

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS  
Programa de Pós-Graduação em Informática

Mauro Salomão de Castro

**SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE ALGORITMOS DE  
DISSEMINAÇÃO EM REDES VEICULARES**

Belo Horizonte

2013

Mauro Salomão de Castro

**SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE ALGORITMOS DE  
DISSEMINAÇÃO EM REDES VEICULARES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Informática.

Orientadora: Fátima de Lima Procópio  
Duarte Figueiredo

Belo Horizonte

2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

C355s Castro, Mauro Salomão de  
Simulação e análise de algoritmos de disseminação em redes veiculares /  
Mauro Salomão de Castro. Belo Horizonte, 2013.  
84f. : il.

Orientadora: Fátima de Lima Procópio Duarte Figueiredo  
Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.  
Programa de Pós-Graduação em Informática.

1. Sistemas de comunicação móvel. 2. Disseminação da informação. 3.  
Protocolo de aplicação sem fio (Protocolo de rede de computador. I. Figueiredo,  
Fátima de Lima Procópio Duarte. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas  
Gerais. Programa de Pós-Graduação em Informática. III. Título.

SIB PUC MINAS

CDU: 681.3.01:621.39

Mauro Salomão de Castro

**SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE ALGORITMOS DE  
DISSEMINAÇÃO EM REDES VEICULARES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática como requisito parcial para qualificação ao Grau de Mestre em Informática pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Fátima de Lima Procópio  
Duarte Figueiredo  
Orientadora (PUC Minas)

---

Prof. Dr. Mark Alan Junho Song  
(PUC Minas)

---

Prof. Dr. Antonio Alfredo Ferreira Loureiro  
(UFMG)

Belo Horizonte, 13 de Novembro de 2013.

*Aos meus pais, Raquel e Cláudio, pelo apoio incondicional, carinho, incentivo e total dedicação. Também à minha irmã, Márcia, pelo exemplo de superação, vontade de viver e, principalmente, por viver a vida aproveitando ao máximo todos os momentos.*

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais, Raquel e Cláudio, pelo apoio incondicional, carinho, incentivo, dedicação e esforços que fizeram com que o mestrado pudesse ser concluído com êxito. Também à minha irmã, Márcia, pelo exemplo de superação, vontade de viver e, principalmente, por viver a vida aproveitando ao máximo todos os momentos.

Agradeço também à professora Fátima Duarte-Figueiredo pela oportunidade de realizar o projeto de mestrado e pelo crescente aprendizado proporcionado durante todo o tempo de convivência. À aluna de doutorado e também professora da PUC Minas Anna Izabel Tostes pelos importantes auxílios, dicas e discussões que contribuíram significativamente para melhorar a qualidade do trabalho. A todos que participaram direta ou indiretamente deste trabalho, muito obrigado.

Aos amigos e colegas do mestrado, principalmente, aos que conheço desde os tempos da graduação e iniciação científica pelas conversas e reuniões sejam elas sobre a dissertação ou não.

Agradeço também à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais pelo financiamento deste trabalho.

*“A mente que se abre a uma nova ideia jamais  
voltará ao seu tamanho original.”*

*Albert Einstein*

## RESUMO

As redes veiculares são compostas por veículos e unidades de acostamento distribuídos nas vias de circulação. Elas possuem algumas características peculiares como alta mobilidades dos nós, representados por veículos, enlaces passíveis de constantes interrupções e requisitos rigorosos em relação à latência. Logo, os protocolos para esse domínio de aplicação devem ser capazes de se adaptarem ao meio de forma a propagar as mensagens desejadas. O objetivo deste trabalho é avaliar algoritmos de disseminação a veículos de uma região de interesse. Alguns dos protocolos de disseminação enviam as mensagens, a partir de um veículo, a todos os nós adjacentes, enquanto outros enviam somente a determinados automóveis vizinhos de acordo com alguns critérios de escolha ou até mesmo o contexto. Este trabalho compara, através de simulações, os protocolos AODV, Flooding, Gossiping, Novo AODV e ROVER no contexto de redes veiculares. Eles foram desenvolvidos, utilizando o padrão de comunicação veicular IEEE 802.11p, para disseminar mensagens sobre um acidente a uma região de interesse, de forma que os receptores, além de terem conhecimento sobre o acidente, possam escolher rotas alternativas para evitar a ocorrência de novos acidentes e aumentar a segurança na rodovia. Os resultados mostram que o *flooding* espalha as informações sobre o acidente rapidamente, mas sobrecarrega a simulação com pacotes desnecessários. O *gossiping* contém uma das maiores latências e envia o maior número de pacotes de controle. A latência do ROVER é diretamente proporcional ao tamanho da região de interesse. O AODV e o Novo AODV são os protocolos que enviam a menor quantidade de pacotes de dados, possuem o menor volume de dados trafegados e também possuem uma das menores latências.

Palavras-chave: Redes Veiculares. Disseminação de Mensagens. VANET. *Flooding*. *Gossiping*. ROVER. AODV. Novo AODV.

## ABSTRACT

Vehicular networks are composed of vehicles and roadside units distributed in the aisles. They have unique characteristics such as high mobility of nodes represented by vehicles, unreliable links and strict requirements regarding latency. Thus, the protocols for this kind of application must be able to adapt to the medium in order to propagate the desired messages. This paper compares, through simulations, protocols AODV, Flooding, Gossiping, New AODV, ROVER in the context of vehicular networks. They were developed using the communication standard IEEE 802.11p to spread message of an event to the region of interest, so that the receiver, in addition to having knowledge of the event can choose alternate routes to avoid new events and increase safety on the highway. Results show that flooding spreads information about the event quickly, but overloads the simulation with unnecessary packages. The gossiping contains the major latency in some cases and it sends the highest number of control packets. The ROVER latency is directly proportional to the size of the region of interest. New AODV and AODV are the protocols that send the least amount of data packets, they have the lowest volume of data traffic and they also have one of the lowest latencies.

Keywords: Vehicular Ad Hoc Networks. Data Dissemination. VANET. *Flooding*. *Gossiping*. ROVER. AODV. New AODV.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Exemplo de eventos para redes veiculares. ....	22
FIGURA 2 – Alocação do espectro de frequência para redes veiculares. ....	22
FIGURA 3 – Categorias de infraestrutura para redes veiculares. ....	25
FIGURA 4 – Estrutura de uma rede veicular <i>Prediction-Based Routing</i> . ....	29
FIGURA 5 – Representação do protocolo baseado em posicionamento. ....	32
FIGURA 6 – Representação do protocolo VADD. ....	35
FIGURA 7 – Propagação de mensagens no <i>flooding</i> . ....	40
FIGURA 8 – Propagação de mensagens através do <i>Gossiping</i> . ....	42
FIGURA 9 – Encaminhamento de mensagem da origem ao destino pelo AODV. ...	43
FIGURA 10 – Endereçamento <i>multicast</i> do AODV. ....	45
FIGURA 11 – Escolha dos vizinhos <i>mais estáveis</i> pelo AODV. ....	51
FIGURA 12 – Categorias do cálculo do LET. ....	52
FIGURA 13 – Utilização de WiMAX para gerenciar o grupo de veículos dependentes. 56	
FIGURA 14 – Descrição do ambiente das simulações. ....	58
FIGURA 15 – Região da FIAT em Betim/MG. ....	60
FIGURA 16 – Latência dos pacote de controle. ....	63
FIGURA 17 – Latência dos pacotes do evento. ....	63
FIGURA 18 – Quantidade de mensagens de controle enviadas. ....	64
FIGURA 19 – Quantidade de mensagens do evento enviadas. ....	65
FIGURA 20 – Volume de pacotes de controle disseminados. ....	66
FIGURA 21 – Volume de pacotes do evento disseminados. ....	66
FIGURA 22 – Número de saltos para os protocolos AODV e Novo AODV. ....	67
FIGURA 23 – Latência de controle para distribuição real de veículos. ....	68
FIGURA 24 – Latência do evento para a distribuição real de veículos. ....	69

FIGURA 25 – Quantidade de mensagens de controle enviadas para a distribuição real de veículos. . . . .	70
FIGURA 26 – Quantidade de mensagens do evento para a distribuição real de veículos.	71
FIGURA 27 – Volume de dados de controle para a distribuição real de veículos. . . . .	72
FIGURA 28 – Volume de dados do evento para a distribuição real de veículos. . . . .	72
FIGURA 29 – Número de saltos para os protocolos AODV e Novo AODV para a distribuição real de veículos. . . . .	73
FIGURA 30 – Taxa de entrega de pacotes para distribuição real de veículos. . . . .	74
FIGURA 31 – Quantidade de veículos que seguiram para a rota alternativa na distribuição real de veículos. . . . .	75

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Veículos fabricados e emplacados no Brasil entre 2006 e 2012. ....	18
TABELA 2 – Protocolos de roteamento estudados .....	38
TABELA 3 – Parâmetros das simulações. ....	60

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**AODV** – *Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing*

**A-STAR** – *Anchor-Based Street and Traffic Aware Routing*

**CGSR** – *Clusterhead Gateway Switch Routing*

**DRG** – *Distributed Robust Geocast*

**DSDV** – *Destination-Sequenced Distance-Vector Routing*

**DSR** – *Dynamic Source Routing*

**ERB** – *Estação Rádio-Base*

**FCC** – *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

**GFG** – *Geographic Forwarding Geocast*

**GFPG** – *Geographic Forwarding Perimeter Geocast*

**GPS** – *Global Positioning System*

**GSR** – *Geographic Source Routing*

**GPSR** – *Greedy Perimeter Stateless Routing*

**GyTAR** – *Greedy Traffic Aware Routing*

**IEEE** – *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

**IVG** – *Inter-Vehicle Geocast*

**LET** – *Link Expiration Time*

**LOUVRE** – *Landmark Overlay for Urban Vehicular Routing Environments*

**MAR-DYMO** – *Mobility-aware Ant Colony Optimization Routing*

**MoVe** – *Motion Vector*

**IPEA** – *Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada*

**PBR** – *Prediction Based Routing*

**RERR** – *Route Error*

**RET** – *Route Expiration Time*

**ROI** – *Região de Interesse*

**ROVER** – *Robust Vehicular Routing*

**RREP** – *Route Reply*

**RREQ** – *Route Request*

**RSU** – *Roadside Unit*

**SAR** – *Spatially-Aware Packet Routing*

**SKVR** – *Scalable Knowledge-Based Routing*

**SODAD** – *Segment-Oriented Data Abstraction and Dissemination*

**SSA** – *Signal Stability-based Adaptive*

**SUMO** – *Simulation of Urban Mobility*

**TLAR** – *Traffic Light Aided Routing*

**TORA** – *Temporally Ordered Routing Algorithm*

**TTL** – *Time-to-live*

**UDP** – *User Datagram Protocol*

**UHS** – *Ubiquitous Help System*

**UMB** – *Urban Multi-hop Broadcast Protocol*

**VADD** – *Vehicle-Assisted Data Delivery*

**VANET** – *Vehicular Ad-Hoc Network*

**VIN** – *Vehicle Identifier*

**WLAN** – *Rede Local Sem Fio, do inglês Wireless Local Area Network*

**ZRP** – *Zone Routing Protocol*

**ZRREP** – *Zone Route Reply*

**ZRREQ** – *Zone Route Request*

**ZOF** – *Zone of Forwarding*

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Motivação.....	17
1.2	Problema .....	18
1.3	Objetivos .....	19
1.4	Justificativa .....	19
1.5	Organização do Texto .....	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO E TRABALHOS RELACIONADOS.....	21
2.1	Computação Sensível ao Contexto.....	21
2.2	Redes Veiculares.....	21
2.2.1	<i>Possíveis Problemas em VANETs</i> .....	24
2.3	Arquiteturas e Aplicações de Redes Veiculares .....	24
2.4	Conceitos em Redes Móveis .....	28
2.5	Protocolos de roteamento em Redes Veiculares .....	28
2.5.1	<i>Protocolos baseados em topologia</i> .....	28
2.5.2	<i>Protocolos baseados em posicionamento</i> .....	31
2.5.3	<i>Protocolos Oportunísticos</i> .....	34
2.5.4	<i>Protocolos Baseados em Disseminação de Informações</i> .....	36
2.6	Protocolos Implementados .....	38
2.6.1	<i>Inundação ou Flooding</i> .....	39
2.6.2	<i>Difusão Epidêmica ou Gossiping</i> .....	41
2.6.3	<i>Ad-hoc On-Demand Distance Vector Algorithm</i> .....	42
2.6.3.1	<u>Endereçamento multicast do AODV</u> .....	44
2.6.3.2	<u>Descrição do AODV</u> .....	45
2.6.4	<i>Robust Vehicular Routing</i> .....	48
2.6.4.1	<u>Descoberta de Rota</u> .....	49
2.6.4.2	<u>Transferência de Dados</u> .....	49
2.6.5	<i>Novo AODV</i> .....	50
2.6.5.1	<u>Descrição do Novo AODV</u> .....	53
2.7	Utilização de outras tecnologias em Redes Veiculares .....	54

3	SIMULAÇÕES.....	57
3.1	Descrição dos Simuladores .....	57
3.2	Cenário das Simulações.....	58
4	SIMULAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	62
4.1	Distribuição Isonômica de Veículos .....	62
4.1.1	<i>Latência média</i> .....	62
4.1.2	<i>Número de Pacotes Enviados</i> .....	63
4.1.3	<i>Volume de Pacotes Enviados</i> .....	65
4.1.4	<i>Número Médio de Saltos</i> .....	66
4.2	Proporção Real de Veículos .....	67
4.2.1	<i>Latência Média</i> .....	67
4.2.2	<i>Número de Pacotes Enviados</i> .....	69
4.2.3	<i>Volume de Pacotes Enviados</i> .....	71
4.2.4	<i>Número Médio de Saltos</i> .....	72
4.2.5	<i>Taxa de Entrega de Pacotes</i> .....	73
4.2.6	<i>Quantidade de Receptores</i> .....	74
4.3	Análise dos Resultados .....	75
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	77
5.1	Trabalhos futuros .....	78
	REFERÊNCIAS .....	80

# 1 INTRODUÇÃO

O primeiro projeto de redes veiculares surgiu em 1999 através da parceria de várias montadoras de veículos (PARNO; PERRIG, 2005). Desde então, várias instituições e órgãos mundiais destinaram recursos às pesquisas e ao desenvolvimento de soluções de redes veiculares no intuito de melhorar a segurança no trânsito e a qualidade de vidas das pessoas que utilizam algum meio de transporte.

Pesquisas em redes veiculares ou *Vehicular Ad-Hoc Networks* (VANETs) visam soluções que ofereçam assistência, conforto e segurança ao motorista e aos passageiros. VANETs são compostas, basicamente, por veículos e unidades de acostamento distribuídos nas vias de circulação (FERRAZ; GOLÇANVES, 2009). Um dos novos domínios de aplicação da computação ciente de contexto (OLIVEIRA, 2010) está relacionado às redes veiculares, pelo fato de serem redes móveis bastante dinâmicas, ou seja, a localização do veículo e os recursos de comunicação disponíveis interferem diretamente na topologia da rede. As redes veiculares possuem características peculiares como a alta mobilidade dos nós, enlaces passíveis de constantes interrupções, restrições de latência e de infra-estrutura ao redor das vias de circulação.

Para que um veículo possa transmitir e/ou receber dados para um ou mais destinatários são necessários protocolos eficientes e, de acordo com o domínio do problema, os pacotes devem chegar ao destino da forma mais confiável e rápida possível. O *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) alterou o padrão de comunicação sem fio e criou o IEEE 802.11p para reduzir a quantidade de pacotes de controle e aproveitar ao máximo o *tempo de contato* entre os interessados para efetivamente trocar pacotes relevantes. Caso exista um acidente em uma via de circulação, os motoristas dos veículos localizados nos arredores devem ser informados imediatamente (FERRAZ; GOLÇANVES, 2009). Outras situações relacionadas à segurança no trânsito e que utilizam comunicação entre os veículos são alertas de frenagem, de velocidade em curvas, de violação de semáforo e de mudança de faixa (BMW DAIMLERCHRYSLER; VW, 2005). Outras possíveis aplicações estão relacionadas ao entretenimento e assistência ao motorista. Através delas, os motoristas podem compartilhar arquivos de áudio e vídeo, navegar na internet, visualizar e-mails, saber a localização dos postos de combustíveis, restaurantes ou hotéis mais próximos à posição atual do veículo, dentre outros recursos.

## 1.1 Motivação

O aumento na circulação do veículos nas regiões brasileiras nos últimos anos e o baixo investimento em transportes públicos de qualidade fazem com que as pessoas optem por transportes individuais. Dados do Departamento Nacional de Trânsito registraram

número recorde de veículos fabricados e emplacados no Brasil entre os anos de 2006 e 2012 como pode ser visto na tabela 1. Pode-se observar que o número de veículos produzidos em 2011 foi quase o dobro de 2006.

**Tabela 1 – Veículos fabricados e emplacados no Brasil entre 2006 e 2012.**

Região	Em 2006	Em 2007	Em 2008	Em 2009	Em 2010	Em 2011	Em 2012
Norte	179 364	234 259	316 199	304 561	347 968	396 980	333 405
Nordeste	565 971	745 748	981 257	985 715	1 170 539	1 296 303	1 091 503
Sudeste	1 654 722	2 148 029	2 512 579	2 136 829	2 445 690	2 682 230	2 257 514
Sul	629 145	780 806	931 783	819 705	910 124	1 006 055	884 750
Centro-Oeste	307 784	435 799	556 888	481 450	546 244	591 785	515 928
Total	3 336 986	4 344 641	5 298 706	4 728 260	5 420 565	5 973 353	5 083 100

Fonte: Departamento Nacional de Trânsito, 2013.

Um dos problemas em redes veiculares é o de segurança no trânsito e serve para evitar ou reduzir a gravidade dos acidentes através da disponibilização de informações aos motoristas ou até mesmo da criação de dispositivos de segurança nos veículos como limite mínimo da distância ao veículo localizado à frente, frenagem automática e outros. Outra vantagem é a identificação da posição dos veículos existentes na via de circulação em dias com neblina ou chuvosos.

Redes veiculares também podem ser úteis em muitos eventos no trânsito como:

- Emitir alertas sobre acidentes existentes nas rodovias no intuito de evitar outros possíveis acidentes e possibilitar que os motoristas localizados na mesmo sentido escolham rotas alternativas;
- Facilitar a circulação de viaturas e veículos de emergência de forma a atender às pessoas o mais rápido possível;
- Disponibilizar serviços de entretenimento, compartilhamento de arquivos e acesso à internet;
- Oferecer informações sobre pontos turísticos, restaurantes, postos de combustíveis, hotéis, vagas em estacionamentos de acordo com a localização atual do veículo.

Os protocolos de roteamento e os métodos de disseminação de mensagens informam aos veículos a coordenada do acidente e as pistas bloqueadas de forma que os veículos sigam para as rotas alternativas. Contudo, os automóveis devem possuir dispositivos GPS para indicar essas rotas alternativas.

## 1.2 Problema

Um dos problemas de VANETs se refere à forma como as mensagens são disseminadas entre os elementos da rede. Existem diversos protocolos de disseminação para redes

de computadores, mas não se sabe quais deles são adequados ao dinamismo de configuração e à alta mobilidade das redes veiculares (FERRAZ; GOLÇANVES, 2009; JIANG; DELGROSSI, 2008). Além disso, as redes veiculares possuem requisitos estritos de latência para que os veículos em uma via de circulação sejam informados sobre o evento de trânsito no menor tempo possível (ZHAO; CAO, 2008; FEI; YANG; CHENG, 2011).

### 1.3 Objetivos

Informações sobre o veículo, a topologia da rede e o ambiente de um acidente devem ser transmitidos aos veículos naquela região. O principal objetivo deste trabalho foi avaliar protocolos de disseminação em ambientes veiculares, através de simulações.

Após o estudo de vários protocolos para redes *ad hoc* foram escolhidos alguns deles e os mesmos foram adaptados para disseminar informações sobre um acidente, considerando a coordenada geográfica, o sentido de circulação e a velocidade relativa dos veículos. As adaptações incluem disseminar as informações em uma determinada região geográfica para não congestionar a rede com pacotes desnecessários e alguns desses protocolos foram alterados para suportar o endereçamento *multicast* para todos os veículos existentes na região de interesse.

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Alterar todos os protocolos escolhidos para funcionar limitados em uma região geográfica;
- Considerar a velocidade e o sentido de deslocamento dos veículos no processo de roteamento;
- Alterar dois desses protocolos para suportar o endereçamento *multicast*;
- Avaliar o desempenho dos protocolos implementados.

### 1.4 Justificativa

O IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, em um dos últimos relatórios demonstrou gastos, em cerca, de R\$ 22 bilhões devido aos acidentes em rodovias municipais, estaduais e federais. Essas despesas incluem tratamento das pessoas envolvidas, valor de indenizações em caso de vítimas fatais, restauração das rodovias, dentre outros (SOARES; SIQUEIRA, 2006). Dados recentes do IPEA revelam aumento desse valor para R\$40 bilhões e considera acidentes em rodovias e ambientes urbanos. O custo de um acidente com vítima fatal em rodovias no Brasil é de mais de R\$566 mil, pois considera

o quanto a vítima produziria de acordo com a classe social e a expectativa de vida da população brasileira e também o dano à propriedade.

Pesquisas relacionadas às redes veiculares visam tornar vias de trânsito mais seguras, proporcionando conforto e qualidade de vida aos usuários das mesmas. Vias de trânsito mais seguras devem informar aos motoristas a existência de algum acidente, ruas e/ou estradas obstruídas, situações de emergência como frenagem brusca ou veículos se deslocando em sentido proibido a ponto de evitar ou reduzir a gravidade dos acidentes de trânsito. Conforto e qualidade de vida dizem respeito às informações obtidas pelo motorista, em tempo real, permitindo a execução de ações para contribuir com a melhoria do trânsito.

## 1.5 Organização do Texto

Este trabalho compara, através de simulações, cinco protocolos, *flooding*, *gossiping*, ROVER, AODV, Novo AODV utilizando os recursos da comunicação do padrão IEEE 802.11p. Esses protocolos foram utilizados para informar a existência de um acidente em uma rodovia e permitir a escolha de rotas alternativas.

O capítulo 2 contém os protocolos pesquisados e uma breve explicação de cada um deles, incluindo os protocolos implementados. O capítulo 3 (metodologia de pesquisa) contém as etapas do desenvolvimento da dissertação e também descreve o ambiente das simulações. O capítulo seguinte, simulações e resultados, exhibe os gráficos obtidos para cada protocolo, ROI, velocidade dos veículos e analisa as vantagens de cada abordagem. O capítulo 5 conclui o trabalho e relata alguns possíveis trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO E TRABALHOS RELACIONADOS

As subseções a seguir estão relacionadas à computação sensível ou ciente de contexto, a alguns protocolos de disseminação de informações em redes móveis e a alguns protocolos adaptados ou criados para redes veiculares.

