

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA

UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA

MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA

EM SISTEMAS PRODUTIVOS

NATHAN CIRILLO E SILVA

A SIMULAÇÃO DOS PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO EM REDES VEICULARES
PARA ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA DENSIDADE E MOBILIDADE VEICULAR

São Paulo

2016

NATHAN CIRILLO E SILVA

A SIMULAÇÃO DOS PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO EM REDES VEICULARES
PARA ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA DENSIDADE E MOBILIDADE VEICULAR

Dissertação apresentada como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, sob a orientação do Prof. Dr. Antônio César Galhardi.

São Paulo

2016

FICHA ELABORADA PELA BIBLIOTECA NELSON ALVES VIANA

FATEC-SP / CEETEPS

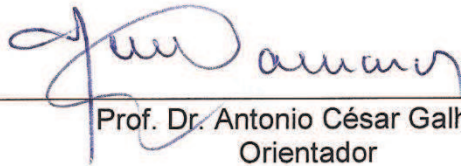
S586s Silva, Nathan Cirillo e
A simulação dos protocolos de roteamento em redes veiculares para análise da influência da densidade e mobilidade veicular. / Nathan Cirillo e Silva. – São Paulo : CEETEPS, 2016.
192 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Antonio César Galhardi
Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 2016.

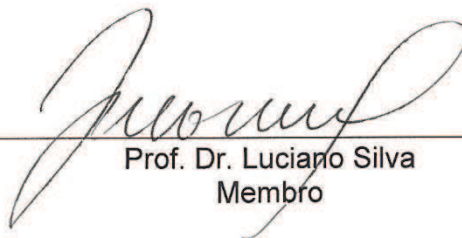
1. Redes veiculares. 2. Densidade. 3. Mobilidade. 4. Protocolos de roteamento. I. Galhardi, Antonio César. II. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. III. Título.

NATHAN CIRILLO E SILVA

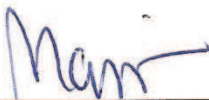
A SIMULAÇÃO DOS PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO EM REDES VEICULARES
PARA ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA DENSIDADE E MOBILIDADE VEICULAR



Prof. Dr. Antonio César Galhardi
Orientador



Prof. Dr. Luciano Silva
Membro



Profa. Dra. Marília Macorin de Azevedo
Membro

São Paulo, 2 de Maio de 2016

Dedico esta dissertação
aos meus pais, Carlos e Lícia

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado força e sabedoria para superar as dificuldades.

Ao meu orientador Dr. Antônio César Galhardi, pela oportunidade, pelo suporte, pelas correções, pelas palavras de incentivo e principalmente por ter acreditado em meu trabalho.

Aos membros da banca, professora Dra. Marília Macorin de Azevedo e professor Dr. Luciano Silva que tanto colaboraram para o enriquecimento deste trabalho.

Ao Centro Paula Souza, seu corpo docente, direção e administração por todo o auxílio oferecido no decorrer do curso.

Aos meus colegas de sala, pela troca de conhecimentos e pelos momentos prazerosos que passamos juntos.

A Fatec Jundiaí, na figura da sua diretora Dra. Viviane Rezi Dobarro, por todo o apoio e compreensão.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A minha esposa Vanessa Fontes Cirillo e a minha filha Ana Clara Fontes Cirillo, pelo companheirismo nos momentos de dificuldade e pelo incentivo.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“[...] talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Marthin Luther King)

RESUMO

SILVA, N. C. **A simulação dos protocolos de roteamento em redes veiculares para análise da influência da densidade e mobilidade veicular**. 192 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2016.

O avanço nas tecnologias de comunicação aliado aos anseios dos consumidores por mobilidade e conectividade estão possibilitando o surgimento de uma nova gama de aplicações que visam trazer uma maior segurança, conforto e entretenimento ao condutor. Nestas aplicações, a comunicação é uma tarefa desafiadora devido às próprias características das redes veiculares que envolvem variações de densidade e alta mobilidade. Por essa razão, diversos trabalhos têm citado a influência desses fatores na comunicação inter-veicular, porém são poucos os estudos, principalmente no Brasil, que conseguem comprova-la de maneira clara e objetiva. Sendo assim, neste trabalho procura-se identificar a influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular. Para atingir este objetivo, o protocolo de roteamento AODV foi implementado em diferentes cenários por meio de simulação no ambiente MOVE e NS2. Com base nas observações provenientes da simulação, o teste de falseabilidade de Popper foi aplicado, o que permitiu comprovar a existência dessa influência. Tal fato justifica-se principalmente pelas variações apresentadas em diversas métricas, como: taxa de pacotes enviados; taxa de pacotes recebidos; taxa de colisão de pacotes; taxa de bits enviados vs média de atraso ponto a ponto; e taxa de bits recebidos vs média de atraso ponto a ponto. Como resultado geral, constatou-se a importância da simulação na identificação de fatores que comprometem a comunicação, o que pode servir como base para o desenvolvimento de protocolos mais eficientes e capazes de se adaptar aos diversos tipos de cenários existentes.

Palavras-chave: Redes veiculares; Densidade; Mobilidade; Protocolos de Roteamento.

ABSTRACT

SILVA, N. C. **A simulação dos protocolos de roteamento em redes veiculares para análise da influência da densidade e mobilidade veicular**. 192 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2016.

The advancement of communication technologies combined with the desires of consumers for mobility and connectivity are enabling the emergence of a new range of applications aimed at bringing greater safety, comfort and entertainment to the driver. In these applications, communication is a challenging task due to the characteristics of vehicular networks involving density variations and high mobility. For this reason, several studies have cited the influence of these factors on the inter-vehicle communication, but there are few studies, mainly in Brazil, which can prove it in a clear and objective manner. Thus, this paper seeks to identify the influence of density and mobility in the inter-vehicle communication. To achieve this goal, the AODV routing protocol has been implemented in different scenarios through simulation in MOVE and NS2 environment. Based on observations from the simulation, Popper's falsifiability test was applied, which allowed to prove the existence of this influence. This can be explained mainly by the variations presented in several metrics, such as throughput of sending packets; throughput of receiving packets; throughput of dropping packets; throughput of sending bits vs average End2End delay; and throughput of receiving bits vs average End2End delay. As a result, it was found the importance of simulation in identifying factors that impair communication, which can serve as a basis for the development of more efficient protocols and capable of adapting to the various types of scenarios.

Keywords: Vehicular Networks; Density; Mobility; Routing Protocols.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Especificações do 1G.....	40
Quadro 2 - Especificações da Família 2G.....	41
Quadro 3 - Especificações da Tecnologia 3G.....	43
Quadro 4 - Especificações da Tecnologia 4G.....	46
Quadro 5 - Comparação das tecnologias móveis.....	48
Quadro 6 - Comparação dos padrões Bluetooth, ZigBee e Wi-Fi.....	52
Quadro 7- Classificação dos Protocolos por Categoria.....	76
Quadro 8 - Recursos utilizados pelos protocolos baseados em localização.....	78
Quadro 9 - Comparação entre os simuladores de tráfego.....	89
Quadro 10 - Comparação entre os Simuladores de Rede.....	93
Quadro 11 - Comparativo entre os Simuladores Integrados.....	97
Quadro 12 - Caracterização dos Profissionais da PM.....	106
Quadro 13 - Configurações da Simulação - Ambiente Urbano (Alta Densidade e Baixa Velocidade)	123
Quadro 14 - Configurações da Simulação - Ambiente Urbano (Baixa Densidade e Alta Velocidade)	125
Quadro 15 - Configurações da Simulação - Ambiente de Rodovia (Alta Densidade e Baixa Velocidade).....	131
Quadro 16 - Configurações da Simulação - Ambiente de Rodovia (Baixa Densidade e Alta Velocidade).....	132
Quadro 17 - Teste de Falseabilidade.....	171
Quadro 18 - Aplicação do modelo de Popper.....	172

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de Artigos por Descritor no IEEE.....	102
Tabela 2 - Quantidade de Artigos por Descritor na ACM	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Frota de veículos automotores no Brasil - 2005 e 2015	23
Figura 2 - Diagrama da Estrutura do Trabalho.....	26
Figura 3 - Comunicação V2I, V2V e Híbrida	31
Figura 4 - Modos de Transmissão de Informações	32
Figura 5 - Pilha de Protocolos 802.11p WAVE	34
Figura 6 - Topologias de Rede em ZigBee.....	51
Figura 7 - Formação de veículos em protocolos baseados em <i>cluster</i>	58
Figura 8 - Procedimento para descoberta de rotas no protocolo AODV	60
Figura 9 - Funcionamento do Protocolo CAR.....	62
Figura 10 - Roteamento ao longo de junções	64
Figura 11 - Funcionamento do modo Greedy	65
Figura 12 - Funcionamento do modo Perimeter.....	66
Figura 13 - Representação da área de cobertura.....	70
Figura 14 - Representação Cartesiana dos Vetores	72
Figura 15 - Funcionamento do Protocolo ROMSGP	73
Figura 16 - Funcionamento do protocolo SAR	74
Figura 17 - Linha do Tempo dos Protocolos.....	76
Figura 18 - Etapas da Simulação.....	79
Figura 19 - Movimento dos nós no modelo de mobilidade aleatório.....	82
Figura 20 - Movimento dos nós no modelo RPGM.....	82
Figura 21 - Movimento dos veículos no modelo Freeway	83
Figura 22 - Movimento dos veículos no modelo <i>Manhattan</i>	84
Figura 23 - Exemplo de Conversão.....	86
Figura 24 - Mapa do Centro de Jundiaí.....	111
Figura 25 - Criação do Mapa (Modelo de Mobilidade)	112

Figura 26 – Opção para criar os pontos de cruzamento	112
Figura 27 - Definição dos Pontos de Cruzamento.....	113
Figura 28 - Opção para interligar os pontos de cruzamento.....	113
Figura 29 - Configurando a Interligação dos Pontos de Cruzamento	114
Figura 30 - Criação do Arquivo de Mapa.....	115
Figura 31 - Criação do Arquivo de Configuração.....	115
Figura 32 - Opção para criar o arquivo de mapa.....	116
Figura 33 - Criação do Arquivo de Mapa.....	116
Figura 34 - Opção para criar o fluxo de veículos.....	117
Figura 35 - Definição do Fluxo de Veículos	118
Figura 36 - Cruzamento vs Probabilidade.....	118
Figura 37 - Criação da movimentação dos veículos.....	119
Figura 38 - Criando o movimento dos veículos	119
Figura 39 - Edição do Arquivo de Rotas.....	120
Figura 40 - Criando o arquivo de configuração	120
Figura 41 - Criando o arquivo de configuração para o SUMO	121
Figura 42 - Comparação entre o Mapa Real e o Desenvolvido no MOVE.....	121
Figura 43 - Detalhamento de partes do mapa.....	122
Figura 44 – Criação do arquivo TCL	122
Figura 45 - Opção para criação do arquivo TCL.....	123
Figura 46 - Tela de Criação do Arquivo TCL.....	124
Figura 47 - Execução do arquivo TCL no NS2.....	124
Figura 48 - Comunicação entre os veículos	125
Figura 49 - Mapa do Cenário de Rodovia	126
Figura 50 - Definição do ponto inicial e final da rodovia	126
Figura 51 - Interligação dos Pontos.....	127
Figura 52 - Criação do Arquivo de Configuração do Mapa.....	127

Figura 53 - Geração do Mapa de Rodovia	128
Figura 54 - Definição do Fluxo de Veículos	128
Figura 55 - Criando a rota dos veículos	129
Figura 56 - Alteração do Arquivo de Rotas	130
Figura 57 - Definindo as Configurações do Simulador de Trafégo	130
Figura 58 - Movimentação dos Veículos	131
Figura 59 - Criação do Arquivo TCL.....	132
Figura 60 - Execução do Arquivo TCL pelo NS2.....	133
Figura 61 - Comunicação entre Veículos na Rodovia.....	133
Figura 62 - Modelo para formação do conhecimento de Popper	136
Figura 63 - Frequência das palavras-chave (as dez mais citadas).....	138
Figura 64 - Autores com mais publicações (corte de no mínimo 5)	138
Figura 65 - Anos em que houveram publicações (n = 539)	139
Figura 66 - Publicações mais citadas (10 principais).....	139
Figura 67 - Publicações por país dos artigos selecionados (n = 539).....	140
Figura 68 - Conferências com mais artigos apresentados (corte de no mínimo 4)	141
Figura 69 - Periódicos com mais artigos apresentados (corte de no mínimo 2).....	141
Figura 70 - Fator de Impacto e Índice H dos Journals	142
Figura 71 - Frequência das palavras-chave (as dez mais citadas).....	145
Figura 72 - Autores com mais publicações (corte de no mínimo 2)	146
Figura 73 - Número de Publicações por Ano (n = 49).....	146
Figura 74 - Publicações mais citadas (10 principais).....	147
Figura 75 - Número de publicações por país (n = 49).....	148
Figura 76 - Periódicos com mais artigos publicados (corte de no mínimo 2).....	148
Figura 77 - Fator de Impacto e Índice H dos Journals	149
Figura 78 – Comparação: Taxa de Pacotes Enviados	156
Figura 79 – Comparação: Taxa de Pacotes Recebidos.....	158

Figura 80 – Comparação: Taxa de Colisão de Pacotes	160
Figura 81 – Comparação: Tamanho do Pacote vs Taxa Média de Pacotes Enviados	162
Figura 82 - Comparação: Tamanho do Pacote vs Taxa Média de Pacotes de Recebidos	164
Figura 83 - Comparação: Tamanho do Pacote vs Taxa Média de Colisão de Pacotes.....	166
Figura 84 - Comparação: Taxa de Bits Enviados vs Média de Atraso Ponto a Ponto	168
Figura 85 - Comparação: Taxa de Bits Recebidos vs Média de Atraso Ponto a Ponto.....	170

LISTA DE SIGLAS

1G	Primeira Geração de Sistemas Móveis
1XEVD0	Evolution Data Optimized
2G	Segunda Geração de Sistemas Móveis
3G	Terceira Geração de Sistemas Móveis
3GPP	Third Generation Partnership Project
4G	Quarta Geração de Sistemas Móveis
ABS	Anti-lock Braking System
AES	Advanced Encryption Standard
AIDC	Automatic identification and data capture
AM	Amplitude Modulation
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AODV	Ad-hoc On Demand Vector Routing
ASK	Amplitude-shift keying
A-STAR	Anchor-Based and Traffic Aware Routing
ASTM	American Society for Testing and Materials
BPSK	Binary phase-shift keying
BSS	Basic Service Set
CAR	Connectivity Aware Routing
CBC-MAC	Cipher block chaining message authentication code
CCK	Complementary Code Keying
CCM	Counter with CBC-MAC
CDMA	Code Division Multiple Access
CNT	Confederação Nacional Do Transporte
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex
CRC	Cyclic Redundancy Check
CTR	Counter
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DSR	Dynamic Source Routing
DSRC	Dedicated Short Range Communication
DSSS	Direct sequence spread spectrum

EDD	Expected disconnection degree
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EPFL	École polytechnique fédérale de Lausanne
ESS	Extended Service Sets
FCC	Federal Communications Commission
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FHSS	Frequency-hopping Spread Spectrum
FM	Frequency Modulation
GFSK	Gaussian Frequency-Shift Keying
GPCR	Greedy Perimeter Coordinator Routing
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing
GSM	Global System for Mobile Communication
GSMA	GSM Association
GSR	Geographic Source Routing
HD	High Definition
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
IRDA	Infrared Data Association
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ITS	Intelligent Transport Systems
IVC	Inter-Vehicle Communication
LAN	Local Area Network
LORA-CBF	Location Routing Algorithm with Cluster-Based Flooding
LREQ	Location Request
LR-WPAN	Low-rate Wireless Personal Area Network
LTE	Long-Term Evolution
MAC	Media Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MANET	Mobile Ad-Hoc Network

MC-CDMA	Multi Carrier Code Division Multiple Access
MIMO	Multiple-Input/Multiple-Output
MMS	Multimedia Messaging Service
M-QAM	Quadrature amplitude modulation
MURU	Multi-Hop Routing Protocol for Urban Vanets
NAM	Network Animator
NMT	Nordic Mobile Telephone
NPPB	Nth-Powered P-persistent Broadcast
NS2	Network Simulator 2
NSF	National Science Foundation
NTT	Nippon Telephone and Telegraph
OBU	Onboard Unit
O-QPSK	Offset Quadrature Phase-Shift Keying
PAN	Personal Area Network
PDA	Personal Digital Assistants
PHY	Physical Layer
PSTN	Public Switched Telephone Network
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
RFID	Radio-Frequency Identification
RLS	Reactive Location Service
ROMSGP	Receive On Most Stable Group-Path
RPGM	Random Point Group Mobility
RSU	Road Side Unit
SAR	Spatial Aware Routing
SMS	Short Message Service
SUMO	Simulation of Urban Mobility
TDD	Time Division Duplex
TDM	Terminal Móvel de Dados
TDMA	Time Division Multiple Access
TIA	Telecommunications Industry Association
TIL	Time Interval Length
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
V2I	Vehicle-to-Infrastructure

V2V	Vehicle-to-Vehicle
VADD	Vehicle Assisted Data Delivery
VANET	Vehicular Ad-Hoc Network
VoIP	Voice Over Internet Protocol
WAN	Wide Area Network
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments
WCDMA	Wide-Band Code-Division Multiple Access
WEP	Wired Equivalent Privacy
WIFI	Wireless Fidelity
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WPA2	Wireless Protected Access 2
XML	eXtensible Markup Language

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	22
1.1. Questão de pesquisa	24
1.2. Objetivos	24
1.3. Estrutura do Trabalho.....	25
2. REDES VEICULARES	27
2.1. Principais Características	28
2.2. Tipos de Aplicações	29
2.3. Propagação de Informações em VANETs.....	30
2.4. Padrão WAVE.....	33
2.5. Rede CAN	34
3. CONECTIVIDADE EM REDES VEICULARES.....	36
3.1. <i>Dedicated Short-Range Communications (DSRC)</i>	36
3.2. <i>Wireless Fidelity (WIFI)</i>	37
3.3. <i>Worldwide Interoperability for Microwave Access (WIMAX)</i>	38
3.4. Primeira Geração de Sistemas Móveis (1G)	39
3.5. Segunda Geração de Sistemas Móveis (2G)	41
3.6. Terceira Geração de Sistemas Móveis (3G).....	42
3.7. Quarta Geração de Sistemas Móveis (4G)	44
3.8. Quinta Geração de Sistemas Móveis (5G)	47
3.9. Bluetooth.....	49
3.10. ZigBee	50
3.11. Infravermelho	53
3.12. Identificação por Rádio Frequência (RFID).....	54
4. ROTEAMENTO EM REDES VEICULARES.....	56
4.1. Protocolos de Roteamento para Redes Veiculares	57

5.	SIMULAÇÃO DE REDES VEICULARES	79
5.1.	Modelos de Mobilidade.....	80
5.2.	Tipos de Simuladores.....	84
5.2.1.	Simuladores de Tráfego	85
5.2.2.	Simuladores de Rede.....	90
5.2.3.	Simuladores Integrados.....	94
5.3.	Métricas para avaliação de desempenho	97
5.3.1.	Taxa de Transferência de Pacotes	98
5.3.2.	Taxa de Entrega de Pacotes.....	98
5.3.3.	Tempo Médio de Atraso.....	99
5.3.4.	<i>Jitter</i> Médio do Pacote	99
5.3.5.	Quantidade Média de Saltos.....	100
6.	METODOLOGIA	101
6.1.	Análise Bibliométrica.....	101
6.2.	Relato de Caso.....	104
6.3.	Simulação.....	111
6.3.1.	Simulando o ambiente urbano.....	111
6.3.2.	Simulando o ambiente de rodovia	126
6.4.	Karl Popper	134
7.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	137
7.1.	Análise Bibliométrica.....	137
7.1.1.	Resultados da Análise Bibliométrica realizada no IEEE	137
7.1.2.	Resultados da Análise Bibliométrica realizada na ACM	145
7.2.	Relato de Caso.....	152
7.3.	Simulação.....	153
7.4.	Teste de Falseabilidade de Popper	171
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	173
	REFERÊNCIAS.....	175
	APÊNDICE A – Instalação das Ferramentas Necessárias para Simulação	184

1. INTRODUÇÃO

A natureza de estar conectado enquanto dirige tem mudado significativamente nos últimos anos. Antes, o fato de se ter um rádio para ouvir as estações AM e FM já atendia as necessidades dos condutores durante a viagem, pois os mantinham informados. Agora, com o surgimento dos dispositivos *mobile*, eles procuram novos recursos, tais como: funcionalidade MP3, conectividade com Smartphones e outros.

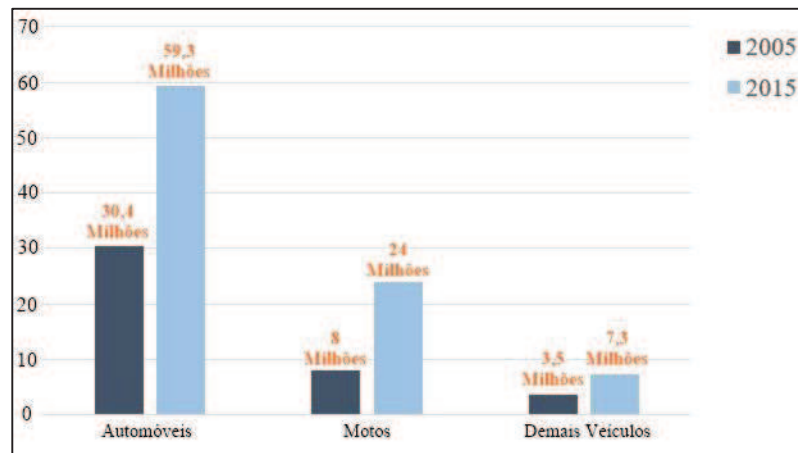
Além disso, sofisticadas redes como DSRC, WIFI, WIMAX, Bluetooth e a família de padrões de tecnologia móvel (2G, 3G e 4G) possibilitam o surgimento de novas aplicações envolvendo a comunicação entre veículos (V2V – *Vehicle-to-Vehicle*) e a comunicação com dispositivos ao longo de uma rodovia (V2I – *Vehicle-to-Infrastructure*). A conectividade presente nestes veículos faz com que cada um deles se torne um nó na Internet (BROWN, 2011).

Dentre as diversas aplicações que a comunicação entre veículos viabiliza, destacam-se as que são voltadas à segurança e as que melhoram a eficiência do veículo e da estrada. Este é um dos principais fatores que motiva o desenvolvimento de pesquisas na área, visto que os pesquisadores são motivados pela riqueza das aplicações possíveis (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2010).

Diversos consórcios foram criados por meio de parcerias entre universidades e montadoras de veículos. Dentre eles, destaca-se o *Car2Car Communication Consortium* (C2CCC, 2015), que foi criado por fabricantes europeus de veículos (Audi, Volvo, Volkswagen e Renault), juntamente com a *École Polytechnique Fédérale de Lausanne* (EPFL). Os seus principais objetivos tem sido: criar um padrão de comunicação sem fio inter-veicular; garantir em nível europeu a operabilidade de seus sistemas; criar aplicações ativas de segurança; prototipar e demonstrar sistemas inter-veiculares.

Além de todo interesse comercial e acadêmico existente nas redes veiculares, alguns dados estatísticos reforçam a previsão de crescimento destas redes. Segundo o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), a frota brasileira passou de pouco mais de 30,4 milhões, em 2005, para 59,3 milhões, em 2015. Isso significa dizer que a frota aumentou 95% em um período de 10 anos. A Figura 1 apresenta as estatísticas citadas.

Figura 1 - Frota de veículos automotores no Brasil - 2005 e 2015



Fonte: Elaborado pelo autor com dados do Denatran (2016)

Também tem sido um fator motivador para o desenvolvimento de redes veiculares os grandes investimentos realizados para aumentar a segurança no trânsito. Segundo a Confederação Nacional do Transporte - CNT (2016), o gasto anual com acidentes de trânsito no Brasil em 2014 atingiu R\$ 12,3 bilhões, sendo que R\$ 4,36 bilhões foi o custo decorrente de mortes e o restante foi gasto com feridos.

Além disso, pesquisas recentes publicadas pela GSMA (2013), mostram que todo carro novo estará conectado até 2025. O mercado de carros conectados resultará em receitas três vezes maiores em 2018 do que em 2012, compreendendo 24,5 bilhões de euros em serviços de bordo, como informações de tráfego, suporte de *call center* e entretenimento; 6,9 bilhões de euros em vendas de hardware, como unidades de controle de telemática; 4,5 bilhões de euros em entrega de serviços de telemática, como gerenciamento das relações com os clientes; e 4,1 bilhões de euros da provisão de conectividade, que inclui receitas de dados móveis.

O crescimento dos carros conectados também será uma consequência das regulamentações existentes nos países. A União Europeia e a Rússia, por exemplo, exigem que seus veículos novos possuam mecanismos que alertem automaticamente os serviços de emergência em caso de acidentes. Já no Brasil esse aumento ocorrerá por meio de uma regulamentação que prevê a utilização de Sistemas de Rastreamento Veicular em todos os veículos novos (GSMA, 2013).

Os veículos podem gerar e analisar uma grande quantidade de dados, os quais são provenientes deles próprios. Por meio da comunicação inter-veicular, conhecida também como

VANET (*Vehicular Ad Hoc Network*), o número de possibilidades pode ser ampliado consideravelmente.

Essas redes possuem características específicas que as distinguem das demais. Os nós (veículos) são móveis, a probabilidade de romper a comunicação é maior, e a conectividade final não é garantida (TOOR et al., 2008). Estas características trazem várias implicações para a concepção destas redes (YOUSEFI; MOUSAVI; FATHY, 2006).

Para amenizar esses problemas, surge a necessidade de adotar um protocolo de roteamento que seja capaz de lidar com a dinamicidade presente nas redes veiculares. Para isso, esse protocolo deve operar de forma satisfatória, devendo ser tolerante inclusive às mudanças de cenários.

Os protocolos de roteamento existentes ainda não suprem a necessidade dos diversos cenários nos quais os veículos estão inseridos. Portanto, é importante compreender os fatores existentes nesses ambientes que influenciam na comunicação inter-veicular. Tal levantamento pode servir como base para melhorar os protocolos atuais ou para criar outros novos (PAUL; IBRAHIM; BIKAS, 2011). É por estas razões que neste trabalho busca-se analisar a influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular.

1.1. Questão de pesquisa

O presente estudo busca responder a seguinte questão de pesquisa:

A densidade e a mobilidade influenciam na comunicação inter-veicular?

1.2. Objetivos

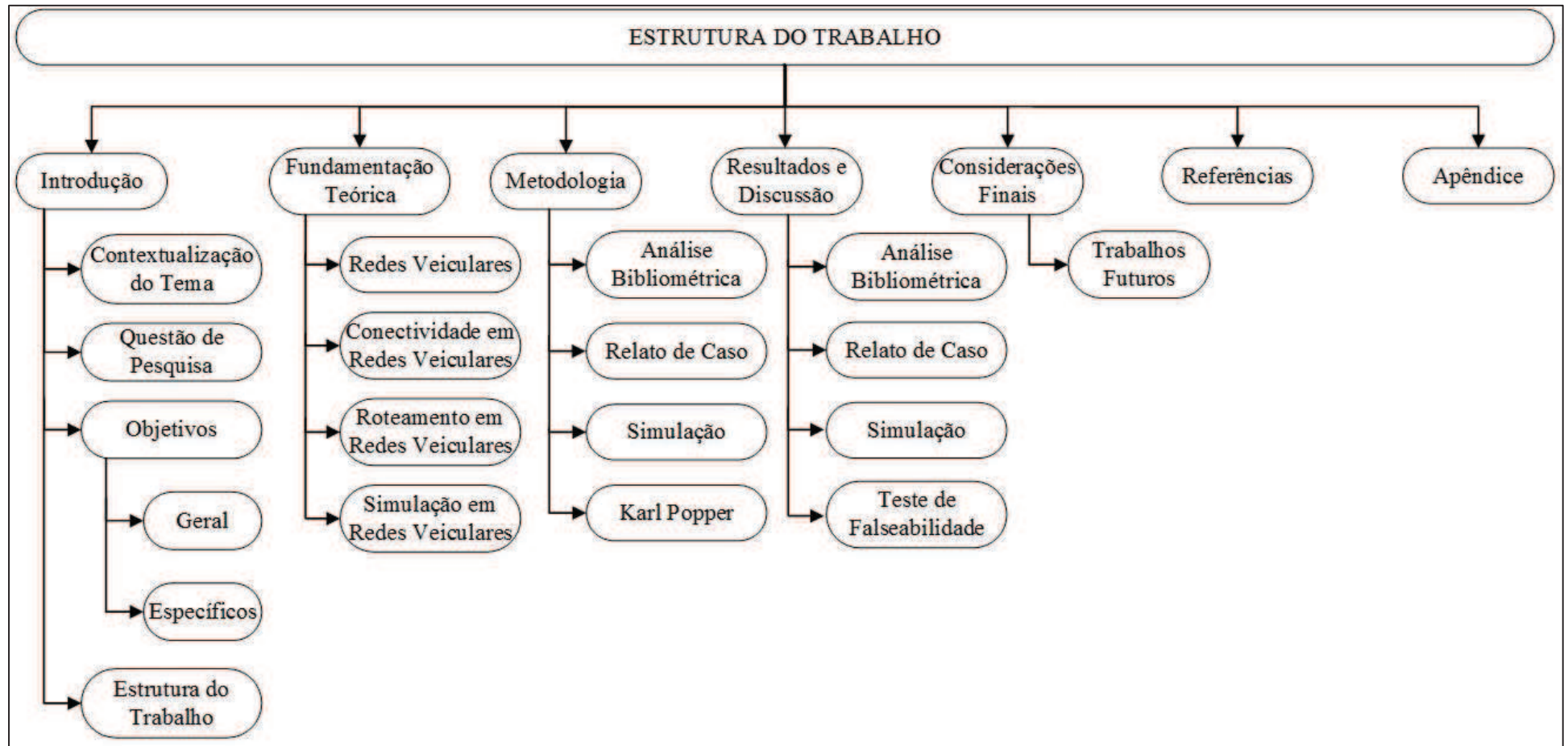
O Objetivo Geral deste estudo é identificar se a densidade e a mobilidade influenciam na comunicação inter-veicular.

Os Objetivos Específicos são: Apresentar o estado da literatura sobre redes veiculares; listar as principais tecnologias sem fio utilizadas para estabelecer a comunicação entre veículos; caracterizar os principais protocolos de roteamento existentes; e realizar a simulação de um dos principais protocolos de roteamento para redes veiculares, o AODV, em diferentes cenários (urbano e rodovia).

1.3. Estrutura do Trabalho

Por meio da Figura 2 é possível ter uma visão geral da estrutura do trabalho. Tal ilustração, facilita o entendimento da maneira como o trabalho está organizado, permitindo também conhecer melhor os assuntos que serão abordados no decorrer de seu desenvolvimento.

Figura 2 - Diagrama da Estrutura do Trabalho



Fonte: O Autor

2. REDES VEICULARES

O setor automotivo cria oportunidades e desafios, pois a possibilidade dos veículos se comunicarem diretamente uns com os outros e com dispositivos ao longo de uma rodovia, possibilita o surgimento de novas aplicações, principalmente àquelas voltadas à segurança. Tais aplicações podem melhorar significativamente a eficiência dos veículos e das estradas (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2010).

A concepção deste tipo de rede, por sua vez, oferece desafios, devido a sua própria característica que é resultante da mobilidade presente nos veículos e do ambiente altamente dinâmico no qual estão inseridos.

Vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de melhorar a comunicação nestes ambientes. Conforme mencionado por Sichitiu e Kihl (2008), boa parte dos trabalhos desta área tem por objetivo resolver o problema da transmissão de dados entre veículos em movimento.

Neste contexto, um dos aspectos importantes para garantir uma comunicação eficiente entre os veículos em uma VANET é o desenvolvimento e a adoção de um protocolo de roteamento que seja eficiente, confiável e seguro (REHMAN et al., 2013).

Para melhorar a cobertura e a robustez da comunicação, equipamentos conhecidos como RSUs (*Roadside Units*) podem ser implementados no decorrer da estrada, permitindo que os veículos consigam ter acesso à Internet. Assim, os dados poderão ser coletados, processados e armazenados em algum lugar, como por exemplo, na nuvem. De acordo com Armbrust et al (2009), a computação em nuvem pode ser entendida como a disponibilização de aplicações em forma de serviços na Internet, as quais estão alocadas em centros de dados, sendo suportadas por um conjunto de hardware.

Segundo Bayless e Belcher (2011), a geração de redes sem fio, a partir de 2015, deverá contar com diversas técnicas para priorizar a comunicação. Elas estarão adequadas à necessidade de cada aplicação, fazendo com que as redes se tornem mais inteligentes. Além disso, os terminais móveis serão compatíveis com diversas tecnologias sem fio (WIFI, Celular, Satélite, entre outros), que são capazes de determinar a melhor rede baseando-se em diversos fatores como cobertura de sinal, qualidade do serviço e custo.

2.1.Principais Características

As Redes Veiculares podem ser classificadas como uma subclasse das Redes Móveis *Ad-hoc* (MANETs) e, por essa razão, possuem algumas características em comum. No entanto, existe um conjunto de características pertencentes às VANETs que as tornam diferentes das demais redes (YOUSEFI; MOUSAVI; FATHY, 2006).

Em comparação com as demais redes móveis, as redes veiculares possuem a vantagem de os veículos terem um maior ciclo de vida de bateria. Tal aspecto permite que se tenha um processamento mais eficiente das complexas rotinas de roteamento e de segurança existentes na rede. Deste modo, verifica-se que o consumo de energia não é um fator crítico em VANETs (REHMAN et al., 2013).

Outro aspecto relevante em redes veiculares é o tamanho dos nós, visto que estes são maiores quando comparados às demais redes. Tal fato possibilita que os veículos possam possuir uma maior quantidade de sensores, permitindo medir sua velocidade e aceleração. Além disso, muitos veículos são comercializados com sistemas de posicionamento global, permitindo que as aplicações façam uso de suas informações (CAVENEY, 2011).

A mobilidade presente nos veículos é limitada pela topologia fixa da região, ou seja, eles trafegam apenas onde há ruas e avenidas. Estes cenários muitas vezes impõem limites de velocidade. Além disso, os movimentos de um veículo podem ser restringidos pelos seus vizinhos. Deste modo, verifica-se a importância dos modelos de mobilidade (YOUSEFI; MOUSAVI; FATHY, 2006).

Os modelos de mobilidade podem ser entendidos como um conjunto de regras que definem os movimentos padrões dos nós (veículos) usados pelos simuladores de rede para criar topologias aleatórias baseadas nas posições dos nós. Assim, os modelos de mobilidade devem considerar as limitações existentes no cenário. Tais limitações podem ser classificadas como macroscópicas ou microscópicas; Macroscópicas são aquelas relacionadas a ruas, semáforos, avenidas, construções, entre outros; já as Microscópicas são o movimento dos veículos e o seu comportamento (ZEADALLY et al., 2010).

A instabilidade também é uma das características presentes nas VANETs. A alta velocidade dos nós nesse tipo de rede faz com que a sua topologia se desfaça muito facilmente. Tal aspecto influencia diretamente na qualidade dos enlaces sem fio, pois estes podem se tornar instáveis.

Tal instabilidade pode ser resolvida por meio da adoção de protocolos de roteamento, pois estes são responsáveis por lidar com as rápidas mudanças de topologia e a alta fragmentação da rede. No entanto, o desempenho dos protocolos de roteamento merece ainda muita pesquisa e desenvolvimento, pois não atendem completamente as necessidades atuais (BLUM; ESKANDARIAN; HOFFMAN, 2004).

A densidade veicular é outro ponto que deve ser levado em consideração quando se trata da conectividade. Quanto maior for o número de veículos transitando em uma via, melhor será a conectividade. No entanto, o fato de haverem muitos veículos transmitindo informações ao mesmo tempo, aumenta as chances de ocorrer colisões de pacotes (LAN; CHOU, 2008). Além disso, se a densidade veicular for pequena, haverá frequentes desconexões, interrupções de serviços e até mesmo ausência de veículos para a transferência das mensagens.

Cada ambiente possui suas próprias características, as quais podem afetar a conectividade. A baixa densidade veicular presente em uma rede esparsa; como em rodovias ou em cenários urbanos em horários noturnos pode ocasionar atrasos na rede (REHMAN et al., 2013).

O alcance da rede *wireless* também é essencial para se ter uma boa conectividade entre veículos, pois quanto maior for o seu alcance maior será o período de conexão. O alcance de uma rede é a sua capacidade de propagação de sinal até uma determinada distância, levando em consideração obstáculos e fontes de interferência.

2.2. Tipos de Aplicações

A combinação de sistemas de satélite de navegação global e tecnologias de comunicação *wireless* tem estimulado o desenvolvimento de pesquisas tanto na indústria como nas universidades no intuito de criar novas aplicações. Dentre estas aplicações estão: aplicações de segurança, aplicações de mobilidade e aplicações de conforto (CAVENEY, 2011).

As aplicações de segurança podem reduzir significativamente o número de acidentes. Segundo Toor et al (2008) existem três situações nas quais elas podem ser aplicadas:

- a) **Acidentes:** tem por objetivo alertar os outros veículos sobre acidentes que ocorreram na estrada e que podem afetá-los;

- b) **Cruzamentos:** o número de batidas em cruzamentos poderia ser reduzido se o condutor fosse alertado sobre a aproximação de outros veículos;
- c) **Congestionamento:** as aplicações também poderiam ser usadas para indicar as melhores rotas para um determinado destino, evitando a frustração dos condutores e possíveis acidentes.

Já as aplicações de mobilidade visam melhorar a fluidez do tráfego por meio do compartilhamento de informações, como por exemplo, a condição das estradas (CAVENEY, 2011).

Por fim, as aplicações de conforto podem tornar a viagem mais agradável para o condutor e seus passageiros. Entre os principais exemplos estão: sistemas de informação de tráfego, previsão do tempo, localização de restaurantes ou postos de gasolina, consulta de preços e serviços, e comunicação interativa com acesso à internet ou *download* de música (YOUSEFI; MOUSAVI; FATHY, 2006).

Estudos realizados por Varshney (2005) demonstram o conceito de comércio móvel, onde os veículos e seus usuários se envolvem em transações. Tais transações podem ocorrer por meio de serviços baseados em localização, serviços financeiros, jogos interativos, entre outros.

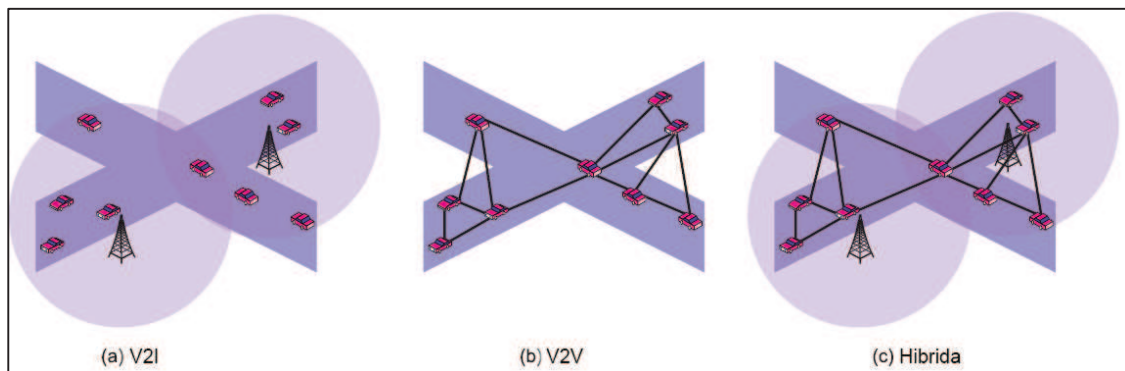
Cottingham e Davies (2007) previram uma série de aplicações envolvendo entretenimento, comércio móvel, operação remota, rastreamento, informação sobre congestionamento, previsão do tempo, detecção de perigo nas estradas, geração de mapas e sistemas de reservas.

2.3. Propagação de Informações em VANETs

O compartilhamento de informações em redes veiculares é um desafio, principalmente quando se trata de longas distâncias, pois a conectividade limitada pode afetar a velocidade com que os dados são transportados na rede. Assim, verifica-se a importância de considerar suas propriedades e limitações em todos os componentes do sistema (LOCHERT; SCHEUERMANN; MAUVE, 2010).

A comunicação em um ambiente veicular pode ocorrer entre veículos (V2V), entre veículos e a infraestrutura (V2I), e de maneira híbrida. Para que os veículos possam se comunicar é necessário que estes estejam equipados com uma unidade de transmissão e recepção de sinal *wireless* conhecida como *Onboard Unit* (OBU). A comunicação com a infraestrutura ocorre por meio de dispositivos localizados na lateral da estrada, os quais são denominados *Road Side Units* (RSU). Quando a comunicação ocorre de forma direta entre os veículos, ou seja, sem a necessidade de RSUs, pode-se dizer que se trata de uma arquitetura *Ad-hoc*. Por fim, a comunicação híbrida é caracterizada por um cenário em que alguns veículos se comunicam diretamente e outros necessitam da utilização de RSUs (REHMAN et al., 2013). Na Figura 3 é possível observar as três formas de comunicação existentes.

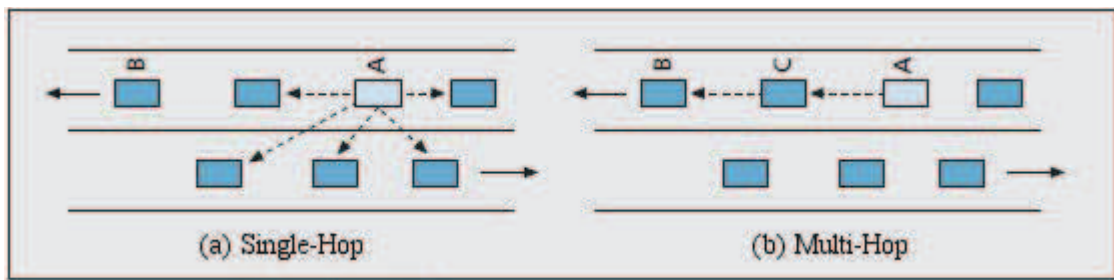
Figura 3 - Comunicação V2I, V2V e Híbrida



Fonte: Li e Wang (2007, p.13)

Na comunicação direta entre veículos (V2V), conforme a informação é transmitida, a rede pode ser classificada como *Single-Hop* ou *Multi-Hop*. No primeiro caso os veículos podem transmitir dados somente para os que estão em seu alcance de transmissão. Já na comunicação *Multi-Hop*, veículos intermediários podem retransmitir a mensagem para que ela chegue ao seu destino (SICHITIU; KIHIL, 2008). A Figura 4 apresenta a forma como a informação é disseminada e a sua respectiva classificação.

Figura 4 - Modos de Transmissão de Informações



Fonte: Sichitiu e Kihl (2008, p.89)

Segundo Rehman (2013), as redes veiculares podem estar presentes em três tipos distintos de cenários, os quais são classificados em urbano, rural e rodovia. A seguir são apresentadas suas definições.

- a) **Cenário Urbano:** A comunicação V2V é favorecida neste cenário devido à densidade de veículos. No entanto, esta densidade pode variar dependendo do horário. Além disso, existe a presença de obstáculos que podem influenciar na comunicação sem fio, como: árvores, prédios, obras, entre outros;
- b) **Cenário Rural:** Como neste cenário a densidade veicular é baixa, a rede acaba se tornando intermitente. Assim, a comunicação com a infraestrutura (V2I) acaba se tornando uma solução viável embora de alto custo. Estima-se também que a velocidade média neste cenário seja baixa;
- c) **Cenário de Rodovia:** As características deste tipo de cenário são diferentes dos demais, pois os veículos podem trafegar em alta velocidade, sem cruzamentos e sinais de trânsito. Tais características fazem com que a comunicação veicular se torne um desafio.

Deste modo, verifica-se que o tipo de cenário no qual os veículos estão inseridos pode influenciar em sua conectividade. Além disso, soluções diferenciadas devem ser adotadas para cada um deles a fim de amenizar os problemas de comunicação existentes. Para isso, uma das alternativas citadas na literatura é a adoção de protocolos que sejam eficientes e seguros. Os diferentes tipos de protocolos são apresentados adiante.

2.4. Padrão WAVE

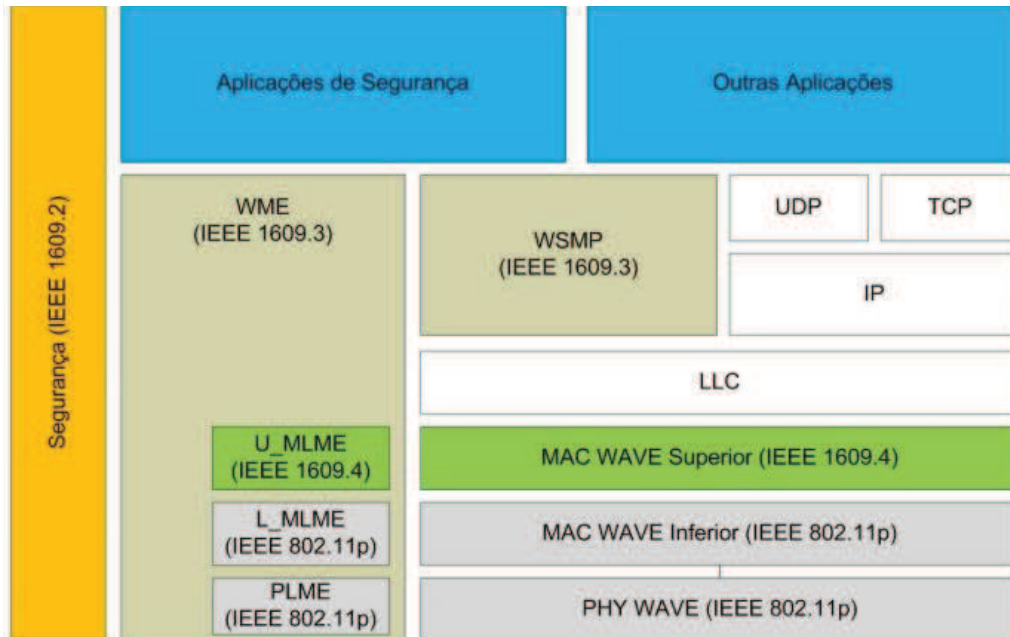
O padrão IEEE 802.11p conhecido também como WAVE (*Wireless Access in the Vehicular Environment*) é uma variação do IEEE 802.11a. Este padrão abrange as especificidades da comunicação veicular, como: ambiente móvel altamente dinâmico, transmissão de mensagens em rede *ad-hoc*, baixa latência e operação em um intervalo de frequência reservado (MITTAG et al., 2010).

Este padrão fornece um conjunto padronizado de interfaces para que diferentes fabricantes consigam desenvolver soluções para a comunicação entre veículos e entre veículos e infraestrutura. Tal padronização se faz essencial para o desenvolvimento das redes veiculares, pois permite a interoperabilidade entre os vários dispositivos fabricados.

O padrão WAVE tem como alvo uma faixa de transmissão entre 300 m a 1 km (TOOR et al., 2008). Além disso, a comunicação entre veículos e entre veículos e a infraestrutura ocorre em uma banda de 5.9 GHz (5.85-5.925 GHz) (LI, [2013?]).

A arquitetura WAVE é definida em seis documentos: O padrão IEEE P1609.1 define o gerenciamento de recursos que permite que múltiplas aplicações sejam executadas em RSUs a fim de se comunicarem com a OBU dos veículos. O padrão IEEE 1609.2 trata dos serviços de segurança para a comunicação veicular, como a autenticação das estações e a criptografia das mensagens. O padrão IEEE 1609.3 aborda os serviços de rede para a comunicação veicular, incluindo uma pilha específica de protocolos para lidar com as mensagens de curta distância (*WAVE Short Messages*). Já o IEEE 1609.4 define como a operação de múltiplos canais deve ser organizada. Por fim, os padrões IEEE 802.11 e o IEEE 802.11p, definem a camada física e de controle de acesso ao meio (MAC) para redes veiculares (MITTAG et al., 2010). A Figura 5 ilustra toda a pilha da arquitetura WAVE citada.

Figura 5 - Pilha de Protocolos 802.11p WAVE



Fonte: Alves et al (2009)

2.5. Rede CAN

A rede CAN, conhecida também como *Controller Area Network*, foi desenvolvida pela Bosch no ano de 1986, cujo principal objetivo era utilizá-la em ambientes industriais, assim como em aplicações automotivas (HELD, 2008). Além disso, também é considerada um protocolo de comunicação serial síncrono, sendo que o sincronismo entre os módulos conectados à rede ocorre a partir do momento em que uma mensagem é lançada ao barramento. Tal evento acontece em intervalos de tempo conhecidos e regulares (GUIMARÃES, 2010).

Um dos principais exemplos de sua utilização é a conexão dos diversos sensores existentes nos veículos. Assim, os dados desses sensores podem ser obtidos por meio desse canal de modo padronizado, o que permite a coleta de informações de diferentes pontos do veículo (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2010).

A comunicação intra-veicular se refere a conexão dos dispositivos eletrônicos existentes no interior do veículo. Embora exista diversos tipos de rede para atender as diferentes necessidades das aplicações automotivas, o CAN ainda é o mais utilizado. Tal fato se justifica pela sua capacidade de fornecer um *link* de comunicação rápido e confiável entre os sensores e

atuadores. Além disso, também é capaz de suportar aplicações críticas e não críticas, como por exemplo as aplicações de segurança ativas, das quais fazem parte o ABS (*Anti-lock Braking System*) e os sistemas de estacionamento automático (POPESCU-ZELETIN; RADUSCH; RIGANI, 2010).

Tal tecnologia trabalha com um conceito chamado *Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection with Non-Destructive Arbitration (CSMA/CD with NDA)*. Esse recurso faz com que cada um dos módulos verifique o estado do barramento a fim de saber se existe algum outro módulo encaminhando mensagens de maior prioridade. Caso isso ocorra, o módulo cuja mensagem possui menor prioridade encerra sua transmissão para que o de maior prioridade continue enviando sua mensagem (GUIMARÃES, 2010).

A taxa de transferência de dados em redes CAN é inversamente proporcional ao tamanho do barramento. Considerando um barramento de 40 metros, a maior taxa possível é de 1 Mbps (HELD, 2008).

Teoricamente, uma rede CAN pode conectar cerca de 2032 dispositivos. Entretanto, as limitações existentes no hardware dos *transceivers* faz com que esse número seja reduzido para 110 nós (HELD, 2008).

Um barramento CAN pode ser formado por um, dois ou quatro fios. Os barramentos constituídos por dois ou quatro fios operam com os sinais de dados CAN *High* e CAN *Low*. As redes CAN *High* trabalham com uma taxa de transferência de dados de até 1Mbit/s e as redes CAN *Low* com uma taxa de até 125 kbit/s. Quando formado por quatro fios, o barramento possui além dos fios de sinais de dados, um fio de alimentação e outro de referência, sendo estes os responsáveis por alimentar a rede. Para evitar as interferências eletromagnéticas, os pares de fios devem ser trançados ao invés de blindados (GUIMARÃES, 2010).

