefônico apenas as informações presentes na faixa de 300 a 3400 Hz do sinal de voz são aproveitadas [Haykin 2000]. As componentes de frequência fora dessa faixa são filtradas. Assim, uma frequência de amostragem igual ou superior a 6800 Hz seria suficiente para retirar as amostras do sinal. Na prática é utilizada a frequência de 8000 Hz.

### 3.1.1.2 Quantização

As amostras obtidas por meio do processo descrito anteriormente são discretas em relação ao tempo, mas podem assumir infinitos valores de amplitudes. A quantização consiste em aproximar as amostras a valores de amplitude previamente estabelecidos tornando o sinal discreto também em amplitude [Haykin 2000].

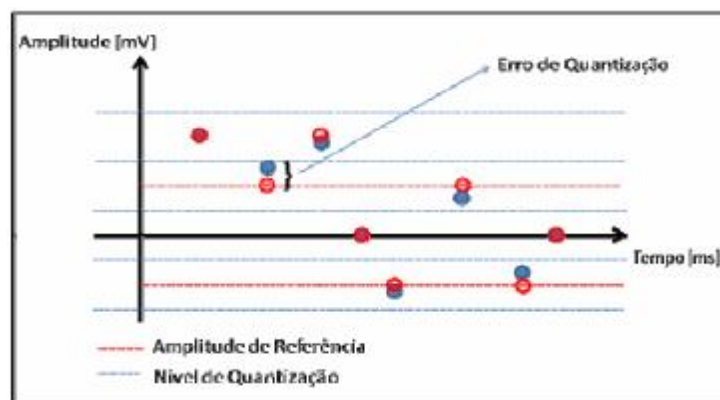


Figura 6: Quantização das amostras [Haykin 2000]

A Figura 6 ilustra o procedimento de quantização. As amostras originais estão representadas pela cor azul e a cor vermelha representa as amostras quantizadas, que foram aproximadas ao nível de amplitude de referência. A Figura 6 também mostra a existência um erro que é inserido devido à aproximação das amostras, chamado erro ou ruído de quantização. Certamente, este erro influenciará o desempenho do sistema.

### 3.1.1.3 Codificação

Após a quantização, cada amostra precisa ser associada a uma seqüência de símbolos que será transmitida por um canal até o receptor do conteúdo digitalizado. Em grande parte dos casos práticos, este processo é feito por meio de códigos binários, de



tal maneira que cada amplitude quantizada é convertida em uma sequência única de bits, como mostrado na Figura 7. Os *bits* são representados por pulsos, daí o nome de modulação por código de pulso (*Pulse Code Modulation, PCM*) [Haykin 2000].

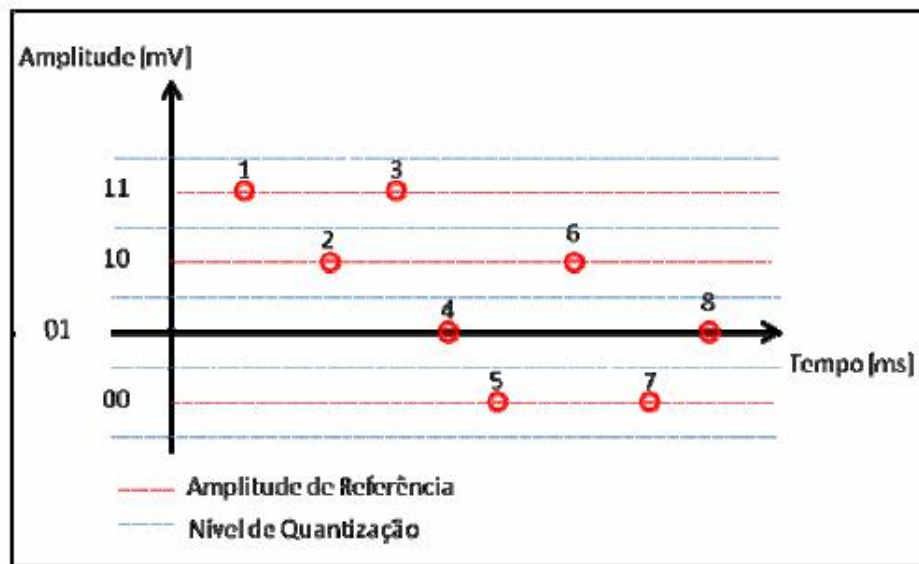


Figura 7: Amostras Codificadas [Haykin 2000]

A sequência de *bits* resultante desse processo de digitalização é mostrada na Figura 8.

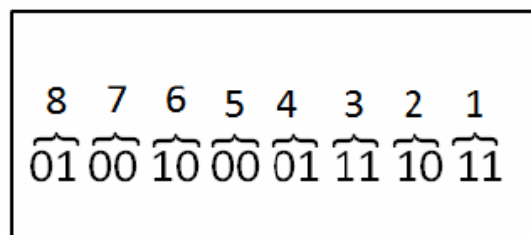


Figura 8: Sequência de *bits*

Essa sequência de *bits* ainda pode ser processada para que seja adequada ao transporte pela rede IP. Esse é o papel dos *codecs* para VoIP, assunto que será abordado na próxima seção.

### 3.1.2 Codecs para VoIP

Os *codecs* para VoIP comprimem o sinal de voz, retirando componentes que não afetam a sua inteligibilidade, reduzindo dessa forma, a taxa de dados necessária para transmissão desses sinais.

Os *codecs* podem ser divididos em três tipos: codificadores por forma de onda, codificadores paramétricos e híbridos. A grande diferença entre esses codificadores é o tipo de informação que enviam: o sinal e suas variações no caso de codificadores por forma de onda, parâmetros extraídos da manipulação do sinal de voz no caso dos paramétricos, ou uma mistura dos dois no caso dos híbridos. A Tabela 1 mostra a taxa de bits obtida após a codificação para os três tipos de codificadores. Além disso, a tabela informa qual o nível de qualidade que pode ser obtida com a utilização de cada um deles [Garcia 2011].

Tabela 1: Tipos de codificadores [Garcia 2011]

Tipo de codificador	Taxa de codificação	Qualidade
<b>Forma de Onda</b>	32 a 64 Kbits/seg	Boa – Excelente
<b>Paramétrico</b>	1 a 4 Kbits/seg	Ruim – Regular
<b>Híbrido</b>	3 a 12 Kbits/seg	Boa – Excelente

Atualmente existem inúmeros *codecs*, sendo que os se destacam são os G.711, G.723, G.729, GSM.AMR e GSM.EFR. Entretanto, o *codec* mais utilizado pelos aplicativos VoIP é o G.711. Comprovamos através de estudos na literatura (Figura 16) e dois testes realizados neste trabalho (Figura 40) que o *codec* G.711 é realmente o que atinge melhores resultados e, por essa razão, será o único considerado. A seção abaixo o descreve com mais detalhes.

### 3.1.2.1 G.711

O processo de codificação do G.711 é por forma de onda. Nesse caso, cada amostra é representada por oito *bits*. O processo de amostragem retira oito mil amostras por segundo o que leva a uma taxa final, após a codificação, de 64 kbps. O G.711 é o *codec* que apresenta a melhor qualidade e, em contrapartida, é o que ocupa a maior banda para transmissão. Em VoIP ele é usado principalmente em chamadas de FAX, MODEM e DTMF (*Dual-Tone Multi-Frequency*) [Garcia 2011].

### 3.1.3 Requisitos da camada de transporte para VoIP

A rede IP possibilita a troca de informações entre *hosts* distantes entre si por milhares de quilômetros. Assim sendo, é possível estabelecer uma conexão entre dois computadores e iniciar a transferência de pacotes que contenham informações de voz. O tráfego de voz possui uma vantagem em relação a todos os outros, pois seu destino final, que no caso é o cérebro humano, tem uma grande capacidade de recuperar possíveis falhas geradas pela rede. A falta de uma palavra pode ser suprida pelo entendimento do contexto da conversa, ou quando isso não for possível, os interlocutores podem solicitar a repetição de toda a frase. Isso substitui os mais complexos algoritmos de correção de erros e retransmissão de dados disponíveis, o que por sua vez simplifica o protocolo da camada de transporte utilizado para transportar informação de voz [Garcia 2011].

O UDP (*User Datagram Protocol*) é um dos protocolos mais utilizados pela camada de transporte. Ele é um protocolo não orientado a conexão e, por isso, não há a negociação de parâmetros a serem utilizados durante a transmissão [Tanenbaum 2003]. Dessa forma, uma aplicação apenas envia dados para outra aplicação, sem garantias de que eles chegarão ao destino. Não é necessário estabelecer, gerenciar e fechar conexões. A Figura 9 mostra o cabeçalho do UDP.

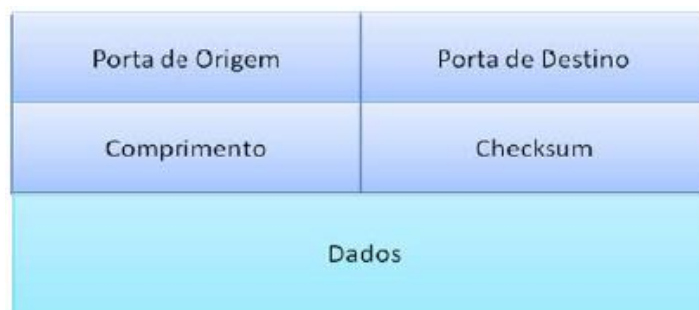


Figura 9: Cabeçalho UDP [Garcia 2011]

O cabeçalho do UDP é formado pelo campo Dados, que pode ser variável, e, por isso, o campo Comprimento informa o tamanho do campo Dados. Os campos Portas Origem e Destino identificam as portas utilizadas em uma interação. A função dessas portas é fornecer mecanismos que ajudem o *host* a distinguir para qual usuário/processo interno é destinada uma mensagem. Isso é necessário porque normalmente o *host* possui apenas um endereço IP, e várias aplicações utilizam esse mesmo endereço para estabelecer suas conexões com outras máquinas, enviando e recebendo informações [Garcia 2011].

É na camada de transporte que começam a aparecer as diferenças. Cada usuário possui uma identificação única, que aqui é representada pela porta. O cabeçalho UDP da mensagem recebida possui a informação das portas origem e destino. Pela análise da porta destino à camada de transporte identifica para qual usuário deve ser entregue a mensagem. É dessa forma que a camada de transporte, nesse caso usando o protocolo UDP, faz a distinção interna de usuários.

Em uma rede IP os pacotes de um mesmo fluxo são independentes e podem trafegar por caminhos diferentes até o destino. Isso pode fazer com que as mensagens cheguem fora de ordem. A ordenação correta de mensagens é um serviço prestado pela camada de transporte. Entretanto, o UDP não provê mecanismos para ordenação das mensagens aos usuários finais. O efeito provocado pela desordem dos pacotes, no caso de tráfego de voz, é de degradação de sua qualidade.

### 3.1.3.1 RTP - *Real-time Transport Protocol*

O RTP é um protocolo que provê serviços de transporte fim-a-fim de dados em tempo real, tais como áudio, vídeo, texto e outros tipos de dados. Entre os seus serviços

estão: identificação do tipo de mídia transportada, numeração dos pacotes, marcação de tempo e monitoramento da qualidade de transmissão. Esses serviços são utilizados em aplicações de tempo real, como telefonia na Internet e videoconferências [Schulzrinne et al. 2003].

O protocolo funciona no nível de usuário e normalmente é empregado com o protocolo de transporte UDP - *User Datagram Protocol* (Figura 10(a)), multiplexando diversos fluxos de dados de tempo real sobre um único fluxo de pacotes UDP (Figura 10(b)). Esse fluxo pode ser enviado a um único destino (unidifusão), ou, se suportado pela rede, a vários destinos (multidifusão) [Tanenbaum 2003].

O UDP é mais utilizado nesse tipo de aplicação, pois é preferida a entrega imediata dos pacotes ao atraso decorrente dos serviços providos do protocolo TCP – *Transmission Control Protocol*. O protocolo RTP não contém controle de erros, confirmação e mecanismo para qualidade de serviço, deixando essa responsabilidade às camadas adjacentes [Tanenbaum 2003].

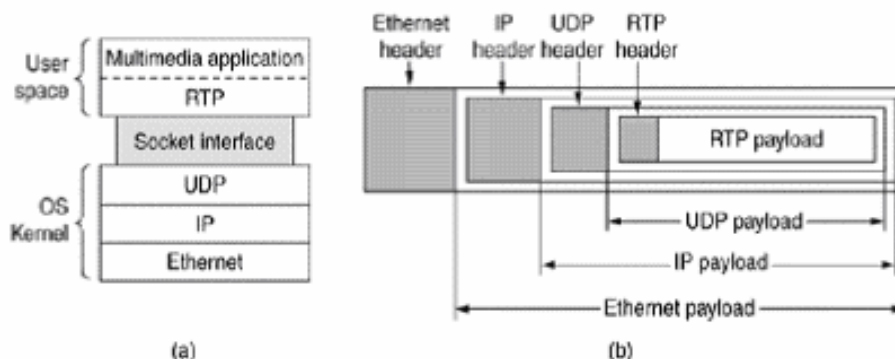


Figura 10: (a) Posição do RTP na pilha de protocolos. (b) Alinhamento de pacotes [Tanenbaum 2003].

O cabeçalho do RTP consiste em três palavras de 32 *bits* e, potencialmente, algumas extensões para aplicações que necessitam de funcionalidades adicionais. Ele é seguido pelo campo de carga útil, o qual tem o tamanho máximo definido de acordo com o limite dos protocolos das camadas subjacentes (UDP ou TCP). A Figura 11 apresenta o formato do pacote RTP, cujos campos são descritos a seguir [Schulzrinne et al. 2003]:

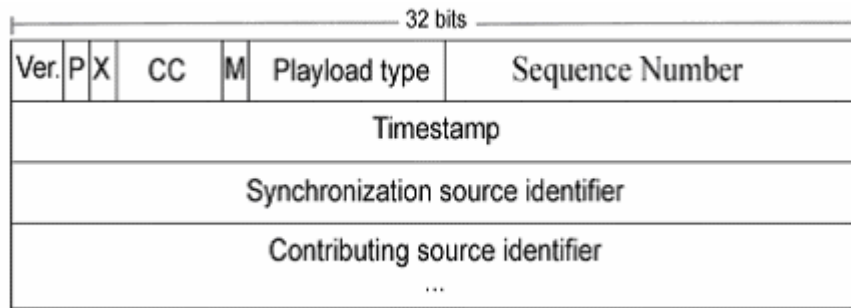


Figura 11: Formato do Pacote RTP [Schulzrinne *et al.* 2003].

- (Ver.) *Version* - 2 bits: identifica a versão do RTP;
- (P) *Padding* - 1 bit: se estiver habilitado, indica que o pacote contém dados adicionais que não fazem parte da carga útil. O número de *bytes* que devem ser ignorados está definido no último byte do pacote. O *padding* pode ser utilizado em algoritmos de criptografia que necessitam de um bloco de *bytes* com um tamanho fixo;
- (X) *Extension* - 1 bit: se habilitado, o cabeçalho fixo é seguido de um cabeçalho de extensão que possibilita adicionar informações suplementares ao cabeçalho;
- (CC) *CSRC count* - 4 bits: informa o número de origens de contribuição presentes;
- (M) *Marker* - 1 bit: utilizado como marcador pela camada de aplicação. Possui a capacidade de determinar, por exemplo, o início de um quadro de vídeo, o qual é enviado em vários pacotes;
- (*Payload type*) *Payload Type* - 7 bits: informa o formato de codificação da carga útil, tais como MP3, codificação GSM ou áudio não-compactado. O *Payload type* pode ser modificado durante a transmissão, possibilitando que um fluxo possa ser transmitido em amostras com codificações diferentes. Entretanto, isso não deve ser utilizado para multiplexar diferentes formatos de mídia, como vídeo e áudio;
- (*Sequence Number*) *Sequence Number* - 16 bits: contador que identifica cada pacote RTP em um fluxo. Seu valor inicial pode, para evitar colisões, ser escolhido aleatoriamente e é incrementado a cada pacote enviado. Essa

numeração permite à aplicação efetuar a ordenação dos pacotes recebidos e a detecção de perdas;

- (*Timestamp*) *Timestamp* - 32 bits: consiste em um campo com a função de marcar a hora em que cada pacote foi gerado, possibilitando à aplicação destinatária reproduzir o fluxo corretamente, ou seja, armazenar e executar cada fração de mídia no tempo correto. Para isso, não é considerado o valor absoluto do *Timestamp*, mas a diferença entre cada pacote e o pacote inicial, obtendo-se assim o intervalo em milissegundos para a reprodução da amostra;
- (SSRC) *Synchronization Source Identifier* - 32 bits: informa a qual fluxo o pacote pertence. Com isso, é possível multiplexar e demultiplexar diversos fluxos de dados de tempo real sobre um único fluxo de pacotes UDP. O seu valor normalmente é definido de modo aleatório;
- (CSRC List) *Contributing Source Identifier* - 0 a 15 itens, 32 bits cada: identifica todas as fontes que contribuíram para gerar o *payload* contido no pacote. Exemplificando: em cenário de uma conferência de áudio, vários participantes podem enviar *streams* ao mesmo tempo, um *mixer* (misturador) sincronizará todos os pacotes recebidos combinando-os em um único pacote para enviá-lo aos destinatários. Nesse caso, o campo SSRC identificará o *mixer*, enquanto o CC (CSRC *count*) conterá o número de participantes que contribuíram para a geração daquele *stream* e a lista CSRC irá identificá-los [Tanenbaum 2003].

#### 3.1.3.1.1 RTCP - *Real-time Transport Control Protocol*

Com o intuito de realizar o monitoramento de qualidade e um controle mínimo de sessão, é utilizado, em conjunto com o RTP, o protocolo RTCP [Schulzrinne *et al.* 2003]. Esse protocolo não transmite quaisquer dados de mídia, mas com a constante troca de pacotes de controle entre os usuários da sessão, realiza as seguintes funções [Tanenbaum 2003]:

- Fornece um *feedback* sobre a qualidade de serviço da transmissão (retardo, flutuação, largura de banda, congestionamento e outros). Com essas informações é possível adaptar dinamicamente a codificação, aumentando ou diminuindo a taxa de transmissão conforme a qualidade da rede. Além disso, em um ambiente

*multicast*, elas podem ser críticas no diagnóstico de falhas na distribuição e como os pacotes RTCP vão para todos os usuários, é possível identificar se os problemas são locais ou globais. Uma terceira entidade que não faz parte da sessão, tal como um sistema que aplica QoS (*Quality of Services*) [Hardy 2001], pode também receber esses relatórios [Schulzrinne et al. 2003].

- Manter um identificador em nível de transporte para uma fonte RTP. Esse identificador, chamado *Canonical Name* ou CNAME, permite aos receptores associarem e sincronizarem múltiplos fluxos de dados, tais como, vídeo e som de um mesmo emissor.
- Calcular e condicionar a taxa de envio dos pacotes RTCP, uma vez que, com o aumento de participantes, essa taxa pode elevar substancialmente [Schulzrinne et al. 2003].
- Transportar informações mínimas de controle de sessão (e.g. nome, *email* e número de telefone). Essa funcionalidade é útil em sessões onde existe pouco controle, em que os participantes entram e saem sem nenhum tipo de negociação.

Os relatórios sobre a qualidade da sessão são enviados nos pacotes *Sender Report* (SR) ou *Receiver Report* (RR). Os dois pacotes transportam estatísticas de recepção, porém, o pacote SR contém informações adicionais sobre transmissões, sendo essas utilizadas somente por participantes emissores ativos [Schulzrinne et al. 2003]. Os principais campos que compõem os relatórios são:

- *NTP timestamp* - 64 bits: captura o horário local do sistema da máquina fonte no momento do envio da mensagem SR. Para isso, usa-se a formatação do NTP - *Network Time Protocol*;
- *RTP timestamp* - 32 bits: corresponde ao instante de tempo (normalmente múltiplo da unidade de amostragem) em que o último pacote RTP foi enviado por determinada fonte;
- *Sender's packet count* - 32 bits: contador cumulativo do total de pacotes de dados RTP transmitidos pelo emissor do início da transmissão até o momento da geração de um pacote SR;



- *Fraction lost* - 8 bits: essa fração é definida pelo número de pacotes perdidos dividido pelo número de pacotes esperado;
- *Cumulative number of packets lost* - 24 bits: número total de pacotes de dados RTP que foram perdidos do início da recepção (valor cumulativo). Esse número é definido com a subtração do número de pacotes esperado pelo número de pacotes atualmente recebidos. A quantidade de pacotes esperado é definido pelo campo *Extended Highest Sequence Number Receive* do pacote RR;
- *Interarrival Jitter* - 32 bits: esta é uma estimativa da variância estatística do tempo entre chegadas dos pacotes de dados RTP, medido em unidade de amostragem e expresso sempre como um inteiro positivo.

O protocolo RTCP ainda contém os pacotes [Schulzrinne *et al.* 2003]:

- *Source Description* (SDS), para distribuição de controle de sessão e do CNAME;
- *Application* (APP), dependente da aplicação;
- *Bye* (BYE) que indica o fim da participação.

## 3.2 Qualidade de serviço em VoIP

A qualidade de serviço é fundamental para a operabilidade da arquitetura VoIP [Hardy 2001]. Nas próximas seções são apresentados os fatores relacionados diretamente com a qualidade das ligações.

### 3.2.1 Atraso

O tempo total da propagação da voz, desde a sua captura até a reprodução no usuário final, não pode ultrapassar determinados limites para não tornar-se perceptível aos participantes, o que dificultará a interatividade em uma conversação [International Telecommunication Union 2003].

O atraso completo, também conhecido como tempo de fala-e-escuta, é constituído por várias partes (Figura 12).

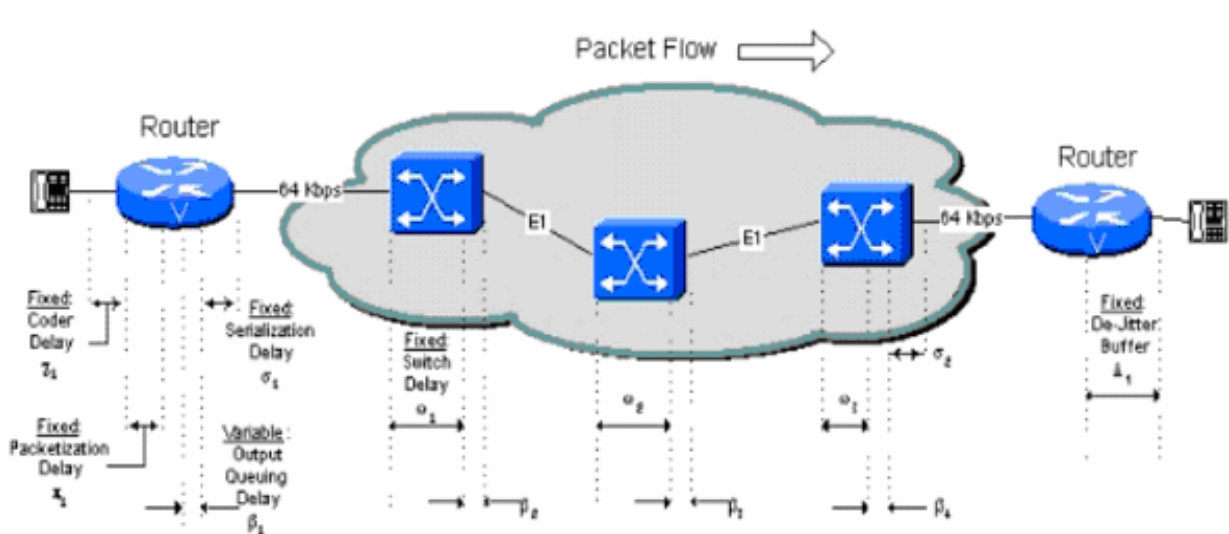


Figura 12: Atrasos total de fala-e-escuta [Cisco 2011a].

Inicialmente, a voz é amostrada e processada pelo *codec*. Em seguida, existe o tempo de empacotamento e serialização do pacote antes dele ser encaminhado para a rede. Uma vez na rede, existe o tempo de propagação até o destino final, além de atrasos variados nos *buffers* dos roteadores. Ao chegar no *host* final, o pacote ainda pode permanecer retido em *buffers* de amortização de *jitter*. Até que finalmente o pacote é processado e reproduzido [Cisco 2011a].

A seguir apresentaremos alguns detalhes de cada um desses componentes.

### 3.2.1.1 Atraso no Codec

Os *codecs* trabalham com amostragem de voz, chamados *frames*. O tempo de amostragem pode variar dependendo do *codec* utilizado. Além do tempo de coleta da voz, alguns *codecs* realizam a análise (*look ahead*) do início da próxima amostragem para otimização da codificação dos *frames*. Um pacote pode ser formado por vários *frames*. Assim, o tempo de codificação da voz pode ser definido com a seguinte equação [International Telecommunication Union 2003]:

$$(N * \text{Tamanho Frame}) + \text{Look ahead} \quad (3.1)$$

sendo N o número de *frames* agrupados.

Na Figura 13 é mostrada um exemplo de empacotamento de três *frames* com o tamanho de 10 ms.

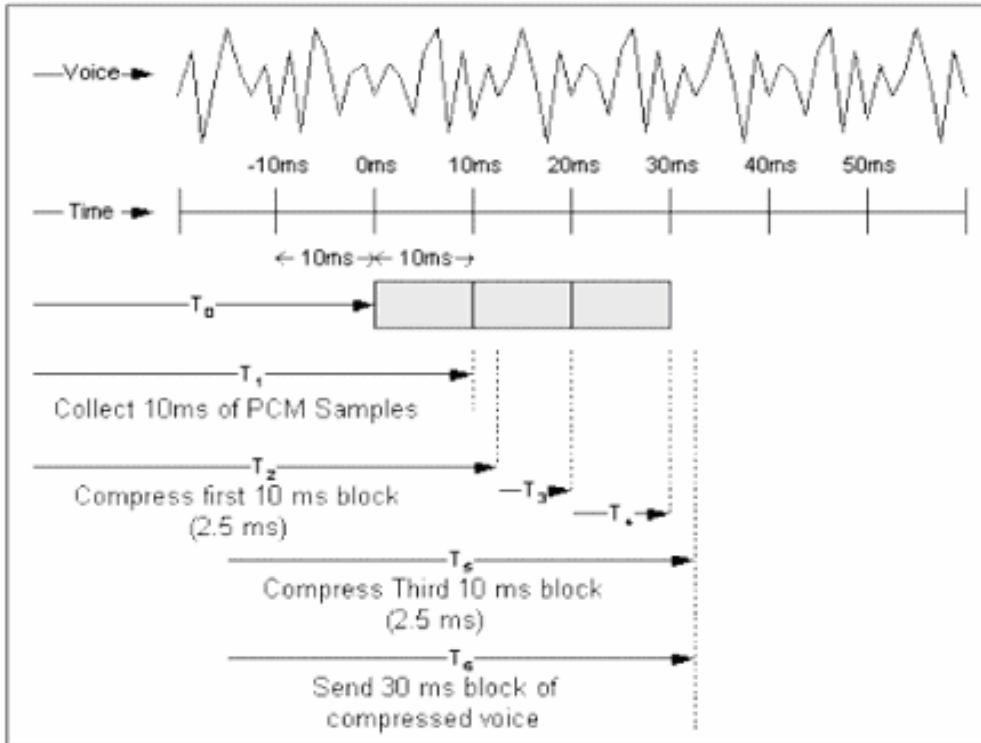


Figura 13: Ilustração de empacotamento de *frames* VoIP [Cisco 2011a]

Nota-se que a amostragem de um novo *frame* é realizada concomitante ao processamento do frame anterior [Cisco 2011a].

Na Tabela 2 são apresentados alguns exemplos de atrasos inseridos pela codificação de um frame de voz para diferentes *codecs*.

Tabela 2: Atraso com a codificação dos *payloads* de voz. [International Telecommunication Union 2003].

<i>Codec</i>	<i>Frame (ms)</i>	<i>Look-ahead</i>	<i>Atraso (ms)</i>
G.711 (64 Kbit/s)	0.125	0	0.25
G.729 (8 Kbit/s)	10	5	25
G.723.1 (5.3 Kbit/s)	30	7.5	67.5

O tempo de descompressão é, aproximadamente, dez por cento do tempo de compressão de cada bloco [Cisco 2011a].

### 3.2.1.2 Serialização

Uma vez formado o pacote, ele é serializado para o transporte na rede. Dependendo da velocidade do enlace e do tamanho do pacote, o tempo de serialização pode ser significativo [Cisco 2011a].

### 3.2.1.3 Propagação na Rede

A transmissão do pacote na rede é constituída por dois componentes: um tempo fixo correspondente à propagação nos enlaces e um tempo variável em que os pacotes ficam aguardando nos *buffers* dos roteadores.

O atraso de propagação depende do enlace atravessado. Na Tabela 3 são apresentados alguns exemplos de tempo de propagação em diferentes tipos de enlaces.

Tabela 3: Tempo de propagação em diferentes enlaces. [International Telecommunication Union 2003]

<i>Tipo de enlace</i>	<i>Tempo de propagação</i>
Enlace com cabo coaxial	0.006 ms/km
Enlace com fibra óptica	0.005 ms/km
Satélite (14 000 km altitude)	110 ms

A baixa capacidade de alguns enlaces somada ao congestionamento ocasionam a aglomeração dos pacotes na saída dos roteadores. Esse atraso varia conforme o cenário encontrado.

Devido a variação no atraso sofrido pelos pacotes, normalmente são aplicados *buffers* nos *hosts* finais para amortização dessa variação.

Ao considerar que a variação do atraso pode fazer com que um pacote chegue com atraso maior ou menor que o antecessor, é comum considerar o tempo em que o pacote permanecerá no *buffer* um tempo equivalente à metade do tamanho do *buffer* [International Telecommunication Union 2006].

### 3.2.2 Jitter

A disputa por determinados recursos, como um enlace de baixa velocidade, faz com que os pacotes de um mesmo fluxo experimente tempos diferentes nos *buffers* de saída dos roteadores na rede, o que provoca uma variação no tempo de chegada (*jitter*) de cada pacote [Tanenbaum 2003]. Essa variação provoca uma sensação de descontinuidade no áudio [International Telecommunication Union 2003].

*Buffer* de amortização de *jitter* transforma os atrasos variáveis em atrasos constantes. Para isso, os pacotes são retidos e repassados à aplicação em uma taxa constante. Assim, caso um pacote chegue com alguma variação no atraso, ele é realocado em seu tempo correto de reprodução [Cisco 2011a].

A definição do tamanho do *buffer* é uma tarefa altamente relevante. Isso porque um *buffer* muito grande faz com que aumente o atraso final de fala-e-escuta, degradando as conversações. Já um *buffer* pequeno pode fazer com que os pacotes com uma variação alta no atraso sejam descartados por chegarem tarde demais [Ramjee et al. 1994].

Desse modo, existem diversas abordagens para definição ideal do tamanho dos *buffers* de amortização do *jitter*. Basicamente, pode-se definir um *buffer* fixo, ou um com tamanho variável conforme algum critério de adaptabilidade. A Figura 14 ilustra um exemplo de *buffer* dinâmico.