### 2.1 Computação Sensível ao Contexto

A computação sensível ou ciente ao contexto visa coletar todas as informações capazes de representar as características atuais dos usuários, informações do ambiente, do dispositivo utilizado como recurso de hardware e de software disponíveis, dados da comunicação, dentre outros (BALDAUF; DUSTDAR; ROSENBERG, 2007). Não há intervenção explícita do usuário e as informações de contexto visam aumentar a disponibilidade e a eficácia destes sistemas.

Em redes veiculares, a computação sensível ao contexto pode ser importante para estabelecer os critérios de roteamento em função das características momentâneas da rede. Nesses ambientes, é necessário analisar a velocidade relativa dos veículos vizinhos, o sentido de deslocamento, a densidade de veículos da via, a qualidade da pavimentação por trechos da rodovia, a visibilidade, dentre outros.

### 2.2 Redes Veiculares

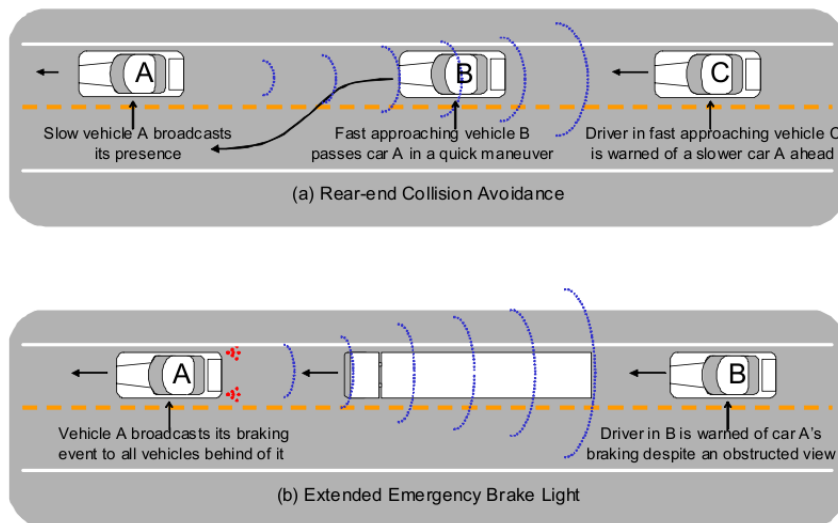
As primeiras pesquisas em redes veiculares sem fio ou *Vehicular Ad-Hoc Network* (VANET) surgiram na década de 1980 e, nos últimos anos, houve um crescimento considerável tanto na pesquisa como no desenvolvimento desta área. Uma das melhorias está na alteração do padrão IEEE 802.11 para efetivamente realizar a troca de informação e reduzir a quantidade de pacotes para o estabelecimento da conexão (FERRAZ; GOLÇANVES, 2009; HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2008). Houve também o compromisso dos governos nacionais e regionais em alocar o espectro de frequência destinado à comunicação sem fio veicular.

Na década seguinte, os receptores GPS e as redes sem fio locais (WLAN) tornaram-se disponíveis a custos mais baixos. Logo, houve um crescimento de pesquisas na comunicação sem fio entre os veículos (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2008).

No ano de 1999, a Federal Communications Commission (FCC) alocou 75 MHz do espectro de frequência na faixa de 5.9 GHz para comunicação dedicada a curta distância (DSRC) entre veículos e com os veículos e a infra-estrutura disponível na via (JIANG; DELGROSSI, 2008). O principal objetivo da DSRC é utilizar aplicações de segurança

para salvar vidas e melhorar o fluxo do trânsito. Os dois principais cenários são exibidos na Figura 1. A Figura 1(a) dispõe de um veículo A lento e envia mensagens para os veículos localizados atrás. O veículo B se aproxima rapidamente e, quando identifica A, B faz uma manobra rápida para se desviar. O veículo C é avisado com antecedência. Na Figura 1(b), o veículo A freia repentinamente e envia a mensagem para todos os outros e, mesmo o motorista do veículo B não enxergando o automóvel A, ele recebe a mensagem enviada por A.

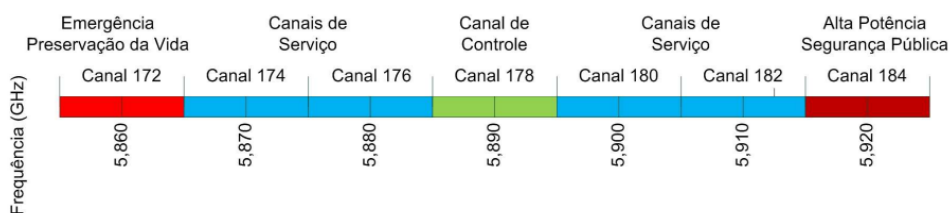
**Figura 1 – Exemplo de situações para redes veiculares.**



Fonte: (JIANG; DELGROSSI, 2008)

Outra característica da DSRC foi a estruturação em sete canais de 10 MHz. Cada um pode ser observado na Figura 2. O canal 178 é o canal de controle (CCH) reservado para comunicações que envolvem segurança. Os dois últimos canais do espectro são reservados para uso especial, enquanto os outros são canais de serviço (SCH) disponíveis tanto para utilização envolvendo segurança como de propósito geral. A utilização da faixa DSRC é gratuita, contudo licenciada. A FCC não cobra taxas para utilização do espectro, mas é restrita em termos de aplicações e tecnologias.

**Figura 2 – Alocação do espectro de frequência para VANETs.**



Fonte: (JIANG; DELGROSSI, 2008; FERRAZ; GOLÇANVES, 2009).

Alguns autores (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2008) afirmam existir três principais objetivos das redes veiculares: aumentar a segurança na rodovia, tornar o transporte

eficiente e reduzir o impacto do meio de transporte no ambiente. Alguns exemplos relacionados à segurança são aviso de violação de semáforo, aviso de velocidade máxima em curva, detecção de colisão, aviso de frenagem automática etc.

As VANETs são compostas por veículos capazes de enviar e receber pacotes entre si (BALUZ; FILHO, 2011). Elas compreendem a comunicação via rádio com nós móveis ou veículos, roteadores ou unidades de acostamento existentes ao longo da via de circulação e se diferem das redes Ad Hoc convencionais nos seguintes aspectos (LI; WANG, 2007):

- **Topologia altamente dinâmica** - devido a alta velocidade dos veículos, a topologia das VANETs mudam constantemente. Por exemplo, considere uma transmissão de rádio com alcance de 250 metros. Existirá um link entre dois veículos se a distância entre os mesmos for menor que 250 m. No pior caso, os veículos se movem em sentido contrário a uma velocidade de 25 m/s, logo o link estará disponível por, no máximo, 10 segundos;
- **Rede frequentemente desconectada** - pela mesma razão anterior, a conectividade das VANETs mudam frequentemente, principalmente, quando a densidade de veículos é baixa. Logo, a rede tende a ficar desconectada e, para evitar esse problema, pode-se instalar repetidores ao longo da estrada;
- **Armazenamento e energia suficientes** - uma característica comum das VANETs é o alto poder de armazenamento, processamento e presença de energia constante desde que os nós sejam os próprios veículos e não dispositivos portáteis;
- **Tipo de comunicação geográfica** - comparado com outras redes *unicast* ou *multicast* na qual a comunicação é definida por um único ou um grupo de identificadores, as VANETs, geralmente, possuem um novo tipo de comunicação e consegue endereçar pacotes para áreas geográficas (aplicações relacionadas à segurança no trânsito, por exemplo);
- **Modelagem de mobilidade e predição** - devido a alta mobilidade e a topologia dinâmica, os modelos de mobilidade e predição são requisitos fundamentais para projetar novos protocolos. Além disso, é necessário estimar a posição do veículo de acordo com as informações de velocidade, sentido de deslocamento e informações disponíveis nos mapas digitais;
- **Vários ambientes de comunicação** - as VANETs devem atuar em ambientes adversos como tráfego em rodovias e no meio urbano, pois neste as condições são mais complexas devido aos cruzamentos, construções, sinais de trânsito, dentre outros;
- **Rigorosas restrições de atraso** - em algumas aplicações de VANET, a rede não necessita ter alto tráfego de dados, mas exige restrições quanto ao atraso na entrega

da mensagem. Por exemplo, quando um veículo freia bruscamente em uma rodovia é necessário avisar os outros motoristas imediatamente para evitar possíveis acidentes;

- **Interação com sensores à bordo** - pressupõe-se a existência e sensores nos veículos para estabelecer a comunicação e fornecer informações aos protocolos. Por exemplo, o receptor GPS pode ser utilizado pelos veículos para fornecer informações de localização e, além disso, deve haver sensores que permitam criar links de comunicação entre os veículos ou com a unidade de acostamento.

### 2.2.1 Possíveis Problemas em VANETs

Alguns dos principais problemas em VANETs estão relacionados ao monitoramento do tráfego, prevenção de colisões, serviços de informação próximo à localização do veículo, cálculo em tempo real de rotas alternativas (LI; WANG, 2007). Além disso, pode-se oferecer acesso à internet para enviar e-mails, realizar *download* de música, compartilhar arquivos e outros, enquanto os veículos se movimentam.

Outros autores (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2008) apresentam, de acordo com a definição do consórcio *Vehicle Safety Communication* (VSC), oito aplicações de alto potencial para segurança em redes veiculares: aviso de violação de sinal de tráfego, aviso de velocidade nas curvas, detecção de colisões, luz de freio de emergência, aviso de colisão de forma cooperativa, assistência para virar à esquerda, aviso para mudança de pista e assistente de movimento para o sinal de parar. Alguns desses problemas exigem comunicação entre os veículos, enquanto os outros necessitam da comunicação com as unidades de acostamento.

Além dos possíveis problemas causados pela movimentação dos veículos nas avenidas e estradas, podem existir outros fatores como julgamento errado do motorista, sonolência, distração e cansaço (FAEZIPOUR et al., 2012). O órgão responsável pela administração das vias no EUA, *U.S. National Highway Traffic Safety Administration*, estimou que 100 mil dos acidentes de trânsito anuais podem ser causados por algum desses fatores.

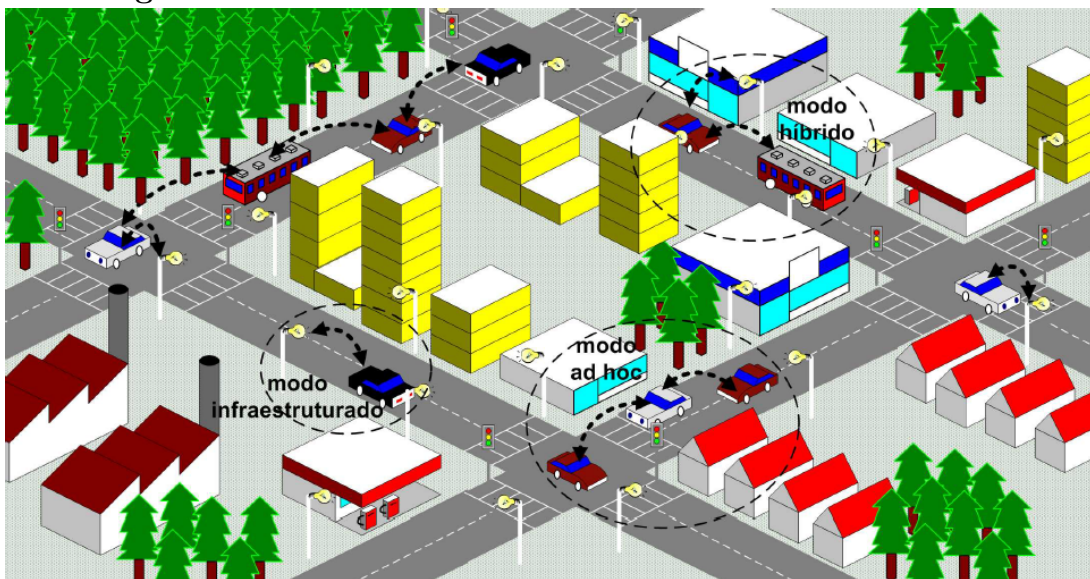
## 2.3 Arquiteturas e Aplicações de Redes Veiculares

Em relação às redes veiculares, a consciência de contexto é o principal componente que permite a tomada de decisões baseadas no roteamento dos dados, localização e necessidade dos objetos em movimento. Deve ser possível obter dados sobre as condições do tráfego, incidentes ou colisões e, até mesmo, com o objetivo de se evitar alguma colisão para as VANETs (YASAR et al., 2010).

Em 1999, a Comissão Federal de Comunicações dos Estados Unidos (PARNO; PERRIG, 2005), conhecida também por FCC, reservou uma faixa de frequência de rádio voltada para a segurança e a eficiência no sistema rodoviário norte-americano. As montadoras Audi, BMW, DaimlerChrysler, Fiat, Renault e Volkswagen se uniram em um consórcio de comunicação Car2Car (BALDESSARI et al., 2008) dedicado a desenvolver padrões industriais para a tecnologia de redes sem fio.

Atualmente, existem três arquiteturas principais para VANETs (FERRAZ; GOLÇANVES, 2009): *ad hoc* puro, infraestruturada ou híbrida como pode ser observado na Figura 3. Na *ad hoc* (*Vehicle-to-Vehicle*) os veículos se comunicam entre si e não existe qualquer elemento intermediário, sendo que a comunicação é realizada através de saltos. A arquitetura infraestruturada (*Vehicle-to-Infrastructure*) utiliza nós estáticos distribuídos pelas ruas ou estradas para centralizar o tráfego da rede, aumentar a conectividade e a possibilidade de comunicação entre outras redes. No modelo híbrido a comunicação pode ser feita diretamente entre os veículos através de saltos ou pode-se utilizar a infraestrutura física disponível. De modo geral, os pesquisadores se referem às redes veiculares como VANETs - *Veicular Ad Hoc Networks*.

**Figura 3 – Modelos de infraestrutura de redes veiculares.**



**Fonte: (FERRAZ; GOLÇANVES, 2009).**

A padronização das redes veiculares se iniciou em 2004 pela IEEE e, atualmente, alguns padrões ainda se encontram em processo de desenvolvimento - IEEE 802.11p (*Wireless Access in the Vehicular Environment*, IEEE P1609.1 (gerente de recursos), IEEE P1609.2 (segurança), IEEE P1609.3 (serviços de rede), IEEE P1609.4 (operação de múltiplos canais). Nos últimos anos, muitos cientistas se dedicaram em pesquisas relacionadas a redes veiculares envolvendo, basicamente, três classes de interesse: segurança no trânsito, entretenimento e assistência ao motorista.

Após a criação do protótipo no ano de 2006, percebeu-se que era necessário criar técnicas seguras para operar de forma distribuída, mais precisamente, no modelo *ad hoc*. Apesar dos avanços em pesquisas, as indústrias não conseguem incorporar essas técnicas sem antes instalar toda a infra estrutura física adicional para as redes veiculares. Contudo a segurança em redes veiculares é de extrema importância, pois estão relacionadas à decisões de vida ou morte, isto é, como são orientações aos veículos ou condutores precisa-se garantir que as informações corretas não sejam adulteradas, que não seja possível inserir e propagar informações falsas e que seja transmitida, primordialmente, o mais rápido possível.

Desse modo, a área de segurança no trânsito para redes veiculares tem como objetivo tentar evitar acidentes automobilísticos fazendo com que os motoristas sejam informados a tempo de se ter alguma reação ou que seja possível ativar algum dispositivo de segurança do veículo, por exemplo, frenagem automática. Outras vantagens seriam para saber o posicionamento dos outros automóveis em dias com neblina ou chuvosos. Essa classe problemas de redes veiculares impõe alguns requisitos de latência da comunicação, confiabilidade e segurança das mensagens, além de atuar diretamente nas vidas humanas. Alguns autores sugerem um mecanismo eficiente de reputação e visa, através de terceiros ou dos próprios sensores distribuídos na via, garantir ou certificar que determinado veículo é quem ele realmente afirma ser (PAULA, 2009).

Quanto ao entretenimento, pode-se citar a disponibilização de serviços convencionais da Internet adaptados às redes veiculares de forma que seja possível acessá-los a qualquer momento e de qualquer lugar. Algumas das principais aplicações dessa área de pesquisa são distribuições ou compartilhamento de vídeos e de arquivos de áudio (YASAR et al., 2010). Outras pesquisas propõem uma solução de infraestrutura para criar e disponibilizar um servidor de jogos eletrônicos aos passageiros dos veículos em movimento (PALAZZI et al., 2008). Vários autores defendem a disponibilização desses dados via arquitetura *ad hoc* por facilitar a comunicação entre os veículos, não precisar de pontos de acesso e possuir um custo de instalação e manutenção mais baixo em relação ao modelo infra-estruturado (FERRAZ; GOLÇANVES, 2009; MELLO, 2009).

Para finalizar, tem-se também as aplicações de assistência ao motorista no intuito de oferecer ao condutor do veículo informações úteis como localizações de restaurantes, postos de abastecimento, hotéis, vagas em estacionamentos, alertas do estado do tráfego nas ruas, dentre outros. Um dos trabalhos realizados na Alemanha estava vinculado ao gerenciamento das vagas de estacionamentos e os autores afirmaram que a procura por essas vagas pode gerar até 44% de todo o tráfego de uma via, além de prejuízos de milhões de Euros, sem considerar as horas que podem ser perdidas no trânsito (CALISKAN; GRAUPNER; MAUVE, 2006).

Outros trabalhos (YASAR et al., 2010) aconselham a utilização do UHS - *Ubiquitous Help System* - um dispositivo embarcado para comunicação, navegação e possui um *framework* para integrar as redes sociais estáticas (Facebook, Orkut, Twitter, dentre outros) e orientadas à conexão com as redes veiculares caracterizadas pela própria natureza como dinâmicas. O UHS atua entre a camada de aplicação e a camada física de uma rede e ajuda a compartilhar informações de uma rede social para uma rede veicular como localização dos restaurantes e/ou postos de combustíveis próximos. Para ocorrer a troca de informações entre os veículos é necessário que todos eles possuam esse dispositivo instalado. Supondo que um veículo A deseja uma vaga de estacionamento, então ele envia uma mensagem a todos os automóveis próximos e os veículos destinos respondem ou encaminham a mensagem para os veículos que possam responder. A confiabilidade da resposta varia de acordo com alguns parâmetros como nível de amizade do veículo A com o veículo que respondeu. Se o automóvel A receber apenas duas mensagens, uma de um amigo e outra, por exemplo, de um estacionamento, o veículo A optará por seguir a mensagem enviada pelo veículo amigo e o motorista conduzirá o automóvel para a vaga indicada.

Os autores (ALVES et al., 2008) realizaram um experimento prático para demonstrar a transferência de arquivos entre veículos que se movimentam e se encontram em um determinado intervalo de tempo. Eles utilizaram notebooks com interface de rede sem fio (IEEE 802.11 a/b/g) em cada um dos veículos e todos os equipamentos possuíam o sistema operacional Linux com uma ferramenta de geração de tráfego chamada *Iperf*. Foram utilizados dois veículos em uma das ruas da Universidade Federal do Rio de Janeiro e as velocidades dos carros oscilaram entre 20 e 60 km/h. Além disso, eles se locomoviam em sentidos contrários de tal forma que ambos começavam a se movimentar ao mesmo tempo. Foram testados os protocolos UDP, TCP e o primeiro apresentou resultado melhor, pois não necessita de mecanismos de controle de congestionamento como é o caso do TCP.

Os resultados apresentados mostram que, quanto maior o tamanho dos pacotes e maior o tempo de contato entre os veículos, maior será o volume de dados transferidos. Isto é, quando ambos os veículos estavam a 20 km/h houve um tempo de contato de, aproximadamente, 38 segundos e 10,8 Mbytes foram transferidos entre os dois veículos. Porém, se os veículos estivessem em altas velocidades, o tamanho dos pacotes precisariam ser menores para tornar possível a transferência da maior quantidade de dados. As aplicações par-a-par tendem a disponibilizar alguns serviços não somente aos motoristas, mas também aos passageiros dos veículos como compartilhamento de documentos, imagens ou fotos.

## 2.4 Conceitos em Redes Móveis

O termo roteamento é um processo que visa identificar um caminho entre um nó de origem e o nó de destino de forma a tornar possível a transferência de mensagens entre os nós. Em redes veiculares, cada nó é um veículo automotor. A principal camada utilizada para implementar o roteamento é conhecida como camada de rede.

Redes dinâmicas e descentralizadas são termos utilizados para representar alta variação na topologia e a inexistência de algum dispositivo centralizador de informações. Normalmente, elas são compostas por redes *peer-to-peer* e redes sem fio *ad hoc*.

Quanto à disseminação de informações, pode-se utilizar agentes para transmitir as mensagens entre os participantes de uma rede qualquer. Periodicamente, os agentes saem de um determinado nó carregando as informações coletadas e vão em direção aos nós adjacentes. Os nós destinos são identificados de acordo com a estratégia de propagação das mensagens, neste caso, dois dos principais algoritmos para redes dinâmicas são o *Flooding* (Inundação) e o *Gossiping* (Difusão Epidêmica) (BANZI, 2011; EUGSTER et al., 2004).

## 2.5 Protocolos de roteamento em Redes Veiculares

Um dos grandes desafios em redes veiculares é a alta mobilidade dos nós e a instabilidade da comunicação entre os veículos. De acordo com o sentido de locomoção dos automóveis, pode-se ter um intervalo de tempo na transferência de dados muito baixo, mais precisamente, de poucos segundos.

Os itens a seguir listam os quatro principais métodos dos protocolos de roteamento para redes veiculares (topológicos, geográficos, oportunistas e disseminação de informações). Para cada um deles será descrito algum protocolo apresentado na literatura.

### 2.5.1 Protocolos baseados em topologia

Os protocolos de roteamento baseados em topologia visam encontrar o melhor caminho entre o nó de origem e o de destino, de acordo com algum critério de classificação. A busca do caminho mais curto entre os dois nós da topologia, normalmente, acontece através da aplicação do algoritmo de Dijkstra.