3. CONECTIVIDADE EM REDES VEICULARES

As redes sem fio (IEEE 802.11) conhecidas também como redes *wireless* são consideradas o padrão de rede local mais difundido no mundo (SICHITIU; KIHIL, 2008). Isto se deve ao seu baixo custo, o que facilita a sua adoção em experimentos de comunicação inter-veicular (IVC) que possuem um pequeno orçamento. Além disso, esta tecnologia é implementada em quase todos os simuladores de rede, fazendo com que a avaliação de sistemas baseados em IVC ocorra de forma mais fácil (SICHITIU; KIHIL, 2008). Tais características foram fundamentais para a adoção desta tecnologia nos experimentos de simulação realizados neste estudo. A seguir são apresentadas as principais tecnologias sem fio adotadas para estabelecer a comunicação entre veículos.

3.1. *Dedicated Short-Range Communications (DSRC)*

O DSRC é um serviço de comunicação para pequenas e médias distâncias que foi desenvolvido com a finalidade de permitir a comunicação entre veículos e entre veículos e a infraestrutura. A sua utilização ocorre nos mais variados tipos de aplicações: troca de mensagens, informação de tráfego, coleta de dados, entre outros. Além disso, visa proporcionar altas transferências de dados e baixa latência em pequenas zonas de comunicação (ZEADALLY et al., 2010).

Tal padrão de comunicação veicular foi aprovado pela ASTM International (American Society for Testing and Materials). A sua camada MAC (*Media Access Control*), frequência de banda e modulação é bastante similar ao padrão de rede *wireless* 802.11a (Sichitiu; Kihl, 2008).

O DSRC é livre, uma vez que a Comissão de Comunicação Federal dos Estados Unidos (FCC) não cobra pela sua utilização. No entanto, o fato deste padrão ser licenciado, faz com que ele se torne mais restrito em alguns aspectos (ZEADALLY et al., 2010).

O propósito deste padrão é fornecer comunicação *wireless* para Sistemas de Transporte Inteligente (ITS) dentro de um intervalo de até 1000m. Este padrão conta com sete canais de 10 MHz destinados a este tipo de aplicação, os quais operam em 5.9 GHz, e um específico para a comunicação entre veículos (YOUSEFI; MOUSAVI; FATHY, 2006).

Além disso, o padrão DSRC é uma alteração do padrão de redes *wireless* (IEEE 802.11), em que foi adicionado o recurso de comunicação sem fio em ambientes veiculares. Este padrão também faz parte da tecnologia WAVE, e é constituído de uma camada de controle de transmissão de dados (MAC) e de uma camada física (PHY), responsável por definir uma série de padrões para transmissões sem fio (TOOR et al., 2008).

3.2. *Wireless Fidelity* (WIFI)

A tecnologia WIFI é utilizada para comunicação em curtas distâncias, para prover acesso à Internet, e se utiliza de um espectro não licenciado. Os usuários desta tecnologia podem utilizá-la a partir de qualquer local que tenha o sinal disponível. Além de ser de fácil instalação, esta tecnologia reduz os custos com cabos (DAR, 2010).

Nos últimos anos foi possível observar o crescimento desta tecnologia. Atualmente, existem muitos lugares que oferecem o serviço de WIFI, como: hotéis, aeroportos, lojas, restaurantes, cafés, entre outros. Deste modo, os clientes podem conectar seus dispositivos móveis.

Uma das principais vantagens oferecidas por esta tecnologia é a mobilidade dos nós que até então eram conectados por cabos. Além disso, é possível permanecer conectado continuamente em determinadas áreas, sempre respeitando a abrangência de sinal.

A partir do momento em que os dispositivos ativam o seu recurso de WIFI, eles começam a procurar canais disponíveis para descobrir redes ativas em que possam se conectar. Caso a conexão seja protegida, será necessário a utilização de uma senha para realizar a autenticação e liberação de acesso à rede (FERRO; POTORTI, 2004).

Embora cada estação base possa suportar a conexão de dispositivos localizados a alguns metros de distância, é possível aumentar a área de cobertura utilizando múltiplas estações. Essas estações geralmente são pertencentes e operadas pelos proprietários da rede, que podem ser de empresas, universidades, usuários domésticos, entre outros.

O WIFI também suporta os padrões IEEE 802.11a/b/g/n para redes *wireless* locais (WLAN), que são responsáveis por cobrir uma área geográfica reduzida, com poucos nós conectados. A célula básica do IEEE 802.11 é conhecida como *Basic Service Set* ou BSS, que

podem ser estações móveis ou fixas. Deste modo, se a estação se move para fora do alcance de seu BSS, deixa de se comunicar com os demais membros da rede (LEE; SU; SHEN, 2007).

Como a tecnologia WIFI foi desenvolvida para transferir altas taxas de dados, é possível realizar algumas modificações para utilizá-la na comunicação direta entre veículos. No entanto, o seu suporte não é tão bom para aplicações que operam de forma crítica, ou seja, aquelas que necessitam de resposta em tempo real (DAR, 2010).

O futuro do WIFI provavelmente será a adoção de antenas que irão trabalhar com múltiplas entradas e múltiplas saídas (MIMO). Deste modo, cada antena receptora será capaz de verificar a assinatura de cada antena transmissora, e assim distinguir suas transmissões; enquanto a capacidade total do sistema será proporcional ao número de antenas utilizadas (FERRO; POTORTI, 2004).

3.3. Worldwide Interoperability for Microwave Access (WIMAX)

O WIMAX é regulamentado pelo Instituto de Engenheiros, Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) e tem como principal característica a transmissão de dados por banda larga em redes de áreas metropolitanas (MANs).

A tecnologia WIMAX é baseada no padrão IEEE 802.16 e o seu principal objetivo é fornecer comunicação sem fio em longas distâncias e de várias maneiras diferentes; desde a comunicação ponto-a-ponto até acesso celular. Além disso, esta tecnologia oferece portabilidade de acesso e alta velocidade de dados (DAR, 2010).

Outra vantagem é a facilidade de ser adotada por mercados emergentes que possuam pouca infraestrutura, visto que a sua implementação é rápida e o seu custo é inferior quando comparado com as infraestruturas cabeadas.

Inicialmente, em 2001, o WIMAX trabalhava em um intervalo de frequência de 10-66 GHz, com uma largura máxima de banda de 120 Mb/s e uma abrangência máxima de transmissão de 50 km. No entanto, versões posteriores foram sendo aprimoradas e novos recursos foram adicionados. Um exemplo de melhoria foi o suporte à mobilidade, atualmente os usuários conseguem se mover em alta velocidade sem perder a qualidade dos serviços

oferecidos. Tal característica já foi entendida como um obstáculo para o seu desenvolvimento (LI et al., 2007).

A implementação desta tecnologia não é complexa e pode ser utilizada como um *link* adicional de comunicação, pois assim é possível garantir a continuidade de serviço caso os *links* principais parem de funcionar. Além disso, uma mesma rede pode ser utilizada para diversas finalidades como por exemplo: *backhaul* sem fio para *hot spot*, *gateways* residências e acesso móvel para *notebooks* e *smartphones* (ETEMAD, 2008). O *backhaul* de uma rede compreende os *links* intermediários entre o núcleo da rede, ou *backbone*, e as sub-redes menores. O termo *hot spot* se refere a um local onde é possível ter acesso à internet por meio da tecnologia Wi-Fi. Por fim, *gateways* residenciais são dispositivos que foram projetados para conectar um pequeno número de clientes, um exemplo é o roteador sem fio.

Centenas de redes WIMAX têm sido implementadas comercialmente ao redor do mundo. A empresa Clearwire, por exemplo, trabalha com grandes operações e oferece seus serviços em diversas cidades como: Chicago, Filadélfia e Las Vegas. A empresa Xanadoo também oferece seus serviços para o mercado norte americano, porém em uma menor escala.

Existe um fórum destinado a esta tecnologia (www.wimaxforum.org), cujo principal objetivo é certificar a interoperabilidade dos produtos WIMAX de diversos fornecedores, é responsável também por assegurar a sua correta implementação ao redor do mundo. Esse fórum conta com mais de 300 indústrias do setor de tecnologia e telecomunicações (ABICHAR; CHANG; HSU, 2010).

3.4. Primeira Geração de Sistemas Móveis (1G)

A tecnologia 1G surgiu em 1980 com a adoção dos sistemas analógicos. Tais sistemas eram conhecidos como NMT (*Nordic Mobile Telephone*). Além disso, os serviços oferecidos por estes sistemas eram totalmente incompatíveis entre si (SHUKLA et al., 2013).

A responsável por desenvolver o primeiro sistema de telefonia celular foi a empresa de telecomunicações Nippon Telephone and Telegraph (NTT), no Japão. Somente no ano de 1982 é que os sistemas de telefonia móvel chegaram aos Estados Unidos (SHARMA, 2013).

O primeiro mercado de serviços móveis nos Estados Unidos foi baseado em Serviços de Telefonia Móvel Avançada (AMPS). Esta tecnologia é comumente conhecida como primeira geração ou 1G (LEHR; MCKNIGHT, 2003).

A tecnologia AMPS é um sistema que utiliza o múltiplo acesso por divisão de frequência (FDMA). A sua banda é dividida em canais que são constituídos por um par de frequências cada (Transmissão e Recepção) com 30 KHz de capacidade. Em 1988 foi adicionado mais 10 KHz, o que possibilitou ter uma área de cobertura maior, cerca de 2100 milhas quadradas (FAROOQ; AHMED; AL, 2013). O Quadro 1 apresenta as especificações desta tecnologia.

Quadro 1 - Especificações do 1G

Início	
1984	
Capacidade de Dados	2 kbps
Tecnologia	Analógica Sem Fio
Padrão	AMPS
Multiplexador	FDMA
Comutação	Circuito
Serviço	Somente Voz
Rede Principal	PSTN
Passagem	Horizontal
Frequência	800 – 900 MHz

Fonte: Adaptado de Farooq, Ahmed e Al (2013)

Segundo Kumar e Poornima (2014) as principais limitações existentes na tecnologia de comunicação móvel 1G são as seguintes: não possui serviço de dados para converter a voz em sinais digitais; não é possível ter serviço de *Roaming* Global; a qualidade de voz é extremamente baixa; os dados são enviados por um único canal, fazendo com que seja impossível duas pessoas se ouvirem simultaneamente.

3.5. Segunda Geração de Sistemas Móveis (2G)

A tecnologia 2G foi introduzida no final dos anos 80. Ela utiliza tecnologia de múltiplo acesso digital, como TDMA (*time division multiple access*) e CDMA (*code division multiple access*). Além disso, possui uma maior eficiência e um melhor serviço de dados em relação ao seu antecessor (SHARMA, 2013).

Para Kumar e Poornima (2014) as principais diferenças entre o 2G e o 1G é que o 2G oferece uma maior quantidade de serviços, como: serviços de mensagem (SMS); serviços de foto mensagem; e serviços de mensagem multimídia (MMS). O fato do 2G adotar o GSM (*Global System for Mobile Communication*) como padrão, possibilita que seus usuários consigam utilizar a conexão móvel em vários países diferentes, provendo assim uma melhor qualidade de serviço.

O 2G possibilitou um grande crescimento para a indústria de telecomunicações móveis, tanto em termos de usuários como em valor agregado aos seus serviços. A crescente demanda por aparelhos celulares fez com que novos recursos fossem adicionados a esta tecnologia, como: *paging*, fax e correio de voz (SHUKLA et al., 2013).

Tal tecnologia ainda é utilizada em vários lugares do mundo e o seu principal objetivo é oferecer serviços de dados e voz. A família desta geração é constituída pelo 2G, 2.5G e 2.75G (FAROOQ; AHMED; AL, 2013). As especificações desta família são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Especificações da Família 2G

	2G	2.5G	2.75G
Início	1990	2000	2003
Capacidade de Dados	10 kbps	200 kbps	473 kbps
Tecnologia	Sem Fio Digital	GPRS	EDGE

Quadro 2 - Especificações da Família 2G (Cont.)

	2G	2.5G	2.75G
Padrão	CDMA/TDMA/GSM	TDMA/GSM	GSM/CDMA
Multiplexador	TDMA/CDMA	TDMA/CDMA	TDMA/CDMA
Comutação	Pacote de Circuito	Comutação de Pacote	Comutação de Pacote
Serviço	Voz e Dados	MMS Internet	Voz e Dados
Rede Principal	PSTN	GSM/TDMA	WCDMA
Passagem	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Frequência	850-1900 MHz (GSM) / 825-849 MHz (CDMA)	850-1900 MHz	850-1900 MHz

Fonte: Adaptado de Farooq, Ahmed e Al (2013)

Segundo Kumar e Poornima (2014), as principais limitações da tecnologia 2G são as seguintes: são necessários sinais digitais de alta intensidade para que os telefones celulares possam trabalhar; caso não haja uma cobertura apropriada na área, o sinal digital será de baixa intensidade; e possui dificuldade para lidar com dados complexos, como vídeo, entre outros.

3.6. Terceira Geração de Sistemas Móveis (3G)

A tecnologia 3G foi projetada para a troca de dados e voz, e o seu destaque deve-se à forma como trabalha com estes dados, pois trata uma grande quantidade deles, principalmente conteúdos multimídia, traduzindo-se numa nova experiência para os seus usuários.

Entre as suas principais características estão à baixa latência (atraso) e a confiabilidade reduzida, pois o fato de suportar operações em tempo real faz com que a velocidade de resposta da rede tenha prioridade sobre a sua confiabilidade. Além disso, estas redes são utilizadas em larga escala para a comunicação em longas distâncias. Como a sua utilização depende de uma

operadora, a comunicação entre veículos acontece por meio de estações bases e não diretamente (DAR, 2010).

As operadoras de serviços móveis utilizam um espectro licenciado para prover cobertura de sinal nas áreas em que atuam. Portanto, pode-se dizer que uma de suas principais características é a cobertura onipresente e contínua. Assim, o consumidor pode realizar chamadas telefônicas enquanto dirige em uma rodovia a 100 km/h desde que as operadoras mantenham suas estações bases conectadas em rede.

As torres celulares são conectadas por meio de uma rede *backhaul*, que é responsável por interconectar a rede pública de telefonia comutada (PSTN) e outros serviços. Assim, a tecnologia 3G é capaz de suportar comunicações de banda larga digital, baseando-se nos padrões apresentados pela International Telecommunications Union (LEHR; MCKNIGHT, 2003).

Embora a tecnologia 3G tenha sido apresentada como uma promessa de uma banda larga móvel, a sua qualidade não tem agradado a maioria das pessoas, visto que possui baixa taxa de transmissão e o seu custo é relativamente alto. Além destas desvantagens, Dar (2010) lista alguns pontos negativos existentes nas redes celulares:

- a) O uso da tecnologia celular requer taxas de operação acordadas com uma operadora;
- b) O fato da transmissão de voz ter uma maior prioridade em relação à transmissão de textos faz com que aumente a latência da rede.

Mesmo com algumas desvantagens, esta tecnologia pode ser viável para aplicações que não necessitem de respostas em tempo real e que precisem de comunicação de longo alcance, como: aplicações de entretenimento e disseminação de conteúdo. As principais especificações da tecnologia 3G podem ser observadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Especificações da Tecnologia 3G

	3G	3.5G	3.75G
Início	2001	2003	2003
Capacidade de Dados	384 Kbps	2 Mbps	30 Mbps

Quadro 3 - Especificações da Tecnologia 3G (Cont.)

	3G	3.5G	3.75G
Tecnologia	Banda Larga/ Tecnologia IP/ FDD/ TDD	GSM/3GPP	HSPA
Padrão	CDMA/WCDMA/ UMTS/CDMA 2000	HSDPA/HSUPA	1xEVDO
Multiplexador	CDMA	CDMA	CDMA
Comutação	Pacote e Circuito	Pacote	Pacote
Serviço	Alta velocidade de voz/dados/vídeo	Alta velocidade de voz/dados/vídeo	Alta velocidade de internet/ Multimídia
Rede Principal	Rede de pacote	GSM/TDMA	WCDMA
Passagem	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Frequência	1.6-2.5 GHz	1.6-2.5 GHz	1.6-2.5 GHz

Fonte: Adaptado de Farooq, Ahmed e Al (2013)

3.7. Quarta Geração de Sistemas Móveis (4G)

A tecnologia 4G é a quarta geração de padrão sem fio celular e sucessor dos padrões 2G e 3G. As mudanças de nomenclatura geralmente ocorrem devido às melhorias e funcionalidades que foram acrescentadas com o passar do tempo, como o aumento de desempenho das tecnologias de transmissão ou o aumento da banda de frequência.

Tal tecnologia pode ser entendida como uma extensão do 3G, porém com uma maior largura de banda e conseqüente oferta de serviços. Além disso, a grande expectativa em torno desta tecnologia está relacionada com a alta qualidade de transmissão de áudio e vídeo. Assim,

o 4G pode ser visto como uma oportunidade de desenvolver soluções de mobilidade global, acompanhado de serviços personalizados (BHALLA; BHALLA, 2010).

Grande parte dos pesquisadores e fornecedores de produtos tem interesse na tecnologia 4G devido ao suporte de *global roaming* que ela possui. Esta característica permite que os usuários tenham uma série de vantagens, como: serviços diferenciados, aumento de cobertura, redução no preço da conta e acesso sem fio mais confiável (VARSHNEY; RADHIKA, 2001).

Segundo Khan et al (2009), dentre as principais vantagens que a tecnologia 4G apresenta, destacam-se as seguintes:

- a) **Alto Desempenho:** a tecnologia 4G apresenta uma boa qualidade de vídeo, o que permite ser comparada a uma resolução HD (*High Definition*). Além disso, a sua velocidade de *download* atinge 100 Mbps, 50 vezes mais do que o 3G. Já a sua velocidade de *upload* chega a 50 Mbps;
- b) **Interoperabilidade e Fácil Roaming:** o fato de fornecer um padrão global faz com que seja possível se ter uma maior mobilidade e personalização de serviços;
- c) **Serviços Totalmente Convergentes:** o usuário está livre para acessar a rede usando diferentes tipos de dispositivos, uma vez que o 4G está preparado para fornecer conectividade e flexibilidade suficiente para o usuário por meio de diversos serviços, como: transmissão de vídeo, VoIP, e-mail, navegação, *e-commerce* e serviços baseados em localização;
- d) **Baixo Custo:** sistemas 4G são mais baratos do que os 3G, uma vez que construídos sobre as redes já existentes não requerem um espectro adicional à operadora;
- e) **Melhoria nos serviços de GPS:** devido à qualidade da comunicação, o GPS baseado no 4G é capaz de localizar pessoas e lugares mais rapidamente;
- f) **Escalabilidade:** é o aspecto mais desafiador nas redes móveis, ou seja: é a habilidade de tratar o contínuo aumento do número de usuários e serviços. O fato da camada IP do 4G ser facilmente escalável, faz com que ele se torne uma boa solução;
- g) **Aplicações de Gerenciamento de Crise:** desastres naturais podem afetar toda a infraestrutura de comunicação. Portanto, a rapidez com que ela volta a operar

é essencial. A comunicação móvel de banda larga permite que o serviço seja reestabelecido em algumas horas.

No Quadro 4 são apresentadas as especificações da tecnologia 4G.

Quadro 4 - Especificações da Tecnologia 4G

Início	
2010	
Capacidade de Dados	200 Mbps até 1 Gbps
Tecnologia	LTE / WIMAX
Padrão	IP Banda Larga/ LAN/ WAN/PAN
Multiplexador	MC-CDMA/OFAM
Comutação	Pacote
Serviço	Completamente baseado em IP e a velocidade chega a centenas de Mbps
Rede Principal	Internet
Passagem	Horizontal e Vertical
Frequência	2-8 GHz

Fonte: Adaptado de Farooq, Ahmed e Al (2013)

3.8. Quinta Geração de Sistemas Móveis (5G)

A quinta geração de redes móveis, suporta diversos tipos de tecnologias, dentre as quais destacam-se: OFDM, MC-CDMA, UWB, Network-LMDS e IPV6. Além disso, também é conhecida por ser um sistema de comunicação sem fio completo, pois não possui limitações (FAROOQ; AHMED; AL, 2013).

A adoção dessa tecnologia marca o início de uma das maiores revoluções nos padrões de telefonia móvel, o que proporciona às pessoas uma nova experiência em termos de redes sem fio. A sua qualidade de comunicação poderá melhorar de forma significativa as aplicações de automação residencial, transporte inteligente e segurança (SHARMA, 2013).

A tecnologia 5G é definida basicamente por duas camadas, a camada física e a camada de dados. Tal característica faz com que ela se torne uma arquitetura sem fio aberta (OWA), o que garante a interoperabilidade de dispositivos de diversos fabricantes. Além disso, a tecnologia móvel de quinta geração permite trabalhar com virtualização de redes, sendo possível criar múltiplas redes sem fio virtuais, as quais podem ser operadas por diferentes provedores de serviço (KUMAR; POORNIMA, 2014).

Para que a virtualização de redes sem fio fosse possível, a camada de rede presente na tecnologia 5G foi dividida em outras duas camadas. Para os terminais móveis, foi adotada a camada de rede superior. Já para a *interface* foi concebida a camada de rede inferior. Tal divisão, possibilita que o roteamento seja baseado em endereços IPs, os quais deverão ser diferentes para cada uma das redes disponíveis na Internet (FAROOQ; AHMED; AL, 2013).

Para Kumar e Poornima (2014), as características mais relevantes do 5G, são: menor tráfego, garantia de disponibilidade de rede ao redor do mundo, velocidade de conexão de 25 Mbps, largura de banda maior do que 1GB, e baixo custo. Os autores ainda afirmam que a maior desvantagem presente é a grande perda de bits, o que exige a adoção de um protocolo de controle aberto (OTP) para lidar com esse problema.

O conjunto de características acima citado, faz com que a quinta geração de sistemas móveis se torne uma das mais poderosas (SHUKLA et al., 2013). Em um futuro próximo, a sua demanda aumentará ainda mais, possibilitando o surgimento de novas aplicações que mudarão o modo de utilizar o aparelho celular.

Para possibilitar uma melhor comparação das tecnologias móveis apresentadas, as suas principais características foram agrupadas no Quadro 5. Esse quadro permite observar a evolução desta tecnologia e as melhorias que foram sendo adicionadas com o passar do tempo.

Quadro 5 - Comparação das tecnologias móveis

Geração	1G	2G	3G	4G	5G
Ano de Início	1984	1990	2001	2010	2020
Largura de Banda	2kbps	64kbps	2Mbps	200Mbps	1Gbps
Padrão	AMPS	TDMA, CDMA,GSM, GPRS	WCDMA	Normas únicas unificadas	Normas únicas unificadas
Tecnologia	Analógica	Digital	Banda Larga com CDMA, tecnologia IP	IP unificado, Combinação Perfeita de Banda Larga, LAN, WAN, WLAN	Combinação de Banda Larga, LAN, WAN, WLAN, WWW
Serviços	Tecnologia Móvel (Voz)	Voz Digital, SMS, Maior Capacidade de Pacotes	Integração com qualidade de áudio, vídeo e dados	Acesso dinâmico de informações, Dispositivos portáteis	Acesso dinâmico de informações, Dispositivos portáteis com capacidade de inteligência artificial
Multiplexador	FDMA	TDMA,CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Comutação	Circuito	Circuito e Pacote	Pacote	Pacote	Pacote

Fonte: O autor

Por meio das informações apresentadas no Quadro 5, observa-se que os avanços sofridos pela tecnologia móvel no decorrer do tempo foram consequência da necessidade de melhorias na comunicação, o que possibilitou o surgimento de uma grande quantidade de serviços, principalmente aqueles que envolvem conteúdo multimídia. A primeira geração atendeu bem

a necessidade dos consumidores por meio de seus serviços básicos de voz, usando técnicas analógicas. Na segunda geração, a capacidade e cobertura de sinal foram melhoradas significativamente devido à utilização de técnicas digitais. No entanto, foi na terceira geração que os usuários puderam experimentar as vantagens de uma banda larga móvel, provendo um grande aumento na velocidade de transferência de dados. Já a quarta geração consegue se destacar ainda mais do que a sua antecessora, com uma nova experiência de acesso à Internet, com alta velocidade de dados e qualidade de imagem e vídeo comparada a dos televisores modernos. Por fim, a quinta geração de sistemas móveis, prevista para 2020, trará características mais avançadas e robustas do que as suas antecessoras. Desse modo, verifica-se que o mercado de tecnologia móvel está crescendo e inovando constantemente, o que possibilita o surgimento de novas aplicações que poderão revolucionar a forma de utilizar os aparelhos celulares, além de prover novas e melhores tecnologias para a comunicação inter-veicular.

3.9. Bluetooth

O Bluetooth é considerado uma tecnologia de baixo custo, porém com um alto nível de operabilidade, indicado para realizar conexões *wireless* em curtas distâncias. No início ela foi projetada para criar redes simples utilizando periféricos e dispositivos pessoais como computador, celular, PDA, mouse, entre outros.

Uma característica interessante é que este tipo de rede é conhecida por formar uma topologia dinâmica chamada “*Piconet*”, onde é possível manter conectado no mínimo dois e no máximo oito dispositivos (KOBAYASHI, 2004). As *Piconets* também podem estar conectadas, formando assim uma *Scatternet*. Essa topologia permite que seja criada uma rede sem fio multi-saltos (FERRO; POTORTÌ, 2004).

Tal tecnologia permite a transmissão de dados e voz, utilizando a banda *Industrial, Scientific and Medical* (ISM) não licenciada, que opera em 2.4 GHz. Além disso, o Bluetooth possui uma taxa de transmissão de dados menor do que o Wi-Fi. Entre as suas principais características estão o baixo custo, baixo consumo de energia, baixa complexidade e robustez (DAR, 2010).

O consumo de energia em dispositivos bluetooth foi reduzido de forma significativa, devido a adoção de uma tecnologia conhecida como *Bluetooth Low Energy* (BLE). Essa

tecnologia foi desenvolvida com o propósito de reduzir o consumo de energia em aplicações de controle e monitoramento. A sua importância para a internet das coisas também tem sido reconhecida por pesquisadores, visto que cresce a cada dia o número de dispositivos aplicáveis (GOMEZ; OLLER; PARADELLS, 2012).

Os dispositivos que possuem bluetooth contam com um chip denominado “*transceptor*” que nada mais é do que um micro rádio. Normalmente os sinais emitidos por um dispositivo Bluetooth podem alcançar até dez metros com uma velocidade de aproximadamente 723,1 kbit/s.

Quando um dispositivo Bluetooth é ligado, ele inicia sua operação como “escravo” do dispositivo “mestre” que está funcionando. Para isso, ele passa a escutar as solicitações deste dispositivo “mestre” por novas conexões e as responde. Nesta fase, o dispositivo “mestre” identifica o endereço do “escravo” para abrir uma conexão (FERRO; POTORTÌ, 2004).

O Bluetooth define não só uma interface de rádio, mas uma pilha inteira de comunicação, que permite que os dispositivos encontrem uns aos outros. A camada responsável pelo gerenciamento do *link* deve, portanto, lidar com a sua configuração, autenticação, segurança, qualidade de serviço, consumo de energia e agendamento de transmissão.

A utilização desta tecnologia permite que seja estabelecido um acesso móvel e sem fio a redes locais. Os dispositivos internos de um veículo podem fazer uso dela para prover a substituição de cabos para diversos tipos de aplicações.

3.10. ZigBee

A tecnologia ZigBee se baseia no padrão IEEE 802.15.4 e apresenta baixo custo. Além disso, é conhecida por ser bastante flexível, com baixo consumo de energia, confiabilidade e interoperabilidade para pequenas e médias taxas de dados, de 20 a 900 Kbits/s (DAR, 2010).

O padrão IEEE 802.15.4 define as características da camada física e MAC para as redes LR-WPAN. As principais vantagens deste tipo de rede é a sua fácil instalação, confiável transferência de dados, operação em curtas distâncias, baixo custo, razoável ciclo de vida de bateria e uma pilha simples e flexível de protocolos (BARONTI, 2006).

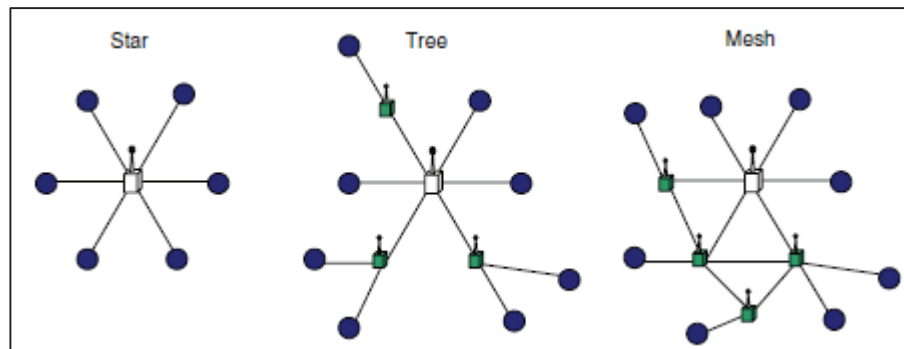
O ZigBee tem suporte para dispositivos que consomem pouca energia e que operam em distâncias de até 10m. Prove uma rede mesh organizada, confiável, *multi-hop* e com um ciclo

de vida longo, uma vez que a baixa latência de dados aumenta a vida útil da bateria (LEE; SU; SHEN, 2007).

Como possui uma baixa abrangência de sinal, geralmente ela é utilizada para realizar conexões sem fio no interior de veículos (ZEADALLY et al., 2010). Além disso, sistemas de transporte inteligentes (ITS) podem utilizá-la para aplicações baseadas em sensores que exigem dispositivos com baixa energia, taxa de dados média e comunicação confiável (DAR, 2010).

A camada de rede ZigBee provê diversas funcionalidades, como: roteamento *multi-hop*, descoberta de rotas, manutenção e segurança da rede. Além disso, suporta diferentes e complexas topologias como, por exemplo, a topologia em árvore e a *mesh*. A Figura 6 apresenta os tipos de topologia existentes em redes ZigBee.

Figura 6 - Topologias de Rede em ZigBee



Fonte: Baronti (2006, p. 1660)

Os padrões de protocolos Bluetooth, ZigBee e Wi-Fi merecem ser comparados, pois todos eles são destinados a comunicação sem fio de curto alcance, além de possuírem baixo consumo de energia. A tecnologia Bluetooth é largamente utilizada em periféricos, como: mouse, teclado e fone de ouvido. Já o ZigBee é destinado para o monitoramento e controle de redes sem fio, tornando-as mais confiáveis. Por fim, a tecnologia Wi-Fi é comumente utilizada na conexão entre computadores, substituindo os cabos de rede. As características de cada uma destas tecnologias são apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6 - Comparação dos padrões Bluetooth, ZigBee e Wi-Fi

	BLUETOOTH	ZIGBEE	WI-FI
Especificação IEEE	802.15.1	802.15.4	802.11 a/b/g
Frequência de banda	2.4 GHz	868/915 MHz; 2.4 GHz	2.4 GHz; 5 GHz
Taxa máxima de sinal	1 Mb/s	250 Kb/s	54 Mb/s
Intervalo nominal	10 m	10 - 100 m	100 m
Energia TX Nominal	0 - 10 dBm	(-25) - 0 dBm	15 - 20 dBm
Número de canais RF	79	1/10; 16	14 (2.4 GHz)
Largura de banda do canal	1 MHz	0.3/0.6 MHz; 2 MHz	22 MHz
Tipo de modulação	GFSK	BPSK (+ ASK), O-QPSK	BPSK, QPSK, COFDM, CCK, M-QAM
Método de transferência	FHSS	DSSS	DSSS, CCK, OFDM
Mecanismo de coexistência	Mudança adaptativa de frequência	Seleção dinâmica de frequência	Seleção dinâmica de frequência, transmite o controle de energia (802.11h)
Célula básica	Piconet	Estrela	BSS
Extensão da célula básica	Scatternet	Cluster tree, Mesh	ESS
Número máximo de nós	8	> 65000	2007
Encriptação	E0 stream cipher	AES block cipher (CTR, counter mode)	RC4 stream cipher (WEP), AES block cipher
Autenticação	Shared secret	CBC-MAC (extensão do CCM)	WPA2 (802.11i)
Proteção dos dados	16-bit CRC	16-bit CRC	32-bit CRC

Fonte: Adaptado de Lee, Su e Shen (2007)

Por meio dos dados apresentados no Quadro 6, observa-se que a taxa de dados oferecida pelo Wi-Fi é bastante superior às taxas apresentadas pelo Bluetooth e Zigbee. Além disso, as tecnologias Bluetooth e Zigbee são destinadas na maioria das vezes para realizar conexões em redes locais de curta distância (cerca de 10m), conhecidas como *Wireless Personal Area Network* ou WPAN. Já a tecnologia Wi-Fi consegue conectar dispositivos a uma distância de até 100m.

Uma característica relevante dessas tecnologias é que elas operam em um espectro não licenciado de 2.4 GHz, conhecido em diversos países como Banda *Industrial, Scientific and Medical* (ISM). O fato de operar em uma mesma frequência exige que estas tecnologias utilizem mecanismos para evitar problemas de interferência (LEE; SU; SHEN, 2007).

Dependendo do tipo de aplicação para o qual estas tecnologias são destinadas, o número de dispositivos que elas suportam é um fator determinante para a sua escolha. Na tecnologia Bluetooth o máximo de dispositivos suportados são oito, sendo sete escravos e um principal. Já na tecnologia ZigBee este número aumenta para cerca de 65.000 dispositivos. Por fim, na tecnologia Wi-Fi a quantidade de dispositivos gira em torno de 2.000 dispositivos.

3.11. Infravermelho

O Infravermelho foi desenvolvido para promover a comunicação entre dispositivos, vários equipamentos como computadores e impressoras já possuem essa funcionalidade. No início cada fabricante criava o seu próprio padrão de Infravermelho, desta forma somente os equipamentos que pertenciam a um mesmo fabricante conseguiam se comunicar. Posteriormente, a Infrared Data Association (IRDA), realizou a sua padronização (MILLAR et al., 1998).

Esta tecnologia é mais indicada para aplicações que utilizam uma faixa específica de comunicação, pois a sua natureza altamente direcional, aumentou a taxa de transferência de dados para 1 Mb/s até 100m. Além disso, o seu uso não requer licenças ou acordos com provedores, também não há restrições em sua largura de banda (DAR, 2010).

Uma característica pertencente ao Infravermelho é que ele não penetra em paredes, portanto não existem interferências com outros dispositivos que estão em cômodos separados. Este é um dos principais motivos que faz com que ele seja largamente utilizado em controle remoto para comandar aparelhos eletrônicos.

A tecnologia de Infravermelho quando utilizada para comunicações de curta e média distância possui diversas vantagens sobre a comunicação via rádio. Os emissores e receptores de infravermelho são capazes de operar em altas velocidades e por um baixo custo. Como seu sinal não ultrapassa as paredes, caso seja necessário à ampliação deste sinal, deverá ser instalado pontos de acesso interligados por cabos (KAHN; BARRY, 1997).

Existem características pertencentes a determinados tipos de aplicações que favorecem a adoção do Infravermelho. Geralmente este tipo de tecnologia é adotada em aplicações que necessitam de transmissão de curto alcance, minimização de custos, compatibilidade internacional e redução da complexidade no processamento de sinal.

Muitos projetos têm utilizado com sucesso a tecnologia de Infravermelho em Sistemas de Transporte Inteligentes, dentre eles destacam-se os sistemas de informação e comunicação veicular no Japão e a cobrança eletrônica de pedágios na Malásia. Esta tecnologia também pode ser utilizada para a comunicação entre RSUs e veículos (DAR, 2010).

3.12. Identificação por Rádio Frequência (RFID)

O RFID teve origem na Segunda Guerra Mundial, nos sistemas de radares utilizados por vários países, como: Alemanha, Japão, Inglaterra e EUA. No início, estes sistemas permitiam identificar a aproximação de aviões, no entanto, era impossível distinguir os amigos dos inimigos. Para resolver este problema, o físico Robert Alexander desenvolveu um sistema para identificação de aeronaves amigas, o que permitiu uma preparação mais efetiva contra ataques inimigos. Este sistema era baseado em transmissores acoplados nas aeronaves que enviavam sinais diferentes ao radar, indicando-os como amigos.

O RFID é uma tecnologia *wireless* de identificação automática e captura de dados (AIDC). As tecnologias AIDC incluem o código de barras, o reconhecimento ótico, a biometria, entre outros. Além disso, um sistema RFID é composto por três componentes principais que são as *tags*, um leitor e suas antenas, e uma aplicação *middleware* que é integrada em um sistema de *host* (CASTRO; WAMBA, 2007).

Esta tecnologia foi desenvolvida para a comunicação de curto alcance, visando principalmente à troca de informações digitais entre pontos fixos e objetos móveis ou apenas entre objetos móveis. Existem diversas aplicações que fazem uso desta tecnologia, dentre elas destacam-se: cobrança automática de pedágio, prevenção contra roubos de veículos, gerenciamento de tráfego, estacionamento automatizado, controle de acesso de veículos, entre outros (LANDT, 2005).

As *tags* RFID são capazes de suportar um grande conjunto de identificadores, podendo também incorporar dados adicionais como fornecedor, tipo do produto e até mesmo medir

fatores ambientais como a temperatura. Além disso, os sistemas baseados em RFID são capazes de identificar uma grande quantidade de *tags* diferentes localizadas em um mesmo espaço físico, tudo isso sem o auxílio humano (WANT, 2006).

Esta tecnologia possibilita a coleta dos dados sem precisar tocar ou ver o item, para isso é utilizado ondas eletromagnéticas. Deste modo, o portador dos dados é um microchip que fica ligado a uma antena, e este último permite que o chip transmita suas informações para o leitor, conhecido também como *transceiver* (ZUDOR, 2006).

O seu funcionamento ocorre por meio da utilização de *tags*, conhecidas também como *transponders*, as quais são anexadas ao produto em que se quer gerenciar automaticamente. No outro lado do *link*, existe um leitor que geralmente está conectado em um computador ou rede. Deste modo, as *tags* podem enviar seus dados para o leitor utilizando rádio frequência de 100 kHz até 10 GHz (LANDT, 2005).

As *tags* utilizadas pela tecnologia RFID podem ser de dois tipos distintos, as ativas e as passivas. As *tags* ativas necessitam de uma fonte de energia, portanto elas são conectadas a uma estrutura que forneça energia ou possuem uma pequena bateria integrada. Já as *tags* passivas estão ganhando destaque, pois não necessitam de bateria e manutenção, além disso, são pequenas o suficiente para caber em uma pequena fita adesiva (WANT, 2006).

4. ROTEAMENTO EM REDES VEICULARES

O roteamento em redes veiculares é um tema fértil para estudos, devido aos desafios que as características destas redes impõem. A mobilidade dos nós, a instabilidade dos enlaces de comunicação e os diversos cenários existentes fazem com que o roteamento tenha o importante papel de garantir o sucesso da comunicação.

A comunicação de múltiplos saltos (*multi-hop*) é uma das características mais importantes presentes nas redes *Ad-Hoc*, pois mesmo que o destinatário esteja fora do alcance, nós intermediários poderão realizar o encaminhamento das mensagens até que ela chegue ao seu destino. No entanto, para que isso aconteça, é necessário que um protocolo de roteamento seja utilizado para que se consiga definir o melhor caminho entre a origem e o destino.

Como as redes veiculares são consideradas uma classe das MANETs, os protocolos que até então eram utilizados apenas em MANETs passaram a ser testados também em VANETs. Porém, nas redes veiculares, cada veículo deve receber um endereço identificador único e a utilização destes protocolos não evita a duplicação de endereços na rede (ZEADALLY et al., 2010).

O principal objetivo de um protocolo de roteamento é reduzir o atraso associado à passagem de informação de um nó para outro. Além disso, deve ser capaz de suportar a natureza imprevisível e dinâmica das topologias de rede veicular, de modo que seja possível fornecer um caminho ideal de comunicação para o ambiente desejado (REHMAN et al., 2013).

Segundo Toor et al (2008) as principais características de roteamento pertencentes as VANETs são:

- a) O fato das transmissões serem lineares, torna os seus movimentos previsíveis, e possibilita que novos protocolos sejam desenvolvidos ou que os existentes sejam melhorados. As redes veiculares são consideradas lineares, pois o movimento dos veículos não ocorre de forma aleatória, sendo esse limitado pela topologia da rua onde trafega;
- b) A mobilidade pode influenciar a qualidade de conexão entre os veículos, portanto os protocolos de roteamento devem lidar com a separação e fusão de redes;

- c) A mobilidade veicular pode ser utilizada para melhorar o desempenho da rede, pois ela aumenta o rendimento em MANETs;
- d) Em aplicações de segurança, as redes veiculares exigem protocolos que transmitam informações de forma eficiente e segura dentro de uma determinada área.

4.1. Protocolos de Roteamento para Redes Veiculares

Os protocolos de roteamento em VANETs podem ser classificados em cinco categorias distintas: protocolos *ad-hoc* ou de topologia, protocolos baseados em localização, protocolos baseados em cluster, protocolos de transmissão e protocolos geográficos. A seguir são apresentadas suas respectivas definições segundo Rehman et al (2013).

a) Protocolos *Ad-hoc* ou de topologia:

Alguns protocolos idealizados para redes *Ad-hoc* podem ser utilizados em redes veiculares, porém necessitam de algumas modificações. Além disso, tais protocolos podem ser divididos em três categorias distintas: proativos, reativos e híbridos.

Nos protocolos proativos, os nós atualizam constantemente sua tabela de rotas com informações sobre novas rotas e as informações são passadas para os demais membros por meio da transmissão de pacotes.

Os protocolos reativos, por sua vez, somente enviam o controle dos dados quando houver necessidade. Isto permite reduzir despesas associadas com o *link* e distribuir a informação de uma forma mais rápida. Por fim, os protocolos híbridos estão mais focados na arquitetura da rede do que em seu desempenho.

b) Protocolos Baseados em Localização:

Neste tipo de protocolo as informações sobre a localização geográfica dos veículos são obtidas por meio de mapas, sistemas de posicionamento global (GPS) ou até mesmo de rotas pertencentes a modelos de tráfego. Deste modo, cada nó pertencente à

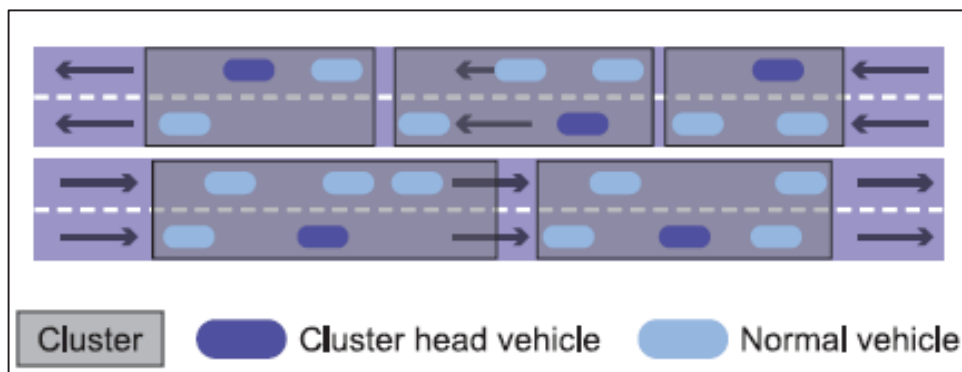
rede é capaz de identificar sua posição e a de seus vizinhos mais próximos. Dentre as principais vantagens deste protocolo, destaca-se que a resposta da rede fica mais rápida.

c) Protocolos Baseados em Cluster:

O principal objetivo deste tipo de protocolo é reduzir o tráfego da rede e os custos com roteamento. Para isso, é criada uma arquitetura de rede baseada em pequenos grupos de veículos chamados de *clusters*. O tamanho destes grupos varia de acordo com o algoritmo de roteamento utilizado, que é baseado no número de veículos ou em sua posição geográfica.

A maioria destes protocolos procura primeiramente estabelecer mecanismos para a criação dos *clusters* e somente após serem estabelecidos serão buscadas as melhores rotas de comunicação. Neste tipo de formação, um dos veículos fica responsável pelo seu *cluster*, tendo como principal função o encaminhamento de mensagens para que todos os parâmetros sejam devidamente atualizados. A Figura 7 representa a formação de múltiplos *clusters* neste tipo de protocolo.

Figura 7 - Formação de veículos em protocolos baseados em *cluster*



Fonte: Li e Wang (2007, p. 17)

d) Protocolos de Transmissão:

Os protocolos de transmissão são técnicas tradicionais de roteamento utilizadas em redes veiculares. Geralmente são utilizados quando uma mensagem precisa ser enviada para um veículo que está fora do intervalo de comunicação. Para isso, os pacotes são transmitidos utilizando técnicas de inundação, conhecidas como *flooding*.

As técnicas de inundação garantem que a informação chegue ao seu destino, porém faz uso extensivo da largura de banda da rede. Muitos protocolos de roteamento fazem uso desta técnica, especialmente quando necessitam descobrir a rota ideal até o destinatário.

e) Protocolos Geográficos:

Estes protocolos tratam o encaminhando de informações em área específicas e de relevância. A sua principal ideia é reduzir o tempo de procura para o próximo salto dentro dessa área. Uma área de relevância é a região onde ocorre um determinado evento que pode vir a afetar os nós que estão localizados próximos a ele. Por exemplo, um veículo ao se envolver em um acidente automaticamente seria capaz de comunicar os demais veículos próximos daquela região sobre o acontecido.

Diversos protocolos já foram propostos na literatura para as mais variadas finalidades, e uma característica comum presente em todos eles é a utilização de parâmetros de mobilidade na definição das melhores rotas. Dentre os principais parâmetros de mobilidade, destacam-se: a velocidade, a posição do nó e a direção em que o nó está se locomovendo (ZEADALLY et al., 2010). A seguir são apresentados alguns dos principais protocolos de roteamento utilizados em redes veiculares.

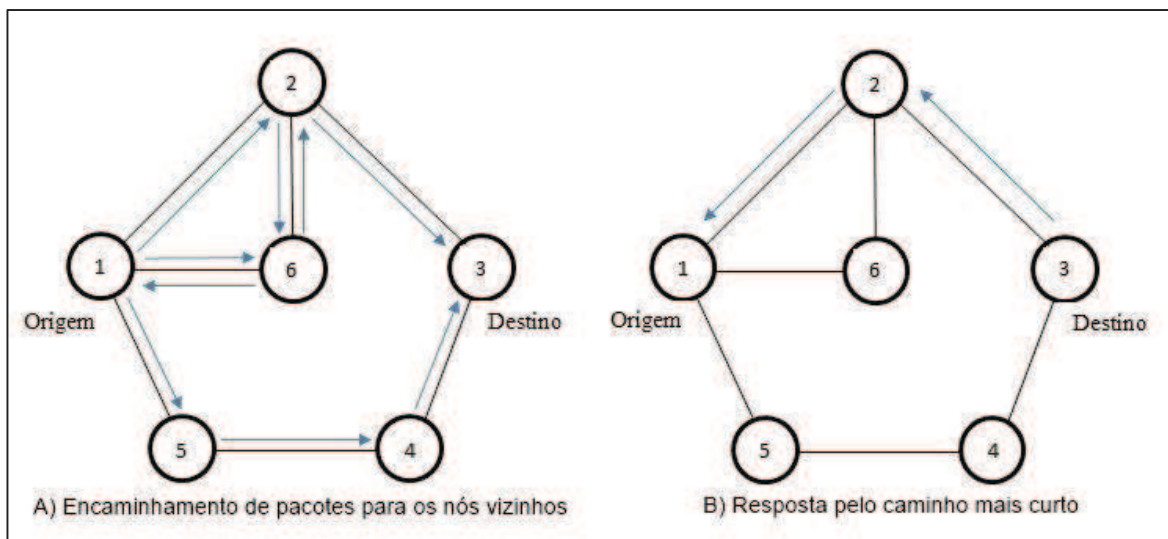
1) AODV (*Ad-hoc On Demand Vector Routing*):

O AODV é um protocolo de roteamento reativo que estabelece suas rotas por meio de um processo de busca. No entanto, um dos pontos negativos desta abordagem é o fato de criar uma espécie de inundação (*flooding*) em toda a rede. A característica de uma transmissão tipo *flooding* é que cada vez que um nó recebe um pacote, caso ele não seja o dono, irá se encarregar de transmiti-lo para todos os outros nós da rede, menos para aquele de quem recebeu. Tal característica pode comprometer o desempenho da rede, pois gera uma grande quantidade de tráfego dados (REHMAN et al., 2013).

A partir do momento em que o nó de origem encaminha o pacote para seus vizinhos (nós intermediários) a fim de encontrar o nó de destino, cada um deles armazena

o endereço de quem lhe enviou o pacote anteriormente. Assim, quando o destinatário receber o pacote, este irá encaminhar a resposta por meio do caminho mais rápido, ou seja, por aquele que chegou primeiro (RANJAN; AHIRWAR, 2011). A Figura 8 apresenta a forma como é feita a descoberta de rotas neste tipo de protocolo.

Figura 8 - Procedimento para descoberta de rotas no protocolo AODV



Fonte: Adaptado de Ranjan e Ahirwar (2011)

Após a comunicação ser estabelecida entre o nó de origem e o nó de destino, caso algum dos nós intermediários se mova para fora do alcance de transmissão, seus vizinhos perceberão a falha na comunicação e logo em seguida encaminharão uma notificação aos demais. Após esta notificação chegar ao nó de destino, este poderá reiniciar o processo de descoberta de rotas (SHAREF; ALSAQOUR; ISMAIL, 2014).

Embora este protocolo apresente alguns pontos negativos, a sua utilização é adequada para a comunicação entre veículos, uma vez que a quantidade de rotas utilizadas neste tipo de comunicação é bastante pequena. Tal fato, faz com que os protocolos reativos se tornem os mais indicados (ZEADALLY et al., 2010).

2) A-STAR (*Anchor-Based and Traffic Aware Routing*):

O A-STAR é um protocolo baseado em localização que foi desenvolvido especificamente para a comunicação entre veículos nas cidades, visto que faz uso de mapas urbanos para calcular o caminho por onde os pacotes deverão passar até chegar ao seu destino (SHAREF; ALSAQOUR; ISMAIL, 2014).

As informações referentes a cada rota são analisadas detalhadamente por este protocolo. Deste modo, é possível determinar o melhor caminho para se atingir o máximo de conectividade. Tais informações são coletadas das localidades próximas de onde os veículos estão inseridos. Além disso, existem diversos estudos que mostram o desempenho superior deste protocolo em relação a outros (REHMAN et al., 2013).

Diferentemente do protocolo GSR (*Geographic Source Routing*), o A-STAR não considera o melhor caminho como sendo o mais curto. Neste caso, são levadas em consideração as informações sobre o tráfego, como: a quantidade de carros, ônibus e demais veículos na estrada (SEET et al., 2004).

Antes de realizar a transmissão, o endereço do nó de origem e as informações de todos os nós intermediários pelos quais os pacotes deverão passar para atingir o seu destino são adicionados aos cabeçalhos dos pacotes. Deste modo, os nós não precisam atualizar todas as suas informações de rotas para que um pacote seja enviado ao seu destino, pois quando são transmitidos, os nós são capazes de resgatar as informações neles contidas (MUSTAFA; RAJA, 2010).