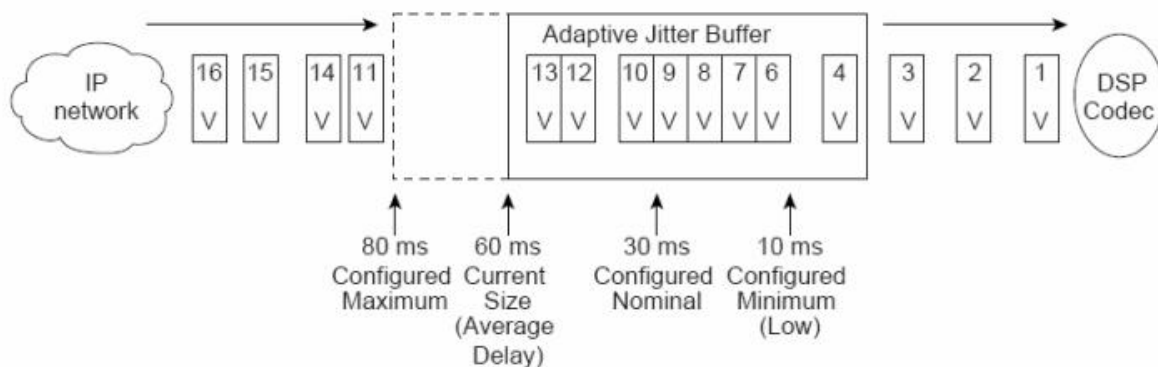


Figura 14: Ilustração de um *buffer* dinâmico de amortização de *jitter* [Cisco 2011b].

Nesse exemplo são determinados três parâmetros: o tamanho mínimo (*Configured Minimum*) e máximo (*Configured Maximum*) que o *buffer* pode assumir, além do tempo nominal (*Configured Nominal*), ou seja, o atraso de retenção aplicado no

início da ligação. O tamanho do *buffer* é adaptado conforme a variação encontrada na rede, onde se expande rapidamente quando identificado uma variação muito longa, e é reduzida mais lentamente para diminuir o tempo de *playout* (tempo em que um pacote permanece retido no *buffer* de amortização de *jitter*), mas ao mesmo tempo tentar evitar o descarte dos pacotes que chegam muito tarde. Observa-se que algumas lacunas são deixadas no lugar de pacotes que foram perdidos ou ainda não chegaram. Desse modo, o *buffer* também ordena os pacotes e sempre os repassam ao DSP (*Digital Signal Processor*) na taxa esperada [Cisco 2011b].

### 3.2.3 Perda de pacotes

Em VoIP, normalmente não é recomendada a retransmissão dos pacotes perdidos, porque devido às características de tempo real um pacote retransmitido provavelmente não chegaria a tempo de ser aproveitado. Pelo mesmo motivo, pacotes que não foram descartados na rede, mas chegaram tarde demais também são desconsiderados pelas aplicações [Tanenbaum 2003].

Assim, além dos problemas tradicionais de descarte de pacotes como congestionamento na rede e enlaces com erros, o atraso e o *jitter* em demasia também podem fazer com que os pacotes VoIP sejam descartados [Ramjee *et al.* 1994].

O tamanho reduzido dos pacotes VoIP, com amostras de 12.5 ms a 62.5 ms, minimiza a perda de um pacote. Contudo, o descarte normalmente está relacionado com algum problema na rede, assim as perdas não ocorrem isoladamente [Kuhn 2005].

A ausência de trechos da voz, ocasionada pelo descarte dos pacotes, provoca um desconforto alto aos participantes. Em [Telecommunications Industry Association 2006] foi demonstrado que perdas acima de 5% em tráfegos codificados pelo *codec* G.711 degrada a qualidade para patamares abaixo dos encontrados na telefonia PSTN. Esse quadro pode ser encontrado com perdas menores, entre 01% a 02%, quando aplicado *codecs* de alta compressão como G.723.1 e G.729.

### 3.2.4 Banda

Aplicações VoIP apresentam uma baixa performance na ocupação efetiva da banda. Isso ocorre devido às características de tempo real dessa tecnologia, em que o tempo de amostragem da voz não pode ser demorado para evitar o aumento do atraso

fim-a-fim. Além disso, normalmente, também é realizada a compactação dos dados, resultando em um número reduzido de *bytes* em um *frame* [Cisco 2011c].

Desse modo, o *overhead* com os cabeçalhos necessários para transmissão dos pacotes VoIP é altamente significativo [Barbieri *et al.* 2002]. Na Figura 15 é apresentado um gráfico com a percentagem da relação entre o tamanho do *payload* e dos cabeçalhos VoIP.

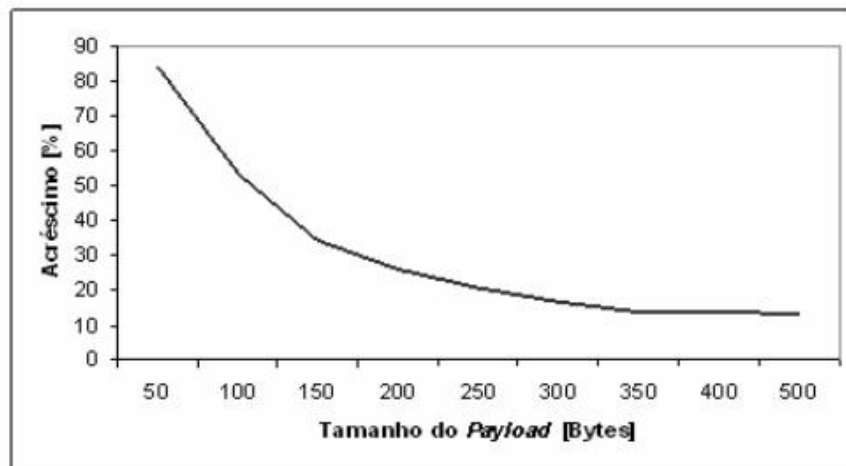


Figura 15: Expansão no tamanho do pacote em relação ao *payload* VoIP [Garcia 2011]

Como podemos observar, os pacotes com *payloads* utilizados em VoIP (abaixo de 50 bytes) apresentam um acréscimo de mais de 80% com a inserção dos cabeçalhos.

Na Tabela 4 são apresentados a ocupação da banda com diferentes *codecs*.

Tabela 4: Ocupação da banda para diferentes *codecs*. [Cisco 2011c]

<i>Codec</i>	<i>Tamanho do payload (ms)</i>	<i>Banda Ethernet (Kbit/s)</i>
G.711 (64 Kbit/s)	160	87.2
G.729 (8 Kbit/s)	20	31.2
G.723.1 (6.3 Kbit/s)	24	21.9
G.726 (24 Kbit/s)	60	47.2

O cálculo do consumo da banda é realizado da seguinte maneira [Cisco 2011c]:

- Tamanho total do pacote = (cabeçalho da camada de enlace) + (cabeçalhos IP/UDP/RTP) + (tamanho do *payload* de voz);

- Pacotes por segundo = (taxa de transmissão de *bit* do *codec*) / (tamanho do *payload* de voz);
- Banda = tamanho total do pacote \* pacotes por segundo.

Na Figura 16 observamos a influência de alguns desses fatores com a variação do atraso de fala e escuta.

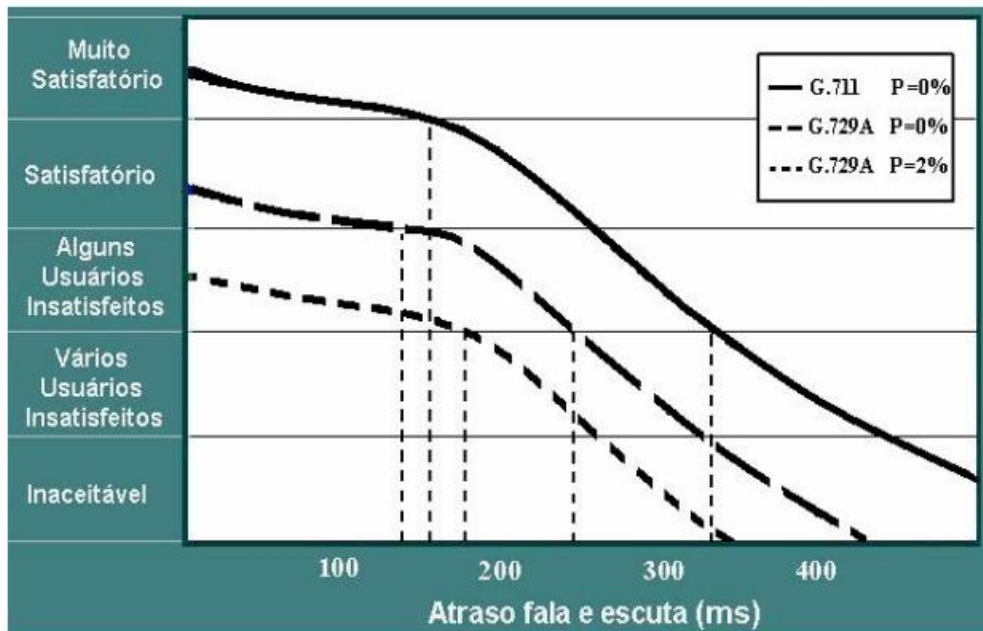


Figura 16: Qualidade das conversações com diferentes fatores degradantes. Adaptado de [Telecommunications Industry Association 2006].

Podemos verificar o impacto em relação à satisfação dos usuários entre as seguintes classificações: "Muito Satisfatório", "Satisfatório", "Alguns Usuários Insatisfeitos", "Vários Usuários Insatisfeitos" e "Inaceitável" [International Telecommunication Union 2005]. Em um cenário de referência, onde não se encontra impacto com o *codec* utilizado (G.711) e sem perdas de pacotes ( $P = 0\%$ ), é possível manter o nível em "Satisfatório" com atrasos entre 175 ms à 350 ms. Se alterarmos o *codec* para o G.729<sup>a</sup>, os limiares reduzem para 150 ms a 250 ms. Em cenários com perda de pacotes (P) de 02%, os limiares diminuem significativamente, ficando situado abaixo dos 200 ms.



### 3.3 *E-Model*

Como visto na Seção 3.2, diversos fatores influenciam na qualidade das ligações VoIP. Isso demonstra a importância da possibilidade de se mensurar o impacto de todos esses fatores na percepção final dos usuários nas conversações.

Desse modo, em [International Telecommunication Union 1996] foi determinado o método para Pontuação de Opinião Média, ou MOS (*Mean Opinion Score*), o qual apresenta um mecanismo para avaliação subjetiva do efeito dos sistemas e componentes nas transmissões. Para isso, os usuários estipulam uma nota em uma escala de 1 (pobre) a 5 (excelente) conforme a sua percepção de qualidade dos sistemas avaliados.

Entretanto, um método subjetivo é de difícil reprodução e de complexa aplicabilidade em larga escala [Sun and Ifeachor 2006].

Um método alternativo consiste no *E-Model* [International Telecommunication Union 2005], que por sua vez apresenta um modelo computacional para determinação da qualidade das ligações de modo objetivo. Nele são considerados diversos fatores, tais como distorções com os equipamentos utilizados, degradações com atrasos na rede, eco nas conversações, entre outros.

Na próxima seção será apresentada a definição desse modelo.

#### 3.3.1 Visão geral sobre o *E-Model*

No *E-Model* as deteriorações são consideradas como fatores aditivos, podendo ser calculadas separadamente e combinadas com a seguinte formulação [International Telecommunication Union 2005]:

$$R = R_o - I_s - I_d - I_e + A \quad (3.2)$$

O fator  $R_o$  representa os efeitos da relação sinal-ruído;  $I_s$  as perdas simultâneas ao sinal de voz;  $I_d$  as perdas associadas ao atraso fim-a-fim;  $I_e$  mapeia as perdas associadas ao equipamento utilizado; e  $A$  corresponde ao fator de vantagem, ou fator de expectativa. Como resultado dessa equação tem-se um valor escalar  $R$ , o qual varia na escala de 0 até 100 [International Telecommunication Union 2005].

O resultado dessa equação pode ser convertido à escala MOS (*Mean Opinion Score*) [International Telecommunication Union 1996] representando o nível de satisfação dos participantes nas ligações (Tabela 5).

Tabela 5: Relação entre o valor de  $R$  e a escala MOS [International Telecommunication Union 2005].

$R$	MOS	Satisfação dos Usuários
90	4,34	Muito satisfatório
80	4,03	Satisfatório
70	3,60	Alguns usuários insatisfeitos
60	3,10	Muitos usuários insatisfeitos
50	2,58	Quase todos usuários insatisfeitos

Nas próximas seções serão apresentados os modos de obtenção de cada fator.

### 3.3.2 Relação sinal-ruído básica, $R_0$

$R_0$  representa a relação sinal-ruído básica, incluindo ruídos na fonte e no lado do emissor, no circuito de transmissão, no ambiente e o teto de ruído correspondente à sensibilidade do sistema auditivo humano. Em [International Telecommunication Union 2005] são apresentadas formulações para estipular esse fator, sendo que utilizando os valores padrão tem-se  $R_0$  equivalente a 94,77.

### 3.3.3 Perdas simultâneas, $I_s$

O fator  $I_s$  é uma combinação de todas as degradações que ocorrem mais ou menos simultaneamente com o sinal de voz. Entre elas estão a degradação na qualidade causada pelo volume de áudio muito alto, pela interferência da voz do locutor em seu próprio fone de ouvido (*sidetone*) e pela quantização decorrente da digitalização do sinal de voz [International Telecommunication Union 2005].

Utilizando os valores padrões definidos em [International Telecommunication Union 2005] estipula-se o fator  $I_s$  em 1,41.

### 3.3.4 Fator de Vantagem, *A*

O fator de vantagem *A* permite compensar os fatores degradantes quando existem outras vantagens no uso [International Telecommunication Union 2005]. Isso permite que a tolerância dos usuários em relação à tecnologia ou ao ambiente de uso possa ser considerada para a determinação final do cálculo de qualidade.

Um exemplo consiste na diferença da expectativa dos usuários em conversações na telefonia fixa e na telefonia móvel, onde nessa última os usuários aceitam uma deterioração maior que na primeira.

Valores provisórios do fator *A* são especificado em [International Telecommunication Union 2005] para alguns tipos de sistemas de comunicação (Tabela 6).

Tabela 6: Exemplos de valores provisórios do fator de vantagem *A* [International Telecommunication Union 2005].

Exemplo de sistema de comunicação	Máximo valor para <i>A</i>
Telefonia fixa	0
Telefonia móvel para redes celular <i>in-door</i>	5
Telefonia móvel em redes geográficas	10
Locais de difícil acesso (ex.: redes com enlaces de satélites).	20

### 3.3.5 Perdas com atraso, *Id*

As perdas causadas pelo atraso são computadas pelo fator *Id*, o qual também é subdividido em três componentes:

$$Id = Idte + Idle + Idd \quad (3.3)$$

Os fatores *Idte* e *Idle* obtêm uma estima do impacto com o *echo* no lado do emissor e do receptor, respectivamente. A deterioração com o atraso total é representada pelo fator *Idd* [International Telecommunication Union 2005].

A seguir são apresentadas as equações para cálculo dos componentes do *Id*.

### 3.3.5.1 Eco no transmissor *Idle*

$$Idte = \left[ \frac{Roe - Re}{2} + \sqrt{\frac{(Roe - Re)^2}{4} + 100} - 1 \right] (1 - e^{-T}) \quad (3.4)$$

onde:

$$Roe = -1,5(No - RLR) \quad (3.5)$$

$$Re = 80 + 2,5(TERV - 14) \quad (3.6)$$

$$TERV = TELR - 40 \log \frac{1 + \frac{T}{10}}{1 + \frac{T}{150}} + 6e^{-0,3T^2} \quad (3.7)$$

### 3.3.5.2 Eco no receptor *Idle*

$$Idle = \frac{Ro - Rle}{2} + \sqrt{\frac{(Ro - Rle)^2}{4} + 169} \quad (3.8)$$

em que:

$$Rle = 10,5(WEPL + 7)(Tr + 1)^{-0,25} \quad (3.9)$$

### 3.3.5.3 Perdas com atrasos longos *Idd*

$$Idd = 25 \left\{ (1 + X^6)^{\frac{1}{6}} - 3 \left( 1 + \left[ \frac{X^6}{3} \right] \right)^{\frac{1}{6}} + 2 \right\} \quad (3.10)$$

onde:

$$X = \frac{\log \left( \frac{Ta}{100} \right)}{\log 2} \quad (3.11)$$

Na Tabela 7 são apresentados os valores padrões recomendados em [International Telecommunication Union 2005] dos parâmetros utilizados nas Equações 3.4 – 3.11.

Tabela 7: Valores padrões para cálculo do fator  $I_d$  [International Telecommunication Union 2005].

Abreviatura	Parâmetro	Valor padrão
$N_o$	Ruído total	-61,18 dBm0p
$R_o$	Relação sinal-ruído básica	94,77
$RLR$	Nível de intensidade no receptor	+2 dB
$TELR$	Nível de intensidade do eco no emissor	65
$WELP$	Caminho do eco ponderado	110 dB

Nota-se ainda que no cálculo do fator  $I_{dd}$  são considerados três parâmetros diferentes associados com o tempo na transmissão (Figura 17).

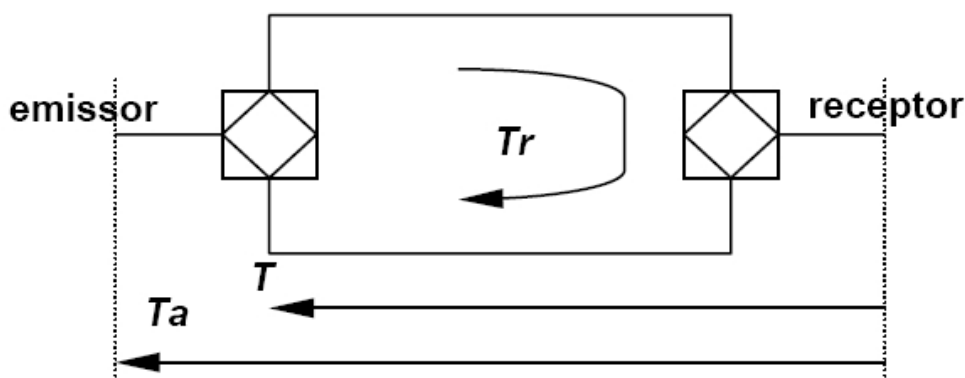


Figura 17: Ilustração de diferentes tipos de atrasos num sistema de comunicação de voz [Lustosa et al. 2004].

$T_a$  representa o atraso total entre o emissor e o receptor e é usado para estipular a degradação com atrasos muito longos.  $T$  representa o atraso médio percorrido pelo eco e  $T_r$  consiste no atraso de ida e volta (*round-trip delay*) no circuito a quatro fios (circuito com separação física entre os dois sentidos de comunicação) [International Telecommunication Union 2005].

### 3.3.6 Deterioração com equipamentos, $I_e$

Os valores para o fator  $I_e$  são determinados de duas maneiras, uma para cenários sem perdas e outra quando existem perdas de pacotes.

Na primeira definição os valores de  $I_e$  não estão relacionados com nenhum outro parâmetro. Define-se  $I_e$  em redes sem perdas em função da opinião subjetiva baseada na experiência da rede.

Os valores são constantemente atualizados em [International Telecommunication Union 2001]. Na Tabela 8 são apresentados exemplos do fator  $I_e$  para algumas famílias de *codecs*.

Tabela 8: Exemplos de valores provisórios do fator  $I_e$  [International Telecommunication Union 2001].

Tipo de <i>codec</i>	Referência	Taxa de operação (kb/s)	$I_e$
PCM	G.711	64	0
ADPCM	G.726, G.727	40	2
	G.721 (1988), G.726, G.727	32	7
	G.726, G.727	24	25
	G.726, G.727	16	50
CS-ACELP	G.729	8	10
	G.729-A + VAD	8	11
RPE-LTP	GSM 06.10, Full-rate	13	20
VSELP	GSM 06.20, Enhanced Full Rate	12.2	5
ACELP	G.723.1	5.3	19

## 4 Roteamento em Redes Veiculares

O roteamento em redes veiculares é uma tarefa desafiadora devido à alta mobilidade dos nós e à instabilidade dos enlaces sem-fio. Por essa razão, ele tem sido alvo de vários trabalhos de pesquisa. Entretanto, nenhuma solução geral foi encontrada, ou seja, nenhum protocolo proposto obteve desempenho considerável nos diversos cenários existentes nas redes veiculares. Ainda assim, resultados importantes foram alcançados.

Neste capítulo tratamos dos principais aspectos relacionados ao roteamento nas redes veiculares. Na Seção 4.1 é apresentado um histórico com foco no roteamento sobre a evolução das comunicações sem fio e o consequente desenvolvimento das redes *ad hoc*. Na Seção 4.2 é apresentada uma visão geral do roteamento em redes veiculares e na Seção 4.3 apresentamos os três protocolos de roteamento que são utilizados neste trabalho.

### 4.1 Histórico

Uma das características mais importantes das redes *ad hoc* é o conceito da comunicação sem fio de múltiplos saltos. Utilizando esse tipo de comunicação, os nós móveis podem enviar mensagens para destinos que não estejam na área de transmissão do nó de origem. Quando o destino está a vários saltos de distância, os nós intermediários realizam o encaminhamento das mensagens até o destino. Dessa forma, é necessário um protocolo de roteamento capaz de encontrar um caminho entre os nós de origem e destino para que as mensagens sejam entregues. De uma maneira geral, os nós *ad hoc* podem ser móveis, o que torna desafiador o desenvolvimento de protocolos de roteamento [Mateus 2011].

Durante os últimos anos, o conceito de comunicação *ad hoc* de múltiplos saltos evoluiu devido às características inerentes dos tipos de redes, tais como a mobilidade dos nós, a capacidade computacional, a limitação de recursos dos nós, dentre outras. Apesar de manter os mesmos princípios básicos de comunicação, cada tipo de rede tem peculiaridades suficientes para evitar a existência de uma solução única para todos os casos [Ros *et al.* 2009].

Para as redes móveis *ad hoc*, a comunicação de múltiplos saltos é uma das premissas mais importantes para o desenvolvimento das redes veiculares já que a possibilidade de distribuição eficiente de dados entre os vizinhos é essencial para várias aplicações, como as de segurança. Devido à semelhança entre essas redes, os protocolos de roteamento típicos das redes móveis *ad hoc* foram naturalmente os primeiros protocolos utilizados para realizar o roteamento nas redes veiculares. Entretanto, estudos realizados demonstraram o baixo desempenho desses protocolos no contexto das redes veiculares. [Naumov *et al.* 2006] mostram que grande parte do tráfego gerado é dedicada ao envio de mensagens de controle.

As principais limitações técnicas dos protocolos de roteamento para redes móveis *ad hoc* quando aplicados no cenário veicular são [Ros *et al.* 2009]:

- Escalabilidade: A maioria dos protocolos de roteamento desenvolvidos para MANETs foi projetada para suportar um limitado número de nós móveis (entre cem e duzentos nós). A maneira como esses protocolos estabelecem os caminhos é custosa quando aplicada em redes densas como as redes veiculares. Especificamente, os protocolos pró-ativos armazenam as rotas para todos os nós da rede na sua tabela de roteamento. Tal comportamento é impraticável em redes veiculares, já que seria necessário armazenar rotas para todos os veículos.
- Conectividade total: A conectividade da rede não é uma característica das redes veiculares. Apesar do destino não ser alcançável no momento do envio de um pacote, um veículo pode carregar o pacote até que o destino seja eventualmente alcançado. Este paradigma é chamado de Redes Tolerantes ao Atraso e Desconexões (*Delay and Disruption Tolerant Networks - DTNs*) [Oliveira *et al.* 2008].



- **Predição de mobilidade:** A maioria dos protocolos de roteamento para MANETs não faz suposição em relação a um padrão de mobilidade particular dos nós móveis. Apesar dessa característica garantir uma maior flexibilidade em relação ao cenário onde dado protocolo pode ser aplicado, ao mesmo tempo ela apresenta-se ineficiente em casos onde a mobilidade dos nós pode ser prevista. Esse é o caso das redes veiculares, onde os nós são limitados pela organização das vias, limite de velocidade, sinalização de trânsito e pelas iterações com outros veículos. Dessa forma, as estratégias típicas das MANETs ignoram possíveis vantagens que podem ser obtidas ao lidar com padrões de mobilidade controlados.
- **Antecipação à quebra de caminhos:** Os protocolos de roteamento para MANETs lidam com a quebra de caminhos causada pela mobilidade dos nós através de mensagens de controle periódicas ou criando caminhos periodicamente. Esses protocolos são ajustados de maneira que possam reagir após a quebra de um enlace. No entanto, em vários cenários das redes veiculares é possível prever e/ou evitar quebras de enlaces utilizando informações de mobilidade dos vizinhos.
- **Uso extensivo de mensagens de difusão:** A maioria dos protocolos de roteamento para MANETs é baseada em difusão de mensagens [Johnson *et al.* 2001]. Nos protocolos de roteamento reativos o nó de origem utiliza a difusão para encontrar uma rota para o destino. Nos protocolos pró-ativos, cada nó envia periodicamente mensagens de controle para sua vizinhança. Esse tipo de operação consome muita largura de banda com mensagens de controle e limita significativamente o desempenho desses protocolos quando aplicados em redes maiores, como as redes veiculares. Devido ao grande número de veículos comumente presente no ambiente veicular, o mecanismo de difusão deve ter seu escopo reduzido, por exemplo, limitando a área de difusão.
- **Operações não locais:** Os protocolos de roteamento para MANETs são algoritmos distribuídos usados para calcular rotas. No entanto, a criação e manutenção de rotas requerem a participação de todos os nós da rede. Nos protocolos pró-ativos cada nó participa construindo sua tabela de roteamento. No caso dos protocolos reativos, os nós participam na difusão de requisições para encontrar o caminho até o destino. Nas redes veiculares, devido ao

potencial número de veículos, soluções de roteamento locais nas quais os nós tomam decisões baseadas apenas na sua vizinhança são mais aplicáveis em termos de escalabilidade, controle de sobrecarga e adaptação às diferentes condições de rede. No entanto, para alcançar esse objetivo, o destino da comunicação deve ser conhecido ou um serviço de localização deve ser desenvolvido.

- Exploração das informações existentes: Veículos podem ser equipados com computadores que podem prover informações relevantes sobre trajetória, velocidade e direção do movimento, além de informações sobre mapas. Essas informações podem ser úteis para melhorar o desempenho do roteamento. Comumente, protocolos de roteamento para MANETs ignoram aspectos relacionados à mobilidade dos nós.

Para possibilitar o roteamento eficiente no ambiente veicular é necessário direcionar esforços para diminuir o impacto das limitações técnicas identificadas nas soluções propostas para as MANETs ou, até mesmo, solucionar os problemas encontrados nas mesmas [Mateus 2011].

## 4.2 Características Principais

Para contornar os problemas herdados das estratégias propostas para redes móveis *ad hoc* e maximizar o desempenho de protocolos de roteamento em redes veiculares, deve-se considerar os fatores anteriormente ignorados. As funções básicas de um protocolo de roteamento são: descoberta de rotas, encaminhamento de mensagens e manutenção de rotas. A complexidade dessas funções varia de acordo com o tipo da rede onde será realizado o roteamento. No caso específico das redes veiculares, alguns fatores tornam-se importantes para o desenvolvimento de um protocolo de roteamento eficiente [Mateus 2011].

Um primeiro fator importante são as entradas de um protocolo para redes veiculares, que são divididas em dois grupos: características da rede e dispositivos auxiliares. O uso das características da rede como entrada é essencial. Dentre essas características podemos destacar o tipo do cenário (urbano, rural ou rodovia). Como o cenário tem influência na mobilidade dos nós, o protocolo poder obter vantagem dessa informação, adaptando sua estratégia de acordo com o cenário.

De uma forma geral, podemos considerar estas entradas como informações de contexto, as quais podem ser utilizadas para realizar inferências e, desta forma, adaptar o funcionamento do protocolo de roteamento. Protocolos que utilizam essa estratégia são chamados de sensíveis ao contexto que por sua vez, são capazes de monitorar, perceber e descrever mudanças no ambiente [Maia *et al.* 2008]. Utilizar de forma sábia tais informações é um dos pontos necessários para melhorar o desempenho do roteamento no ambiente veicular.

Após as entradas do protocolo, temos o serviço de localização. O objetivo desse serviço é descobrir de maneira direta a localização do destino. Dentre os serviços de localização existentes destacamos o serviço de localização reativo (*Reactive Location Service - RLS*) [Camp *et al.* 2002]. Basicamente, o RLS funciona da seguinte forma: quando o nó origem deseja saber a posição geográfica de um determinado nó, ele envia um pacote de consulta de localização (*location query packet*). Esse pacote contém o ID do nó de origem e sua respectiva posição, além do id do nó de destino. Com essas informações o pacote é difundido pela rede durante seu tempo de vida ou até encontrar o destino. Ao chegar no destino, o nó destinatário responde a consulta utilizando o pacote de resposta de localização (*location reply*), que contém a sua posição e o ID do nó requisitante. Esse pacote é difundido da mesma maneira que o pacote de consulta até encontrar o nó de origem. Apesar de ser bastante utilizado, o RLS é um mecanismo que nem sempre está disponível.

Uma vez que a posição do nó de destino é conhecida, torna-se necessário estabelecer um caminho pelo qual as mensagens serão encaminhadas. Durante o estabelecimento de rota, informações de entrada podem ser utilizadas para, por exemplo, limitar o número de veículos que vão encaminhar as mensagens de requisição. Desta forma, reduz-se à difusão de mensagens de controle e, conseqüentemente, a sobrecarga da rede, tornando o protocolo mais escalável.

Para decidir qual o melhor caminho para encaminhar uma mensagem até o destino, um protocolo pode utilizar algumas métricas simples como: número de saltos, distância física entre origem e destino, dentre outras. Novamente, nessa fase é possível fazer o uso das informações de entrada para tornar a decisão mais precisa. Informações sobre o movimento do nó e/ou o uso de mapas podem ser utilizadas para prever a posição de um nó específico, já que em redes veiculares o movimento dos nós é limitado pelas vias. Essas informações também podem ser utilizadas para definir

métricas mais robustas capazes de tornar mais precisa a decisão do melhor caminho no ambiente veicular. Além disso, outro fator favorável ao uso de informações de entrada durante esta fase é a possibilidade de tomar decisões locais baseadas apenas na vizinhança do nó [Mateus 2011].

Outra estratégia que pode ser utilizada para realizar a seleção de rotas é o uso de um mecanismo de agrupamento baseado na posição geográfica, como, por exemplo, o *geocast* [Bernsen and Manivannan 2008]. No *geocast* o destino são nós posicionados em uma região geográfica específica, que pode ser relativa à origem. Este tipo de estratégia torna-se necessária quando se deseja comunicação com nós de uma região específica como, por exemplo, uma região próxima a um acidente onde os veículos devem ser alertados para mudar sua rota.