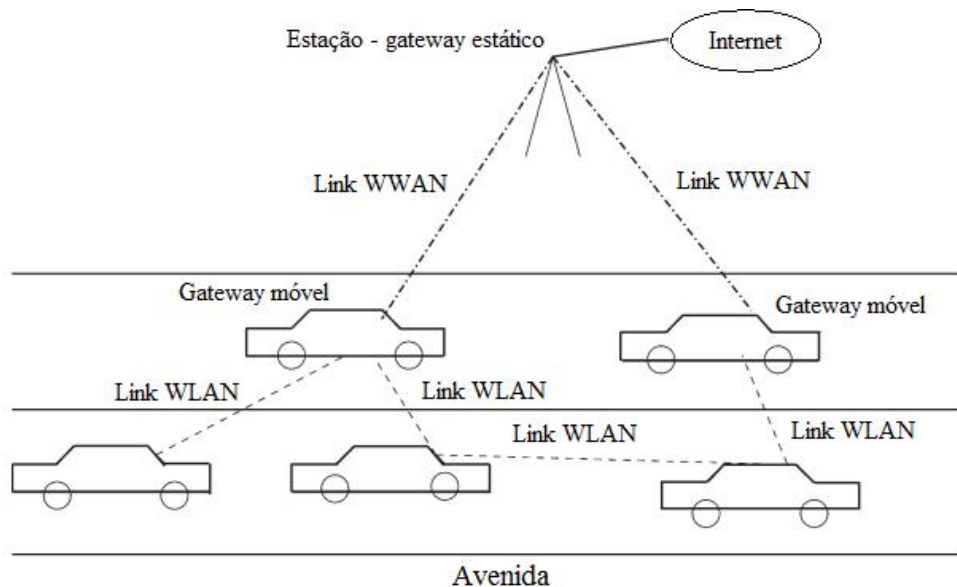
Existem algumas categorias de classificação dos protocolos de roteamento (pró-ativo, reativo, híbrido, *energy-aware* e outros). No pró-ativo (JIANCAI; FENG; JIAKAI, 2010), cada nó mantém uma ou mais tabelas com informações de roteamento para os demais nós da rede e, para garantir a consistência dos dados, são enviados pacotes de

atualização pela rede. A vantagem deste processo é a inexistência de descoberta de rota, pois os nós de destino estão armazenados internamente. No reativo (JIANCAI; FENG; JIAKAI, 2010), as rotas são criadas somente quando a fonte deseja enviar algum dado para um destino e, mesmo assim, o caminho encontrado será utilizado de acordo um tempo de vida, TTL, pré-determinado. O híbrido mescla técnicas dos dois protocolos anteriores e o *energy-aware* é baseado no nível da energia armazenada em cada nó e, como em redes veiculares a energia é suficiente, esta categoria é descartada.

A grande maioria desses tipos de protocolos suportados pelas redes móveis podem ser utilizados também nas redes veiculares, porém alguns autores criticam este pensamento pelo fato de alguns protocolos apresentarem baixo desempenho ou inundarem a rede com cópias da mesma mensagem (BANZI, 2011).

O *Prediction-Based Routing* (PBR) é um dos exemplos de protocolo baseado em topologia. Ele permite acesso à Internet com a condição de alguns veículos estarem conectados a uma das redes WiMax, 3G ou 4G disponibilizado pelo gateway estático como pode ser observado na Figura 4. Isto é, os gateways distribuídos nas vias de circulação possuem conexão com a internet (WLAN), mas transmitem somente aos veículos ou gateways móveis capazes de decodificá-los e estes, por sua vez, disponibilizam a conexão para outros veículos da rede (WLAN). Desta forma, a troca de conexão realizada com os gateways estáticos é muito menor e, conseqüentemente, é possível reduzir a latência da rede (NAMBOODIRI; GAO, 2007).

**Figura 4 – Estrutura de uma rede veicular *Prediction-Based Routing*.**



**Fonte: (NAMBOODIRI; GAO, 2007).**

Cada veículo intermediário insere informações de velocidade, sentido e posição essenciais para a construção da rota. Para reduzir as mensagens na rede, cada nó intermediário encaminha as mensagens para a origem e/ou destino somente se o pacote for mais

novo que o último enviado. Além disso, rotas com mais nós no mesmo sentido possuem preferência.

O protocolo baseado em topologia e criado para operar em redes Ad Hoc é conhecido como AODV (PERKINS; ROYER, 1999), *Ad Hoc On-Demand Distance Vector*. Ele utiliza tabelas de roteamento para armazenar apenas o próximo salto para o nó destino em questão, ou seja, é reativo. Além disso, utiliza menos memória se comparado com os protocolos pró-ativos. Foi criado para realizar a comunicação *Ad Hoc* sem precisar de pontos de acesso. Contudo, não foi planejado para funcionar em cenários de alta mobilidade entre os nós.

O DSR, *Dynamic Source Routing*, (JOHNSON; MALTZ; BROCH, 2001) foi projetado para permitir a comunicação *Ad Hoc* através de vários saltos em redes móveis e possui duas etapas primordiais: a descoberta, *route request*, e a manutenção da rota, *route reply* e são responsáveis por mapear os caminhos entre a origem e o destino e as alternativas de escolhas entre eles. É indicado para redes com menos de 200 nós, a velocidade de mobilidade deve ser baixa e possui maior custo computacional se comparado ao AODV.

O *Traffic Light Aided Routing* (MELLO, 2009), TLAR, também foi desenvolvido para VANETs para construir rotas considerando os ciclos dos semáforos e a estimativa de tráfego nas ruas. Uma das vantagens é a utilização de ruas mais afastadas ou secundárias para o cálculo de estimativa de tráfego. O autor sugere várias alterações como inclusão de estatística de mapas de grandes cidades, configurações reais sobre os ciclos dos semáforos e suporte a armazenamento de pacotes - *buffer*. O *Greedy Traffic Aware Routing*, GyTAR, (JERBI et al., 2006) propõe a utilização de mapas digitais e cálculos estatísticos para o tráfego nas vias de acordo com determinado cruzamento e, diferentemente do TLAR, não considera vias secundárias. Ele utiliza ruas e avenidas mais movimentadas ou com maior tráfego para encaminhar os pacotes.

O *Temporally Ordered Routing Algorithm*, TORA, (PARK; MACKER; CORSON, 1998) é do tipo reativo e foi planejado para atuar em ambientes móveis e dinâmicos. Suporta três funções de roteamento: criação, manutenção e delegação. Inicialmente, há a descoberta de rota de comunicação entre os nós e, assim que é encontrado um caminho, tem-se início a transmissão de dados.

Diferentemente dos outros protocolos, o *Signal Stability-based Adaptive* (SSA) (DUBE et al., 1997) foi criado para encontrar e manter rotas estáveis baseadas na potência do sinal. Rotas com níveis de sinal maior possuem prioridade, pois de acordo com os autores possuem mais estabilidade. Um dos fatores negativos é a inexistência de reparo em quedas de links.

O *Mobility-aware Ant Colony Optimization Routing*, MAR-DYMO, (CORREIA; CELESTINO; CHERKAOUI, 2011) é a implementação do algoritmo de otimização por

colônia de formigas para a descoberta e a manutenção de rotas de maneira reativa no algoritmo DYMO original. Segundo os autores, o MAR-DYMO apresentou baixo *delay* fim-a-fim, baixo *overhead* e taxa de entrega de pacotes superior ao DYMO convencional e ao AODV também.

Os pesquisadores (BARROS; GOMES; COSTA, 2012) propuseram uma arquitetura para redes veiculares composta por várias camadas e protocolos adaptáveis ao ambiente. O algoritmo visa encontrar o menor caminho entre os nós, na etapa seguinte calcula a força do enlace e se for um valor aceitável inicia a transmissão. Quando não houver um caminho, o protocolo armazena o pacote no *buffer* e espera encontrar um veículo intermediário ou o próprio destino para encaminhar as mensagens. Os critérios para escolher o protocolo de encaminhamento ou estabelecimento da conexão variam de acordo com a densidade da via, a mobilidade dos nós e a força de conexão entre o remetente e o destinatário.

Outra categoria de protocolos para rede Ad Hoc são os pró-ativos, isto é, cada nó possui uma tabela de roteamento referente aos demais nós da rede como o DSDV, *Destination-Sequenced Distance-Vector Routing*, (PERKINS; BHAGWAT, 1994) e o CGSR, *Clusterhead Gateway Switch Routing*. O DSDV armazena o endereço e o número de sequência do destino além da quantidade de saltos até o mesmo. Visa encontrar o menor caminho até o destino através do algoritmo Bellman-Ford, indicado para redes com poucos nós e possui alto custo para redes dinâmicas. O CGSR divide toda a rede em regiões conhecidas por *clusters* e cada uma delas possui um nó responsável por gerenciar aquela área. Neste algoritmo a dificuldade está no gerenciamentos das regiões e na escolha do *clusterhead* ou o nó responsável correto.

A estratégia de escolha de um nodo como representante dos veículos de um grupo de vizinhos como o protocolo CGSR pode melhorar os resultados do protocolo escolhido, nesse caso, o AODV. Escolheu-se o AODV por ser reativo, mas ele transmite vários pacotes de controle para descobrir e enviar mensagens de descoberta de rota aos veículos pertencentes à região de interesse. A utilização de *clusterheads* pode reduzir o envio dos pacotes de controle e, conseqüentemente, sobrecarregar a rede com menos cópias da mensagem de solicitação de descoberta de rota. Assim como o AODV, o CGSR visa encontrar o menor número de saltos do remetente ao destinatário.

### **2.5.2 Protocolos baseados em posicionamento**

O roteamento baseado em posicionamento (FERRAZ; GOLÇANVES, 2009) é o mais comum em redes veiculares. Eles diferem dos protocolos *Dynamic Source Routing* (DSR), *Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing* (AODV) e *Zone Routing Protocol* (ZRP) que armazenam informações sobre a topologia e, frequentemente, precisam

atualizá-las. O roteamento baseado em posicionamento não armazena as rotas de todos os nós da rede, pelo fato de supor a existência de um dispositivo de localização geográfica, como por exemplo, um GPS em cada nó ou veículo. Logo, os pacotes são enviados em direção à localização do nó destino através de múltiplos saltos. Desta maneira, o custo de manutenção e disseminação das tabelas de rotas dos protocolos é menor, se comparado aos dos protocolos pró-ativos e reativos (BALUZ; FILHO, 2011).

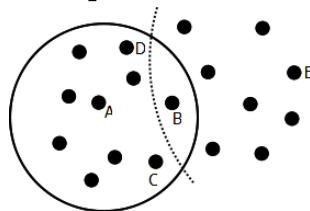
Segundo (FESTAG et al., 2008) o roteamento baseado em posicionamento também conhecido por *Geocast* pode ser dividido em *GeoBroadcast*, *GeoAnycast* e *GeoUnicast*. O *GeoBroadcast*, distribui os pacotes a todos os veículos de uma mesma região, o *GeoAnycast* endereça qualquer veículo em uma região qualquer e o *GeoUnicast* encaminha o pacote entre dois veículos através de *hops* ou saltos intermediários.

O roteamento *Geocast* pode ser empregado em aplicações de segurança e de conveniência no trânsito. As aplicações de segurança possuem requisitos restritos de latência e servem para avisar aos motoristas possíveis acidentes, regiões escorregadias e interditadas da pista, dentre outros. As aplicações de conveniência possuem restrições menos rígidas quanto à latência e podem ser utilizadas para informar a situação do tráfego, além de anúncios e diversos serviços (FESTAG et al., 2008; WISCHOFF et al., 2003).

Para conhecer a localização do destinatário, o nó necessita da posição dos vizinhos e, por isso, é comum enviar agentes periodicamente. O nó de origem envia uma requisição contendo o identificador do nó de destino, a localização do nó origem e o próprio identificador. A requisição se propaga pela rede até chegar ao nó de destino ou alcançar o TTL (*Time-To-Live*). Quando o destinatário receber a requisição, ele retorna uma resposta com as informações requisitadas e a própria localização (KARP; KUNG, 2000).

O *Greedy Perimeter Stateless Routing* - GPSR - é um dos protocolos de roteamento geográfico destinado a redes *ad hoc* móveis. Ele encaminha o pacote para o vizinho mais próximo ao nó de destino visto que conhece todos os próprios vizinhos.

**Figura 5 – Representação do protocolo baseado em posicionamento.**



**Fonte: (KARP; KUNG, 2000).**

Supondo que o nó A deseja enviar uma mensagem ao nó E, e o círculo da Figura 5 representa o alcance de rádio máximo para o nó A e o arco representa o alcance de E, então o nó A encaminha a mensagem para B e este encaminha para E. De acordo com os autores (KARP; KUNG, 2000), o GPSR consegue entregar as mensagens com uma taxa

de sucesso de, pelo menos, 94%.

O A-STAR, *Anchor-Based Street and Traffic Aware Routing*, (SEET et al., 2004) utiliza informações sobre rotas de ônibus, alegando existir maior densidade de veículos e, conseqüentemente, maior conectividade entre os nós da rede e, por esse motivo, é mais indicado a regiões urbanas devido a probabilidade de existir um tráfego de veículos maior. De acordo com os autores, a taxa de entrega de pacotes é alta se comparado a outros protocolos, por exemplo, GSR (*Geographic Source Routing*) (LOCHERT et al., 2003) e GPSR (KARP; KUNG, 2000). Todos os três protocolos são baseados em posicionamento e criados para funcionar em redes Ad Hoc Móveis, porém o GSR utiliza informações de mapas digitais para calcular a rota através do algoritmo de Dijkstra, logo indica o menor caminho entre os nós fonte e destino. Por outro lado, o GPSR utiliza o encaminhamento guloso no qual cada nó conhece somente a posição dos vizinhos próximos em um salto e encaminha a mensagem para o vizinho mais distante da origem e mais próximo do nó destino. Em alguns casos, o GPSR não consegue encaminhar a mensagem ao vizinho e será necessário utilizar a regra da mão direita aplicada em grafos planares.

O SAR, *Spatially-Aware packet Routing*, (TIAN; HAN; ROTHERMEL, 2003) utiliza um modelo espacial para tentar contornar as deficiências do GPSR. As três estratégias são armazenar a mensagem até encontrar um modo de encaminhá-la ou o TTL, time-to-live, expire; encaminhar os pacotes através do modo guloso; ou calcular outro caminho quando um ótimo local é atingido.

O (Distributed Robust Geocast), DRG, (JOSHI; SICHITIU1; KIHIL, 2007) foi projetado para oferecer comunicação rápida em uma região geográfica e, conseqüentemente, entregar a mensagem o mais rápido possível à *zona de relevância* - representa a área de atuação do protocolo onde possui os veículos. Após a identificação da região geográfica o protocolo utiliza o *flooding* para entregar as mensagens aos veículos pertencentes àquela região. Segundo os autores, este protocolo suporta mudanças frequentes na topologia da rede, fornece um sistema de encaminhamento rápido e minimiza a carga em grandes cenários.

Outro protocolo conhecido pelo nome de LOUVRE, *Landmark Overlay for Urban Vehicular Routing Environments*, (LEE et al., 2008) foi criado para utilizar vias com maior densidade de veículos através da estimativa de tráfego (troca de pacotes de controle entre os nós). Ele cria uma rede sobreposta com os nós, sendo os cruzamentos, e os arcos, a conexão entre eles somente quando a densidade da via for maior que o limiar pré-determinado. A desvantagem deste algoritmo é que tende a desconsiderar vias de menor densidade, logo deve ser utilizado, preferencialmente, no meio urbano.

Por último, o GFG, *Geographic Forwarding Geocast*, e o GFPG, *Geographic Forwarding Perimeter Geocast*, (SEADA; HELMY, 2006) foram criados para funcionar em redes

densas e esparsas. Ambos funcionam através de disseminação de informação por região geográfica e o GFPG possui um *overhead* mais baixo em relação ao outro algoritmo. Devem operar através da utilização de sistemas de posicionamento global e as redes devem possuir bastantes veículos.

O *Inter-Vehicle Geocast*, IVG, (BACHIR; BENSLIMANE, 2003) cria um grupo *multicast* de acordo com a localização, a velocidade e a direção dos veículos e, na etapa seguinte, dissemina as mensagens para os veículos. O objetivo deste protocolo é melhorar a utilização da banda, reduzir o atraso na entrega das mensagens e a quantidade de pacotes perdidos. Segundo os autores, este protocolo precisa ser aperfeiçoado, pois apresentou a taxa de entrega de pacotes em torno de 60%.

O DG-CastoR (ATECHIAN; BRUNIE, 2008) cria uma região virtual para efetuar a troca de arquivos - documentos, foto e vídeo - através da predição e estimativa da disponibilidade dos links dos nós móveis. A região criada fica disponível durante determinado intervalo de tempo e destina-se, principalmente, a aplicações de entretenimento em VANETs. Os autores afirmaram que o protocolo gerencia a alta mobilidade dos nós e reduz o congestionamento da rede.

O ROVER, *Robust Vehicular Routing*, (KIHL; SICHITIU; JOSHI, 2008) é um protocolo de difusão *multicast* baseado em descoberta de rotas dentro da zona de relevância e permite a utilização de aplicações para internet. Os autores afirmaram que este protocolo não funciona bem quando a densidade da via é baixa e o custo para a descoberta de rota é relativamente alto se comparado com outros algoritmos.

Os protocolos GFG e o GFPG também podem ser utilizados como representantes dessa categoria. Ambos são variações do *flooding* para entregar a mensagem com o menor *overhead* possível, mas exigem que a densidade de veículos na via não seja baixa. Assim como o ROVER, desde que possuam a rota para os veículos da região de interesse, tendem a entregar a mensagem rapidamente a todos os veículos dessa região e faz-se necessário a utilização de estratégias para evitar a inundação da região geográfica com cópias da mesma mensagem. Uma dessas estratégias é o endereçamento *multicast* e a utilização de ERBs para aumentar o alcance da transmissão e, conseqüentemente, gerenciar maior área de cobertura. Como este trabalho não utilizou ERBs, esses protocolos foram desconsiderados momentaneamente.

### 2.5.3 *Protocolos Oportunísticos*

Por definição, as redes veiculares são dinâmicas e descentralizadas, logo podem sofrer interrupções e até mesmo desconexões frequentes. O roteamento oportunístico visa aproveitar o melhor momento entre dois veículos para enviar a mensagem de acordo com

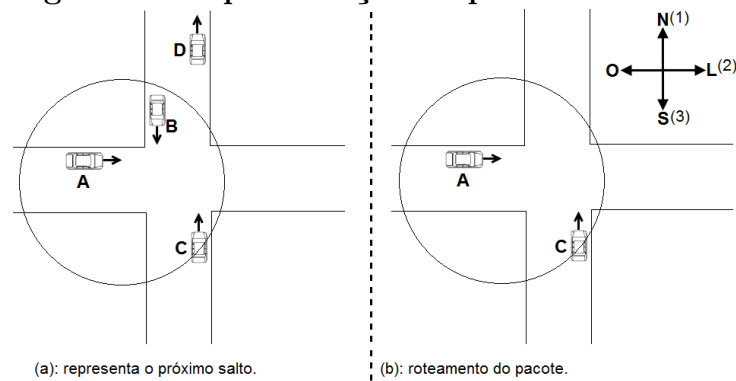
algumas características.

Para o protocolo *Vehicle-Assisted Data Delivery* (VADD) o método de endereçamento é *carry and forward*, no qual o veículo em movimento *carrega* o pacote até encontrar um novo veículo, com determinada probabilidade de entregar o pacote ao destino, e o transmite o pacote de dados. Este protocolo possui três modos de operação de acordo com o veículo transportador do pacote: interseção, em linha reta ou destino (ZHAO; CAO, 2008).

O método de interseção é utilizado quando o veículo se encontra em um cruzamento e precisar decidir qual o veículo receberá a mensagem. Um dos critérios de escolha é baseado no sentido para o qual o pacote deve ser encaminhado, ou seja, a prioridade é a distância até o destino, o atraso esperado para a entrega e a probabilidade de sucesso na transmissão.

A Figura 6 mostra um cruzamento com quatro veículos e o sentido de deslocamento de cada um. No primeiro salto, o veículo A envia a mensagem para o B devido a proximidade deste com o veículo de destino D e, supostamente, a probabilidade de entrega do pacote ao destino ser maior. No salto seguinte, B entrega o pacote ao destino. Por outro lado, o pacote poderia ser encaminhado a B, logo em seguida, chegaria a C e, conseqüentemente, ao veículo D.

**Figura 6 – Representação do protocolo VADD.**



**Fonte: (ZHAO; CAO, 2008).**

No entanto, podem acontecer alguns *loops* ou ciclos no roteamento. A letra b da Figura 6 exemplifica esse cenário, logo considere as prioridades de envio do pacote como norte, leste e sul, respectivamente. Quando A tentar enviar o pacote para norte e leste, sucessivamente, não encontraria nenhum veículo, então C receberia esse pacote. Na etapa seguinte C tentaria enviar o pacote a outro veículo, mas encontraria também somente o veículo A. Essa situação acarretaria um ciclo entre A e C, mas existem variações do VADD que garantem a inexistência de *loops*.

O MaxProp (BURGESS et al., 2006) foi desenvolvido para armazenar todos os pacotes recebidos até que o destino seja encontrado, o temporizador expire ou a confirmação

de entrega ocorra por um nó intermediário. O algoritmo surgiu através da análise de movimento, itinerário e calendário de uma rede de 30 ônibus, logo possui melhor desempenho nas ruas e avenidas pertencentes ao itinerário da linha de ônibus e pior desempenho em vias secundárias.

Outro protocolo desta categoria é o *Motion Vector*, MoVe, (LEBRUN et al., 2005) assume que o destino sempre será uma unidade de acostamento (*Road Side Unit*), logo os veículos necessitam conhecer a velocidade e a trajetória dos vizinhos para prever qual veículo chegará mais próximo da unidade de acostamento de destino. As unidades de acostamento são responsáveis por entregar a mensagem ao destino final, pois gerenciam os veículos localizados na própria cobertura.

Existe também o *Scalable Knowledge-Based Routing* - SKVR - (AHMED; KANERE, 2006) proposto, para realizar o roteamento baseado nas rotas de ônibus, ser escalável e possuir comunicação eficiente. Os autores dividiram em duas hierarquias para melhorar a escalabilidade, logo as mensagens podem trocadas entre rotas de ônibus e também entre veículos pertencentes às rotas de ônibus.

O VADD possui inúmeras versões para contornar problemas relacionados às rede veiculares em um ambiente urbano como a escolha do melhor veículo em um cruzamento, a identificação do melhor momento para transmissão da mensagem e o armazenamento da mensagem durante certo intervalo de tempo até encontrar um possível veículo transmissor. Esse recurso pode ser útil em rodovias quando a densidade de veículos for baixa e houver a necessidade de transmitir a mensagem de emergência a um veículo. Como foi desenvolvido para ambientes urbanos, ele foi desconsiderado da análise, contudo apresenta características relevantes para VANETs e as estratégias adotadas nesse protocolo podem ser utilizadas em qualquer um dos cinco protocolos implementados.

#### **2.5.4 Protocolos Baseados em Disseminação de Informações**

Os protocolos descritos anteriormente calculam as rotas de nó-a-nó. Porém, a disseminação de informações visa distribuir os pacotes para determinados nós simultaneamente ou para determinadas regiões geográficas. As aplicações capazes de oferecer esse recurso estão relacionadas, principalmente, a entretenimento e assistência ao motorista.