Segundo Seet et al (2004), autores responsáveis pelo desenvolvimento deste protocolo, as ruas e avenidas que possuem transporte público têm uma maior capacidade de prover conectividade para a comunicação entre veículos sobretudo pela presença de ônibus e veículos de passeio, que as tornam mais estáveis, uma vez que as linhas de transporte público são tomadas como base para a definição das rotas, sendo atribuídos pesos diferentes de acordo com a quantidade de linhas existentes em uma determinada região. As ruas e avenidas que não possuem transporte público têm o peso máximo. Após a atribuição dos pesos, o algoritmo de *Dijkstra* é aplicado para calcular o caminho de peso mínimo. Desta forma, os pacotes conseguem ser encaminhados por meio do caminho escolhido (SEET et al., 2004).

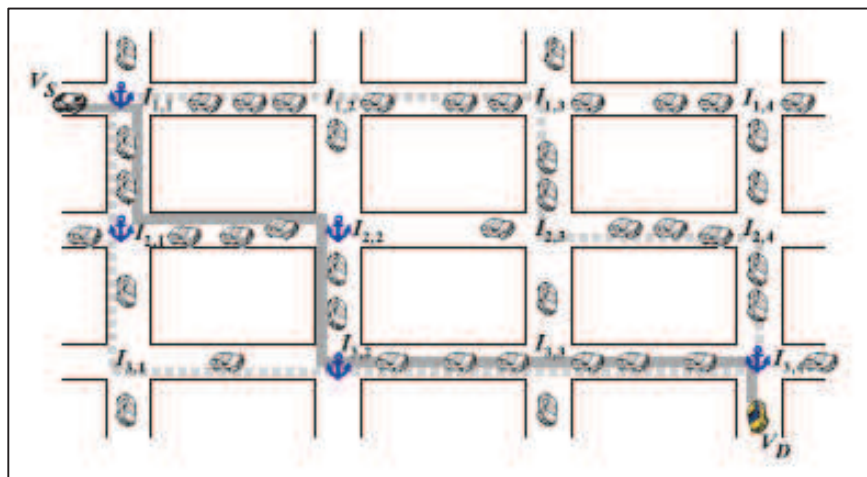
3) CAR (*Connectivity Aware Routing*):

O protocolo CAR foi desenvolvido especificamente para a comunicação entre veículos em um ambiente de cidade ou rodovia. Uma de suas principais características é que, além de encontrar as posições dos destinatários, também possibilita identificar os diversos caminhos conectados entre a origem e o destino (NAUMOV; GROSS, 2007).

Para que seja possível estabelecer uma rota, o protocolo CAR envia pacotes para encontrar o destino. Os nós, por sua vez, adicionam uma série de informações a estes pacotes, como: identificador, quantidade de saltos dados e número médio de vizinhos. Assim, que o pacote chega ao seu destino, o destinatário escolhe a rota com o menor tempo de atraso e informa sua escolha para o nó de origem. Enquanto o nó de destino encaminha sua resposta para o nó de origem, as junções pelas quais esta resposta passa são marcadas com um ponto de ancoragem. Após o caminho ser definido, os pacotes são encaminhados por meio do método *greedy* para o destinatário tendo por base os pontos de ancoragem criados anteriormente (LIN; CHEN; LEE, 2010). O método *greedy* busca definir a melhor rota em etapas, quando para cada retransmissão de pacotes, ou salto, é definido o próximo nó mais viável. Assim, a melhor rota é construída quando o pacote chega ao seu destino.

A Figura 9 ilustra o funcionamento do protocolo CAR em um cenário onde o nó de origem (veículo V_s) tenta enviar dados para o nó de destino (veículo V_d). As ancoras estabelecidas foram $I_{1,1}$, $I_{2,1}$, $I_{2,2}$, $I_{3,2}$ e $I_{3,4}$. Os dados são encaminhados de acordo com os pontos de ancoragem.

Figura 9 - Funcionamento do Protocolo CAR



Fonte: Lin, Chen e Lee (2010, p. 917)

Segundo Paul, Ibrahim e Bikas (2011) as principais vantagens e desvantagens deste protocolo são:

Vantagens: não exige a utilização de mapas digitais; o protocolo CAR permite que o caminho mais curto seja encontrado, porque possui uma taxa de entrega de pacotes maior do que o GPSR; e não possui problemas locais.

Desvantagens: nós não necessários podem ser selecionados como uma ancora; o protocolo não é capaz de ajustar caminhos diferentes quando o ambiente de tráfego muda.

4) DSR (*Dynamic Source Routing*):

O protocolo DSR foi desenvolvido para a comunicação sem fio de múltiplos saltos em redes *ad-hoc*. As duas características mais importantes deste protocolo são o seu procedimento de descoberta de rotas e a manutenção destas rotas. Tais características fazem com que este protocolo seja capaz de se autoconfigurar, pois não é necessária nenhuma infraestrutura ou administrador para gerenciar a rede (MUSTAFA; RAJA, 2010).

Este protocolo também é classificado como *source-routed*, o que significa que o cabeçalho de cada pacote possui a sequência completa dos nós para os quais deverão ser transmitidos. O roteamento deste protocolo consiste de duas fases: a descoberta das rotas e a manutenção das rotas. Segundo Sharef, Alsaqour e Ismail (2014), estas fases podem ser definidas da seguinte maneira:

- 1) Descoberta de Rotas: o processo inicia-se quando um nó de origem pretende transmitir um pacote para um nó de destino; assim, uma rota entre a origem e o destino deve ser estabelecida. A descoberta de rotas é utilizada somente quando um nó tenta transmitir um pacote para outro sem uma rota pré-definida;
- 2) Manutenção das Rotas: esta etapa permite que o nó de origem identifique uma rota quebrada, ou seja, algo que impossibilite a troca de pacotes entre a origem e o destino, e outra rota deva ser utilizada. A identificação do problema ocorre quando o nó de origem está enviando pacotes para o nó de destino.

Uma das principais vantagens da utilização do protocolo DSR é a flexibilidade que ele prove. O pacote que utiliza o protocolo DSR pode chegar ao seu destino mesmo que os nós intermediários utilizem tipos diferentes de rede, pois ele considera todas como uma rede *ad-hoc* (MUSTAFA; RAJA, 2010).

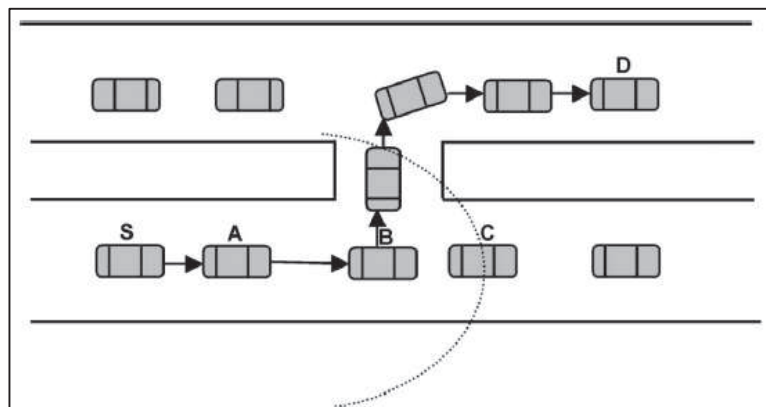
Para Sharef, Alsaqour e Ismail (2014), as principais limitações existentes no protocolo DSR são: a sua incapacidade de consertar o *link* quebrado durante o processo de manutenção de rotas; e a perda de desempenho com o aumento da mobilidade.

5) GPCR (*Greedy Perimeter Coordinator Routing*):

O GPCR é um protocolo baseado em localização que utiliza o método *greedy* (guloso) para realizar o encaminhamento dos pacotes. Além disso, este protocolo não utiliza mapas para decidir sobre as suas rotas, ao invés disso faz uso das ruas e cruzamentos para a construção de um grafo específico (LOCHERT et al., 2005).

Para isso, é necessário que haja uma transmissão frequente de pacotes para o nó próximo a junção das ruas, sendo este o nó coordenador. O nó coordenador possui uma transmissão diferenciada em relação aos nós comuns, visto que estes últimos apenas encaminham mensagens ao longo da rua em direção ao próximo cruzamento, já os nós coordenadores tomam decisões com base nas ruas que começam nos cruzamentos onde estão localizados (SHAREF; ALSAQOUR; ISMAIL, 2014). A Figura 10 apresenta o comportamento do protocolo GPCR, onde os veículos S, A, C e D fazem o papel dos nós comuns e o veículo B o de coordenador.

Figura 10 - Roteamento ao longo de junções



Fonte: Sharef, Alsaqour e Ismail (2014, p. 12)

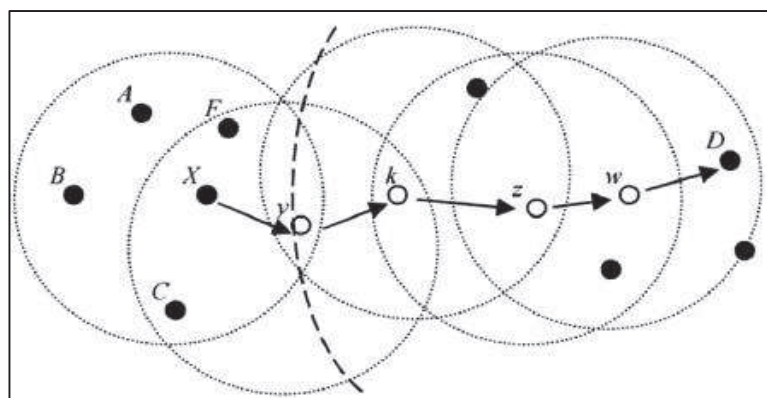
A função do nó coordenador é evitar que ocorra o encaminhamento de pacotes para além da junção. Deste modo, cada nó deve conhecer a sua situação atual, ou seja, se ele é um coordenador ou não. Portanto, se o nó não está próximo de uma junção, ele deverá continuar encaminhando os pacotes ao longo da estrada em direção à próxima junção. Porém, se o nó estiver localizado em uma junção, este deverá determinar em qual das ruas os pacotes deverão seguir (LOCHERT et al., 2005).

6) GPSR (*Greedy Perimeter Stateless Routing*):

O GPSR é um protocolo baseado em posição e é composto basicamente por duas etapas. A primeira delas (*Greedy mode*) é a de seleção do próximo nó que irá retransmitir os pacotes, para isso é levado em consideração a posição de seus vizinhos (nós candidatos) e o destino do pacote. Este primeiro passo serve justamente para escolher o nó candidato que está mais próximo do destino. Já a segunda etapa (*Perimeter mode*) tem por objetivo ignorar obstáculos e áreas geográficas vazias, pois muitas vezes não existe a presença de nós candidatos nestas regiões (SALEH, 2015).

A etapa *Greedy mode* é apresentada na Figura 11. Neste exemplo, o nó de origem X quer transmitir os pacotes de dados para o nó de destino D. Para isso, ele encaminha o pacote para o nó Y, pois é o mais próximo do destino em relação aos outros vizinhos. Este processo é repetido pelos nós y, k, z, e w até que o pacote de dados chegue ao seu destino.

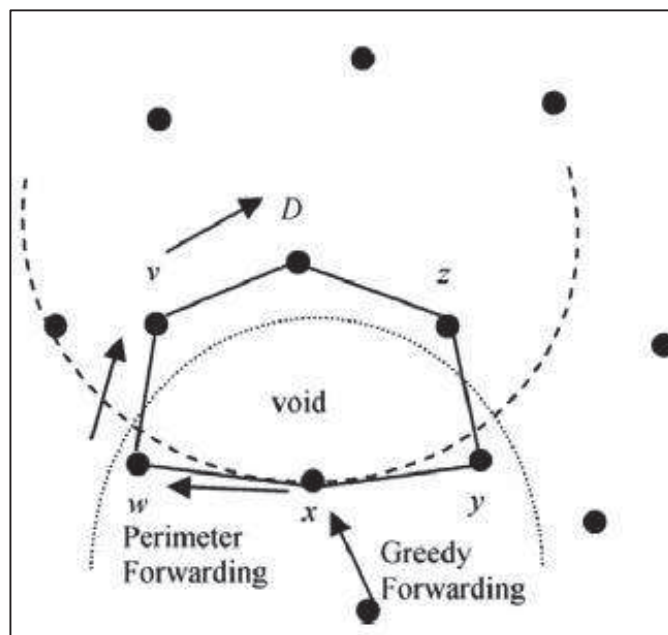
Figura 11 - Funcionamento do modo Greedy



Fonte: Sharef, Alsaqour e Ismail (2014, p. 9)

A etapa *Perimeter mode* pode ser visualizada na Figura 12. Neste exemplo, o nó de origem x está mais próximo do nó de destino D em relação aos seus vizinhos w e y . Embora existam duas possíveis rotas até o destino (x, y, z, D) e (x, w, v, D) , o nó de origem x não irá realizar inicialmente o encaminhamento de pacote por nenhuma delas. Neste caso, o protocolo GPSR declara x como o máximo local até D e a região sem nós como uma região vazia. Para rotear os pacotes ao redor desta região vazia é construído um grafo planar entre os vizinhos do nó x e os pacotes são encaminhados por meio da regra da mão direita. A regra estabelece que quando um pacote chegar ao nó x este foi oriundo de y , porque este está localizado sequencialmente no sentido anti-horário de x ; então, o nó x encaminha os pacotes para o nó w , que posteriormente envia a v e assim até o destino D .

Figura 12 - Funcionamento do modo



Fonte: Sharef, Alsaqour e Ismail (2014, p. 9)

A partir da localização de cada nó e de seus vizinhos é possível realizar o melhor roteamento. Para isso, todas as informações necessárias são coletadas por meio de dispositivos GPS. Os nós vizinhos auxiliam no processo de encaminhamento de pacotes, uma vez que possibilitam a decisão mais assertiva sobre a rota, eliminando as influências da topologia (MUSTAFA; RAJA, 2010).

7) GSR (*Geographic Source Routing*):

O protocolo GSR foi desenvolvido como uma alternativa ao protocolo GPSR, pois este último não estava conseguindo lidar com os obstáculos existentes na comunicação em cidades. Dentre os principais desafios que o GSR busca tratar estão a alta mobilidade e a topologia da região (MUSTAFA; RAJA, 2010).

Para identificar o destino de um pacote, ou seja, o nó para onde ele será transmitido, o protocolo GSR faz uso do Serviço de Localização Reativo (RLS), que é o responsável por inundar a rede com requisições do tipo “*position request*”, as quais são direcionadas a um nó específico. Quando o nó para o qual o pacote foi direcionado é requisitado sobre a sua posição, a resposta é imediata (SHAREF; ALSAQOUR; ISMAIL, 2014).

Após a identificação da posição do nó de destino, o nó de origem se utiliza de algoritmos de busca nos mapas para definir o caminho mais curto. Antes do pacote ser transferido é informado sobre a localização de seu destino. Assim, ele deverá trafegar pelas diversas junções até completar sua rota (MUSTAFA; RAJA, 2010).

Sharef, Alsaqour e Ismail (2014) citam estudos em que o protocolo GSR apresentou uma melhor taxa de entrega de pacotes do que os protocolos AODV e DSR. Os autores ainda afirmam que o problema está no fato de que ele ignora redes com baixa densidade, além de sofrer alta sobrecarga de roteamento, por fazer uso frequente de mensagens de controle.

Segundo Paul, Ibrahim e Bikas (2011) as principais vantagens e desvantagens deste protocolo são:

Vantagens: a taxa de entrega de pacotes do protocolo GSR é melhor do que a dos protocolos AODV e DSR; o protocolo GSR é mais escalável do que o AODV e DSR.

Desvantagens: o protocolo GSR ignora situações em que não existem nós suficientes para realizar o encaminhamento de pacotes; as mensagens de controle sobrecarregam mais o protocolo GSR em relação aos demais outros.

8) LORA-CBF (*Location Routing Algorithm with Cluster-Based Flooding*):

O protocolo LORA-CBF utiliza o conceito de *clusters* para realizar a comunicação entre os veículos. Para isso, cada grupo é formado por um nó “coordenador”, conhecido como *cluster-head*; zero ou mais membros; e um ou mais *gateways* para fazer a comunicação com os nós “coordenadores” de outros grupos. A função do nó “coordenador” é manter a tabela de seu *cluster* atualizada com os endereços, direções e localizações geográficas de seus nós membros e *gateways* (MOMENI; FATHY, 2010).

O principal objetivo do LORA-CBF é melhorar a decisão de encaminhamento por meio de um algoritmo preditivo. Além disso, ele é baseado em hierarquia, visto que o *cluster-head* necessita manter atualizada a tabela de seu *cluster* para garantir que as mensagens sejam encaminhadas para o vizinho mais próximo (SUTHAPUTCHAKUN; SUN, 2011).

A arquitetura adotada por este protocolo ajuda a reduzir o número de retransmissões e conseqüentemente a sobrecarga da rede, visto que as suas rotas somente são atualizadas quando realmente é necessário. Além disso, os *gateways* veiculares ao ficarem responsáveis pelas informações de controle permitem que a sobrecarga ocasionada pelo controle de tráfego seja reduzida (REHMAN et al., 2013).

Para descobrir a localização dos demais *clusters*, o *cluster-head* transmite mensagens frequentes solicitando as posições dos demais grupos, estas mensagens são conhecidas como LREQ ou *Location Request*. Tal característica faz com que o protocolo LORA-CBF seja adequado para ambientes com alta mobilidade, pois atualiza as informações do grupo inteiro ao invés de veículos individuais (REHMAN et al., 2013).

Segundo Momeni e Fathy (2010), as principais vantagens do protocolo LORA-CBF são:

- a) Ele emprega informações locais para melhorar o roteamento tradicional usado em algoritmos não posicionais;
- b) O fato de usar nós específicos para disseminar as mensagens (*gateways*), ajuda a reduzir a sobrecarga da rede;
- c) A possibilidade de haver dois *cluster-heads* trafegando em direções opostas em uma determinada região dá maior estabilidade na formação dos *clusters*.

9) MURU (*Multi-Hop Routing Protocol for Urban Vanets*):

O *Multi-Hop Routing Protocol for Urban Vanets* faz uso de um conjunto de variáveis para avaliar a qualidade de uma rota, considerando aspectos como posição do veículo, velocidade e trajetória. Baseado no quesito qualidade, o MURU introduz um novo tipo de métrica conhecida como grau de desconexão esperada (EDD), responsável por determinar a probabilidade de haver desconexões em uma rota durante um determinado período (SHAREF; ALSAQOUR; ISMAIL, 2014).

O protocolo MURU requer que cada veículo conheça sua posição, o que requer a utilização de mapas e um serviço de localização eficiente para que os nós de origem obtenham a posição dos nós de destino. As informações obtidas nos mapas são fundamentais para calcular o menor caminho até o destino (SHAREF; ALSAQOUR; ISMAIL, 2014).

Neste protocolo, o nó de origem inicia o processo do envio de mensagens de requisição. Cada um dos nós intermediários ao receber as mensagens realiza uma análise estimada da qualidade do *link* de comunicação e atualiza a métrica EDD. Deste modo, quando a mensagem chega ao seu destino, o nó é capaz de escolher a melhor rota baseando-se no menor EDD existente, ou seja, a rota que possui a menor probabilidade de haver desconexões (MO et al., 2006).

Segundo MO et al (2006), o protocolo MURU possui uma proposta totalmente diferente de outros protocolos, visto que ele é adaptado para atender as características das VANETs. Além disso, a eficiência deste protocolo está relacionada com a adoção de canais sem fio que são responsáveis por prover uma entrega robusta de dados com uma alta taxa de transferência e uma baixa latência na rede (atraso).

MO et al (2006) por meio de simulações, conseguiram observar que o protocolo MURU apresenta um melhor desempenho em termos de taxa de entrega de pacote, atraso fim-a-fim e sobrecarga da rede, quando comparado aos protocolos AODV, DSR e GPSR.

Para Sharef, Alsaqour e Ismail (2014), a principal vantagem do protocolo MURU é a sua capacidade de fornecer um roteamento de melhor qualidade com uma maior porcentagem de taxa de transferência, baixa latência e baixo custo.

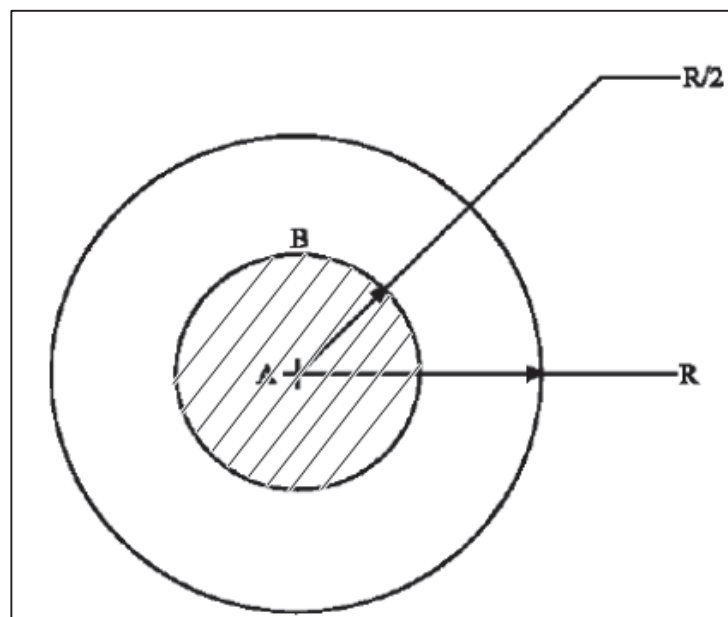
10) NPPB (*Nth-Powered P-persistent Broadcast*):

O protocolo NPPB é um modelo de transmissão probabilística desenvolvido para lidar com o chamado *broadcasting storm* (na tradução literal, tempestade de difusões). Isso significa que toda vez que um nó recebe um pacote, ele realiza cálculos probabilísticos para decidir se irá ou não retransmiti-lo. Além disso, é capaz de suportar a disseminação de mensagens de emergência em ambientes com alta densidade veicular (ZHOU et al., 2010).

O *broadcasting storm* é gerado quando uma mensagem na rede exige uma resposta que gera outra nova mensagem em um efeito contínuo. A presença de *loops*, faz com que os servidores fiquem extremamente lentos, e as mensagens deixem de circular pela rede.

O algoritmo utilizado neste protocolo faz com que os nós se concentrem na fronteira da área de cobertura do nó de origem, aumentando assim a quantidade de nós disponíveis para o encaminhamento das mensagens. Assim, o número de saltos (encaminhamentos) será relativamente menor (CHITRA; SATHYA, 2015). A Figura 13 ilustra a fronteira da área de cobertura do nó de origem A.

Figura 13 - Representação da área de cobertura



Fonte: Adaptado de Chitra e Sathya (2015, p. 17)

Além disso, um dos fatores que fazem este modelo disseminar as informações rapidamente pela rede é o fato de que todos os nós que estão localizados na área de cobertura B da Figura 13, tem mais de 50% de chances de retransmitir a mensagem, uma vez que a sua área de atuação é três vezes maior do que a A. Outra interpretação é que três a cada quatro vizinhos possuem mais de 50% de chances de retransmitir a mensagem (ZHOU et al., 2010).

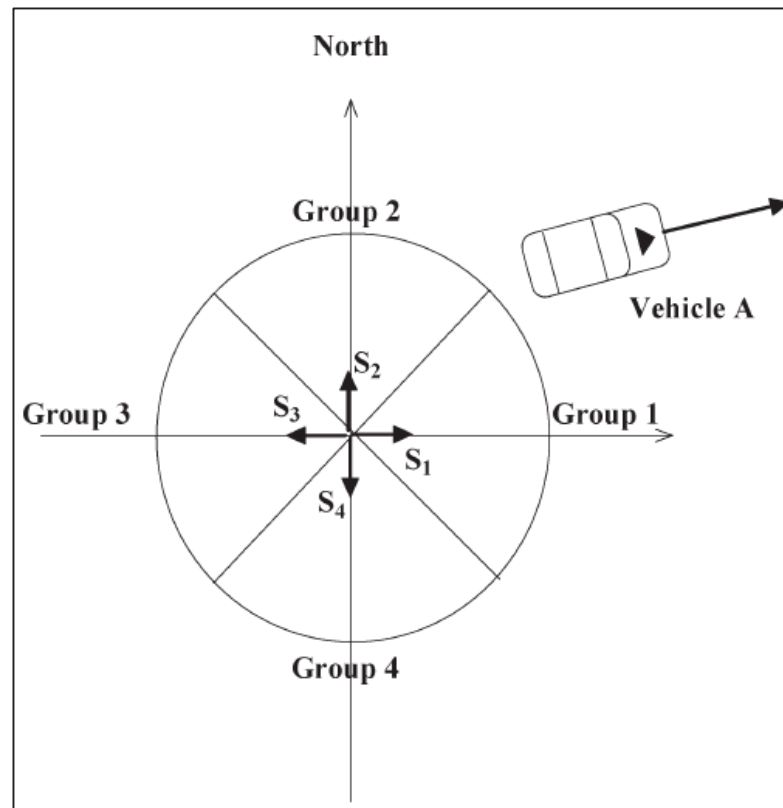
11) ROMSGP (*Receive on most stable group-path*):

O protocolo ROMSGP foi desenvolvido para melhorar o roteamento em grandes metrópoles. Nestes ambientes, o roteamento geralmente não é satisfatório devido à perda de conectividade que ocorre quando um veículo se move mais rapidamente do que o seu vizinho (SHAREF; ALSAQOUR; ISMAIL, 2014).

Para sanar este problema, o protocolo ROMSGP trabalha agrupando os veículos de acordo com a sua localização e velocidade. Assim, os veículos que pertencem ao mesmo grupo geralmente estão se movendo juntos, portanto, quando as rotas são estabelecidas levando em consideração os veículos de um mesmo grupo, elas apresentam uma maior estabilidade (TALEB et al., 2007).

Os veículos podem ser agrupados em quatro grupos diferentes de acordo com a sua localização e velocidade. Estes grupos são representados pelos vetores [$S1 = (1, 0)$, $S2 = (0, 1)$, $S3 = (-1, 0)$, e $S4 = (0, -1)$]. Tais vetores podem ser visualizados em um plano cartesiano, facilitando a identificação dos grupos, conforme apresentado na Figura 14. Este modelo pressupõe que cada veículo possua um GPS, e que a sua posição seja verificada a cada minuto.

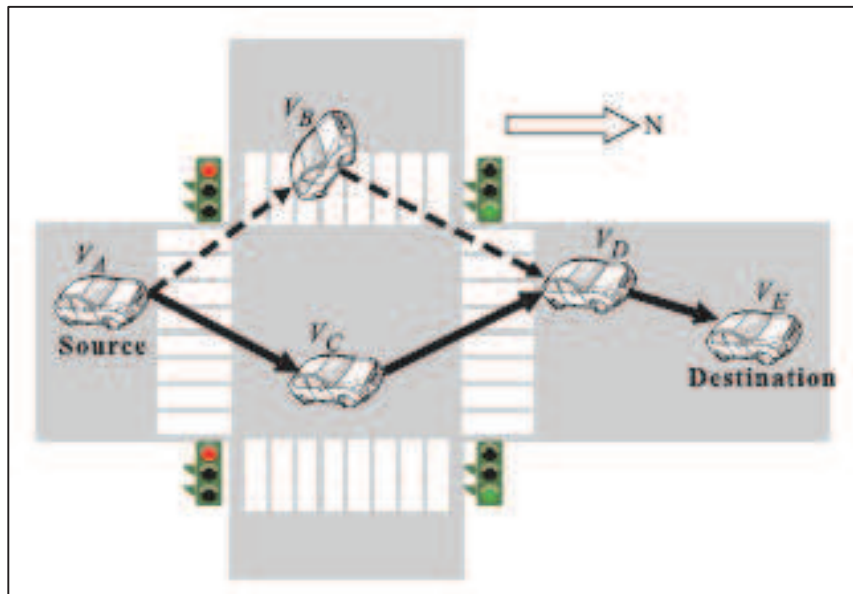
Figura 14 - Representação Cartesiana dos Vetores



Fonte: Taleb et al (2007, p. 3340)

Um veículo é caracterizado como pertencente a um determinado grupo de veículos quando se locomovem na mesma direção e com velocidades próximas. O cenário apresentado na Figura 15, ilustra a aplicação do protocolo ROMSGP. Neste cenário, duas rotas são estabelecidas: $(V_A V_B, V_B V_D)$ e $(V_A V_C, V_C V_D)$. Caso V_A , V_B , V_C e V_D pertencessem ao mesmo grupo, as duas rotas seriam consideradas estáveis. No entanto, como o veículo V_B está seguindo em outra direção, a sua localização muda e o seu grupo também. Assim, a única rota possível torna-se $(V_A V_C, V_C V_D)$.

Figura 15 - Funcionamento do Protocolo ROMSGP



Fonte: Lin, Chen, Lee (2010, p. 918)

12) SAR (*Spatial Aware Routing*):

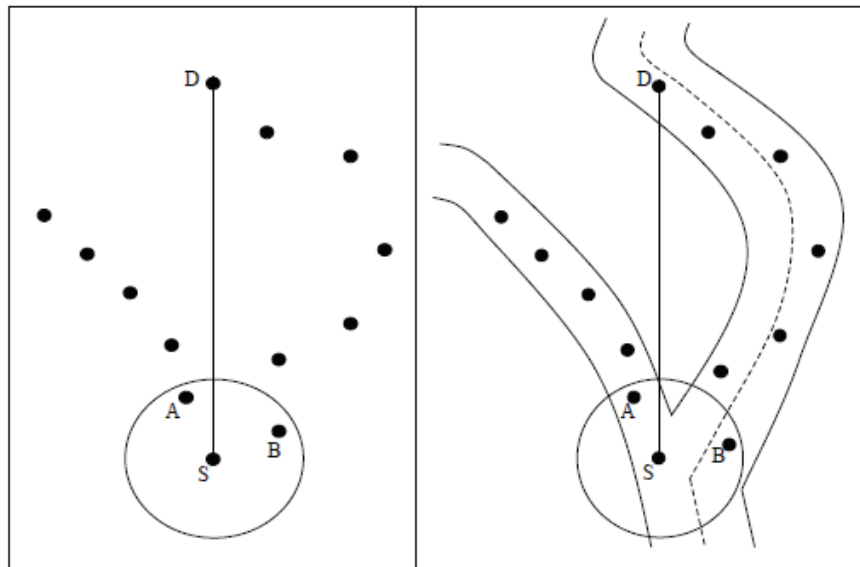
O SAR é um protocolo de encaminhamento geográfico que utiliza modelos espaciais para prever e evitar falhas durante o encaminhamento dos pacotes devido aos problemas de topologia. Um modelo espacial descreve o ambiente em que os *hosts* móveis estão inseridos, oferecendo um alto grau de abstração dos objetos e seus relacionamentos (TIAN et al., 2003).

A principal vantagem do protocolo SAR é que ele evita que os pacotes sejam enviados para nós que não possam entregá-los ao destino devido às restrições de topologia. Geralmente isso ocorre quando não há informações suficientes sobre o caminho escolhido, fazendo com que muitos pacotes sejam encaminhados pelo caminho errado, enquanto se aguarda o recálculo da rota (NAUMOV; GROSS, 2007).

Um exemplo da utilização do protocolo SAR pode ser observado na Figura 16. Neste exemplo, o nó de origem S pretende encaminhar pacotes para o nó de destino D. Caso o modelo espacial não fosse considerado, o nó de origem S iria realizar o envio dos pacotes para o nó intermediário A, pois ele está mais próximo do destino. No entanto, a distribuição destes nós estão limitados pela estrutura da via, portanto como o nó

intermediário A está localizado no lado esquerdo da via, provavelmente o encaminhamento iria acontecer por vários nós adiante até que fosse observado que o único caminho que permite atingir o destino é por meio do nó intermediário B. Além disso, este tipo de falha não é memorizada, fazendo com que os pacotes seguintes sofressem o mesmo problema. O protocolo SAR, por sua vez, evita que este tipo de coisa aconteça.

Figura 16 - Funcionamento do protocolo SAR



Fonte: Tian et al (2003, p. 2)

Estudos desenvolvidos por Tian et al (2003), demonstram que a adoção do protocolo SAR pode melhorar significativamente o encaminhamento de pacotes, principalmente em situações que envolvem restrições de topologia, como as existentes nas dinâmicas redes veiculares. Segundo os autores, tal fato é justificado devido a adoção de modelos espaciais no processo de encaminhamento de pacotes, que possibilitam que os nós prevejam possíveis problemas de roteamento, podendo assim escolher uma nova rota.

13) VADD (*Vehicle Assisted Data Delivery*):

A principal ideia por trás do protocolo VADD é escolher o caminho que possui o menor atraso na entrega dos pacotes. Para reduzir o atraso na transmissão dos dados, o

VADD transporta a maior quantidade de dados possível por meio de canais sem fio, e se houver necessidade do pacote ser transportado pelas estradas, as que possuem as maiores velocidades serão escolhidas primeiro (LIN; CHEN; LEE, 2010).

O protocolo VADD possui três modos de operação distintos que variam de acordo com a posição do nó que “carrega” a mensagem: cruzamento, linha reta e destino. Ao alternar entre estes modos, o nó consegue obter o melhor caminho para o encaminhamento do pacote (ZHAO; CAO, 2008).

O cruzamento é o modo de operação mais complexo, pois permite mais opções de rotas. Nesse modo, o nó que “carrega” a mensagem deve determinar qual será o próximo nó que irá recebê-la, a partir de identificações de quais nós estão disponíveis no momento, além de assegurar que o pacote siga na direção correta (ZHAO; CAO, 2008).

Já o modo de operação em linha reta é bem mais simples, pois a comunicação ocorre somente de forma bidirecional. Portanto, basta realizar o encaminhamento para o nó que está à frente, e caso não exista nenhum nó para que a mensagem seja transferida, o nó que possui a mensagem irá carregá-la até encontrar outro nó disponível (ZHAO; CAO, 2008).

Por fim, o modo de operação destino é utilizado quando a distância do pacote até o seu destino está abaixo de um limite pré-definido, que faz com que o pacote seja entregue ao seu destino final pelo nó que carregando-o, penetrou na região de proximidade pré-definida (ZHAO; CAO, 2008).

Segundo Paul, Ibrahim e Bikas (2011) as principais vantagens e desvantagens deste protocolo são:

Vantagens: quando comparado aos protocolos GPSR e DSR, o protocolo VADD apresenta uma maior taxa de entrega de pacotes; é adequado para a entrega de dados via multi-saltos;

Desvantagens: as mudanças de topologia e a densidade de tráfego causam grandes atrasos na rede.

A Figura 17 apresenta a linha do tempo dos protocolos de roteamento descritos anteriormente. Para isso, foi considerada a data de publicação de cada um deles, ou seja, a primeira vez em que apareceram na literatura.

Figura 17 - Linha do Tempo dos Protocolos

1994	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2010
		AODV		GPCR		CAR		
DSR	GPSR	GSR	A-STAR		MURU		VADD	NPPB
		SAR		LORA-CBF		ROMSGP		

Fonte: O Autor

Embora a partir de 2010 outros protocolos tenham sido publicados, o corte na literatura se fez necessário para que somente os protocolos suficientemente “maduros” fossem abordados. Ressalta-se também que os protocolos recentes, em sua grande maioria, possuem um caráter sugestivo, não havendo ainda indícios de sua utilização. Portanto, o uso de protocolos consagrados, como por exemplo o AODV, permite averiguar melhor a influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular, objetivo geral desta pesquisa.

A comparação apresentada no Quadro 7 diz respeito ao tipo de abordagem utilizada pelos protocolos. Para isso, os protocolos apresentados neste trabalho foram classificados em sua respectiva categoria. As cinco categorias existentes já foram apresentadas anteriormente e serviram de base para esta classificação.

Quadro 7- Classificação dos Protocolos por Categoria

Protocolos	<i>Ad-Hoc</i> ou Topologia	Baseados em Localização	Baseado em <i>Cluster</i>	Transmissão	Geográficos
AODV	X				
A-STAR		X			

Quadro 7- Classificação dos Protocolos por Categoria (Cont.)

Protocolos	<i>Ad-Hoc</i> ou Topologia	Baseados em Localização	Baseado em Cluster	Transmissão	Geográficos
CAR		X			
DSR	X				
GPCR		X			
GPSR		X			
GSR		X			
LORA-CBF			X		
MURU		X			
NPPB				X	
ROMSGP		X			
SAR		X			
VADD					X

Fonte: O Autor

Os protocolos AODV e DSR foram classificados como *Ad-Hoc* ou de Topologia, uma vez que os veículos que utilizam estes protocolos, somente enviam o controle dos dados quando realmente é necessário. Isso ajuda a reduzir a sobrecarga na rede e a distribuir a informação de uma forma mais rápida. Tais características fazem parte de uma abordagem conhecida como reativa, que é uma das vertentes destes protocolos.

A maioria dos protocolos apresentados são baseados em localização. Os protocolos A-STAR, CAR, GPCR, GPSR, GSR, MURU, ROMSGP e SAR foram classificados neste grupo porque necessitam obter informações sobre a localização dos veículos para escolher o melhor caminho para disseminar as informações. O Quadro 8 apresenta os recursos que são utilizados por cada um destes protocolos.

Quadro 8 - Recursos utilizados pelos protocolos baseados em localização

Protocolos	Mapas	Sistemas de Posicionamento	Serviço de Localização	Informações de Tráfego
A-STAR	X	X	X	X
GPCR		X	X	
GPSR		X		
GSR	X	X	X	
MURU	X	X	X	
ROMSGP		X		
SAR	X	X	X	

Fonte: O Autor

O LORA-CBF é considerado um protocolo baseado em *cluster*, pois a troca de mensagens é realizada por meio de pequenos grupos de veículos, que são compostos por um *cluster-head*; nenhum ou mais membros; e um ou mais *gateways* para realizar a comunicação entre os diversos grupos existentes.

O NPPB foi classificado como um protocolo baseado em transmissão por utilizar técnicas de inundação (*flooding*) para assegurar que a informação chegue ao seu destino.

Por fim, o VADD é considerado um protocolo geográfico porque faz com que o nó carregue a mensagem até encontrar outro disponível para realizar o encaminhamento. Tal característica permite que o VADD seja utilizado em áreas específicas e de relevância.

5. SIMULAÇÃO DE REDES VEICULARES

As etapas necessárias para realizar uma simulação são apresentadas na Figura 18. Ao final da primeira etapa são geradas as entradas necessárias para a segunda etapa, a qual é responsável por fornecer os dados necessários para a obtenção dos resultados.

Figura 18 - Etapas da Simulação



Fonte: O Autor

Na primeira etapa, um mapa deve ser definido e ele será o responsável por restringir o movimento dos veículos por meio de suas vias. Já as rotas são necessárias, pois diferentemente de outras redes, os veículos não se movem aleatoriamente, portanto o seu caminho deve ser estabelecido. A implementação do protocolo definida na segunda etapa é essencial, pois permitirá que o seu desempenho seja analisado dentro do cenário criado. Por fim, os dados gerados nesta segunda etapa irão compor o conjunto de resultados.

5.1. Modelos de Mobilidade

As simulações são utilizadas para testar virtualmente condições existentes no mundo real. Dentre as suas principais vantagens estão o seu baixo custo e a possibilidade de simular uma situação quantas vezes for necessário, sem envolver riscos financeiros ou danos físicos. No entanto, para que os seus resultados sejam confiáveis é necessário que o ambiente reproduzido esteja o mais próximo possível do real. Portanto, tratando-se de redes veiculares, a mobilidade é um dos aspectos fundamentais para que se consiga tal aproximação. Neste sentido, observa-se que ao tratar de simulação em ambientes veiculares, deve-se também salientar a importância dos modelos de mobilidade.

Os modelos de mobilidade são responsáveis por definir o conjunto de regras que criam o movimento padrão dos nós que são utilizados pelos simuladores de rede para gerar topologias aleatórias baseadas em suas posições. Estes modelos podem ser classificados de acordo com o nível de detalhes que eles fornecem (ZEADALLY et al., 2010).

Segundo Hartenstein e Laberteaux (2010), os modelos de mobilidade podem ser classificados em três categorias distintas de acordo com o nível de detalhes oferecido por cada uma delas:

- **Modelo Microscópico:** Esta categoria descreve os parâmetros de mobilidade de um carro específico, como por exemplo, a sua aceleração e desaceleração. Tais parâmetros garantem que os veículos mantenham uma distância adequada entre si, evitando possíveis colisões. A precisão de um modelo deste tipo é proporcional a sua complexidade computacional;
- **Modelo Macroscópico:** Este modelo não considera os parâmetros dos veículos individualmente, ao invés disso, ele trata de aspectos relacionados ao seu fluxo, como: velocidade permitida na via e densidade;
- **Modelo Mesoscópico:** Este modelo descreve o fluxo de tráfego em um nível intermediário de detalhes. Deste modo, é possível se beneficiar da escalabilidade presente no modelo Macroscópico sem perder a quantidade de detalhes fornecidos pelo modelo Microscópico.

Segundo Zeadally et al (2010), os modelos de mobilidade são formados por diversos fatores, como: ruas, estradas, semáforos, construções, carros, fluxo de veículos e o comportamento entre eles. Deste modo, o modelo macroscópico é constituído por fatores de mobilidade, como: ruas, semáforos, estradas, construções, entre outros. Já o modelo microscópico é definido pelo comportamento dos veículos.

Como as tecnologias sem fio utilizadas na comunicação entre veículos possuem um alcance reduzido, as simulações destes ambientes exigem um maior nível de detalhes no que se refere à mobilidade (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2010).

Em Divecha et al (2007) é apresentada outra forma de classificação para os modelos de mobilidade. Segundo os autores, estes modelos podem ser diferenciados por meio de suas dependências espaciais e temporais:

- **Dependência Espacial:** É a forma como os veículos são dependentes em seus movimentos. Caso dois veículos estejam se movendo em uma mesma direção, o seu nível de dependência espacial será alto;
- **Dependência Temporal:** Este tipo de dependência está relacionado com a velocidade dos veículos. É a relação existente entre a sua velocidade atual e a sua velocidade anterior. Veículos com a mesma velocidade possuem alta dependência temporal.

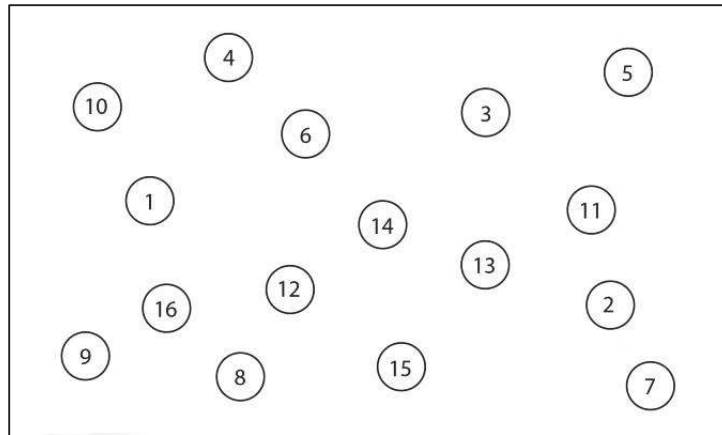
Abaixo são apresentados os quatro principais modelos de mobilidade existentes e as formas utilizadas por cada um deles para simular cenários do mundo real.

1) Random Waypoint:

Este é considerado o modelo aleatório mais utilizado para realizar simulações em redes veiculares. Neste modelo, cada veículo escolhe aleatoriamente o seu destino e a velocidade a ser utilizada para se mover até ele. Para isso, é assumido que os veículos mantem uma velocidade fixa durante todo o trajeto (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2010).

Quando o veículo atinge o seu destino, ele para durante um intervalo de tempo. Ao esgotar este tempo, o veículo define outro destino aleatoriamente e repete novamente todo o processo até a simulação acabar (DIVECHA et al., 2007). A Figura 19 ilustra o movimento dos nós no modelo de mobilidade aleatório.

Figura 19 - Movimento dos nós no modelo de mobilidade aleatório



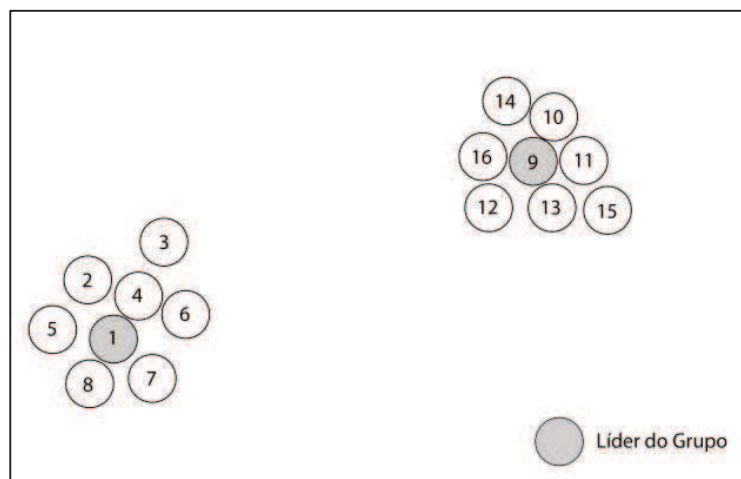
Fonte: Divecha et al (2007, p. 20)

2) *Random Point Group Mobility (RPGM):*

O RPGM surgiu da observação de que assim como os seres humanos, os veículos também tendem a andar em grupos. Deste modo, o líder de um grupo é o responsável por determinar o movimento padrão do grupo. Os demais membros seguem o líder, e apenas poderão alterar ligeiramente o movimento quando necessário (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2010).

No início, cada veículo permanece uniformemente distribuído próximo ao seu líder e a cada instante recebe as informações sobre sua velocidade e direção aleatoriamente (DIVECHA et al., 2007). A Figura 20 apresenta a formação de dois grupos baseados no modelo RPGM.

Figura 20 - Movimento dos nós no modelo RPGM

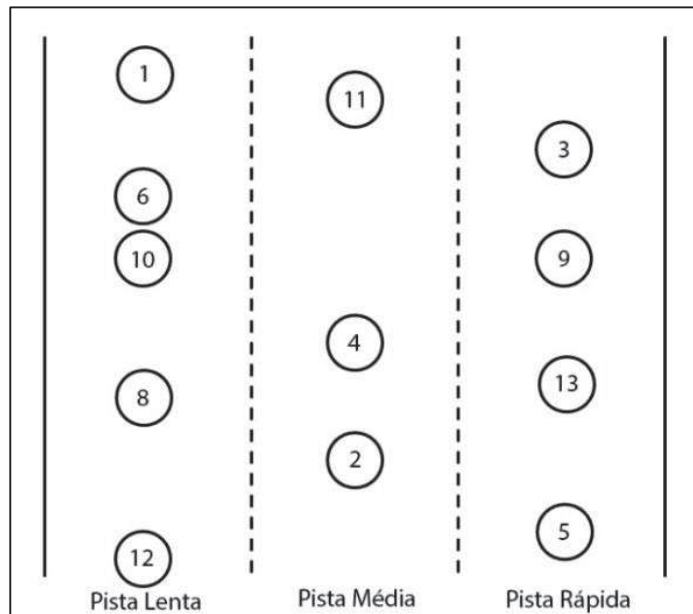


Fonte: Adaptado de Divecha et al (2007)

3) *Freeway Mobility Model:*

Este modelo visa simular o comportamento do movimento de um veículo em uma estrada. Além disso, pode ser utilizado em diversas aplicações, como: rastreamento de veículos e troca de informações sobre tráfego. Neste modelo, o movimento dos veículos é limitado pelas faixas das estradas e a sua velocidade atual depende de sua velocidade anterior. A principal característica deste modelo é a utilização de mapas, os quais possuem diversas estradas e cada uma destas estradas possui faixas em ambas as direções (DIVECHA et al., 2007). A Figura 21 ilustra esse modelo.

Figura 21 - Movimento dos veículos no modelo Freeway



Fonte: Adaptado de Divecha et al (2007)

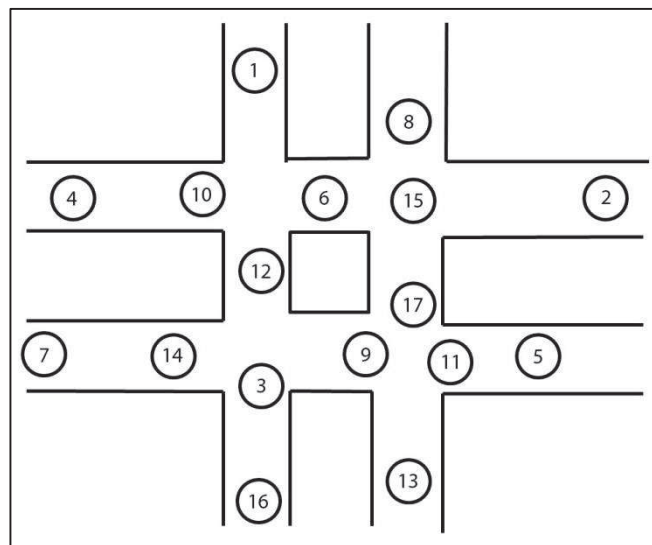
Segundo Divecha et al (2007), as principais diferenças existentes entre o modelo *Freeway* e o *Random Waypoint* são:

- Os nós são restritos às faixas das estradas;
- A velocidade dos veículos que em dado instante é dependente de sua velocidade no instante anterior;
- Caso os veículos estejam trafegando em uma mesma faixa e em uma distância segura, a velocidade do nó que está atrás nunca poderá ultrapassar a velocidade do que está à frente.

4) *Manhattan Mobility Model:*

O modelo *Manhattan* restringe o movimento dos veículos ao cenário urbano, que é composto por ruas horizontais e verticais formando uma grade (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2010). A Figura 22 apresenta o movimento dos veículos no modelo *Manhattan*.

Figura 22 - Movimento dos veículos no modelo *Manhattan*



Fonte: Divecha et al (2007, p. 21)

A principal característica deste modelo é a utilização de mapas compostos por ruas horizontais e verticais. Deste modo, os veículos podem trafegar livremente por elas até chegar a um cruzamento. Chegando ao cruzamento, o veículo poderá decidir se irá virar à direita, à esquerda ou continuar reto na mesma direção (DIVECHA et al., 2007).

5.2. Tipos de Simuladores

A escolha da ferramenta adequada para a simulação é uma tarefa cuidadosa, dada a diversidade de características dos simuladores, dos veículos, e também dos protocolos de roteamento. A seguir são apresentados os principais tipos de simuladores utilizados para simular redes veiculares atualmente.

5.2.1. Simuladores de Tráfego

O simulador de tráfego ou simulador de mobilidade é responsável por representar o movimento dos veículos. Para isso, ele utiliza como entrada um modelo que define as ruas, além de outros parâmetros, como: velocidade máxima, a hora da partida e chegada dos veículos, semáforos, entre outros. O resultado gerado por esses simuladores é um arquivo denominado arquivo de *trace*, onde a localização de todos os veículos é definida para todo o intervalo de tempo de simulação (SICHITIU; KIHIL, 2008).

Além disso, o arquivo de *trace* gerado por esses simuladores serve de entrada para o simulador de rede, permitindo que o desempenho dos protocolos de roteamento seja analisado dentro de um determinado cenário (MITTAL; CHOUDHARY, 2014). No entanto, ressalta-se a importância de manter atualizado o modelo utilizado, para que este acompanhe as mudanças frequentes do tráfego (KHANDELWAL; KHANDELWAL, 2014).