Uma estratégia inovadora e que se mostrou muito eficaz é a utilização do comportamento forrageiro das colônias de formigas para descoberta de rotas e o melhor caminho. O coração desse comportamento é a comunicação indireta entre as formigas através de uma trilha de feromônio químico, que lhes possibilita encontrar os menores caminhos entre o formigueiro e as fontes de comida. Abordamos esse assunto com maior riqueza de detalhes na Seção 4.4.3.

Finalizada a etapa de seleção de rotas, a mensagem é encaminhada até o destino. Durante o encaminhamento dos pacotes é esperado que aconteçam quebras de enlaces causadas principalmente pela dinamicidade dos veículos. Logo, mecanismos de manutenção de rotas são necessários para garantir o melhor desempenho do protocolo de roteamento. Conforme citado anteriormente, é possível utilizar informações de contexto para realizar a manutenção das rotas antes mesmo da quebra do enlace. Apesar da manutenção de rotas ser um mecanismo importante, nem todos os protocolos propostos para as redes veiculares o implementa.

### **4.3 Protocolos de Roteamento**

Devido às semelhanças entre as redes móveis *ad hoc* e as redes veiculares, várias foram às tentativas de solucionar o desafio do roteamento nas redes veiculares utilizando protocolos de roteamento típicos das redes móveis *ad hoc*.

Um dos mais populares métodos para distinguir os protocolos de roteamento de redes móveis *ad hoc* é baseado em como a informação de roteamento é adquirida e

mantida pelos nós móveis. Usando esse método, os protocolos de roteamento para redes móveis *ad hoc* podem ser divididos em roteamento pró-ativo, roteamento reativo e roteamento híbrido [Liu and Kaiser 2005].

O roteamento pró-ativo é também chamado de protocolo de roteamento dirigido por tabela. Ao usar um protocolo de roteamento pró-ativo, os nós em uma rede móvel *ad hoc* continuamente avaliam as rotas para todos os nós alcançáveis e tentam manter uma informação consistente de roteamento, através de tabelas. Dessa forma, o nó de origem tem à disposição um caminho de roteamento sempre que desejar. Quando ocorre uma mudança na topologia da rede, imediatamente atualizações devem ser enviadas a todos os nós de forma a propagar a nova visão da rede. Muitos protocolos de roteamento pró-ativos propostos para redes móveis *ad hoc* têm propriedades herdadas de algoritmos usados em redes fixas ou cabeadas. Por isso, para adaptar as características dinâmicas da rede móvel *ad hoc*, algumas modificações são necessárias. Usando algoritmos de roteamento pró-ativos, nós móveis pró-ativamente atualizam o estado da rede, através de tabelas de roteamento e mantêm as rotas sem levar em consideração se existe ou não tráfego de dados. Dessa forma a sobrecarga de tráfego de controle na rede é alta [Martins 2009].

Os protocolos de roteamento reativos funcionam de forma oposta aos protocolos pró-ativos. Nesses protocolos a descoberta de rota é realizada sob demanda. Logo, quando um dado nó deseja se comunicar com outro nó, um procedimento de busca global é iniciado. O procedimento de descoberta de rota pode utilizar um mecanismo de inundação da rede para disseminar as mensagens de requisição de rota por toda a rede. Quando um nó intermediário que conhece um caminho até o destino ou o próprio destino recebe uma mensagem de requisição de rota, prontamente ele responde enviando uma mensagem de reply ao nó que iniciou o processo de descoberta de rota. Por funcionarem sob demanda, os protocolos reativos não sofrem tanto com a sobrecarga da rede como os protocolos pró-ativos. No entanto, eles sofrem com o problema do atraso inicial para estabelecimento da rota.

Protocolos de roteamento híbridos são propostos para combinar características de ambos os protocolos de roteamento pró-ativos e reativos e superar suas desvantagens.

Vários protocolos para redes veiculares já foram propostos na literatura. O ponto comum entre os principais protocolos de VANETs são a utilização de parâmetros de mobilidade nas métricas de seleção de melhores rotas.

As métricas usadas para construir caminhos de roteamento podem ser usadas como critério para classificação de protocolos de roteamento para redes móveis *ad hoc*. Por isso, muitos protocolos para redes móveis *ad hoc* usam número de saltos como uma métrica. Se há múltiplos caminhos de roteamento a avaliar, o caminho com o menor número de saltos será selecionado. Se todos os *links* sem fio na rede têm a mesma probabilidade de falhar, os caminhos de roteamento mais curtos são mais estáveis que os mais longos e podem obviamente diminuir a sobrecarga de tráfego e reduzir os pacotes de colisão. Porém, a suposição de mesma probabilidade de falha pode não ser verdadeira em redes móveis *ad hoc*. Então, a estabilidade de um *link* pode ser considerada na fase de construção da rota [Martins 2009].

Dentre todos os protocolos existentes, alguns apresentam certos mecanismos que se tornaram, naturalmente, um padrão a ser seguido. Além disso, o pioneirismo de outros os colocou como uma referência natural para o desenvolvimento e evolução de protocolos para redes *ad hoc*. Dentre os mais relevantes podemos citar três tipos: o DSDV (pró-ativo), o AODV (reativo) e o A-DYMO (híbrido).

### 4.3.1 DSDV

O *Destination Sequence Distance Vector* [Perkins and Bhagwat 1994] é um protocolo de roteamento pró-ativo *unicast* (endereçamento a um único e específico destino) para redes móveis *ad hoc*. Ele é baseado no algoritmo de *Bellman-Ford*, que é um algoritmo de estado de enlace. Nas tabelas de roteamento do DSDV, uma entrada armazena o próximo salto em direção de um destino, a métrica de custo para o caminho de roteamento, o tempo de inserção da rota e o número de sequência do destino que é criado apenas por ele mesmo. Números de sequência são usados no DSDV para distinguir entre rotas desatualizadas e rotas atualizadas e assim evitar a formação de laços.

Tabela 9: Tabela de roteamento do nó A[Martins 2009]

Destino	Prox. Salto	Saltos	Num. Seq.	Tempo inst.
A	A	0	A-846	001000
B	B	1	B-942	001200
C	B	2	C-378	001500
D	B	3	D-234	001300

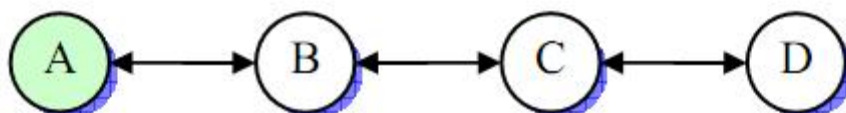


Figura 18: Rede *ad hoc* utilizando DSDV [Martins 2009]

Em [Perkins *and* Bhagwat 1994] vemos que as atualizações de rota do DSDV podem ser dirigidas por tempo ou por evento. Cada nó transmite periodicamente atualizações, incluindo sua informação de rota para seu vizinho imediato. Quando uma mudança significativa ocorre desde a última atualização, um nó pode transmitir sua tabela de rotas alterada em um evento do tipo gatilho. Além disso, o DSDV envia dois tipos de atualização de tabelas de rotas. Um é do tipo cópia completa, onde toda a tabela é incluída dentro da atualização. Uma cópia completa atualizada pode transportar vários pacotes. O outro tipo é uma atualização parcial que contém somente aquelas entradas em que certas métricas foram alteradas desde a última atualização. Adicionalmente, a atualização parcial cabe apenas em um pacote. A Tabela 9 mostra a estrutura de armazenamento de rotas do ponto de vista do nó A definido na Figura 18. Observe que A armazena o próximo salto, número de saltos, número de sequência e tempo de inserção da rota. Todas as rotas só são alcançáveis através do nó B. Nesse caso, quando houver uma mudança na rede, o nó A irá atualizar sua tabela de rotas através das informações repassadas pelo nó B.

### 4.3.2 AODV

O protocolo *Ad hoc On-demand Distance Vector Routin* [Perkins *et al.* 2003] é um protocolo de roteamento reativo *unicast* para redes *ad hoc*. Como um protocolo de roteamento reativo, o AODV mantém apenas as informações de rotas sobre os caminhos

ativos. Nele, a informação de roteamento é mantida nas tabelas de roteamento dos nós. Cada nó móvel mantém uma tabela de roteamento de próximo-salto, no qual contém os destinos para as rotas ativas. Uma entrada na tabela de roteamento expira se ela não foi usada ou depois de um tempo pré-determinado. Além disso, AODV adota a técnica de número de sequência usado pelo DSDV e adaptado para roteamento sob demanda. No AODV, quando um nó de origem deseja enviar pacotes para um destino, mas não possui a rota disponível, ele inicia uma operação de descoberta de rota. Na operação de descoberta de rota, a origem envia, por *broadcast*, pacotes de requisição de rota, chamados RREQ. Um RREQ inclui o endereço da origem e do destino, o ID do *broadcast*, o qual é utilizado como seu identificador, o último número de sequência do destino além do número de sequência do nó de origem. Os números de sequência são importantes para garantir a ausência de laços e a atualização das rotas. Para reduzir a sobrecarga criada pela inundação, um nó descarta os RREQs já processados. O RREQ inicia com um pequeno valor de TTL (*Time-To-Live*). Se o destino não é encontrado, o TTL é aumentado nos próximos RREQs.

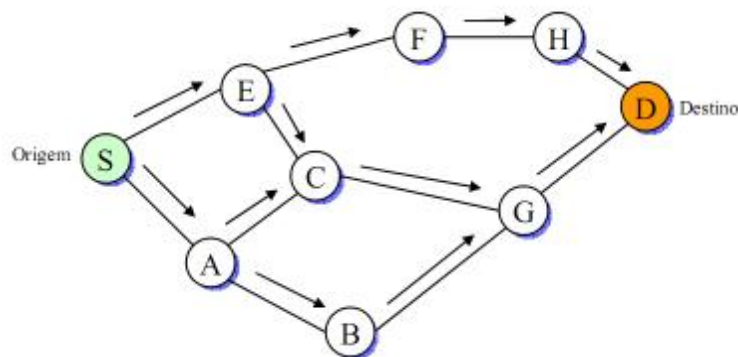


Figura 19: Busca de rota utilizando AODV [Martins 2009]

No AODV, cada nó preserva um *cache* para manter a trilha de RREQs que ele recebeu. O *cache* armazena o caminho de volta para cada nó que originou uma busca. Quando o destino ou um nó que tem uma rota para o destino recebe o RREQ, ele verifica o número de sequência do destino conhecido por ele e o especificado no RREQ. Para garantir informações de roteamento atualizadas, um pacote resposta de rota (RREP) é criado e enviado de volta para a origem, somente se o número de sequência do destino for igual ou maior que o número especificado no RREQ. O AODV usa somente *links* simétricos e um RREP segue o caminho reverso do respectivo RREQ. Ao receber o pacote RREP, cada nó intermediário ao longo da rota atualiza as entradas de



sua tabela de próximo-salto para o respectivo nó de destino. Pacotes RREP redundantes ou com menor número de sequência serão descartados [Perkins *et al.* 2003].

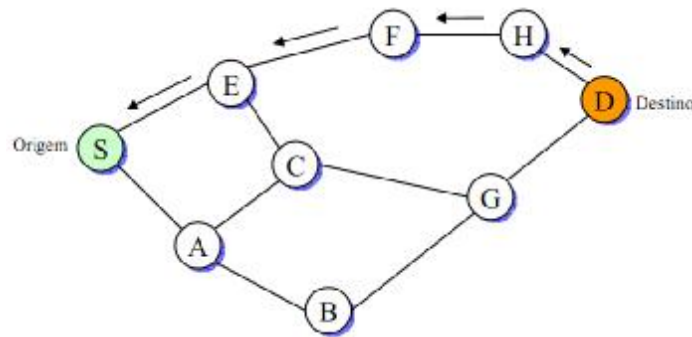


Figura 20: Resposta de rota utilizando AODV [Martins 2009]

Neste protocolo o nó utiliza mensagens *hello* (tipo de mensagem para detecção de vizinhança) para notificar sua existência a seus vizinhos. Então, o status do *link* para o próximo salto em uma rota reativa pode ser monitorado. Quando um nó descobre uma quebra de *link*, ele envia por *broadcast* um pacote de erro de rota (RERR) para seus vizinhos, o qual é propagado pela rede informando aos nós que possuem aquela entrada sobre a desconexão. Quando a origem recebe um RERR, ela pode reiniciar a operação de descoberta de rota, caso exista dados a serem enviados.

Na Figura 19 um RREQ é propagado pela rede até chegar ao destino. Na Figura 20 o destino responde com um RREP e os nós participantes do caminho de resposta conhecem apenas seus predecessores.

### 4.3.3 A-DYMO

O A-DYMO [Martins *et al.* 2010] é um protocolo híbrido e de múltiplos caminhos que utiliza em sua fase pró-ativa um algoritmo do tipo *Ant Colony Optimization* (ACO).

Mais especificamente, a ACO é inspirada no comportamento forrageiro das colônias de formigas. O coração desse comportamento é a comunicação indireta entre as formigas através de uma trilha de feromônio químico, que lhes possibilita encontrar os menores caminhos entre o formigueiro e as fontes de comida. Nesta fase pró-ativa, uma formiga exploradora (EANT) irá descobrir e manter a topologia da rede durante todo o tempo. O caminho traçado por essa formiga utilizará como parâmetro de qualidade na

escolha da rota a distância entre os nós em número de saltos. Na fase reativa, uma formiga de busca (ARREQ) irá proceder à ligação entre o nó de origem e o nó de destino para posterior efetiva entrega de dados. Os demais mecanismos da fase reativa são baseados no protocolo DYMO. Também no protocolo A-DYMO um modelo probabilístico de transição foi implementado, semelhante às trilhas de feromônio das formigas reais [Martins 2009].

O objetivo principal deste algoritmo de formigas é continuamente criar rotas na tentativa de reduzir o atraso fim-de-final e a latência da rede, aumentando a probabilidade de encontrar rotas mais rapidamente [Martins *et. al.* 2010].

#### **4.3.3.1 Descrição do Protocolo**

No A-DYMO, o nó adquire as informações sobre sua vizinhança pela inundação limitada do protocolo *hello*. De acordo com as respostas recebidas, cada nó cria sua tabela de probabilidades de rotas para substituir a tabela de rotas tradicional do nó [Martins *et. al.* 2010].

Logo após o início da simulação cada nó contendo uma EANT (*Exploration ANT*) a enviará por *broadcast* para seus vizinhos. Um nó que receber uma EANT pela primeira vez criará um registro em sua tabela de rotas. O registro na tabela de rotas adicionará o valor de 3 campos: endereço de destino, próximo salto e valor de feromônio. O nó interpretará o endereço de origem da EANT como endereço de destino, o endereço do nó anterior como próximo salto e atualizará o valor do feromônio do *link*  $e(i, j)$  sobre o número de saltos que a EANT atravessou para chegar até o nó. Em seguida o contador de saltos será atualizado e a EANT reenviada para seus vizinhos. EANTs duplicadas são identificadas através de número de sequência único e destruídas pelos nós. Todo o processo acima não cessará até o final da simulação [Martins 2009].

#### **4.3.3.2 Descoberta de Rota**

Quando um nó  $S$  desejar enviar pacotes de dados para um destino  $D$  que não tem uma rota em sua tabela de rotas, ele criará uma ARREQ (*Ant Route Requisition*) e registrará o seu endereço e o tempo em que a ARREQ foi criada no registro de rota da ARREQ. Então  $S$  enviará por *broadcast* a ARREQ para seus vizinhos.

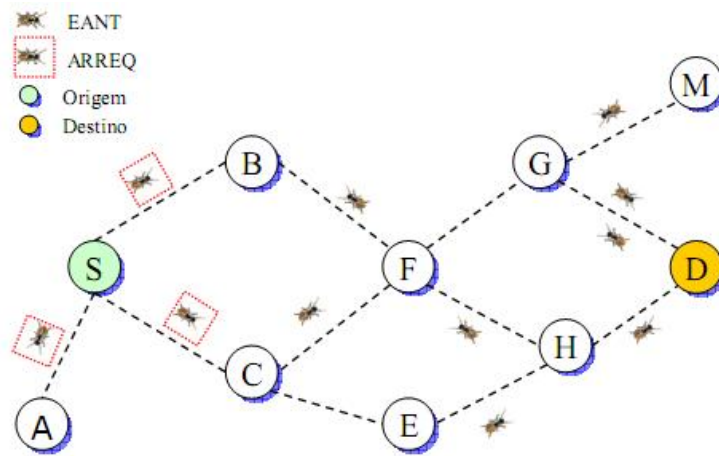


Figura 21: Protocolo total ARREQ + EANTs [Martins 2009]

A Figura 21 mostra o processo de busca de rotas em uma rede utilizando o protocolo A-DYMO. Enquanto as EANTs criam rotas para seus nós de origem, as ARREQs iniciam o processo de busca por um caminho para o destino.

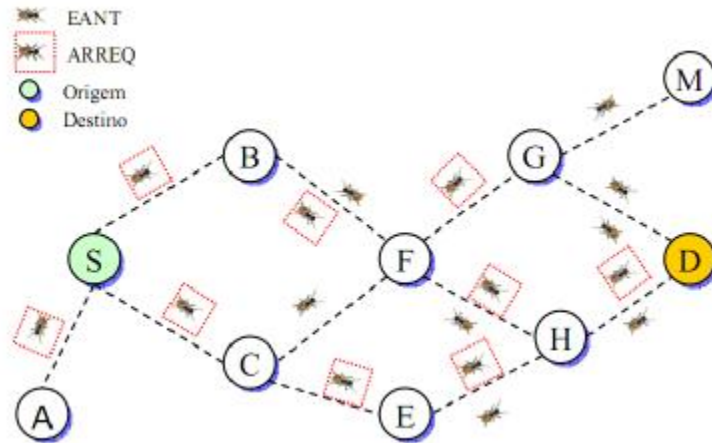


Figura 22: Busca por um destino [Martins 2009]

A Figura 22 ilustra o processo de busca de rotas utilizando o A-DYMO. Percebemos que as EANTs continuam a prover rotas de forma independentes do processo de busca de rotas. As ARREQs transitam pela rede até encontrar o destino ou um nó que tenha o caminho para o destino, onde será utilizado o mecanismo de escolha probabilística de transição.

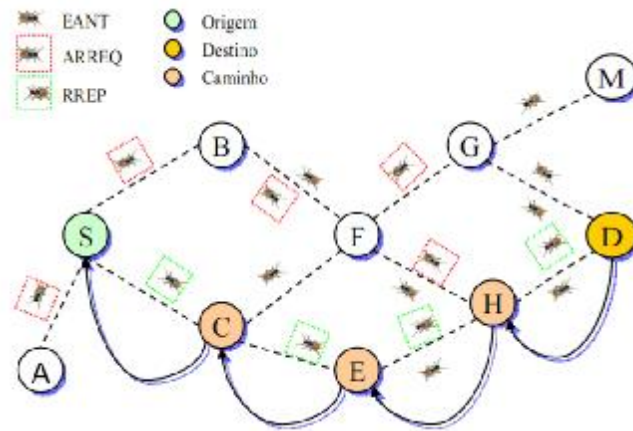


Figura 23: Geração de um RREP [Martins 2009]

A Figura 23 ilustra o processo de retorno de um RREP quando um nó de destino é encontrado. O RREP refaz o caminho reverso por *unicast* em direção a origem contendo a informação de roteamento para que os pacotes de dados sejam enviados.

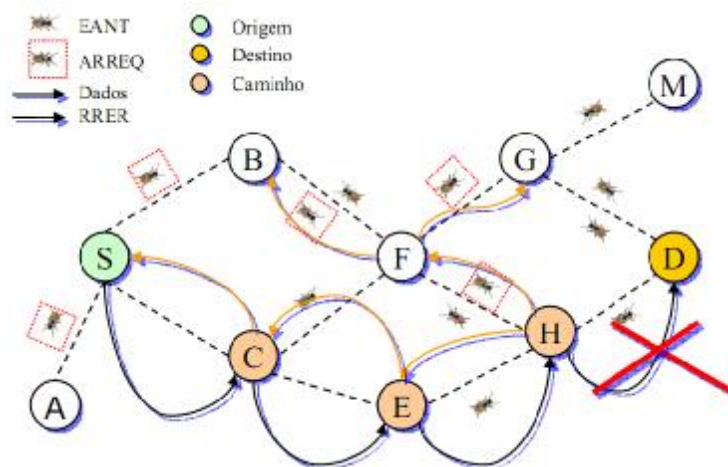


Figura 24: Erro de Rota [Martins 2009]

A Figura 24 ilustra o mecanismo de manutenção de rotas. Para esse mecanismo nenhum novo pacote foi definido. O RRER é gerado e se a origem não possuir um outro caminho para o destino, um novo procedimento de descoberta de rotas é iniciado.

### 4.3.3.3 Manutenção de Rota

A fase da manutenção de rotas é a responsável pelo melhoramento das rotas existentes. Em alguns algoritmos são gerados pacotes específicos para esse trabalho,

porém, o A-DYMO não necessita de pacotes especiais. Por dois motivos: primeiro, as EANTS continuam trabalhando para prover rotas todo o tempo, o que aumenta a probabilidade de encontrar um caminho alternativo rapidamente quando houver erro de rota. E em segundo lugar, os pacotes de dados, imitando o comportamento das formigas reais, reforçarão as trilhas de feromônio sobre o caminho escolhido. Quando um nó  $S$  repassa um pacote de dados para o destino  $D$ , através de um nó vindo  $J$ , ele incrementa o valor do feromônio de entrada  $(D, J, \tau)$  por, digamos  $\Delta\tau$ , assim o caminho para o destino é reforçado pelos pacotes de dados. Em contrapartida a isso, o próximo salto  $J$  incrementará o valor do feromônio pela entrada  $(S, I, \tau)$  por, digamos  $\Delta\tau$ , assim o caminho para a origem também será reforçado. O processo de evaporação do feromônio real é simulado por um regular decréscimo dos valores de feromônio. Os demais processos de manutenção são nativos no DYMO [Martins 2009].

## **5 Modelo de Mobilidade**

Para avaliar o desempenho de protocolos de roteamento geralmente recorre-se a simulações. Tratando-se de redes veiculares essa prática é ainda mais comum devido principalmente aos custos necessários para realizar experimentos em um ambiente real. No entanto, para que essas simulações produzam resultados válidos, é necessário que o ambiente simulado seja o mais próximo possível do ambiente real e, no contexto das redes veiculares, a mobilidade dos veículos é um aspecto fundamental para alcançar essa proximidade. Por essa razão, não podemos tratar de simulações em redes veiculares sem enfatizar a importância da escolha do modelo de mobilidade.

Neste capítulo tratamos dos principais aspectos relacionados à influência do modelo de mobilidade nas simulações de redes veiculares.

### **5.1 Simulação de Tráfego**

As redes veiculares possuem um padrão de mobilidade único. Nenhuma outra família de redes móveis existente apresenta centenas ou milhares de nós, movendo-se a uma velocidade acima de 10 quilômetros por hora e alternando alta velocidade com intervalos cujos nós estão completamente parados e cuja liberdade de movimentação é limitada por complexas interações (veículo-veículo), por uma topologia precisa (limites da vias) e por uma complexa legislação de trânsito [Fiore 2009].

Portanto, ao conduzir os estudos sobre redes veiculares para o domínio de simulação, introduz-se um elemento intermediário complexo, representado pela necessidade de reproduzir o movimento peculiar dos veículos dentro do ambiente simulado. Por essa razão, as simulações em redes veiculares requerem dois componentes: componente de rede e componente de mobilidade. Entretanto, como os simuladores de rede tradicionais não implementam modelos de mobilidades realísticos

para o contexto das redes veiculares, as etapas para simulação, em geral, envolvem dois tipos de simuladores: um simulador de mobilidade e um simulador de rede. A Figura 25 ilustra o esquema geral utilizado na simulação de redes veiculares que são divididas em duas partes. A primeira é realizada no simulador de tráfego ou de mobilidade, e a segunda é realizada em um simulador de rede. Ao final da primeira parte são produzidas as entradas para segunda, que produz os dados necessários para extração dos resultados [Mateus 2011].



Figura 25: Esquema geral de simulação em redes veiculares [Mateus 2011].

Para simulação de tráfego, faz-se necessário à definição do mapa e a definição das rotas. Especificada a topologia da rede, é necessário definir os caminhos que os veículos percorrerão. Isso é importante, pois ao contrário das outras redes móveis, os veículos não se movimentam aleatoriamente.

Finalizadas as definições, surge a necessidade de um modelo de mobilidade que determine como os veículos irão interagir entre si e com a topologia da rede. Como o modelo de mobilidade tem um papel importante na simulação de redes veiculares, a seguir são apresentados diversos modelos de mobilidade existentes e ao final do capítulo é apontado qual o modelo utilizado nesse trabalho.

## 5.2 Modelo de Mobilidade

Os modelos de mobilidade representam o movimento (localização, velocidade e aceleração) dos nós móveis que variam ao longo do tempo [Alam 2009].

Esses modelos são utilizados na avaliação de desempenho de aplicações e sistemas de comunicação, permitindo a análise do impacto causada pela mobilidade sobre o funcionamento dos mesmos [Campos *et al.* 2004].

O modelo de mobilidade influencia de forma relevante o desempenho de uma rede veicular [Naumov *et al.* 2006].

Várias abordagens foram adotadas na modelagem da mobilidade dos veículos e, por isso, mais de uma classificação desses modelos pode ser encontrada na literatura. De acordo com [Hartenstein *et al.* 2010], seguindo uma classificação baseada no nível de detalhe da representação dos movimentos, os modelos são separados nas seguintes categorias:

- **Modelo Microscópico:** No modelo microscópico a movimentação de cada veículo é representada detalhadamente e sua dinâmica é tratada independentemente dos outros veículos, exceto para aqueles que estão perto o suficiente para ter um impacto direto no comportamento do motorista. Modelos microscópicos são capazes de reproduzir com uma fina granularidade situações do mundo real, como a interação com o veículo da frente, mudanças de faixa, e os encontros de fluxos em cruzamentos. Por essa razão são modelos de alta complexidade computacional.
- **Modelo Macroscópico:** Modelos macroscópicos não consideram a mobilidade de um carro específico. Nesses modelos o tráfego veicular é considerado um fluxo contínuo e apenas características relacionadas ao fluxo de veículos, como densidade e velocidade, são modeladas. Modelos macroscópicos têm a vantagem de serem de baixa complexidade computacional.
- **Modelo Mesoscópico:** O modelo mesoscópico está na fronteira dos modelos macroscópicos e microscópicos. Características individuais podem ser modeladas, mas sempre em relação a métricas macroscópicas, como por exemplo, a densidade veicular. O objetivo é se beneficiar da escalabilidade da abordagem macroscópica sem abrir mão de detalhes até então presentes apenas em modelos microscópicos.

As simulações em redes veiculares requerem um alto nível de detalhes em relação à mobilidade dos veículos. Além disso, a precisão na ordem de metros das posições relativas e absolutas dos veículos faz com que o modelo de mobilidade mais adequado para utilização nas simulações em redes veiculares seja o microscópico.



Os modelos macroscópico e mesoscópico são utilizados para descrever sistemas veiculares de larga escala, os quais caracterizam estradas que cobrem regiões ou países. Já o modelo microscópico, devido ao seu alto custo computacional, geralmente é utilizado para descrever áreas menores, como cruzamentos ou uma simples rodovia [Fiore 2009].

Outra classificação dos modelos de mobilidade é proposta em [Fiore 2009], diferenciando os modelos de acordo com a natureza da representação analítica dos movimentos dos veículos:

- Modelos estocásticos: Nesse modelo, o movimento dos veículos é descrito no nível microscópico e é condicionado por um grafo que representa a topologia da estrada. Além disso, os movimentos são aleatórios, já que as entidades móveis seguem caminhos informais sobre o grafo, viajando com uma velocidade escolhida aleatoriamente. Os modelos estocásticos são a forma mais trivial para simular a mobilidade dos veículos e foram introduzidos por pesquisas pioneiras na área de redes veiculares. Um exemplo de modelo estocástico é o *Manhattan mobility model* [Abedi *et al.* 2008]. Nesse modelo é possível simular cenários com rua nos sentidos horizontal e vertical. Cada rua, por sua vez, é dividida em faixas que podem ter sentidos opostos. Em cada cruzamento o nó móvel pode optar por seguir em frente, dobrar à direita ou dobrar à esquerda. A aceleração do veículo é definida pelo usuário e a velocidade do nó é restringida pelos nós móveis que estão na mesma faixa. Os nós móveis devem manter uma distância mínima, denominada distância de segurança. Desta forma, se dois veículos estão respeitando a distância de segurança, a velocidade do nó de trás não pode exceder a velocidade do nó da frente.
- Modelo de fluxo de tráfego: Nesse modelo, a mobilidade é observada em alto nível e tratada como um fenômeno contínuo. Nos modelos de fluxo de tráfego, a velocidade de um veículo é determinada de acordo com relacionamentos fundamentais da hidrodinâmica entre velocidade, densidade e vazão de um fluido. Desta forma, de acordo com a classificação anterior, podemos classificar esse como microscópico ou mesoscópico.
- Modelo de carro seguinte (*Car-following models*): Nesse modelo, o comportamento de cada veículo é calculado com base no estado (posição,

velocidade e aceleração) dos veículos ao seu redor. Os primeiros modelos de carro seguinte são datados de 1950 e representam a maneira mais comum para descrever analiticamente em nível microscópico a mobilidade veicular.

- Modelo de interação de fluxo: Construído baseado nas interações entre veículos dos modelos estocásticos e de carro seguinte, o modelo de interação de fluxo é classificado como microscópico. A interação dos fluxos representa a dinamicidade presente nas redes veiculares, como no encontro de fluxos de veículos em cruzamentos.

## 5.3 Simuladores de Mobilidade

### 5.3.1 *Simulation of Urban MObility (SUMO)*

O SUMO [SUMO 2011] é um simulador de mobilidade de código aberto e altamente portátil. Ele foi desenvolvido com o intuito de fornecer uma plataforma para testes e comparações entre modelos de mobilidade. Para alcançar esse objetivo, ao longo do tempo foram adicionadas funcionalidades ao SUMO. Na versão atual, algumas das características são:

- Gera movimentos de veículos livres de colisões;
- Permite a definição de vários tipos de veículos;
- Permite o roteamento individual dos veículos;
- Permite o uso de vias com várias faixas;
- Permite o uso de topologias complexas (10.000 ruas).

Além dessas características, outra característica essencial do SUMO é o modelo de mobilidade utilizado por ele para reproduzir a movimentação dos veículos. O SUMO utiliza como modelo de mobilidade o *Kraussβ car-following*, um modelo de carro seguinte que é capaz de reproduzir de maneira realística a movimentação dos veículos. Além disso, o SUMO possibilita o uso de semáforos para auxiliar no controle de fluxo, tornando assim a movimentação dos veículos mais próxima da observada no mundo real. Devido a essas características, utilizamos o SUMO para ser o simulador de mobilidade no cenário de rodovia.