Através do *Segment-Oriented Data Abstraction and Dissemination*, SODAD, a informação pode ser distribuída para múltiplas regiões e/ou segmentos da via de circulação desde que os veículos sejam capazes de comunicarem entre si. Algumas possíveis aplicações são informações sobre o tempo e o tráfego na via, *download* de músicas e acesso à internet (WISCHHOF; EBNER; ROHLING, 2005).

O protocolo *Abinding Geocast* (MAIHÖFER; LEINMÜLLER; SCHOCH, 2005) visa

disseminar as mensagens dentro de um tempo de vida especificado aos nós pertencentes a um grupo. Utiliza um servidor de pacotes ou escolhe um dos nós para ser o servidor na região geográfica. Foi criado para ser aplicado no envio de propagandas de acordo com o posicionamento geográfico dos veículos. Para trabalhos futuros, os autores sugerem a criação de traces de simulação de tráfego e a avaliação do protocolo em auto-estradas.

*Urban Multi-hop Broadcast Protocol*, UMB, (KORKMAZ et al., 2004) propõe um novo padrão IEEE 802.11 baseado em *broadcast* de múltiplos saltos no intuito de diminuir o excesso de carga de controle e aumentar a confiabilidade na difusão de mensagens em múltiplos saltos. Além disso, o algoritmo considera a existência de repetidores instalados nos cruzamentos para auxiliar na decisão de escolha da rota.

O *Cached Geocast* (MAIHOFER; EBERHARDT, 2004) envia as mensagens a um grupo de nós localizados em certa região, mas quando não existir vizinhos próximos o algoritmo armazena as mensagens durante certo intervalo de tempo até encontrar algum vizinho ou o temporizador expirar. Se existir nós vizinhos, ele dissemina as mensagens.

O *Epidemic* (BARBERIS; MALNATI, 2009) foi planejado para entregar a mensagem quando o caminho entre a origem e o destino não está sempre disponível e, para suportar este recurso, existe um *buffer* para armazenar os pacotes até encontrar um nó vizinho. Outras características são o envio das mensagens aos nós adjacentes escolhidos aleatoriamente, a tentativa de minimizar a latência e também em economizar recursos na entrega das mensagens.

Um dos representantes dessa categoria para implementação futura é o protocolo UMB porque foi criado para operar em múltiplos saltos e reduzir o excesso de carga de controle. A desvantagem é a utilização de repetidores, o que pode encarecer a utilização desse protocolo no mundo real.

A tabela 2 apresenta os protocolos pesquisados e algumas de suas características. Os algoritmos implementados (*flooding*, *gossiping*, ROVER, AODV e Novo AODV) serão explicados na próxima seção.

**Tabela 2 – Protocolos de roteamento estudados**

Protocolo	Técnica	Categoria	Mapas e GPS	Buffer
Abinding Geocast	Disseminação por área	Disseminação	Mapas	Sim
AODV	Menor caminho	Topologia	Não	Não
A-STAR	Menor caminho	Posicionamento	Sim	Não
Cached Geocast	Disseminação por área	Disseminação	Não	Sim
CAR	Menor caminho	Geográfico	Não	Sim
CGSR	Menor caminho	Topologia	Não	Não
DG-CastoR	Disseminação por área	Posicionamento	GPS	Não
DRG	Disseminação por área	Posicionamento	Mapas	Não
DSDV	Menor caminho	Topologia	Não	Não
DSR	Menor caminho	Topologia	Não	Não
Epidemic	Disseminação de informação	Disseminação	Não	Sim
GFG e GFPG	Disseminação por área	Posicionamento	GPS	Não
GPSR	Menor caminho	Geográfico	GPS	Não
GSR	Menor caminho	Geográfico	Sim	Não
GVDSR	Melhores caminho e conexão	Topologia	GPS	Não
GyTAR	Maior densidade	Topologia	Mapas	Não
IVG	Disseminação por área	Posicionamento	GPS	Não
LOUVRE	Menor caminho	Geográfico	Sim	Sim
MAR-DYMO	Menor caminho	Topologia	Não	Não
MaxProp	Melhor momento	Oportunístico	Não	Sim
MoVe	Melhor momento	Oportunístico	GPS	Sim
PBR	Menor caminho	Topologia	Não	Não
ROVER	Disseminação por área	Posicionamento	Mapas	Não
SAR	Menor caminho	Geográfico	Sim	Sim
SKVR	Melhor momento	Oportunístico	Não	Sim
SODAD	Disseminação de informação	Disseminação	Mapas	Sim
SSA	Estabilidade	Topologia	Não	Não
TLAR	Densidade e ciclo dos sinais	Topologia	Não	Não
TORA	Menor caminho	Topologia	Não	Não
UMB	Disseminação de informação	Disseminação	Mapas	Sim
VADD	Melhor momento	Oportunístico	Sim	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor através de várias fontes.

## 2.6 Protocolos Implementados

Os protocolos *flooding*, *gossiping*, ROVER, AODV e Novo AODV foram escolhidos e implementados para este trabalho. Todos eles utilizaram a ROI para limitar a região de disseminação de mensagens do acidente e também o sentido de deslocamento dos veículos de acordo com duas estratégias.

Na primeira estratégia, todos os veículos existentes na ROI disseminam a mensagem do acidente, independentemente do sentido de deslocamento do veículo. Na segunda

estratégia, somente os veículos do sentido contrário e apenas o veículo envolvido no acidente disseminam os pacotes de dados com informações sobre o acidente. É importante ressaltar que sempre existem veículos na rota com o acidente e na rota contrária, pois a falta ou a baixa densidade de veículos em qualquer um dos sentidos inviabiliza a disseminação de dados. A seguir, cada algoritmo escolhido será detalhado.

A escolha dos protocolos implementados está relacionado a algumas características de cada um deles:

- O *flooding* inunda a rede com cópias da mesma mensagem, logo tende a entregar a mensagem aos destinatários no menor tempo possível;
- O *gossiping* é uma variação do protocolo anterior, além disso utiliza pacotes de controle para descobrir os vizinhos de um nodo e, a partir desse instante, escolhe determinada quantidade de nodos vizinhos para encaminhar os pacotes de dados. Esse protocolo reduz a sobrecarga da rede, mas necessita de mais tempo para enviar a mensagem a todos os veículos da região;
- O ROVER desconsidera os veículos próximos ao alcance da transmissão, logo tende a construir rotas mais estáveis. Uma vez que possui as rotas para os veículos da região de interesse, ele utiliza o *flooding* para enviar os pacotes de dados a esses veículos. Por outro lado, desconsidera os veículos próximos ao alcance da transmissão e que circulam no mesmo sentido de circulação;
- AODV é um protocolo reativo, ou seja, envia os pacotes de descoberta de rota somente quando é necessário enviar algum dado ao destinatário. Ele foi escolhido porque cria uma rota *origem-destino*, logo economiza ou reduz a quantidade de pacotes de controle enviados na rede de veículos. A principal adaptação para esse protocolo foi a utilização do endereçamento *multicast* para os pacotes com informações sobre o acidente;
- Novo AODV é uma variação do protocolo anterior. Esse protocolo utiliza dados dos veículos no processo de roteamento e tende a construir rotas mais *estáveis* ou com maior tempo de duração do que o AODV clássico. Ele também foi alterado para suportar endereçamento *multicast* para os pacotes de controle.

### 2.6.1 Inundação ou Flooding

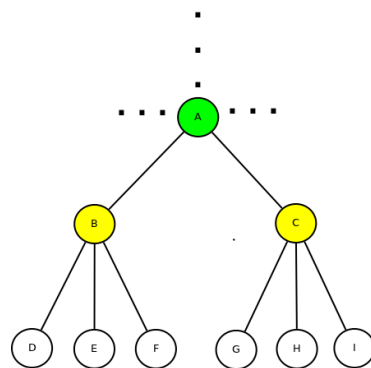
O algoritmo de propagação de informações conhecido por *flooding* ou inundação encaminha as mensagens e/ou pacotes, a partir de um nó a todos os vizinhos mais próximos. Quando o próximo nó recebe a mensagem, ele cria uma cópia e as repassa aos nós adjacentes. A disseminação de informações ocorre até que determinada informação

seja transmitida para todos os nós da rede (BANZI, 2011; JACOBSSON; GUO; NIEMEGERES, 2005). Neste trabalho, ele foi alterado para transmitir somente aos veículos existentes na ROI.

O *flooding* é considerado um método de encaminhamento de mensagens confiável por transmitir, pelo menos uma vez, todos os pacotes a toda rede o mais rápido possível. Contudo, ele possui algumas deficiências:

- Implosão ou *Implosion*: pelo fato dos nós enviarem as mensagens por *broadcasting*, o mesmo pacote pode chegar ao mesmo nó mais de uma vez através de rotas diferentes;
- Sobreposição ou *Overlap*: quando dois nós detectam o mesmo evento, eles tendem a enviar as mensagens para os nós adjacentes. Esse procedimento pode criar mensagens duplicadas na rede.

**Figura 7 – Propagação de mensagens via *Flooding*.**



**Fonte: Elaborado pelo autor.**

A Figura 7 mostra um exemplo da disseminação de informações quando se utiliza o *flooding*. A princípio, o nó A possui a mensagem inédita X e a encaminha para todos os vizinhos próximos, isto é, B e C. Na rodada seguinte, os nós B e C disseminam as mensagens recebidas para todos os nós adjacentes, incluindo o vizinho da etapa anterior, A. Como a mensagem recebida por A não é inédita, ela é descartada e não é disseminada novamente. O algoritmo 1 representa o *flooding*.

---

**Algoritmo 1:** *Flooding*, adaptado de (BANZI; POZO; JR., 2011)
 

---

```

1:  $n \leftarrow$  número total de veículos;
2:  $veiculo[1..n] \leftarrow$  representa todos os veículos da rede;
3: while (existir eventos na rede) do
4:   if (veículo[ $n_i$ ] detectou evento) then
5:     Atualiza veículo[ $n_i$ ] com a mensagem  $m$ ;
6:     if (veículo[ $n_i$ ] pertence à ROI) AND (veículo[ $n_i$ ] atende a estratégia 1 ou 2) then
7:       Cria a mensagem  $m_k$  com informações do acidente;
8:       Envia a mensagem  $m_k$ ;
9:     end if
10:    if (veículo[ $n_i$ ] está na rota com acidente) then
11:      Seguir para rota alternativa
12:    end if
13:  end if
14: end while

```

---

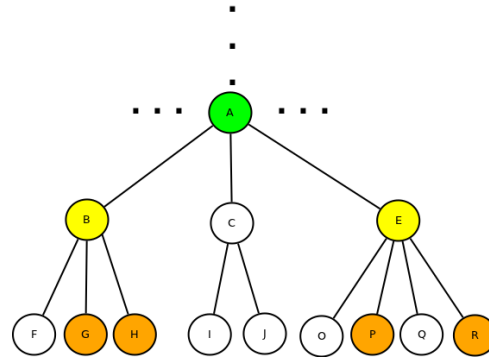
### 2.6.2 Difusão Epidêmica ou Gossiping

Outra estratégia para difundir mensagens em redes móveis dinâmicas é a utilização de algoritmos epidêmicos, também conhecidos como *gossiping*. Esse algoritmo e suas variações foram criadas seguindo o pensamento da disseminação de epidemias na natureza, onde um indivíduo contaminado pode infectar vários outros ainda não contaminados. Uma das características das epidemias está relacionada à permanência no ambiente, mesmo após a morte do ser infectado.

Nas redes dinâmicas e descentralizadas e, utilizando algoritmos epidêmicos, os nós de origem transmitem determinadas mensagens a certo número de vizinhos, selecionados de modo aleatório. Os nós que recebem os pacotes retransmitem-nos para outro conjunto de destinos selecionados também de forma aleatória (BANZI, 2011). Neste trabalho, o número de vizinhos foi determinado de forma empírica em 50%, pretende-se variar esse valor nos trabalhos futuros.

Considerando a quantidade de elementos escolhidos igual a 2, a Figura 8 mostra as rodadas do algoritmo *gossiping* durante algum tempo. Inicialmente, o nó A escolhe dois vizinhos de forma aleatória para receber a mensagem. Nesse caso, são escolhidos os nós B e E. Na rodada seguinte, os nós B e E escolhem, de modo aleatório, outros dois nós adjacentes para enviar a mensagem, ou seja, a mensagem é enviada do nó B para os nós G e H, e do nó E para os nós P e R. O algoritmo 2 contém a explicação do *gossiping*.

Ao contrário do algoritmo de inundação, a difusão epidêmica economiza recursos de rede por não enviar a mensagem a todos nós vizinhos. Contudo, precisa de mais tempo para disseminar a mesma informação a toda rede ou ROI. Algumas áreas de aplicação do *gossiping* estão relacionadas à agregação de dados, descoberta de recursos e monitoramento e replicação de base de dados (EUGSTER et al., 2004).

Figura 8 – Propagação de mensagens através do *Gossiping*.

Fonte: Elaborado pelo autor.

---

**Algoritmo 2:** *Gossiping*, adaptado de (BANZI; POZO; JR., 2011)
 

---

```

1:  $n \leftarrow$  número total de veículos;
2:  $veiculo[1..n] \leftarrow$  representa todos os veículos da rede;
3: PAC_DADOS  $\leftarrow$  representa pacote de dados;
4: ID  $\leftarrow$  identificador do veículo atual;
5: Destinos  $\leftarrow$  conj. dos destinatários;
6: Eventos  $\leftarrow$  dados do acidente (rota, pista, faixa);
7: while (existir eventos na rede) do
8:   if (veículo $[n_i]$  detectou evento) then
9:     Atualiza veículo $[n_i]$  com a mensagem  $m$ ;
10:    if (veículo $[n_i]$  pertence à ROI) then
11:      Cria a mensagem  $m_k$  com informações do acidente;
12:      if (Estratégia1()) then
13:        { escolha 25% dos vizinhos da mesma rota e 25% da rota contrária}
14:        Destinos  $\leftarrow$  50% dos vizinhos;
15:      else if (Estratégia2()) then
16:        { 50% dos vizinhos e todos são da rota inversa }
17:        Destinos  $\leftarrow$  50% dos vizinhos e todos da rota inversa;
18:      end if
19:      PAC_DADOS  $\leftarrow$  [ID, Destinos, Eventos];
20:      Enviar PAC_DADOS;
21:    end if
22:    if (veículo $[n_i]$  está na rota com acidente) then
23:      Seguir para rota alternativa
24:    end if
25:  end if
26: end while
  
```

---

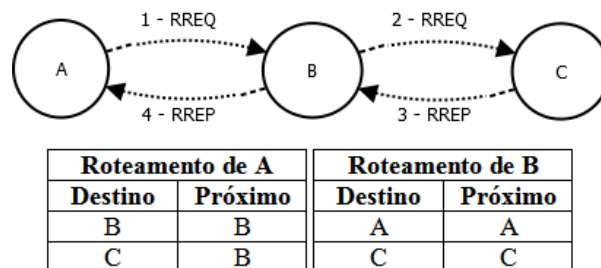
### 2.6.3 Ad-hoc On-Demand Distance Vector Algorithm

O *Ad-hoc On-Demand Distance Vector Algorithm*, AODV, pode ser chamado de sistema de aquisição de rota sob demanda (PERKINS; ROYER, 1999). Os nós que não se encontram em caminhos ativos e não mantêm qualquer informação de roteamento para os vizinhos não participam das tabelas de roteamento de outros nós, isto é, os nós não precisam descobrir e manter uma rota para outro nó até existir a necessidade de comunicação entre eles. O AODV não mantém todas as rotas para todos os nós ao mesmo tempo. Quando há pacotes para serem transmitidos, inicia-se o processo de

descoberta de rota. A principal vantagem deste protocolo é a utilização de números de sequência para garantir o quão nova é uma rota e não permitir a ocorrência de ciclos. Este protocolo consiste, basicamente, de três etapas: descoberta da rota, transmissão de dados e manutenção da rota.

Quando o remetente deseja enviar pacotes ao destinatário e não há nenhuma rota para o destino na tabela de roteamento, o protocolo inicia a etapa de descoberta de rota. O nó de origem realiza o *broadcast* do pacote de requisição de rota, RREQ, para todos os vizinhos. Estes vizinhos recebem o pacote RREQ e são divididos em três categorias: o receptor é o nó destino, ou o receptor possui uma rota para o destino, ou ainda nenhuma das alternativas anteriores. Nas duas primeiras situações, o nó receptor produz um pacote de resposta, RREP, e o envia ao nó precedente para que este o encaminhe até encontrar o nó de origem. O pacote RREP alcança o nó remetente através da rota reversa. Logo, o nó de origem pode ter uma ou mais rotas RREPs para o nó destino. Na terceira situação, quando o receptor não for e não conhecer o destino, ele realiza o *broadcast* do RREQ para todos os vizinhos até que seja possível encontrar o destino, ou que seja possível confirmar a inexistência do mesmo. A Figura 9 mostra as fases do AODV quando existe um caminho entre a origem e o destino.

**Figura 9 – Exemplo de encaminhamento de mensagem da origem ao destino pelo AODV.**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na etapa de descoberta de rota, o pacote RREQ é enviado aos vizinhos do nó de origem e os vizinhos encaminham aos nós adjacentes de maneira recursiva até o destino. Finalmente, o RREQ é inundado a grande parte da rede, resultando em um alto *overhead* e alto consumo de largura de banda (DING et al., 2011). Além disso, o nó de origem pode encontrar mais de uma rota até o destino e precisa escolher a melhor rota de acordo com o maior número da sequência ou o menor número de saltos.

Após o processo de descoberta de rota, inicia-se a etapa de transmissão dos dados. O remetente envia os pacotes de dados ao destinatário através da rota encontrada. Entretanto, devido à mobilidade dos nós pode ser que alguns nós se movam para fora do alcance da transmissão e, conseqüentemente, ocorre a *quebra* do enlace. Quando isso acontece, é necessário executar a etapa de manutenção de rotas para reparar ou encontrar novas rotas até o destinatário. Inicialmente, o nó com a perda do enlace gera um pacote

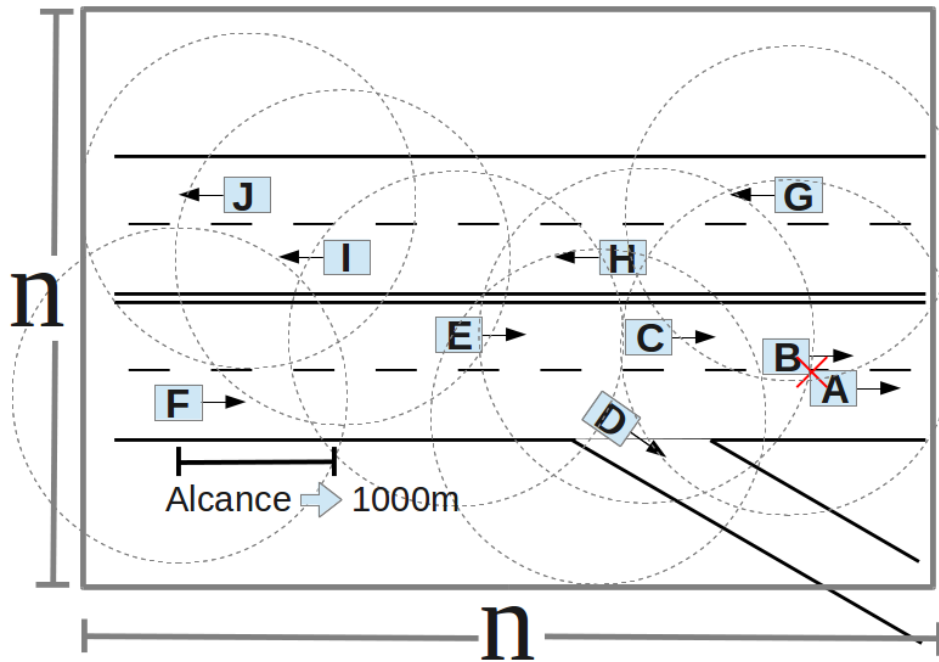
de erro, RERR, e o envia através da rota reversa até a origem. Assim que o nó de origem recebe o pacote RERR, ele procura na própria tabela de roteamento por outra rota até o destino. Se a encontra, ele a utiliza. Caso contrário, inicia uma nova etapa de descoberta de rota para transmitir os pacotes de dados.

### 2.6.3.1 Endereçamento *multicast* do AODV

O AODV clássico foi alterado para suportar o endereçamento *multicast* dentro da região de interesse, ou seja, o remetente através de um único pacote de solicitação de descoberta de rota, cria a tabela de roteamento para todos os veículos existentes na ROI. Caso fosse utilizado o endereçamento *unicast* tradicional, seria necessário o envio de  $n$  pacotes de descoberta de rota, onde  $n$  representa todos veículos da ROI. Logo, o endereçamento *multicast* diminui o número de pacotes de solicitação de descoberta de rota enviado pelos veículos.

A Figura 10 ilustra o funcionamento do AODV *multicast*. O veículo  $B$  envia o primeiro pacote de descoberta de rota, *RREQ*, e os veículos receptores em um primeiro nível ( $C$  e  $G$ ) enviam a resposta, isto é, retornam o pacote *RREP* ao remetente  $B$ . Logo em seguida, esses veículos enviam uma cópia do *RREQ* recebido. Como o veículo  $D$  é um dos receptores em um segundo nível, ele envia a cópia do *RREQ* recebido aos veículos  $E$  e  $H$  e, como anteriormente, retorna o pacote de resposta *RREP* ao remetente, veículo  $B$ . No terceiro nível, as cópias do pacote *RREQ* chega ao veículo  $I$  através do veículo  $E$ . Portanto, esses últimos veículos retornam o pacote de resposta, *RREP*, ao veículo antecessor de identificador  $D$  e, através da rota reversa, este veículo informa o remetente  $B$ . Esse processo se repete até que todos os veículos existentes na ROI de tamanho  $n$  sejam endereçados pelo veículo remetente  $B$ .

Quando o remetente  $B$  cria a tabela de roteamento para os veículos existentes na ROI do exemplo acima, ele envia o pacote de dado a todos eles. Para a descoberta de rota utiliza-se o AODV clássico. Contudo, os dados do evento são enviados a vários destinatários sem, necessariamente, criar vários pacotes de dados com informações do acidente para isso. Como pode ser observado na Figura 10, o remetente  $B$  envia um único pacote de dado para os veículos  $C$  e  $G$ . Como o veículo  $C$  é um dos intermediários entre o enlace dos veículos  $B$  e  $I$ , ele envia o mesmo pacote de dado recebido ao veículo  $D$  e assim sucessivamente até que o veículo  $I$  receba o pacote contendo as informações do acidente como identificador da via, localização, faixa bloqueada, sentido do acidente. Então, todos os veículos que fazem parte da tabela de roteamento do remetente  $B$  são informados sobre o acidente e se deslocam para a rota alternativa. É importante lembrar que os veículos devem possuir dispositivos GPS para informar as opções de rotas.