A principal vantagem da adoção de um simulador de tráfego está no fato de que é possível criar modelos de mobilidade mais realísticos. Essa proximidade é obtida por meio da inserção de detalhes e características inerentes ao ambiente estudado, o que o torna fundamental na simulação de redes sem fio mais realísticas (TOOR et al., 2008).

Levando em consideração a importância dos simuladores de tráfego, a seguir são apresentados alguns dos simuladores mais utilizados por pesquisadores para simular a mobilidade em redes veiculares.

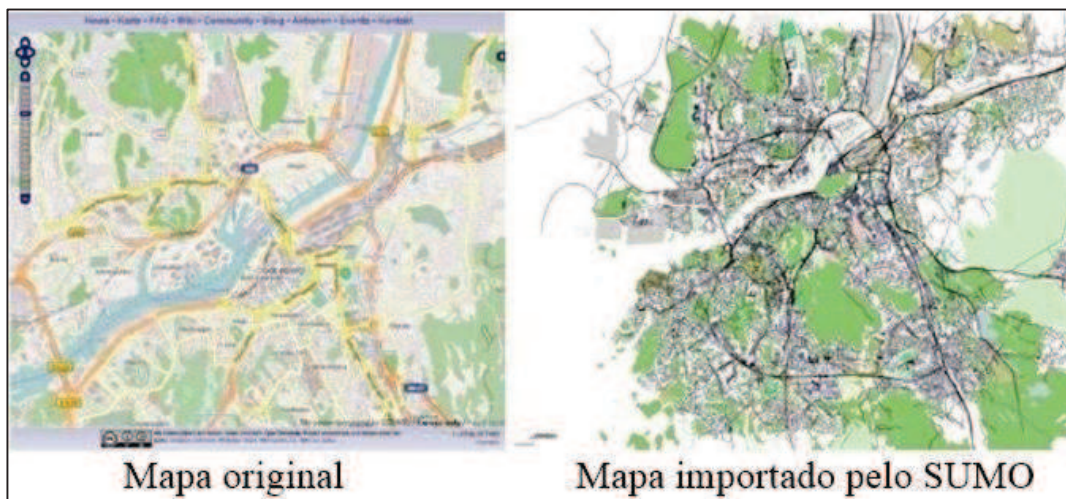
1) SUMO (*Simulation of Urban Mobility*):

O SUMO é um simulador de mobilidade totalmente gratuito e de código fonte aberto. Foi desenvolvido pelo Centro Aeroespacial da Alemanha (DLR) em 2001 e desde então tem sido utilizado em vários projetos para implementar mobilidade em diversos cenários. A vantagem de utilizar esta ferramenta é que por ela ser *open source* está constantemente atualizada pela comunidade de desenvolvedores, enquanto outras tem sido descontinuadas após atingirem os objetivos em teses e dissertações (BEHRISCH et al., 2011).

Por meio do SUMO é possível simular microscopicamente a rede viária de uma cidade inteira. Isto significa dizer que todo e qualquer veículo que se move dentro desta cidade pode ser representado individualmente, possuindo uma posição e uma velocidade. Além disso, as características das estradas, como por exemplo, a máxima velocidade permitida e as demais regras, são consideradas (KRAJZEWICZ et al., 2002).

O SUMO não é apenas um simulador de mobilidade, mas sim uma suíte de aplicações que permite preparar e executar a simulação. Para isso, a rede de estradas e a demanda de veículos devem ser definidas. A rede de estradas pode ser criada por meio do aplicativo “*netgen*” ou importada de mapas digitais disponíveis na internet por meio do “*netconvert*”, ambos disponíveis no próprio SUMO (BEHRISCH et al., 2011). A Figura 23 mostra como fica um mapa após importado para o simulador.

Figura 23 - Exemplo de Conversão



Fonte: Behrisch et al (2011, p. 63)

Segundo Krajzewicz et al (2002), as principais características do SUMO são:

- a) O movimento dos veículos é livre de colisões;
- b) Permite diferentes tipos de veículos;
- c) Permite estradas com diversas faixas e mudança de faixa;
- d) Permite cruzamentos com diferentes prioridades;
- e) Permite ligações entre as faixas;

- f) A cada momento um arquivo XML (*eXtensible Markup Language*) é gerado contendo informações sobre o estado da rede;
- g) As entradas são separadas em diversos arquivos XML a fim de facilitar a sua manipulação.

2) MOVE (*Mobility Model Generator for Vehicular Networks*)

O MOVE é um aplicativo baseado na tecnologia JAVA e construído sobre a plataforma SUMO. O seu principal objetivo é facilitar a criação do modelo de mobilidade que se deseja representar. Para isso, o recurso de interface gráfica é utilizado. Os mapas que o usuário deseja simular podem ser criados manualmente pelo programa, ou baixados de base de dados digitais, como é o caso do TIGER e do Google Earth (GANDHI; GUPTA, 2015).

O MOVE é composto basicamente por dois componentes, o gerador de modelo de mobilidade e o gerador de modelo de tráfego. O gerador de modelo de mobilidade apresenta uma interface amigável e bastante completa para a criação dos modelos representados no SUMO. Já o gerador de modelo de tráfego faz uso do arquivo de *trace* para criar o modelo de tráfego que será utilizado pelo simulador de rede, como por exemplo, o NS2 (MITTAL; CHOUDHARY, 2014).

Os arquivos de *trace* produzidos pelo MOVE podem ser utilizados não somente no simulador de rede NS2, mas também em diversos outros. Existem, por exemplo, diversas topologias de mapas já pré-definidas, como: grade, teia de aranha e aleatória (KHANDELWAL; KHANDELWAL, 2014).

Para Mittal e Choudhary (2014), as principais vantagens existentes nessa ferramenta é que ela possui todas as opções de configuração do arquivo TCL do NS2. Desse modo, a implementação de protocolos e outras configurações ocorrem de maneira mais fácil. Já Gandhi e Gupta (2015) apresentam como principal desvantagem o fato dessa ferramenta não possuir maior suporte.

3) FreeSim

O FreeSim é um simulador microscópico e macroscópico, também de código fonte aberto. O movimento dos veículos pode ser facilmente definido para apenas um deles ou para a rede toda. Essa ferramenta é indicada principalmente para a simulação de sistemas de transporte inteligente, visto que os veículos podem se comunicar com os sistemas de monitoramento de tráfego existentes nas estradas (MITTAL; CHOUDHARY, 2014).

O tráfego criado pelo FreeSim pode ser gerado pelo usuário ou obtidos por meio de dados de tempo real. Além disso, sistemas com múltiplas estradas podem ser facilmente representados dentro desse simulador (MARTINEZ et al., 2011).

Segundo Mittal e Choudhary (2014), os principais pontos positivos pertencentes ao simulador FreeSim são: baseado em interface gráfica, fácil de usar, e possui diversos exemplos disponíveis. Embora esse simulador possua algumas vantagens, também há limitações, visto que o seu arquivo de *trace* não é compatível com os simuladores de rede NS2, GloMoSim, QualNet e Swans.

4) CityMob

O CityMob foi desenvolvido especificamente para redes veiculares, e é compatível com o simulador de rede NS2. Ele é capaz de implementar três modelos de mobilidade distintos: o modelo simples, o modelo de *Manhattan* e o modelo de cidade. No modelo *Manhattan* e de cidade as ruas são organizadas em forma de grade, com dois sentidos e faixas em ambas as direções (MARTINEZ et al., 2011).

Dentre as principais características do CityMob, destacam-se: a aplicação é portátil, o código fonte é aberto, é fácil de configurar e é fácil de usar. A maior desvantagem existentes no CityMob é o fato de não suportar os simuladores de rede GloMoSim, QualNet e Swans. Além disso, não existe a opção para o usuário criar mapas ou importá-los de bases digitais.

5) Comparação entre os Simuladores de Tráfego

O Quadro 9 apresenta uma comparação entre as características dos simuladores de tráfego apresentados para justificar a escolha do simulador de tráfego utilizado.

Quadro 9 - Comparação entre os simuladores de tráfego

	SUMO	MOVE	FreeSim	CityMob
Gratuito	Sim	Sim	Sim	Sim
Interface Gráfica	Sim	Sim	Sim	Sim
Exemplos Disponíveis	Sim	Sim	Sim	Não
Desenvolvimento Contínuo	Sim	Não	Não	Sim
Fácil de Configurar	Moderado	Fácil	Fácil	Fácil
Fácil de Usar	Difícil	Moderado	Fácil	Fácil
Usuário cria o mapa	Sim	Sim	Não	Não
Suporte para o NS2	Não	Sim	Não	Sim

Fonte: O Autor

O fato do simulador CityMob não possuir exemplos disponíveis de sua utilização, dificulta o processo de aprendizagem na ferramenta. Além disso, o usuário não consegue criar ou importar mapas, limitando-se a topologias pré-estabelecidas, sem liberdade de criação.

O FreeSim, por sua vez, não possui suporte para o simulador NS2. Salienta-se também que assim como o CityMob, o FreeSim também não oferece a opção para a criação de mapas personalizados de acordo com a necessidade do usuário.

Embora o SUMO não tenha suporte para o simulador de rede NS2, ele pode trabalhar em conjunto com o MOVE. Desse modo, enquanto o MOVE facilita a criação do mapa e do movimento dos veículos, o SUMO permite que eles sejam visualizados após serem criados. Portanto, verifica-se que a melhor opção para ser adotada nesse estudo, dentre as encontradas, é o simulador de tráfego MOVE em conjunto com o simulador de tráfego SUMO.

5.2.2. Simuladores de Rede

Os simuladores de rede são capazes de realizar simulações em nível de pacotes, portanto aspectos como origem do pacote, destino do pacote, transmissão de dados, recebimento de dados, rotas, *links* de comunicação e canais, podem ser melhor estudados e analisados por meio da adoção dessa ferramenta (GANDHI; GUPTA, 2015).

Os diversos protocolos de roteamento existentes para redes veiculares também podem ser melhor estudados quando implementados em um simulador de rede, visto que permite verificar o desempenho de cada um deles (MITTAL; CHOUDHARY, 2014). Tal fato, permite que seja realizado um levantamento sobre as suas características em determinados cenários, podendo ser identificado possíveis pontos de melhoria.

Os pesquisadores fazem uso de simuladores de rede para verificar como a rede se comporta em diferentes condições. Algumas vezes, esses simuladores são modificados para atender uma necessidade específica de análise. Além disso, o custo e o tempo envolvido para simular uma rede são relativamente menores do que a criação de um ambiente real para teste, o que dependendo da característica do projeto, poderá inviabilizá-lo (MARTINEZ et al., 2011).

Levando em consideração a importância dos simuladores de rede, a seguir são apresentados alguns dos principais simuladores utilizados por pesquisadores para simular redes veiculares.

1) NS2 (*Network Simulator*):

O simulador de rede NS2 foi criado no ano de 1989 e desde então vem ganhando diversos adeptos tanto na indústria como na academia. Este simulador foi desenvolvido especificamente para estudos na área de redes, com diversos módulos integrados que incluem os mais variados componentes de rede, como: roteamento, protocolos de transporte, aplicações, dentre outros. Assim, caso se deseje analisar o desempenho de uma rede, basta utilizar os códigos necessários para criá-la e observar os resultados gerados pelo programa (ISSARIYAKUL; HOSSAIN, 2009).

O NS2 é um programa totalmente gratuito e de código fonte aberto, permitindo que os usuários façam as mudanças que julgarem necessárias. Além disso, este programa

permite que diversas tecnologias com ou sem fio sejam simuladas dentro de um cenário estabelecido.

A versatilidade apresentada por esta ferramenta é o reflexo de um árduo trabalho que vem sendo realizado pela comunidade de pesquisadores e por diversas instituições que tem por objetivo tornar o NS2 cada vez melhor. Dentre os principais parceiros que contribuem para o avanço desta ferramenta, destacam-se: *University of California*, *Cornell University*, *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA) e *National Science Foundation* (NSF) (ISSARIYAKUL; HOSSAIN, 2009).

A utilização do NS2 pressupõe o conhecimento de duas linguagens de programação, o C++ e o OTcl. Estas são importantes, uma vez que a simulação exige o uso de uma linguagem rápida e eficaz para a manipulação dos *bytes* e dos cabeçalhos dos pacotes, e para o desenvolvimento de algoritmos que rodem com grandes quantidades de dados. Assim, o C++ é o mais indicado. Por outro lado, o número de modificações que ocorrem nos parâmetros de uma simulação faz com que seja necessário diminuir o tempo de interação (mudança do modelo e execução), então a linguagem OTcl, permite uma maior agilidade no *frontend* (VINT, 2011).

Todos os resultados de uma simulação realizada no NS2 são gerados em um arquivo de texto. No entanto, estes resultados também podem ser visualizados graficamente, mas para isso é necessário o uso de outra ferramenta conhecida como NAM (*Network Animator*). Ao instalar o NS2, a ferramenta NAM já inclusa, possibilita tornar as apresentações mais amigáveis (ISSARIYAKUL; HOSSAIN, 2009).

2) QualNet (*Quality Networking*)

O simulador QualNet é capaz de simular tanto os protocolos de rede *wireless* como também os protocolos de rede cabeada. Além de ser uma ferramenta altamente escalável, possui um bom desempenho para a criação de redes grandes e heterogêneas (MITTAL; CHOUDHARY, 2014).

A velocidade com que esse simulador executa a simulação, também é um de seus pontos positivos. O QualNet tem sido utilizado para representar modelos de redes

wireless de forma bastante fiel, chegando a implementar mais de 50.000 nós móveis em um único modelo (KHANDELWAL; KHANDELWAL, 2014).

O seu bom desempenho é devido a tecnologia computacional, conhecida como multiprocessamento paralelo. No entanto, para utilizar esse simulador é necessário realizar a aquisição de sua licença (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2010).

Para Mittal e Choudhary (2014) as principais vantagens existentes no simulador QualNet são: possui uma *interface* gráfica robusta; é um simulador altamente escalável; e pode ser executado tanto no sistema operacional Windows como no sistema operacional Linux.

3) OPNET (*Optimized Network Engineering Tool*)

O simulador OPNET é capaz de simular tanto redes *wireless* quanto redes cabeadas. Por meio de sua utilização é possível projetar e estudar diversos aspectos da rede, como: dispositivos de comunicação, tipos de aplicações e o desempenho de protocolos de roteamento. Além disso, diversos padrões de tecnologia *wireless* são aceitos, como por exemplo: IEEE 802.11, IEEE 802.15.1, IEEE 802.16, IEEE 802.20 e redes de satélite (MITTAL; CHOUDHARY, 2014).

A empresa responsável pela sua comercialização é a Riverbed Technologies. Embora seja um simulador pago, existe uma versão *free* para o uso acadêmico, conhecida como OPNET IT Guru Academic Edition. Essa versão também é capaz de simular o comportamento e os dispositivos de uma rede inteira (MITTAL; CHOUDHARY, 2014).

Segundo Mittal e Choudhary (2014), as principais vantagens do simulador OPNET são: é fácil de usar; possui uma *interface* amigável; e a sua documentação é de qualidade.

4) Comparação entre os Simuladores de Rede

O Quadro 10 mostra uma comparação entre as características dos simuladores de rede estudados.

Quadro 10 - Comparação entre os Simuladores de Rede

	NS2	QualNet	OPNET
Gratuito	Sim	Não	Não
Interface Gráfica	Não	Sim	Sim
Fácil de Usar	Não	Sim	Não
Linguagem Utilizada	C++ / OTCL	Parsec C++	C++ / Java
Ferramenta para Análise de Dados	Sim	Sim	Sim
Possibilidade de Criar e Modificar Cenários	Sim	Sim	Sim

Fonte: O Autor

Com base no Quadro 10, é possível observar que existem simuladores melhores do que o NS2. O QualNet, por exemplo, possui uma interface amigável, é de fácil aprendizagem e pode ser instalado tanto em sistemas Linux como Windows. Porém, tanto o simulador QualNet quanto o OpNet são pagos.

O NS2, por sua vez, apresenta um nível de complexidade maior em relação aos demais. Essa complexidade está presente desde o processo de instalação que envolve diversos passos até a sua utilização sem interface gráfica. O NS2 é totalmente compatível com o simulador de tráfego MOVE. Além disso, existe uma grande quantidade de materiais disponíveis na Internet sobre sua utilização. Ressalta-se também que grande parte das pesquisas desenvolvidas até hoje sobre redes veiculares, com objetivo de analisar o desempenho de protocolos de roteamento fazem uso do NS2. Portanto, esses foram os principais motivos considerados para a utilização do NS2 neste trabalho.

5.2.3. Simuladores Integrados

Para que os simuladores de rede façam uso dos modelos de mobilidade criados pelos simuladores de tráfego, esses modelos devem estar disponíveis. No passado, essa integração não existia, e trabalhavam de forma isolada. Para que fosse possível se comunicarem, a primeira solução adotada foi justamente fazer com que os simuladores de rede carregassem o cenário de mobilidade desejado por meio de um formato de *trace* pré-definido (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2010).

A principal desvantagem dessa abordagem é que após a importação do cenário de mobilidade para o simulador de rede, ele não podia mais ser alterado. Portanto, a interação entre os simuladores continuava não existindo. Assim, a solução encontrada pela comunidade de desenvolvedores foi juntar os dois simuladores em um único, dando origem aos chamados simuladores integrados ou simuladores VANETs (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2010).

A seguir, são apresentados alguns dos simuladores integrados utilizados por pesquisadores para desenvolver simulações em redes veiculares.

1) GrooveNet

O simulador GrooveNet suporta a comunicação entre veículos e entre veículos e infraestrutura. Além disso, ele possibilita que seja realizada a comunicação entre veículos reais e veículos simulados (HUSSAIN; SAEED, 2013).

A transmissão de múltiplas mensagens também faz parte das características desse simulador. Esse recurso é útil para informar a posição atual de um determinado veículo para os seus vizinhos, incluindo veículos de emergência. O GrooveNet possui diversos modos de operação: o modo motorista, o modo de simulação, o modo de reprodução, o modo de simulação híbrida e o modo de geração de testes (PATEL, 2012).

Esse simulador é capaz de executar uma simulação com milhares de veículos. Além de suportar a adição de novos modelos para as mais variadas finalidades, como: rede, segurança, aplicações e interação veicular. Ele possui diversas *interfaces* de rede, o que possibilita inclusive a utilização do sinal de GPS proveniente dos computadores de bordo dos veículos (MARTINEZ et al., 2011).

Os mapas utilizados por esse simulador podem ser baixados de bases de dados digitais, como o TIGER e o LINE (PATEL, 2012). A implementação da comunicação entre veículos em um mapa real facilita o desenvolvimento de novos protocolos e outras aplicações para o setor automotivo (PATEL, 2012).

Segundo Mittal e Choudhary (2014), as principais vantagens do simulador GrooveNet são: suporta milhares de veículos na simulação; possui uma *interface* amigável; e possibilita a utilização do sinal de GPS dos veículos.

2) TraNS (*Traffic and Network Simulation Environment*)

O TraNS realiza a integração do simulador de tráfego SUMO ao simulador de rede NS2. Ele é um *software* livre, e além disso, possui diversos recursos, como: suporte ao padrão IEEE 802.11p e geração automática de mapas da base TIGER (HUSSAIN; SAEED, 2013).

Ressalta-se que o simulador TraNS foi o primeiro de sua categoria a ser desenvolvido. Ele pode trabalhar com dois modos de operação distintos: o modo de aplicação central e o modo central de rede. No modo central de rede não há retorno algum do NS2 para o SUMO, toda a comunicação é feita por intermédio de um analisador, responsável por converter os dados do SUMO para um formato aceito pelo NS2. Já no modo de aplicação central, o retorno entre os simuladores é feito por meio de uma interface chamada TraCI (MITTAL; CHOUDHARY, 2014).

Ele foi desenvolvido pela École Polytechnique Fédérale de Lausanne, na Suíça. Para isso, duas linguagens de programação foram utilizadas, Java e C++. Dentre as suas aplicabilidades, destaca-se o fato de poder simular eventos de tráfego nas estradas, como por exemplo: acidentes; interdições de trechos; entre outros. Além disso, possui duas aplicações prontas para serem usadas como exemplos, a aplicação de aviso de perigo nas estradas e a de roteamento dinâmico (MARTINEZ et al., 2011).

Existe uma outra versão do simulador TraNS, conhecida como TraNS Lite. Nesta versão, o principal objetivo é criar apenas o modelo de mobilidade, sem a integração com o simulador de rede NS2. É capaz de simular redes com aproximadamente 3000 nós,

possui também o recurso de importação de mapas da base TIGER (GANDHI; GUPTA, 2015).

Para Mittal e Choudhary (2014), os principais méritos atribuídos ao simulador TraNS, são: suporta o padrão IEEE 802.11p; é altamente escalável; e pode ser instalado tanto na plataforma Windows quanto no Linux.

3) NCTUns (*National Chiao University Network Simulator*)

O simulador NCTUns prove um ambiente unificado para o desenvolvimento de simulações para redes veiculares. Além disso, a sua *interface* gráfica robusta, permite que veículos e protocolos sejam implementados de uma maneira mais fácil. Seus resultados podem ser visualizados por meio de gráficos e animações disponíveis no próprio simulador (HUSSAIN; SAEED, 2013).

O NCTUns foi desenvolvido inicialmente apenas como um simulador de rede, mas em suas últimas versões, o recurso de mobilidade foi adicionado. Ele é capaz de simular diversos protocolos disponíveis em redes *wireless* e cabeadas. Apresenta também uma *interface* gráfica eficiente, em que é possível controlar diversos aspectos, como: criação da topologia de rede; configuração do protocolo usado nos nós; especificar a rota dos veículos; criar gráficos de desempenho, dentre outros (PATEL, 2012).

A codificação necessária para o seu funcionamento e a utilização de seus recursos não são difíceis, porém a sua configuração é complexa. Ressalta-se que esse simulador funciona apenas na plataforma Linux, mais especificamente no Fedora 9. O número máximo de nós possíveis que podem ser implementados em uma simulação no NCTUns é 4096 (MITTAL; CHOUDHARY, 2014).

Os resultados gerados pelo NCTUns apresentam um alto grau de fidelidade, proporcionado pela utilização da camada de protocolos TCP/IP do Linux. A sua compatibilidade com diversos padrões de rede também agrega maiores vantagens para esse simulador. Dentre os padrões suportados, destacam-se: IEEE 802.11b; IEEE 802.11e; IEEE 802.16d; IEEE 802.16e; IEEE 802.11p; dentre outros (MARTINEZ et al., 2011).

4) Comparação entre os Simuladores Integrados

O Quadro 11 mostra uma comparação entre as características dos simuladores integrados apresentados. O principal objetivo dessa comparação é apresentar os aspectos mais relevantes dos simuladores que hoje são considerados o estado da arte no campo das redes veiculares.

Quadro 11 - Comparativo entre os Simuladores Integrados

	GrooveNet	TraNS	NCTUns
Suporte ao IEEE 802.11p	Sim	Sim	Sim
Gerador de Tráfego	GrooveNet	SUMO	NCTUns
Gratuito	Sim	Sim	Versão 7 Não
Interface Gráfica	Sim	Sim	Sim
Desenvolvimento Contínuo	Sim	Sim	Sim
Fácil de Usar	Difícil	Moderado	Fácil
Exemplos Disponíveis	Sim	Sim	Sim
Fácil de Configurar	Moderado	Moderado	Difícil
Linguagem de Programação	C++	Java	C++

Fonte: O Autor

5.3. Métricas para avaliação de desempenho

A utilização de métricas na avaliação de desempenho dos protocolos de roteamento para redes veiculares é necessário para avaliar diferentes aspectos de seu funcionamento. Tal avaliação, possibilita discutir cada uma de suas características e peculiaridades (CHAN, 2010).

As métricas também podem ser utilizadas para averiguar a eficiência dos protocolos em diferentes tipos de cenários. Isso permite, por exemplo, saber se um determinado protocolo está sendo eficiente durante o processo de entrega de pacotes e durante a definição das rotas (MUSTAFA; RAJA, 2010).

Existem diversas métricas, porém as cinco principais apresentadas na literatura são: taxa de transferência de pacotes; taxa de entrega de pacotes; tempo médio de atraso; *jitter* médio do pacote; e a quantidade média de saltos. A seguir são apresentadas cada uma delas, segundo a abordagem adotada por Chan (2010).

5.3.1. Taxa de Transferência de Pacotes

A taxa de transferência de pacotes, conhecida também como *Packet Throughput*, pode ser calculada por meio da seguinte equação:

$$TTP = \frac{P_{recebido} \times P_{tamanho}}{T_{recebido} - T_{enviado}}$$

A sigla *TTP* se refere a taxa de transferência de pacotes, já o $P_{recebido}$ diz respeito ao total de pacotes recebidos no nó de destino, $P_{tamanho}$ é o tamanho dos pacotes recebidos, $T_{enviado}$ e $T_{recebido}$ referem-se respectivamente ao tempo em que o primeiro pacote foi enviado e o tempo em que o último pacote foi recebido. Essa métrica é geralmente utilizada para indicar o nível de eficiência do protocolo de roteamento estudado.

5.3.2. Taxa de Entrega de Pacotes

A taxa de entrega de pacotes, conhecida também como *Packet Delivery Ratio* (PDR), pode ser calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$TEP = \frac{P_{recebidos}}{P_{enviados}}$$

A sigla *TEP* refere-se a taxa de entrega de pacotes, $P_{recebidos}$ ao total de pacotes recebidos pelo nó de destino, e $P_{enviados}$ ao total de pacotes enviados na simulação. Essa métrica é utilizada para indicar o nível de eficiência do serviço de roteamento. Assim, quanto maior for essa taxa, melhor será a eficiência do serviço de roteamento em garantir a entrega dos pacotes.

5.3.3. Tempo Médio de Atraso

O tempo médio de atraso ou *Average Delay Time* é uma métrica essencial para a avaliação de protocolos de roteamento, pois quanto maior for o seu valor, maior será o atraso na comunicação entre o emissor e o receptor da mensagem. Cada tipo de aplicação possui uma taxa de atraso aceitável, nos sistemas VoIP, por exemplo, essa taxa é de 150ms.

Para calcular o tempo médio de atraso, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$TMA = \frac{\sum_{i=1}^{P_{recebido}} (R_i - T_i)}{P_{recebido}}$$

A sigla *TMA* significa Tempo Médio de Atraso, já $P_{recebido}$ refere-se ao total de pacotes recebidos pelo nó de destino. Por fim, R_i e T_i referem-se, respectivamente, ao tempo em que um pacote foi recebido e enviado.

5.3.4. Jitter Médio do Pacote

O Jitter Médio do Pacote ou *Average Packet Jitter* é uma medida utilizada para calcular a variação de atraso do pacote. Para isso, é utilizado a seguinte fórmula:

$$JMP = \frac{\sum_{i=1}^{P_{recebido}} (C_i - P_i)}{P_{recebido}}$$

Nessa fórmula, *JMP* refere-se a Jitter Médio do Pacote, $P_{recebido}$ é expresso pelo número de pacotes recebidos, C_i e P_i referem-se, respectivamente, ao tempo de atraso atual e ao tempo de atraso anterior.

5.3.5. Quantidade Média de Saltos

Esse cálculo serve para identificar a quantidade média de saltos que um pacote percorreu até chegar ao seu destino. No entanto, essa métrica é indicada somente para experimentos que envolvam o mínimo de retransmissão de pacotes possível. Para calcular o seu valor, a seguinte fórmula é utilizada:

$$QMS = \frac{P_{enviados_mac}}{P_{agente_enviados}}$$

As siglas existentes nessa fórmula podem ser definidas da seguinte maneira: *QMS* refere-se à quantidade média de saltos, *P_{enviados_mac}* é o número de pacotes enviados para a camada MAC, e *P_{agente_enviados}* é a transmissão total de pacotes feita pela camada agente.

6. METODOLOGIA

Nos tópicos a seguir são apresentados os métodos utilizados neste trabalho. O item 6.1 apresenta uma análise bibliométrica do estado da literatura no que tange as redes veiculares. No item 6.2 é apresentado o relato de caso sobre os hospitais Sírio-libanês e Albert Einstein, e sobre a Polícia Militar do Estado de São Paulo. O item 6.3 descreve os procedimentos realizados para simular os cenários urbano e rodovia. Por fim, o item 6.4 aborda o modelo de formação de conhecimento de Popper e o seu teste de falseabilidade.

6.1. Análise Bibliométrica

O método utilizado nesta pesquisa para conhecer melhor o estado da literatura sobre a comunicação entre veículos foi a análise bibliométrica. Segundo Guedes e Borschiver (2005), a análise bibliométrica pode ser entendida como uma ferramenta quantitativa que visa minimizar a subjetividade inerente à indexação e recuperação das informações, produzindo conhecimento em uma determinada área. Para Heberger, Christie e Alkin (2010), a análise bibliométrica é uma metodologia que documenta os padrões de publicações dos autores, considerando as referências que citam em seus trabalhos e as em que são citados. Deste modo, a análise bibliométrica permite que se tenham indicadores sobre a influência acadêmica em um determinado campo do conhecimento.

A análise bibliométrica realizada neste trabalho foi composta basicamente por duas etapas, a primeira delas foi a busca sistemática de publicações sobre o assunto pesquisado, ou seja, a coleta de dados; e a segunda foi a seleção dos artigos que seriam mais relevantes e aderentes ao objetivo do estudo.

Na etapa de coleta de dados foram definidas as bases de dados, os termos de busca e os tipos de publicações. As bases de dados utilizadas foram a *IEEE Xplore Digital Library* e a *Association for Computing Machinery* (ACM), pois são consideradas importantes referências para a área de estudo. Além disso, ambas estão entre as maiores associações científicas, relacionadas a área da computação, possuindo assim renome e credibilidade.

Os termos de busca definidos foram os seguintes: “vanet”; “internet of vehicles”; “inter-vehicle communication”; “connected vehicles”; “vehicle-to-vehicle communication”;

“connectivity in vehicles”; “infrastructure-to-vehicle communication”; “wireless technology in vehicles”; “road-to-vehicle communication”; e “vehicle-to-infrastructure communication”.

As buscas foram realizadas na base de dados do IEEE em outubro de 2015, pesquisando os termos em Títulos, Resumos e Palavras-chave. Foram priorizados artigos de Journals e de Conferências, o que resultou em 3296 publicações, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Quantidade de Artigos por Descritor no IEEE

Descritores	Qtd de Artigos	% de Artigos
Vanet	2168	65,78%
Internet of Vehicles	34	1,03%
Inter-Vehicle Communication	507	15,38%
Connected Vehicles	133	4,03%
Vehicle-to-Vehicle Communication	298	9,04%
Connectivity in Vehicles	1	0,03%
Infrastructure-to-Vehicle Communication	15	0,45%
Wireless Technology in Vehicles	1	0,03%
Road-to-Vehicle Communication	35	1,06%
Vehicle-to-Infrastructure Communication	104	3,15%

Fonte: O Autor

Na etapa seguinte, os dados foram importados para o programa EndNote, o que possibilitou eliminar as publicações repetidas, além de selecionar aquelas que possuíam a palavra “*routing protocol*” no título ou na palavra-chave. Como resultado, obteve-se um total de 539 artigos.

O EndNote é um programa desenvolvido pela empresa Thomson Reuters que permite organizar e gerenciar referências bibliográficas. Estas referências podem ser baixadas diretamente das bases de dados já cadastradas no sistema ou importadas das bases de dados disponíveis eletronicamente. Tanto para a *IEEE Digital Library* quanto para a *Association for Computing Machinery* foi necessário realizar as consultas diretamente em seus respectivos sites

utilizando os parâmetros de pesquisa já citados. Por fim, as referências obtidas foram exportadas para o formato de arquivo aceito pelo EndNote.

O principal motivo para a escolha e utilização do EndNote foi as diversas funcionalidades que ele possui. Existem vários filtros de pesquisa que facilitam o trabalho com grandes quantidades de referências, sendo possível criar correlações entre elas muito rapidamente. Além disso, o programa possui a possibilidade de trabalhar em conjunto com ferramentas do pacote Office, como o Word e o Excel. Portanto, todos estes recursos permitem uma análise bibliométrica mais fácil e rápida.

As buscas foram realizadas na base de dados da *Association for Computing Machinery* em novembro de 2015. Para isso, levou-se em consideração os mesmos descritores utilizados no IEEE, buscando esses termos nos títulos e nos resumos. Além disso, foram priorizadas as publicações de *Journals*, o que resultou em um total de 1606 trabalhos. A Tabela 2 apresenta o número de artigos por descritor.

Tabela 2 - Quantidade de Artigos por Descritor na ACM

Descritores	Qtd de Artigos	% de Artigos
Vanet	941	58,59%
Internet of Vehicles	17	1,06%
Inter-Vehicle Communication	325	20,24%
Connected Vehicles	55	3,42%
Vehicle-to-Vehicle Communication	182	11,33%
Connectivity in Vehicles	1	0,06%
Infrastructure-to-Vehicle Communication	8	0,50%
Wireless Technology in Vehicles	0	0
Road-to-Vehicle Communication	10	0,62%
Vehicle-to-Infrastructure Communication	67	4,17%

Fonte: O Autor

Assim como no IEEE, todos esses dados foram importados para o programa EndNote para realizar o seu tratamento. Foram excluídas as publicações repetidas, além de selecionar

aquelas que continham a palavra “*routing protocol*” em seu título. Como resultado obteve-se um total de 49 trabalhos.

Com base nas análises bibliométricas realizadas foi possível identificar a lacuna para o desenvolvimento deste trabalho. Além disso, foram gerados gráficos dos autores que mais publicam nesta área, dos periódicos em que foram publicados, dos artigos mais citados, entre outros. Dessa forma, foi possível selecionar os dez artigos mais relevantes de cada uma das bases para que fossem analisados na íntegra, apresentando assim as diferentes abordagens sobre o tema.

6.2. Relato de Caso

Para que fosse possível observar as tecnologias que estão sendo utilizadas atualmente para a comunicação entre veículos (V2V) e a comunicação entre veículos e infraestrutura (V2I) foi adotado como objeto de estudos os Hospitais Sírio-libanês e o Albert Einstein; e a Polícia Militar do Estado de São Paulo.

O principal motivo desta escolha é que as próprias características do ambiente onde estão inseridos fazem com que estes dependam da mobilidade e da conectividade como ferramentas de trabalho. Os hospitais por serem de alto padrão, segundo a visão do autor, poderiam possuir sistemas de comunicação em suas ambulâncias para transferir o diagnóstico prévio de seus pacientes para os hospitais. Deste modo, haveria um maior tempo de planejamento. Além disso, as rotas poderiam ser definidas com base em dispositivos GPS para que o tempo de atendimento fosse reduzido. Já a Polícia Militar foi escolhida devido ao sistema de consulta utilizado em suas viaturas que permite buscar informações em diversas bases governamentais. Acredita-se que a estratégia de Policiamento poderia ser definida com base na localização de suas viaturas. Deste modo, a comunicação entre elas e a base seria de fundamental importância. A seguir são relatadas as informações colhidas em cada um deles.

Hospital Sírio-libanês e Hospital Albert Einstein

Para tentar realizar o estudo nestes hospitais, duas profissionais conhecedoras de suas operações internas e das tecnologias existentes em cada um deles foram contatadas por telefone e por e-mail.

O objetivo do contato foi tentar conseguir uma visita nestes hospitais para conhecer as tecnologias utilizadas em suas ambulâncias, o que na concepção do autor já deveria ser uma realidade para o padrão destes hospitais. No entanto, o autor foi informado que nenhum deles possui sistemas de comunicação integrados aos seus veículos que possibilitem a troca de informações entre as ambulâncias ou entre as ambulâncias e os hospitais. Em ambos os casos, toda a comunicação é feita via rádio, não existindo nenhum outro tipo de tecnologia alternativa. Tal fato acabou inviabilizando a visita, mas por outro lado ajudou a mostrar o quanto a comunicação entre veículos ainda merece ser estudada e desenvolvida no Brasil.

Polícia Militar do Estado de São Paulo

A Polícia Militar do Estado de São Paulo conta com o maior Centro de Telecomunicações da América Latina (CSM/MTEL), o qual é responsável por toda área de telecomunicações da Polícia Militar do Estado de São Paulo. Isto permite que eles utilizem tecnologia de ponta em seus projetos, sendo considerada uma referência para o setor. Deste modo, as tecnologias por eles utilizadas e aqui apresentadas são o que há de mais atual no estado, e conseqüentemente no Brasil.

Como critério de escolha dos profissionais, foram selecionados aqueles que são responsáveis pelas respectivas áreas. Portanto, o relato aqui apresentado trata-se de uma descrição das principais tecnologias utilizadas pela Polícia Militar do Estado de São Paulo. Para isso, as informações foram colhidas em três setores diferentes: no Centro de Telecomunicações da PM (CSM/MTEL), no Centro de Processamento de Dados da PM (CPD) e no Centro de Operações da PM (COPOM). O Quadro 12 apresenta a caracterização dos profissionais entrevistados.

Quadro 12 - Caracterização dos Profissionais da PM

PATENTE	FORMAÇÃO	TEMPO DE PM	TEMPO NA FUNÇÃO
PROFISSIONAIS RESPONSÁVEIS PELO CENTRO DE TELECOMUNICAÇÕES DA PM			
Major	Bacharelado em Ciências Policiais de Segurança e Ordem Pública - Academia da Polícia Militar do Barro Branco (1993); Bacharelado em Ciências Jurídicas - UNIBAN (2008).	22 Anos	08 Anos
Capitão	Técnico em Eletrônica - Academia da Polícia Militar do Barro Branco; Bacharel em Direito; Engenheiro Elétrico.	25 Anos	04 Anos
PROFISSIONAL RESPONSÁVEL PELO CENTRO DE PROCESSAMENTO DE DADOS DA PM			
Tenente 1	Bacharel em Segurança Pública pela Academia Militar do Barro Branco; Bacharel em Direito pela UNIBAN; Pós Graduada em Direito Público, Penal e Processo Penal pelo Damásio; e em Direito Militar pela LFG; Em TIC possui curso de ITIL V.39 FOUNDATION E PRATICIONER; COBIT; ISO 20.000; e Perícia em equipamento de TIC pela DATA SECURIT.	15 Anos	07 Anos
PROFISSIONAL RESPONSÁVEL PELO CENTRO DE OPERAÇÕES DA PM			
Tenente 2	Bacharel em Ciências Policiais de Segurança e Ordem Pública; Bacharel em Direito.	11 Anos	04 Anos

Fonte: O Autor

Centro de Telecomunicações da PM (CSM/MTEL)

A visita ao Centro de Telecomunicações da PM foi realizada no dia 19/03/15 com a presença de um Major e um Capitão. Após apresentar os objetivos deste trabalho, os dois explanaram sobre a comunicação via rádio, visto que é uma das tecnologias utilizadas em suas viaturas.

A comunicação via rádio é utilizada na maioria de suas aplicações que são críticas, ou seja, que dependem do monitoramento em tempo real do que está acontecendo. Além disso, o principal protocolo de comunicação no qual elas se baseiam é o APCO-25.

O APCO-25 é um protocolo de comunicação aberto voltado para a segurança pública e sua origem é americana. O principal motivo dos americanos terem desenvolvido este protocolo é devido a sua boa qualidade e grande abrangência. Tais características permitiram que os Estados Unidos conseguisse integrar todas as suas forças armadas. Nos dias atuais, cerca de 90% do território americano é coberto por este protocolo.

Outro protocolo de comunicação bastante similar ao APCO-25 é o protocolo TETRA. Este protocolo é de origem Europeia e por possuir baixa abrangência de sinal é utilizado em outros tipos de situações, como por exemplo, em aeroportos.

O funcionamento dos sistemas de rádio da PM inicia-se a partir do terminal da viatura, que aciona uma antena repetidora responsável por direcionar o sinal para um controlador central, denominado *master site*; responsável por entregar o sinal ao destinatário.

Os equipamentos como repetidores, geradores, dentre outros, são responsáveis por fornecer a sua situação atual de funcionamento. Quando se trata de telefonia, a central é capaz de saber em tempo real qual viatura está realizando uma chamada e intercepta-la a qualquer momento.

Essas informações são obtidas por meio de sistemas localizados na própria central. Tais sistemas apresentam os dados de maneira a facilitar o seu entendimento. No caso do monitoramento dos equipamentos as cores verde, amarela e vermelha são utilizadas como indicadores, ou seja, verde está tudo funcionando, amarelo precisa de atenção e o vermelho algo não está funcionando direito e precisa ser aberto um chamado.

A principal tecnologia utilizada para realizar a comunicação entre os equipamentos e a central é o *link* de micro-ondas. Esta tecnologia geralmente é utilizada para conectar dispositivos em áreas distantes. No entanto, a chuva pode atrapalhar o seu desempenho.

Entre os principais motivos de falha em seus sistemas estão à própria topologia da região que pode influenciar na comunicação e o desgaste natural dos módulos de potência dos repetidores. Para evitar maiores problemas é seguido uma rotina de manutenção preventiva a cada 3 meses, deste modo, é possível manter a taxa de manutenção corretiva baixa, inferior a 2%. Porém, caso venha a ocorrer algum problema em seus dispositivos, as empresas fornecedoras são obrigadas a substituí-los o mais rápido possível.

As principais dificuldades enfrentadas estão relacionadas ao custo destas tecnologias que é bastante alto e ao pequeno número de fornecedores disponíveis no mercado. Toda esta tecnologia é importada e os seus principais representantes são: Harris, Atait e Motorola. Além disso, existe um órgão chamado TIA (*Telecommunications Industry Association*) que é responsável por definir e padronizar as especificações que os

fornecedores devem seguir de modo a proporcionar uma melhor integração entre seus dispositivos e o protocolo APCO-25.

Os investimentos futuros preveem a substituição da tecnologia de rádio pela tecnologia *Long-Term Evolution*, também conhecida como 4G. Deste modo, a taxa de transmissão poderá aumentar significativamente, dos atuais Kbps para Mbps. Assim, haverá uma maior possibilidade de compartilhamento de vídeo, áudio e texto pelas viaturas. Isto proporcionará o surgimento de uma nova gama de aplicações como: envio de imagens por câmeras e teleconferência.

Outro aspecto que acaba viabilizando a adoção desta tecnologia é justamente a necessidade de integração das informações da polícia militar com a de outros órgãos como, por exemplo: o metro, a CPTM, o corpo de bombeiro e a guarda civil metropolitana. O que existe hoje é somente uma tentativa de trabalho conjunto, pois estes apenas estão alocados em um mesmo lugar que é o COPOM. No entanto, suas redes ainda trabalham de forma isolada.

Centro de Processamento de Dados da PM (CPD)

A visita ao Centro de Processamento de Dados da PM foi realizada no dia 06/05/15. A Tenente explanou sobre os dispositivos de computação embarcada utilizados nas viaturas da PM, pois o CPD é responsável pelo desenvolvimento destas tecnologias. Portanto, as informações descritas abaixo foram informadas pela profissional.

A principal plataforma de computação embarcada que eles utilizam é o chamado terminal móvel para viaturas ou terminal móvel de dados (TDM). Basicamente, existem dois tipos de terminais de dados para viaturas, aqueles que possuem o rastreamento integrado no próprio hardware e outro em que o rastreamento é feito via software, uma solução desenvolvida internamente. Os principais fabricantes destes dispositivos são as empresas New Brasil, que vende os equipamentos da MaxTrack, e a Nastek, ambas nacionais. Estes equipamentos utilizam o sistema operacional Android.

A utilização destes terminais ocorre por meio de um Software chamado COPOM Online. Este sistema possui diversos recursos que são liberados por níveis de acesso; ou seja: o usuário só enxerga as ferramentas que são necessárias à realização de sua tarefa.

Nas viaturas, por exemplo, é possível realizar pesquisas sobre antecedentes criminais utilizando o RG, averiguar a documentação do veículo via placa, e saber se um determinado veículo é produto de furto. Para isso, o sistema realiza suas buscas em base de dados governamentais, como o da Receita Federal e o do Detran.

No entanto, para que o policial consiga acessar e realizar estas consultas no sistema é necessário que ele informe o seu RE (nº de identificação do policial na corporação). Após, é apresentada uma tela de boas-vindas com o nome e as informações de quem realizou o acesso. E para que esses dados apareçam no software, é necessário que seja realizado o cadastro das viaturas e dos policiais que estão em serviço no dia.

Este cadastro é feito por meio de outro aplicativo chamado SIOPM Web. Geralmente é executado por policiais específicos para a função (território ou viatura). Uma das características deste programa é alimentar o sistema que envia as informações para o Copom Online, o SI-RH. Deste modo, observa-se que existe uma integração entre os sistemas citados e o dispositivo embarcado. Esta comunicação é feita por meio de uma tecnologia denominada *Access Point Name* (APN), utilizada somente para liberar a patrulha. Já as pesquisas realizadas nos terminais são dependentes da tecnologia 2G.

A situação atual se deve a um decreto baixado pelo Governador do Estado que exige que seus sistemas utilizem apenas tecnologias que apresentem a maior área de cobertura possível. Neste caso, o 2G se mostra mais indicado, visto que devido a sua “simplicidade” permite que esteja presente em áreas que até então não possuem tecnologias alternativas como o 3G ou o 4G.

Entretanto, a PM já desenvolve um projeto em tecnologia 3G com suporte para slot 4G. Além disso, todas as viaturas serão equipadas com um *Hot Spot* para o compartilhamento do sinal de Internet, permitindo que os policiais consigam conectar-se por meio de seus dispositivos móveis. No entanto, esta é uma ideia um tanto quanto futurista levando em consideração a situação econômica atual e a regulamentação vigente.

Atualmente, o máximo que seus dispositivos conseguem transmitir é texto e fotos, porém este último caso é raro, visto que o *link* de comunicação é limitado. Deste modo, quando ocorrem perdas de sinais e para evitar que os servidores fiquem sobrecarregados, as informações são armazenadas em uma pequena memória capaz de suportar certa

quantidade de dados e localizações, e quando o sinal é reestabelecido, estas informações são divididas em pequenos pacotes e enviadas.

Centro de Operações da PM (COPOM)

A visita ao Centro de Operações da PM foi realizada no dia 06/05/15. O Tenente explanou sobre as operações realizadas pelo COPOM diariamente. Portanto, as informações descritas abaixo foram levantadas junto a este profissional.

Assim como no Centro de Processamento de Dados, os policiais do Centro de Operações da Polícia Militar (COPOM) também utilizam o sistema SIOPM, porém na versão *desktop*. Uma das curiosidades sobre o COPOM é que ele é considerado o maior da América Latina e um dos maiores do mundo. Este fato se dá devido ao número de chamadas “190” recebidas, que giram em torno de 40.000 chamadas diárias. Além disso, desde março de 2015, o COPOM também recebe as chamadas “193” (corpo de bombeiros).

Desta forma, o SIOPM em sua versão *desktop* serve justamente para cadastrar estas chamadas. Além disso, este sistema conta com um recurso denominado árvore de decisões, esta função possibilita que o conhecimento dos atendentes seja nivelado, pois as perguntas solicitadas aos cidadãos já estão previamente estabelecidas. Deste modo, é possível determinar a gravidade do chamado e as ações mais adequadas para enfrentá-lo.

As chamadas abertas são direcionadas automaticamente para a cabine do responsável pela região, que deverá enviar a viatura mais próxima ao local do chamado. Para isso, o próprio sistema sugere a viatura e a sua localização é determinada pelo sinal de GPS do Terminal Móvel de Dados. Entretanto, cabe ao atendente aceitar ou não a sugestão.

Devido à qualidade do *link* de comunicação presente nos terminais de dados móveis, o acionamento da viatura é feito pelo setor de despacho do COPOM via rádio, com menor probabilidade de falha.

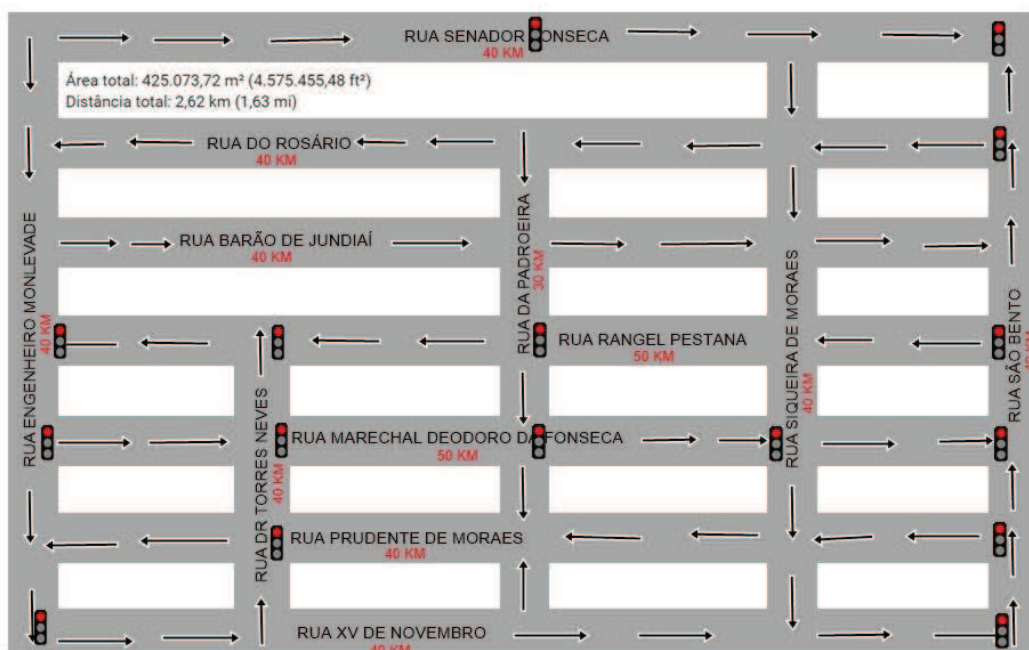
6.3. Simulação

Considerando a complexidade da instalação e configuração de algumas ferramentas para a análise e simulação de protocolos de roteamento em redes veiculares, no Apêndice A é demonstrado esses procedimentos para cada uma das ferramentas adotadas nesse estudo. Vale ressaltar que nenhuma das literaturas consultadas para o desenvolvimento desse trabalho possuem esse tipo de explanação, o que segundo a visão do autor, dificulta a reprodução dos estudos realizados. Portanto, nesse trabalho buscou-se demonstrar cada um desses passos detalhadamente, para facilitar a sua reprodução.

6.3.1. Simulando o ambiente urbano

O ambiente urbano simulado nesse trabalho foi o centro da cidade de Jundiaí, localizada no estado de São Paulo. Para isso, as principais ruas da cidade foram consideradas, as informações sobre a topologia dessas ruas, semáforos e velocidade máxima permitida foram obtidas do serviço de mapas do google. O principal motivo para a escolha dessa região é que ela representa um cenário tipicamente urbano, com várias ruas paralelas sendo cruzadas por ruas perpendiculares, o que é uma característica bastante comum em centro de grandes cidades. A Figura 24 apresenta o mapa da região.