### **5.3.2 *INter-VEhicular Network Technologies (INVENT)***

Para testar aplicativos e protocolos de roteamentos de forma mais realística e em grande escala é necessário modelos de mobilidade adequados e ferramentas para gerar *traces* de mobilidade para ser usado em simuladores. Para suprir essa necessidade foi desenvolvido o INVENT [INVENT 2011], um gerador de tráfego de veículos microscópicos baseado nos modelos do carro seguinte e de mudança de faixa, que pertencem à classe dos modelos de mobilidade que evitam colisões entre os veículos. O objetivo principal destes modelos é permitir que um veículo trafegue em sua velocidade máxima de forma segura, de forma que não ocorram colisões entre os veículos. O modelo do carro seguinte fornece a capacidade para transições suaves entre aceleração e desaceleração. O alvo deste gerador de tráfego veicular são os cenários de cidade. Ele suporta semáforos nos cruzamentos, bem como o tráfego bidirecional e em múltiplas faixas. Devido a essas características, utilizamos o INVENT para ser o simulador de mobilidade no cenário urbano.

Neste trabalho, o simulador de rede escolhido foi o Network Simulator 2 (NS2 - 2.34) por ser um simulador amplamente utilizado na literatura para simulações de redes *ad hoc*, por ser um programa de código aberto e, principalmente, pela compatibilidade com o SUMO e com o INVENT.

## 6 Análise das Simulações

Baseado no que foi descrito nos capítulos anteriores, podemos concluir que o roteamento é um dos grandes desafios das redes veiculares. Assim, para detectarmos se uma aplicação VoIP obtém um desempenho satisfatório é necessário analisarmos o desempenho dos protocolos de roteamento para redes veiculares propostos nos cenários urbano e de rodovia. Para isso, realizamos simulações e os resultados foram analisados e comparados.

Um aspecto muito importante a ser observado é a densidade veicular. Ela é capaz de afetar diversas outras características da rede, tais como: a conectividade da rede, o grau de dinamicidade da rede e a mobilidade dos veículos. Por exemplo, com o aumento do número de veículos em uma via é esperado que a velocidade média dos veículos diminua, chegando próximo de zero em situações extremas como acidentes na via e congestionamentos. Nesse contexto, a rede torna-se menos dinâmica, devido à dificuldade de movimentação dos veículos e, por consequência, os enlaces tornam-se mais estáveis. Seguindo esse pensamento, quando a densidade veicular diminui, os veículos tendem a se mover mais rapidamente pela via, aumentando dessa forma a dinamicidade da rede e tornando os enlaces bastante instáveis.

Contudo, a variação da densidade veicular não influencia da mesma forma os diversos cenários de redes veiculares. Em cenários urbanos, os cruzamentos com semáforos tendem a concentrar um maior número de veículos, enquanto regiões sem sinalização apresentam maior fluidez do tráfego. Nesse caso, a concentração de veículos em regiões próximas aos cruzamentos contribuem para acentuar a distribuição não uniforme de veículos na rede. Já em cenários de rodovia, os veículos são distribuídos quase que uniformemente ao longo das vias, principalmente devido à ausência de regiões concentradoras de veículos. Essa característica permite maior fluidez do tráfego nas vias.

Atualmente, apesar de os protocolos serem desenvolvidos para superar problemáticas específicas de cada cenário, aguarda-se que no futuro os protocolos sejam desenvolvidos para apresentar um bom funcionamento em diversos cenários.

## **6.1 Ambiente de Simulação**

Com o objetivo de estabelecer uma proximidade entre a avaliação dos resultados em simuladores com o mundo real, neste trabalho utilizamos dois cenários de redes veiculares:

- Cenário urbano
- Cenário de rodovia

Entretanto, como cada cenário pode possuir diversas representações do cotidiano da vida real, vários parâmetros são variados para se obter uma análise mais precisa e mais próxima da realidade. Para exemplificar, foram realizados testes em cinco ambientes diferentes no cenário de rodovia, os quais descrevemos na próxima seção.

### **6.1.1 Cenários**

#### **6.1.1.1 Cenário Urbano**

O cenário urbano é predominante nas redes veiculares. Para realizar as simulações deste cenário reproduzimos parte do mapa do centro de *Ottawa*.

Neste cenário, o mapa contém doze ruas, algumas de mão dupla e outras de sentido único. Em uma extremidade do mapa existem dois veículos (*A* e *B*) que trafegam na mesma direção, em uma rota pré-determinada e estão distantes 1000m um do outro. Em cada simulação estes dois veículos trafegam inicialmente a 36km/h, posteriormente a 72km/h e por fim a 108km/h. O tempo de simulação é de 300s e os veículos *A* e *B* estabelecem uma conexão VoIP no início do deslocamento e utilizam os carros que trafegam ao seu redor para manter sua conexão. As métricas VoIP coletadas no final da simulação são a perda de pacotes, atraso fim-a-fim e MOS. O alcance de transmissão utilizado foi de 600m e posteriormente 800m. A quantidade de veículos que trafegam na rodovia é de 10, 18, 26 e 32 nós. Estes nós secundários variam sua velocidade entre 36km/h, 72km/h e 108km/h, distribuídos probabilisticamente. Em cada

cruzamento os veículos secundários param e esperam por uma oportunidade de entrar na rua e suas rotas são aleatórias. Para este cenário foi utilizado o gerador de mobilidade INVENT. Utilizamos os protocolos AODV, DSDV e A-DYMO em cada simulação. A Figura 26 ilustra o mapa do cenário urbano e a Figura 27 ilustra a rota pré-definida (em vermelho) dos veículos *A* e *B*.



Figura 26: Mapa do cenário urbano. Adaptado de [Openstreetmap 2009]



Figura 27: Trajetória dos dois veículos com comunicação VoIP. Adaptado de [Openstreetmap 2009]

### 6.1.1.2 Cenário de Rodovia

O cenário de rodovia apresenta uma disposição mais simples das vias. Neste trabalho realizamos testes no cenário de rodovia, simulando cinco ambientes diferentes:

- **Ambiente 01:** Simulamos o primeiro ambiente para encontrar a melhor configuração do VoIP para redes veiculares. Para isso, foram colocados dois carros (*A* e *B*) distantes 400m um do outro. O carro *A* mantém conexão VoIP com o carro *B*. Eles percorrem a rodovia se aproximando um do outro a 36km/h, 72km/h e posteriormente a 108km/h. Utilizamos o protocolo A-DYMO e os *codecs* G.711, G.723, G.729, GSM.AMR e GSM.EFR. Além disso, variamos o envio do surto de voz com 2 *frames* e posteriormente com 4 *frames* por pacote. Ao final da simulação foi coletado o MOS. A Figura 28 ilustra este primeiro ambiente.

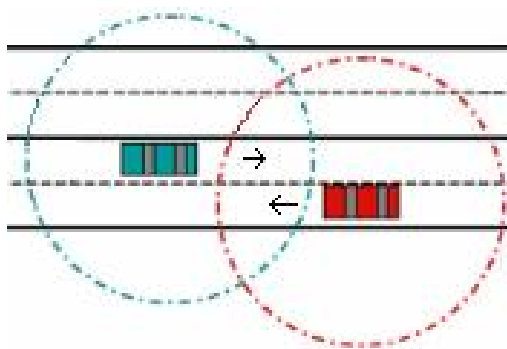


Figura 28: Mapa do ambiente 01 do cenário de rodovia.

- **Ambiente 02:** Esta rodovia possui duas pistas, cada uma com duas faixas. Cada pista possui veículos trafegando em um sentido. Em uma extremidade da rodovia existe um carro *A* parado, que está encarregado de iniciar a conexão VoIP bidirecional com o carro *B*, que está parado na outra extremidade da rodovia, a uma distância de 3100m. Entre eles, para melhorar a conectividade, existem duas RSUs nas posições 1000m e 2000m em relação ao carro *A*. O tempo da simulação é de 300s, entretanto a comunicação entre os veículos *A* e *B* somente iniciam-se após 100s para que os veículos secundários que são responsáveis pela comunicação de múltiplos saltos já estejam trafegando na rodovia. A quantidade de veículos secundários que trafegam na rodovia é de 10, 18, 26 e 32 nós em cada simulação e suas velocidades variam entre 36km/h, 72km/h e 108km/h, distribuídas probabilisticamente. Utilizamos o alcance de transmissão de 600m e posteriormente 800m. O gerador de mobilidade utilizado foi o SUMO. Para cada configuração utilizaram-se

os protocolos AODV, DSDV e A-DYMO. Ao final da simulação coletamos o MOS e o atraso fim. A Figura 29 ilustra este segundo ambiente do cenário de rodovia.

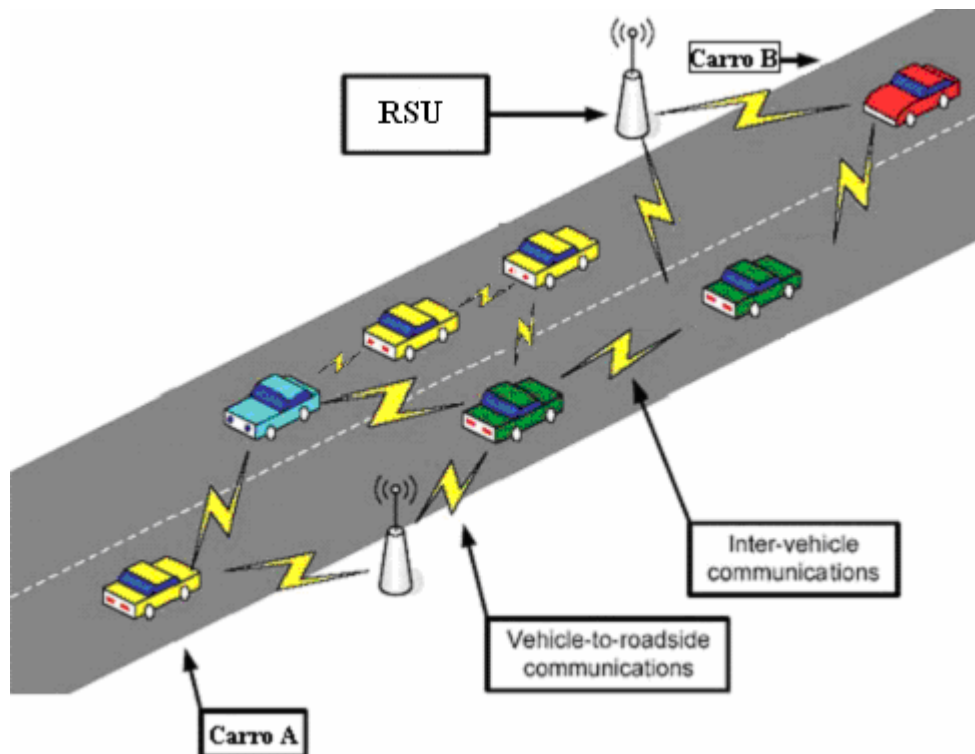


Figura 29: Mapa do ambiente 02 do cenário de rodovia. Adaptado de [Lemos 2010]

- **Ambiente 03:** Neste ambiente a rodovia possui duas pistas, cada uma com duas faixas. Cada pista possui veículos trafegando em um sentido. Em uma extremidade da rodovia existem dois veículos (*A* e *B*) que trafegam na mesma direção e estão distantes 1000m um do outro. Em cada simulação estes dois veículos trafegam inicialmente a 36km/h, posteriormente a 72km/h e por fim a 108km/h. O tempo de simulação é de 300s e os veículos *A* e *B* estabelecem uma conexão VoIP após 100s do início do deslocamento e utilizam os carros que trafegam ao seu redor (veículos secundários) para manter sua conexão. Entre eles, para melhorar a conectividade, existem duas RSUs nas posições 1000m e 2000m em relação ao início da rodovia. As métricas VoIP coletadas são taxa de perda de pacotes, atraso fim-a-fim e MOS. O alcance de transmissão utilizado foi de 600m e posteriormente 800m. A quantidade



de veículos secundários que trafegam na rodovia é de 10, 18, 26 ou 32 nós. Estes nós secundários variam sua velocidade entre 36km, 72km/h e 108km/h, distribuídos probabilisticamente. O gerador de mobilidade utilizado foi o SUMO. Para cada simulação utilizaram-se os protocolos AODV, DSDV e A-DYMO. A Figura 30 ilustra este terceiro ambiente.

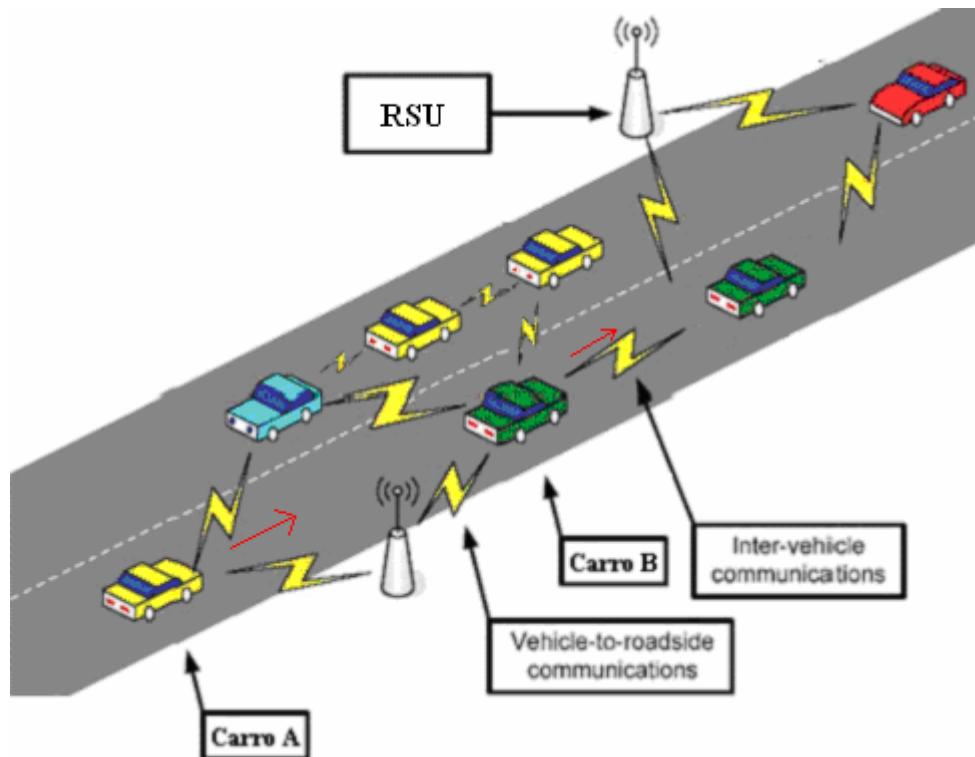


Figura 30: Mapa do ambiente 03 do cenário de rodovia. Adaptado de [Lemos 2010]

- **Ambiente 04:** Esta rodovia possui uma pista com três faixas. Esta pista possui veículos trafegando em um único sentido. Em uma extremidade da rodovia existe um carro A em movimento (ambulância), que está encarregado de iniciar a conexão VoIP bidirecional com o carro B parado (veículo acidentado) na outra extremidade da rodovia. O tempo de simulação é de 300s. O tamanho da rodovia varia entre 03, 06 ou 09 kms. Isso se deve ao fato da variação da velocidade que a ambulância trafega. Nesse ambiente, suas velocidades foram de 36km/h, 72km/h ou 108km/h, respectivamente. A comunicação entre a ambulância e o veículo acidentado começa no início da simulação e só termina quando a

ambulância chega até o local do acidente. Em virtude disso, no início da simulação os veículos secundários já estão trafegando pelo cenário. No término da simulação é realizada a coleta das métricas VoIP (perda de pacotes, atraso fim-a-fim e MOS). A quantidade de veículos secundários que trafegam na rodovia é variada em 09, 28, 49, 70 ou 86 nós e suas velocidades são de 36km/h, 72km/h e 108km/h (variando probabilisticamente). Utilizamos 300m para o alcance de transmissão e o SUMO como gerador de mobilidade. Para cada simulação utilizaram-se os protocolos AODV, DSDV e A-DYMO. A Figura 31 ilustra este quarto ambiente do cenário de rodovia.

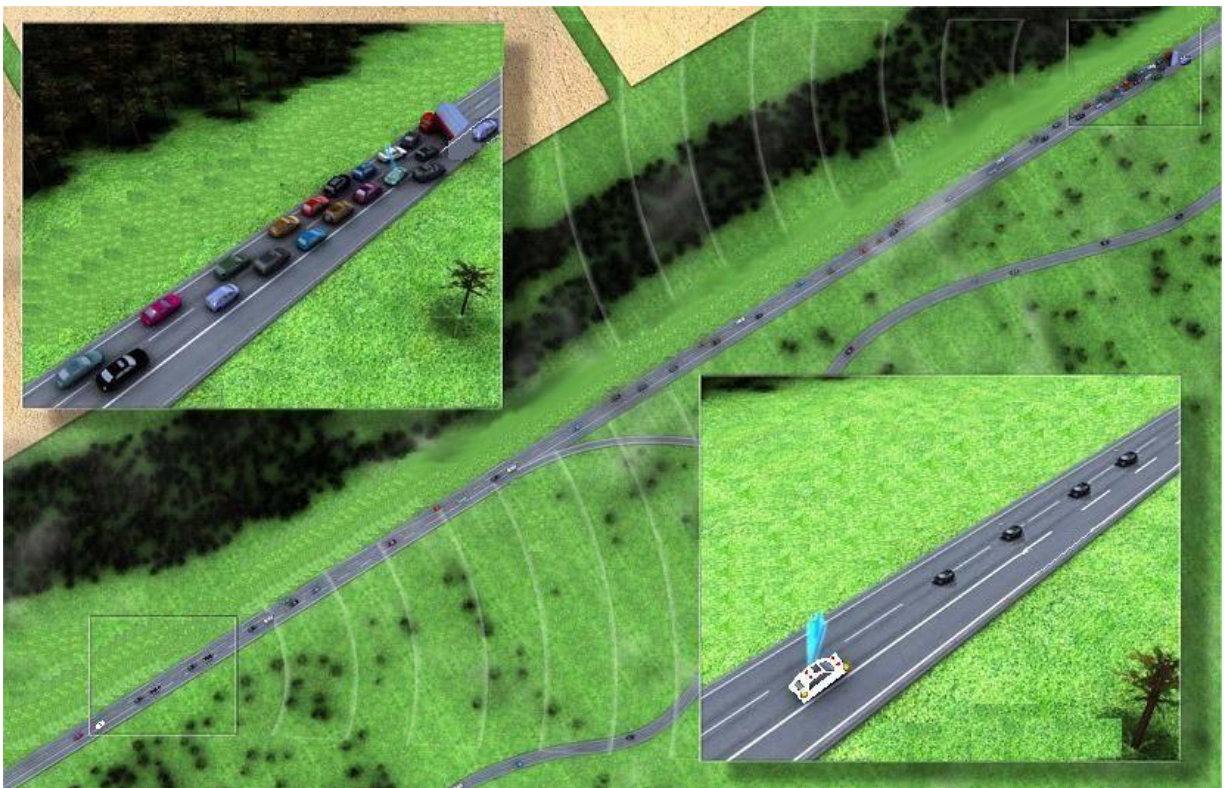


Figura 31: Mapa do ambiente 04 do cenário de rodovia. Adaptado de [C2CCC 2009]

- **Ambiente 05:** Esta rodovia possui uma pista com três faixas. Esta pista possui veículos trafegando em um único sentido. Em uma extremidade da rodovia existe um carro *A* em movimento (ambulância), que está encarregado de iniciar a conexão VoIP bidirecional com o carro *B* parado (veículo acidentado) na outra extremidade da rodovia. O tamanho da

rodovia é de 03 kms. A velocidade máxima da ambulância é de 150kms/h. O tempo de simulação varia de acordo com a velocidade da ambulância. Isso se deve ao fato da ambulância levar uma quantidade de tempo diferente para percorrer a rodovia até o local do acidente devido ao trânsito em alguns momentos ser mais denso e em outros momentos ser mais esparso. Quando o ambiente está congestionado, existem cerca de 182 veículos secundários (utilizados para comunicação através de múltiplos saltos) trafegando nos 03 kms de rodovia, ou seja, trafegam 1350 veículos secundários por hora. Nesse ambiente, a ambulância trafega em média a 54km/h e leva 200s para percorrer toda estrada. Quando o ambiente está semi congestionado, existem em média 122 veículos secundários trafegando ao mesmo tempo nessa rodovia, ou seja, trafegam 900 veículos secundários por hora e a velocidade média que a ambulância se desloca é de 90km/h, levando 120s para percorrer toda estrada. E por fim, quando o ambiente está esparso existem em média 64 veículos secundários trafegando ao mesmo tempo na estrada, o que corresponde a 450 veículos por hora se deslocando nos 03 kms de rodovia. Nesse ambiente, a ambulância trafega em média a 150km/h e leva 72s para percorrer toda estrada. A comunicação entre a ambulância e o veículo acidentado começa no início da simulação e só termina quando a ambulância chega no local do acidente. Em virtude disso, no início da simulação os veículos secundários já estão trafegando pelo ambiente. No término da simulação é realizada a coleta das métricas VoIP (perda de pacotes, atraso fim-a-fim e MOS). As velocidades dos veículos secundários que trafegam na rodovia são de 36km/h, 72km/h e 108km/h (variando probabilisticamente). O alcance de transmissão utilizado foi de 300m e o gerador de mobilidade foi o SUMO. Para cada simulação utilizaram-se os protocolos AODV e A-DYMO. A Figura 32 ilustra este quinto ambiente do cenário de rodovia.

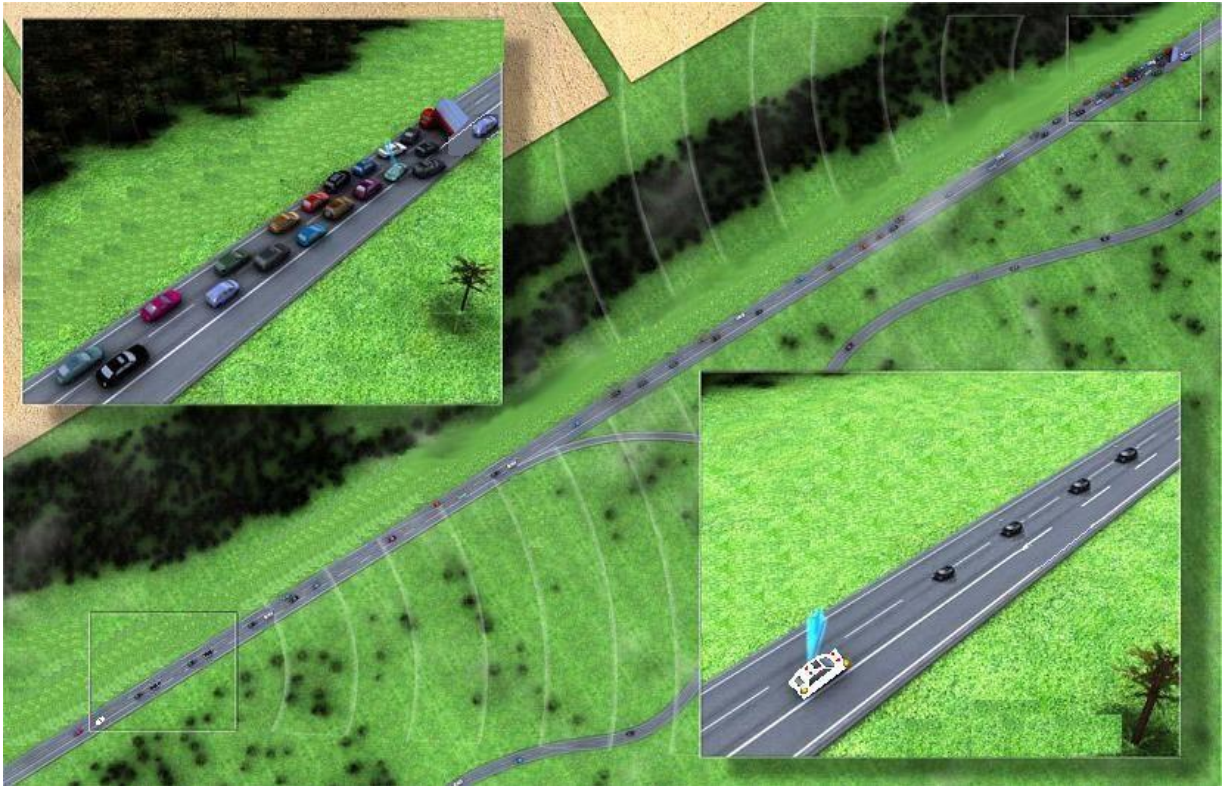


Figura 32: Mapa do ambiente 05 do cenário de rodovia. Adaptado de [C2CCC 2009]

### 6.1.2 Protocolos de Roteamento Simulados

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de uma aplicação VoIP nas redes veiculares. Para isso, analisamos as métricas do VoIP variando a densidade veicular, a mobilidade dos nós, o alcance de transmissão e os protocolos de roteamento. Para avaliar o impacto da mobilidade dos nós realizamos simulações no cenário urbano e no cenário de rodovia. Como citado na Seção 4.3, utilizamos nas simulações três diferentes tipos de protocolo de roteamento: um reativo, um pró-ativo e um híbrido, logo selecionamos os protocolos AODV, DSDV e A-DYMO. Entretanto, no ambiente 01 do cenário de rodovia utilizamos somente o protocolo A-DYMO e no ambiente 05 do cenário de rodovia utilizamos somente os protocolos AODV e A-DYMO.

Os protocolos AODV e DSDV foram escolhidos por se tratarem de dois protocolos muito conhecidos pela comunidade acadêmica. O terceiro protocolo utilizado foi o A-DYMO, que foi construído baseado em duas premissas: em primeiro lugar, o algoritmo de formiga que se mostrou hábil na tarefa de manter a topologia da rede na maior quantidade de tempo possível, bem como distribuir de forma probabilística o tráfego na rede, o que contribui com certo balanceamento de carga; em segundo lugar,

por se tratar de um protocolo híbrido, tem-se maior possibilidade de satisfazer as necessidades das aplicações reais, pois focaliza o problema da latência durante a descoberta de rotas como também se preocupa com o problema da sobrecarga na rede com relação ao tráfego de controle. Baseado nestas características, concluímos que o protocolo A-DYMO deve apresentar melhores resultados em comparação aos protocolos AODV e DSDV.

### 6.1.3 Mobilidade

Na avaliação dos protocolos AODV, DSDV e A-DYMO são utilizados os cenários de rodovia e urbano. Com o intuito de tornar esses cenários mais realísticos, representamos alguns dos diversos perfis de motoristas. Como não existe definição do número exato de perfis de motoristas, optamos por selecionar três: motoristas lentos, em velocidade média e rápidos. Considerando que a velocidade máxima das vias urbanas é 80km/h, definimos dois perfis para veículos que sempre trafegam abaixo desse valor e um perfil que representa motoristas infratores, que podem alcançar até 108 km/h.

Os simuladores de tráfego SUMO e INVENT permitem que sejam definidos os tipos de veículos da rede. Para isso, definimos valores para as seguintes propriedades: velocidade máxima, aceleração, desaceleração e comprimento do veículo. Os valores utilizados para cada tipo de veículo estão listados na Tabela 10.

Tabela 10: Parâmetros de cada tipo de veículo.

Tipo	Velocidade máxima	Aceleração	Desaceleração	Comprimento do Veículo
Tipo 1	108 km/h	1.8 m/s <sup>2</sup>	1.8 m/s <sup>2</sup>	7.5 m
Tipo 2	72 km/h	2.8 m/s <sup>2</sup>	2.8 m/s <sup>2</sup>	7.5 m
Tipo 3	36 km/h	3.8 m/s <sup>2</sup>	3.8 m/s <sup>2</sup>	7.5 m

### 6.1.4 Parâmetros do Simulador de Rede

Os parâmetros utilizados no simulador de rede NS-2 (versão 2.34) estão listados nas Tabela 11, Tabela 12, Tabela 13, Tabela 14, Tabela 15, Tabela 16 e Tabela 17. Quando um parâmetro é variado (apenas um deles é variado por vez), os demais assumem os valores destacados entre colchetes.

Para tornar os cenários simulados mais realistas, nós definimos os parâmetros referentes ao comportamento dos veículos o mais próximo possível ao observado no mundo real. Em relação ao parâmetro “Raio de Transmissão” consideramos dois aspectos: o raio de transmissão máximo em redes veiculares que é de 1000m e as dimensões dos cenários, já que caso fosse utilizado o alcance máximo, poucos veículo poderiam cobrir toda a área de simulação. Portanto, adotamos valores intermediários de 300, 600m ou 800m para o raio de transmissão.