Figura 10 – Endereçamento *multicast* do AODV.

Fonte: Adaptado de (CASTRO et al., 2013).

### 2.6.3.2 Descrição do AODV

O processo de descoberta de rota se inicia quando o remetente precisa se comunicar com outro veículo e este não existe na tabela de roteamento. Cada veículo mantém dois contadores separados: o número de sequência da rota e o identificador do grupo *broadcast*. O remetente inicia a descoberta através do envio de pacotes *RREQ* aos vizinhos. O conteúdo dos pacotes *RREQs* estão representados no algoritmo 3.

O par  $\langle source\_addr, broadcast\_id \rangle$  identifica unicamente o pacote *RREQ*. O atributo *broadcast\_id* é incrementado quando o remetente envia um novo *RREQ*. Cada vizinho que atende aos requisitos do pacote *RREQ*, retorna um pacote de resposta conhecido como *RREP*, descrito no algoritmo 4, ou realiza o *broadcast* do *RREQ* aos próprios vizinhos após incrementar o número de saltos - *hop\_cnt*. Às vezes, um veículo recebe várias cópias dos pacotes de uma rota, logo ele verifica o par  $\langle source\_addr, broadcast\_id \rangle$  e, se é redundante, o pacote *RREQ* é descartado. Quando um veículo recebe o *RREQ*, ele armazena o caminho inverso, ou seja, o caminho até o remetente para que possa ser utilizado quando receber algum pacote de resposta à solicitação de descoberta de rota.

---

**Algoritmo 3:** Pacote de controle para descoberta da rota, adaptado de (PERKINS; ROYER, 1999)

---

```

1: source_addr ← identificador do remetente;
2: source_seq_no ← n.º de sequência do remetente;
3: broadcast_id ← identificador do grupo broadcast;
4: dest_addr ← identificador do destino;
5: dest_seq_no ← n.º de sequência dos destinatário;
6: hop_cnt ← n.º de saltos do remetente ao destinatário;

7: rota ← representa o nome da rota ou o sentido de
   deslocamento do veículo;

8: velocidade ← contém o valor escalar da velocidade;

9: localizacao ← representa a coordenada do veículo
   no plano cartesiano;

10: RREQ ← [source_addr, source_seq_no, broadcast_id,
   dest_addr, dest_seq_no, hop_cnt];

11: veiculo; envia pacote de descoberta de rota RREQ(...);

```

---



---

**Algoritmo 4:** Pacote de resposta a solicitação de rota, adaptado de (PERKINS; ROYER, 1999)

---

```

1: destination_ip_address ← identificador do destinatário;
2: source_ip_address ← identificador do remetente;
3: broadcast_id ← identificador do grupo broadcast;
4: expiration_time ← tempo de vida da rota reversa;
5: source_node_seq_no ← n.º de sequência do veículo
   remetente;

6: if ( SouDestino() ) then
7:   RREP ← [destination_ip_address, source_ip_address,
   broadcast_id, expiration_time, source_node_seq_no];
8:   Envia RREP;
9: else if (NaoSouDestinoEDesconhecoRota()) then
10:  Incrementa hop_cnt do RREQ recebido;
11:  Altera atributos rota, velocidade e localizacao;
12:  Envia RREQ(...);
13: else if (TenhoRotaAoDestino()) then
14:  RREP ← [destination_ip_address, source_ip_address,
   broadcast_id, expiration_time, source_node_seq_no];
15:  Envia RREP(...) ao remetente; {encaminhamento
   unicast}

16: end if

```

---

O caminho da rota reversa representa a rota contrária quando um veículo recebe qualquer *RREQ* e é mantida pelos atributos *source\_seq\_no* e *dest\_seq\_no*. O primeiro deles é utilizado para indicar o *RREQ* com as informações mais recentes da rota reversa até a origem e o segundo atributo determina o quanto uma rota deve ser nova para ser aceita pelo remetente.

Quando o *RREQ* alcança o destinatário ou um nó qualquer, ocorre a comparação dos valores do atributo *dest\_seq\_no* do pacote *RREQ* com o valor armazenado na tabela de roteamento do veículo. Se o número de sequência do pacote *RREQ* for maior que o do veículo, então o atributo *dest\_seq\_no* do pacote *RREQ* substitui o do veículo e é utilizado para retornar o *RREP* ao remetente ou o maior valor é utilizado para o encaminhamento do *RREQ* recebido. Caso seja o primeiro *RREQ* recebido pelo veículo, este retorna o *RREP* com os atributos do primeiro pacote de solicitação de descoberta de rota recebido pelo veículo.

O recebimento do primeiro *RREP* pelo remetente indica a existência de uma rota origem-destino, logo pode-se iniciar a disseminação dos dados do evento, ou seja, o remetente pode enviar os pacotes de dados contendo informações sobre o acidente. Além disso, nesse momento, todas as variáveis de controle do pacote como tempo no qual a rota é considerada ativa, tempo de expiração da rota reversa e outros são inicializados. O *RREP* recebido pelo remetente poderá ser substituído quando o mesmo receber algum *RREP* com o *dest\_seq\_no* maior, indicando a rota mais nova, ou quando possuir o menor

valor para o número de saltos representado pelo atributo *hop\_cnt*.

Além dos pacotes de solicitação e resposta à descoberta de rota, cada veículo possui uma tabela de roteamento. Essa tabela contém alguns atributos como *destination*, *next\_hop*, *number\_hops*, *dest\_seq\_no* e *expiration\_time* e servem para que o pacote sobre o evento seja transmitido até o destinatário. A diferença para o AODV implementado neste trabalho é que o remetente possui rotas para todos os veículos existentes na ROI, logo o pacote sobre o evento é transmitido a todos os vizinhos que são os destinatários ou levam a eles.

O atributo *expiration\_time* da tabela de roteamento é utilizado para eliminar as rotas inválidas após determinado instante de tempo. Dessa maneira, rotas inválidas ou rotas antigas são excluídas das tabelas de roteamento dos veículos. O atributo *dest\_seq\_no* é utilizado na escolha da rota mais recente, ou seja, quanto mais recente for uma rota, maior será o valor desse atributo. Se, por algum motivo, o remetente receber algum *RREP* com o mesmo valor do atributo *dest\_seq\_no*, ele escolherá o pacote com o menor valor de número de saltos - *number\_hops*.

Os algoritmos 6 e 7 descrevem brevemente o funcionamento do AODV. Os atributos dos pacotes *RREQ* e *RREP* foram representados nos algoritmos 3 e 4. O algoritmo 5 mostra o formato do pacote de dado. Esse pacote contém os dados do acidente.

---

**Algoritmo 5:** Formato do pacote de dado ou do evento. Elaborado pelo autor.

---

```

1: remetente ← veículo envolvido no acidente;
2: vizinhos[...] ← contém informações dos vizinhos do veiculo
   e serão o próximo salto;
3: destinatarios ← veiculos[...] remetente conhece todos os
   veículos existentes na ROI;

4: rota ← representa o nome da rota;
5: sentidoAcidente ← representa o sentido da rodovia
   com o acidente;
6: locAcidente ← contém a coordenada do acidente;
7: pista ← representa a pista com o acidente;
8: faixa ← representa as faixas interditadas;

```

---



---

**Algoritmo 6:** Solicitação de descoberta da rota, adaptado de (PERKINS; ROYER, 1999)

---

```

1: vizinhos[...] ← contém informações dos vizinhos do veiculo;

2: if ( PossuoRotaAoDestinatario( X ) ) then
3:   if ( EstouNaROI( Coord coordROI ) ) then
4:     vizinhos[...] ← selecionar_vizinhos(); {Um único
       pacote de dado à vários vizinhos}
5:     Envia_pacote_evento( vizinhos[...] );
6:   end if
7: else
8:   Envia_pacote_RREQ( Coord coordROI ); {Pacote de
       descoberta de rota e contém informações do
       remetente}
9: end if

```

---

---

**Algoritmo 7:** Pacote de resposta a solicitação de rota, adaptado de (PERKINS; ROYER, 1999)

---

```

1: vizinhos[...] ← contém informações dos vizinhos do veículo;
2: RREQ ← [source_addr, source_seq_no, broadcast_id, dest_addr, dest_seq_no, hop_cnt];

3: if ( TipoPacoteRecebido == RREQ ) then
4:   if ( NaoPossuoRota( RREQ[dest_addr] ) AND DesconhecoDestino( RREQ[dest_addr] ) ) then
5:     Incrementa hop_cnt;
6:     Atualizar RREQ[hop_cnt] ← hop_cnt;
7:     Envia RREQ[...];

8:   else if ( PossuiRotaAoDestino( RREQ[dest_addr] ) ) then
9:     Cria RREP ← [dest_addr, src_addr, brd_id, exp_time, src_seq_no] {RREP é retornado através da rota reversa - unicast};
10:    Envia RREP[...];

11:  else if ( SouDestino( RREQ[dest_addr] ) ) then
12:    if ( RREQ[source_seq_no] > tabRoteamento[source_seq_no] OR (RREP[source_seq_no] ≥ tabRoteamento[source_seq_no] AND RREP[hop_cnt] < tabRoteamento[hop_cnt] ) ) then
13:      Incrementa hop_cnt;
14:      Cria RREP ← [destination_ip_address, source_ip_address, broadcast_id, expiration_time, source_node_seq_no];
15:      Envia RREP[...] {Enviado via unicast ao remetente};
16:    end if
17:  end if

18: else if ( TipoPacoteRecebido == RREP ) then
19:   if ( NaoSouRemetente( RREP[source_ip_addr] ) ) then
20:     Atualiza TabRoteamento[...] com dados do RREP[...];
21:     Encaminha RREP ao remetente;

22:   else if ( SouRemetente( RREP[source_ip_addr] ) ) then
23:     Atualiza TabRoteamento[...] com dados do RREP[...];
24:   end if
25: end if

```

---

#### 2.6.4 Robust Vehicular Routing

O *Robust Vehicular Routing*, ROVER, também utiliza pacotes de controle para descobrir os vizinhos e os veículos existentes na ROI, logo os pacotes de dados são enviados diretamente aos destinatários utilizando endereçamento *multicast* para aumentar a eficiência e a confiança do protocolo.

Esse protocolo inicia a descoberta de rota através do envio do pacote *Zone Route Request*, *ZRREQ*, contendo o identificador do veículo - *VIN*, a localização, a ROI, o número de sequência da rota, *SS* e a *ZOF*. Diferentemente dos protocolos anteriores, o ROVER considera uma distância de corte para a escolha dos vizinhos, logo os nós que se encontram próximos ao alcance máximo da transmissão, cerca de 1000m, são desconsiderados. Isso aumenta a *força* do enlace e, de certa forma, garante links mais estáveis.

O objetivo deste protocolo é transmitir a mensagem  $M_x$ , sobre o evento acidente *Acid*, para todos os veículos pertencentes à ROI  $Z_y$ . Quando um veículo recebe a men-

sagem, ela é aceita e deve ser transmitida somente se o veículo pertence à ROI. Similar a outros protocolos baseados em posicionamento geográfico, existe a *zone of forwarding*, *ZOF* que representa a região contendo o remetente e a  $Z_y$ , logo todos os veículos pertencentes à *ZOF* são partes do processo de roteamento.

#### 2.6.4.1 Descoberta de Rota

A descoberta de rota inicia-se quando um veículo receber o primeiro pacote contendo a tripla  $[A, M, Z]$ , onde **A** representa a aplicação, **M** a mensagem e **Z** a região de interesse. O objetivo da descoberta de rota é construir a árvore *multicast* do remetente para todos os veículos existentes na região delimitada pela ROI **Z**.

O remetente inicia a descoberta de rota através do envio do pacote *Zone Route Request*, *ZRREQ*, contendo o identificador do veículo - *VIN*, a localização, a *ROI*, o número de sequência da rota, *SS* e a *ZOF*.

A estratégia de seleção dos vizinhos é a seguinte: sempre que um veículo receber o *ZRREQ* para um *SS* qualquer, ele aceita a mensagem se o veículo pertencer à *ZOF* e estiver próximo ao nó disseminador. Logo, verifica-se a distância de corte através da expressão  $\alpha.R$ , onde *R* é o alcance máximo da transmissão e  $0 < \alpha \leq 1$ . Neste trabalho o  $\alpha = 2/3$ .

Se um veículo aceitar o *ZRREQ*, ele responde com o envio de uma mensagem de resposta de rota, *ZRREP*, contendo o próprio identificador e armazena o par  $[SS, Z]$  na tabela de roteamento. Por último, este veículo realiza o broadcast do *ZRREQ* dos dados originais - *VIN*, *ROI* e *SS*. Os veículos pertencentes à *ZOF* e fora da *ROI* não respondem às mensagens, exceto se for a resposta de alguma mensagem enviada. As tabelas de roteamento dos veículos armazenam o *SS* e *VIN* do remetente.

Ao contrário do AODV, os pacotes *ZRREQ* são disseminados à toda rede, mas as mensagens de respostas - *ZRREP* - não são enviadas à origem, somente aos vizinhos próximos e que enviaram o pacote *ZRREQ*. Estas mensagens contêm o identificador do veículo, *VIN*, e o número de sequência da rota, *SS*, e são inseridas na tabela de roteamento de cada nó. Desta maneira, todos os nós armazenam as informações necessárias para construir a árvore *multicast* e podem iniciar a transmissão dos dados.

#### 2.6.4.2 Transferência de Dados

Quando cada um dos veículos da *ROI* possui as informações para os próximos saltos como *VIN* e *SS*, inicia-se a transmissão dos dados para todos os nós integrantes desta região de interesse.

A descoberta de vizinhos no ROVER também é feita através do envio de pacotes

de controle e as transferência de dados ou informações sobre o acidente ocorre através dos pacotes de dados. Os algoritmos 8, 9 e 10 contêm as etapas do protocolo ROVER.

---

**Algoritmo 8:** Envio dos eventos do protocolo ROVER, adaptado de (KIHLL; SICHITIU; JOSHI, 2008)

---

```

1:  $n \leftarrow$  número total de veículos;
2:  $veiculo[1..n] \leftarrow$  representa os veículos do cenário;
3:  $ZREQ \leftarrow$  pacote de solicitação de descoberta de vizinhos;
4:  $Acid \leftarrow$  representa o acidente;
5:  $M_x \leftarrow$  representa a mensagem;
6:  $Z_y \leftarrow$  contém coordenadas e o identificador da ROI;

7: while (existir eventos na rede) do
8:   if (!possoVizinho( )) then
9:     Descobrir vizinhos  $\rightarrow ZREQ$  {Algoritmo 5};
10:    Agenda evento até existir vizinho;
11:   else if (  $veiculo[n_i] \in ROI$  AND  $veiculo[n_i] \in$ 
      Destinatários ) then
12:     Selecionar todos os vizinhos do veículo  $[n_i]$ ;
13:     Envia a mensagem  $[Acid, M_x, Z_y]$ ;
14:   end if
15:   if (  $veiculo[n_i] \in$  rota com acidente ) then
16:     Seguir para rota alternativa
17:   end if
18: end while

```

---



---

**Algoritmo 9:** Resposta ao pacote de descoberta de vizinhos do ROVER, adaptado de (KIHLL; SICHITIU; JOSHI, 2008)

---

```

1:  $ZRREQ \leftarrow$  pacote de descoberta de rota recebido;
2:  $SS \leftarrow ZRREQ[SS]$ ; { SS: número de sequência da rota }
3:  $VIN \leftarrow ZRREQ[VIN]$ ; { VIN: n.º identificador do veículo }
4:  $ROI \leftarrow ZRREQ[ROI]$ ; { ROI: região de interesse ou relevância }
5:  $distancia[COORD] \leftarrow$  distância do veículo atual ao emissor do  $ZRREQ$ ;
6:  $R \leftarrow$  alcance da transmissão; {Padrão de 1000m}
7:  $\alpha \leftarrow 2 \div 3$ ;
8:  $Cutoff\_distance \leftarrow \alpha.R$ ;
9: if (  $veiculo[n_i] \in ROI$  AND  $distancia[COORD] \leq Cutoff\_distance$  ) then
10:   Envia resposta  $ZRREP$  ao veículo  $VIN$ ;
11:   Atualiza  $Tabela\_roteamento \leftarrow [SS, Z_y]$ ;
12:   Envia  $ZRREP [VIN, SS, ROI] \rightarrow VIN$ ;
13: end if

```

---



---

**Algoritmo 10:** Descoberta de vizinhos do protocolo ROVER, adaptado de (KIHLL; SICHITIU; JOSHI, 2008)

---

```

1:  $ZRREQ[VIN] \leftarrow$  identificador do veículo da ZOF;
2:  $ZRREQ[SS] \leftarrow$  número de sequência da rota;
3:  $ZRREQ[ROI] \leftarrow$  coordenadas e identificador da ROI;
4:  $ZRREQ[COORD] \leftarrow$  coordenada do veículo  $[n_i]$ ;

5: Adicionar informações do veículo;
6: Enviar o pacote de controle  $\rightarrow ZRREQ[VIN, SS, ROI, COORD]$ ;

```

---

### 2.6.5 Novo AODV

Em redes veiculares é comum encontrar rotas que não duram tempo suficiente para transmitir todos os pacotes ao destino devido às características peculiares de alta mobilidade dos nós e enlaces intermitentes. Então, os autores (DING et al., 2011) propuseram algumas alterações no AODV para identificar rotas mais estáveis e diminuir o *overhead*. Para fazer as alterações e alcançar o objetivo proposto, a velocidade e a direção de deslocamento dos veículos devem ser obtidas via GPS e outros sensores. A velocidade relativa alta entre dois veículos pode resultar em um tempo de existência do enlace baixo, logo este enlace pode ser instável e perder a conexão facilmente. Além disso, veículos que se

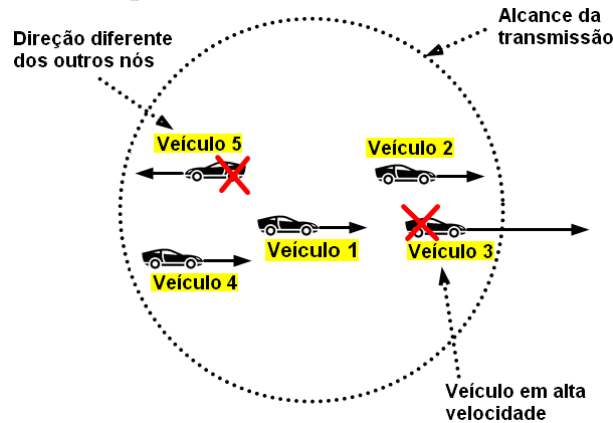
deslocam em sentidos diferentes possuem menor *tempo de contato* e, conseqüentemente, menor tempo para transmitir os pacotes de dados.

Outros autores (DING et al., 2011) propuseram duas alterações no AODV. Uma delas está relacionada à etapa de descoberta da rota e a outra ao processo de seleção de rota como pode ser observado abaixo. Neste trabalho, essas duas etapas utilizam os pacotes de controle para criar a tabela de roteamento do remetente para os veículos, como nos protocolos anteriores, existentes na ROI.

### 1. Primeira alteração: selecionar os nós com enlaces mais estáveis na etapa de descoberta da rota

O objetivo desta etapa é enviar o RREQ somente aos nós mais estáveis, ou seja, aos veículos com velocidades próximas e mesmo sentido de deslocamento. Primeiramente, o nó de origem obtém a velocidade e o sentido de deslocamento dos vizinhos para, logo em seguida, escolher os vizinhos mais estáveis. A Figura 11 exibe cinco veículos. O veículo 1 é o responsável por selecionar os melhores veículos, mas podemos desconsiderar dois veículos, o número 3 e o 5, pois o primeiro possui a velocidade relativa alta e o segundo está se deslocando em sentido contrário ao veículo de origem, neste caso o de número 1.

Figura 11 – Exemplo de escolha dos veículos mais estáveis.



Fonte: (DING et al., 2011).

A equação abaixo mostra como é escolhido os melhores vizinhos da etapa de descoberta da rota.

$$link\_weight = W_V |V_i - V_{neighbor\_of\_i}| + W_D |D_i - D_{neighbor\_of\_i}| \quad (2.1)$$

Onde  $W_V$  é o fator peso para a velocidade,  $V_i$  é a velocidade do nó  $i$  e  $V_{neighbor\_of\_i}$  é a velocidade do vizinho de  $i$ . A variável  $W_D$  é o fator peso para o sentido de deslocamento,  $D_i$  é a direção de deslocamento do nó  $i$  e  $D_{neighbor\_of\_i}$  é a direção de deslocamento do vizinho de  $i$ . O termo  $i$  representa o nó de origem.

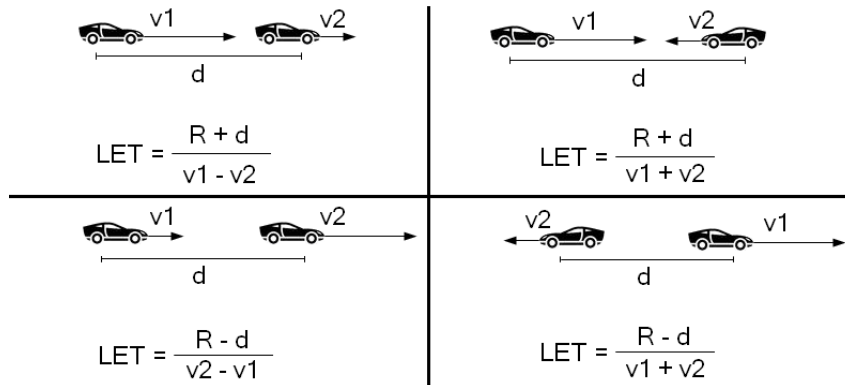
Através da fórmula acima é possível calcular a força do enlace em relação aos vizinhos. E, de acordo com a análise anterior, os veículos com velocidade semelhante e mesma direção são mais estáveis, logo escolhemos o vizinho de menor valor de *link\_weight*. Quando isso não for possível, o novo AODV escolhe vizinhos com sentido de deslocamento contrários e, preferencialmente, com a menor diferença de velocidade entre si.

## 2. Segunda alteração: selecionar as rotas mais estáveis no processo de seleção de rota

Quando o nó de origem obtêm múltiplas rotas para o destino é necessário escolher a rota mais estável para transmitir os pacotes. Uma das estratégias é escolher a rota com maior tempo de vida, pois pode-se transmitir os pacotes de dados durante mais tempo.

Os autores utilizaram  $R$  para representar o alcance da transmissão do nó de origem e  $d$  é a distância entre os dois veículos. Dois veículos podem se comunicar e trocar pacotes de dados somente se  $d < R$ . O tempo de comunicação entre dois veículos é definido pelo *link expiration time* (LET) que considera a velocidade e a direção de cada um. De acordo com diferentes situações de velocidade e direção pode-se ter quatro categorias de LET como observado na Figura 12.