Figura 24 - Mapa do Centro de Jundiaí

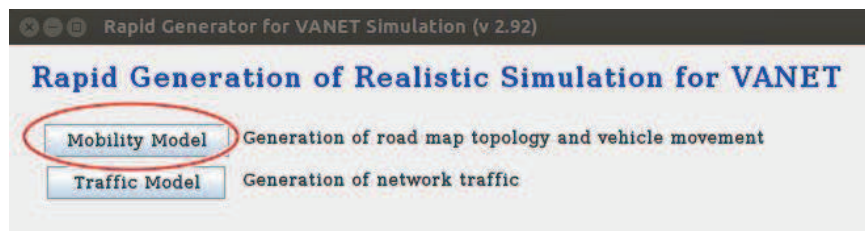


Fonte: O Autor

Para a realização da simulação, dois horários diferentes foram definidos, um com alta densidade veicular e outro com baixa densidade veicular. Desse modo, foi considerado como tráfego intenso o horário das 17:00 às 20:00, sendo que a velocidade média nesse período é de 10 km/h (2,78 m/s) com 500 entidades (veículos). Já o período de tráfego normal considerado foi das 13:00 às 15:00, com velocidade média de 40 km/h (11,11 m/s) e 200 entidades (veículos).

O primeiro passo necessário para a realização da simulação é a criação do mapa, neste caso, o de Jundiaí. Portanto, a ferramenta MOVE auxiliará em sua construção. Para isso, o primeiro passo é abrir a ferramenta e escolher a opção “*Mobility Model*”, conforme apresentado na Figura 25.

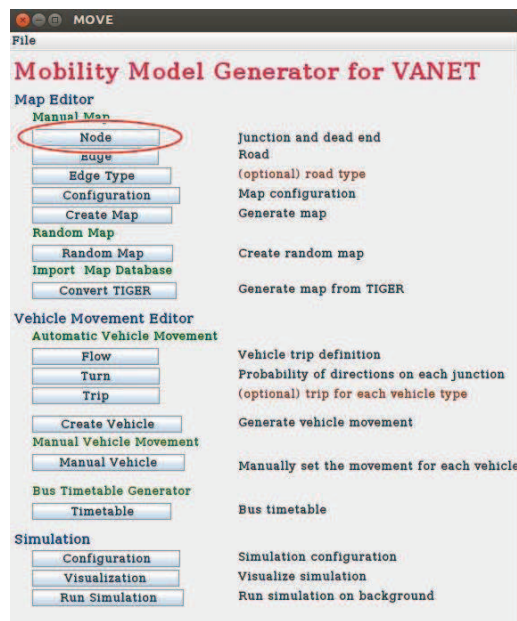
Figura 25 - Criação do Mapa (Modelo de Mobilidade)



Fonte: O Autor

Na próxima tela, deve-se selecionar a opção “*Node*”, conforme apresentado na Figura 26. Essa opção é responsável por criar os pontos de cruzamento existentes no mapa.

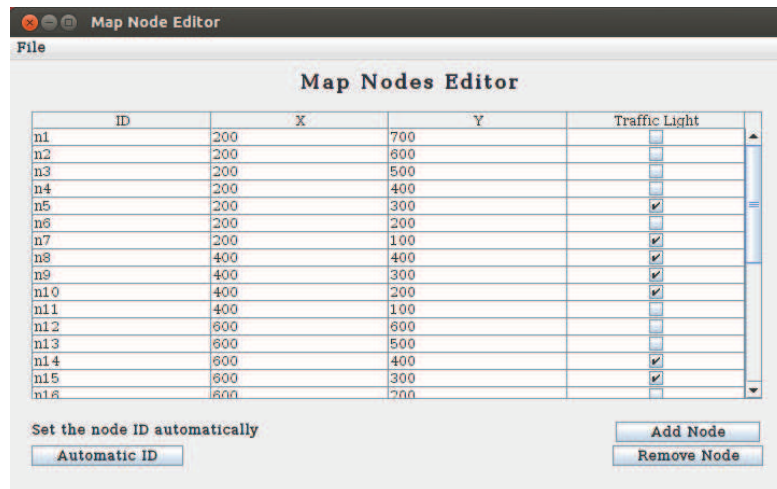
Figura 26 – Opção para criar os pontos de cruzamento



Fonte: O Autor

Observe que o mapa de Jundiaí possui um total de 31 pontos de cruzamentos. A localização desses pontos deve ser devidamente informada no editor, para isso, utiliza-se números decimais. Também é possível informar qual desses cruzamentos possui semáforos, isso fará com que os veículos parem naquele determinado ponto. Após salvar essas configurações, o editor criará um arquivo com a extensão (.nod.xml). A Figura 27 apresenta a definição dos pontos de cruzamento.

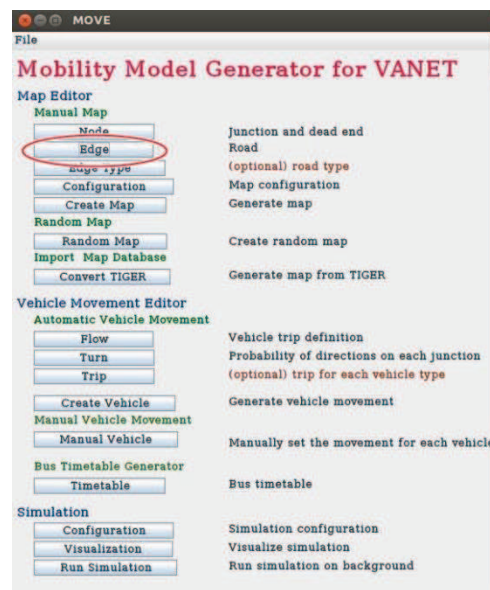
Figura 27 - Definição dos Pontos de Cruzamento



Fonte: O Autor

O próximo passo é realizar a interligação dos pontos de cruzamento criados anteriormente. Para isso, seleciona-se a opção “Edge”, conforme apresentado na Figura 28.

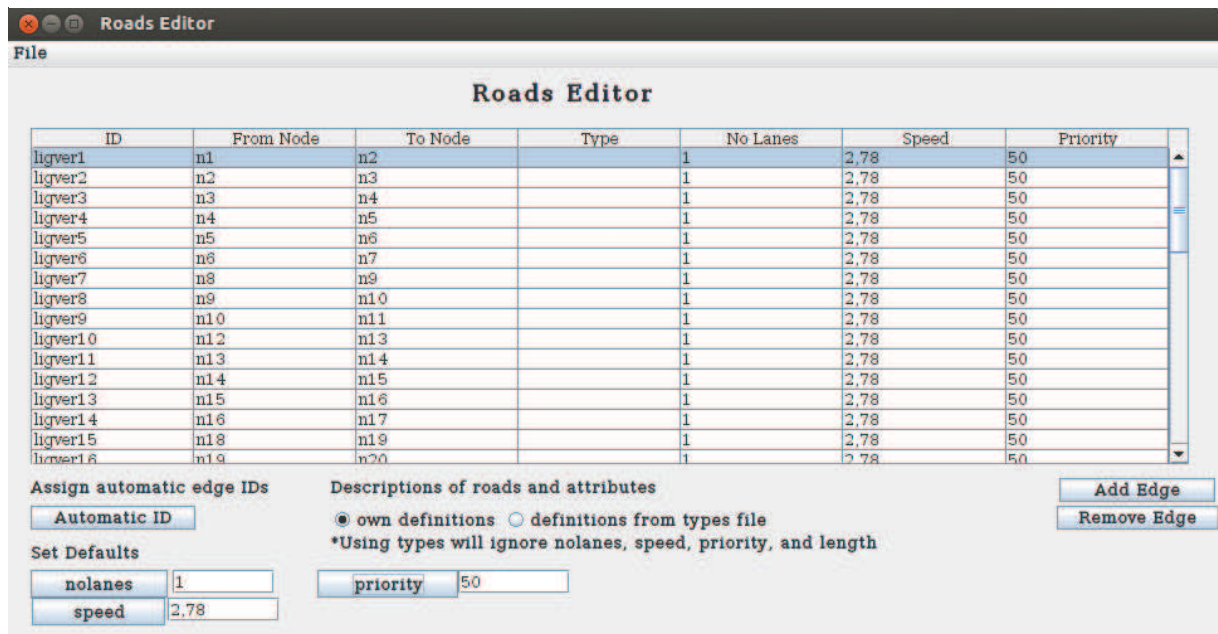
Figura 28 - Opção para interligar os pontos de cruzamento



Fonte: O Autor

Na próxima tela, cria-se as ruas com as suas respectivas características, como: prioridade, número de faixas e velocidade. Em número de faixas deve ser informado a quantidade de faixas que a rua possui, a velocidade indica a maior velocidade possível que os veículos podem trafegar em metros por segundo. Já a prioridade indica a probabilidade que os veículos terão de virar nessa rua quando encontrar um cruzamento. A primeira simulação realizada refere-se ao tráfego intenso, portanto a velocidade informada nessa tela é 2,78 m/s que é referente a 10 km/h. Ao salvar essas informações, é criado um arquivo com a extensão (.edg.xml). A Figura 29 apresenta essas configurações.

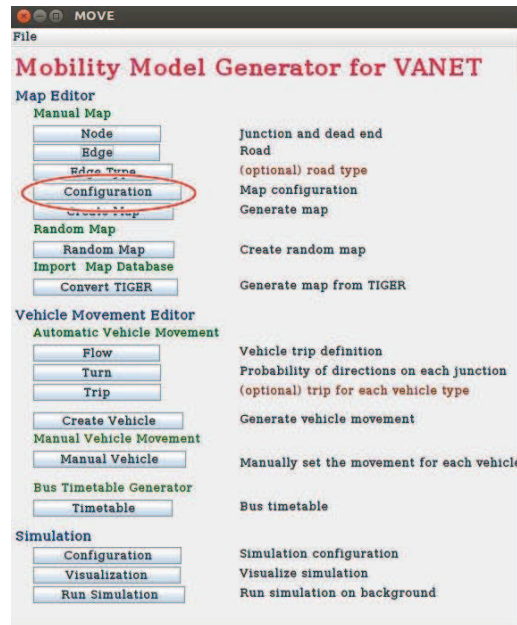
Figura 29 - Configurando a Interligação dos Pontos de Cruzamento



Fonte: O Autor

O passo seguinte é criar o arquivo de configuração, contendo os pontos de cruzamentos definidos anteriormente e as suas respectivas ligações. Para isso, acessa-se a opção “*Configuration*” na tela principal do MOVE, conforme apresentado na Figura 30.

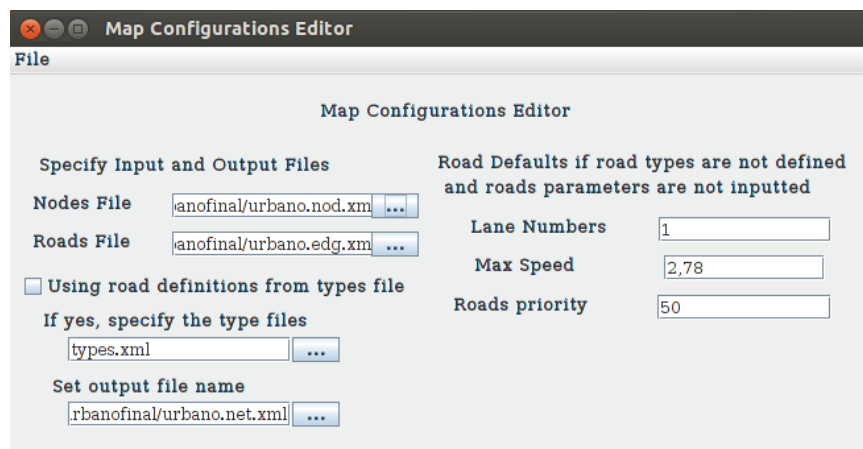
Figura 30 - Criação do Arquivo de Mapa



Fonte: O Autor

Posteriormente é necessário especificar os arquivos criados anteriormente, ou seja, o arquivo dos pontos de cruzamento (.nod.xml) e o arquivo que interliga esses pontos (.edg.xml). Ao salvar as informações, também é preciso informar a localização em que será salvo o arquivo de configuração (.netc.cfg) que será criado. A Figura 31 apresenta a tela de configuração com as informações já preenchidas.

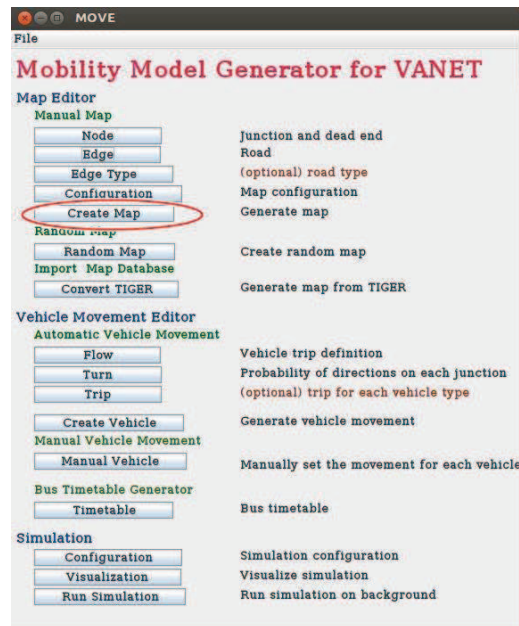
Figura 31 - Criação do Arquivo de Configuração



Fonte: O Autor

Após concluídos os passos anteriores, é possível criar o arquivo de mapa. Para isso, seleciona-se a opção “*Create Map*” na tela principal do sistema, conforme apresentado na Figura 32.

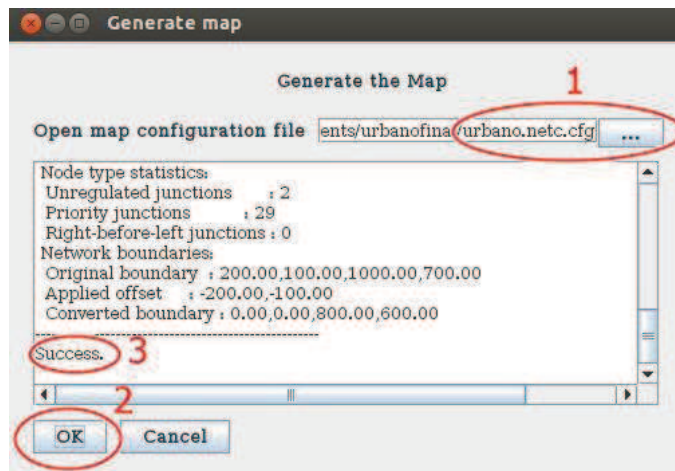
Figura 32 - Opção para criar o arquivo de mapa



Fonte: O Autor

Para criar o arquivo de mapa (.net.xml), deve-se selecionar o arquivo de configuração (.netc.cfg) criado na etapa anterior e clicar no botão “OK”. Caso tudo ocorra bem, uma mensagem de sucesso será apresentada, conforme mostrado na Figura 33.

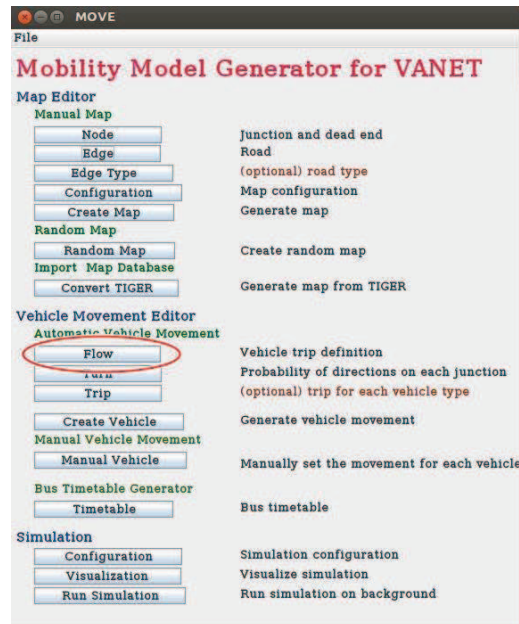
Figura 33 - Criação do Arquivo de Mapa



Fonte: O Autor

Após a criação do arquivo de mapa, a próxima etapa é a definição do fluxo de veículos que irão trafegar por esse mapa. Essa opção está disponível a partir do menu do menu “Flow”, localizado na tela principal. A Figura 34 apresenta a localização dessa opção.

Figura 34 - Opção para criar o fluxo de veículos



Fonte: O Autor

Na tela seguinte são definidos os fluxos de veículos, ou seja, a quantidade de veículos que partirá de um ponto a outro do mapa. Para isso, o tempo inicial e final de cada fluxo deve ser informado, ou seja, o tempo em que os veículos começam e param de trafegar. Nesse momento, o cenário representado é de alta densidade, portanto serão definidos cinco fluxos com cem veículos cada, o que totaliza quinhentos veículos. As cinco principais ruas da cidade de Jundiáí foram tomadas como base para que os veículos comecem a trafegar por elas no instante “0” da simulação. As ruas escolhidas foram: Rua Senador Fonseca, Rua Barão de Jundiáí, Rua Rangel Pestana, Rua Marechal Deodoro da Fonseca e Rua XV de Novembro. Além disso, o tempo total de simulação foi definido como seiscentos segundos, o que equivale a dez minutos. Ao salvar essas informações, um arquivo com o fluxo de veículos é criado possuindo a extensão (.flow.xml). A Figura 35 apresenta as informações referentes ao fluxo de veículos adotada na simulação com tráfego intenso.

Figura 35 - Definição do Fluxo de Veículos

Vehicle Flows Definitions

ID	From Edge	To Edge	Begin	End	No Vehicles
fluxo1	lighor1	lighor2	0	600	100
fluxo2	lighor6	lighor8	0	600	100
fluxo3	lighor9	lighor12	0	600	100
fluxo4	lighor13	lighor16	0	600	100
fluxo5	lighor21	lighor24	0	600	100

Assign Automatic Flow IDs

Set Defaults

begin	<input type="text" value="0"/>
end	<input type="text" value="600"/>
vehicles	<input type="text" value="100"/>

Fonte: O Autor

Além da definição do fluxo de veículos, a probabilidade de um veículo virar ou não em um determinado cruzamento também deveria ser controlada. A ferramenta solicita o nome das ligações em que as ruas se encontram e a probabilidade em porcentagem do veículo virar no cruzamento, porém esse recurso não funciona corretamente. Qualquer valor definido diferente de zero fará com que todo o fluxo de veículos seja redirecionado para aquele cruzamento. No entanto, como esse arquivo é obrigatório na simulação, foram definidos quatro cruzamentos. Essa foi a maneira encontrada para distribuir o tráfego da forma mais natural possível. Após salvar essas configurações, um arquivo com a extensão (.turn.xml) é criado. A Figura 36 apresenta as configurações realizadas.

Figura 36 - Cruzamento vs Probabilidade

Junction Turning Probability Editor

File

Junctions Turning Ratios Editor

Begin	End	From Edge	To Edge	Percentage
0	600	lighor1	ligver15	0.0
0	600	lighor6	ligver11	0.0
0	600	lighor10	ligver12	0.0
0	600	lighor15	ligver19	0.0

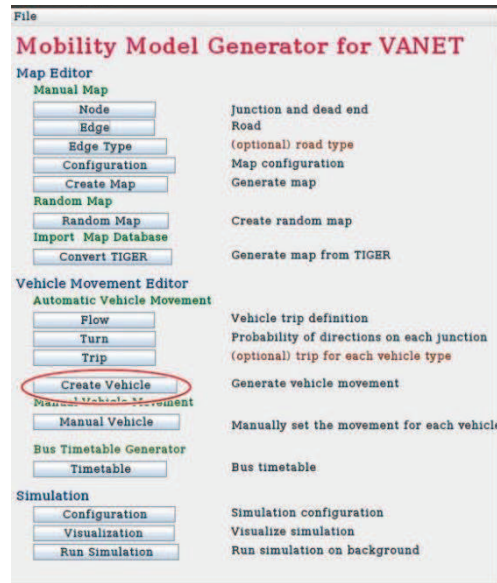
Set Defaults

begin	<input type="text" value="0"/>
end	<input type="text" value="600"/>

Fonte: O Autor

O próximo passo é criar a movimentação dos veículos dentro do mapa estabelecido. Para isso, seleciona-se a opção “*Create Vehicle*” no menu principal do sistema, conforme apresentado na Figura 37.

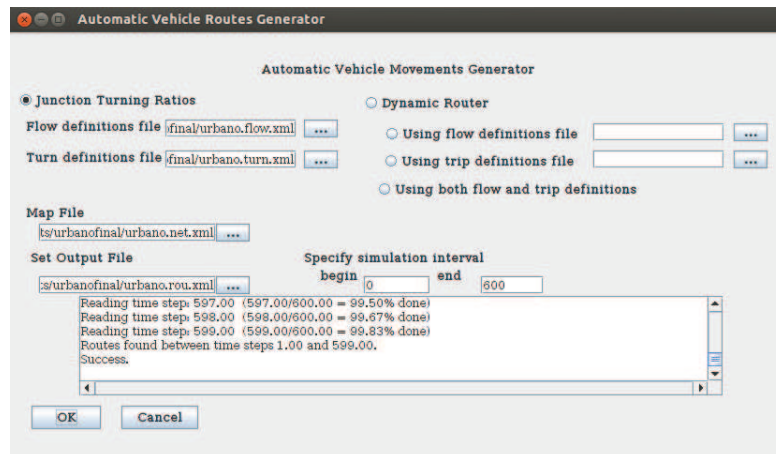
Figura 37 - Criação da movimentação dos veículos



Fonte: O Autor

Na tela seguinte, escolhe-se a opção “*Junction Turning Ratios*” e informa-se a localização dos arquivos de fluxo, cruzamento e mapa. Além disso, selecione a pasta em que será salvo o arquivo de rotas (.rou.xml). Caso tudo tenha ocorrido bem, será apresentada uma mensagem de sucesso. A Figura 38 apresenta as opções informadas.

Figura 38 - Criando o movimento dos veículos



Fonte: O Autor

Por padrão, os veículos não trafegam na última rua pertencente a sua rota. Para resolver isso, o arquivo (.rou.xml) precisa ser editado. O parâmetro *arrivalpos*= “-1” deve ser acrescentado para todas as definições de veículos, conforme apresentado na Figura 39. Salvar o arquivo com as alterações.

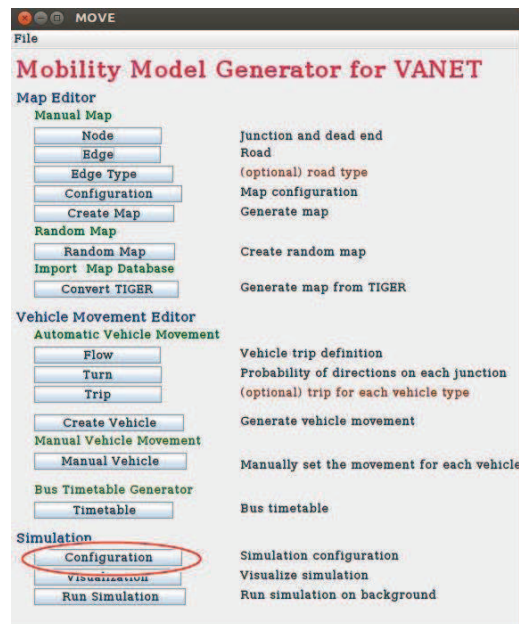
Figura 39 - Edição do Arquivo de Rotas

```
<vehicle id="fluxo1_0" depart="0.00" arrivalpos="-1">
  <route edges="lighor1 lighor2 ligver21 ligver22 ligver23 ligver24 ligver25 ligver26"/>
</vehicle>
<vehicle id="fluxo2_0" depart="0.00" arrivalpos="-1">
  <route edges="lighor6 ligver11 ligver12 lighor15 ligver19 lighor20 ligver26"/>
</vehicle>
<vehicle id="fluxo3_0" depart="0.00" arrivalpos="-1">
  <route edges="lighor9 ligver7 lighor14 ligver13 ligver14 lighor23 lighor24"/>
</vehicle>
<vehicle id="fluxo4_0" depart="0.00" arrivalpos="-1">
  <route edges="lighor13 lighor14 ligver13 ligver14 lighor23 lighor24"/>
</vehicle>
<vehicle id="fluxo5_0" depart="0.00" arrivalpos="-1">
  <route edges="lighor21 lighor22 lighor23 lighor24"/>
</vehicle>
<vehicle id="fluxo1_1" depart="6.00" arrivalpos="-1">
  <route edges="lighor1 ligver15 ligver16 ligver17 ligver18 ligver19 lighor20 ligver26"/>
</vehicle>
```

Fonte: O Autor

Após a movimentação dos veículos ser definida, já é possível criar o arquivo de configuração (.sumo.cfg) para ver a simulação rodando em modo gráfico no ambiente SUMO. Para isso, acesse a opção “*Configuration*” no menu principal do sistema, conforme apresentado na Figura 40.

Figura 40 - Criando o arquivo de configuração



Fonte: O Autor

Para criar o arquivo de configuração, a localização do arquivo de mapa (.map.xml) e de rotas (.rou.xml) precisa ser fornecido. Além disso, deverá ser escolhida uma pasta para salvar o arquivo de *trace*. Esse arquivo contém informações sobre a simulação e será utilizado mais tarde para criar o arquivo (.tcl) que será usado pelo simulador de rede NS2. No entanto, para que esse arquivo seja gerado é necessário marcar a opção “*Set Output (Trace File)*”. A Figura 41 apresenta as opções escolhidas nessa etapa.

Figura 41 - Criando o arquivo de configuração para o SUMO



Fonte: O Autor

Após ser criado o arquivo de configuração do SUMO (.sumo.cfg), já é possível ver a simulação de mobilidade funcionando em modo gráfico. Para isso, execute o sumo e escolha a opção “*Open Simulation*”. Após, selecione o arquivo de configuração criado anteriormente. A simulação será carregada e os veículos começarão a transitar pelas vias projetadas no mapa. A Figura 42 mostra uma comparação entre o mapa real e o projetado por meio do MOVE.

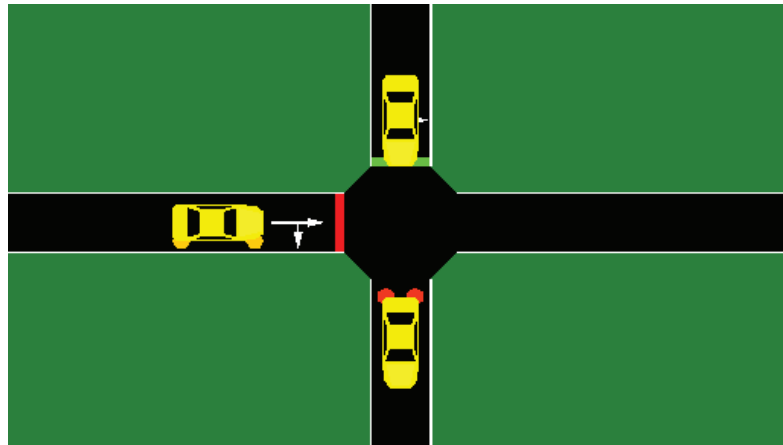
Figura 42 - Comparação entre o Mapa Real e o Desenvolvido no MOVE



Fonte: O Autor

Para se observar o mapa com maiores detalhes, existe o recurso de Zoom no SUMO, o que possibilita aproximar partes do mapa para observar suas características com um maior nível de detalhes. Na Figura 43, pode-se observar os veículos, o cruzamento com semáforos e o sentido da via de uma maneira mais nítida.

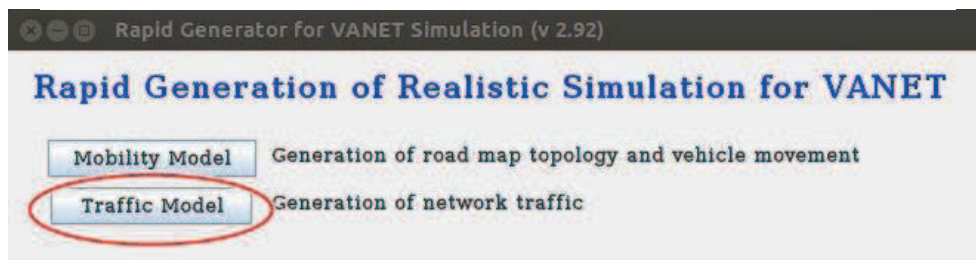
Figura 43 - Detalhamento de partes do mapa



Fonte: O Autor

O próximo passo da simulação é criar o arquivo (.tcl) a ser utilizado pelo simulador de rede NS2 para gerar o arquivo de *trace* com os resultados da simulação. Para isso, seleciona-se a opção “*Traffic Model*”, conforme apresentado na Figura 44.

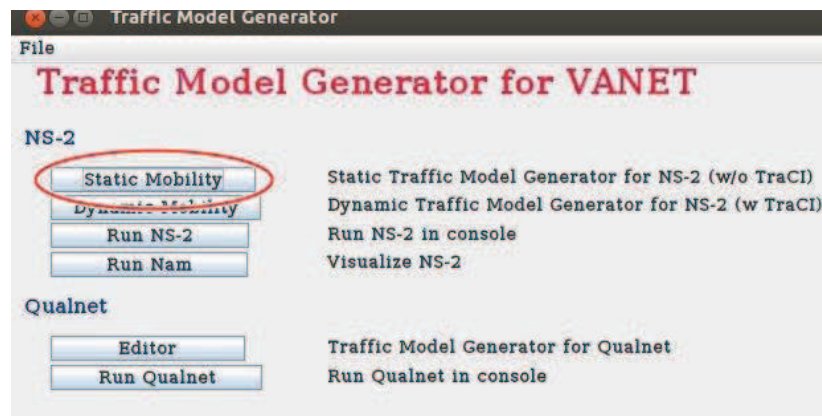
Figura 44 – Criação do arquivo TCL



Fonte: O Autor

Na tela seguinte, existem duas sessões, uma para o simulador NS2 e outra para o simulador Qualnet. Dentre as opções voltadas para o NS2, deve-se escolher a opção “*Static Mobility*”. A Figura 45 apresenta a sua localização.

Figura 45 - Opção para criação do arquivo TCL



Fonte: O Autor

Para a criação do arquivo (.tcl), é necessário importar dois arquivos que foram criados anteriormente: o arquivo de trace do MOVE (.sumo.tr) e o arquivo de mapa (.map.xml). Para isso, no menu seleciona-se a opção “File” e em seguida “Import MOVE Trace”. Após os dados serem importados, as opções para a criação do arquivo TCL devem ser informadas. Para essa simulação, as opções escolhidas estão descritas no Quadro 13.

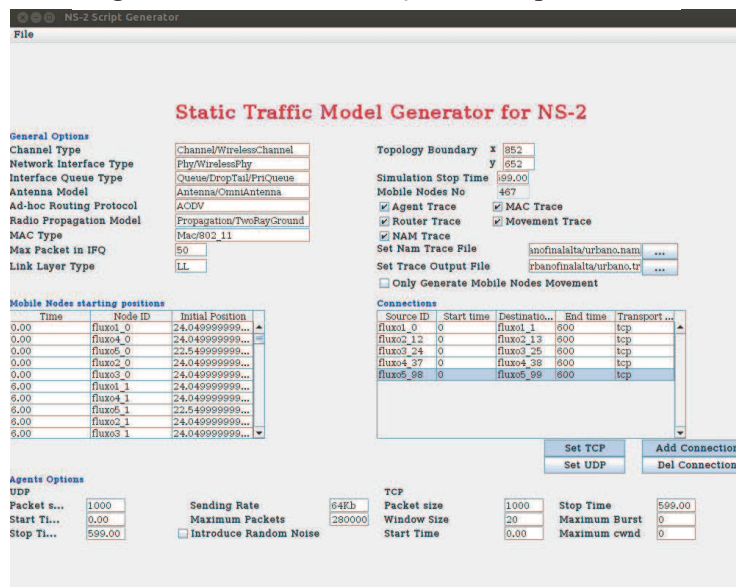
Quadro 13 - Configurações da Simulação - Ambiente Urbano (Alta Densidade e Baixa Velocidade)

Parâmetro	Valor
Tipo de Canal	Wireless
Tipo da Interface de Rede	Wireless Física
Protocolo de Roteamento	AODV
Tipo de Interface de Fila	Fila Prioritária
Número Máximo de Pacotes na Fila	50
Número de Veículos Utilizados	500
Dimensões da Topografia	852 x 652
Tempo da Simulação	600 segundos
Tipo de Tráfego	TCP
Número de Faixas	1
Velocidade	2,78 m/s
Protocol MAC	IEEE 802.11

Fonte: O Autor

Após todas as configurações serem definidas, a tela de criação do arquivo (.tcl) deverá ficar semelhante a apresentada na Figura 46. Após salvar essas configurações, o arquivo será criado.

Figura 46 - Tela de Criação do Arquivo TCL



Fonte: O Autor

Para carregar o arquivo (.tcl) no simulador de rede NS2, abre-se o terminal de comando e na pasta onde se salvou o arquivo, executa-se o seguinte comando: `ns <nome>.tcl`. O parâmetro <nome>, deverá ser substituído pelo nome do arquivo. A Figura 47 apresenta a execução do arquivo (.tcl) no simulador NS2.

Figura 47 - Execução do arquivo TCL no NS2

```

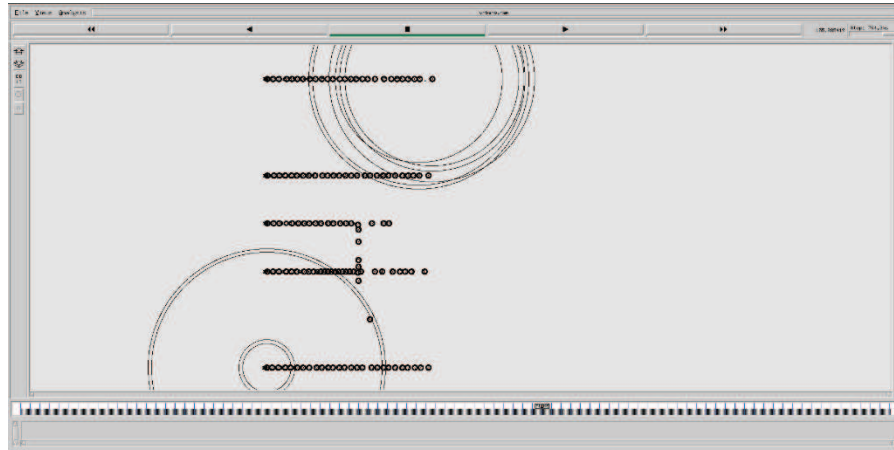
simulacao@simulacao-pc ~/Documents/urbanofinal
simulacao@simulacao-pc~/Documents/urbanofinal$ ns urbano.tcl
num_nodes is set 214
INITIALIZE THE LIST xlistHead
Starting Simulation...
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distCST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
NS EXITING...
simulacao@simulacao-pc~/Documents/urbanofinal$

```

Fonte: O Autor

Ao final do processo, dois arquivos são criados: o arquivo do *Network Animator* (.nam) e o arquivo de *trace* (.tr) com os dados da simulação. O *Network Animator* permite visualizar de forma gráfica a comunicação entre os veículos, conforme apresentado na Figura 48. Já o arquivo de *trace* será utilizado pela ferramenta TraceGraph para gerar os gráficos de desempenho do protocolo estudado dentro do ambiente proposto.

Figura 48 - Comunicação entre os veículos



Fonte: O Autor

Para realizar a simulação do cenário urbano com baixa densidade e alta velocidade, foram utilizados os mesmos procedimentos descritos anteriormente. No entanto, os parâmetros referentes ao número de veículos e velocidade foram alterados à fim de caracterizar um ambiente com baixa densidade e alta velocidade. O Quadro 14 apresenta as configurações adotadas nessa etapa.

Quadro 14 - Configurações da Simulação - Ambiente Urbano (Baixa Densidade e Alta Velocidade)

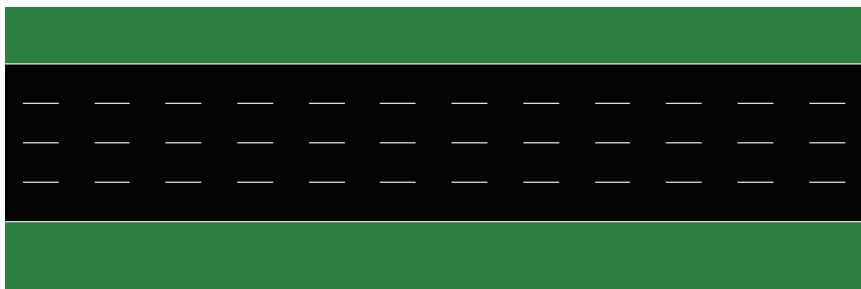
Parâmetro	Valor
Tipo de Canal	Wireless
Tipo da Interface de Rede	Wireless Física
Protocolo de Roteamento	AODV
Tipo de Interface de Fila	Fila Prioritária
Número Máximo de Pacotes na Fila	50
Número de Veículos Utilizados	200
Dimensões da Topografia	852 x 652
Tempo da Simulação	600 segundos
Tipo de Tráfego	TCP
Número de Faixas	1
Velocidade	11,11 m/s
Protocol MAC	IEEE 802.11

Fonte: O Autor

6.3.2. Simulando o ambiente de rodovia

O Cenário de rodovia apresenta uma disposição mais simples das vias. Para representar esse cenário, nesse trabalho utilizou-se um desenho hipotético de uma rodovia com quatro faixas, todas para o mesmo sentido. A densidade de veículos e a velocidade utilizadas neste cenário foram definidas com base em dados estatísticos referentes a rodovia Bandeirantes no trecho Jundiaí – São Paulo. Para isso, foram consultadas as informações no site da AutoBan (www.autoban.com.br), o que permitiu caracterizar dois cenários distintos, um com baixa densidade e alta velocidade e outro com alta densidade e baixa velocidade. A Figura 49 ilustra o cenário utilizado neste trabalho.

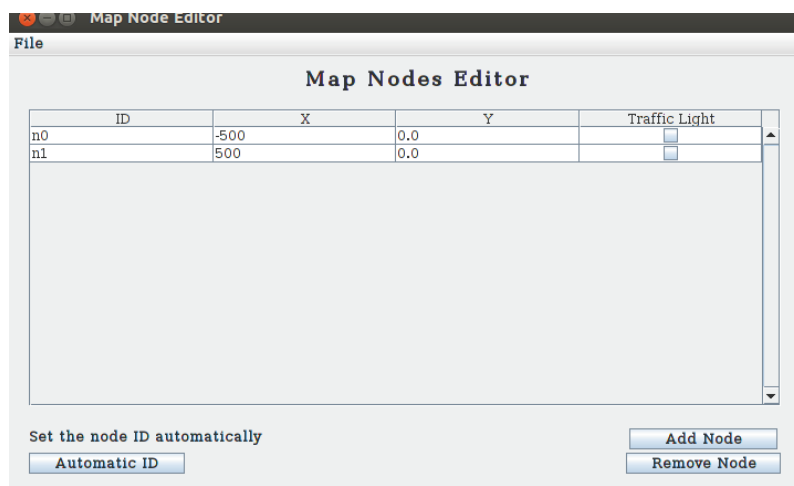
Figura 49 - Mapa do Cenário de Rodovia



Fonte: O Autor

Para representar o cenário acima mostrado, o primeiro passo é criar os nós existentes na rodovia. Esses nós são os pontos onde ela começa e termina. Para isso, deve ser utilizado o editor de nós presente na ferramenta MOVE. A Figura 50 apresenta a criação desses pontos.

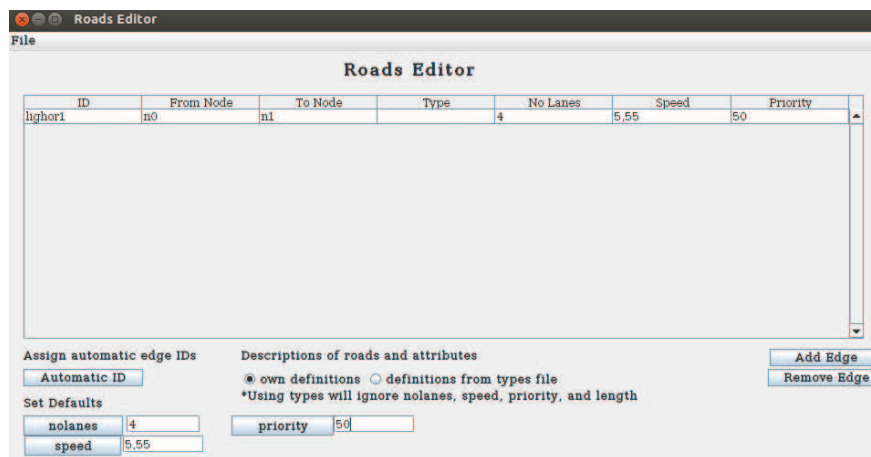
Figura 50 - Definição do ponto inicial e final da rodovia



Fonte: O Autor

Após os pontos serem definidos, será necessário interligá-los. Para isso, o editor de estradas deverá ser utilizado (Figura 51). Nessa etapa, os parâmetros utilizados são iguais para todas as densidades, exceto a velocidade, pois quanto maior for a densidade menor será a velocidade praticada. As velocidades consideradas nas simulações de rodovia foram de 20 km/h (5,55 m/s) para alta densidade e 90 km/h (25 m/s) para baixa densidade.

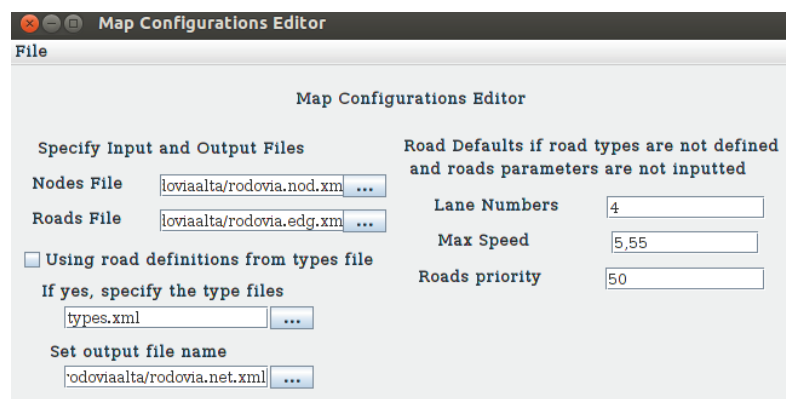
Figura 51 - Interligação dos Pontos



Fonte: O Autor

Com o arquivo de nós (.nod.xml) e o arquivo de interligação (.edg.xml) criados, deve-se criar o arquivo de configuração do mapa (.netc.cfg). Nesse ponto, o editor de configuração de mapa deverá ser utilizado. Informe a localização dos dois arquivos citados, escolha um local para que o arquivo de mapa (.net.xml) seja salvo, e salve essas informações para que o arquivo de configuração seja criado. A Figura 52 ilustra essas informações.

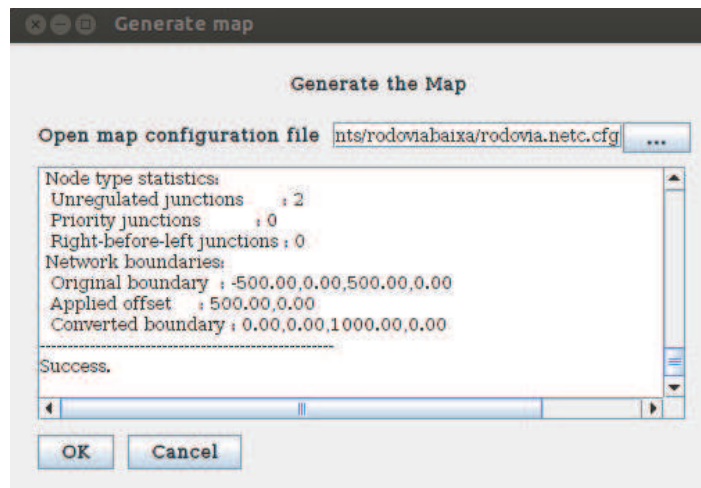
Figura 52 - Criação do Arquivo de Configuração do Mapa



Fonte: O Autor

Após a criação do arquivo de configuração do mapa, a próxima etapa é a geração do arquivo de mapa (.net.xml). Na tela de geração de mapas, selecione o arquivo de configuração criado anteriormente e clique em “OK”. A Figura 53 apresenta esse procedimento.

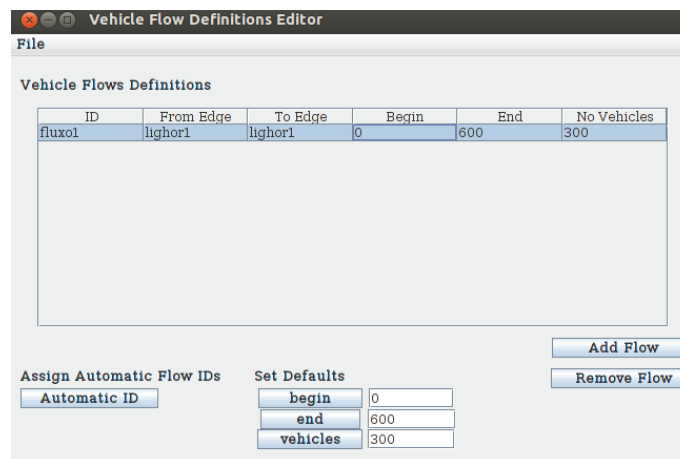
Figura 53 - Geração do Mapa de Rodovia



Fonte: O Autor

Agora que o mapa foi criado, o próximo passo é a definição do fluxo de veículos. Para isso, a quantidade de veículos e as ligações por onde eles devem trafegar precisam ser informadas. Ressalta-se que o número de veículos varia de acordo com a densidade do cenário analisado. Nesse estudo, foram considerados para o cenário de rodovia, 300 entidades (veículos) como sendo baixa densidade e 600 entidades (veículos) como alta densidade. A Figura 54 apresenta a definição do fluxo de veículos.

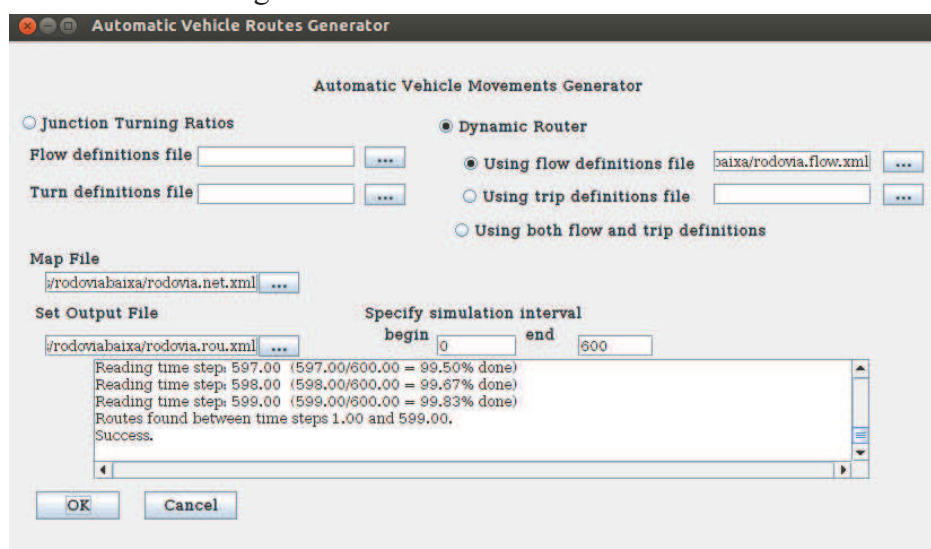
Figura 54 - Definição do Fluxo de Veículos



Fonte: O Autor

Após a criação do arquivo de fluxo (.flow.xml), o movimento dos veículos deverá ser configurado por meio do gerador de movimento dos veículos. Nesse editor, deverá ser selecionada a opção “*Dynamic Router*” e logo em seguida a opção “*Using flow definitions file*”. Após selecionar essas opções, informe a localização do arquivo de fluxo (.flow.xml) e do arquivo de mapa (.net.xml). Também deverá ser informada a localização desejada para salvar o arquivo de rotas (.rou.xml). Ao terminar, clique no botão “*OK*”. A Figura 55 apresenta as opções selecionadas.

Figura 55 - Criando a rota dos veículos



Fonte: O Autor

Assim que o arquivo de rotas (.rou.xml) estiver criado, devemos alterá-lo. Essa alteração é necessária, pois por padrão os veículos não trafegam na última rua pertencente a sua rota. Para corrigir isso, o parâmetro *arrivalpos*= “-1” deve ser adicionado às definições de todos os veículos. Além disso, como a rodovia é composta por quatro faixas, a simulação por padrão sempre irá utilizar apenas duas delas. Para que todas as faixas sejam utilizadas, o parâmetro *departlane*= “*random*” deve ser também adicionado. A Figura 56 apresenta como o arquivo deverá ficar após as alterações.

Figura 56 - Alteração do Arquivo de Rotas

```

<vehicle id="fluxo1_0" depart="0.00" arrivalpos="-1" departlane="random">
  <route edges="lighor1"/>
</vehicle>
<vehicle id="fluxo1_1" depart="2.00" arrivalpos="-1" departlane="random">
  <route edges="lighor1"/>
</vehicle>
<vehicle id="fluxo1_2" depart="3.00" arrivalpos="-1" departlane="random">
  <route edges="lighor1"/>
</vehicle>
<vehicle id="fluxo1_3" depart="5.00" arrivalpos="-1" departlane="random">
  <route edges="lighor1"/>
</vehicle>
<vehicle id="fluxo1_4" depart="7.00" arrivalpos="-1" departlane="random">
  <route edges="lighor1"/>
</vehicle>

```

Fonte: O Autor

A próxima etapa é criar o arquivo de configuração do SUMO (.sumo.cfg). Dentro do editor de configurações do simulador de tráfego, informe a localização do arquivo de mapa (.map.xml) e do arquivo de rotas (.rou.xml). Além disso, também é necessário informar a duração da simulação. A opção “*Set Output (Trace File)*” deverá ser marcada, pois assim o arquivo de trace (.sumo.tr) também será gerado. Para esse trabalho, todas as simulações foram feitas com 600 segundos. A Figura 57 apresenta as configurações para o simulador de tráfego.

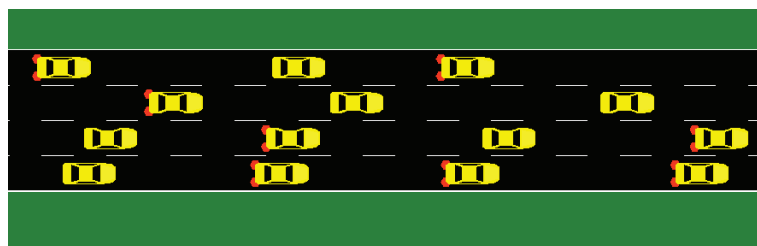
Figura 57 - Definindo as Configurações do Simulador de Tráfego



Fonte: O Autor

Após ser criado o arquivo de configuração para o SUMO, já é possível ver a simulação de mobilidade funcionando em modo gráfico. Para isso, abra o sumo e por meio de seus menus escolha a opção “*Open Simulation*” e selecione o arquivo de configuração criado anteriormente. A simulação será carregada e os veículos começarão a transitar pelas vias projetadas no mapa. A Figura 58 apresenta a movimentação dos veículos na rodovia criada.