Tabela 11: Parâmetros de simulação do VoIP para todos cenários

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor (configuração)</b>
<b>Aplicação</b>	VoIP
<b>Protocolo MAC/Físico</b>	IEEE 802.11
<b>Modelo VoIP</b>	<i>One-to-one</i>
<b>Codec VoIP</b>	G.711
<b>Frames por pacote</b>	4
<b>Voip Decoder Chain</b>	<i>Optimal</i>
<b>Static Buffer</b>	20
<b>Static Delay</b>	0.08
<b>Playout Buffer Size</b>	10
<b>Initial Delay</b>	0.005
<b>Playout Rate</b>	0.020 ms
<b>Tamanho do Pacote</b>	65535

Tabela 12: Parâmetros de simulação para o cenário urbano

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor (configuração)</b>
<b>Aplicação</b>	VoIP
<b>Protocolo MAC/Físico</b>	IEEE 802.11
<b>Dimensão do cenário</b>	5,100m x 5,100m
<b>Raio de Transmissão</b>	600m ou 800m
<b>Modelo de mobilidade</b>	<i>Car-following</i> (INVENT)
<b>Velocidade máxima dos nós fontes</b>	36 – 108 [36, 72 ou 108 km/h]
<b>Velocidade máxima dos nós secundários</b>	36, 72 e 108 km/h (distribuídos probabilisticamente)
<b>Tempo de Simulação</b>	700s (nós fontes trafegando a 36km/h)

	400s (nós fontes trafegando a 72km/h) 266,6s (nós fontes trafegando a 108km/h)
<b>Quantidade de nós secundários</b>	14 – 59 [14, 28, 49 ou 59 veículos]
<b>Quantidade de nós fontes</b>	02
<b>Modelo de Propagação</b>	<i>Nakagami</i>
<b>Cenário</b>	<i>Ottawa</i> (Urbano)
<b>Protocolos de Roteamento</b>	AODV, DSDV e A-DYMO
<b>Quantidade de RSUs</b>	0
<b>Quantidade de Simulações por Cenário</b>	33

Tabela 13: Parâmetros de simulação para o ambiente 01 do cenário de rodovia.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor (configuração)</b>
<b>Aplicação</b>	VoIP
<b>Protocolo MAC/Físico</b>	IEEE 802.11
<b>Dimensão do cenário</b>	400m x 300m
<b>Raio de Transmissão</b>	400 m
<b>Modelo de mobilidade</b>	<i>Car-following</i> (SUMO)
<b>Velocidade máxima dos nós fontes</b>	36 – 108 [36, 72 e 108 km/h]
<b>Tempo de Simulação</b>	20s (nós fontes trafegando a 36km/h) 10s (nós fontes trafegando a 72km/h) 6,6s (nós fontes trafegando a 108km/h)
<b>Quantidade de nós fontes</b>	02
<b>Modelo de Propagação</b>	<i>Nakagami</i>
<b>Cenário</b>	<i>Highway</i> (Rodovia)
<b>Protocolo de Roteamento</b>	A-DYMO
<b>Codecs</b>	G.711, G723, G729, GSM.AMR e GSM.EFR
<b>Frames por pacote</b>	02 e 04
<b>Quantidade de RSUs</b>	0
<b>Quantidade de Simulações por Cenário</b>	33

Tabela 14: Parâmetros de simulação para o ambiente 02 do cenário de rodovia.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor (configuração)</b>
<b>Aplicação</b>	VoIP

<b>Protocolo MAC/Físico</b>	IEEE 802.11
<b>Dimensão do cenário</b>	3,100m x 500m
<b>Raio de Transmissão</b>	600m ou 800m
<b>Modelo de mobilidade</b>	<i>Car-following</i> (SUMO)
<b>Velocidade máxima dos nós fontes</b>	0
<b>Velocidade máxima dos nós secundários</b>	36, 72 e 108 km/h (distribuídos probabilisticamente)
<b>Tempo de Simulação</b>	300s
<b>Quantidade de nós secundários</b>	50 veículos/hora (14 nós) 100 veículos/hora (28 nós) 150 veículos/hora (49 nós) 200 veículos/hora (59 nós)
<b>Quantidade de nós fontes</b>	02
<b>Modelo de Propagação</b>	<i>Nakagami</i>
<b>Cenário</b>	<i>Highway</i> (Rodovia)
<b>Protocolos de Roteamento</b>	AODV, DSDV e A-DYMO
<b>Quantidade de RSUs</b>	02
<b>Quantidade de Simulações por Cenário</b>	33

Tabela 15: Parâmetros de simulação para o ambiente 03 do cenário de rodovia.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor (configuração)</b>
<b>Aplicação</b>	VoIP
<b>Protocolo MAC/Físico</b>	IEEE 802.11
<b>Dimensão do cenário</b>	3,100m x 500m
<b>Raio de Transmissão</b>	600 m ou 800 m
<b>Modelo de mobilidade</b>	<i>Car-following</i> (SUMO)
<b>Velocidade máxima dos nós fontes</b>	36 - 108 [36, 72 ou 108 km/h]
<b>Velocidade máxima dos nós secundários</b>	36, 72 e 108 km/h (distribuídos probabilisticamente)
<b>Tempo de Simulação</b>	300s (nós fontes trafegando a 36km/h) 150s (nós fontes trafegando a 72km/h) 75s (nós fontes trafegando a 108km/h)
<b>Quantidade de nós secundários</b>	50 veículos/hora (14 nós) 100 veículos/hora (28 nós) 150 veículos/hora (49 nós)



	200 veículos/hora (59 nós)
<b>Quantidade de nós fontes</b>	02
<b>Modelo de Propagação</b>	<i>Nakagami</i>
<b>Cenário</b>	<i>Highway</i> (Rodovia)
<b>Protocolos de Roteamento</b>	AODV, DSDV e A-DYMO
<b>Quantidade de RSUs</b>	02
<b>Quantidade de Simulações por Cenário</b>	33

Tabela 16: Parâmetros de simulação para o ambiente 04 do cenário de rodovia.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor (configuração)</b>
<b>Aplicação</b>	VoIP
<b>Protocolo MAC/Físico</b>	IEEE 802.11
<b>Dimensão do cenário</b>	3,100m x 400m (ambulância trafegando a 36km/h) 6,100m x 400m (ambulância trafegando a 72km/h) 9,100m x 400m (ambulância trafegando a 108km/h)
<b>Raio de Transmissão</b>	300 m
<b>Modelo de mobilidade</b>	<i>Car-following</i> (SUMO)
<b>Velocidade máxima do nó fonte A (ambulância)</b>	36 – 108 [36, 72 ou 108 km/h]
<b>Velocidade máxima dos nós secundários</b>	36, 72 e 108 km/h (distribuídos probabilisticamente)
<b>Tempo de Simulação</b>	300s
<b>Quantidade de nós secundários</b>	50 veículos/hora (09 nós) 150 veículos/hora (28 nós) 250 veículos/hora (49 nós) 350 veículos/hora (70 nós) 450 veículos/hora (86 nós)
<b>Quantidade de nós fontes</b>	02
<b>Modelo de Propagação</b>	<i>Nakagami</i>
<b>Cenário</b>	<i>Highway</i> (Rodovia)
<b>Protocolos de Roteamento</b>	AODV, DSDV e A-DYMO
<b>Quantidade de RSUs</b>	0
<b>Quantidade de Simulações por Cenário</b>	33

Tabela 17: Parâmetros de simulação para o ambiente 05 do cenário de rodovia.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor (configuração)</b>
<b>Aplicação</b>	VoIP
<b>Protocolo MAC/Físico</b>	IEEE 802.11
<b>Dimensão do cenário</b>	3,100m x 400m
<b>Raio de Transmissão</b>	300 m
<b>Modelo de mobilidade</b>	<i>Car-following</i> (SUMO)
<b>Velocidade máxima do nó fonte A (ambulância)</b>	150 kms/h
<b>Velocidade máxima dos nós secundários</b>	36, 72 e 108 km/h (distribuídos probabilisticamente)
<b>Tempo de Simulação</b>	200s (nó fonte A trafegando em média a 54 kms/h) 120s (nó fonte A trafegando em média a 90 kms/h) 72s (nó fonte A trafegando em média a 150 kms/h)
<b>Quantidade de nós secundários</b>	450 veículos/hora (média de 64 nós) 900 veículos/hora (média de 122 nós) 1350 veículos/hora (média de 182 nós)
<b>Quantidade de nós fontes</b>	02
<b>Modelo de Propagação</b>	<i>Nakagami</i>
<b>Cenário</b>	<i>Highway</i> (Rodovia)
<b>Protocolos de Roteamento</b>	AODV e A-DYMO
<b>Quantidade de RSUs</b>	0
<b>Quantidade de Simulações por Cenário</b>	33

Os valores apresentados nos gráficos da Seção 6.2 são valores médios de 33 amostras obtidas por meio de repetições das simulações. Todos os gráficos são apresentados com intervalo de confiança de 95%.

## 6.2 Resultados

Analizamos o impacto dos seguintes parâmetros sobre o desempenho da aplicação VoIP:

- Densidade;
- Alcance de transmissão;
- Mobilidade;
- Protocolo de roteamento.

Como mencionado na Seção 2.1.5, a densidade de veículos exerce forte influência no comportamento de uma rede veicular. A variação da densidade influencia diretamente no grau de dinamicidade da rede, na mobilidade dos nós e, conseqüentemente, na conectividade da rede. Além disso, observamos no mundo real que a densidade de veículos varia de acordo com outros aspectos como horário ou ocorrência de acidentes. Tais características são suficientes para justificar a análise dessa condição em relação ao desempenho da aplicação VoIP. Para analisarmos tal condição, variamos o parâmetro quantidade de nós secundários nas simulações.

Outra condição analisada neste trabalho é o alcance de transmissão. Como mencionado na Seção 2.1.5, o alcance da transmissão dos nós é um fator importante quando se fala em conectividade em redes veiculares. Quanto maior o alcance de transmissão dos nós, maior será o período de conexão. Entretanto, com um alcance de transmissão menor, em uma rede densa e de topologia altamente dinâmica, a transmissão através de saltos múltiplos poderá alcançar um melhor desempenho. Para analisarmos tal condição variamos o alcance de transmissão em alguns ambientes nas simulações.

A inteligibilidade das comunicações VoIP deve ser realizada no nível do usuário, através das métricas de computação perceptiva como a *Mean Opinion Score* (MOS) ou o *E-Model*.

A análise das métricas de desempenho no nível IP muitas vezes levam a resultados imprecisos. Ao contrário de aplicações clássicas, que são facilmente quantificáveis, a análise das métricas relacionadas somente ao desempenho de dados (por exemplo, *throughput*, atraso de pacotes) não possibilitam um diagnóstico preciso sobre o comportamento de uma aplicação VoIP. O desempenho real de aplicações VoIP depende da percepção do usuário (conhecida muitas vezes como *Quality of Experience*, QoE). Por esta razão, a ITU-T criou um modelo computacional, chamado de *E-model*, que define um fator de qualidade (pontuação *R*) para capturar o efeito do atraso boca-para-ouvido e perdas em redes comutadas por pacotes. A pontuação *R* pode ser mapeada para o *Mean Opinion Score* (MOS), que por sua vez pode ser convertido em níveis de qualidade subjetiva (por exemplo, "bom", "ruim") [Bacioccola *et al.* 2007].

Por essa razão, as métricas analisadas nas simulações são:

- Atraso fim a fim - Corresponde à quantidade de tempo que a voz leva para sair da boca do interlocutor e chegar ao ouvido do receptor;

- MOS – É um mecanismo para avaliação subjetiva do efeito dos sistemas e componentes nas transmissões. Para isso, os usuários estipulam uma nota em uma escala de 1 (ruim) a 5 (excelente) conforme a sua percepção de qualidade dos sistemas avaliados;
- Perda de pacotes - Corresponde à porcentagem de pacotes perdidos ou descartados. Seu cálculo é feito através da diferença entre o número de pacotes entregues ao destino com relação ao número de pacotes que são enviados pelo nó de origem.

### **6.2.1 Atraso fim a fim**

As Figura 33, Figura 34, Figura 35, Figura 37, Figura 38 e Figura 39 apresentam o impacto da densidade da rede sobre o atraso fim a fim no cenário urbano e nos ambientes 02, 03 e 05 do cenário de rodovia. Para tornar os ambientes dos cenários ainda mais realistas, variamos as velocidades, os protocolos de roteamento e em alguns deles o alcance de transmissão. A Figura 36 apresenta o impacto das velocidades sobre o atraso fim a fim no ambiente 04 do cenário de rodovia. Para tornar esse ambiente ainda mais realista, variamos as densidades e os protocolos de roteamento.

Ao analisarmos as Figura 38 e Figura 39, correspondentes ao atraso fim a fim no cenário urbano, observamos que um maior alcance de transmissão contribuiu diretamente para que o atraso fim a fim diminuísse consideravelmente quando utilizado o protocolo AODV. Com o alcance de transmissão de 800m obteve-se o valor máximo de 0.63s de atraso fim a fim. Este valor foi bem inferior ao valor máximo de 3.2s obtido com o alcance de transmissão de 600 m. Isso se deve ao fato de que, com um alcance de transmissão maior, ocorrem menos desconexões. Devido à forma de reagir às desconexões, o desempenho do protocolo de roteamento reativo em relação ao atraso fim a fim é prejudicado consideravelmente em redes altamente dinâmicas. Isso acontece porque o protocolo AODV somente atualiza a tabela de roteamento quando existe a necessidade de realizar uma entrega de pacote.

Entretanto, observamos também pelas mesmas figuras que o alcance de transmissão deve ser utilizado cautelosamente, pois no cenário mais denso, em todas as simulações, o atraso fim a fim voltou a crescer devido a problemas de congestionamento e maior disputa pelo meio de transmissão.

Ao trabalharmos com o ambiente 02 do cenário de rodovia, observamos novamente, comparando a Figura 33(a) com a Figura 33(b), que o alcance de transmissão maior contribuiu diretamente para que o atraso fim a fim diminuísse quando utilizado o protocolo AODV. Ao utilizarmos o alcance de transmissão de 800m obtivemos 0.68s de atraso fim a fim, que é bem inferior aos 1.7s obtidos com o alcance de transmissão de 600m. Conclui-se novamente que ao utilizarmos um alcance de transmissão maior ocorrem menos desconexões contribuindo para diminuição do atraso fim a fim. Entretanto, observamos novamente pela mesma figura que o alcance de transmissão deve ser utilizado cautelosamente, pois no cenário mais denso o atraso fim a fim voltou a crescer devido a problemas de congestionamento e maior disputa pelo meio de transmissão.

Como pode ser observado através da Figura 36 (a), o atraso fim a fim quando utilizado o protocolo AODV foi extremamente elevado. Como dito na figura anterior, isso ocorre devido à forma do protocolo reagir às desconexões.

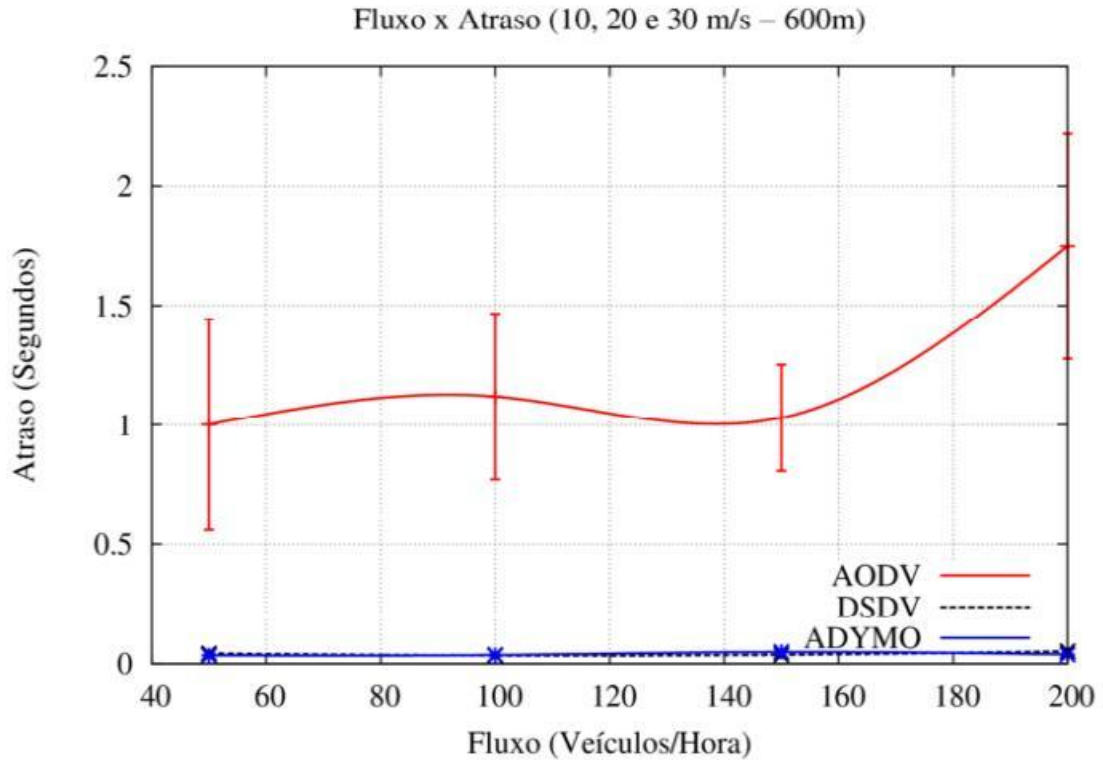
Ao analisarmos a Figura 37, que correspondente ao atraso fim a fim no ambiente 05 do cenário de rodovia, observamos que ao utilizarmos o protocolo AODV o atraso fim a fim foi extremamente elevado. Como podemos observar na mesma figura, quando utilizamos o protocolo A-DYMO o atraso fim a fim foi de 60ms, valor considerado excelente para uma aplicação VoIP.

Ao estudarmos as Figura 34 e Figura 35, observamos também que o atraso fim a fim, ao utilizar o protocolo reativo AODV, continua muito elevado. Notamos através destas figuras que a densidade de veículos não exercem grande influencia na variação do atraso fim a fim. Entretanto percebemos que, ao utilizarmos o protocolo AODV, o alcance de transmissão de 800m contribui significativamente para a diminuição do atraso fim a fim, em relação ao alcance de transmissão de 600m.

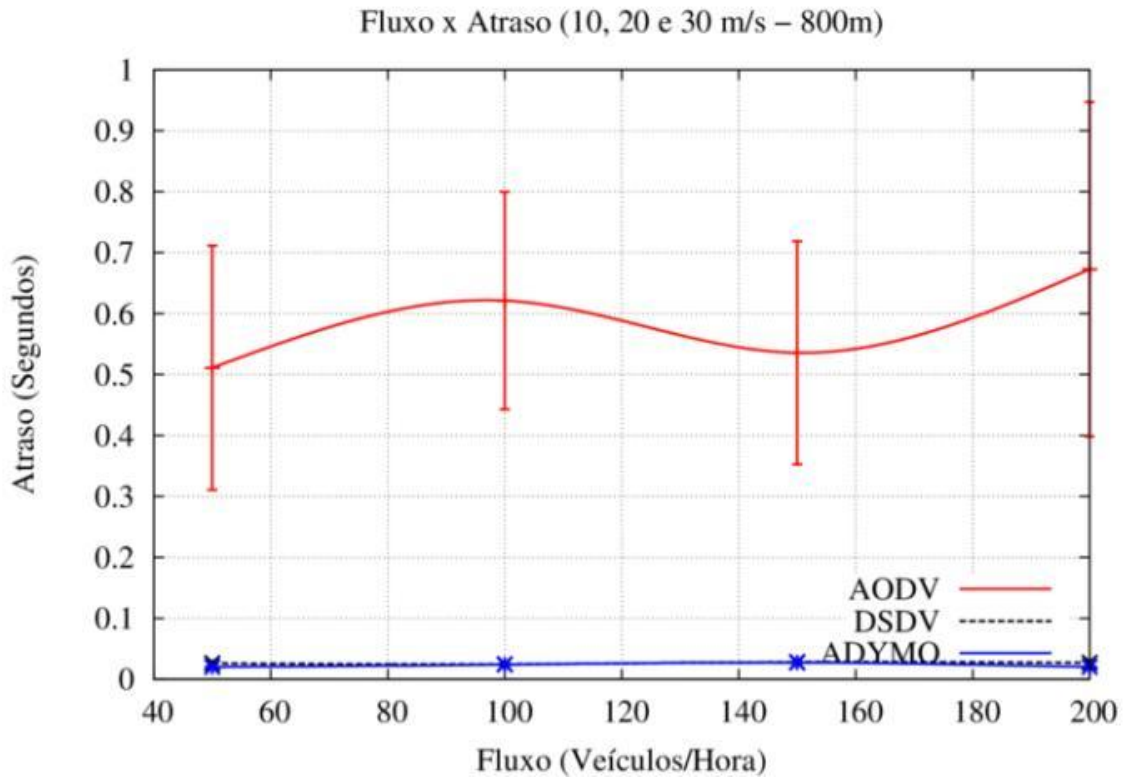
Concluimos através da análise de todas as figuras de ambos cenários que o protocolo AODV não obteve um desempenho satisfatório para ser utilizado com uma aplicação VoIP pois em nenhum cenário conseguiu atingir um atraso fim a fim igual ou inferior a 150ms. Isso se deve pelo fato de o AODV ser um protocolo reativo e somente atualizar a tabela de roteamento dos nós quando existe a necessidade de realizar a entrega de pacotes. Caso isso não ocorra durante um certo período de tempo, as informações de roteamento ficam desatualizadas devido à alta dinamicidade das redes veiculares.

Conforme ilustrado em todas figuras, quando utilizamos os protocolos de roteamento DSDV e A-DYMO, o aumento da densidade, a variação da velocidade dos nós fontes e secundários e o alcance de transmissão não são responsáveis por variações significativas no atraso fim a fim. Isso ocorre devido a estes protocolos realizarem uma troca constante de informações de roteamento com o intuito de manterem a tabela de roteamento dos nós sempre atualizada. Dessa forma, as desconexões da rede exercem uma menor influencia no tempo de atraso fim a fim.

É importante salientar que o atraso fim a fim obtido com a utilização dos protocolos DSDV e A-DYMO em todos cenários foi inferior a 100ms. Considerando que para se ter uma qualidade satisfatória de ligação o atraso fim a fim nas aplicações VoIP deve ser inferior a 150ms, observamos que, em relação a essa métrica, os protocolos DSDV e A-DYMO, respectivamente pró-ativo e híbrido, são os mais adequados para serem utilizados em uma aplicação VoIP em ambos cenários.

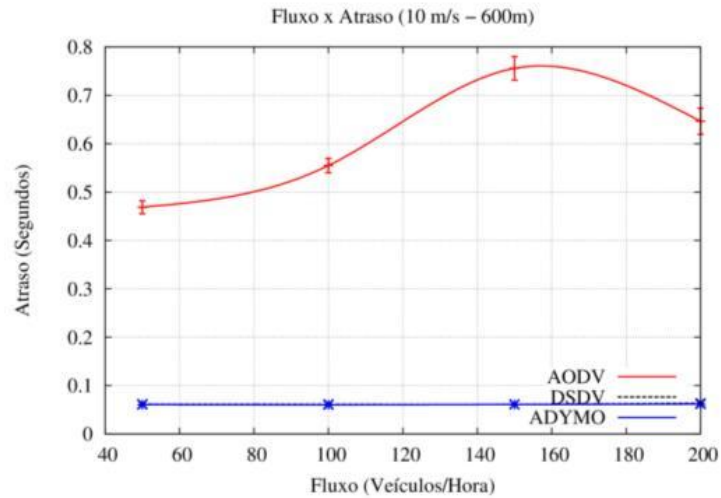


(a) alcance de transmissão 600m – Veículos secundários a 36, 72 e 108 km/h

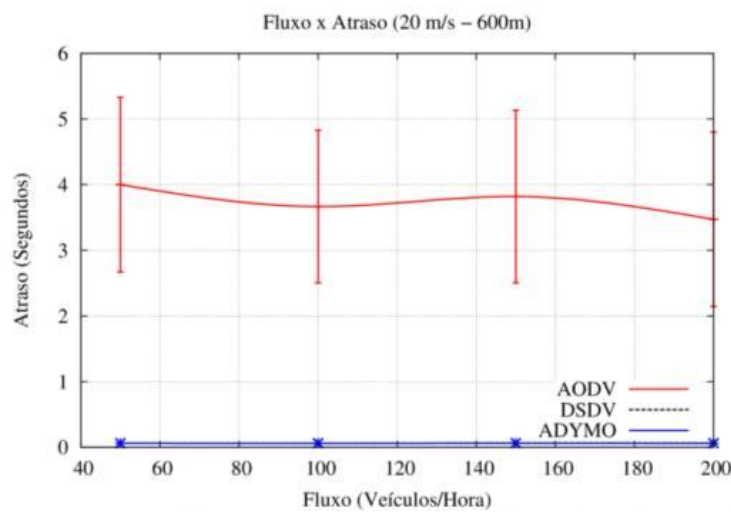


(b) alcance de transmissão 800m – Veículos secundários a 36, 72 e 108 km/h

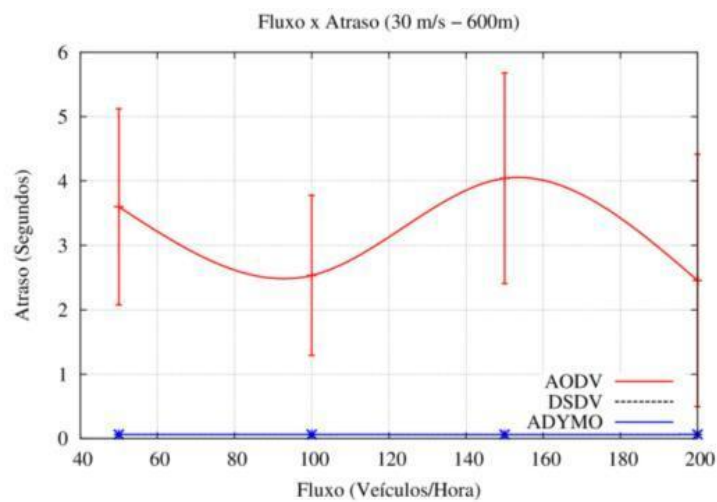
Figura 33: Atraso fim a fim em função da densidade de veículos no ambiente 02 do cenário de rodovia.



(a) alcance de transmissão 600m – Veículos fontes trafegam a 36km/h



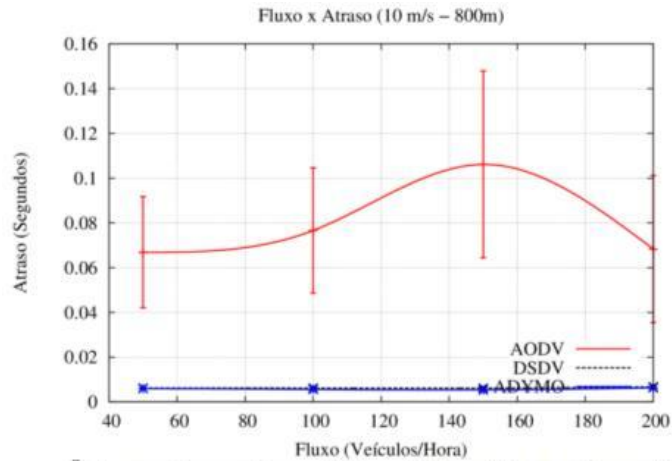
(b) alcance de transmissão 600m – Veículos fontes trafegam a 72km/h



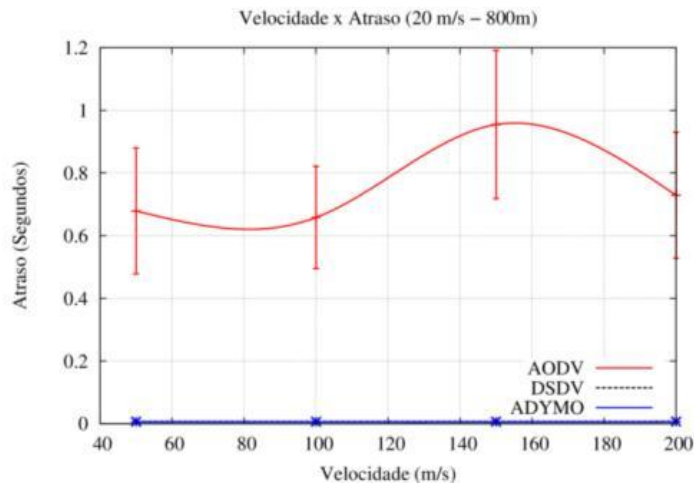
(c) alcance de transmissão 600m – Veículos fontes trafegam a 108km/h

Figura 34: Atraso fim a fim em função da densidade de veículos no ambiente 03 do cenário de rodovia

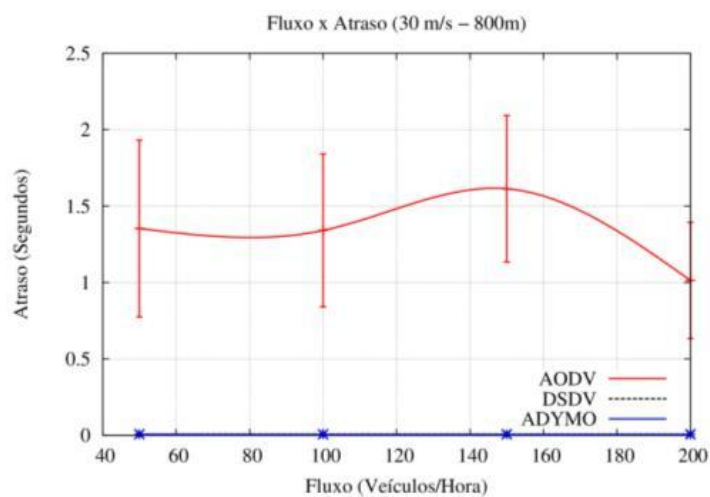




(a) alcance de transmissão 800m – Veículos fontes trafegam a 36km/h

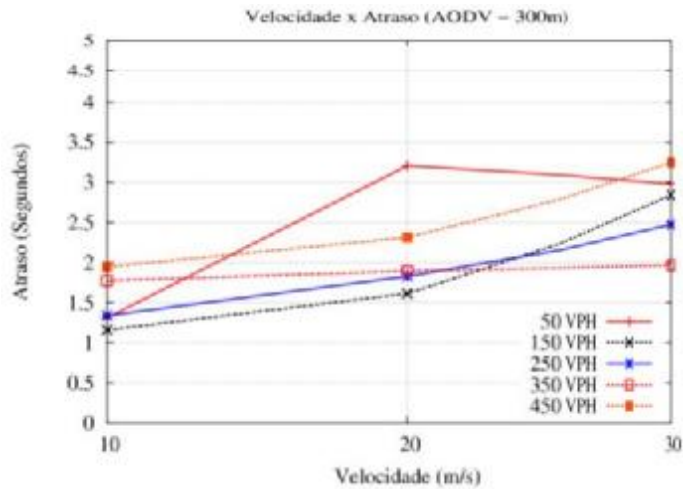


(b) alcance de transmissão 800m – Veículos fontes trafegam a 72km/h

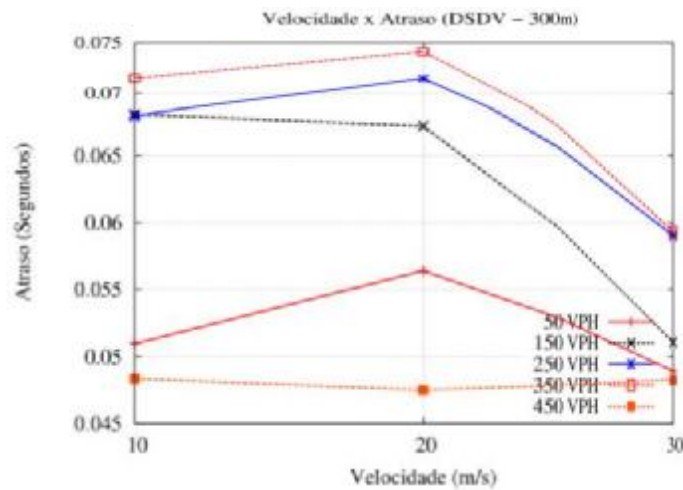


(c) alcance de transmissão 800m – Veículos fontes trafegam a 108km/h

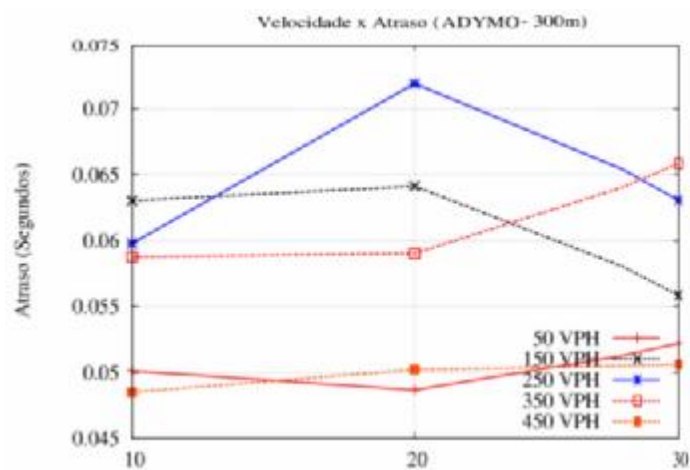
Figura 35: Atraso fim a fim em função da densidade de veículos no ambiente 03 do cenário de rodovia



(a) alcance de transmissão 300m – densidade varia entre 50 e 450 veículos/hora.