Figura 12 – Quatro categorias para o cálculo do LET.



Fonte: (DING et al., 2011).

Através dos quatro tipos de *LET*, tem-se a expressão abaixo, onde  $\alpha$  e  $\beta$  valem 1 ou -1 de acordo com a velocidade e a direção dos dois veículos intermediários.

$$LET = \frac{R + \alpha * d}{|V_1 + \beta * V_2|} \quad (2.2)$$

O tempo de vida de uma rota, *route expiration time* - *RET*, é o tempo máximo de transmissão de mensagens suportado e foi definido de acordo com o menor valor do *LET* conforme a expressão a seguir:

$$RET = \min \{LET_1, LET_2, LET_3, \dots, LET_N\} \quad (2.3)$$

De acordo com (DING et al., 2011), o Novo AODV melhora a escolha dos veículos durante a descoberta e a seleção das rotas entre os envolvidos. Logo, diminui a perda de pacotes e escolhe enlaces *mais estáveis*, ou seja, como maior tempo de duração.

Semelhante ao AODV clássico, o Novo AODV utiliza o mesmo processo na disseminação de pacotes de dados e o endereçamento também é *multicast*. Esses pacotes contêm informações sobre o acidente como localização geográfica, sentido da via, faixa obstruída e outros. Os pacotes de controle são utilizados estritamente para descobrir os vizinhos de um veículo qualquer e criar as tabelas de roteamento do remetente (veículo envolvido no acidente e disseminador de mensagens sobre esse evento) para os veículos da ROI.

### 2.6.5.1 Descrição do Novo AODV

O algoritmo 12 representa o pacote de controle usado pelo Novo AODV para descobrir a rota origem-destino. Alguns atributos são semelhantes ao AODV clássico, contudo esse pacote possui outras variáveis como *velocidade*, *sentido\_deslocamento*, *forca\_enlace* e *LET*. Cada veículo calcula a força do enlace de acordo com os valores do *RREQ* recebido, substitui os valores atuais desse pacote e envia o *RREQ* com os novos valores. O pacote de resposta a solicitação de descoberta de rota, *RREP*, é o mesmo utilizado pelo AODV clássico e está no algoritmo 4.

---

**Algoritmo 11:** Pacote de controle do Novo AODV. Adaptado de (DING et al., 2011)

---

- 1: *source\_addr* ← identificador do remetente;
  - 2: *source\_seq\_no* ← n.º de sequência do remetente;
  - 3: *broadcast\_id* ← identificador do grupo *broadcast*;
  - 4: *dest\_addr* ← identificador do destino;
  - 5: *dest\_seq\_no* ← n.º de sequência dos destinatários;
  - 6: *hop\_cnt* ← n.º de saltos do remetente ao destinatário;
  
  - 7: *velocidade* ← valor escalar da velocidade do último intermediário;
  - 8: *sent\_desloc* ← contém o sentido de deslocamento do último intermediário;
  - 9: *forca\_enlace* ← representa a força do enlace descrita na equação 2.1;
  - 10: *LET* ← tempo necessário para o enlace expirar. Será explicado na equação 2.2;
  
  - 11: *RREQ* ← [*source\_addr*, *source\_seq\_no*, *broadcast\_id*, *dest\_addr*, *dest\_seq\_no*, *hop\_cnt*, *velocidade*, *sentido\_deslocamento*, *forca\_enlace*, *LET*];
- 

Diferentemente do AODV clássico, o Novo AODV prioriza enlaces *mais fortes*, logo não escolhe o caminho mais curto entre o remetente e o destinatário e tende a escolher o enlace com o maior tempo duração.

---

**Algoritmo 12:** Pacote de resposta a solicitação de descoberta de rota. Adaptado de (DING et al., 2011)

---

```

1: vizinhos[...] ← contém informações dos vizinhos do veículo;
2: RREQ ← [source_addr, source_seq_no, broadcast_id, dest_addr, dest_seq_no, hop_cnt, velocidade, sentido_deslocamento,
forca_enlace, LET ];

3: if ( TipoPacoteRecebido == RREQ ) then
4:   if ( NaoPossuoRota( RREQ[dest_addr] ) AND DesconhecoDestino( RREQ[dest_addr] ) ) then
5:     Incrementa hop_cnt;
6:     Atualizar RREQ[hop_cnt] ← hop_cnt;
7:     Calcular forca_enlace e LET;
8:     Atualizar RREQ[velocidade, sent_desloc, forca_enlace] ← [velocidade, sent_desloc, forca_enlace, LET];
9:     Envia RREQ[...];

10:  else if ( PossuiRotaAoDestino( RREQ[dest_addr] ) ) then
11:    Cria RREP ← [dest_addr, src_addr, brd_id, exp_time, src_seq_no] {RREP é retornado através da rota reversa -
unicast};
12:    Envia RREP[...];

13:  else if ( SouDestino( RREQ[dest_addr] ) ) then
14:    if ( RREQ[source_seq_no] > tabRoteamento[source_seq_no] OR !PossuoNaTabelaRoteamento(RREQ[dest_addr]) )
then
15:      Incrementa hop_cnt;
16:      Calcula forca_enlacei e LETi;
17:      Atualizar RREQ[forca_enlace, LET] ← [forca_enlace, LET];
18:      TabRoteamento ← atributos do RREQ[...];

19:      if ((RREP[source_seq_no] > TabRoteamento[source_seq_no]) OR
RREP[source_seq_no] ≥ tabRoteamento[source_seq_no] AND RREQ[forca_enlace] < TabRoteamento[forca_enlace] )
then
20:        Atualiza TabRoteamento[...] com dados do RREQ[...];
21:      end if
22:      Cria RREP ← [destination_ip_address, source_ip_address, broadcast_id, expiration_time, source_node_seq_no];
23:      Envia RREP[...] {Enviado via unicast ao remetente};
24:    end if
25:  end if

26: else if ( TipoPacoteRecebido == RREP ) then
27:   if ( NaoSouRemetente( RREP[source_ip_addr] ) ) then
28:     Atualiza TabRoteamento[...] com dados do RREP[...];
29:     Encaminha RREP ao remetente;

30:   else if ( SouRemetente( RREP[source_ip_addr] ) ) then
31:     Atualiza TabRoteamento[...] com dados do RREP[...];
32:   end if
33: end if

```

---

Os pacotes de dado e o *RREP* não foram alterados para o Novo AODV, logo o conteúdo desses pacotes é o mesmo utilizado no protocolo AODV representado pelos algoritmos 4 e 5.

## 2.7 Utilização de outras tecnologias em Redes Veiculares

Em redes veiculares utiliza-se também a comunicação entre os veículos e as estações rádio base, ERBs, descritas na seção 2.3. As ERBs se comunicam com os veículos através

do padrão veicular IEEE 802.11p.

As vantagens da utilização das unidades de acostamento são a transmissão de dados independentemente da densidade de veículos na região, suporte a várias tecnologias de comunicação, maior alcance de acordo com a tecnologia utilizada, dentre outros. Segundo (BMW DAIMLERCHRYSLER; VW, 2005), existem algumas aplicações destinadas para a arquitetura infraestruturada como registro de avanço de semáforo, alerta de velocidade em curva, assistente para cruzamentos, dentre outros.

Além das características acima, a utilização de ERBs permitem acesso à internet e, conseqüentemente, disponibilizam *streaming* de vídeo e compartilhamento de arquivos. Ela disponibiliza também serviço de autenticação e permite aos usuários ter acesso aos atributos configurados para o próprio perfil. Outros trabalhos utilizaram a infraestrutura para disseminar dados em redes veiculares (CHO; OKAMURA, 2009). Eles utilizaram serviços de coleta das posições geográficas, velocidades e direção dos veículos para criar a região virtual entre os veículos com velocidade relativa próxima e aumentar o tempo da existência dos enlaces entre os mesmos (HUNG; CHAN; WU, 2008).

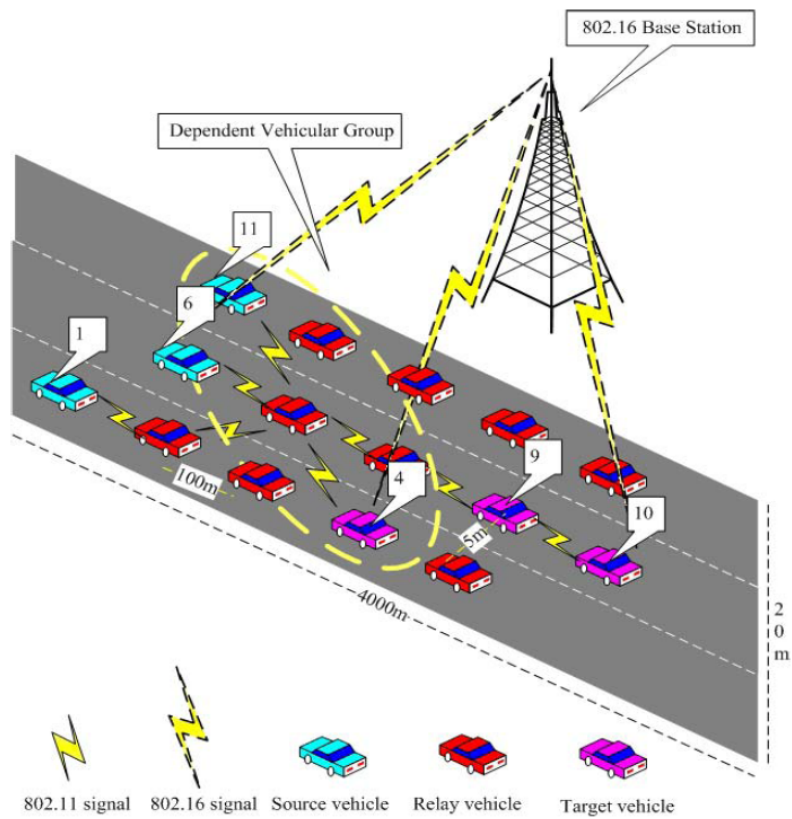
A Figura 13 exemplifica o problema para o qual existe uma única estação base responsável por identificar os grupos de veículos dependentes. A via de circulação possui comprimento de 4 km, três faixas para circulação dos veículos e todos os automóveis se deslocam no mesmo sentido. Cada veículo possui um GPS e duas interfaces de comunicação: uma WiMAX e outra WAVE. A interface WiMAX é utilizada pela estação base e visa identificar os veículos pertencentes ao mesmo grupo veicular como, por exemplo, os veículos 4, 6 e 11.

Se o veículo 11 desejar enviar uma mensagem ao veículo 4, primeiramente, ele enviará o próprio identificador, a localização do mesmo e o identificador do veículo destino à estação base. A unidade de acostamento será a responsável por identificar a localização geográfica e as características (identificador, localização, sentido de deslocamento, velocidade relativa) do veículo 4, para saber se ele faz parte deste grupo de veículos. Caso faça parte, a comunicação entre os veículos 11 e 4 acontecerá através da interface do padrão IEEE 802.11p.

Supondo que o veículo 1 deseja enviar alguma informação ao veículo 10 e se eles não pertencerem ao mesmo grupo de veículos dependentes, a comunicação entre eles acontecerá via interface WiMAX tendo a unidade de acostamento como nó intermediário.

De acordo com (HUNG; CHAN; WU, 2008), a utilização de WiMAX apresentou resultado positivo, pois foi possível gerenciar os automóveis sob a área de cobertura e, além disso, a taxa de entrega dos pacotes é alta se comparada aos algoritmos convencionais de propagação de mensagens em redes *ad hoc*.

Figura 13 – Utilização de WiMAX para gerenciar o grupo de veículos dependentes.



Fonte: (HUNG; CHAN; WU, 2008).

### 3 SIMULAÇÕES

Um dos ambientes para realização das simulações é o *Network Simulator 2*, também conhecido como *ns2*, e o *Traffic and Network Simulation Environment* (TraNS).

O *ns2* é um simulador de rede de código fonte aberto e suporta a simulação de redes cabeadas, redes sem fio locais ou envolvendo tecnologias de satélite. O motivo de não escolhermos o *ns2* é por não suportar, no momento da realização deste trabalho, o padrão de comunicação veicular IEEE 802.11p e há somente algumas adaptações para simular tal padrão. Esse foi a principal razão pela não adoção do *ns2*.

O TraNS é uma ferramenta gráfica para integrar o modelo de tráfego de veículos (SUMO) ao simulador de rede (*ns2*) no intuito de suportar cenários de simulação realísticos para VANETs. O modelo de tráfego gerado influencia no comportamento dos veículos quando se refere ao modelo de mobilidade. O desenvolvimento do TraNS foi suspenso, portanto ele não suporta as versões mais recentes do *ns2* e também do SUMO. Além disso, não há qualquer tipo de suporte técnico para essa ferramenta.

Este trabalho utilizou o simulador de rede Omnet++ 4.2 (VARGA, 1999), o simulador de tráfego SUMO 0.15 (BEHRISCH et al., 2011) e o módulo Veins Car2X 2.0 (SOMMER; GERMAN; DRESSLER, 2011). O ambiente da simulação está descrito a seguir.

#### 3.1 Descrição dos Simuladores

O **Omnet++ 4.2** é um simulador de rede modular formado por componentes e bibliotecas baseados na linguagem de programação C++. Oferece simulações de redes cabeadas, sem fio, redes *on-chip* e permite a criação e avaliação de protocolos.

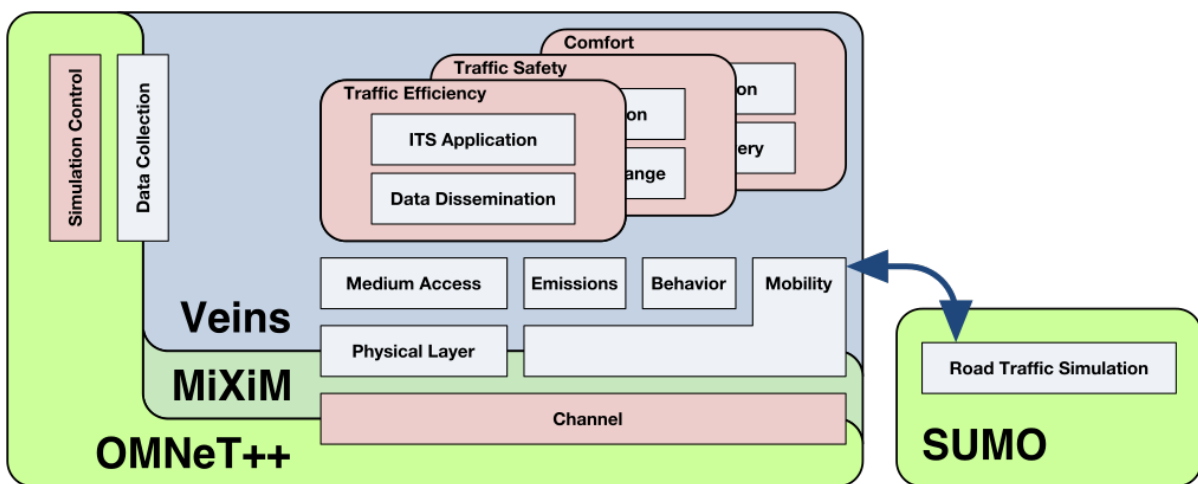
O **Simulation of Urban MObility (SUMO 0.15)** é um simulador de tráfego rodoviário e foi criado para emular redes rodoviárias de grande porte. É de código aberto, altamente portátil e foi desenvolvido pelos funcionários do Instituto de Sistemas de Transporte do Centro Aeroespacial Alemão. Esse aplicativo obtém dados reais de vias urbanas, de estradas e as converte para mapas digitais fornecendo dados de ruas, avenidas, estradas como velocidade máxima permitida, número de faixas existentes nas vias, localização geográfica e outros. Ele também disponibiliza dados de cruzamentos e semáforos existentes nas cidades de médio ou grande porte.

O **Veins Car2X** é um *framework* de simulação inter-veicular composto por um simulador de rede baseado em eventos e um modelo de micro tráfego rodoviário. Esse *fra-*

*mework* suporta o padrão de comunicação veicular definido pela IEEE 802.11p, destinado à comunicação entre veículos.

A Figura 14 descreve o ambiente de simulação de redes veiculares e a integração do Omnet++ 4.2, SUMO 0.15 e Veins Car2x 2.0. O Omnet++ 4.2 e o SUMO 0.15 funcionam em paralelo e se comunicam através do *socket* TCP. Através do SUMO, pode-se visualizar e gerar logs dos veículos, contendo velocidade média, distância percorrida, tempo gasto no percurso e outros. O Veins Car2X é um módulo inserido no Omnet++ para utilizar os recursos desse simulador de tráfego e acrescentar o padrão de comunicação veicular IEEE 802.11p, descrito brevemente no capítulo 2.

Figura 14 – Descrição do ambiente das simulações.



Fonte: (SOMMER; GERMAN; DRESSLER, 2011).

### 3.2 Cenário das Simulações

Para avaliar os protocolos, foram realizadas simulações com o *flooding*, o *gossiping*, o ROVER, o AODV e o Novo AODV, para cada uma das regiões de relevância determinadas pelo parâmetro  $n$ , no simulador OMNET++ 4.2, módulo VEINS Car2X 2.0 e o simulador de tráfego SUMO 0.15. Utilizou-se o mapa digital da Rodovia Fernão Dias s/no BR-381, km 424 ao km 430. Essa rodovia interliga a cidade de São Paulo a Belo Horizonte e é duplicada em ambos os sentidos de circulação.

Existem algumas diferenças entre mapas digitais de rodovias e regiões urbanas. No primeiro tipo de mapa os veículos circulam com velocidades mais altas, o *tempo* de comunicação entre os veículos é menor devido a alta velocidade e tende a existir maior número de desconexões, a densidade de veículos na via tende a ser menor quando comparado aos cenários urbanos e, na maioria dos casos, não há tantos obstáculos para causar interferências. Por outro lado, regiões urbanas possuem mais variações na velocidade dos veículos causados por semáforos, cruzamentos, congestionamentos e outros, além disso existem

prédios para causar interferência na comunicação e o alcance da transmissão tende a ser menor. O cenário escolhido é ideal e não considera obstáculos, portanto o alcance da transmissão também representa o valor ideal.

O sentido de circulação escolhido para a simulação do acidente foi o de São Paulo a Belo Horizonte e o trecho se encontra próximo à FIAT de Betim/MG. O trecho simulado possui, aproximadamente, 6 km e está representado pelos pontos *A* e *C* da Figura 15. O ponto *B* representa o local do acidente. A rota contendo os pontos *P1* e *P2* foi escolhida como alternativa para que os veículos escapem da via bloqueada pelo acidente. Contudo, cada veículo deve possuir um dispositivo GPS para fornecer as rotas alternativas em um ambiente real. Na simulação, o SUMO fornece as informações sobre o mapa digital utilizado, tais como quantidade de faixas de uma pista, velocidade máxima, posicionamento geográfico, dentre outros.

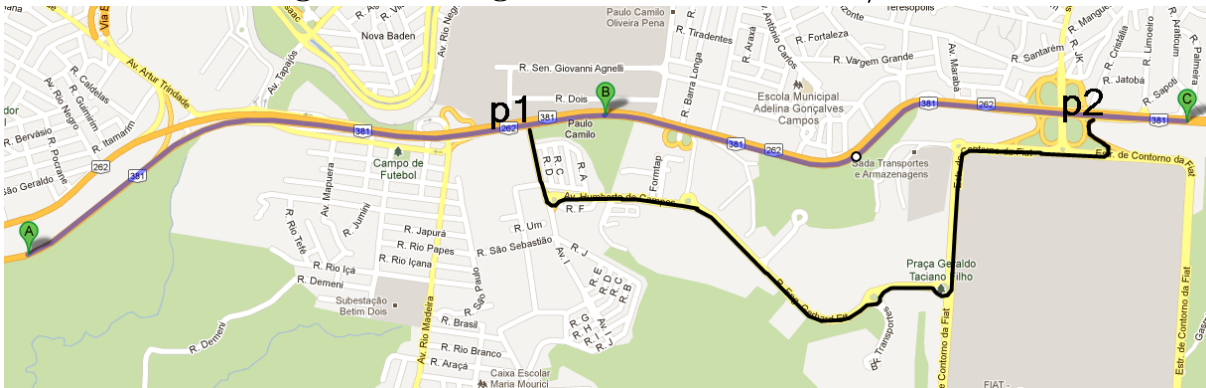
As simulações foram compostas por dois conjuntos:

1. No primeiro conjunto, a distância entre os veículos nas duas rotas foi de, aproximadamente, 50 m. De modo empírico, decidiu-se que o número de veículos da rota com o acidente foi sempre a metade do número total de veículos e o restante foi designado para a rota contrária. Os veículos circularam na velocidade máxima permitida pela pista a, aproximadamente, 80 km/h e há somente veículos do tipo automóvel.
2. No segundo conjunto de simulações, utilizamos quatro tipos distintos de veículos (automóvel, caminhão, motocicleta e ônibus) e cada um deles apresenta valores diferentes para aceleração, desaceleração e dimensões do veículo. A proporção dos veículos foi distribuída de acordo com os dados da BHTRANS na interseção da Avenida Amazonas com a Avenida do Contorno entre os horários de 6:30 e 9:30 da manhã do dia 30 de Julho de 2010 e a velocidade média foi de 60 km/h. O horário escolhido contém maior número de ônibus se deslocando para Belo Horizonte.
  - Sentido contrário ao acidente: 70% de automóveis, 15% de motocicletas, 13% de ônibus e 2% de caminhões.
  - Sentido do acidente - São Paulo a Belo Horizonte: 69% de automóveis, 9% de motocicletas, 20.5% de ônibus e 1.5% de caminhão.

Em determinado instante da simulação, no ponto *B* da Figura 15, ocorre um acidente envolvendo 8 veículos e o bloqueio total da via no sentido São Paulo a Belo Horizonte. Logo, esses veículos iniciam a disseminação do evento para que os receptores se desloquem para a rota alternativa representada pelos pontos *P1* e *P2* da mesma figura.

O primeiro conjunto de simulação foi utilizado como forma de avaliar cada protocolo e, logo em seguida, realizamos as devidas alterações nos protocolos e nos parâmetros

**Figura 15 – Região da FIAT em Betim/MG.**



**Fonte: (CASTRO et al., 2013).**

das avaliações para melhorar os resultados de cada um deles. Assim que os protocolos apresentaram resultados eficientes, optamos por utilizar o mesmo cenário com o número e a distribuição de veículos baseados no mundo real. Para os dois casos, os protocolos informaram aos veículos existentes na ROI sobre o acidente, porém é importante ressaltar que os resultados foram aceitáveis para as configurações dessas simulações como, por exemplo, a baixa latência. Outros modelos de distribuição de veículos, ou mapas digitais de regiões urbanas com semáforos e alta densidade de veículos podem apresentar resultados diferentes.