Figura 58 - Movimentação dos Veículos



Fonte: O Autor

Para que seja possível verificar a influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular, primeiro o protocolo AODV deverá ser implementado. Para isso, o gerador de modelos de tráfego para o NS2 será utilizado. Dois arquivos precisam ser importados para a ferramenta, o arquivo de *trace* do SUMO (.sumo.tr) e o arquivo de mapa (.net.xml), portanto utilize a opção “*File*” e em seguida “*Import MOVE Trace*”. Após os dados serem importados, as opções para a criação do arquivo TCL devem ser informadas. As configurações adotadas neste estudo para a simular o cenário de rodovia com alta densidade e com baixa densidade estão descritas no Quadro 15 e no Quadro 16 respectivamente.

Quadro 15 - Configurações da Simulação - Ambiente de Rodovia (Alta Densidade e Baixa Velocidade)

Parâmetro	Valor
Tipo de Canal	Wireless
Tipo da Interface de Rede	Wireless Física
Protocolo de Roteamento	AODV
Tipo de Interface de Fila	Fila Prioritária
Número Máximo de Pacotes na Fila	50
Número de Veículos Utilizados	600
Dimensões da Topografia	1052 x 52
Tempo da Simulação	600 segundos
Tipo de Tráfego	TCP
Número de Faixas	1
Velocidade	5,55 m/s
Protocol MAC	IEEE 802.11

Fonte: O Autor

Quadro 16 - Configurações da Simulação - Ambiente de Rodovia (Baixa Densidade e Alta Velocidade)

Parâmetro	Valor
Tipo de Canal	Wireless
Tipo da Interface de Rede	Wireless Física
Protocolo de Roteamento	AODV
Tipo de Interface de Fila	Fila Prioritária
Número Máximo de Pacotes na Fila	50
Número de Veículos Utilizados	300
Dimensões da Topografia	1052 x 52
Tempo da Simulação	600 segundos
Tipo de Tráfego	TCP
Número de Faixas	1
Velocidade	25 m/s
Protocol MAC	IEEE 802.11

Fonte: O Autor

Após todas as configurações serem definidas, a tela do gerador de modelos de tráfego deverá ficar semelhante a apresentada na Figura 59. Após salvar essas configurações, o arquivo (.tcl) será criado.

Figura 59 - Criação do Arquivo TCL

The screenshot shows the 'NS-2 Script Generator' window with the 'Static Traffic Model Generator for NS-2' configuration. The interface is divided into several sections:

- General Options:** Channel/WirelessChannel, Phy/WirelessPhy, Queue/DropTail/PriQueue, Antenna/OmniAntenna, AODV, Propagation/TwoRayGround, Mac/802_11, 50, LL.
- Topology Boundary:** x 1052, y 52.
- Simulation Stop Time:** 99.00.
- Mobile Nodes No:** 300.
- Tracing Options:** Agent Trace, Router Trace, NAM Trace, MAC Trace, Movement Trace (all checked).
- Set Nam Trace File:** pdovabaixa/rodovna.nam
- Set Trace Output File:** rodovabaixa/rodovna.tr
- Only Generate Mobile Nodes Movement:** unchecked.
- Mobile Nodes starting positions:** A table with columns Time, Node ID, and Initial Position.

Time	Node ID	Initial Position
0.00	fluxo1_0	22.6 10.05 0.0
2.00	fluxo1_1	22.6 6.75 0.0
5.00	fluxo1_2	22.6 13.35 0.0
8.00	fluxo1_3	22.6 6.75 0.0
8.00	fluxo1_4	22.6 13.35 0.0
11.00	fluxo1_5	22.6 6.75 0.0
13.00	fluxo1_6	22.6 3.449999...
14.00	fluxo1_7	22.6 13.35 0.0
16.00	fluxo1_8	22.6 10.05 0.0
19.00	fluxo1_9	22.6 10.05 0.0
- Connections:** A table with columns Source ID, Start time, Destination..., End time, and Transport...

Source ID	Start time	Destination...	End time	Transport...
fluxo1_0	0	fluxo1_1	600	tcp
fluxo1_74	0	fluxo1_75	600	tcp
fluxo1_149	0	fluxo1_150	600	tcp
fluxo1_223	0	fluxo1_224	600	tcp
fluxo1_298	0	fluxo1_299	600	tcp
- Agents Options:**
 - UDP:** Packet size 1000, Start Time 0.00, Stop Time 599.00.
 - TCP:** Packet size 64Kb, Window Size 280000, Start Time 0.00, Stop Time 599.00.
 - Other options:** Sending Rate 64Kb, Maximum Packets 280000, Introduce Random Noise (unchecked), Maximum Burst 0, Maximum cwnd 0.

Fonte: O Autor

O próximo passo é carregar o arquivo (.tcl) no simulador de rede NS2. Para isso, abra o terminal de comando e navegue até a pasta onde salvou o arquivo. Estando dentro da pasta, execute o seguinte comando: `ns <nome>.tcl`. Lembre-se, o parâmetro <nome>, deverá ser substituído pelo nome do arquivo. A Figura 60 apresenta a execução do arquivo (.tcl) no simulador NS2.

Figura 60 - Execução do Arquivo TCL pelo NS2

```

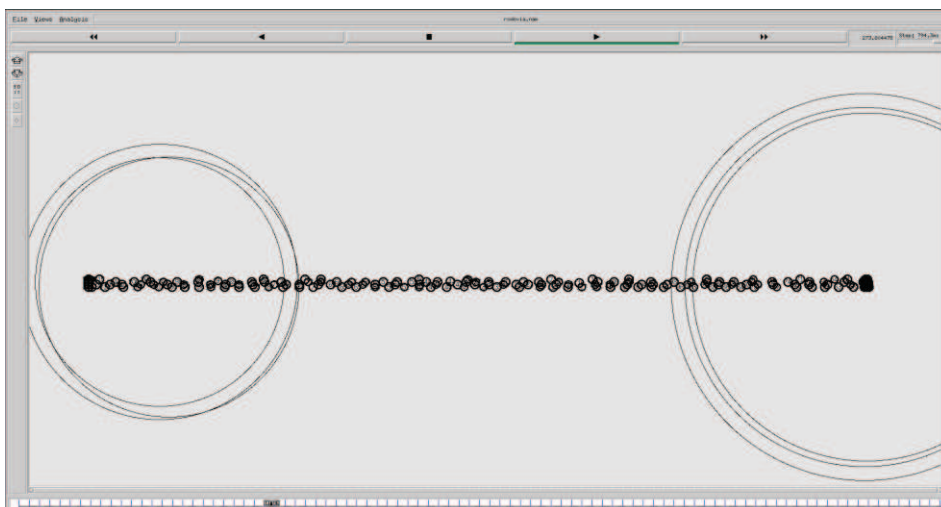
simulacao@simulacao-pc: ~/Documents/rodoviaalta
simulacao@simulacao-pc:~/Documents/rodoviaalta$ ns rodovia.tcl
num_nodes is set 799
INITIALIZE THE LIST xListHead
Starting Simulation...
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distCST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
NS EXITING...

```

Fonte: O Autor

Ao final do processo, dois arquivos serão criados: o arquivo do *Network Animator* (.nam) e o arquivo de *trace* (.tr) com os dados da simulação. O *Network Animator* permite visualizar de forma gráfica a comunicação entre os veículos, conforme apresentado na Figura 61. Já o arquivo de *trace* será utilizado pela ferramenta TraceGraph para gerar os gráficos de desempenho do protocolo estudado dentro do ambiente proposto.

Figura 61 - Comunicação entre Veículos na Rodovia



Fonte: O Autor

6.4.Karl Popper

As ciências empíricas são conhecidas por empregarem métodos indutivos, isso significa dizer que elas partem de enunciados singulares para enunciados universais, como hipóteses ou teorias. Segundo Popper, esta forma de pensamento não reflete a realidade, pois, independente do número de enunciados singulares que se tenha, qualquer conclusão colhida dessa forma pode revelar-se falsa (POPPER, 2002).

Para se opor às ideias empregadas pelos métodos indutivos, Popper propõe o chamado método dedutivo de prova, conhecido também como teste de falseabilidade. Este método pode ser entendido como um procedimento capaz de testar e selecionar hipóteses por meio de seu conteúdo informativo. Estas hipóteses poderão ser corroboradas ou refutadas pelas Observações e/ou pelo Conhecimento Acumulado (*Mental Testing*) (LISTON, 2012).

Segundo as ideias de Popper, as teorias científicas são conjecturas que poderão ser refutadas. Isso acontece porque não há forma de se provar a verdade de uma teoria científica, porém há diversas maneiras de falseá-la (SILVEIRA, 2012). Em outras palavras, pode-se dizer que não existe uma teoria correta, mas sim teorias que ainda não puderam ser falseadas e refutadas.

Neste sentido, as teorias podem ser definidas como explicações para determinados fenômenos, as quais deverão ser testadas em sua falseabilidade. Após serem verificadas, estas teorias não podem ser consideradas comprovadas, mas sim teorias que ainda não puderam ser refutadas. Portanto, a verificação de uma teoria não garante o conhecimento, apenas assegura o prosseguimento de uma investigação (ZACCARELLI; GALHARDI, 2004).

Popper (2002) indica quatro passos necessários para se colocar uma teoria a prova. Segundo o autor, é necessário em primeiro lugar a comparação lógica das conclusões umas às outras com o que se põe à prova. Em segundo lugar, deve-se investigar a forma lógica da teoria a fim de identificar se ela é empírica ou científica. Em terceiro lugar, vem a comparação com outras teorias para saber se ela realmente representa um avanço científico. Por fim, ocorre a comprovação da teoria por meio de aplicações empíricas das conclusões que dela se possam deduzir.

No entanto, para que uma teoria seja colocada à prova, primeiramente ela deve ser formulada. Para isso, Popper propõe um modelo de três estágios para formação do

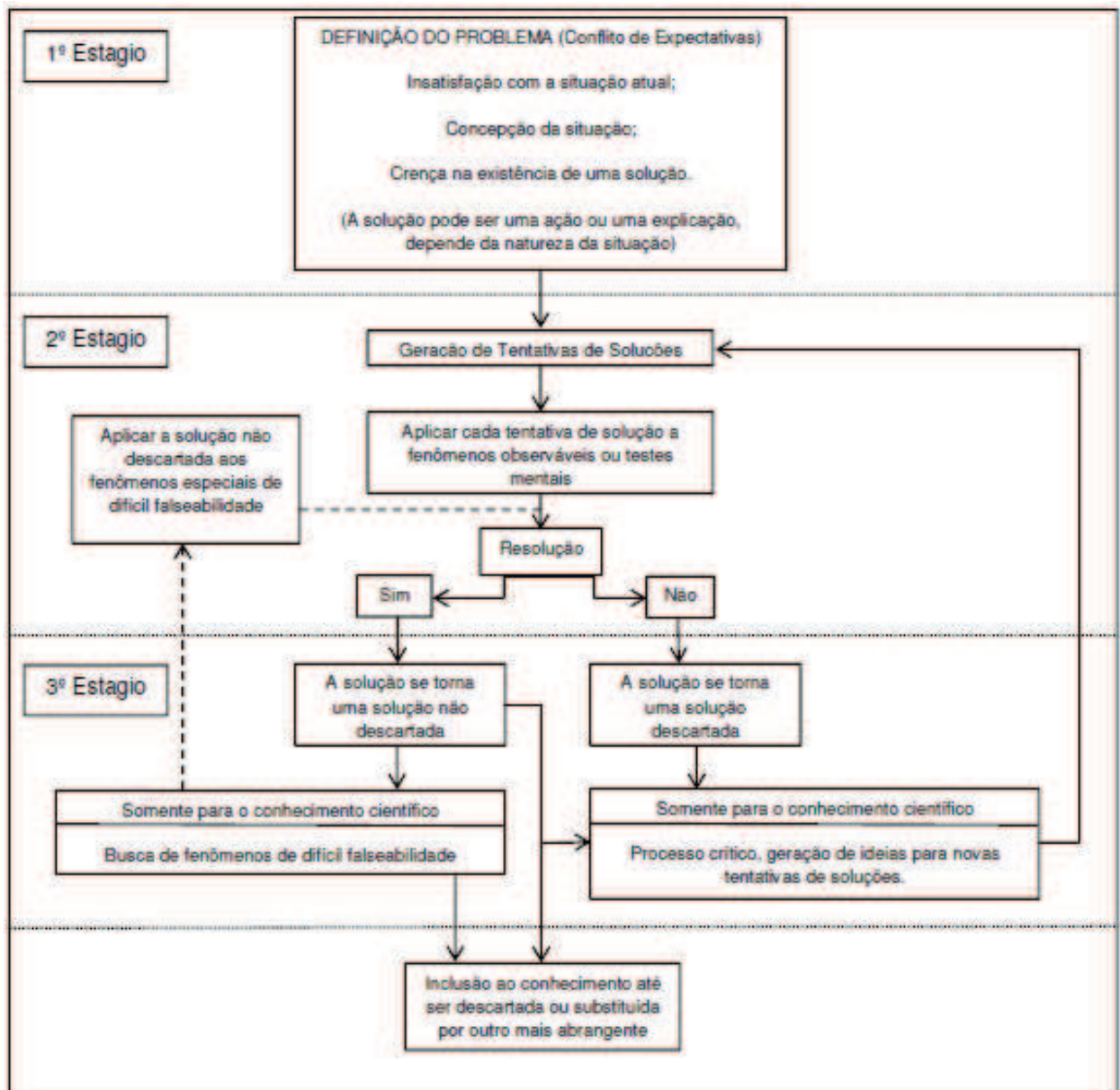
conhecimento, sendo este aplicável para os quatro tipos de conhecimento existentes: Animal, Senso Comum, Pré-Científico e Científico.

O primeiro estágio é a definição do problema, o qual é uma consequência de diferentes expectativas, pois existe uma situação insatisfatória atual e outra desejável para a qual se deseja passar. Deste modo, verifica-se que a origem do problema é consequência dos seguintes fatores: existência de uma situação conhecida e indesejável, consciência de que existe uma situação melhor ou desejada e a crença de que é possível migrar da situação insatisfatória para uma situação melhor (GALHARDI, 2005).

O segundo estágio trata da tentativa de soluções, a qual corresponde às hipóteses ou teorias existentes. Pode ser que existam várias alternativas de soluções, todas elas deverão ser testadas para que seja possível verificar sua validade (ZACCARELLI; GALHARDI, 2004).

O último e terceiro estágio é o responsável por eliminar as soluções que foram testadas e não aprovadas. Ao se eliminar uma solução outras necessariamente serão criadas e as soluções que não forem descartadas passarão a ser aceitas e inclusas na área de conhecimento até que se prove o contrário. A Figura 62 apresenta o modelo de Popper para a formação do conhecimento.

Figura 62 - Modelo para formação do conhecimento de Popper



Fonte: Zaccarelli e Galhardi (2004, p. 8)

Sabendo-se que o modelo de formação de conhecimento de Popper pode ser utilizado para os quatro tipos de conhecimento existentes, o presente trabalho visa aplicá-lo em seu desenvolvimento. Para isso, a lógica de cada um dos três estágios propostos por Popper será devidamente direcionada ao tema de pesquisa. Além disso, o teste de falseabilidade de Popper será realizado a fim de se testar a hipótese de influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos tópicos seguintes são apresentados os principais resultados da pesquisa. No item 7.1 são mostrados os resultados das análises bibliométricas por meio de gráficos e discussões. No item 7.2 são apresentados os resultados referentes ao relato de caso dos hospitais Sírio-libanês e Albert Einstein, e da Polícia Militar do Estado de São Paulo. No item 7.3 são mostrados os principais resultados obtidos por meio da simulação. Por fim, o item 7.4 apresenta o modelo de formação de conhecimento de Popper e o teste de falseabilidade aplicados a esse trabalho.

7.1. Análise Bibliométrica

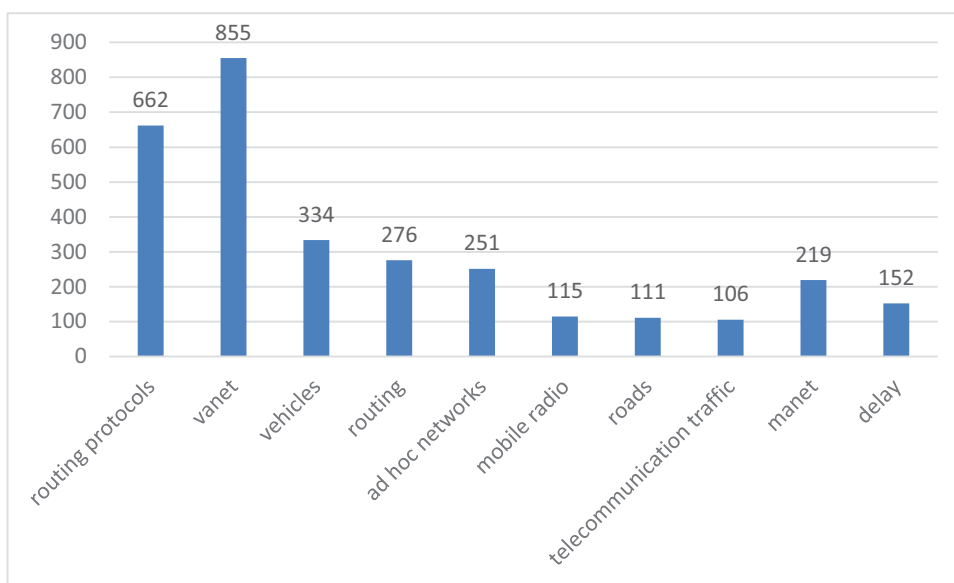
Os tópicos a seguir apresentam os resultados das análises bibliométricas realizadas nas bases de dados *IEEE Explore Digital Library* e *Association for Computing Machinery*, de modo a prover um melhor entendimento sobre o estado da literatura, permitindo também conhecer as diversas abordagens existentes sobre o tema.

7.1.1. Resultados da Análise Bibliométrica realizada no IEEE

Dos 539 artigos selecionados, 33 são artigos de *Journals (Journals & Magazines)* e 506 são artigos de conferências (*Conference Publications*).

A primeira análise apresenta a frequência das palavras-chave, para isso foi considerada as dez palavras mais citadas nestes artigos, conforme apresentado na Figura 63.

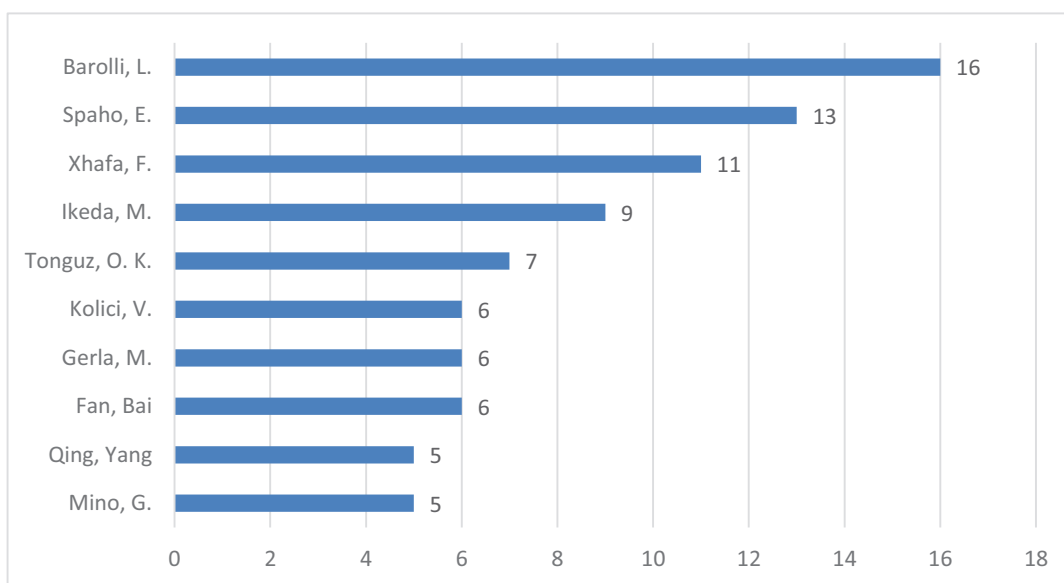
Figura 63 - Frequência das palavras-chave (as dez mais citadas)



Fonte: O Autor

A segunda análise foi realizada com o intuito de identificar os autores que mais publicam artigos relacionados com a questão da comunicação e roteamento em redes veiculares (Figura 64). Destacam-se os autores Barolli, Spaho e Xhafa.

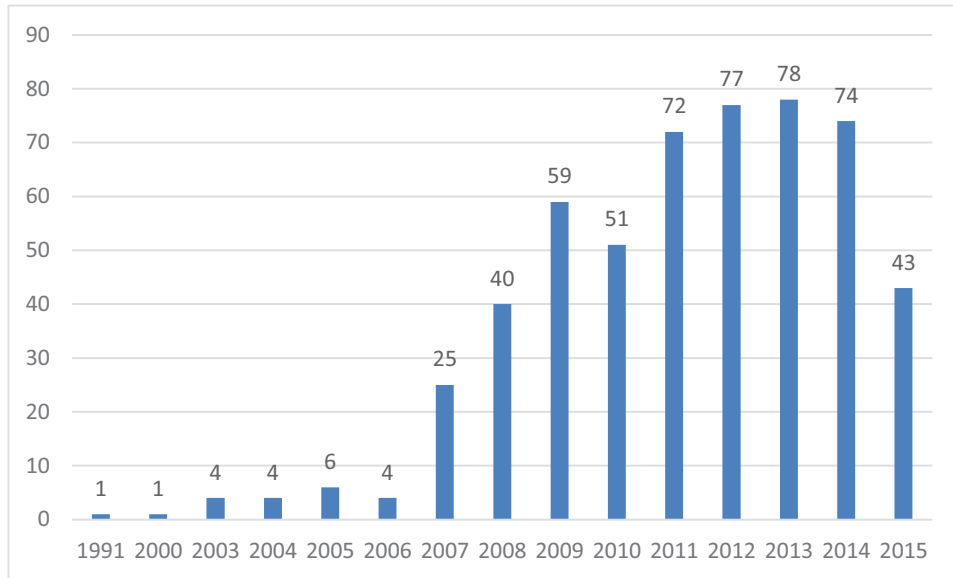
Figura 64 - Autores com mais publicações (corte de no mínimo 5)



Fonte: O Autor

A próxima análise diz respeito ao número de publicações por ano (Figura 65), onde é possível observar um aumento no número de trabalhos a respeito desse assunto com pequenas variações no decorrer do tempo.

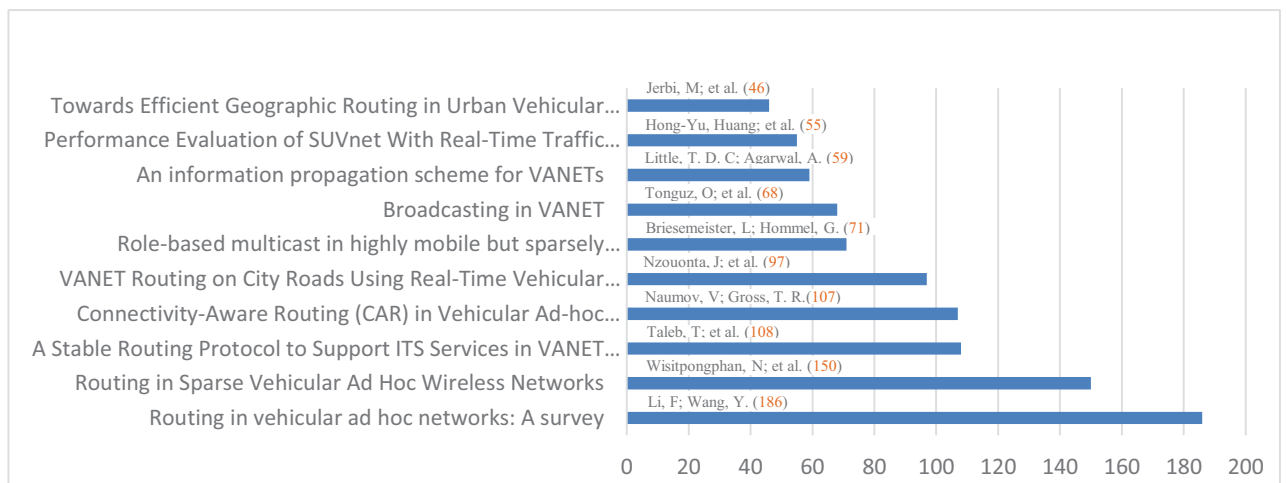
Figura 65 - Anos em que houveram publicações (n = 539)



Fonte: O Autor

Outra análise realizada se refere as publicações mais citadas (Figura 66). Foi utilizada a base de dados *IEEE Xplore Digital Library* para checar o número de citações dos artigos, a fim de selecionar os 10 mais citados na área. O número de citações por artigo, encontra-se localizado entre parênteses.

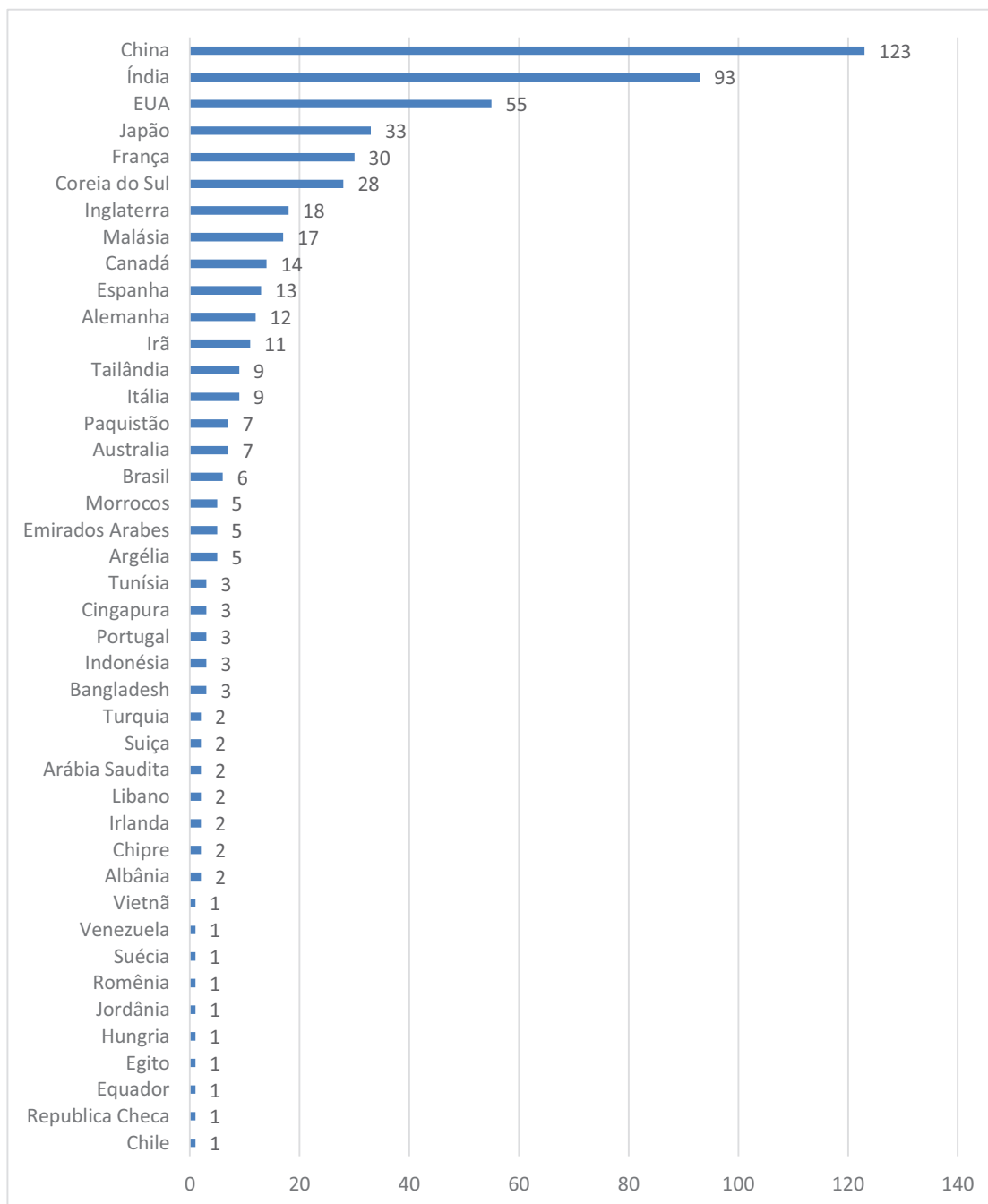
Figura 66 - Publicações mais citadas (10 principais)



Fonte: O Autor

Procurou-se também verificar as publicações por país (Figura 67). Destaca-se que a China, a Índia e os Estados Unidos possuem o maior número de publicações, seguidos do Japão e França.

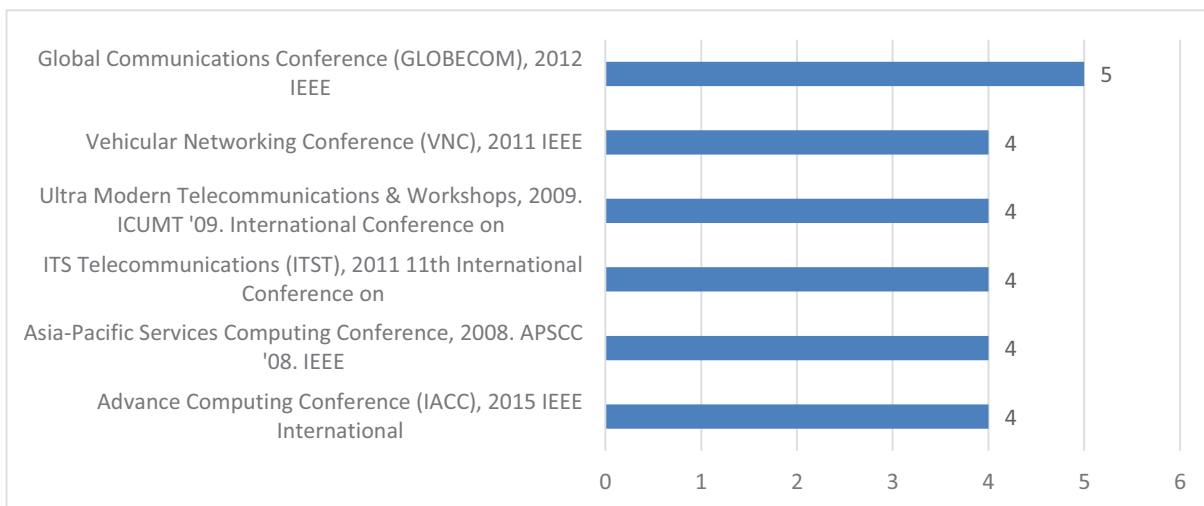
Figura 67 - Publicações por país dos artigos selecionados (n = 539)



Fonte: O Autor

Com base nos 506 artigos de Conferência, gerou-se um gráfico das conferências que obtiveram um maior número de trabalhos apresentados sobre comunicação e roteamento em redes veiculares (Figura 68).

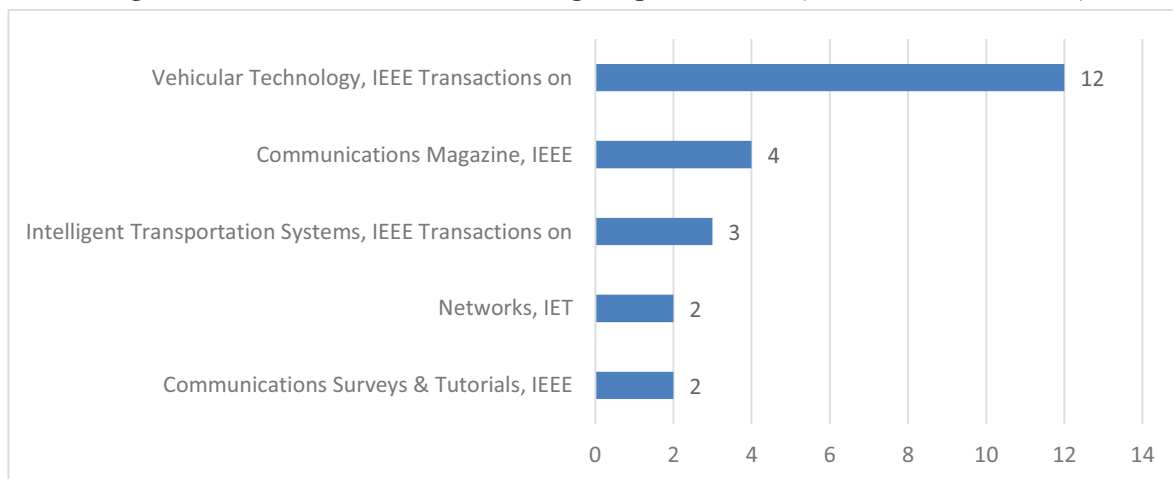
Figura 68 - Conferências com mais artigos apresentados (corte de no mínimo 4)



Fonte: O Autor

Levando em consideração os 33 artigos referentes a *Journals*, foram identificados os periódicos que apresentaram o maior número de trabalhos publicados sobre comunicação e roteamento em redes veiculares (Figura 69).

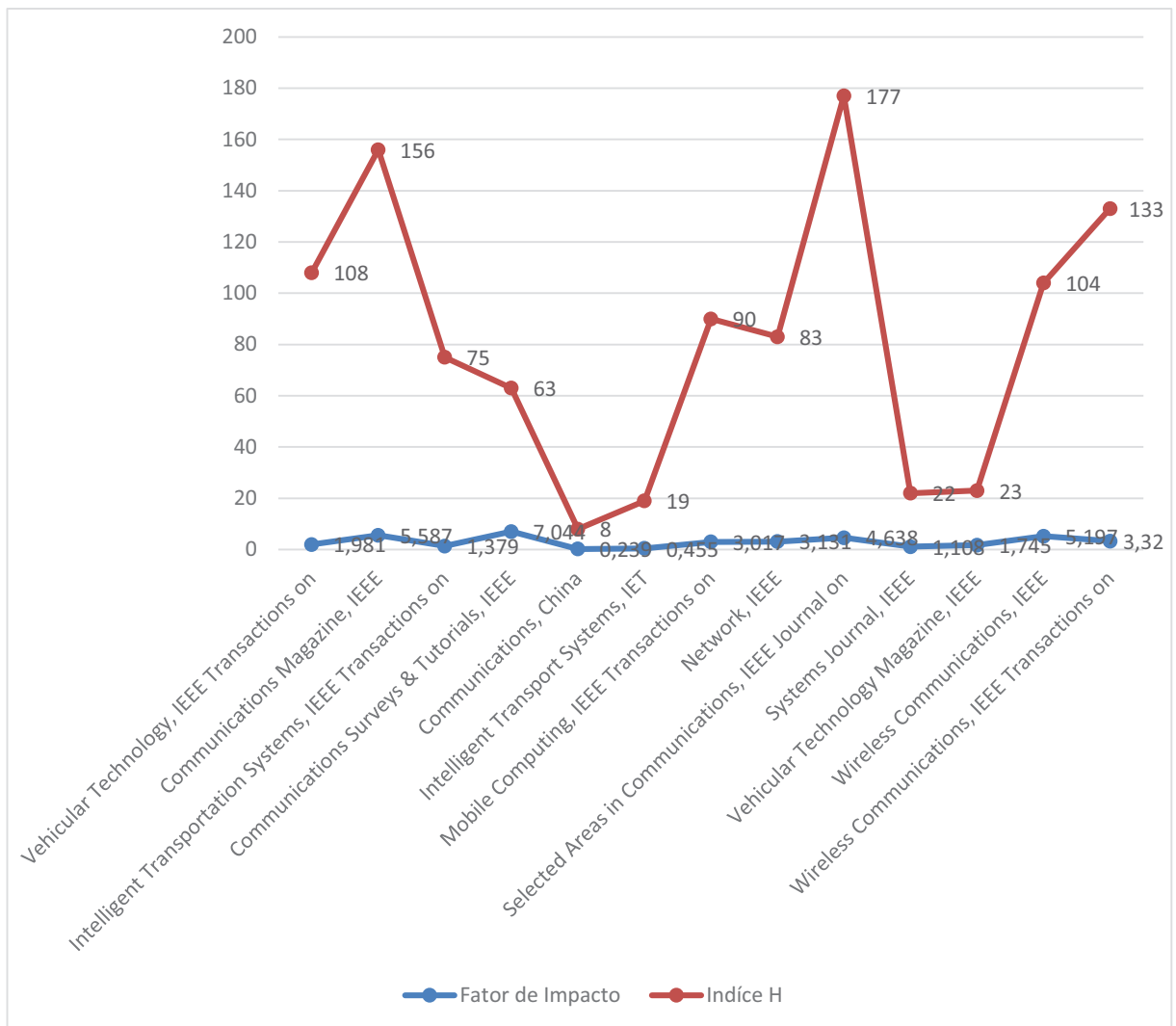
Figura 69 - Periódicos com mais artigos apresentados (corte de no mínimo 2)



Fonte: O Autor

Foram identificados também o fator de impacto e o índice H de cada um dos *Journals*. Segundo Thomaz, Assad e Moreira (2011), o fator de impacto é a razão entre a quantidade de citações e o total de trabalhos publicados no periódico. Tal fator é calculado anualmente pelo Institute for Scientific Information e pela Thompson Scientific Reuters. O índice H, por sua vez, avalia o impacto do pesquisador individualmente, para isso, considera a quantidade “X” de artigos publicados que possuem no mínimo a mesma quantidade “X” de citações. Tais métricas se mostram importantes, pois permitem identificar se as publicações em um determinado periódico estão impactando na produção científica da área. A Figura 70 apresenta cada uma dessas métricas.

Figura 70 - Fator de Impacto e Índice H dos Journals



Fonte: O Autor

Com base na análise bibliométrica, examinou-se os dez artigos mais citados e relevantes para então realizar uma análise sobre a abordagem apresentada por cada autor sobre a questão da comunicação e do roteamento em redes veiculares.

A referência mais citada é a obra dos autores Li e Wang (2007), a qual trata dos principais desafios existentes na comunicação entre veículos, salientando a importância e a necessidade do desenvolvimento de protocolos de roteamento mais eficientes. Além disso, os autores contextualizam os últimos protocolos desenvolvidos na área e alguns dos modelos de mobilidade utilizados em redes veiculares.

Wisitpongphan et al (2007) fizeram uso de dados reais de veículos trafegando em rodovias na Califórnia a fim de estudar as causas de desconexões em redes veiculares. Para isso, utilizaram diversas métricas de desempenho, como por exemplo o tempo médio que um pacote de dados leva para chegar até um nó que apresenta frequentes desconexões. Segundo os autores, esse tempo pode variar de segundos a minutos dependendo da característica da rede. A título de conclusão, os autores afirmam que um novo protocolo de roteamento deve ser desenvolvido para atender as necessidades das aplicações voltadas à segurança, visto que os protocolos atuais não trabalham de forma adequada.

Corroborando com as ideias dos autores citados, Taleb et al (2007) afirmam que ainda é necessário muito estudo para que se consiga desenvolver redes veiculares eficientes. Tal fato é justificado pela falta de protocolos de roteamento que sejam capazes de lidar com as frequentes desconexões causadas pela mobilidade dos veículos. Nesse sentido, os autores propõem a utilização das informações do movimento dos veículos, como: velocidade, posição, direção, entre outros, para identificar uma possível falha de comunicação antes que ela aconteça.

Conhecendo os desafios existentes na comunicação entre veículos e o crescente interesse por parte dos pesquisadores nessa área, os autores Naumov e Gross (2007) propuseram um novo algoritmo de roteamento conhecido como *Connectivity Aware Routing* (CAR), tendo como principal vantagem a sua capacidade de localizar diversos caminhos entre o nó de origem e o nó de destino. Esses caminhos são ajustados automaticamente em tempo real, sem a necessidade de um processo adicional de descoberta de rota. Segundo os autores, o CAR foi projetado especificamente para a comunicação entre veículos em cidades ou rodovias.

Para Nzouonta et al (2009), a tarefa de rotear dados em redes veiculares em cidades pode ser facilitada por meio da adoção de um mecanismo que considere as informações de tráfego em tempo real. Tal mecanismo é conhecido como *Road-Based Using Vehicular Traffic* (RBVT) e seu funcionamento se dá por meio dos diversos cruzamentos existentes em uma região, os quais possuem alta probabilidade de estarem conectados. A transferência de dados entre os cruzamentos é realizada pelo método de encaminhamento geográfico.

A fragmentação da rede é um dos principais problemas que afetam a comunicação em redes veiculares. Nesse sentido, Briesemeister e Hommel (2000) sugerem um novo método para o encaminhamento de mensagens em redes altamente móveis, tentando suprir as necessidades existentes nesses ambientes. Aspectos como localização, velocidade, direção e tempo são considerados durante o processo de transmissão de mensagens para os veículos que estão próximos.

Embora as redes veiculares possuam características semelhantes aos das redes MANETs, algumas delas são bastante específicas, fazendo com que essas redes se tornem únicas. Segundo os autores Tonguz et al (2007), os protocolos de roteamento convencionais já não atendem mais as necessidades das diversas aplicações automotivas, visto que não são capazes de lidar com as características dessas redes, como: a rápida mudança de topologia, os diferentes tipos de demografia, os diferentes padrões de tráfego no decorrer do dia, entre outros. Desse modo, os autores propõem a utilização de um protocolo de transmissão veicular denominado DV-CAST, o qual tem por objetivo tratar esses aspectos.

Sistemas de disseminação de mensagens têm sido utilizados nos veículos para melhorar a segurança de seus ocupantes, visto que possibilita que o motorista tenha tempo para tomar uma ação antecipada, evitando possíveis acidentes. Pela importância desses sistemas, Little e Agarwal (2005) buscam melhorar a qualidade de propagação das mensagens por meio de um protocolo formado pela combinação de aspectos pertencentes as redes móveis (MANETs) em conjunto com a abordagem DTN (*Delay Tolerant Networking*).

Para que fosse possível estudar a topologia e a conectividade de uma rede veicular em Xangai, Hong-Yu et al (2007) construíram um modelo de mobilidade usando os dados de GPS de mais de 4000 taxis. No entanto, devido as variações na densidade veicular os protocolos convencionais não puderam ser utilizados, visto que não trariam resultados satisfatórios de

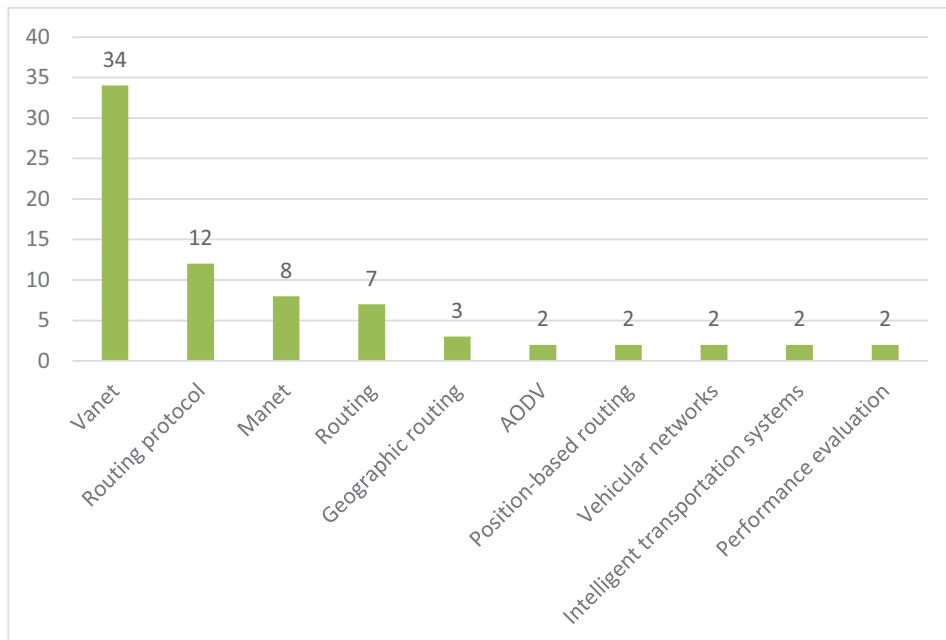
desempenho. Para isso, os autores aplicaram a abordagem DTN ao modelo desenvolvido. Por fim, propuseram um novo protocolo que tem por objetivo melhorar a taxa de entrega de pacotes.

Para finalizar, Jerbi et al (2009) propuseram em seu trabalho um protocolo de roteamento geográfico baseado em cruzamentos que visa encontrar as melhores rotas dentro de um cenário urbano. Para isso, o protocolo faz uso de um processo de seleção dinâmico e em sequência dos cruzamentos pelos quais os pacotes de dados deverão ser encaminhados. Para realizar essa seleção, parâmetros como distância até o destino e variação no tráfego de veículos são considerados.

7.1.2. Resultados da Análise Bibliométrica realizada na ACM

A primeira análise realizada diz respeito as palavras-chave mais citadas pelos autores em suas publicações. A Figura 71 mostra a frequência em que cada uma delas apareceram.

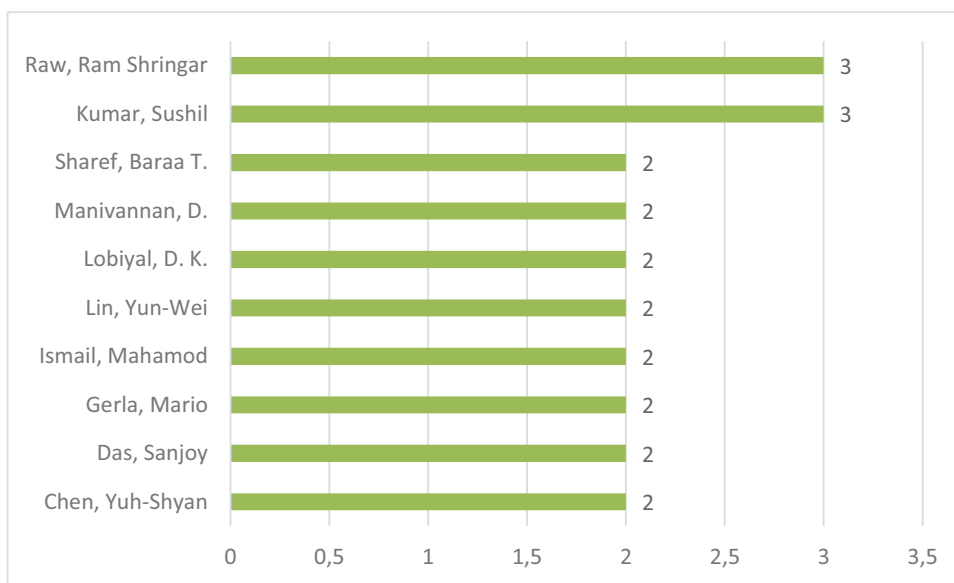
Figura 71 - Frequência das palavras-chave (as dez mais citadas)



Fonte: O Autor

A segunda análise teve por objetivo identificar os autores que mais publicam sobre comunicação e roteamento em redes veiculares (Figura 72). Os autores Raw, Kumar e Sharef são os que possuem o maior destaque.

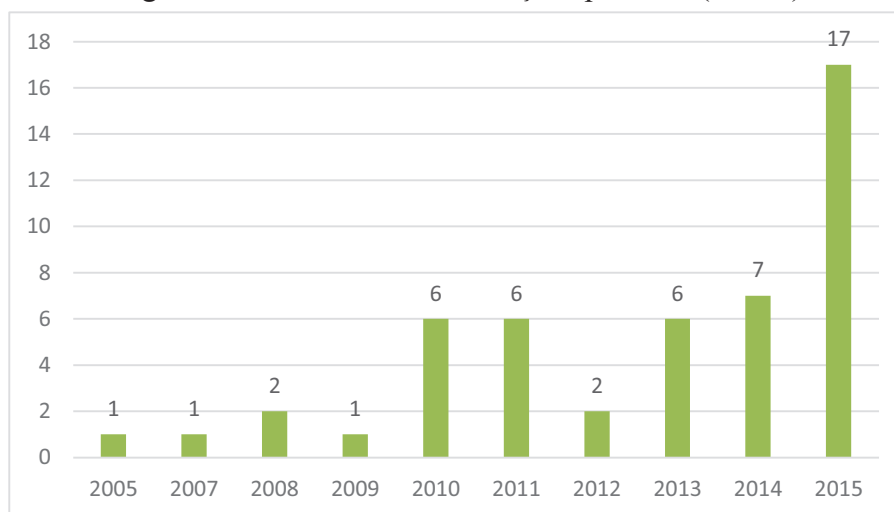
Figura 72 - Autores com mais publicações (corte de no mínimo 2)



Fonte: O Autor

Também buscou-se apresentar a quantidade de publicações por ano, o que permite identificar o interesse dos pesquisadores pela área. Nota-se que no último ano, houve um aumento significativo no número de trabalhos, conforme apresentado na Figura 73.

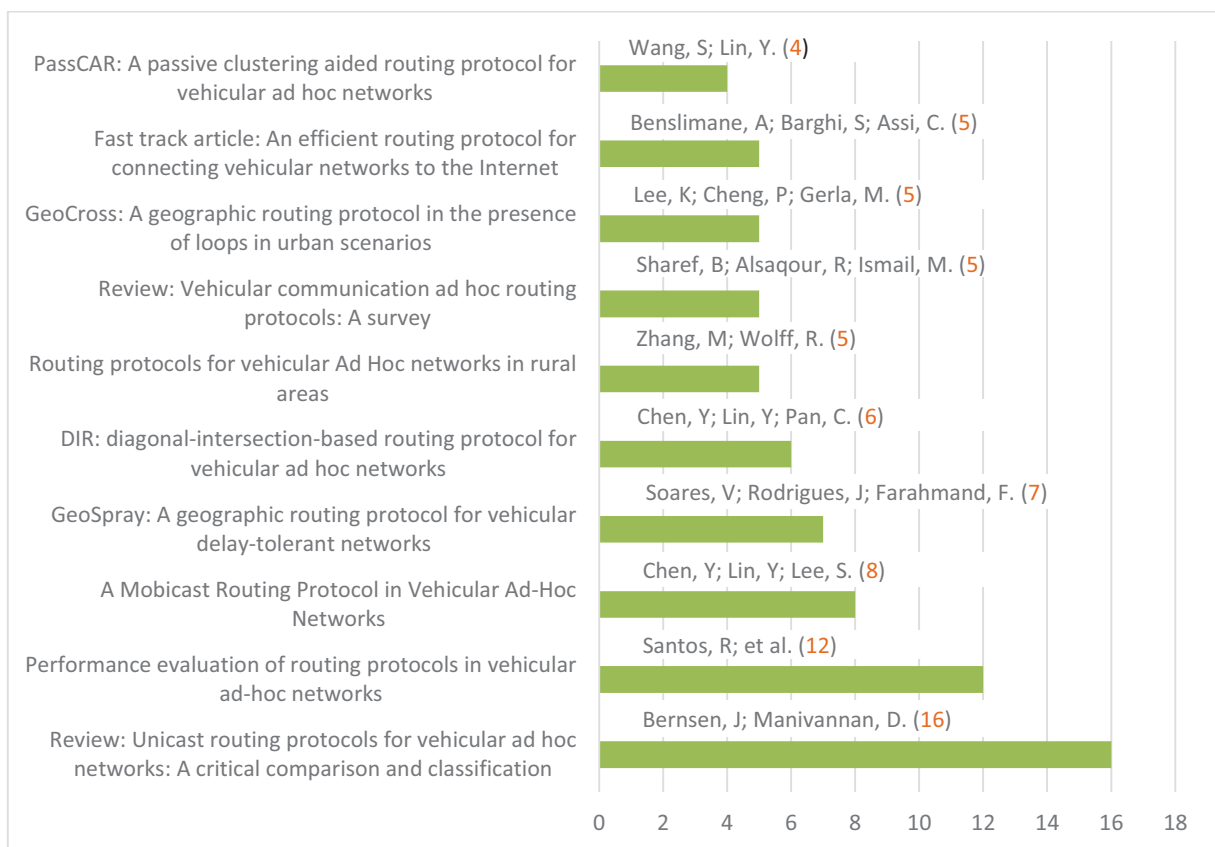
Figura 73 - Número de Publicações por Ano (n = 49)



Fonte: O Autor

Outra análise realizada refere-se as publicações mais citadas na área. Para isso, foi consultada a base de dados da *Association for Computing Machinery* no sentido de avaliar o número de citações por artigo. Nessa análise foram considerados os dez trabalhos mais citados, conforme apresentado na Figura 74. O número de citações de cada um deles encontra-se localizado entre parênteses.