(b) alcance de transmissão 300m – densidade varia entre 50 e 450 veículos/hora



(c) alcance de transmissão 300m – densidade varia entre 50 e 450 veículos/hora

Figura 36: Atraso fim a fim em função da mobilidade dos veículos no ambiente 04 do cenário de rodovia

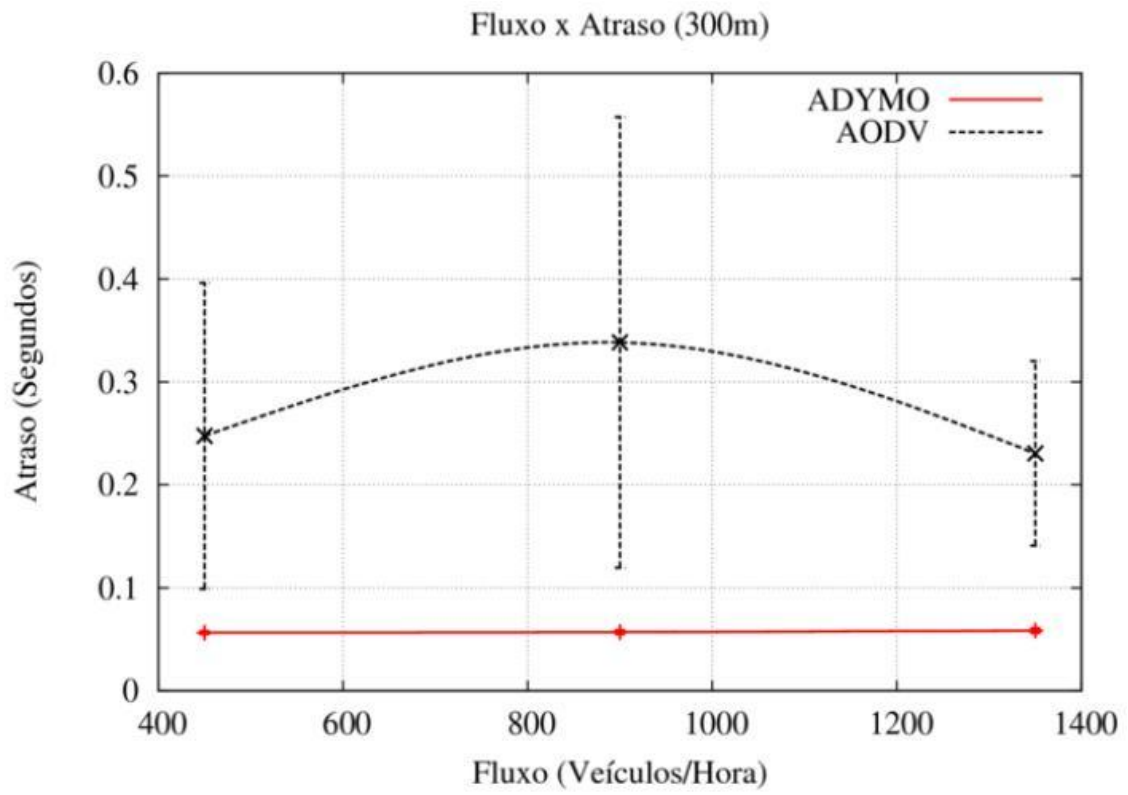
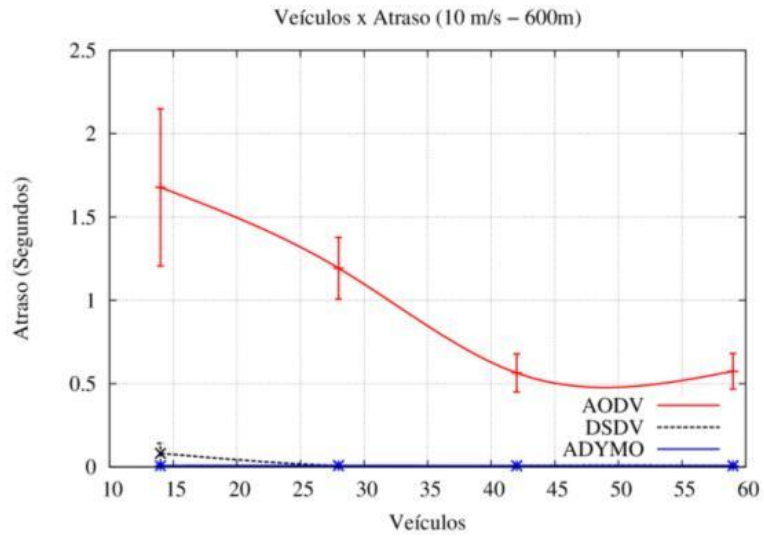
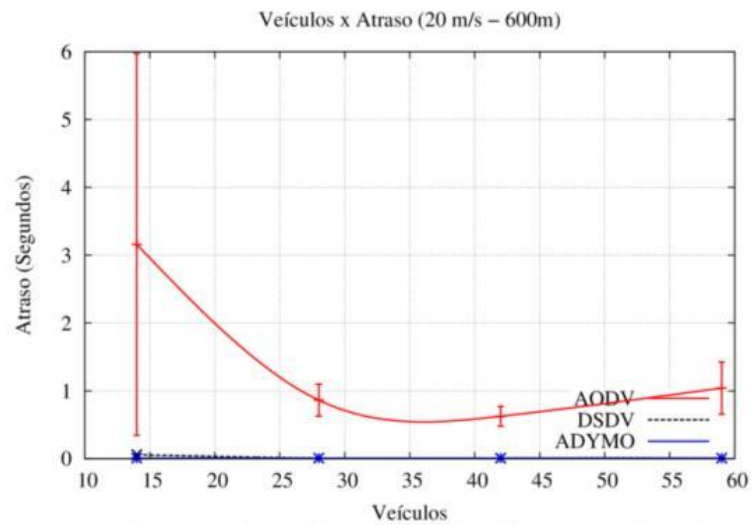


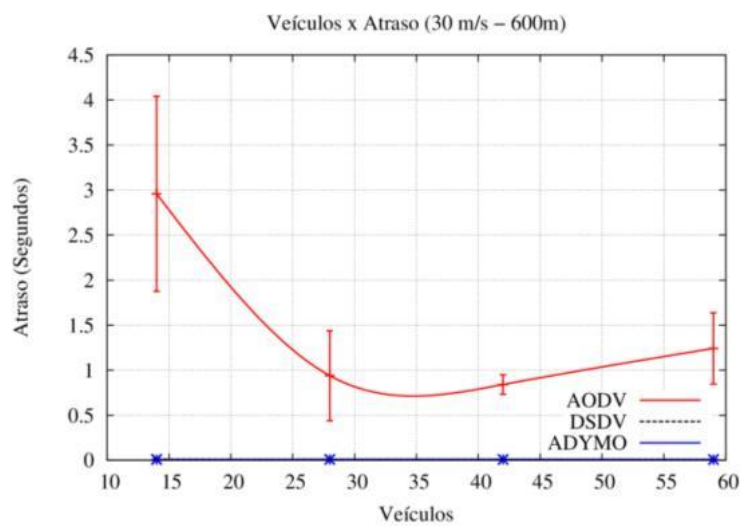
Figura 37: Atraso fim a fim em função da densidade de veículos no ambiente 05 do cenário de rodovia



(a) alcance de transmissão 600m – veículos fontes trafegam a 36km/h

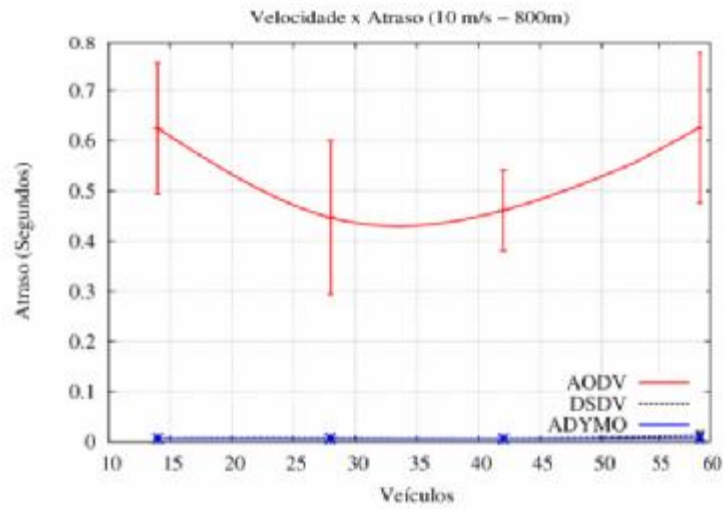


(b) alcance de transmissão 600m – veículos fontes trafegam a 72km/h

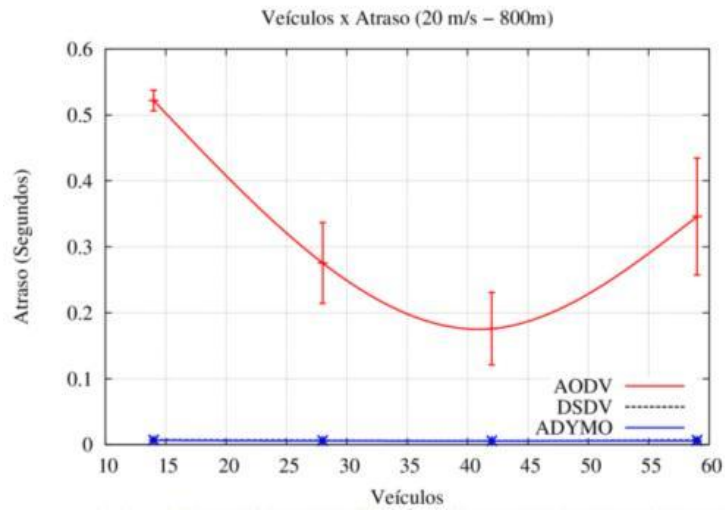


(c) alcance de transmissão 600m – veículos fontes trafegam a 108km/h

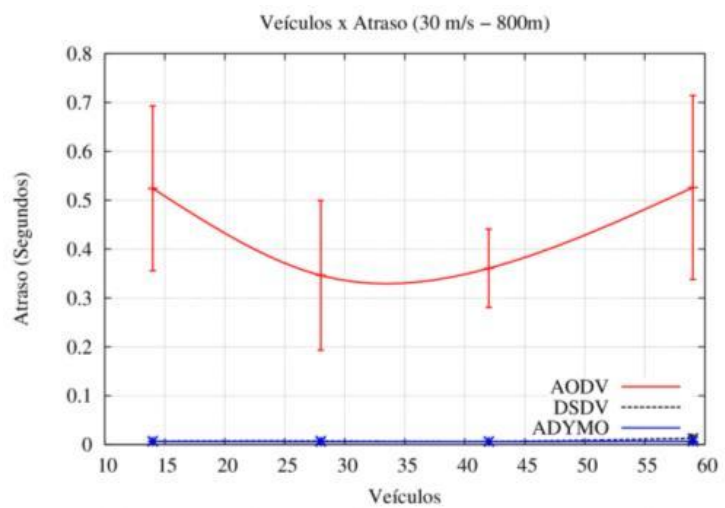
Figura 38: Atraso fim a fim em função da densidade de veículos no cenário urbano



(a) alcance de transmissão 800m – veículos fontes trafegam a 36km/h



(b) alcance de transmissão 800m – veículos fontes trafegam a 72km/h



(c) alcance de transmissão 800m – veículos fontes trafegam a 108km/h

Figura 39: Atraso fim a fim em função da densidade de veículos no cenário urbano

## 6.2.2 MOS

As Figuras 41, 42, 43, 45, 46 e 47 apresentam o impacto da densidade dos nós sobre a pontuação MOS no cenário urbano e nos ambientes 02, 03 e 05 do cenário de rodovia. Para tornar esses cenários mais realistas, variamos as velocidades, os protocolos de roteamento e em alguns deles os alcances de transmissões. A Figura 44 apresenta o impacto da mobilidade dos nós sobre a pontuação MOS no ambiente 04 do cenário de rodovia. Para tornar esse ambiente mais realista, variamos a densidade dos nós, a mobilidade (velocidade) e os protocolos de roteamento. A Figura 40 trata também do impacto da mobilidade dos nós sobre a pontuação MOS no ambiente 01 do cenário de rodovia, entretanto nele são variados os protocolos de roteamento, as mobilidades dos nós e a quantidade de *frames* por pacote.

O primeiro cenário onde o MOS foi avaliado é o ambiente 01 do cenário de rodovia. Este ambiente foi utilizado para verificarmos qual o *codec* de melhor qualidade e para escolha da quantidade de *frames* por pacote. Conforme observamos na Figura 40, o *codec* que obteve melhor MOS foi o G.711. Em relação a escolha da quantidade de *frames* por pacote, observamos através da Figura 40 (b) que o MOS do *codec* G711 mantém-se constante, independentemente da velocidade trafegada pelo veículo. Isso demonstra que a opção de agruparmos 04 *frames* por pacote obtém um melhor desempenho.

Ao trabalharmos com o ambiente 02 do cenário de rodovia, observamos que o MOS máximo obtido com o protocolo A-DYMO na Figura 41(a) foi de 2.4 e o menor 1.3. Já na Figura 41(b), o maior MOS obtido foi de 2.2 e o menor 1.98. Isso mostra que o alcance de transmissão maior pouco influenciou na melhoria do MOS, pois ele permaneceu praticamente estável, independente da quantidade de veículos trafegando pela rodovia. Observamos também que os protocolos AODV e DSDV obtiveram pontuação inferior a 1.2 em ambas simulações.

Ao estudarmos as Figura 42 e Figura 43, referentes ao ambiente 03 do cenário de rodovia, observamos que o alcance de transmissão praticamente não influenciou na melhoria do valor do MOS. Percebemos que o melhor valor do MOS obtido entre todos protocolos neste ambiente foi 1.4, independente do alcance de transmissão. Observamos ainda que este valor está bem abaixo do recomendando para obter-se uma qualidade aceitável de ligação VoIP.

Ao trabalharmos com o ambiente 05 do cenário de rodovia, observamos que o MOS máximo obtido com o protocolo A-DYMO (Figura 45) foi de 1.51 e o menor 1.43. Já quando utilizamos o protocolo AODV, o maior MOS obtido foi de 1.45 e o menor 1.18. Observamos que a densidade dos veículos pouco influenciou no valor do MOS em ambos protocolos.

Na Figura 44(a), referente a utilização do protocolo AODV no ambiente 04 do cenário de rodovia, observamos que o melhor valor de MOS obtido foi de 1.45. Em relação a Figura 44(b), percebemos que nos experimentos realizados com o protocolo DSDV, o aumento da velocidade contribuiu positivamente no valor do MOS em todas densidades de veículos secundários que estavam trafegando na rodovia. Isto ocorre devido o veículo fonte A (ambulância) se aproximar mais rapidamente dos nós secundários. Com isso, os problemas ocasionados pela dinamicidade da topologia são amenizados por conta da pró-atividade deste protocolo. Observamos que quando o veículo trafega a 108km/h e com os fluxos de 50 e 450 veículos secundários por hora, obtivemos os valores de MOS 3.5 e 3.8. Isso deve-se a combinação de um atraso ínfimo mais uma baixa perda de pacotes, apresentados respectivamente nas Figura 36 (b) e 49 (b). Ao estudarmos a Figura 44(c) observamos que o valor do MOS foi 3.48, um valor muito próximo do mínimo recomendado. Novamente, isto ocorre devido o veículo fonte A se aproximar rapidamente dos nós secundários e os problemas ocasionados pela dinamicidade da topologia serem amenizados por conta da pró-atividade do protocolo híbrido.

Ao analisarmos as Figura 46 e Figura 47, correspondentes ao cenário urbano, observamos que o alcance de transmissão praticamente não interfere de forma perceptível no resultado do valor MOS auferido. Entretanto, observamos que o valor MOS máximo alcançado no cenário urbano foi de 2.1, quando utilizamos o protocolo A-DYMO. Considerando que o valor MOS satisfatório é de 3.6, constatamos que o valor atingido não se aproxima do patamar referencial desejado. Isso é reflexo da elevada taxa de perda de pacote.

Concluimos através da análise de todas figuras de ambos cenários que o protocolo AODV não obteve um desempenho satisfatório para ser utilizado com uma aplicação VoIP, pois em nenhum caso conseguiu atingir um valor próximo ao mínimo recomendado de 3.6 de MOS. Isso ocorre devido ao fato do protocolo AODV apresentar dificuldades para adaptar-se a dinamicidade da topologia das redes veiculares devido à sua forma de reagir às desconexões. O desempenho do protocolo de roteamento reativo

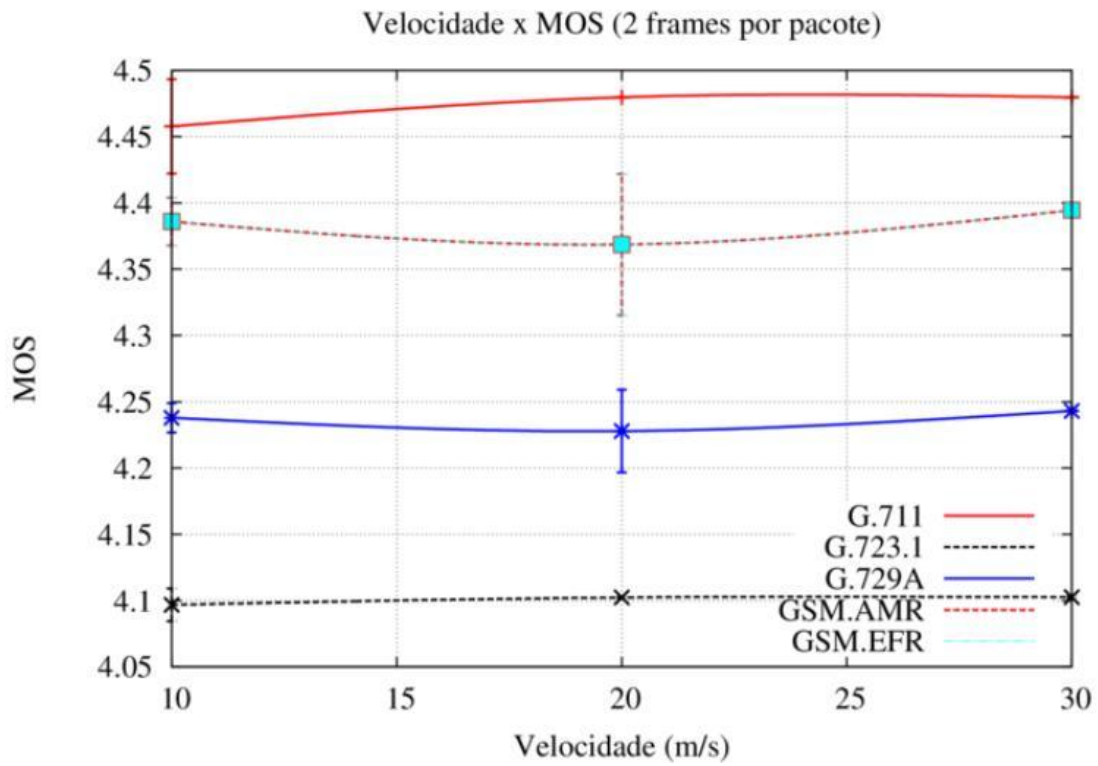
é prejudicado consideravelmente em redes altamente dinâmicas, pois ele somente atualiza a tabela de roteamento quando existem desconexões ou quando há necessidade de realizar uma entrega de pacote. Com isso aumenta-se o atraso fim a fim e a perda de pacotes, o que influencia negativamente no valor do MOS.

Já em relação ao protocolo DSDV, atingimos dois valores de MOS satisfatórios no ambiente 04 do cenário de rodovia, mas somente quando o veículo fonte A (ambulância) trafega a 108km/h e com um fluxo de 50 e 450 veículos secundários por hora. Nesse caso, obtivemos os valores de MOS de 3.5 e 3.8. Como dito anteriormente, o aumento da velocidade contribuiu positivamente no valor do MOS, pois o fato do veículo fonte A (ambulância) se aproximar mais rapidamente dos nós secundários amenizou os problemas ocasionados pela dinamicidade da topologia devido à pró-atividade deste protocolo. É importante lembrar que o este MOS alcançado deve-se a combinação de um atraso ínfimo mais uma baixa perda de pacotes.

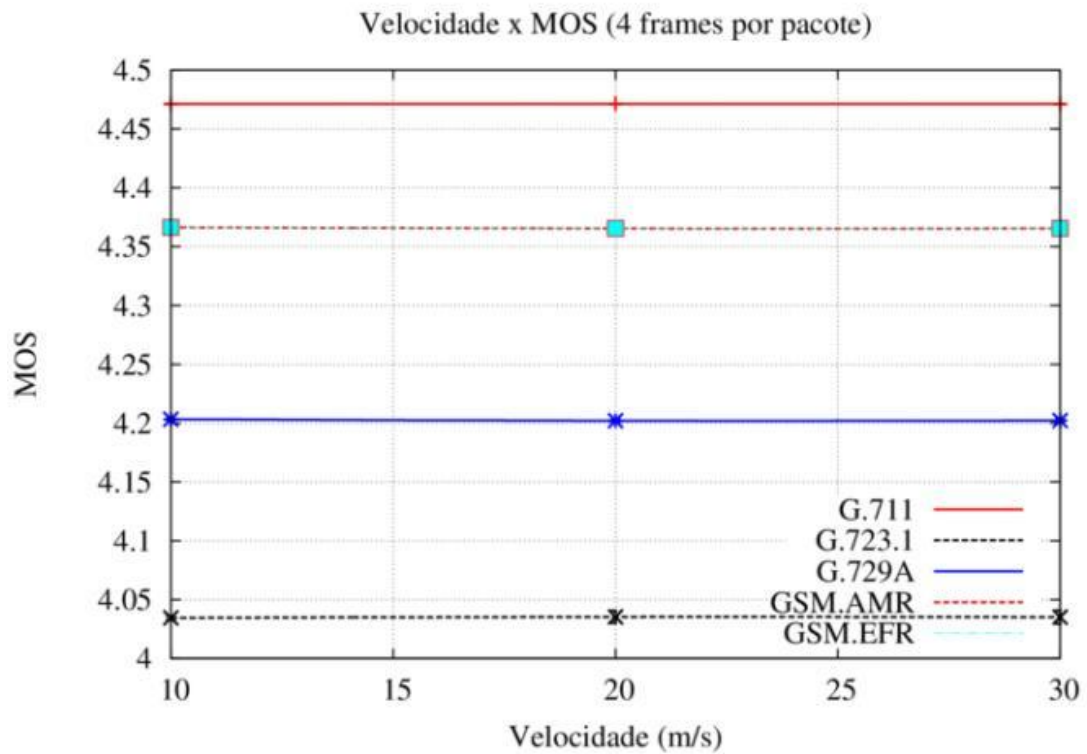
Por fim, observamos que quando utilizamos o protocolo de roteamento A-DYMO só atingimos o valor de MOS próximo ao mínimo desejado no ambiente 04 do cenário de rodovia. Conforme dito anteriormente, isto ocorre devido o veículo fonte A se aproximar rapidamente dos nós secundários e os problemas ocasionados pela dinamicidade da topologia serem amenizados por conta da pró-atividade do protocolo híbrido.

Considerando que o valor do MOS deve ser próximo de 3.6 para se ter uma qualidade satisfatória de ligação nas aplicações VoIP, observamos que, em relação a essa métrica, só atingimos os valores almejados em alguns casos através dos protocolos DSDV e A-DYMO, respectivamente pró-ativo e híbrido.



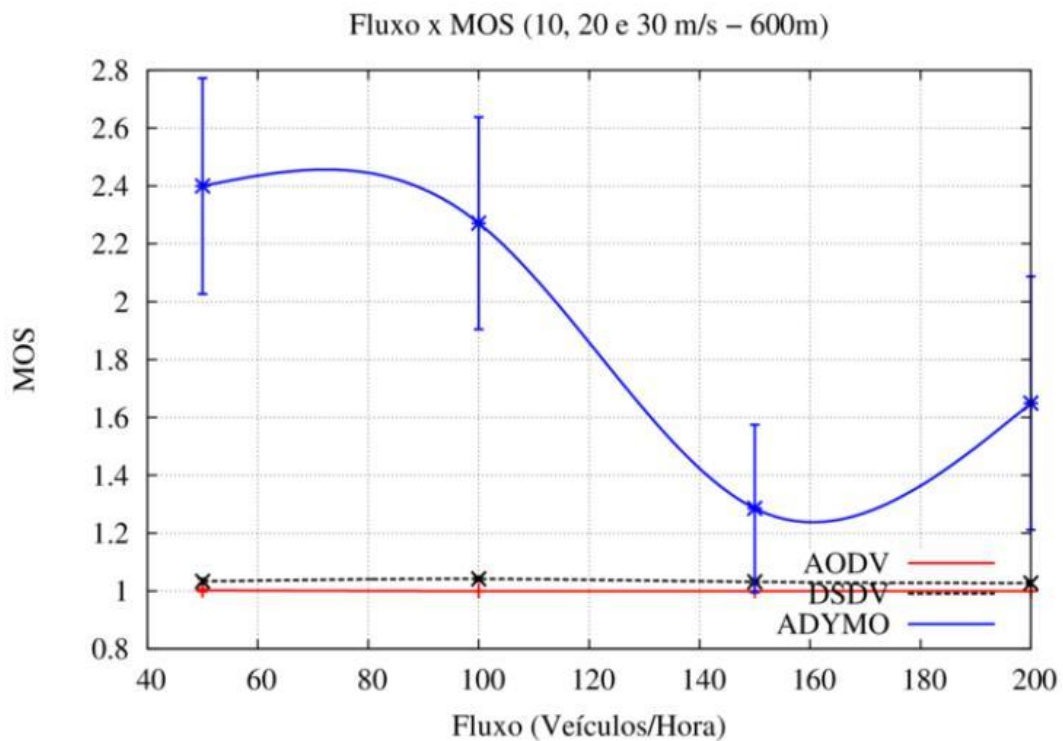


(a) 02 frames por pacote

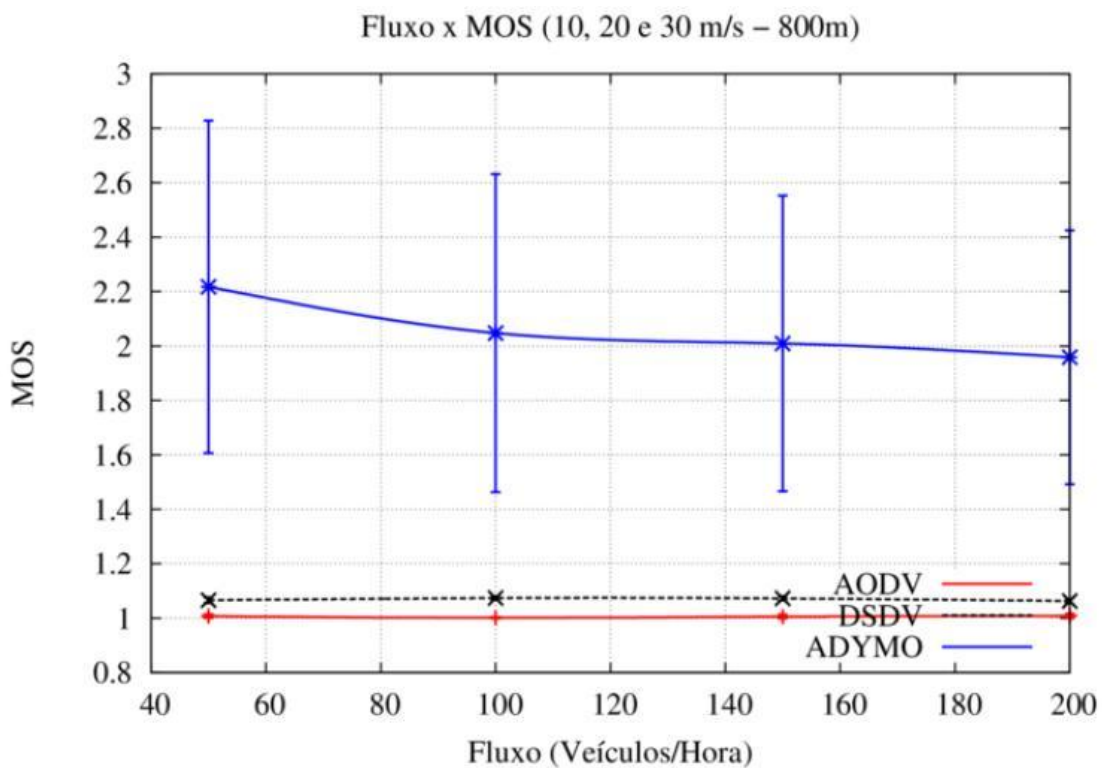


(b) 04 frames por pacote

Figura 40: Pontuação MOS dos *codecs* em função da mobilidade utilizando o protocolo A-DYMO no ambiente 01 do cenário de rodovia

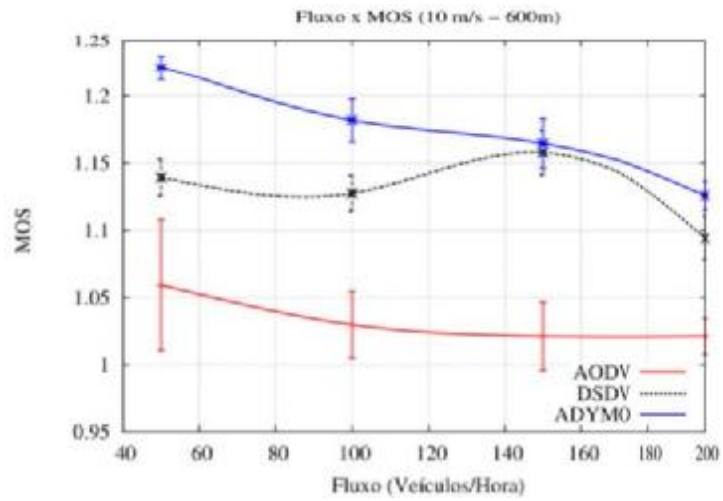


(a) alcance de transmissão de 600m – nós secundários trafegam a 36, 72 e 108km/h

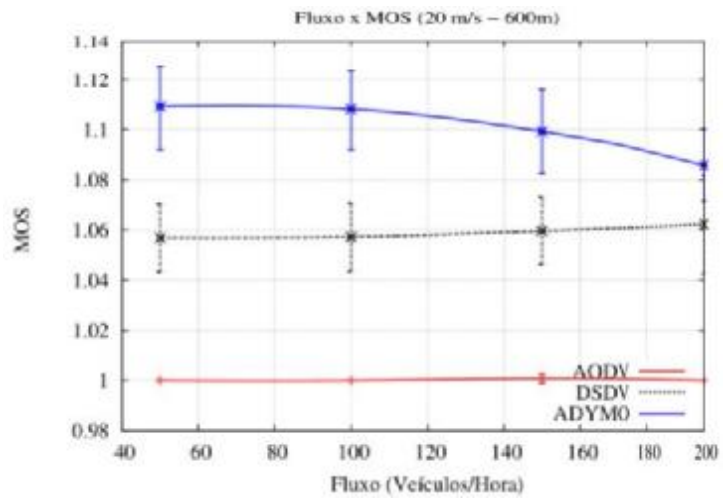


(b) alcance de transmissão de 800m – nós secundários trafegam a 36, 72 e 108km/h

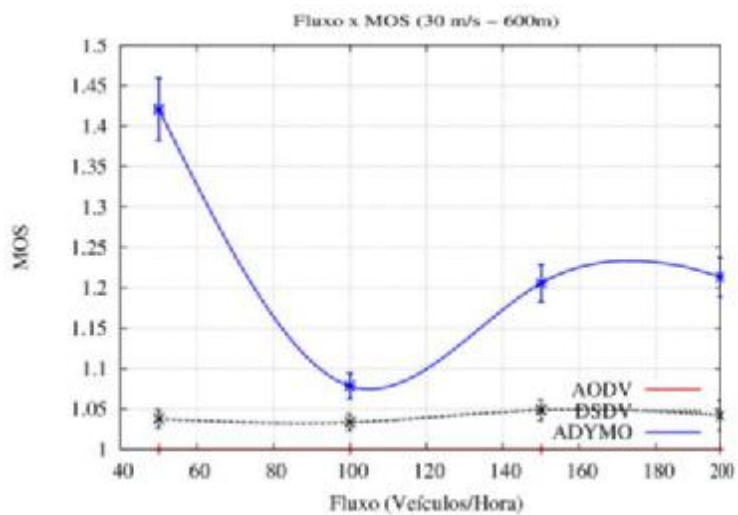
Figura 41: Pontuação MOS em função da densidade de veículos no ambiente 02 do cenário de rodovia