Cada simulação foi repetida 10 vezes, o intervalo de confiança foi de 95% e os parâmetros estão na Tabela 3. A variação no tempo da simulação está relacionada ao tempo necessário para que todos os veículos existentes na rota do acidente recebam a mensagem e optem pela rota alternativa. Além disso, as simulações foram divididas seguindo as duas estratégias citadas anteriormente no capítulo 2.

**Tabela 3 – Parâmetros das simulações.**

Parâmetro	Valor
Quantidade de veículos	100, 200, 400, 800 e 1600
ROI ( $m$ ) - parâmetro $n$	500, 1500, 2500, 3500 e 4500
Velocidades ( $km/h$ )	80 e 40
Alcance da transmissão	1000 $m$
Área	6 $km$ x 4.5 $km$
Antena	Omnidirecional
Tamanho do pacote	96 bytes
Tempo das simulações ( $s$ )	200, 400, 800, 1600 e 2400
Taxa de transmissão	6 Mbps

Fonte: Elaborado pelo autor.

Todas as simulações deste trabalho seguiram os mesmos parâmetros e as variações estão relacionadas ao número de veículos utilizados, o tamanho da região de relevância e o intervalo de tempo utilizado para simular o acidente automobilístico. Os outros parâmetros foram os mesmos para todos os cinco protocolos simulados. O computador utilizado para simular foi um Intel Core  $i7 - 2620M$ , CPU de 2.70  $GHz$  com 4 núcleos e 8  $GB$  de

memória RAM.

O capítulo 4 apresenta os resultados com gráficos das simulações representando o comportamento dos veículos com a velocidade máxima da via e os veículos se deslocando com velocidade média de *60 km/h*.

## 4 SIMULAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados das simulações para todos os protocolos implementados.

### 4.1 Distribuição Isonômica de Veículos

Os próximos tópicos apresentam as métricas e os gráficos para o primeiro conjunto de simulações: quando os veículos circulam na velocidade máxima da via a, aproximadamente, 80 *km/h* e há somente veículos do tipo automóvel.

#### 4.1.1 Latência média

Este tópico apresenta a latência média dos pacotes de controle e dos pacotes de dados. Os pacotes de controle são utilizados para descobrir os veículos vizinhos de um nó e os pacotes de dados são úteis para informar os dados do acidente aos veículos existentes na ROI, como localização geográfica, sentido de circulação comprometido e quais faixas da pista foram afetadas.

Os gráficos das Figuras 16a, 17a, 18a, 19a, 20a, 21a e 22a representam os resultados da primeira estratégia que dissemina informações para todos veículos. Os gráficos das Figuras 16b, 17b, 18b, 19b, 20b, 21b e 22b representam os resultados para a segunda estratégia, que dissemina os dados sobre o acidente para os veículos envolvidos no acidente e para os veículos da rota contrária.

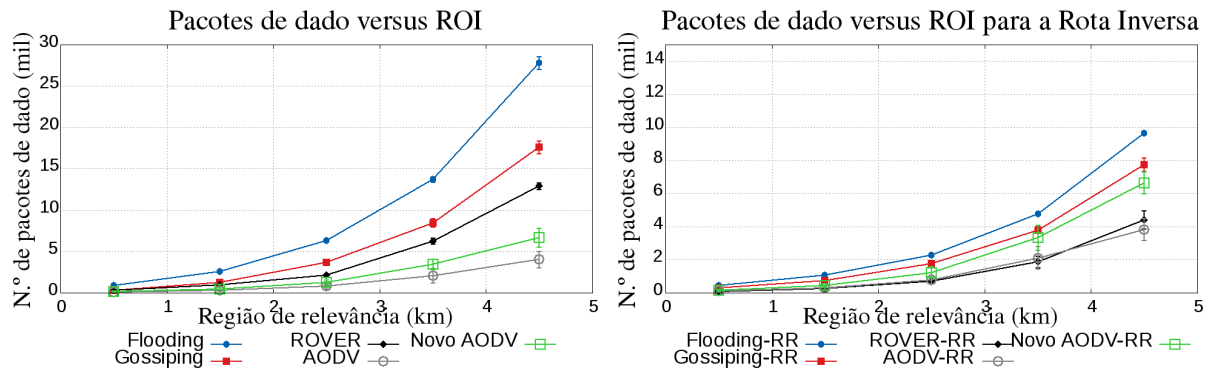
Os gráficos das Figuras 16a, 16b, 17a e 17b contêm os cinco protocolos em função da latência para o recebimento das mensagens de controle e de dado. O *flooding* não possui pacotes de controle, logo não possui latência para os mesmos. Os valores para o *gossiping* e o ROVER foram inferiores a 4 e 5 *ms*, respectivamente, para as duas estratégias. De maneira geral, a descoberta de vizinhos do ROVER é de 10% a 21% mais lenta que a do *gossiping* como pode ser observado nos gráficos das Figuras 16a e 16b. Isso acontece porque o ROVER desconsidera os vizinhos que superam o valor do corte calculado, como dito no capítulo 2. Os protocolos AODV e Novo AODV apresentaram os valores mais altos para a latência dos pacotes de controle, isto é, a latência para a descoberta de rota é maior quando comparado aos outros protocolos porque a tabela de roteamento mantém dados com todos os veículos existentes na região de interesse, ou seja, cada veículo possui um enlace para os veículos da ROI que participam da troca de informações sobre o evento.

Para a latência dos pacotes de dados, os gráficos das Figuras 17a e 17b mostram





**Figura 19 – Quantidade de mensagens do evento enviadas.**  
**(a) Estratégia 1**



Fonte: (CASTRO et al., 2013).

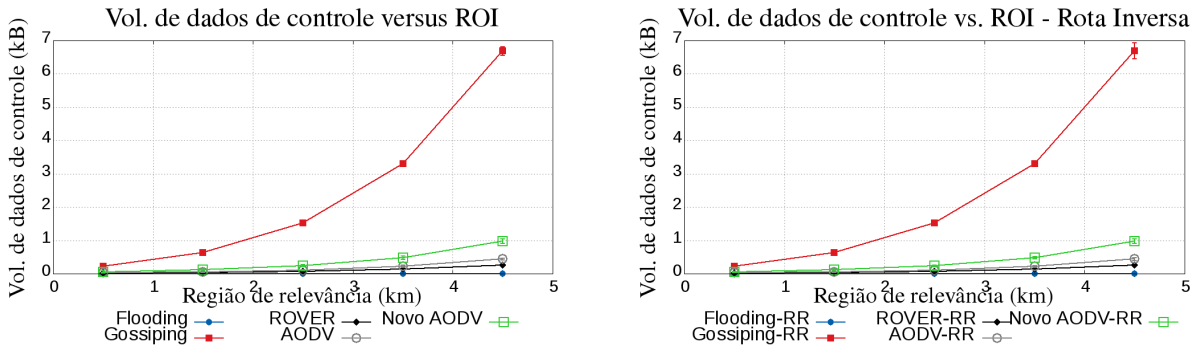
#### 4.1.3 Volume de Pacotes Enviados

Os próximos gráficos apresentam o volume dos pacotes de controle e de dados. O volume dos pacotes é calculado pela multiplicação da quantidade de pacotes enviados pelo tamanho de cada pacote de controle ou dado. Os pacotes de controle possuem menor tamanho porque contém apenas o cabeçalho. Porém, os pacotes de dados possuem mais informações e, conseqüentemente, maior tamanho.

Os gráficos das Figuras 20a, 20b, 21a e 21b mostram o volume de dados trafegados durante todo o instante de tempo do acidente em função do tamanho da ROI. O *gossiping* foi o protocolo que enviou maior volume de pacotes de controle, seguido pelo Novo AODV, de acordo com os gráficos das Figuras 20a e 20b. Na estratégia 1 e ROI de 4.5 km, o ROVER enviou 25 vezes menos pacotes de controle que o *gossiping*. Como o *flooding* não solicita a descoberta de vizinhos, ele não possui volume de pacotes de controle. Apesar do AODV e do Novo AODV se mostrarem próximos ao ROVER, eles enviaram maior volume de dados com, respectivamente, 42% e 73% na pior situação.

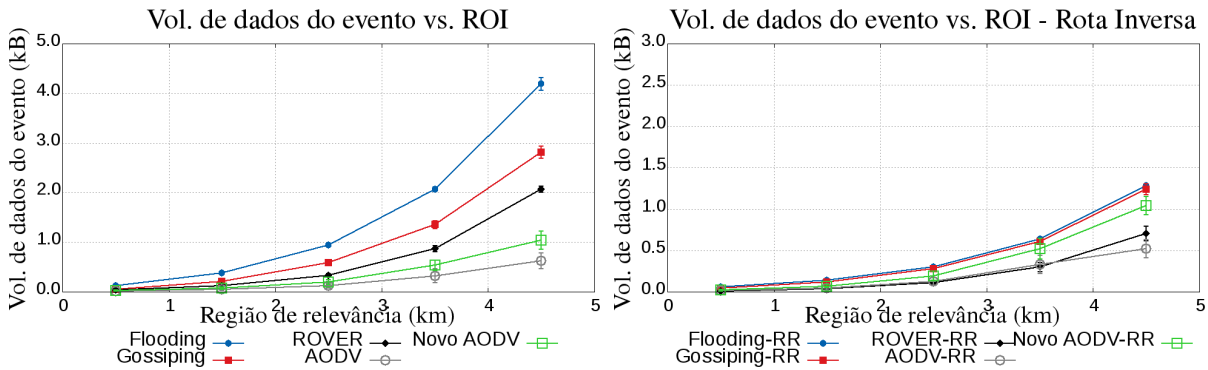
Quanto ao volume de pacotes de dados do evento, o *flooding* sempre envia maior volume de pacotes do evento do que os outros dois protocolos. No gráfico da Figura 21a, o volume de dados disseminados pelo ROVER é a metade do volume dos dados disseminados pelo *flooding*, enquanto o *gossiping* envia cerca de 30% menos que o *flooding* e o AODV envia o menor número dentre os protocolos analisados com, aproximadamente, um quarto do volume disseminado pelo ROVER. Ao se utilizar a estratégia 2, no gráfico 21b, o ROVER ainda é o protocolo que envia o menor volume de dados até a ROI de 3.5 km e o *gossiping* se aproxima do *flooding* quando aumentamos o tamanho da ROI e, na ROI de 4.5 km, o volume de dados do evento é menor para o protocolo AODV.

**Figura 20 – Volume de pacotes de controle disseminados.**  
**(a) Estratégia 1** **(b) Estratégia 2**



Fonte: (CASTRO et al., 2013).

**Figura 21 – Volume de pacotes do evento disseminados.**  
**(a) Estratégia 1** **(b) Estratégia 2**



Fonte: (CASTRO et al., 2013).

#### 4.1.4 Número Médio de Saltos

A métrica de número médio de saltos se aplica apenas ao AODV e ao Novo AODV, pois são os únicos protocolos capazes de construir uma rota *origem-destino* para a entrega dos pacotes do acidente.

Os gráficos da Figura 22 contêm o número de médio de saltos necessários para entregar a mensagem do remetente a todos os veículos existentes na ROI, quando se utiliza o AODV e o Novo AODV. De maneira geral, a quantidade de saltos não varia muito da estratégia 1 para a estratégia 2 e o Novo AODV foi o protocolo com o menor valor. Apesar disso, ambos os protocolos podem ser utilizados para disseminar mensagens de acidentes em uma via desde que o cenário seja semelhante ao simulado, pois apresentaram menor número de pacotes de dados enviados, latência média do dado com o valor mais baixo que os outros protocolos, volume de dados em nível intermediário e número de saltos suportados por VANETs.

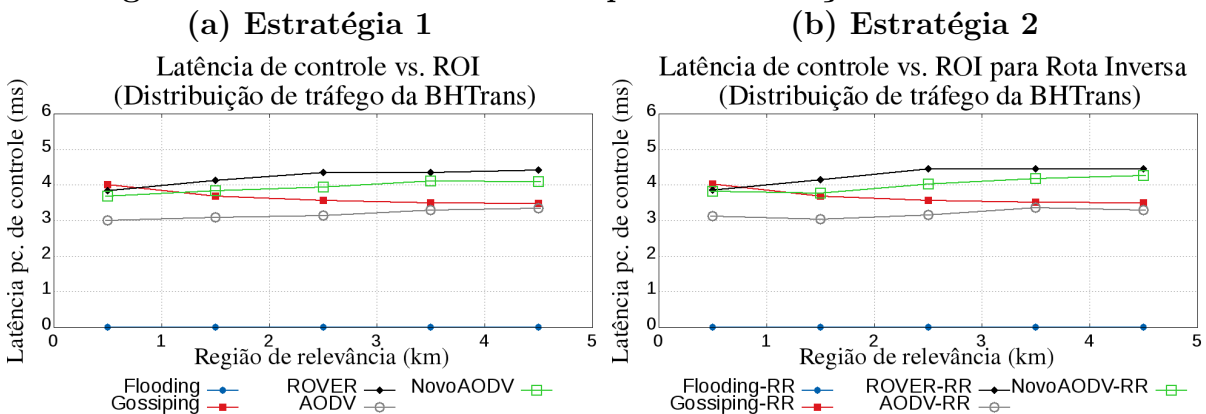


se deslocaram para a rota alternativa. Como descrito no capítulo 3, foram utilizados quatro tipos de veículos e as velocidades média e máxima foram de  $60 \text{ km/h}$  e  $80 \text{ km/h}$ , respectivamente.

Para esse conjunto de simulações, o *gossiping* apresentou o maior valor médio da latência de controle na ROI de  $0.5 \text{ km}$  e nas outras ROIs foi o segundo com o menor valor. Isso aconteceu por causa da densidade de veículos para a ROI de  $0.5 \text{ km}$  é menor do que a densidade para as outras regiões de interesse e o *gossiping* não funciona bem quando a densidade de veículos é menor. O AODV apresentou o menor valor para todas as regiões de relevância simuladas. Logo em seguida, encontra-se o Novo AODV e o ROVER. O *flooding* foi representado pelo valor zero porque não utilizada pacotes de controle para descobrir vizinhos.

Os valores das latências médias de controle foram diferentes quando comparamos esse conjunto de simulação aos gráficos da Figura 16. A razão de tal divergência está relacionada à quantidade de veículos presentes no mesmo intervalo de tempo da simulação, pela redução na velocidade relativa e distância entre os mesmos. Isto é, a redução da velocidade entre os veículos aumentou o *tempo de duração do enlace* e a diminuição da distância entre os veículos tende a aumentar a quantidade de vizinhos de um veículo qualquer.

**Figura 23 – Latência de controle para distribuição real de veículos.**

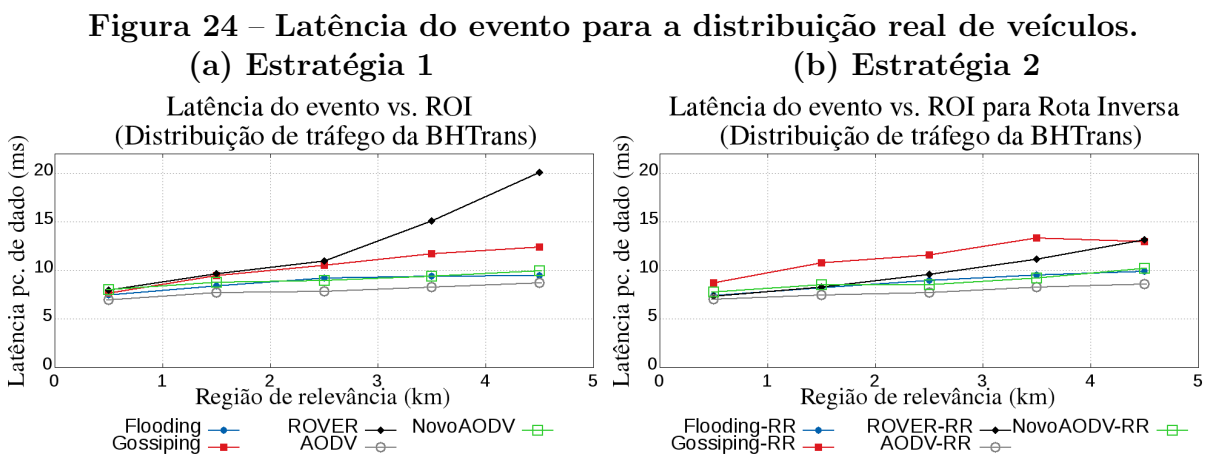


**Fonte: Elaborado pelo autor.**

Quanto à latência média dos pacotes do evento houve redução em quase todos os protocolos tanto na estratégia 1 como na estratégia 2 como observa-se nos gráficos da Figura 24. Os protocolos AODV, *flooding* e Novo AODV reduziram a latência média do evento para, aproximadamente,  $10 \text{ ms}$  na ROI de  $4.5 \text{ km}$ , enquanto no primeiro conjunto de simulações somente o AODV apresentou esse valor menor que  $10 \text{ ms}$ . O *gossiping* também reduziu o valor da latência média do evento se comparado à simulação anterior para as duas estratégias, porém o ROVER aumentou esses valores e na ROI de  $4.5 \text{ km}$  em

quase 30% para a estratégia 1 e em quase 8% na estratégia 2.

De modo geral, os protocolos reduziram a latência média do evento devido à redução da velocidade média e distância entre os veículos, mas o ROVER, por enviar cópias dos pacotes do evento a todos os vizinhos de um nó, aumentou a latência nas estratégias 1 e 2. Independentemente disso, todos os cinco protocolos podem ser utilizados em VANETs porque o maior valor da latência do evento foi de aproximadamente 20 ms, o que permite que o condutor do veículo tome as devidas precauções para evitar mais danos. Nota-se que o valor da latência pode aumentar em ambientes reais e diferentes dos cenários simulados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

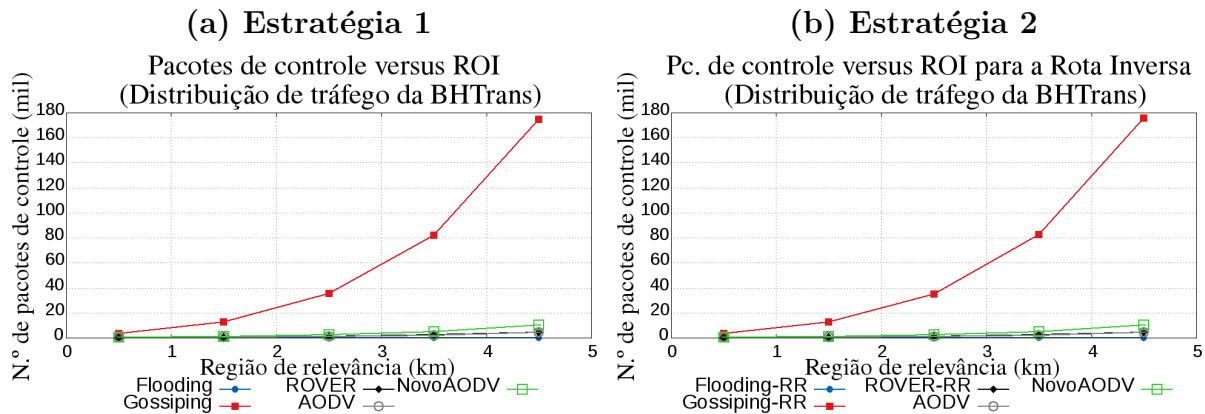
#### 4.2.2 Número de Pacotes Enviados

Esta subseção apresenta a quantidade de pacotes de controle e de dados enviados. Em alguns protocolos, os pacotes de dados são endereçados via *multicast* e isso favoreceu a redução do número de pacotes de dado enviados.

A quantidade de pacotes de controle enviados está representado nos gráficos da Figura 25 para as estratégias 1 e 2. Como explicado anteriormente, o *flooding* não utiliza pacotes de controle, portanto apresentou o valor zero para todas as regiões de interesse. Quanto ao *gossiping*, nota-se aumento no envio desses pacotes para todas as ROIs ao compararmos com os gráficos do conjunto de simulações anterior, representados pela Figura 18. Além disso, a menor proporção de aumento correspondeu a 6.04% mais pacotes e a maior proporção foi de 67.25% mais pacotes enviados na ROI de 4.5 km em relação aos mesmos protocolos e conjunto de simulação. O ROVER, na pior situação, enviou 13.65% mais pacotes em relação ao mesmo protocolo da simulação anterior. O comportamento do AODV e do Novo AODV foi diferente dos três protocolos anteriores. Houve redução no número de pacotes de controle enviados em 40% e 39%, respectivamente.

A variação dos protocolos para esse conjunto de simulações está relacionada ao número de veículos existentes na região de interesse. Logo, o número de veículos na ROI é diretamente proporcional à quantidade de mensagens enviadas para *flooding*, *gossiping* e ROVER. O AODV e o Novo AODV apresentaram resultados diferentes dos anteriores porque eles escolhem os *melhores* vizinhos de um veículo e constroem a tabela de roteamento *origem-destino*. Por outro lado, o número de pacotes de controle enviados através da estratégia 1 é semelhante ao valor da estratégia 2 porque não foi proposta ou utilizada nenhuma abordagem para reduzir a quantidade de pacotes de controle. Uma das soluções é eleger um veículo dentre um conjunto de nós com o mesmo alcance para reduzir a troca de mensagens de controle e isso poderá ser implementado em trabalhos futuros.

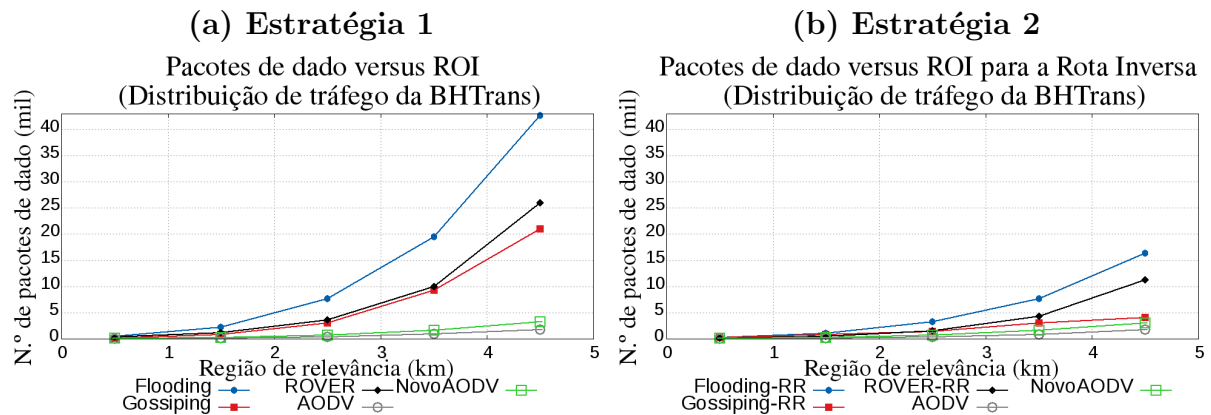
**Figura 25 – Quantidade de mensagens de controle enviadas para a distribuição real de veículos.**



**Fonte: Elaborado pelo autor.**

Os gráficos da Figura 26 mostram o número de pacotes de dados enviados. Observa-se que a estratégia 2, vista no gráfico da Figura 25b, reduziu a quantidade de pacotes de dados enviados pelos veículos, principalmente, para os protocolos *flooding*, *gossiping* e ROVER. Esses três protocolos reduziram o número de pacotes do evento. Diferentemente dos outros protocolos, o AODV e o Novo AODV criam a tabela de roteamento na qual o remetente possui uma única rota até os veículos existentes na ROI e o envio desses pacotes é através de *multicast*. Além disso, existem veículos da rota que são somente receptores. Nos outros três protocolos (*gossiping*, *flooding* e ROVER) todos os receptores existentes na ROI enviam pacotes de dados. A redução do número de pacotes de dados enviados para o AODV e para o Novo AODV não foi tão significativa quanto para os outros protocolos. O *flooding* inundou a rede com várias cópias da mensagem e o *gossiping* reduziu bastante o número de mensagens do evento, mesmo disseminando a informação somente para a metade dos veículos de um nó qualquer.