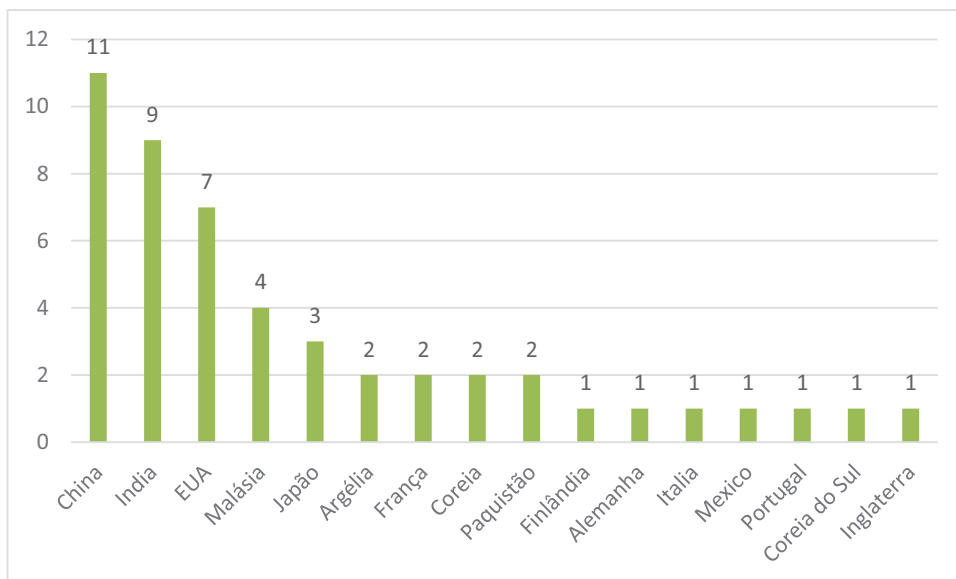
Figura 74 - Publicações mais citadas (10 principais)



Fonte: O Autor

Procurou-se também verificar o número de publicações por país (Figura 75). Destaca-se que a China, a Índia e os Estados Unidos possuem o maior número de publicações, seguidos da Malásia e Japão. Além disso, observa-se que o Brasil não aparece nesse *ranking*.

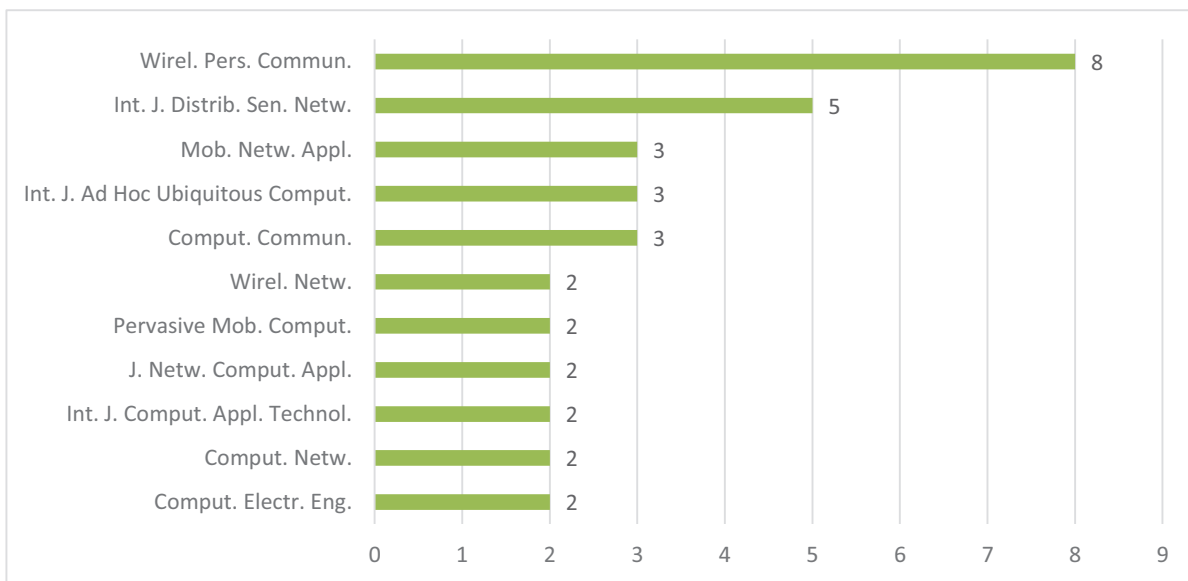
Figura 75 - Número de publicações por país (n = 49)



Fonte: O Autor

Com base nos artigos seleccionados, gerou-se um gráfico dos *Journals* que obtiveram um maior número de artigos publicados sobre comunicação e roteamento em redes veiculares. A Figura 76 apresenta cada um desses periódicos.

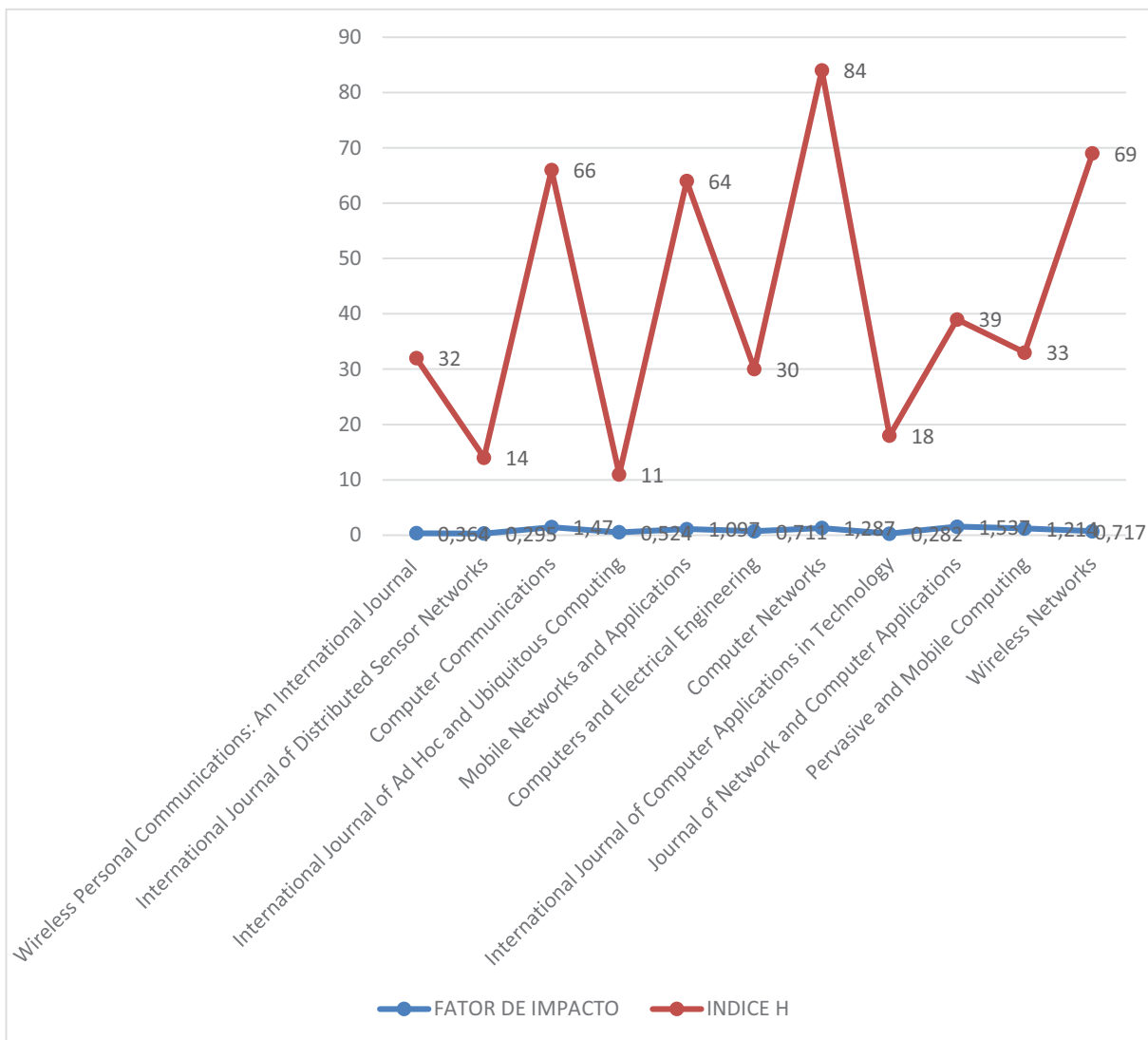
Figura 76 - Periódicos com mais artigos publicados (corte de no mínimo 2)



Fonte: O Autor

Foram identificados também o fator de impacto e o índice H de cada um dos *Journals*. Tais informações se mostram importantes, visto que permitem identificar o quanto as publicações em um determinado periódico impactam na produção científica da área. A Figura 77 apresenta cada uma dessas métricas.

Figura 77 - Fator de Impacto e Índice H dos Journals



Fonte: O Autor

Com base na análise bibliométrica, examinou-se os dez artigos mais citados e relevantes para então realizar uma análise sobre a abordagem apresentada por cada autor sobre a questão da comunicação e roteamento em redes veiculares.

Sabe-se que o papel de um protocolo de roteamento é estabelecer uma rota entre os nós existentes em uma rede, enquanto também é responsável por lidar com as rápidas mudanças na topologia dos veículos. Nesse sentido, a obra mais citada foi a dos autores Bernsen e Manivannan (2009), onde fazem uma revisão dos principais protocolos de roteamento *unicast*, criando uma linha do tempo desses protocolos, além de realizarem uma análise qualitativa entre eles, permitindo identificar seus pontos fortes e fracos.

Conhecendo as vantagens da simulação, Santos et al (2005) buscam avaliar diferentes estratégias de roteamento em cenários urbano e de rodovia. Para isso, os autores desenvolveram um modelo de mobilidade na ferramenta OPNET, que é utilizado para verificar o desempenho de diversos protocolos, como: LORA_CBF, AODV e DSR. Parâmetros como o tempo médio de descoberta de rota, atraso na entrega dos pacotes, sobrecarga de roteamento e taxa de entrega foram considerados na simulação.

Chen, Lin e Lee (2010) apresentam em seu trabalho a proposta de um protocolo chamado Mobicast. A sua principal característica é o encaminhamento de mensagens dentro de um intervalo de tempo estipulado e em uma área de relevância específica. Segundo os autores, a principal contribuição de seu trabalho é a precisão com que as mensagens são encaminhadas dentro dessa área, permitindo inclusive reduzir o problema da fragmentação na rede.

Para Soares, Rodrigues e Farahmand (2014) o mais difícil em uma rede veicular é conseguir manter uma rota completa da origem até o destino, uma vez que a comunicação ocorre de forma bastante intermitente. Desse modo, os autores propõem um novo protocolo chamado GeoSpray que lida com essas limitações de conectividade. Para isso, esse protocolo faz uso de um mecanismo conhecido como *Vehicle Delay-Tolerant Network* (VDTN) que procura fazer o melhor uso possível dos recursos disponíveis na rede para conseguir sempre disponibilizar uma rota entre a origem e o destino.

Na tentativa de melhorar a comunicação entre veículos em cenários urbanos, Chen, Lin e Pan (2011) desenvolveram um novo protocolo de roteamento baseado em cruzamentos diagonais chamado DIR. Esse protocolo faz uso dos cruzamentos existentes entre o nó de origem e o nó de destino de modo que as mensagens sejam encaminhadas por eles até chegarem ao seu destino.

A grande parte das pesquisas realizadas sobre roteamento em redes veiculares consideram apenas áreas urbanas, visto que possuem uma maior densidade veicular. Porém,

segundo Zhang e Wolff (2008) grande parte dos protocolos de roteamento utilizados nesses ambientes não podem ser adotados em locais com baixa densidade veicular, como em ambientes rurais, visto que a rede se torna demasiadamente fragmentada. Dessa forma, os autores buscam analisar as principais limitações existentes nesse tipo de ambiente, sugerindo a utilização de um protocolo capaz de lidar com a alta mobilidade dos nós e a alta taxa de fragmentação da rede.

Para Sharef, Alsaqour e Ismail (2014) o desenvolvimento e melhoria dos protocolos de roteamento é essencial para suportar os sistemas de transporte inteligentes. Nesse sentido, os autores buscam em seu trabalho apresentar as principais características e os desafios existentes no roteamento em redes veiculares. Realizam também uma comparação dos principais protocolos existentes, mostrando seus pontos fortes e fracos, além de apresentar possíveis soluções para os desafios elencados.

Lee, Cheng e Gerla (2010) propõem por meio de sua obra a utilização de um protocolo de roteamento geográfico chamado GeoCross. Segundo os autores, a principal vantagem de sua adoção está relacionada com a remoção de rotas desnecessárias, evitando assim que ocorra um *loop* de roteamento. Isso geralmente acontece quando o algoritmo de roteamento informa que existe uma rota válida para um destino inalcançável, fazendo com que os pacotes sejam transmitidos sem se quer atingir o seu nó de destino.

Conseguir manter uma conexão eficiente entre veículos é uma tarefa desafiadora, visto que a alta mobilidade e alta velocidade dos veículos afetam significativamente a qualidade da comunicação. Para tentar contornar esse problema, Benslimane, Barghi e Assi (2011) introduzem a utilização de um novo protocolo que faz uso das informações do movimento dos veículos para prever o seu comportamento futuro, permitindo escolher a rota com o maior tempo de vida possível.

Estudos mostram que a abordagem de roteamento baseada em grupos é um método eficiente para ambientes móveis. Nesse sentido, os autores Wang e Lin (2013) propõe a utilização de um protocolo de roteamento baseado em grupos denominado PassCAR. Segundo os autores, a principal vantagem de sua utilização é que ele consegue melhorar o desempenho do roteamento em rodovias, uma vez que é capaz de escolher os participantes mais adequados para a construção de um grupo de veículos estável e seguro durante o processo de descoberta de rotas.

Por fim, com base nas análises bibliométricas realizadas nesse trabalho, observou-se que os principais desafios existentes na comunicação entre veículos estão relacionados à influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular. Embora, a grande parte dos trabalhos mencione esta influência, ainda são poucos os estudos, principalmente no Brasil, que a comprovam. Tal fato justifica o desenvolvimento desta pesquisa.

7.2. Relato de Caso

O principal motivo da escolha dos hospitais e da polícia militar como objeto de estudo foi a possibilidade de poder encontrar aplicações que envolvessem a comunicação entre veículos e a comunicação entre veículos e a infraestrutura. No entanto, o fato destes hospitais não apresentarem nenhum tipo de sistema de comunicação integrado em suas ambulâncias fora o rádio, e a polícia militar, por sua vez, ainda utilizando a tecnologia 2G em suas transmissões veiculares por falta de uma infraestrutura adequada, mostra o quanto a comunicação entre veículos merece ser estudada e desenvolvida no Brasil.

Deste modo, a falta de aplicações nesta área inviabilizou a adoção de Estudos de Caso. Assim, a Simulação se mostra um método mais eficiente para a realização de estudos sobre redes veiculares no Brasil, visto que é possível representar virtualmente os cenários desejados.

Embora, os relatos de caso apenas justifiquem a importância da simulação dentro do contexto brasileiro, algumas informações coletadas se mostraram pertinentes e merecem ser discutidas. Portanto, a seguir cada um destes pontos é brevemente discutido.

Por meio das pesquisas de campo foi possível constatar diversos fatores que influenciam a comunicação entre veículos (V2V) e a comunicação entre veículos e a infraestrutura (V2I). Assim como observado por vários autores na literatura, verificou-se que os tipos de cenários onde os veículos estão inseridos podem influenciar na qualidade da comunicação. Portanto, quando se trata de comunicação em longas distâncias aspectos como o relevo geográfico e a condição do tempo devem ser observados.

Outro fator levantado é a necessidade do uso de uma tecnologia mais recente como o 4G, pois isso proporcionará o surgimento de uma nova gama de aplicações. Embora a Polícia Militar possua ideias de projetos utilizando tal tecnologia, ainda não está nada definido. O fato

dessa tecnologia ser relativamente nova no mercado, demonstra a sua potencialidade para estudos futuros.

Ainda que a tecnologia 4G proporcione uma série de vantagens quando comparada aos seus antecessores e tenha potencial suficiente para a comunicação em redes veiculares, verificou-se por meio deste estudo que um dos principais aspectos que a inviabiliza é a falta de infraestrutura em algumas regiões do estado e em grande parte do país. Ressalta-se que os terminais móveis da polícia do Estado de São Paulo ainda utilizam a tecnologia 2G devido à indisponibilidade do 4G em várias regiões. Isso demonstra o quanto o Estado de SP e o Brasil ainda tem que evoluir para que novas pesquisas e soluções sejam desenvolvidas.

Nota-se que os Sistemas de Posicionamento Global (GPS) já são uma realidade e estão sendo fortemente integrados nas viaturas como forma de identificar as que estão mais próximas de uma ocorrência. Desta mesma forma, a tendência é que daqui a algum tempo grande parte dos veículos sejam capazes de indicar produtos e serviços com base em sua localização. Portanto, o conceito de comércio móvel apresentado por Varshney (2005) logo estará presente no cotidiano das pessoas.

O projeto de integrar a viatura com um *hot spot* também é um ponto que merece destaque, pois além de permitir que os proprietários dos veículos conectem seus dispositivos para acesso à Internet, também poderia melhorar significativamente a qualidade das redes veiculares. Neste caso, cada veículo poderia ser um emissor e receptor de sinal, deste modo o sinal poderia ser roteado mais facilmente em ambientes que possuem alta densidade veicular.

7.3.Simulação

Para a realização das simulações no ambiente urbano e rodovia, foram consideradas diferentes densidades veiculares para cada caso. Além disso, a velocidade também foi alterada de modo a caracterizar ambientes distintos, um com alta densidade e baixa velocidade, e outro com baixa densidade e alta velocidade. Dentre as principais métricas utilizadas para avaliar o desempenho do protocolo AODV nesses cenários; e conseqüentemente também auxiliar na identificação da influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular, estão:

- a) Taxa de pacotes enviados;

- b) Taxa de pacotes recebidos;
- c) Taxa de colisão de pacotes;
- d) Tamanho do pacote vs Taxa média de pacotes enviados;
- e) Tamanho do pacote vs Taxa média de pacotes recebidos;
- f) Tamanho do pacote vs Taxa média de colisão de pacotes;
- g) Taxa de bits enviados vs Média de atraso ponto a ponto;
- h) Taxa de bits recebidos vs Média de atraso ponto a ponto.

A seguir são apresentados os principais resultados obtidos por meio da simulação nos cenários urbano e rodovia. Para cada uma das métricas, quatro gráficos são apresentados, os superiores referem-se aos cenários com baixa densidade e alta velocidade, e os inferiores aos cenários com alta densidade e baixa velocidade. Tal organização, permite uma melhor comparação dos resultados.

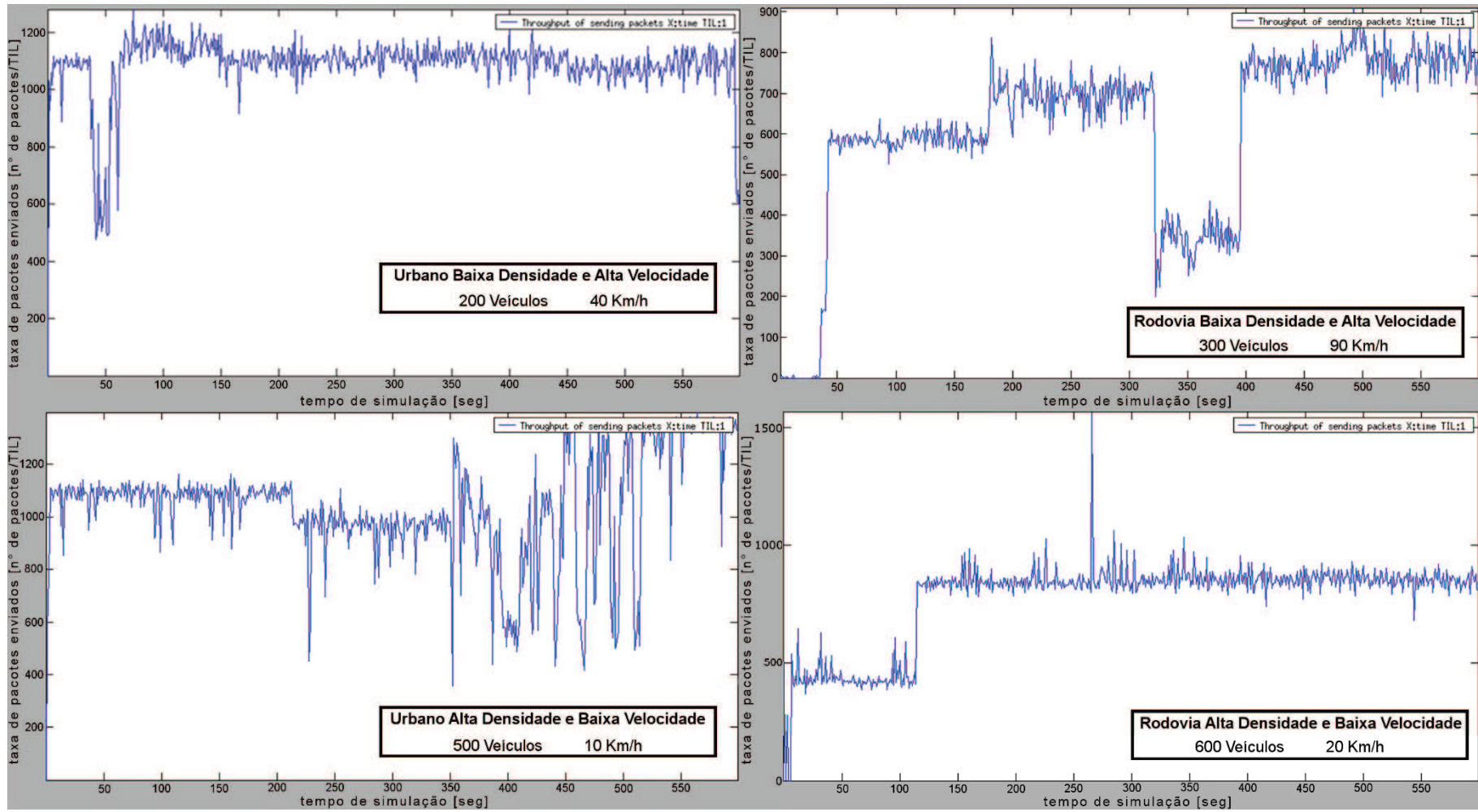
A) **Métrica 1:** Taxa de Pacotes Enviados

Na Figura 78, observa-se que os gráficos superiores (A e C) apresentam um número de veículos bastante próximo, porém a velocidade é mais que o dobro para o cenário de rodovia com baixa densidade e alta velocidade (C). Tal característica, pode ser a responsável pela baixa taxa de pacotes enviados inicialmente nesse cenário e pela queda brusca apresentada durante um período de tempo, uma vez que a alta mobilidade pode deixar a rede fragmentada, dificultando o processo de envio de pacotes. Já no cenário urbano com baixa densidade e alta velocidade (A), essa taxa apresenta-se estável durante a maior parte do tempo para uma mesma ordem de grandeza, o que indica uma melhor qualidade do *link* de comunicação e consequentemente do processo de transmissão.

Os gráficos inferiores da Figura 78 (B e D) caracterizam ambientes com alta densidade e baixa velocidade. Desse modo, verifica-se que as velocidades desses cenários são próximas e bastante baixas, não sendo suficientes para afetar a qualidade da transmissão. No entanto, percebe-se que o número de veículos é bastante alto em ambos os casos; assim, existe a possibilidade desse fator estar relacionado com a diminuição na taxa de pacotes enviados no cenário urbano com alta densidade e baixa velocidade (B), e com a oscilação presente neste

cenário. Além disso, nota-se que no cenário de rodovia com alta densidade e baixa velocidade (D) a taxa inicial de envio de pacotes inicia-se baixa e após um período de tempo ela se estabiliza. Os comportamentos apresentados nesses cenários, podem ser reflexo da alta densidade veicular, uma vez que quanto maior for o número de veículos transmitindo mensagens ao mesmo tempo, maior será a probabilidade de ocorrer colisões de pacotes, o que poderá tornar a rede lenta e afetar o processo de transmissão. A elucidação desse fenômeno poderia ser feita, isolando-se a variável densidade na análise e aumentando o número de simulações com densidades intermediárias aos dois valores utilizados.

Figura 78 – Comparação: Taxa de Pacotes Enviados



Fonte: O Autor

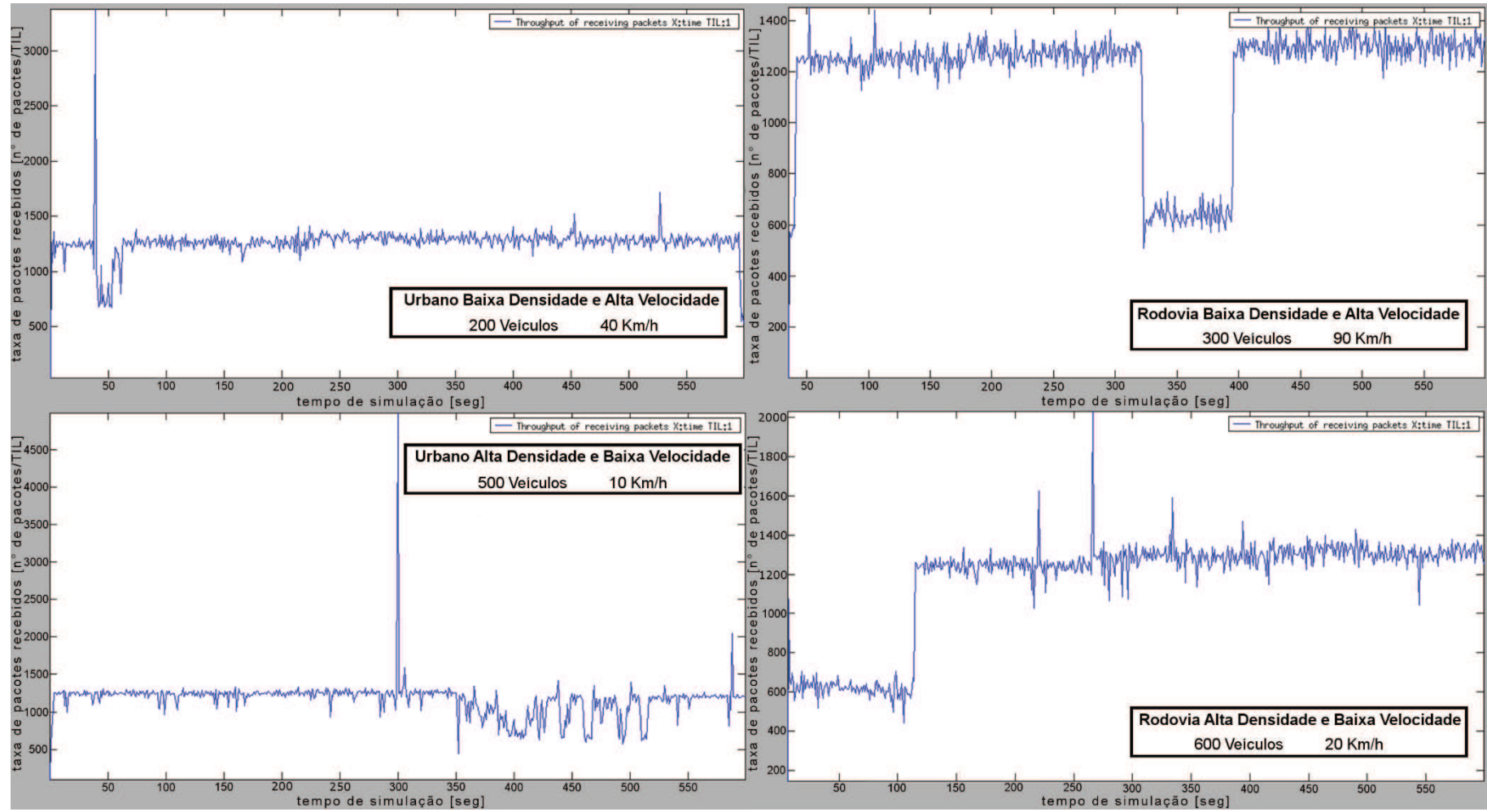
B) Métrica 2: Taxa de Pacotes Recebidos

Na Figura 79, os gráficos superiores (A e C) referem-se aos cenários com baixa densidade e alta velocidade. Desse modo, verifica-se que o número de veículos adotados por esses cenários é bastante próximo, porém a velocidade no cenário de rodovia com baixa densidade e alta velocidade (C) é mais do que o dobro da praticada no cenário urbano com baixa densidade e alta velocidade (A). Portanto, verifica-se que a alta velocidade presente nesse cenário pode ser a responsável pela queda significativa de sua taxa de pacotes recebidos durante um período de tempo. Por outro lado, nota-se que a taxa de pacotes recebidos no ambiente urbano com baixa densidade e alta velocidade (A), apresenta-se estável na maior parte do tempo, o que indica uma melhor qualidade de comunicação entre os veículos.

Os gráficos inferiores apresentados na Figura 79 (B e D) caracterizam ambientes com alta densidade e baixa velocidade. Desse modo, observa-se que as velocidades desses cenários além de serem próximas, são baixas, não sendo suficientes para afetar o processo de recebimento de pacotes. No entanto, verifica-se que o número de veículos em ambos os casos é alto. Tal característica, pode ser a responsável pela oscilação da taxa de pacotes recebidos no cenário urbano com alta densidade e baixa velocidade (B) e pela baixa taxa de pacotes recebidos inicialmente no cenário de rodovia com alta densidade e baixa velocidade (D).

É interessante notar que a taxa de pacotes recebidos é superior à de pacotes enviados. Isto se justifica pela eficiência do simulador, que mede de forma independente as duas variáveis com base no número de entidades geradas e na taxa de chegada ao sistema, que segue um padrão aleatório.

Figura 79 – Comparação: Taxa de Pacotes Recebidos

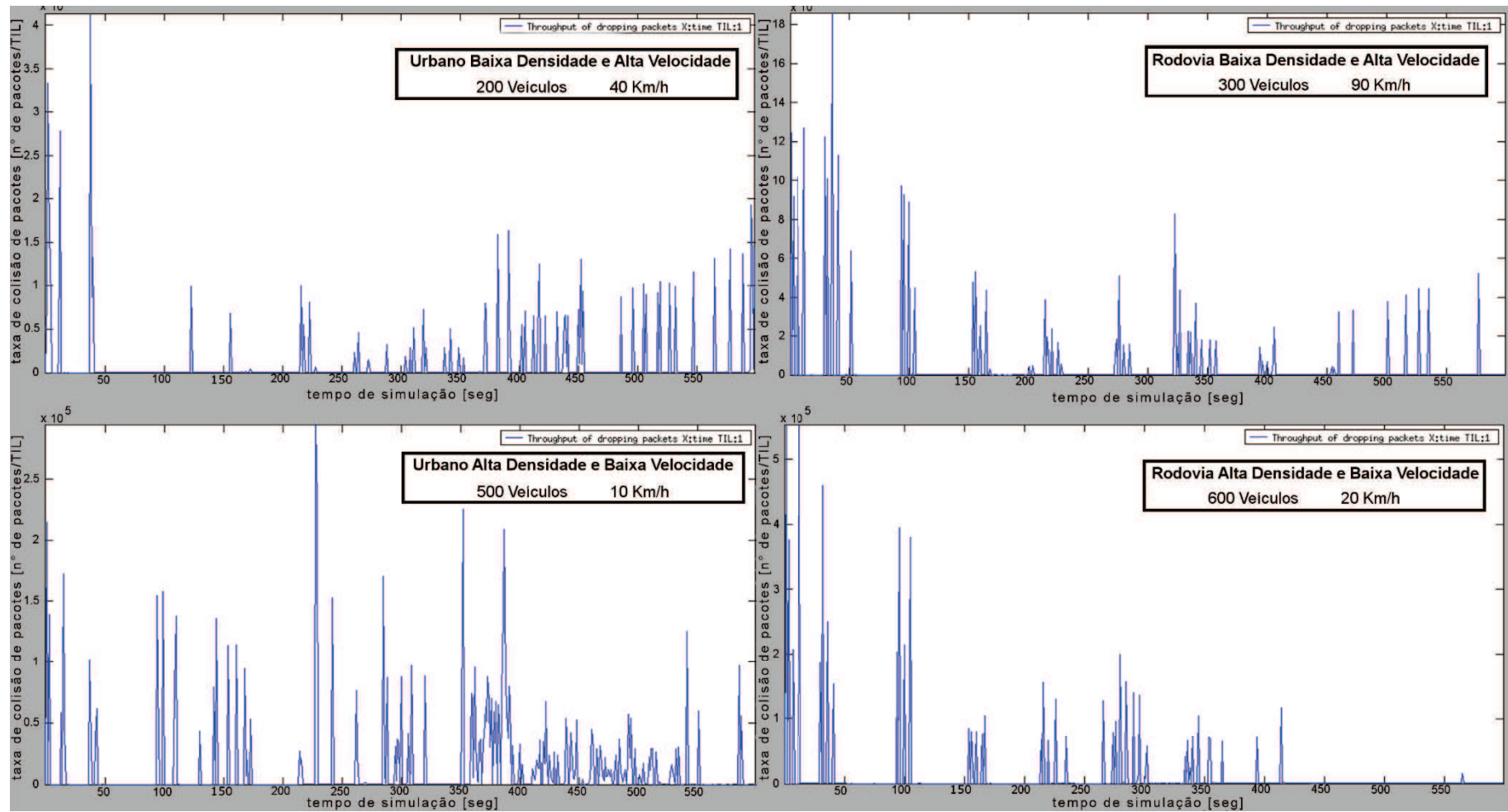


Fonte: O Autor

C) Métrica 3: Taxa de Colisão de Pacotes

Por meio da Figura 80, observa-se que as taxas de colisão de pacotes nos cenários com alta densidade e baixa velocidade (B e D) são maiores do que as apresentadas pelos cenários com baixa densidade e alta velocidade (A e C). Tal comportamento, indica uma possível influência do número de veículos na taxa de colisão de pacotes, visto que quanto maior for o número de veículos transmitindo mensagens ao mesmo tempo, maior serão as chances de ocorrer colisão de pacotes. Salienta-se que esse pode ser um dos fatores que afetou a taxa de envio e recebimento de pacotes neste cenário. Além disso, nota-se que os maiores índices de colisões, com exceção do cenário urbano com alta densidade e baixa velocidade (B), ocorrem no início da simulação. Tal fato, pode estar relacionado ao processo inicial de definição de rotas, onde os nós na tentativa de estabelecer uma rota inicial, acabam transferindo uma grande quantidade de dados simultaneamente.

Figura 80 – Comparação: Taxa de Colisão de Pacotes

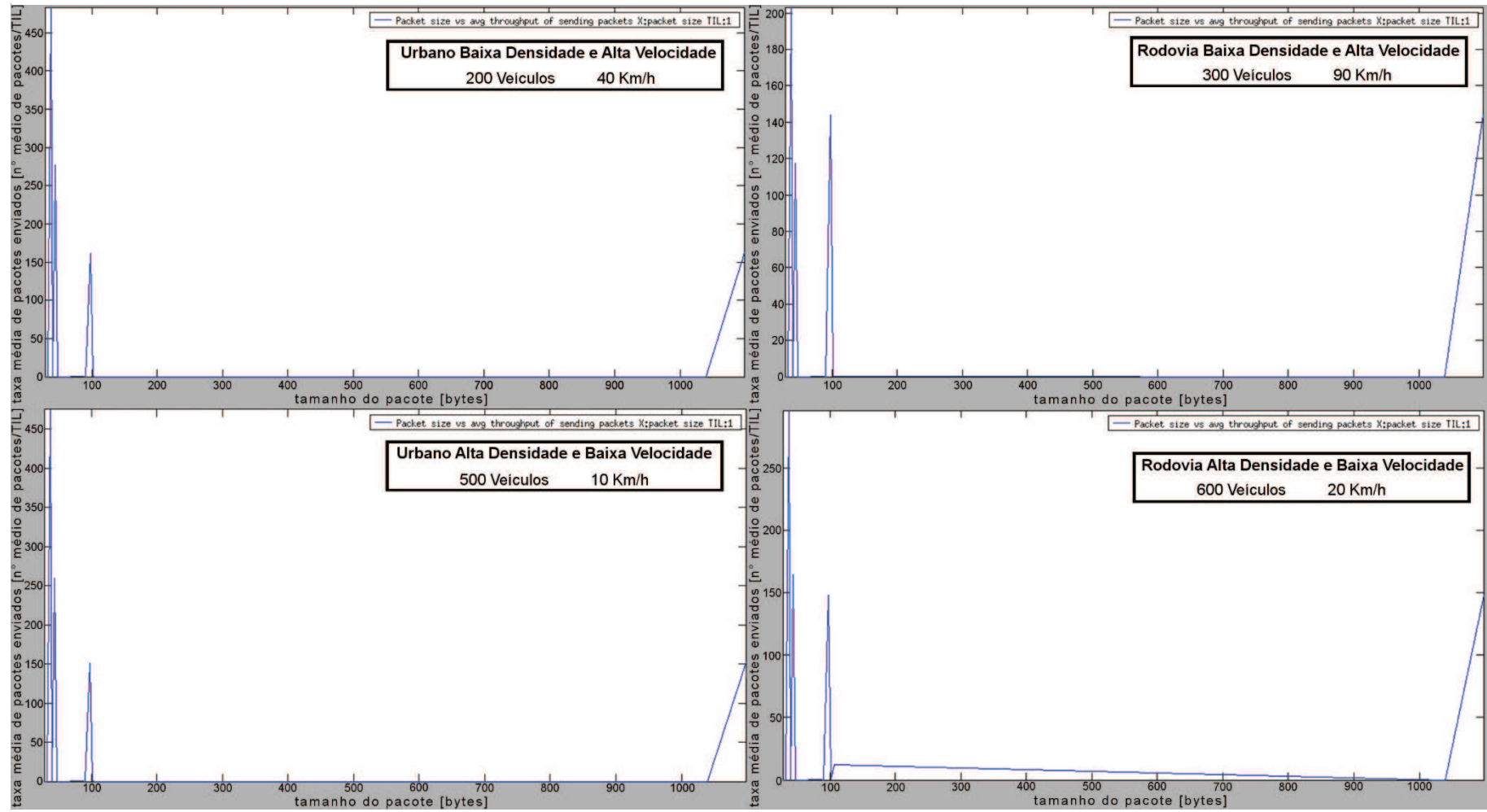


Fonte: O Autor

D) **Métrica 4:** Tamanho do Pacote vs Taxa Média de Pacotes Enviados

Com base na Figura 81, observa-se que todos os cenários apresentam exatamente o mesmo comportamento, ou seja, quanto menor for o tamanho do pacote, maior será a sua taxa de envio. Além disso, o fato dessa métrica não apresentar grandes diferenças entre os cenários, mesmo variando a densidade e a velocidade, mostra que ela não corrobora a hipótese de influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular. No entanto, a disponibilidade dessa análise aliada à curiosidade científica a torna interessante para futuras investigações e avaliações.

Figura 81 – Comparação: Tamanho do Pacote vs Taxa Média de Pacotes Enviados

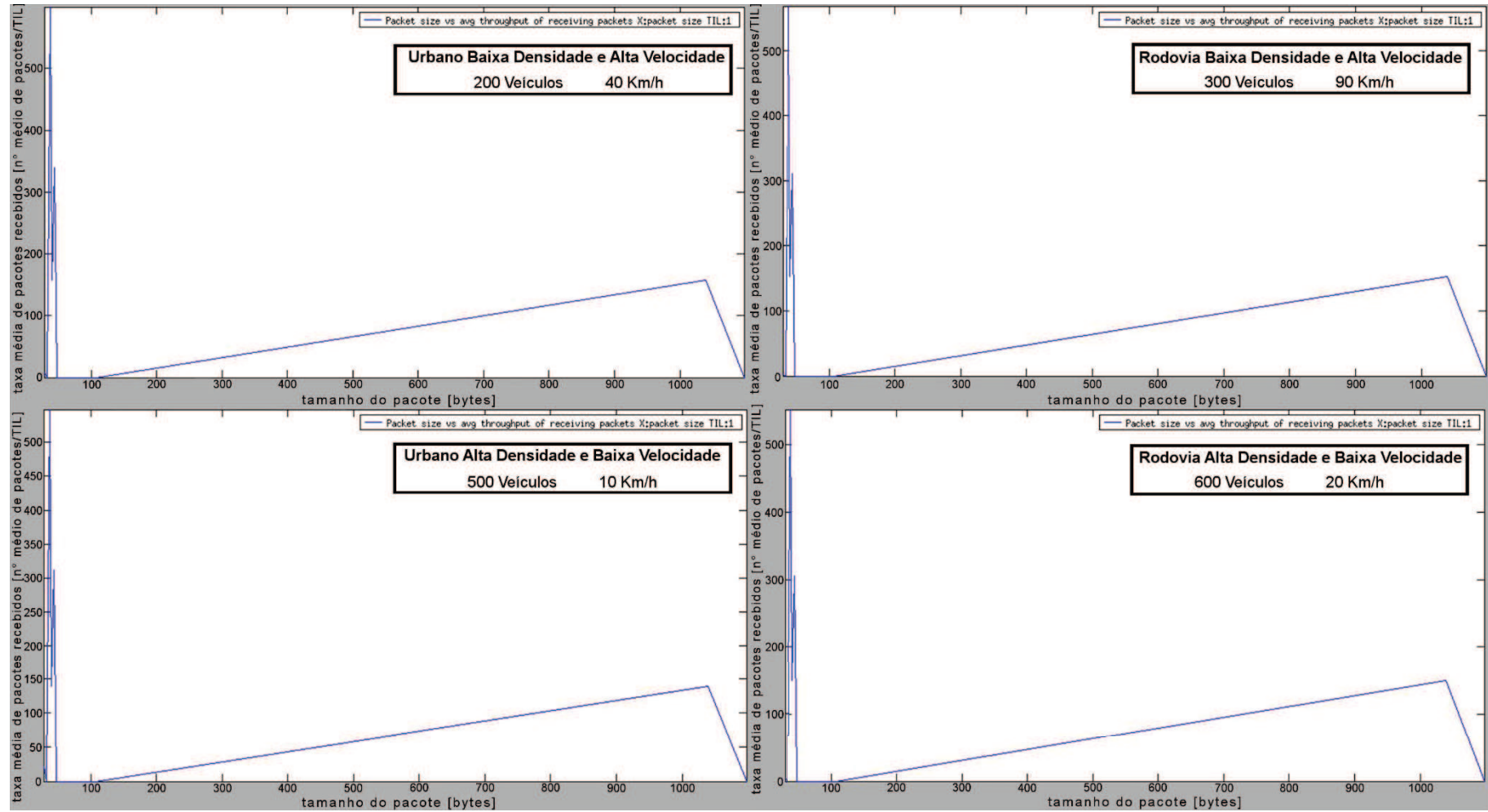


Fonte: O Autor

E) **Métrica 5:** Tamanho do Pacote vs Taxa Média de Pacotes de Recebidos

Por meio da Figura 82, verifica-se que todos os cenários apresentam o mesmo comportamento, ou seja, quanto menor for o tamanho do pacote maior será a taxa de recebimento. Tal análise, não serve para corroborar a hipótese inicial deste estudo, visto que não foi possível identificar diferenças entre os cenários, não podendo assim inferir sobre a influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular. No entanto, salienta-se que esse comportamento em cenários com alta mobilidade pode representar uma possível dificuldade de transmitir por completo pacotes maiores, uma vez que a topologia da rede se desfaz facilmente devido a esse fator.

Figura 82 - Comparação: Tamanho do Pacote vs Taxa Média de Pacotes de Recebidos

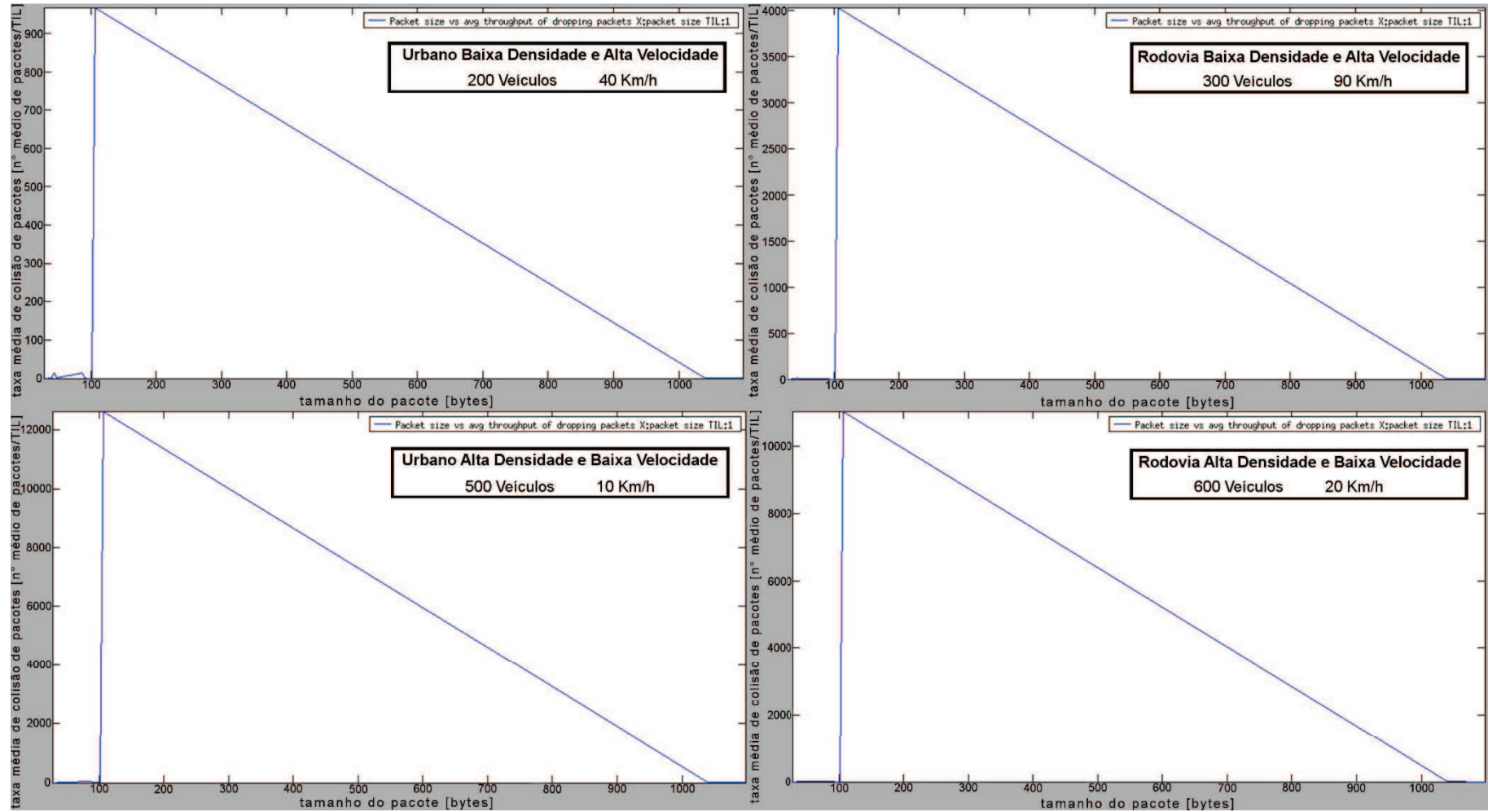


Fonte: O Autor

F) **Métrica 6:** Tamanho do Pacote vs Taxa Média de Colisão de Pacotes

Com base na Figura 83, nota-se que todos os cenários apresentam o mesmo tipo de comportamento. Assim, os pacotes pequenos (até 99 bytes) são os que apresentam as menores taxas de colisão de pacotes. Já as maiores taxas de colisão ocorrem com os pacotes maiores (100 bytes até 1000 bytes). Tal fato, justifica as baixas taxas de recebimento deste tipo de pacote apresentadas na análise anterior. Essa análise também não permite inferir sobre a hipótese inicial desta pesquisa, visto que não mostra de forma clara a influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular. No entanto, a sua disponibilidade a torna interessante para futuras investigações.