(a) alcance de transmissão de 600m – nós fontes da aplicação VoIP trafegam a 36km/h

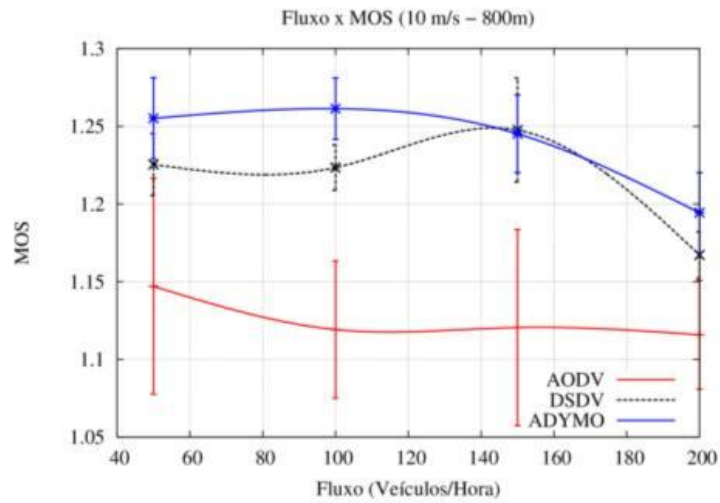


(b) alcance de transmissão de 600m – nós fontes da aplicação VoIP trafegam a 72km/h

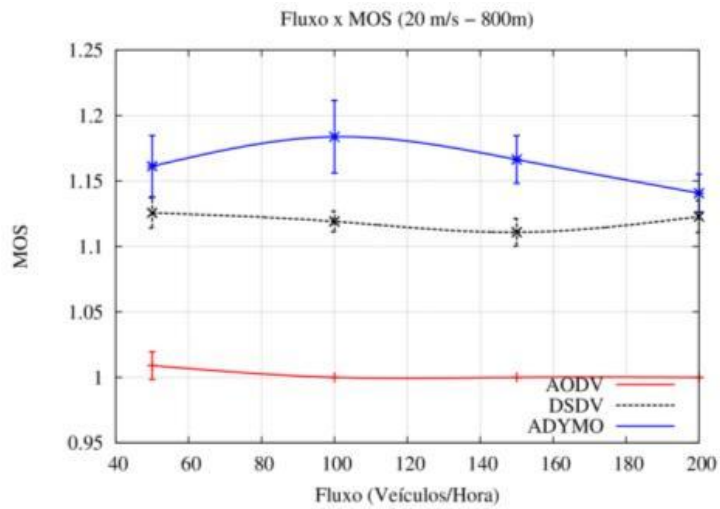


(c) alcance de transmissão de 600m – nós fonte da aplicação VoIP trafegam a 108km/h

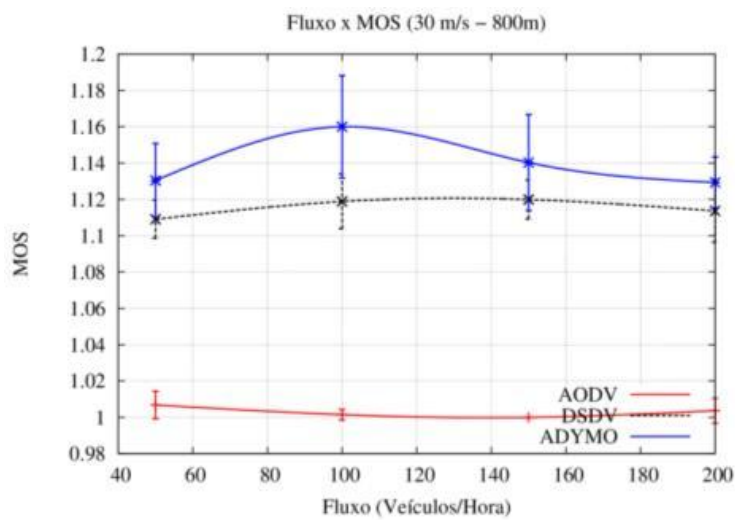
Figura 42: Pontuação MOS em função da densidade de veículos no ambiente 03 do cenário de rodovia



(a) alcance de transmissão de 800m – nós fonte da aplicação VoIP trafegam a 36km/h

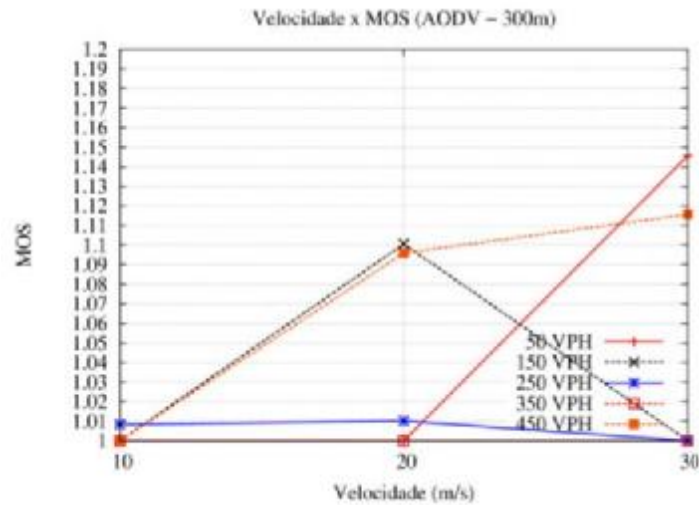


(b) alcance de transmissão de 800m – nós fonte da aplicação VoIP trafegam a 72km/h

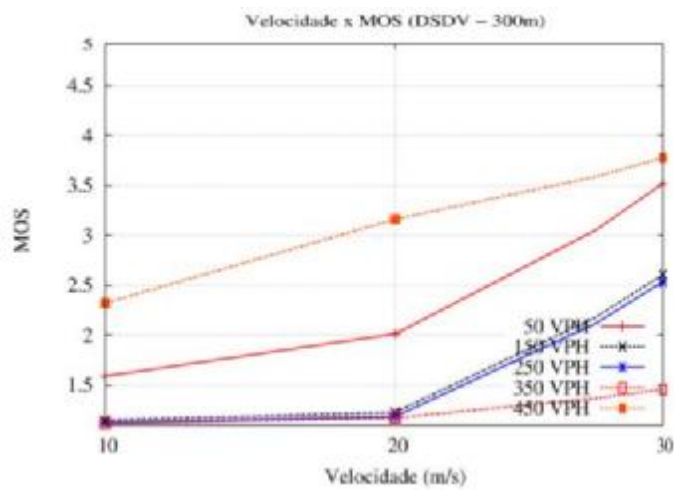


(c) alcance de transmissão de 800m – Nós fonte da aplicação VoIP trafegam a 108km/h

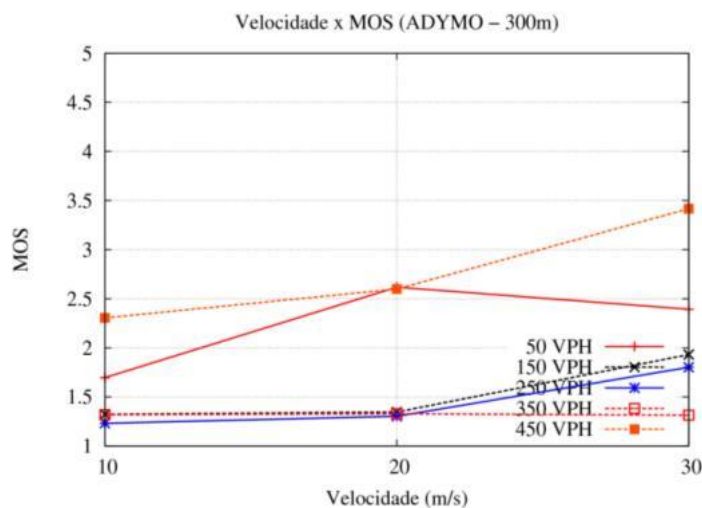
Figura 43: Pontuação MOS em função da densidade de veículos no ambiente 03 do cenário de rodovia



(a) alcance de transmissão de 300m – nós secundários variam entre 50 e 450 veículos/hora



(b) alcance de transmissão de 300m – nós secundários variam entre 50 e 450 veículos/hora



(c) alcance de transmissão de 300m – nós secundários variam entre 50 e 450 veículos/hora

Figura 44: Pontuação MOS em função da mobilidade do veículo A no ambiente 04 do cenário de rodovia

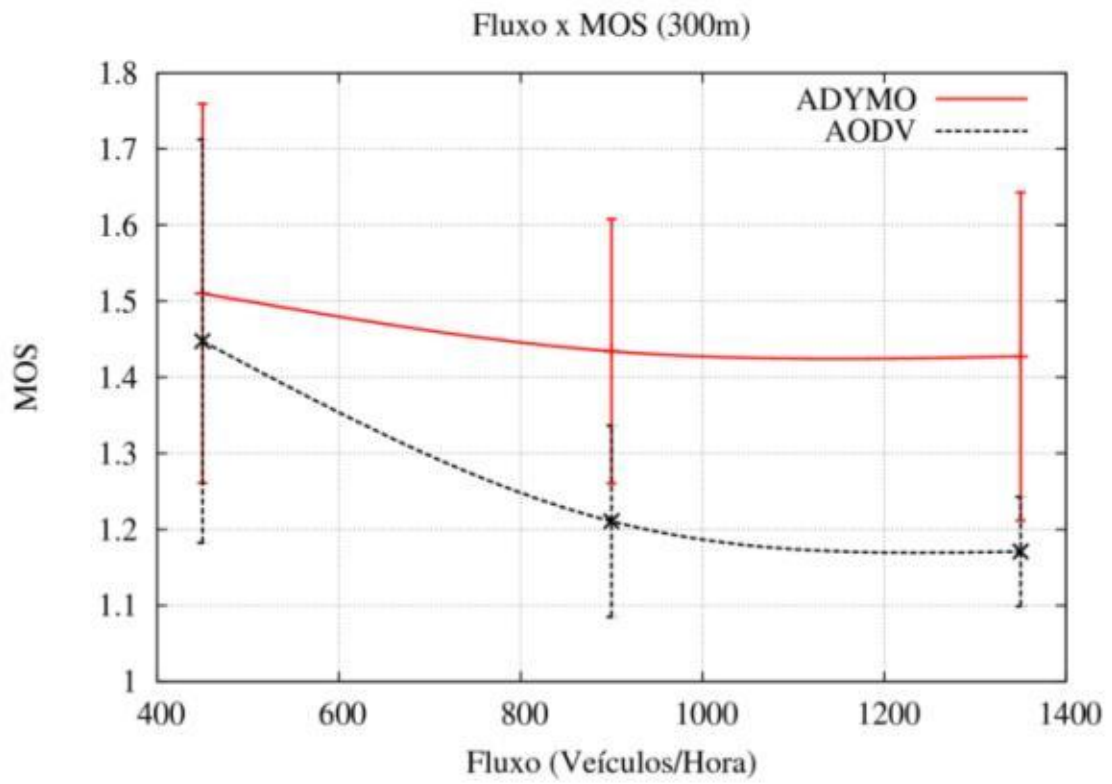
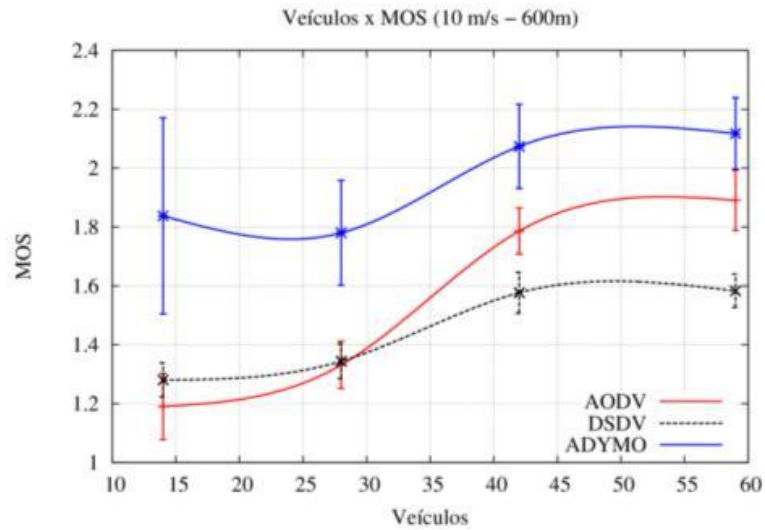
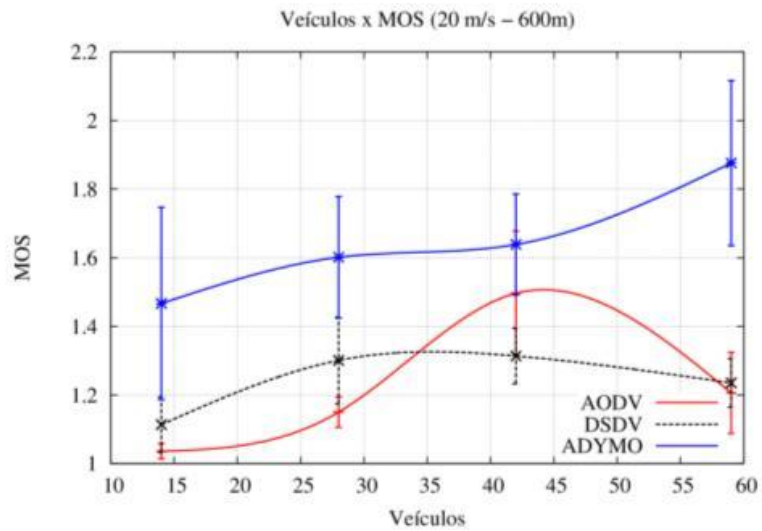


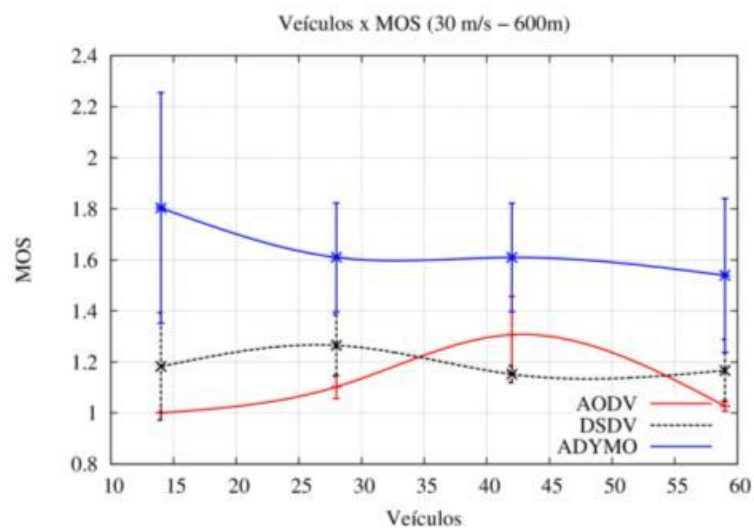
Figura 45: Pontuação MOS em função da densidade no ambiente 05 do cenário de rodovia



(a) alcance de transmissão de 600m – nós fontes da aplicação VoIP trafegam a 36km/h

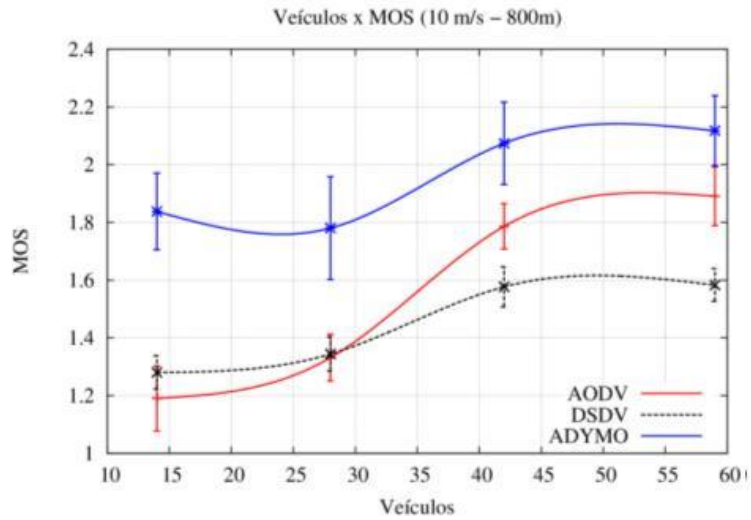


(b) alcance de transmissão de 600m – nós fontes da aplicação VoIP trafegam a 72km/h

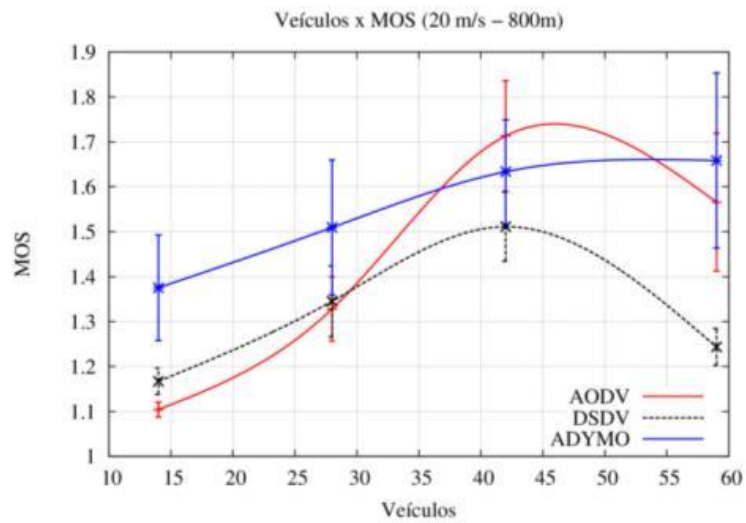


(c) alcance de transmissão de 600m – nós fontes da aplicação VoIP trafegam a 108km/h

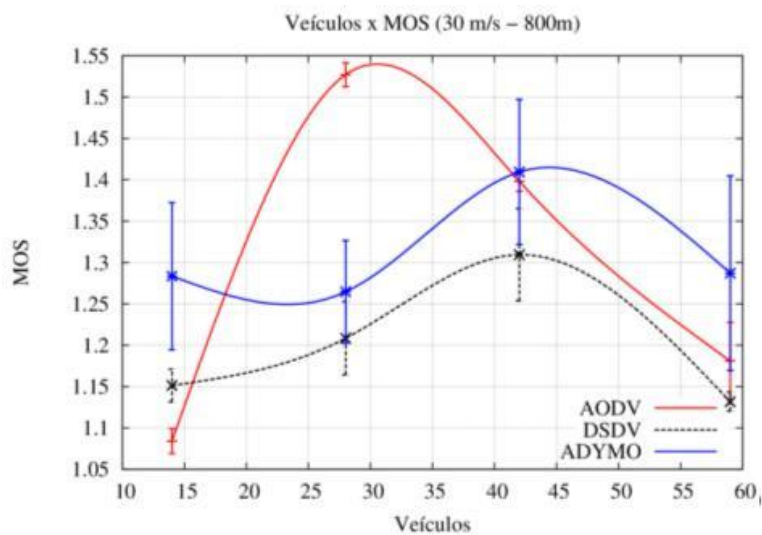
Figura 46: Pontuação MOS em função da densidade de veículos no cenário urbano



(a) alcance de transmissão de 800m – nós fontes da aplicação VoIP trafegam a 36km/h



(b) alcance de transmissão de 800m – nós fontes da aplicação VoIP trafegam a 72km/h



(c) alcance de transmissão de 800m – nós fontes da aplicação VoIP trafegam a 108km/h

Figura 47: Pontuação MOS em função da densidade de veículos no cenário urbano



### 6.2.3 Perda de Pacotes

As Figuras 48 e 50 apresentam o impacto da densidade dos nós sobre a taxa de perda de pacotes nos ambientes 03 e 05 do cenário de rodovia. Para tornar esses ambientes mais realistas, variamos a mobilidade (velocidade), os protocolos de roteamento e a as densidades de veículos. A Figura 49 apresenta o impacto da mobilidade do nó fonte A (ambulância) sobre a taxa de perda de pacotes no ambiente 04 do cenário de rodovia. Para tornar esse ambiente mais realista, variamos as densidades dos nós, as mobilidades (velocidades) e os protocolos de roteamento.

De acordo com a Figura 48, percebemos que quando utilizamos os protocolos AODV, DSDV e A-DYMO, a medida em que os veículos trafegam mais rapidamente ocorre uma maior taxa de perda de pacotes. Por exemplo, observamos na Figura 48 que quando utilizamos o protocolo AODV com 50 veículos secundários trafegando por hora na rodovia, obtivemos uma perda de 26% dos pacotes quando os nós fonte transitavam a 36km/h. Ao elevarmos a velocidade dos nós fonte para 72km/h, obtivemos uma taxa de perda de pacotes de 33%. E por fim, quando os nós fonte trafegavam a 108km/h, ocorreram perdas de 42% dos pacotes transitados. Lembramos que os nós secundários, que são responsáveis pela comunicação entre os nós fonte, trafegavam a 36, 72 e 108km/h, distribuídos probabilisticamente.

A taxa de perda de pacote aumenta pelo fato da topologia da rede tornar-se mais dinâmica com o aumento da velocidade dos nós fonte. No momento em que ocorrem mais desconexões devido à alta mobilidade dos nós, aumenta-se a disputa pelo meio de transmissão, pois são gerados um maior número de pacotes de controle necessários para manter a rede funcionando e com isso eleva-se a taxa de perda de pacotes. Os pacotes de controle, apesar de indispensáveis para manter o correto funcionamento da rede, são os principais responsáveis pela sobrecarga da rede. À medida que a quantidade de pacotes de controle enviados cresce, as chances da rede ficar congestionada aumentam consideravelmente e, conseqüentemente, as perdas de pacotes passam a ser mais frequentes, degradando assim a sua taxa de entrega.

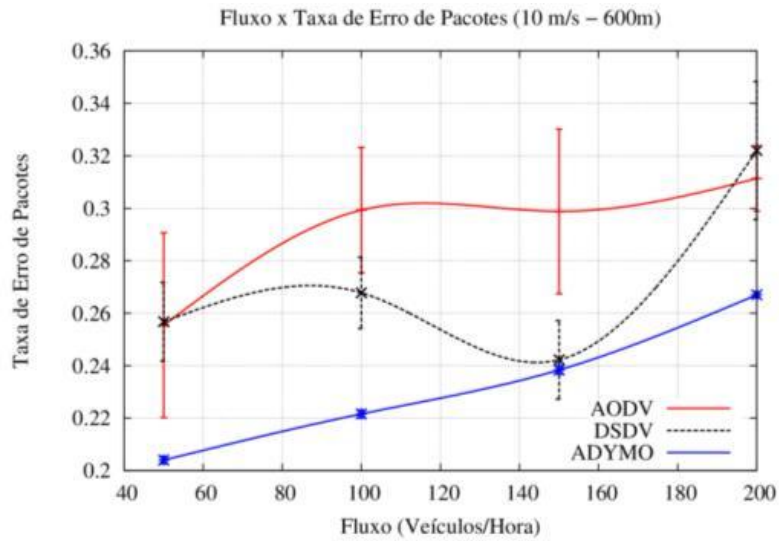
Observamos através da Figura 48 que o protocolo A-DYMO, no ambiente 03 do cenário de rodovia, mostrou-se mais eficiente que os outros protocolos, pois conseguiu se adaptar melhor aos problemas da rede. Isso ocorre devido a este protocolo realizar uma troca constante de informações de roteamento com o intuito de manter a tabela de roteamento dos nós a mais atualizada possível.

Ao analisarmos a Figura 49, referente ao ambiente 04 do cenário de rodovia, percebemos que, quando o nó fonte A está trafegando na sua velocidade máxima, ocorre a diminuição da quantidade de pacotes perdidos, utilizando os três protocolos de roteamento. Isto ocorre devido o veículo fonte A (ambulância) se aproximar mais rapidamente dos nós secundários. Com isso, os problemas ocasionados pela dinamicidade da topologia são amenizados. Lembrando que os nós secundários que são responsáveis pela comunicação entre os dois nós fonte trafegam a 36, 72 e 108km/h, distribuídos probabilisticamente. Com isso, observa-se que quando existem 09 e 86 nós secundários trafegando na rodovia e a ambulância está se deslocando a 108km/h, o protocolo DSDV obtém uma excelente diminuição da taxa de perda de pacote, girando em torno de apenas 05% e 03%, respectivamente. Constatamos também que quando existem 86 nós secundários trafegando na rodovia e a ambulância está se deslocando a 108km/h, o protocolo A-DYMO obtém uma ínfima taxa de perda de pacote, girando em torno de apenas 05%.

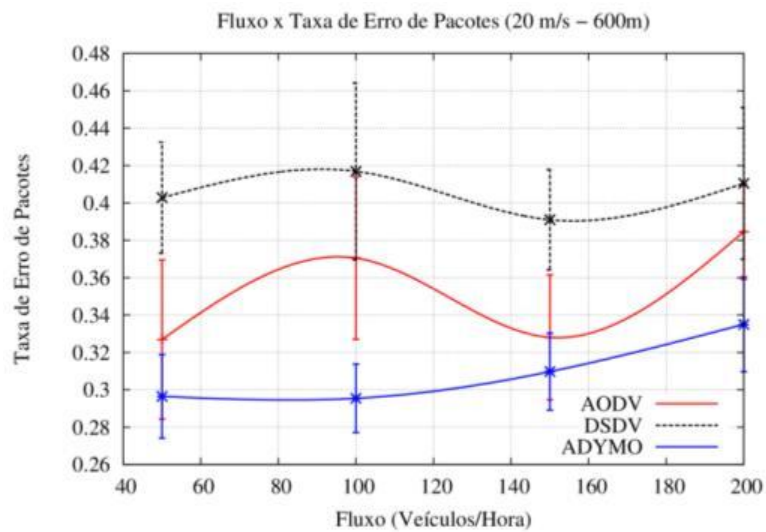
De acordo com a Figura 50, percebemos que quando utilizamos os protocolos AODV e A-DYMO, a medida em que aumenta a densidade dos veículos ocorre uma maior taxa de perda de pacotes. Por exemplo, observamos nesta figura que quando utilizamos o protocolo A-DYMO com 450 veículos secundários trafegando por hora na rodovia, obtemos 16% de taxa de perda de pacotes. Ao elevarmos a densidade para 900 veículos secundários trafegando por hora na rodovia, obtemos uma perda de 17,5% dos pacotes. Por fim, quando existem 1350 veículos secundários trafegando por hora na rodovia, obtemos 19% de taxa de perda dos pacotes.

Conforme ilustrado em todas as figuras referentes à perda de pacotes de todos os cenários, o protocolo de roteamento A-DYMO foi o que melhor se adaptou aos ambientes simulados. Entretanto, o protocolo DSDV destacou-se por atingir uma reduzida taxa de perda de pacotes no ambiente 04 do cenário de rodovia.

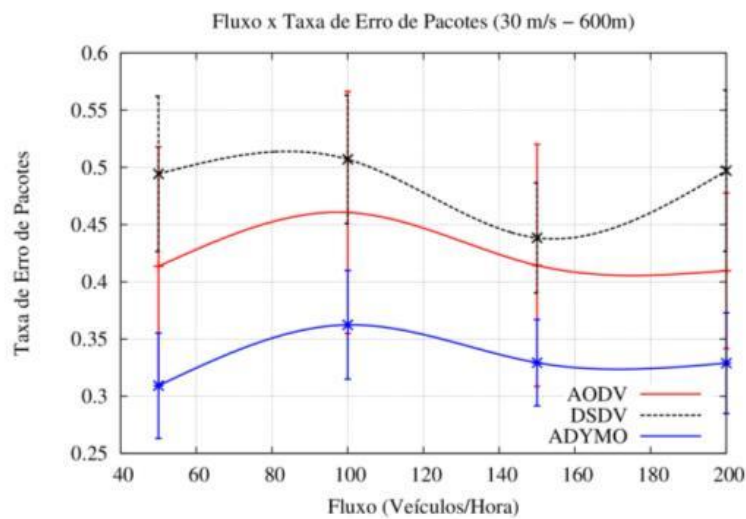
Para se ter uma qualidade satisfatória, a taxa de perda de pacotes nas aplicações VoIP deve ser igual ou inferior a 05%. Como a menor taxa de perda de pacotes nos cenários simulados foi de 03% com o protocolo DSDV e 05% com o protocolo A-DYMO, observamos que, em relação a essa métrica, estes dois protocolos testados obtiveram um desempenho satisfatório somente em alguns momentos no ambiente 04 do cenário de rodovia.