Figura 83 - Comparação: Tamanho do Pacote vs Taxa Média de Colisão de Pacotes



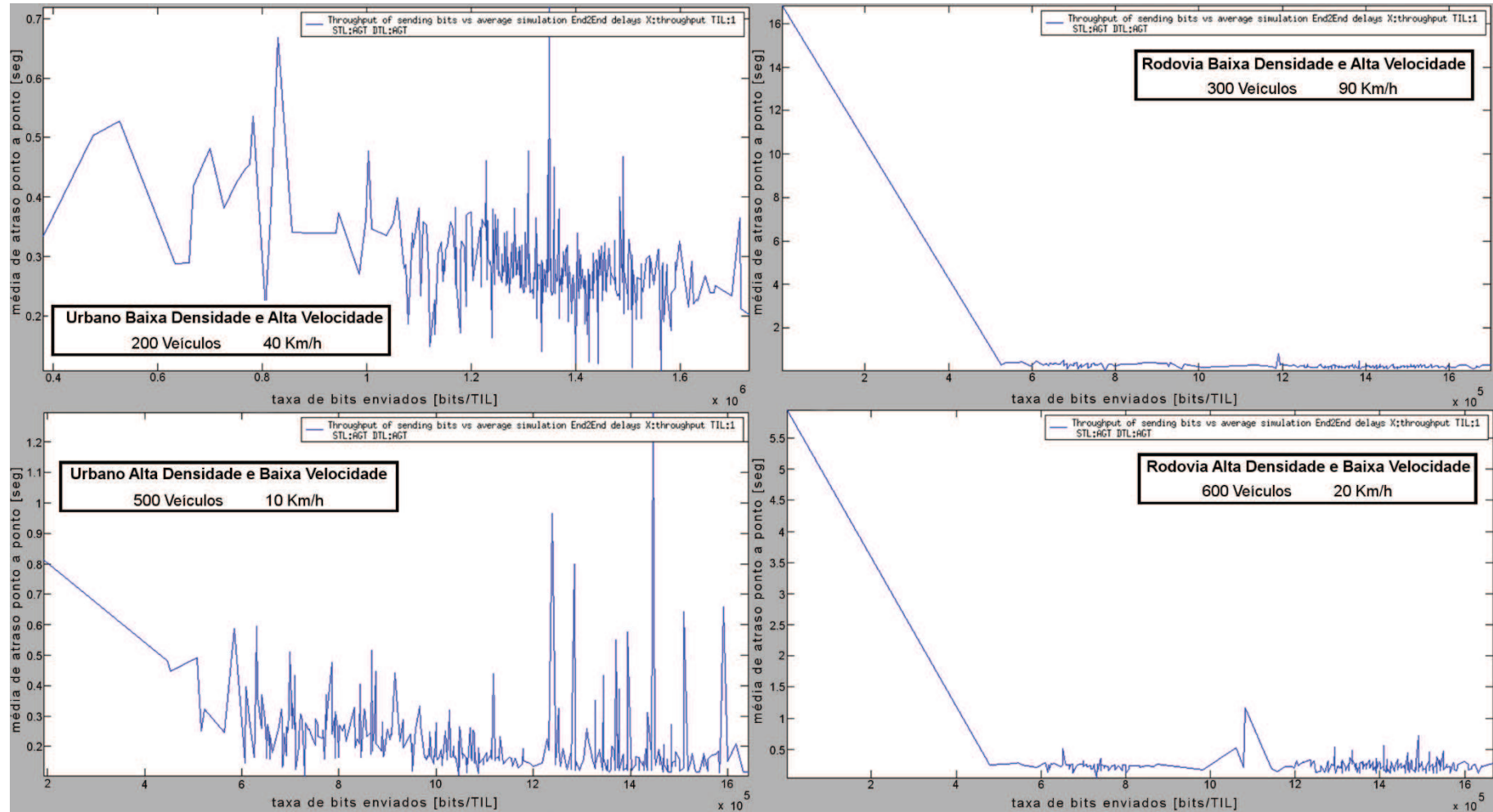
Fonte: O Autor

G) **Métrica 7:** Taxa de Bits Enviados vs Média de Atraso Ponto a Ponto

Na Figura 84, observa-se que as maiores taxas de atraso estão presentes no cenário de rodovia com baixa densidade e alta velocidade (C) e no cenário de rodovia com alta densidade e baixa velocidade (D). Além disso, nota-se que a partir de um determinado momento essas taxas diminuem e permanecem baixas independente do aumento na taxa de bits enviados. Tal comportamento, demonstra que a rede demora algum tempo para ser estabilizada, e depois disso, o tempo de atraso não é mais afetado pelo aumento no número de bits enviados.

Nota-se também que o cenário urbano com alta densidade e baixa velocidade (B) apresenta uma maior taxa de bits enviados do que o cenário urbano com baixa densidade e alta velocidade (A). Tal fato, pode estar relacionado ao maior número de veículos existentes nesse cenário, o que implica em uma maior quantidade de bits enviados pela rede.

Figura 84 - Comparação: Taxa de Bits Enviados vs Média de Atraso Ponto a Ponto



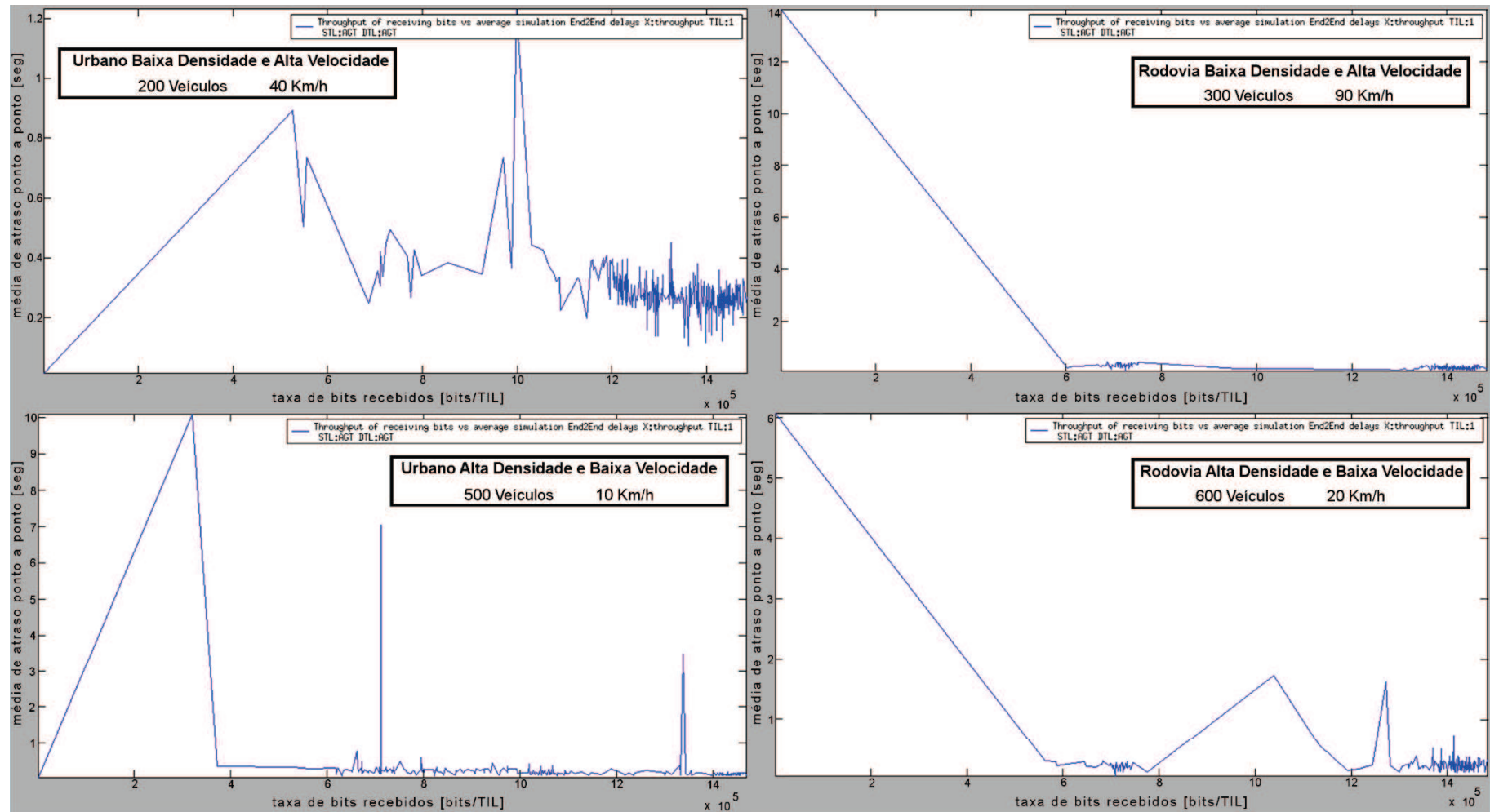
Fonte: O Autor

H) **Métrica 8:** Taxa de Bits Recebidos vs Média de Atraso Ponto a Ponto

Com base na Figura 85, nota-se que os cenários de rodovia (C e D) são os que apresentam a maior taxa de atraso logo de início, porém ao passo em que a taxa de bits recebidos aumenta, a taxa de atraso diminui simultaneamente. Desse modo, observa-se por meio desses cenários que a rede leva algum tempo para se estabilizar. Além disso, nota-se que no cenário de rodovia com alta densidade e baixa velocidade (D), mesmo após a rede estar estabilizada, a taxa de atraso ainda apresenta variações. Tal comportamento pode ser consequência da alta densidade apresentada neste cenário.

Verifica-se também que a taxa de atraso nos cenários urbanos (A e B) possui um comportamento inicial contrário aos cenários de rodovia. Assim, ao passo em que o número de bits aumenta a taxa de atraso aumenta simultaneamente. Além disso, ressalta-se que a taxa de atraso inicial é maior para o cenário urbano com alta densidade e baixa velocidade (B), e apresenta também picos consideráveis na taxa de atraso, mesmo após a rede estar estabilizada. Por fim, o cenário urbano com baixa densidade e alta velocidade (A) é o que apresenta os menores índices de atraso durante todo o processo de recebimento de bits.

Figura 85 - Comparação: Taxa de Bits Recebidos vs Média de Atraso Ponto a Ponto



Fonte: O Autor

7.4. Teste de Falseabilidade de Popper

Por meio das observações realizadas na simulação e pelo *Mental Testing*, tenta-se falsear a hipótese de influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular. No entanto, verifica-se em ambos os casos que essa influência realmente existe, o que a torna uma hipótese não descartada. O Quadro 17 apresenta o teste de falseabilidade realizado.

Quadro 17 - Teste de Falseabilidade

Hipótese a ser falseada:		
A Influência da Densidade e Mobilidade na Comunicação Inter-Veicular		
Fenômenos Observáveis	<i>Mental Testing</i>	
Figura 78 – p. 156	p. 24 - § 1	p. 57 - § 1
Figura 79 – p. 158	p. 28 - § 6	p. 143 - § 4
Figura 80 – p. 160	p. 29 - § 2 e 3	p. 144 - § 2 e 5
Figura 84 – p.168	p. 32 - § 2, 3 e 4	p. 150 - § 4 e 6
Figura 85 – p.170	p. 56 - § 7	p. 151 - § 3

Fonte: O Autor

No item Fenômenos Observáveis, encontram-se as figuras que contém os resultados da simulação que comprovam a influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular. Tais resultados referem-se as métricas que apresentaram variações devido a essa influência. Portanto, essas métricas são: taxa de pacotes enviados; taxa de pacotes recebidos; taxa de colisão de pacotes; taxa de bits enviados vs média de atraso ponto a ponto; taxa de bits recebidos vs média de atraso ponto a ponto. Assim, o conjunto da obra, permite observar a influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular.

O *Mental Testing*, por sua vez, relaciona o conhecimento adquirido por autores que também corroboram com a hipótese de influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular. Para isso, são identificadas as páginas e os parágrafos (§) que contém as citações desses autores. Desse modo, verifica-se que os fenômenos observáveis estão alinhados ao *Mental Testing* (princípios apresentados na literatura), o que demonstra que o objetivo geral

desse estudo foi atendido. Por fim, o Quadro 18 , apresenta o modelo de formação de conhecimento de Popper aplicado a esse trabalho.

Quadro 18 - Aplicação do modelo de Popper

Itens	Indicador
Insatisfação	Não há compreensão da influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular.
Concepção da Situação Desejada	Compreender se a densidade e a mobilidade influenciam ou não na comunicação inter-veicular.
Existência de uma solução compatível com a situação desejada	A simulação do protocolo de roteamento AODV, um dos mais utilizados atualmente, pode levar a compreensão da influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular.
Tipo de Solução	Adotar um simulador que permita inferir sobre a influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular.
Geração de Tentativa de Soluções	Apresentar diferentes métricas que possam demonstrar a influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular.
Teste de tentativa de soluções	Observações e <i>Mental Testing</i> .
Falseabilidade	Observações e Testes mentais foram utilizados para tentar falsear a hipótese de influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular.
Abordagem para atribuir Sim ou Não	Caso as Observações e o <i>Mental Testing</i> , não consigam falsear a hipótese de influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular, então a resposta será “sim”.
Análise Crítica	A hipótese não foi “falseada”.

Fonte: O Autor

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse estudo, buscou-se inicialmente observar as diferentes tecnologias adotadas na comunicação entre veículos; e veículos e infraestrutura. Para isso, o método utilizado foi o relato de caso na Polícia Militar do Estado de São Paulo; e nos hospitais Sírio-libanês e Albert Einstein. Por meio dessa etapa, identificou-se que as redes veiculares ainda merecem muito estudo e desenvolvimento no Brasil. Tal fato é justificado pela falta de aplicações nessa área, tanto na Polícia Militar quanto nos hospitais. Salienta-se também que a PM utiliza a tecnologia 2G em suas viaturas devido à falta de infraestrutura no Estado. Portanto, isto foi um direcionamento para a simulação de protocolos de roteamento em diferentes cenários, o que permitiu avaliar a influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular.

A análise bibliométrica permitiu conhecer as diferentes abordagens sobre o tema, além de auxiliar na identificação de uma lacuna em torno do tema deste trabalho, pois foi observado que embora grande parte dos autores cite a influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular, ainda são poucos os estudos, principalmente no Brasil, capazes de não falseá-la. Além disso, a análise bibliométrica realizada permitiu conhecer melhor o estado da arte.

Para atingir o objetivo deste trabalho, o protocolo AODV foi implementado em diferentes cenários por meio de simulação no ambiente MOVE e NS2. Para cada um dos cenários foi considerado diferentes níveis de densidade e velocidade, permitindo assim inferir sobre a influência desses fatores na comunicação inter-veicular.

As observações provenientes da simulação, foram utilizadas para compor o teste de falseabilidade de Popper. Neste teste, buscou-se falsear a hipótese de influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular. No entanto, a sua existência ainda não foi descartada, o que faz com que a continue. Isto foi verificado com a utilização de diversas métricas, como: taxa de pacotes enviados; taxa de pacotes recebidos; taxa de colisão de pacotes; taxa de bits enviados vs média de atraso ponto a ponto; e taxa de bits recebidos vs média de atraso ponto a ponto.

Como resultado geral, constatou-se a importância da simulação na identificação de fatores que comprometem a comunicação, o que pode servir como base para o desenvolvimento de protocolos mais eficientes e capazes de se adaptar aos diversos tipos de cenários existentes.

No decorrer dessa dissertação, foram observadas algumas questões que ainda necessitam ser aprofundadas e solucionadas. Desse modo, alguns direcionamentos possíveis para trabalhos futuros, são: analisar de maneira isolada a influência da densidade e mobilidade na comunicação inter-veicular; estender a análise realizada para o cenário rural; avaliar outros protocolos disponíveis na literatura; e propor diretrizes para o desenvolvimento de protocolos mais eficientes.

REFERÊNCIAS

ABICHAR, Z; CHANG, J; HSU, C. WiMAX vs. LTE: Who Will Lead the Broadband Mobile Internet?. **IEEE Computer Society**, 2010.

ALVES, R; et al. Redes Veiculares: Princípios, Aplicações e Desafios. In: Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC), 2009.

ARMBRUST, M; et al. Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing. Berkeley University of California, 2009.

AZARMI, M; et al. Adaptive routing protocols for vehicular ad hoc networks. In: International Symposium on Telecommunications (IST), 2008.

BARONTI, P; et al. Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards. **Elsevier Computer Communications**, 2006.

BAYLESS, S; BELCHER, S. What to Expect Beyond 2015 – Fourth Generation (4G) Wireless and the Vehicle. In: BROWN, A. **Connectivity and The Mobility Industry**. USA: SAE International, 2011. Cap. 1, p. 11-29.

BEHRISCH, M; et al. SUMO – Simulation of Urban Mobility: An Overview. In: The Third International Conference on Advances in System Simulation, 2011.

BENSLIMANE, A; BARGHI, S; ASSI, C. Fast track article: An efficient routing protocol for connecting vehicular networks to the Internet. *Pervasive and Mobile Computing*, v. 7, n. 1, 2011.

BERNSEN, J; MANIVANNAN, D. Review: Unicast routing protocols for vehicular ad hoc networks: A critical comparison and classification. *Pervasive and Mobile Computing*, v.5, n.1, 2009.

BHALLA, M; BHALLA, A. **Generations of Mobile Wireless Technology: A Survey**. *International Journal of Computer Applications*, v.5, n.4, 2010.

BLUM, J; ESKANDARIAN, A; HOFFMAN, L. Challenges of Intervehicle Ad Hoc Networks. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 5, n. 4, p. 347-351, 2004.

BRIESEMEISTER, L; HOMMEL, G. Role-based multicast in highly mobile but sparsely connected ad hoc networks. *MobiHOC*, 2000.

BROWN, A. **Connectivity and The Mobility Industry**. USA: SAE International, 2011.

CAR 2 CAR COMMUNICATION CONSORTIUM (C2CCC). Disponível em: <<https://www.car-2-car.org/index.php?id=54>>. Acesso em: 12/11/15.

CASTRO, L; WAMBA, S. F. An Inside Look at RFID Technology. **Journal Of Technology Management & Innovation**, Montreal, v. 2, p. 128-141, 2007.

CAVENEY, D. Cooperative Vehicular Safety Applications. In: HARTENSTEIN, H; LABERTEAUX, K. **VANET: Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies**. UK: Wiley, 2010. Cap. 2, p. 21-48.

CHAN, W. Evaluation of Routing Protocols in VANETs: Concepts, Evaluation Methods, Performance Analysis, Comparison and Review. Germany: Verlag Dr. Müller, 2010.

CHEN, Y; LIN, Y; LEE, S. A Mobicast Routing Protocol in Vehicular Ad-Hoc Networks. *Mobile Networks and Applications*, v. 15, n. 1, 2010.

CHEN, Y; LIN, Y; PAN, C. DIR: diagonal-intersection-based routing protocol for vehicular ad hoc networks. *Telecommunications Systems*, v. 46, n. 4, 2011.

CHITRA, M; SATHYA, S. Issues and Challenges in Broadcast Storm Suppression Algorithms of Vehicular Ad Hoc Networks. *Informatics Engineering an International Journal (IEIJ)*, v.3, n.2, 2015.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. Boletim Informativo de Acidentes. Disponível em: <<http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/BOLETIM%20ECONOMICO/2014/Boletim%20Informativo%20-%20Acidentes%20Brasil%20-%2001%20-%202014.pdf>>. Acesso em: 22/03/16.

COTTINGHAM, D; DAVIES, J. **A Vision for Wireless Access on the Road Network**. In: *Proceedings of the 4th International Workshop on Intelligent Transportation (WIT)*, p. 25-30, Hamburg, Germany, 2007.

DAR, K; et al. *Wireless Communication Technologies for ITS Applications*. **IEEE Communications Magazine**, 2010.

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito. Estatísticas de Frota. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em: 22/03/16.

DIVECHA, B; et al. Impact of Node Mobility on MANET Routing Protocols Models. *Journal of Digital Information Management*, v.5, n.1, 2007.

ETEMAD, K. Overview of Mobile WiMAX Technology and Evolution. **IEEE Communications Magazine**, 2008.

FAROOQ, M; AHMED, M; AL, U. Future Generations of Mobile Communication Networks. *Academy of Contemporary Research Journal*, v.2, n.1, p. 24-30, 2013.

FERRO, E; POTORTI, F. Bluetooth and Wi-Fi Wireless Protocols: A Survey and a Comparison. **IEEE Wireless Communications Magazine**, 2004.

GALHARDI, A. The Brazilian Entrepreneurship on The Third Sector as a Way to Fight Against Poverty. 2005. 149 f. Tese (Doutorado de Filosofia em Administração) – Florida Christian University, Estados Unidos.

GHANDI, M; GUPTA, A. Simulation Tools in Vehicular Adhoc Network: A Challenge. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, v.5, n.4, 2015.

GOMEZ, C; OLLER, J; PARADELLS, J. Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology. **Sensors**, v. 12, n.9, p. 11734-11753, 2012.

GSMA. Connected Car Forecast: Global Connected Car Market to Grow Threefold Within Five Years, 2013. Disponível em: <http://www.gsma.com/connectedliving/wp-content/uploads/2013/06/cl_ma_forecast_06_13.pdf>. Acesso em: 03/08/15.

GUIMARÃES, A. Eletrônica Embarcada Automotiva. São Paulo: Editora Érica, 2010.

HARTENSTEIN, H; LABERTEAUX, K. **VANET: Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies**. UK: Wiley, 2010.

HEBERGER, A; CHRISTIE, C; ALKIN, M. A Bibliometric Analysis of the Academic Influences of and on Evaluation Theorists' Published Works. **American Journal of Evaluation**, v.31, n.1, p. 24-44, 2010.

HELD, G. Inter- and Intra- Vehicle Communications. USA: Auerbach Publications, 2008.

HONG-YU, H; et al. Performance Evaluation of SUVnet With Real-Time Traffic Data. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, v. 56, n. 6, 2007.

HUSSAIN, S; SAEED, A. An Analysis of Simulators for Vehicular Ad hoc Networks. *World Applied Sciences Journal*, n. 23, v.8, p. 1044-1048, 2013.

ISSARIYAKUL, T; HOSSAIN, E. Introduction to Network Simulator NS2. USA: Springer, 2009.

JERBI, M; et al. Towards Efficient Geographic Routing in Urban Vehicular Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, v. 58, n. 9, 2009.

KAHN, J; BARRY, J. Wireless Infrared Communications. In: Proceedings of the IEEE, v. 85, n.2, 1997.

KHAN, A; et al. 4G as a Next Generation Wireless Network. In: International Conference on Future Computer and Communication, 2009.

KHAN, I. Performance Evaluation of Ad Hoc Routing Protocols for VANETs Using Bi-Directionally Coupled Simulator. Berlin: Lambert Academic Publishing, 2010.

KHANDELWAL, Shilpi; KHANDELWAL, Shri. Comparative Analysis of Network Simulator for Vehicular Ad-Hoc Networks (VANET) Communication. Journal of Advanced Computing and Communication Technologies, v. 2, n.2, 2014.

KO, Y; VAIDYA, N. Location-aided routing (lar) in mobile ad hoc networks. Wireless Networks, n.6, v.4, p. 307-321, 2000.

KOBAYASHI, C.Y. A Tecnologia Bluetooth e Aplicações. BCC-IME-USP, 2004.

KRAJZEWICZ, D; et al. SUMO (Simulation of Urban Mobility): An open-source traffic simulation. . In: Proceedings of the 4th Middle East Symposium on Simulation and Modelling (MESM2002), p.183–187, 2002.

KUMAR, S; POORNIMA, V. A Study of Wireless Mobile Technology. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, v.4, n.1, 2014.

LAN, K; CHOU, C. Realistic Mobility Models for Vehicular Ad hoc Network (VANET) Simulations. In: 8th International Conference on ITS Telecommunications, 2008.

LANDT, J. The History of RFID. IEEE Potentials, 2005.

LEE, K; CHENG, P; GERLA, M. GeoCross: A geographic routing protocol in the presence of loops in urban scenarios. Vehicular Networks, v. 8, n. 5, 2010.

LEE, J; SU, Y; SHEN, C. A Comparative Study of Wireless Protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee and Wi-Fi. In: Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), 2007.

LEHR, W; MCKNIGHT, L. Wireless Internet Access: 3G vs. WiFi?. **Telecommunications Policy**, 2003.

- LI, B; et al. A Survey on Mobile WiMAX. **IEEE Communications Magazine**, 2007.
- LI, B; et al. Wireless Access for Vehicular Environments. [2013?]. Disponível em:
<<http://www.mehrpouyan.info/Projects/Group%205.pdf>>. Acesso em: 04/08/15.
- LI, F; WANG, Y. Routing in Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey. **IEEE Vehicular Technology Magazine**, 2007.
- LIN, Y; CHEN, Y; LEE, S. Routing Protocols in Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey and Future Perspectives. **Journal of Information Science and Engineering**, n.26, p. 913-932, 2010.
- LISTON, G. Verdade e Verossimilhança na Epistemologia de Popper. In: OLIVEIRA, P. **Ensaios sobre o Pensamento de Karl Popper**. Curitiba: Círculo de Estudos Bandeirantes, 2012. Cap. 9, p. 169-183.
- LITTLE, T; AGARWAL, A. An information propagation scheme for VANETs. In: **IEEE Proceedings on Intelligent Transportation Systems**, 2005.
- LOCHERT, C; et al. Geographic routing in city scenarios. **ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review**, n.9, p. 69–72, 2005.
- LOCHERT, C; SCHEUERMANN, B; MAUVE, M. Information Dissemination in VANETs. In: HARTENSTEIN, H; LABERTEAUX, K. **VANET: Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies**. UK: Wiley, 2010. Cap. 3, p. 49-80.
- MARTINEZ, F; et al. A Survey and Comparative Study of Simulators for Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs). In: **Wireless Communications and Mobile Computing**, 2011.
- MILLAR, I; et al. The IrDA Standards for High-Speed Infrared Communications. **The Hewlett-Packard Journal**. 1998.
- MITTAG, J; et al. MAC Layer and Scalability Aspects of Vehicular Communication Networks. In: HARTENSTEIN, H; LABERTEAUX, K. **VANET: Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies**. UK: Wiley, 2010. Cap. 7, p. 219-269.
- MITTAL, N; CHOUDHARY, S. Comparative Study of Simulators for Vehicular Ad-hoc Networks (VANETs). **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, v.4, n.4, 2014.

- MO, Z; et al. MURU: A Multi-Hop Routing Protocol for Urban Vehicular Ad Hoc Networks. In: 3rd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems, 2006.
- MOMENI, S; FATHY, M. Clustering In VANETs. In: Atlantis Computational Intelligence Systems, v.3, p. 271-301, 2010.
- MUSTAFA, B; RAJA, U. Issues of Routing in VANET. 2010. 55 F. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) - Blekinge Institute of Technology, Suécia.
- NAUMOV, V; GROSS, T. Connectivity-Aware Routing (CAR) in Vehicular Ad Hoc Networks. IEEE INFOCOM, 2007.
- NZOUONTA, J; et al. VANET Routing on City Roads Using Real-Time Vehicular Traffic Information. IEEE Transactions on Vehicular Technology, v. 58, n. 7, 2009.
- OLIVEIRA, A.S.; ANDRADE, F.S. **Sistemas Embarcados: Hardware e Firmware na Prática**. São Paulo: Érica, 2011.
- PATEL, M. Comparative Study of Vehicular Ad-hoc Network Mobility Models and Simulators. International Journal of Computer Applications, v.47, n. 6, 2012.
- PAUL, B; IBRAHIM; BIKAS, A. VANET Routing Protocols: Pros and Cons. International Journal of Computer Applications, v.20, n.3, 2011.
- POPESCU-ZELETIN, R; RADUSCH, I; RIGANI, M. Vehicular-2-X Communication. Germany: Springer, 2010.
- POPPER, K. A Lógica da Pesquisa Científica. São Paulo: Cultrix, 2002.
- RANJAN, P; AHIRWAR, K. Comparative Study of VANET and MANET Routing Protocols. In: International Conference on Advanced Computing and Communication Technologies, 2011.
- REHMAN, S; et al. Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs) – An Overview and Challenges. **Journal of Wireless Networking and Communications**, v.3, n.3, p. 29-38, 2013.
- SALEH, S. Performance Evaluation and Analysis for Various Routing Protocols Based on Xor Protocol in Vanets. International Journal of Research in Computer Applications and Robotics, n.5, v.3, p. 42-49, 2015.

- SANTOS, R; et al. Performance evaluation of routing protocols in vehicular ad-hoc networks. *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, v.1, p. 80-91, 2005.
- SEET, B; et al. A-STAR: A Mobile Ad Hoc Routing Strategy for Metropolis Vehicular Communications. **Lecture Notes in Computer Science**, v. 3042, p. 989-999, 2004.
- SHAREF, B; ALSAQOUR, R; ISMAIL, M. Vehicular Communication Ad Hoc routing protocols: A survey. **Journal of Network and Computer Applications**, 2014.
- SHARMA, P. Evolution of Mobile Wireless Communication Networks-1G to 5G as well as Future Prospective of Next Generation Communication Network. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, v.2, n.8, p. 47-53, 2013.
- SHUKLA, S; et al. Comparative Study of 1G, 2G, 3G and 4G. *Journal of Engineering, Computers & Applied Sciences (JEC&AS)*, v.2, n.4, 2013.
- SICHITIU, M; KIHIL, M. Inter-Vehicle Communication Systems: A Survey. **IEEE Communication Surveys**, v. 10, n.2, p. 88-105, 2008.
- SILVEIRA, F. A Filosofia de Karl Popper e suas Implicações no Ensino da Ciência. In: OLIVEIRA, P. *Ensaio sobre o Pensamento de Karl Popper*. Curitiba: Círculo de Estudos Bandeirantes, 2012. Cap. 12, p. 210-230.
- SOARES, V; RODRIGUES, J; FARAHMAND, F. GeoSpray: A geographic routing protocol for vehicular delay-tolerant networks. *Information Fusion*, v. 15, p. 102-113, 2014.
- SUTHAPUTCHAKUN, C; SUN, Z. Priority based Routing Protocol in Vehicular Ad hoc Network. In: *IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, p. 723-728, 2011.
- TALEB, T; et al. A Stable Routing Protocol to Support ITS Services in VANET Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, v.56, n.6, 2007.
- THOMAZ, P; ASSAD, R; MOREIRA, L. Using the Impact Factor and H Index to Assess Researchers and Publications. *Sociedade Brasileira de Cardiologia*, v.96, n.2, p. 90-93, 2011.
- TIAN, J; et al. Spatially Aware Packet Routing for Mobile Ad Hoc Inter-Vehicle Radio Networks. In: *Proceedings of the IEEE 6th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, v.2, p. 1546-1552, 2003.

TONGUZ, O; et al. Broadcasting in VANET. In: Mobile Networking for Vehicular Environments, 2007.

TOOR, Y; et al. Vehicle Ad Hoc Networks: Applications and Related Technical Issues. **IEEE Communication Surveys**, v. 10, n. 3, p. 74-88, 2008.

VARSHNEY, U. Vehicular Mobile Commerce: Applications, Challenges, and Research Problems. **Communications of the Association for Information Systems**, v. 16, p. 329-339, 2005.

VARSHNEY, U; RADHIKA, J. Issues in Emerging 4G Wireless Networks. IEEE Computer Society, 2001.

VIRTUAL INTERNETWORK TESTBED (VINT). The ns Manual, 2011. Disponível em:
< http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/ns_doc.pdf >. Acesso em: 20/08/15.

WANG, S; LIN, Y. PassCAR: A passive clustering aided routing protocol for vehicular ad hoc networks. Computer Communications, v. 36, n. 2, 2013.

WANT, R. An Introduction to RFID Technology. IEEE Pervasive Computing, 2006.

WISITPONGPHAN, N; et al. Routing in Sparse Vehicular Ad Hoc Wireless Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2007.

YOUSEFI, S; MOUSAVI, M; FATHY, M. **Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs): Challenges and Perspectives**. In: International Conference on ITS Telecommunications Proceedings, 2006.

ZACCARELLI, S; GALHARDI, A. Os Conceitos de Karl Popper na Construção do Conhecimento. In: SIMPEP, 2004.

ZEADALLY, S; et al. Vehicular Ad Hoc Networks (VANETS): Status, Results, and Challenges. Springer, 2010.

ZHANG, M; WOLFF, R. Routing protocols for vehicular Ad Hoc networks in rural areas. IEEE Communications Magazine, v. 46. n. 11, 2008.

ZHAO, J; CAO, G. VADD: Vehicle-Assisted Data Delivery in Vehicular Ad Hoc Networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology, v.57, n.3, 2008.

ZHOU, L; et al. NPPB: A Broadcast Scheme in Dense VANETs. *Information Technology Journal*, p. 247-256, 2010.

ZUDOR, E; et al. **The RFID Technology and Its Current Applications**. In: *Proceedings of The Modern Information Technology in the Innovation Processes of the Industrial Enterprises*, p. 29-36, 2006.

APÊNDICE A – Instalação das Ferramentas Necessárias para Simulação

Para realizar a instalação das ferramentas é necessário o uso de um computador com o sistema operacional Linux. Nesse trabalho, foi utilizada a distribuição Ubuntu 12.04 LTS de 64 bits. Para quem prefere trabalhar com o Windows, é possível utilizar também um simulador de ambiente Linux para realizar a instalação, sendo um dos mais conhecidos, o Cygwin. Já os requisitos de hardware podem variar de acordo com a complexidade do modelo simulado, ou seja, quanto maior for a complexidade, melhor deverá ser as configurações da máquina. Para esse estudo, a máquina utilizada possui um processador Intel Core i7 de 2.20 GHz, 4 GB de memória RAM e 60 GB de armazenamento interno.

Instalação do Network Simulator (NS2)

Passo 1: Fazer o download do Network Simulator:

<https://sourceforge.net/projects/nsnam/files/latest/download>

Passo 2: Copiar o pacote baixado “ns-allinone-2.35.tar.gz”, para o diretório home do usuário. Após, executar os seguintes comandos no terminal:

Navegar até o diretório home do usuário: *cd ~/*

Descompactar o conteúdo do arquivo: *tar -xvzf ns-allinone-2.35.tar.gz*

Passo 3: Instalar os pacotes extras requeridos para que o NS2 funcione corretamente. Para isso, deve-se executar o comando:

sudo apt-get install gcc-4.4 build-essential autoconf automake libxmu-dev

Passo 4: Realizar a modificação do arquivo “ls.h” localizado dentro da pasta do NS2. Para isso, deve-se navegar até a pasta citada por meio do seguinte comando:

cd ~/ns-allinone-2.35/ns-2.35/linkstate

Abrir o arquivo usando o comando *gedit ls.h* e na linha 137, substituir a palavra “*erase*” por “*this->erase*”, conforme apresentado na Figura A-1.

Figura A-1 - Modificação no arquivo ls.h

```

137     void eraseAll() { this->erase(baseMap::begin(), baseMap::end()); }
138     T* findPtr(Key key) {
139         iterator it = baseMap::find(key);
140         return (it == baseMap::end()) ? (T *)NULL : &((*it).second);
141     }

```

Fonte: O autor

Passo 5: Informar a versão do GCC a ser utilizada. Para isso, deve-se navegar até a pasta do NS2 e executar o seguinte comando:

```
sudo gedit ns-allinone-2.35/otcl-1.14/Makefile.in
```

Realizar a substituição no arquivo da palavra “CC= @CC@” por “CC= gcc-4.4”, conforme apresentado na Figura A-2.

Figura A-2 - Informando a versão do GCC a ser usada

```

2 #
3 # try ./configure first to fill in all the definitions corresponding
4 # to your system, but you always can edit the sections below manually.
5 #
6
7 CC=          gcc-4.4
8 CFLAGS=     @CFLAGS@
9 RANLIB=     @RANLIB@
10 INSTALL=   @INSTALL@

```

Fonte: O autor

Passo 6: Instalar o NS2, com privilégios de root, por meio do seguinte comando:

```
sudo ./install
```

Ressalta-se que o tempo de instalação varia de acordo com o sistema. Com as características do hardware utilizadas nesse estudo, o processo durou cerca de 4 minutos.

Passo 7: Configurar as variáveis de ambiente. Tais variáveis são responsáveis por informar ao sistema onde os arquivos do NS2 estão instalados. Para isso, deve-se editar o arquivo “.bashrc” do sistema operacional. Para abrir esse arquivo, executar o seguinte comando:

```
sudo gedit ~/.bashrc
```

Adicionar no final dele as informações contidas na Figura A-3. Nessas configurações, todos os diretórios estão apontando para a seguinte localização: /home/simulacao/Documents/simulacao/ns-allinone-2.35/. Essa é a localização específica desse trabalho, e deverá ser substituída pelo endereço de onde se descompactou o NS2.

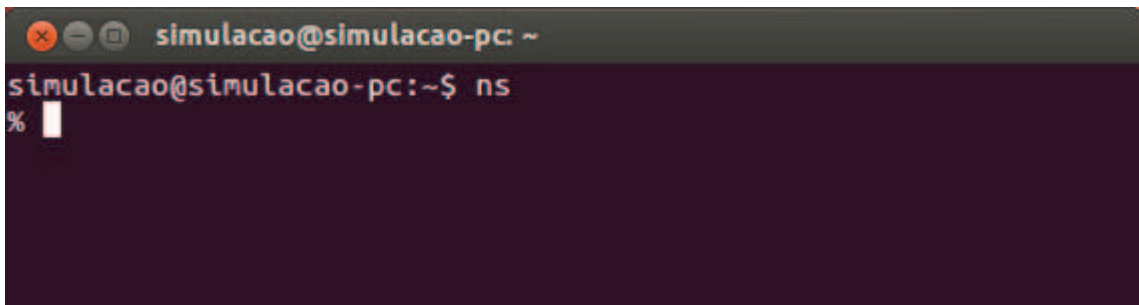
Figura A-3 - Configurações da Variável de Ambiente

```
NS2_LIB=/home/simulacao/Documents/simulacao/ns-allinone-2.35/lib
X11_LIB=/usr/X11R6/lib
USR_LOCAL_LIB=/usr/local/lib
export LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY_PATH:$NS2_LIB:$X11_LIB:$USR_LOCAL_LIB
# TCL_LIBRARY
TCL_LIB=/home/simulacao/Documents/simulacao/ns-allinone-2.35/tcl8.5.10/library
USR_LIB=/usr/lib
export TCL_LIBRARY=$TCL_LIB:$USR_LIB
# PATH
XGRAPH=/home/simulacao/Documents/simulacao/ns-allinone-2.35/bin:/home/simulacao/Documents/simulacao/ns-allinone-2.35/tcl8.5.10/unix:/home/simulacao/Documents/simulacao/ns-allinone-2.35/tk8.5.10/unix
#the above two lines beginning from xgraph and ending with unix should come on the same line
NS=/home/simulacao/Documents/simulacao/ns-allinone-2.35/ns-2.35/
NAM=/home/simulacao/Documents/simulacao/ns-allinone-2.35/nam-1.15/
PATH=$PATH:$XGRAPH:$NS:$NAM
```

Fonte: O Autor

Passo 8: Reiniciar o computador para atualizar as variáveis de ambiente. Após a reinicialização, o NS2 já poderá ser executado por meio do comando *ns*. Se a instalação foi realizada de forma correta, então o terminal do sistema ficará semelhante ao apresentado na Figura A-4.

Figura A-4 - Executando o NS2



```
simulacao@simulacao-pc: ~
simulacao@simulacao-pc:~$ ns
% |
```

Fonte: O Autor

Instalação do SUMO

A versão do SUMO utilizada foi a 0.12.3. Atualmente, existem versões mais novas, porém essa é a única versão que é compatível com a ferramenta MOVE. Portanto, os passos necessários para sua instalação estão descritos abaixo.

Passo 1: Realizar o download do SUMO por meio do seguinte endereço:

<https://sourceforge.net/projects/sumo/files/sumo/version%200.12.3/sumo-src-0.12.3.tar.gz/download>.

Passo 2: Instalar os pacotes necessários para que o SUMO funcione corretamente. Para isso, executar o seguinte comando no terminal:

sudo apt-get install build-essential autoconf automake libxmu-dev default-jre g++-4.4 libproj-dev libgdal-dev libxerces-c2-dev libfox-1.6-dev

Ressalta-se que alguns desses pacotes já foram instalados anteriormente para o NS2, portanto caso tenha configurado o NS2 primeiro, instalar apenas os pacotes que faltam.

Passo 3: Realizar a configuração das variáveis de ambiente. Para isso, deve-se abrir o terminal e informar o seguinte comando:

export CC=gcc-4.4 CXX=g++-4.4

Passo 4: Copiar o arquivo do SUMO para o diretório home do usuário. Agora é necessário extrair o seu conteúdo, portanto executar o seguinte comando:

tar xzvf sumo-src-0.12.3.tar.gz

Após a extração, uma pasta chamada “sumo-0.12.3” será criada.

Passo 5: Acessar a pasta criada anteriormente por meio do comando:

cd ~/sumo-0.12.3/

Passo 6: Executar dentro da pasta do SUMO os comandos responsáveis por configurar e instalar a aplicação:

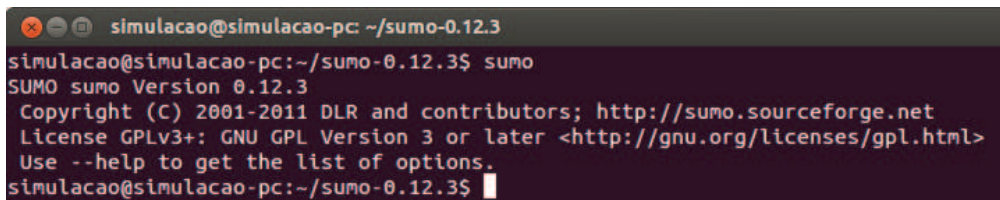
```
./configure
```

```
make
```

```
sudo make install
```

Passo 7: Após o término da instalação, executar o SUMO. Para isso, utilizar o comando *sumo* para verificar se a aplicação foi instalada corretamente (Figura A-5) e *sumo-gui* para iniciar sua interface gráfica (Figura A-6).

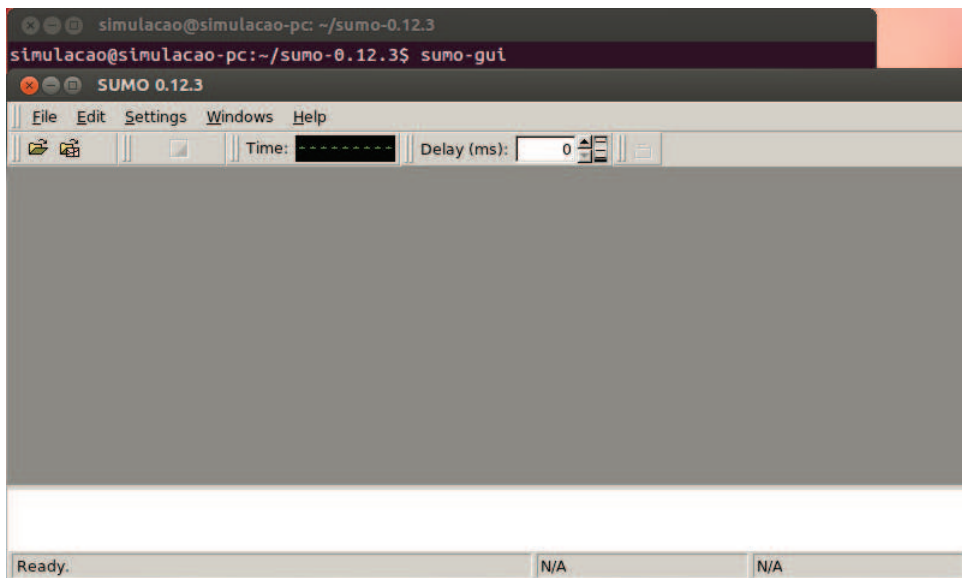
Figura A-5 - Executando o SUMO por linha de comando



```
simulacao@simulacao-pc: ~/sumo-0.12.3
simulacao@simulacao-pc:~/sumo-0.12.3$ sumo
SUMO sumo Version 0.12.3
Copyright (C) 2001-2011 DLR and contributors; http://sumo.sourceforge.net
License GPLv3+: GNU GPL Version 3 or later <http://gnu.org/licenses/gpl.html>
Use --help to get the list of options.
simulacao@simulacao-pc:~/sumo-0.12.3$
```

Fonte: O Autor

Figura A-6 - Executando o SUMO por interface gráfica



Fonte: O Autor

Instalação do MOVE

O MOVE é um arquivo Java auto executável, portanto não é necessário realizar a sua instalação. No entanto, o Java deve estar instalado na máquina para que seja possível executá-lo. Os passos abaixo mostram como instalar o Java e como executar o MOVE.

Passo 1: Instalar o Java por meio dos seguintes comandos:

```
sudo apt-get install default-jre
```

```
sudo apt-get install default-jdk
```

Passo 2: Realizar o download do MOVE:

```
https://lens.csie.ncku.edu.tw/MOVE/download.php
```

Passo 3: Copiar o arquivo baixado para a pasta home do usuário. Acessar a pasta via terminal usando o seguinte comando:

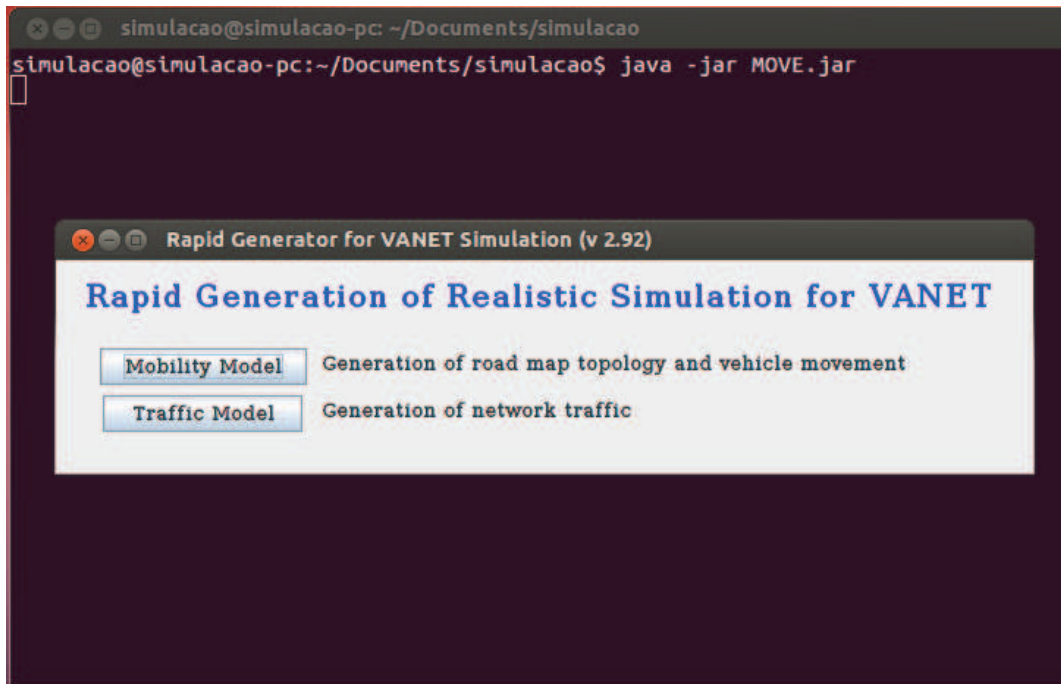
```
cd ~/
```

Passo 4: No diretório home, executar o MOVE utilizando a seguinte linha de comando:

```
java -jar MOVE.jar
```

Caso a aplicação tenha sido instalada corretamente, a tela principal do MOVE será apresentada (Figura A-7).

Figura A-7 - Execução do MOVE



Fonte: O Autor

Instalação do TraceGraph

O TraceGraph é uma ferramenta capaz de analisar o arquivo de *trace*, com a extensão “.tr”, gerado pelo simulador de rede. Esse arquivo contém todas as informações geradas durante o processo de simulação. Além disso, o sistema possui diversas métricas para analisar o desempenho dos protocolos de roteamento, permitindo inclusive a visualização de gráficos para cada uma delas. A principal vantagem de utilizar essa aplicação é que a interpretação dos dados existentes no arquivo texto é mais complexa do que a informação já processada e devidamente disposta em gráficos. A seguir são apresentados os passos necessários para a instalação dessa ferramenta.

Passo 1: Realizar o download do TraceGraph:

<https://www.dropbox.com/s/m58y3stwsqjvklq/tracegraph202linux.tar.gz?dl=0>

Passo 2: Fazer o download do mgInstaller. Tal aplicativo é responsável por instalar as bibliotecas necessárias para o funcionamento do TraceGraph:

<https://www.dropbox.com/s/ctu96p9xwcl8onb/mginstaller.gz?dl=0>

Passo 3: Copiar o arquivo do TraceGraph para a pasta home do usuário e descompactá-lo. Para isso, utilizar o seguinte comando:

```
tar zxvf tracegraph202.tar.gz
```

Esse comando irá criar uma pasta chamada “tracegraph202” na pasta home do usuário.

Passo 4: Copiar o arquivo do mgInstaller para a pasta “tracegraph202” e descompactar o seu conteúdo; um arquivo chamado mgInstaller será criado. Acessar a pasta criada anteriormente:

```
cd ~/tracegraph202/
```

Passo 5: Modificar as permissões do mgInstaller na pasta “tracegraph202”, tornando-o executável:

```
sudo chmod 777 mgInstaller
```

Passo 6: Executar o mgInstaller para que seja criada a pasta “glnx86” dentro da pasta “bin” do TraceGraph. Essa pasta, contém as bibliotecas necessárias para o correto funcionamento do programa.

```
./mgInstaller
```

Passo 7: Editar o arquivo “.bashrc” para configurar as variáveis de ambiente. Para isso, executar o seguinte comando:

```
sudo gedit ~/.bashrc
```

Passo 8: Identificar no arquivo a linha apresentada abaixo:

```
export LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY_PATH:$OTCL_LIB:$NS2_LIB:$X11_LIB:  
$USR_LOCAL_LIB
```

Acrescentar no final da linha o caminho completo até a pasta “glnx86”. Por exemplo, caso a pasta esteja localizada em: /home/exemplo/tracegraph202/bin/glnx86, a linha deverá ficar da seguinte forma:

```
export LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY_PATH:$OTCL_LIB:$NS2_LIB:$X11_LIB:  
$USR_LOCAL_LIB:/home/exemplo/tracegraph202/bin/glnx86
```

Passo 9: Executar o TraceGraph. No terminal, navegar até a pasta onde foi descompactado:

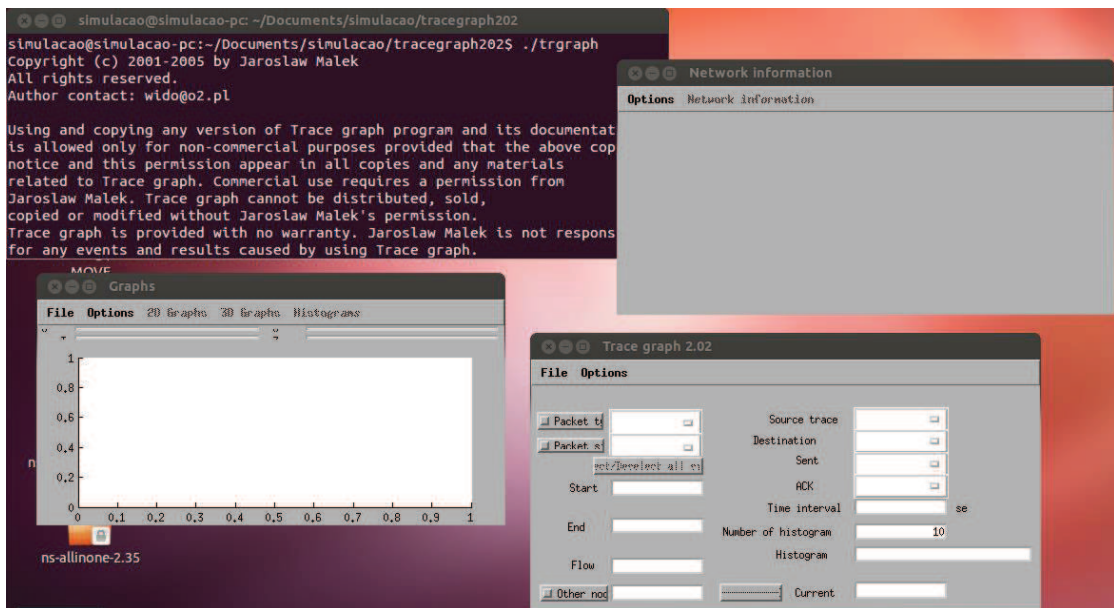
```
cd ~/tracegraph202/
```

Em seguida, pode-se executar a aplicação:

```
./trgraph
```

Caso a instalação esteja correta, as três telas iniciais do programa deverão aparecer, conforme apresentado Figura A-8.

Figura A-8 - Execução do TraceGraph



Fonte: O Autor