(a) alcance de transmissão 600m – veículos fonte trafegam a 36km/h

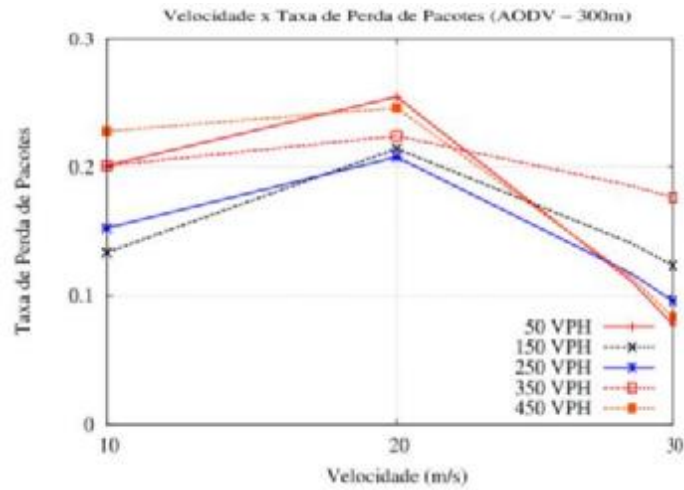


(b) alcance de transmissão 600m – veículos fontes trafegam a 72km/h

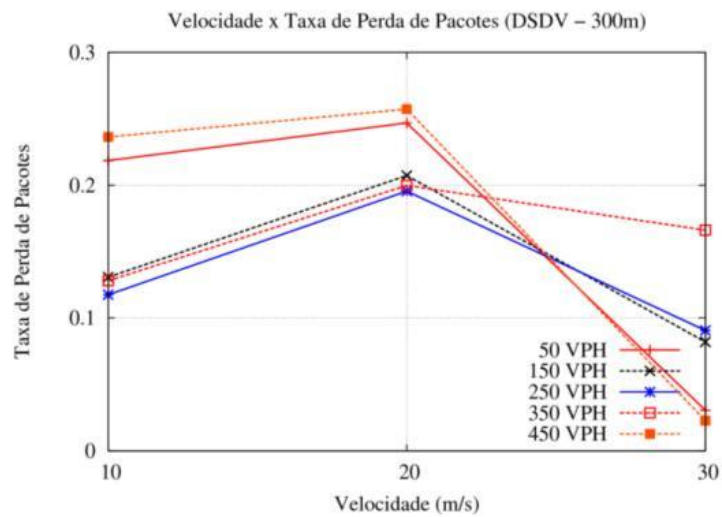


(c) alcance de transmissão 600m – veículos fonte trafegam a 108km/h

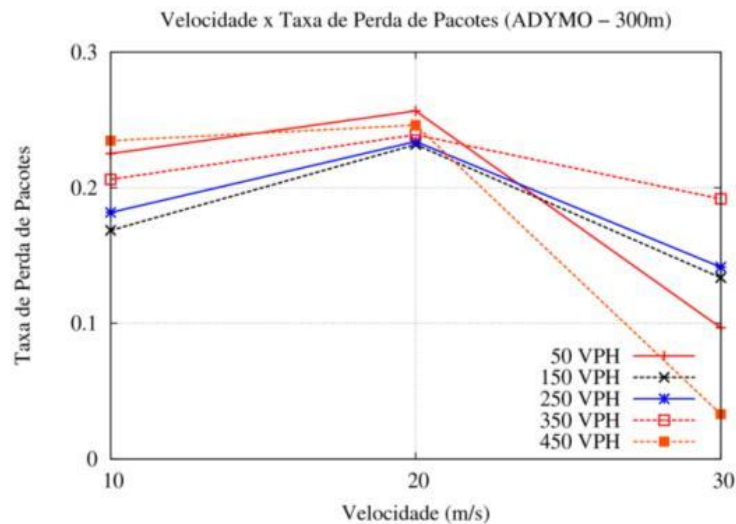
Figura 48: Taxa de perda de pacote em função da densidade de veículos no ambiente 03 do cenário de rodovia



(a) alcance de transmissão 300m – veículo fonte A (ambulância) trafega a 36, 72 e 108km/h



(b) alcance de transmissão 300m – veículo fonte A (ambulância) trafega a 36, 72 e 108km/h



(c) alcance de transmissão 300m – veículo fonte A (ambulância) trafega a 36, 72 e 108km/h

Figura 49: Taxa de perda de pacote em função da mobilidade do veículo A no ambiente 04 do cenário de rodovia

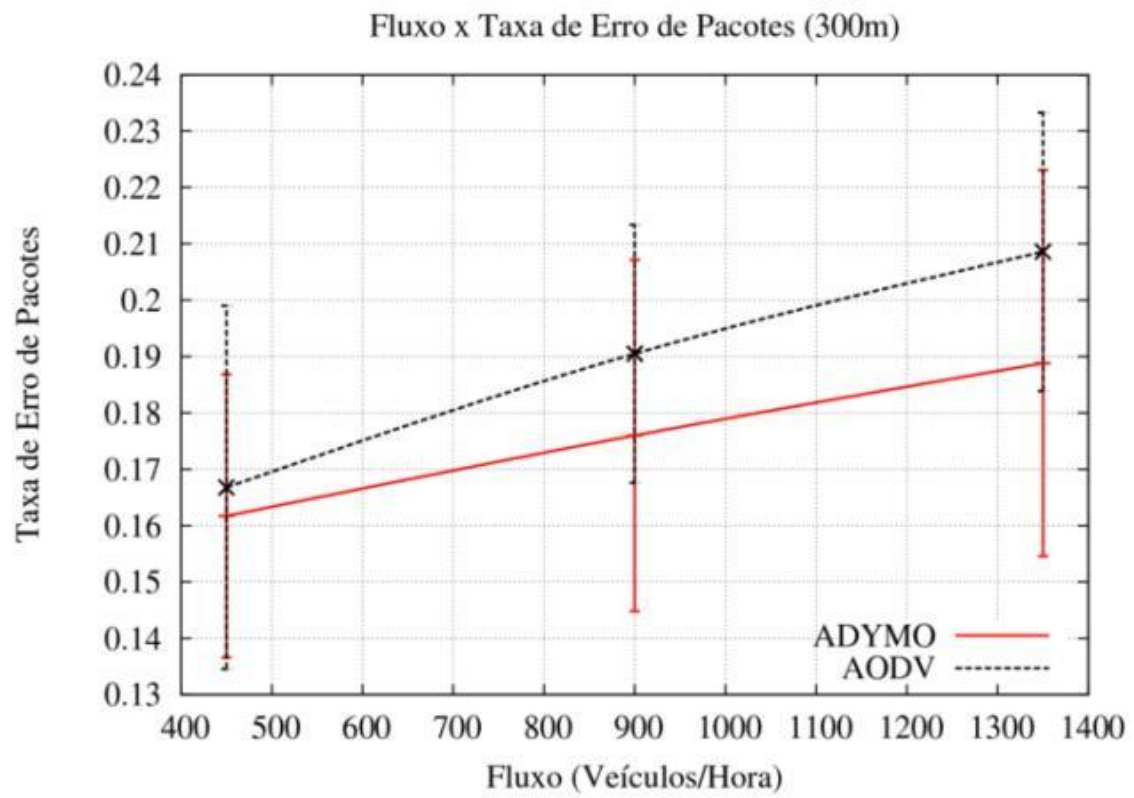


Figura 50: Taxa de perda de pacote em função da densidade dos veículos no ambiente 05 do cenário de rodovia

## 7 Conclusões e Trabalhos Futuros

Diante das características das redes veiculares, tais como dinamicidade da rede, conectividade e a mobilidade dos nós, o roteamento tornou-se uma tarefa desafiadora. Neste contexto, o principal objetivo desse trabalho foi analisar o impacto da densidade, do alcance de transmissão, da mobilidade e do tipo de protocolo de roteamento no desempenho de uma aplicação VoIP, nos cenários urbano e de rodovia, em redes veiculares.

Na Seção 7.1, são detalhadas as principais contribuições alcançadas com a conclusão deste trabalho. E, na Seção 7.2 são explanadas possíveis perspectivas de trabalhos futuros decorrentes desta pesquisa.

### 7.1 Contribuições

O VoIP é uma ferramenta que nos permite realizar ligações telefônicas com maior facilidade de pontos onde existem redes de dados. Com a popularização dessas redes, a telefonia IP vem conquistando muitos usuários que aos poucos vão abandonando a telefonia tradicional e utilizando as vantagens oferecidas pela voz sobre IP.

Para que o objetivo principal desse trabalho fosse alcançado, realizamos um estudo para selecionar a forma mais confiável para analisarmos o desempenho do VoIP através de simulações. No entanto, para realizarmos uma completa avaliação da qualidade da ligação VoIP devemos considerar vários fatores que se estendem para além do nível IP. Por exemplo, suporte para *codecs* diferentes, agregação de múltiplos quadros de voz no mesmo pacote IP e suporte para *buffers* fazem parte de aplicativo VoIP e desempenham um papel crucial nesse tipo de aplicação. Após encontramos uma forma de trabalharmos com todas essas características, selecionamos um modelo eficaz de avaliação a nível de usuário que permitisse um diagnóstico objetivo e completo em relação à percepção de qualidade das ligações realizadas. Por esta razão, escolhemos o modelo computacional criado pela ITU-T chamado *E-Model*, que define um fator de

qualidade (pontuação  $R$ ) para capturar o efeito do atraso boca/ouvido e perdas em redes comutadas por pacotes. A pontuação  $R$  pode ser mapeada para o *Mean Opinion Score* (MOS), que por sua vez pode ser convertido em níveis de qualidade subjetiva.

Concluída essa etapa, realizamos estudos para encontrarmos a forma mais adequada de realizarmos a modelagem de cenários mais próximos da realidade para serem utilizados nas simulações. Com esse intuito, primeiramente foi necessário realizarmos uma pesquisa sobre modelos de mobilidade que melhor representassem os movimentos dos veículos e um estudo das ferramentas capazes de prover esses modelos. Para alcançar resultados mais confiáveis, foi necessária a modelagem dos cenários típicos das redes veiculares: o cenário urbano e o cenário de rodovia. O cenário rural não foi considerado na análise realizada neste trabalho por ser o cenário menos importante das redes veiculares, já que a maior parte do tráfego de veículos em escala global ocorre em vias urbanas.

Após essas etapas, selecionamos três protocolos de roteamento, sendo um reativo, um pró-ativo e um híbrido. Em seguida, foram executadas as simulações e posteriormente realizadas as análises dos resultados.

Como observamos nesse trabalho, a maioria dos cenários de redes veiculares testados apresentaram uma qualidade de ligação VoIP não satisfatória devido a perda de pacotes ocasionada pelas constantes desconexões decorrentes da mobilidade dos nós.

O protocolo AODV mostrou-se ineficiente em todos os cenários simulados. Isso ocorre em virtude deste protocolo ser reativo, ou seja, ele só irá atualizar a tabela de roteamento dos nós quando houver a necessidade de entregar algum pacote ou em caso de desconexão. Caso isso não ocorra durante um determinado período de tempo, as informações de roteamento podem estar desatualizadas, pois a rede veicular apresenta uma alta dinamicidade de topologia. Constatamos que o elevado atraso fim a fim e uma alta taxa de perda de pacote resultaram em um baixo valor de MOS. Em todas as simulações, o melhor valor MOS obtido por este protocolo foi de 1.9. Em virtude disso, este protocolo conquistou o último lugar, pois obteve o pior rendimento em relação aos protocolos utilizados.

O protocolo de roteamento DSDV obteve dois desempenhos satisfatórios, no decorrer de todas as simulações, em apenas um único ambiente do cenário de rodovia. Quando o veículo fonte A (ambulância) se deslocou no ambiente 04 do cenário de rodovia a 108km/h, com o alcance de transmissão de 300m e acompanhado do fluxo de 50 e 450 veículos secundários/hora obtivemos 3.5 e 3.8 como maior valor do MOS

coletado. Isto acontece em decorrência do veículo fonte se aproximar mais rapidamente dos nós secundários e os problemas ocasionados pela dinamicidade da topologia são amenizados por conta da pró-atividade desse protocolo. Por consequência lógica, neste contexto os atrasos fim a fim foram de 49ms e 47ms e as taxas de perda de pacotes foram de apenas 05% e 03%. Devemos salientar que nos outros cenários simulados, o protocolo DSDV obteve um ínfimo atraso fim a fim. Entretanto, devido à elevada taxa de perda de pacote, os valores obtidos em outras simulações foram abaixo do valor MOS aceitável. Em função disso, este protocolo conquistou a segunda posição em relação aos demais.

Na primeira posição encontramos o protocolo A-DYMO. No contexto geral, verificamos através das simulações que o roteamento híbrido foi o que melhor se adaptou aos diferentes cenários e o que atingiu os melhores resultados, em comparação aos outros protocolos. Infelizmente esse protocolo só obteve o valor mínimo de MOS almejado no ambiente 04 do cenário de rodovia, quando o nó fonte (ambulância) se deslocou a 108km/h, com fluxo de 450 veículos secundários/hora e com alcance de transmissão de 300m.

Ressaltamos que este protocolo obteve um atraso fim a fim inferior a 100ms em todos cenários simulados. Entretanto, devido às taxas de perda de pacote alcançarem valores acima de 05%, os valores de MOS coletados nas outras simulações foram inferiores ao valor próximo do mínimo recomendado, que é de 3.6.

O impacto do alcance de transmissão é variável. Encontramos casos onde um maior alcance de transmissão melhorou a qualidade da conectividade da rede, obtendo uma queda da taxa perda de pacotes e conseqüentemente havendo melhoria no valor do MOS coletado. Entretanto, existiram casos em que o alcance de transmissão degradou o desempenho da aplicação, diminuindo assim o MOS coletado. Percebemos então que o rendimento obtido através da variação do alcance de transmissão está diretamente ligado ao cenário, a velocidade dos nós, a quantidade de veículos trafegando e ao protocolo escolhido. Também percebemos que o alcance de transmissão influencia diretamente no atraso fim a fim. Observamos isso em todos cenários, pois quanto maior alcance de transmissão, menor foi o atraso fim a fim.

O mesmo podemos afirmar sobre a variação da velocidade e da quantidade de nós. O comportamento da aplicação ao variarmos esses parâmetros varia de acordo com o protocolo trabalhado, o alcance de transmissão e o cenário escolhido.



## 7.2 Trabalhos futuros

- Analisar o impacto da variação do alcance de transmissão no desempenho da aplicação VoIP nos protocolos estudados, utilizando valores diferentes dos já aplicados;
- Analisar o impacto da densidade no desempenho da aplicação VoIP nos protocolos estudados, utilizando valores diferentes dos já aplicados;
- Analisar o impacto da variação do tamanho do *buffer*, do atraso de *buffer* e de outras configurações do VoIP no desempenho da aplicação, juntamente com os protocolos já estudados;
- Utilizar um protocolo que ajuste o alcance de transmissão segundo o contexto da aplicação, ou seja, o protocolo deve identificar as diferentes situações, como por exemplo, a densidade ou o tipo de cenário, para adaptar o alcance de transmissão dos nós.
- Estender a análise realizada neste trabalho incluindo o cenário rural; e
- Desenvolver um protocolo de roteamento que solucione os problemas destacados neste trabalho.

## Referências Bibliográficas

[Abedi *et al.* 2008] Abedi, O., Fathy, M., and Taghiloo, J. (2008). *Enhancing aodv routing protocol using mobility parameters in vanet*. In *IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*, 2008.

[Alam 2009] Alam, T. (2009). *Mobility models used in simulation area of mobile ad hoc networks*. *Advances in Wireless and Mobile Communications*, 2(2):115-134.

[Almalag 2009] Almalag, M. S. (2009). *Vehicular Networks: From Theory to Practice, chapter Safety-Related Vehicular Applications, pages 5[1-26]*. Chapman & Hall/CRC.

[Alves *et al.* 2009] Alves, R., Campbell, I., de Souza Couto, R., Campista, M. E. M., Moraes, I. M., Rubinstein, M., Costa, L. H., Duarte, O. C. M. B., and Abdalla, M. (2009). *Redes veiculares: Princípios, aplicações e desafios*. In *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC)*, 2009.

[Anatel 2011]. Anatel (2011). *Serviços de voz sobre IP (VoIP)*. Disponível em [http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalPaginaEspecial.do?acao=&codItemCanal=1216&nomeVisao=Cidad%20E3o&nomeCanal=Internet&nomeItemCanal=Servi%20os%20de%20voz%20sobre%20IP%20\(VoIP\)](http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalPaginaEspecial.do?acao=&codItemCanal=1216&nomeVisao=Cidad%20E3o&nomeCanal=Internet&nomeItemCanal=Servi%20os%20de%20voz%20sobre%20IP%20(VoIP)). Acessado em 17 de Setembro de 2011.

[Artimy *et al.* 2005] Artimy, M. M.; Robertson, W.; Phillips, W. J. (2005) *Assignment of dynamic transmission range based on estimation of vehicle density*. In: *VANET '05: Proceedings of the 2nd ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks*. New York, NY, USA: ACM, p. 40–48.

[Bacioccola *et al.* 2007] Bacioccola, A.; Cicconetti, C.; Stea, G. (2007). *User-level performance evaluation of VoIP using ns-2*. In *Proceedings of the 2nd international conference on Performance evaluation methodologies and tools (ValueTools '07)*. ICST

(*Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering*), ICST, Brussels, Belgium.

[Barbieri *et al.* 2002] Barbieri, R.; Bruschi, D.; Rosti, E. (2002). *Voice over IPsec: analysis and solutions*. In: *Annual Computer Security Applications, ACSAC, 18.*, 2002. *Proceedings. . . Los Alamitos: IEEE Computer Society*, p.261–270.

[Bernsen and Manivannan 2008] Bernsen, J. and Manivannan, D. (2008). *Routing protocols for vehicular ad hoc networks that ensure quality of service*. In *The 4<sup>th</sup> International Conference on Wireless and Mobile Communications (ICWMC)*, 2008.

[Boban *et al.* 2008] Boban, M., Misek, G., and Tonguz, O. (2008). *What is the best achievable qos for unicast routing in vanets?* In *IEEE GLOBECOM Workshops*.

[Buruhanudeen *et al.* 2007] Buruhanudeen, S., Othman, M., and Ali, B. (2007). *Mobility models, broadcasting methods and factors contributing towards the efficiency of the manet routing protocols: Overview*. In *IEEE International Conference on Telecommunications and Malaysia International Conference on Communications (ICT-MICC)*.

[C2CCC 2009] C2CCC (2009). *Car2car communications consortium*. Disponível em <http://www.car-2-car.org/>. Acessado em 20 de Março de 2009.

[Camp *et al.* 2002] Camp, T., Boleng, J., and Wilcox, L. (2002). *Location information services in mobile ad hoc networks*. In *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, volume 5.

[Campos *et al.* 2004] Campos, C., Otero, D., and de Moraes, L. (2004). *Realistic individual mobility markovian models for mobile ad hoc networks*. In *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, volume 4.

[Cisco 2011a] Cisco (2011) *Understanding Delay in Packet Voice Network*. Disponível em [http://www.cisco.com/en/US/tech/tk652/tk698/technologies\\_white\\_paper09186a00800a8993.shtml](http://www.cisco.com/en/US/tech/tk652/tk698/technologies_white_paper09186a00800a8993.shtml) . Acessado em 01 de Julho de 2011.

[Cisco 2011b] Cisco (2011). *Playout Delay Enhancements*. Disponível em [http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/12\\_1t/12\\_1t5/feature/guide/dt\\_pod.html](http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/12_1t/12_1t5/feature/guide/dt_pod.html) . Acessado em 06 de Julho de 2011.

[Cisco 2011c] Cisco (2011) *Voice Over IP - Per Call Bandwidth Consumption*. Disponível em [http://www.cisco.com/en/US/tech/tk652/tk698/technologies\\_tech\\_note09186a0080094ae2.s.html](http://www.cisco.com/en/US/tech/tk652/tk698/technologies_tech_note09186a0080094ae2.s.html) . Acessado em 15 de Julho de 2011.

[Chigan and Li 2007] Chigan, C.; Li, J. (2007). *A delay-bounded dynamic interactive power control algorithm for vanets*. In: *Communications, 2007. ICC '07. IEEE International Conference on*. [S.l.: s.n.], p. 5849 –5855.

[Fiore 2009] Fiore, M. (2009). *Vehicular Networks: From Theory to Practice, chapter Vehicular Mobility Models, pages 12[1-57]*. Chapman & Hall/CRC.

[Garcia 2011] Garcia, M. Z. N. (2011). *Análise Experimental do Desempenho de VOIP em Redes Ópticas*. Dissertação de Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicação, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, SP, Brasil.

[Gongjun Yan and Weigle 2009] Gongjun Yan, K. I. and Weigle, M. C. (2009). *Vehicular Networks: From Theory to Practice, chapter Vehicular Network Simulators, pages 13[1-19]*. Chapman & Hall/CRC.

[Hardy 2001] Hardy, W. C. (2001). *QoS: measurement and evaluation of telecommunications quality of service*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons.

[Handley et al. 2000] Handley, M.; Perkins, C.; Whelan, E. (2000b). *Session Announcement Protocol: RFC 2974*. [S.l.]: Internet Engineering Task Force, Network Working Group.

[Hartenstein and Laberteaux 2008] Hartenstein, H. and Laberteaux, K. (2008). *A tutorial survey on vehicular ad hoc networks*. *IEEE Communications Magazine*, 46(6):164-175.

[Hartenstein et al. 2010] Hartenstein, H., Laberteaux, K., and Corporation, E. (2010). *VANET Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies* . Wiley Online Library.

[Haykin 2000] Haykin, S. *Communications Systems.4<sup>a</sup> Ed.* New York: Wiley, 2000. 816p

[Hou and Li 1986] Hou, T.-C.; Li, V (1986). *Transmission range control in multihop packet radio networks.* IEEE Transactions on Communications, v. 34, n. 1, p. 38 – 44.

[IEEE1609.1 2006] IEEE1609.1, P. (2006). *IEEE trial-use standard for wireless access in vehicular environments (wave) - resource manager.* IEEE Std 1609.1-2006, pages c1 -63.

[IEEE1609.2 2006] IEEE1609.2, P. (2006). *IEEE trial-use standard for wireless access in vehicular environments (wave) - security services for applications and management messages.* IEEE Std 1609.2-2006, pages c1 -105.

[IEEE1609.3 2007] IEEE1609.3, P. (2007). *IEEE trial-use standard for wireless access in vehicular environments (wave) - networking services.* IEEE Std 1609.3- 2007, pages c1 -87.

[IEEE1609.4 2006] IEEE1609.4, P. (2006). *IEEE trial-use standard for wireless access in vehicular environments (wave) - multi-channel operation.* IEEE Std 1609.4-2006, pages c1-74.

[International Telecommunication Union 1996] *International Telecommunication Union* (1996). *ITU-T Recommendation P.800: methods for subjective determination of transmission quality.* [S.I.].

[International Telecommunication Union 2001] *International Telecommunication Union* (2001). *ITU-T Recommendation G.113 Appendix I: provisional planning values for the equipment impairment factor ie.* [S.I.].

[International Telecommunication Union 2003] *International Telecommunication Union* (2003). *ITU-T Recommendation G.114: one-way transmission time.* [S.I.].

[International Telecommunication Union 2005] *International Telecommunication Union* (2005). *ITU-T Recommendation G.107: the e-model, a computational model for use in transmission planning.* [S.I.].

[International Telecommunication Union 2006] *International Telecommunication Union* (2006). ITU-T Recommendation Y.1541: *network performance objectives for ip-based services*. [S.l.].

[INVENT 2011] INVENT (2011). *Inter-Vehicular Network Technologies*. Disponível em <http://web.njit.edu/~borcea/invent/> . Acessado em 14 de Setembro de 2011.

[Jin et al. 2009] Jin, Z., Yan, N., and Bing, L. (2009). *Reliable on-demand geographic routing protocol resolving network disconnection for vanet*. In *5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCom)*.

[Johnson et al. 2001] Johnson, D. B., Maltz, D. A., and Broch, J. (2001). Dsr: *The dynamic source routing protocol for multi-hop wireless ad hoc networks*. In *Ad Hoc Networking*, edited by Charles E. Perkins, Chapter 5. Addison-Wesley.

[Kuhn et al. 2005] Kuhn, D. R.; Walsh, T. J.; Fries, S. (2005). *Security Considerations for Voice Over IP System*. [S.l.]: National Institute of Standards and Technology.

[Lathi 1998] Lathi, B. P. *Signal Processing And Linear Systems. 1ª Ed. Oxford USA Trade*, 1998. 860p

[Lee et al. 2009] Lee, U., Cheung, R., and Gerla, M. (2009). *Vehicular Networks: From Theory to Practice, chapter Emerging Vehicular Applications, pages 6[1-30]*. Chapman & Hall/CRC.

[Liu and Kaiser 2005] Liu, C.; Kaiser, J. (2005). *A Survey of Mobile Ad hoc network Routing Protocols*. Magdeburg: University of Magdeburg.

[Li and Wang 2007] Li, F.; Wang, Y. (2007). *Routing in vehicular ad hoc networks: A survey*. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 2(2):12-22.

[Lustosa et al. 2004] Lustosa, L.C.G.; Carvalho, L. S. G.; Rodrigues, P. H. A.; Mota, E. S. (2004). Utilização do Modelo E para avaliação da qualidade da fala em sistemas de comunicação baseados em voz sobre IP. In: *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, SBRC*.

[Maia *et al.* 2008] Maia, M.; Rocha, L.; Andrade, R. (2008). Requisitos e desafios na construção de sistemas *middleware* para aplicações em redes *ad hoc*. In Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, (SBRC) 2008.

[Martins *et al.* 2010] Martins, J.A.P; Correia, S. L. O. B. ; Celestino, J. J. (2010) . Ant-DYMO: A Bio-Inspired Algorithm for MANETS. In: *The 17th International Conference on Telecommunications*, 2010, Doha. *The 17th International Conference on Telecommunications*.

[Martins 2009] Martins, J. A. P. (2009). A-DYMO: Um algoritmo de roteamento bio-inspirado para redes *ad hoc*. Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.

[Mateus 2011] Mateus, B. G. (2011). Análise sobre o impacto da densidade veicular, da carga da rede e da mobilidade no desempenho de protocolos de roteamento para redes veiculares. Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.

[Mateus *et al.* 2011] Mateus, B. G.; Oliveira, C. T.; Andrade, R. M. C. (2011). Análise sobre o Impacto da Densidade, da Carga e do Padrão de Mobilidade sobre o Desempenho de Protocolos de Roteamento para Redes Veiculares. In: *VII Workshop de Redes Dinâmicas e Sistemas P2P (WP2P 2011)*, 2011, Campo Grande - MS. XXIX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2011.

[Microsoft 2011]. Microsoft TechNet (2011). Configurando acesso para VoIP. Disponível em <http://technet.microsoft.com/pt-br/library/dd441021.aspx> . Acessado em 14 de Setembro de 2011.

[Mo *et al.* 2006] Mo, Z., Zhu, H., Makki, K., and Pissinou, N. (2006). Muru: A *multihop routing protocol for urban vehicular ad hoc networks*. In *3rd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems - Workshops*, 2006.

[Naumov *et al.* 2006] Naumov, V., Baumann, R., and Gross, T. (2006). *An evaluation of inter-vehicle ad hoc networks based on realistic vehicular traces*. In *Proceedings of the 7th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing*. ACM New York, NY, USA.

[Oliveira *and* Duarte 2007] Oliveira, C. T.; Duarte, O. C. M. B. (2007). Uma análise da probabilidade de entrega de mensagens em redes tolerantes a atrasos e desconexões. *In* Anais do XXV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC), 2007.

[Oliveira *et al.* 2008] Oliveira, C. T., Braga, R. B., Taveira, D. M., and Duarte, O. C. M. B. (2008). Uma proposta de roteamento probabilístico para redes tolerantes a atrasos e desconexões. *In* Anais do XXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC), 2008.

[Panichpapiboon *et al.* 2008] Panichpapiboon, S.; Pattara-Atikom, W. (2008). *Connectivity requirements for selforganizing traffic information systems. Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, v. 57, n. 6, p. 3333 –3340.

[Pereira 2008] Pereira, R. M. (2008). Multiplexação adaptativa baseada no *E-Model* para redução do *overhead* na rede em ligações VoIP sobre IP *security* mantendo qualidade nas conversações. Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

[Perkins *and* Bhagwat 1994] Perkins, C. E.; Bhagwat, P. (1994). DSDV - *Highly dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector routing for mobile computers. London: ACM Computer.*

[Ramjee *et al.* 1994] Ramjee, R.; Kurose, J.; Towsley, D.; Schulzrinne, H. (1994). *Adaptive Playout Mechanisms for Packetized Audio Applications in Wide-Area Networks. In: Networkin for Global Communications, INFOCOM, 13. [S.l.]:IEEE, 1994. v.2, p.680–688.*

[Roberto 2010] Roberto, F. M. (2010). Um Mecanismo de Difusão para Redes VANETs Baseado em Cinemática e Teoria do Jogos. Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.

[Ros *et al.* 2009] Ros, F. J., Ruiz, P. M., Sánchez, J. A., and Stojmenovi, I. (2009). *Vehicular Networks: From Theory to Practice, chapter Vehicular Mobility Models, pages 9[1-43]. Chapman & Hall/CRC.*



[Schulzrinne *et al.* 2003] Schulzrinne, H.; Casner, S.; Frederick, R.; Jacobson, V. (2003) *RTP A Transport Protocol for Real-Time Applications: RFC 3550*. [S.l.]: *Internet Engineering Task Force, Network Working Group*.

[Sheu *et al.* 2007] Sheu, J.-P.; Tu, S.-C.; Hsu, C.-H. (2007) *Location-free topology control protocol in wireless ad hoc networks*. In: *Wireless Communications and Networking Conference, 2007.WCNC 2007*. IEEE. [S.l.: s.n.], 2007. p. 66 –71.

[SUMO 2011] SUMO (2011). Sumo. Disponível em <http://sumo.sourceforge.net/>. Acessado em 10 de Julho de 2011.

[Sun and Ifeachor 2006] Sun, L.; Ifeachor, E. C. (2006). *Voice Quality Prediction Models and Their Application in VoIP Networks*. *IEEE Transactions on Multimedia*, [S.l.], v.8, n.4, p.809–820.

[Tanenbaum 2003] Tanenbaum, A. S. (2003) *Redes de computadores*. [S.l.]: Elsevier.

[Taleb *et al.* 2007] Taleb, T., Sakhaee, E., Jamalipour, A., Hashimoto, K., Kato, N., and Nemoto, Y. (2007). *A stable routing protocol to support its services in vanet networks*. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 56(6):3337–3347.

[Telecommunications Industry Association 2006] *Telecommunications Industry Association* (2006). *TSB-116 - A Voice Quality Recommendations for IP Telephony*. [S.l.].

[Tonguz 2007] Tonguz, O. (2007) *Broadcasting in vanet*. In: *2007 Mobile Networking for Vehicular Environments*. [S.l.: s.n.] p. 7 –12.

[Torrent-Moreno *et al.* 2006] Torrent-Moreno, M.; Santi, P.; Hartenstein, H.(2006) *Distributed fair transmit power adjustment for vehicular ad hoc networks*. In: *Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, 2006. SECON '06. 2006 3rd Annual IEEE Communications Society on*. [S.l.: s.n.], v. 2, p. 479 –488.

[Viriyasitavat *et al.* 2009] Viriyasitavat, W., Tonguz, O. K., and Bai, F. (2009). *Network connectivity of vanets in urban areas*. In *Proceedings of the 6th Annual IEEE communications society conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON)*, 2009., Piscataway, NJ, USA. IEEE Press.