Figura 26 – Quantidade de mensagens do evento para a distribuição real de veículos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.3 Volume de Pacotes Enviados

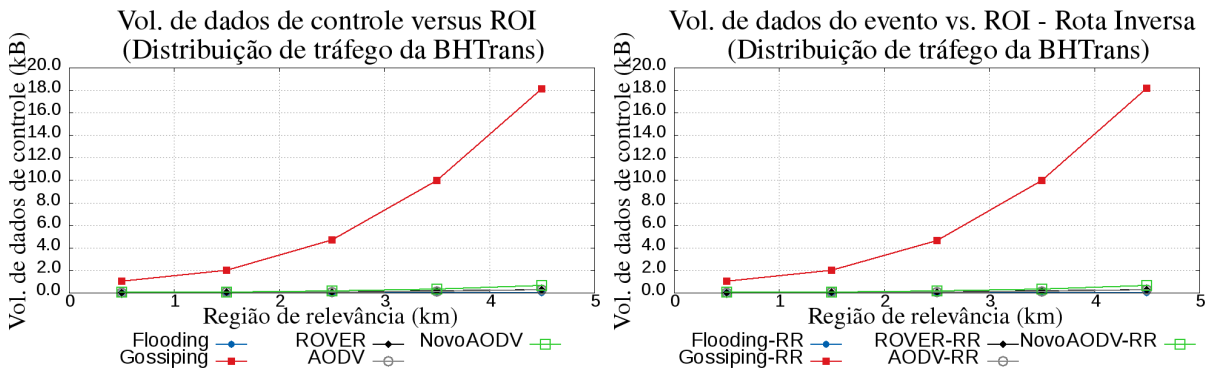
Esta subseção apresenta o volume dos pacotes de controle e de dados. O volume é calculado pela multiplicação do número de pacotes enviados pelo tamanho do respectivo pacote.

A Figura 27 contém os gráficos do volume de dados dos pacotes de controle em função da região de relevância. Observa-se valor zero para todas as ROIs do *flooding*, em função dele não utilizar pacotes de controle. Assim como no gráfico de quantidade de pacotes de controle enviado, nesse também houve aumento do volume de dados de controle para todos os protocolos *gossiping* e ROVER. Porém, o AODV e Novo AODV reduziram o volume de pacotes de controle, se forem comparados os gráficos da Figura 27 com os das Figuras 20a e 20b do conjunto de simulações anterior. Como não houve variação do tamanho do pacote de controle nas simulações, a proporção do aumento ou redução foi proporcional à quantidade de pacotes enviado pelos protocolos. O volume dos pacotes de controle para os protocolos AODV, *gossiping*, Novo AODV e ROVER permaneceu praticamente constante da estratégia 1 para a 2 e estão representados nos gráficos das Figuras 27a e 27b, mas pretende-se implementar uma estratégia para reduzir o número total de pacotes de controle enviado, futuramente.

O aumento tanto na quantidade de pacotes de controle enviados e também no volume do mesmo tipo de pacote está relacionado ao aumento do número de veículos existentes na ROI, ou seja, há mais veículos na ROI para esse conjunto de simulações do que o conjunto anterior devido à inserção de vários tipos de veículos com características diferentes.

Os veículos enviaram maior quantidade de pacotes de dados nos protocolos *floo-*

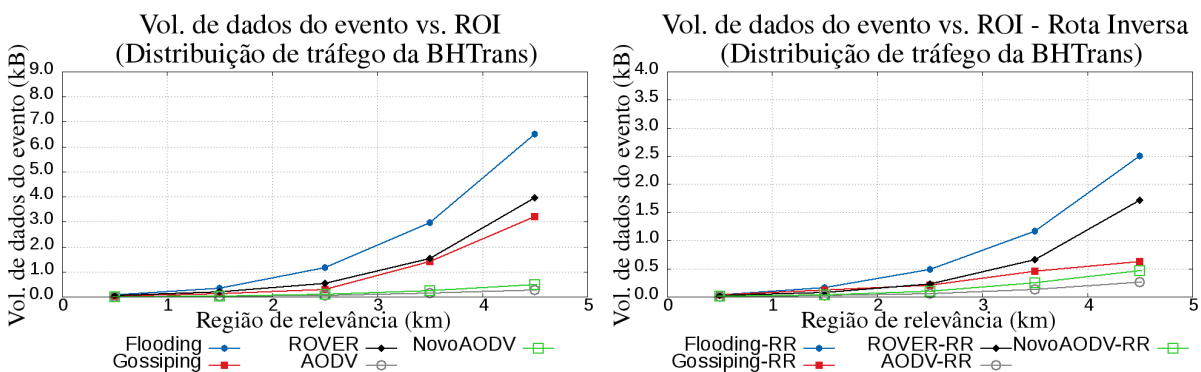
Figura 27 – Volume de dados de controle para a distribuição real de veículos.  
(a) Estratégia 1 (b) Estratégia 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

*ding*, *gossiping*, ROVER e o volume de dados também foi maior de acordo com os gráficos das Figuras 28a e 28b. Também houve redução no volume de dados para o AODV e Novo AODV em, aproximadamente, 50% da estratégia 1 para a estratégia 2 para o *flooding*, 40% para o *gossiping* e 38% para o ROVER. Novamente, a utilização da estratégia 2 para o envio dos pacotes de dados reduziu o volume de dados do eventos disseminados na ROI e o endereçamento *multicast* também contribuiu para reduzir o valor total e o volume dos pacotes do evento.

Figura 28 – Volume de dados do evento para a distribuição real de veículos.  
(a) Estratégia 1 (b) Estratégia 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

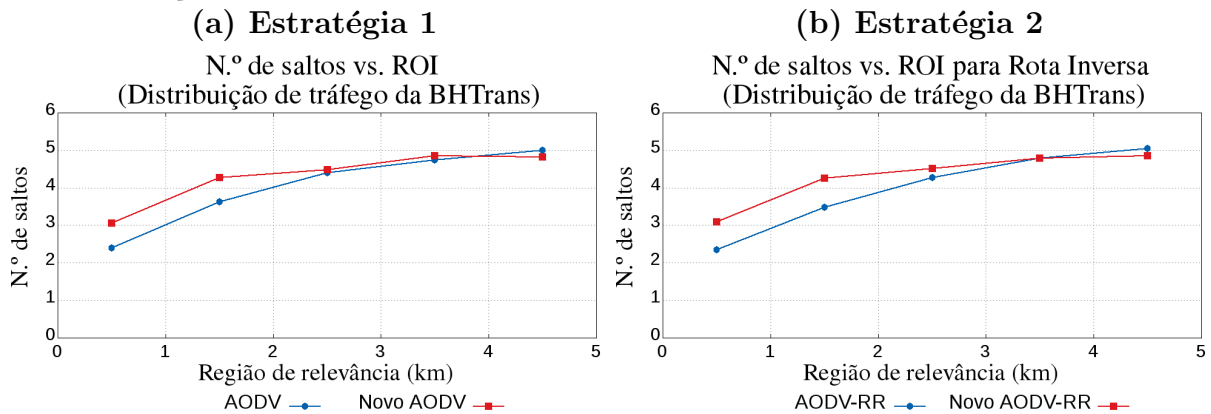
#### 4.2.4 Número Médio de Saltos

Esta subseção exibe os valores para o número médio de saltos. Essa métrica se aplica apenas aos protocolos AODV e Novo AODV e representa a quantidade de média de saltos necessários para entregar a mensagens a todos os veículos dentro da ROI.

O número médio de saltos para a simulação com a distribuição real de veículos e

estratégias 1 e 2 foram representados nos gráficos das Figuras 29a e 29b. Nesse conjunto de simulação, todos os valores do salto médio para todas as ROIs foram menores quando comparados com o conjunto de simulações anterior, gráficos das Figuras 22a e 22b. Isso significa que o endereçamento *multicast* juntamente com a maior densidade de veículos e a redução da velocidade média contribuíram para reduzir o número de pacotes do evento, o volume de dados do evento e também quantidade de saltos médio.

**Figura 29 – Número de saltos para os protocolos AODV e Novo AODV para a distribuição real de veículos.**



**Fonte: Elaborado pelo autor.**

Nas regiões de interesse de tamanho  $0.5\text{ km}$ ,  $1.5\text{ km}$ ,  $2.5\text{ km}$  e  $3.5\text{ km}$  o AODV apresentou menor quantidade de saltos nas duas estratégias, enquanto na ROI de  $4.5\text{ km}$  o Novo AODV apresentou valores menores para essa métrica. Além disso, quando os veículos circulam com velocidade média menor, maior densidade de veículos, os protocolos AODV e Novo AODV reduziram o número de saltos para pouco menos da metade em relação aos gráficos da Figura 22. Por outro lado, quando os veículos circulam na velocidade máxima da via, verifica-se que o Novo AODV sempre apresenta a menor quantidade de saltos segundo os gráficos das Figuras 22a e 22b. Portanto, a velocidade influencia diretamente os valores das métricas dos protocolos.

#### 4.2.5 Taxa de Entrega de Pacotes

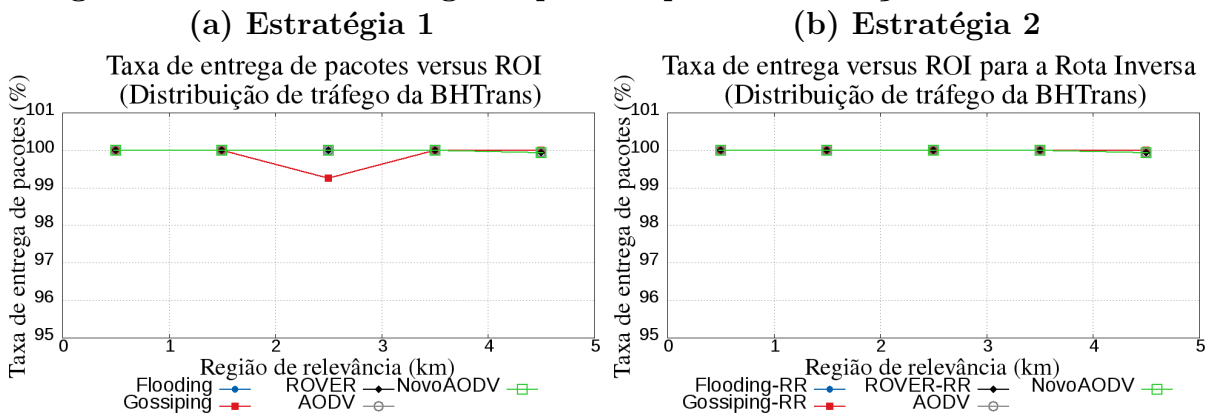
A métrica de taxa de entrega de pacotes representa a proporção de veículos da rota com o acidente que receberam os pacotes de dados e foram informados sobre a ocorrência do acidente, possibilitando que o *veículo* tome alguma decisão.

Os gráficos das Figuras 30a e 30b contêm a taxa de entrega dos pacotes do evento dos cinco protocolos para as estratégias 1 e 2. Aparentemente, observa-se que todos os veículos receberam a mensagem do evento, mas isso não é verdade e somente o protocolo *flooding* entregou a mensagem a todos os veículos da ROI.

Na estratégia 1 e ROI de 4.5 km, representada no gráfico da Figura 30a, o ROVER entregou os pacotes do evento a 99.87% do veículos da região de interesse, ou seja, 1598 receberam a mensagem e dois veículos não tiveram conhecimento do acidente. Como o ROVER foi o segundo protocolo com o maior número de pacotes do evento enviado, ele pode ter sobrecarregado a simulação, principalmente, porque utiliza os dois tipos de pacotes - do evento e de controle. Uma das possibilidades para informar todos os veículos é utilizar o endereçamento *multicast* para os pacotes do evento, a ser considerada em trabalhos futuros.

Na estratégia 2 e mesmo tamanho de ROI, conforme mostra o gráfico da Figura 30b, o ROVER também não entregou a mensagem sobre o acidente a 2 veículos mesmo utilizando somente os veículos da rota contrária para enviar os pacotes sobre o acidente. Além do ROVER, os protocolos AODV e Novo AODV também deixaram de entregar a mensagem a dois veículos e um dos motivos pode ser a perda do pacote. A solução seria criar determinado número de rodadas para o envio dos pacote do evento e, apesar de aumentar o número e o volume de pacote de controle e dado, poderia melhorar os valores para essa métrica.

**Figura 30 – Taxa de entrega de pacotes para distribuição real de veículos.**



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.6 Quantidade de Receptores

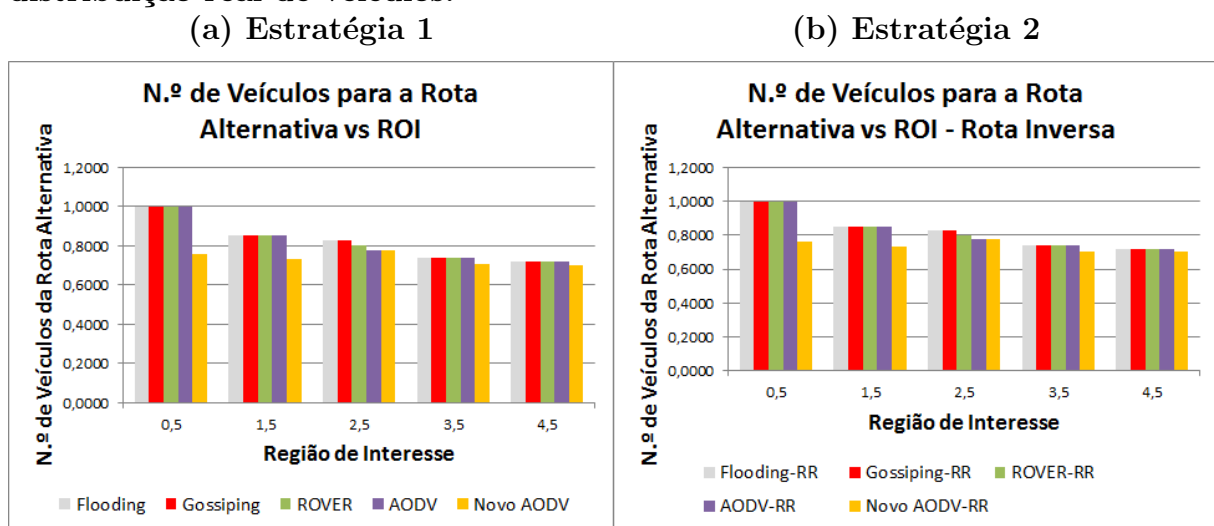
Esta subseção representa a métrica para calcular a quantidade de veículos que receberam as mensagens de dados sobre o acidente. Quando o veículos da rota com o acidente receber essa mensagem, ele se desloca para a rota alternativa.

Os gráficos da Figura 31 mostram a quantidade de veículos que receberam a mensagem do evento e deslocaram para a rota alternativa. Portanto, o número total de veículos exibidos refere-se somente à rota do acidente. O objetivo deste trabalho não é avaliar o congestionamento, mas tal medida será implementada futuramente para analisar a re-

gião do congestionamento e evitar que os veículos permaneçam na via com o acidente de trânsito.

Observa-se nos gráficos das Figuras 31a e 31b correspondentes às estratégias 1 e 2 que a diferença dos veículos que seguiram para a rota alternativa é muito baixa. As regiões de interesse de 0,5, 1,5, 2,5, 3,5 e 4,5 km possuem, respectivamente, 50, 100, 200, 400 e 800 veículos existentes na rota com o acidente - sentido São Paulo à Belo Horizonte. De modo geral, as proporções de veículos que seguiram para a rota alternativa em função da ROI foi de 100%, 85%, 82,5%, 77,5% e 73,80% para todos os protocolos. Observa-se um número relativamente alto de veículos que não foram para a rota alternativa e isso pode ter acontecido porque o veículo recebeu a mensagem tardiamente, não sendo possível deslocar para o entroncamento da BR-381 e desviar do acidente.

**Figura 31 – Quantidade de veículos que seguiram para a rota alternativa na distribuição real de veículos.**



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.3 Análise dos Resultados

A latência dos pacotes de controle foram menores do que a latência dos pacotes de dado, mesmo tendo enviado maior número desses pacotes. Isso aconteceu porque os pacotes de controle possuem apenas campos de cabeçalho e não há dados sobre o acidente. Esse resultado é válido para as simulações com as distribuições isonômica e real.

O número de pacotes de controle enviados é relativamente alto porque, em intervalos de tempo constantes, há troca de mensagens para atualização dos veículos vizinhos de um nó. Contudo, o número de pacotes de dados enviados foram menores para os protocolos que utilizam a tabela de roteamento - AODV e Novo AODV. Isso acontece porque

eles sabem exatamente a localização dos destinatários e realizam o endereçamento *multicast*. O número de pacotes de controle e dado enviados na simulação com a proporção de veículos real é maior porque existem quatro tipos de veículos e alguns deles são mais lentos, logo houve maior concentração de veículos por ROI.

O volume de dados é diretamente proporcional ao número de mensagens enviadas, pois o tamanho dos pacotes foram os mesmos para todas as simulações. Como o *flooding* não utiliza a descoberta de vizinhos, nota-se o maior valor para o número de pacotes de dados e também para o volume de dados.

Somente os protocolos AODV e Novo AODV possuem número médio de saltos e ambos apresentaram média de, cerca de, 10 saltos para entrega da mensagem a todos os veículos da ROI na distribuição isonômica e na distribuição real houve redução do número de saltos devido, principalmente, ao aumento a densidade de veículos na ROI.

Quanto a taxa de entrega de pacotes, praticamente todos os protocolos entregaram a mensagem aos veículos da rota como acidente independente da estratégia adotada, exceto o ROVER que entregou a 98.87% dos veículos na ROI de 4.5 km.

Nota-se que o número de veículos da rota com o acidente que seguiram para a rota alternativa é, no pior caso, quase 74%. Nesses conjuntos de simulações nota-se que houve uma concentração maior de veículos próximos ao acidente, dificultando, de certa forma, a mudança de rota dos veículos.

De acordo com os gráficos apresentados pode-se concluir que:

1. O *flooding* envia maior número de pacotes de dados e possui maior volume, seguido pelo ROVER;
2. O *gossiping* possui a maior quantidade de pacotes de controle enviados e, consequentemente, o maior volume de dados de controle;
3. A latência de dado para o ROVER tende a ser a pior com o aumento da ROI;
4. O AODV e o Novo AODV são os protocolos mais indicados porque enviam menor número de pacotes de controle e dados e, consequentemente, possuem um dos menores volumes de dados trafegados.

## 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Redes veiculares são formadas por automóveis e unidades de acostamento distribuídos ao redor das vias de circulação e possuem atributos próprios como alta mobilidade dos nós, enlaces sujeitos a constantes interrupções e requisitos rigorosos em relação à latência. Então, os protocolos para as VANETs devem se adaptar ao meio para propagar essas mensagens.

Uma das principais áreas de pesquisa de redes veiculares é a disseminação de mensagens emergenciais. Essas mensagens informam aos motoristas sobre condições adversas do trânsito e da pista como acidentes, bloqueios, obras e outros. A utilização desse tipo de mensagem neste trabalho aproveitou os melhores recursos de cada protocolo e adaptou-os para operar em VANETs. As alterações principais estão relacionadas à obtenção de informações sobre as velocidades relativas, localização, sentido de deslocamento dos veículos e envio dos mensagens de dado por endereçamento *multicast*. Além disso, utilizou-se a região de interesse para disseminar mensagens sobre o evento somente naquela região urbana e não para todo mapa digital. O evento escolhido foi acidente de trânsito por envolver vidas, logo o objetivo é, acima de tudo, informar às pessoas sobre acidentes de trânsito e evitar a ocorrência de possíveis novos acidentes.

A principal contribuição deste trabalho é a adaptação, a realização de melhorias e a simulação de alguns protocolos para VANETs através de um mapa digital que representa uma região de Betim/MG. Os protocolos apresentaram características e desempenhos diferentes e estão listadas a seguir:

- O *flooding* não utiliza pacotes de controle para descobrir os veículos vizinhos de um nó qualquer, mas envia as mensagens a todos os veículos da ROI. A desvantagem desse protocolo é o envio de muitas cópias da mesma mensagem pela rede e tende a piorar quando a densidade de veículos na via é alta;
- O *gossiping* é adequado para economizar recursos da rede porque escolhe determinada quantidade de veículos vizinhos para disseminar os dados do evento, porém a escolha incorreta dos vizinhos torna inadequada a disseminação das mensagens aos veículos da ROI;
- O protocolo ROVER reduz a perda de conexões entre os nós ao desconsiderar os veículos próximos ao limite do alcance da transmissão e isso o torna inadequado quando a densidade de veículos na via é baixa e também quando a distância entre os veículos estão próximas ao limite da comunicação;
- Os protocolos AODV e Novo AODV são adequados quando se faz necessário a existência de uma ou mais rotas *origem-destino* para a troca de informações. Enquanto

o AODV considera apenas o menor número de saltos, o Novo AODV analisa as características dos veículos envolvidos na comunicação e identifica a *melhor* rota. Ambos são adequados quando precisa-se conhecer a localização dos veículos na via e desaconselhável para variações na densidade de veículos, pois causa o reenvio de pacotes de controle para a reconstrução das rotas.

Os gráficos mostram que é possível utilizar qualquer um dos cinco protocolos para VANETs em ambientes simulados como o deste trabalho, mas é importante notar que o cenário, as simulações e os valores dos parâmetros influenciaram diretamente nos resultados dos protocolos. Se utilizarmos outros cenários com outros valores dos parâmetros e também simularmos a utilização de obstáculos, os resultados podem ser completamente diferentes dos apresentados neste trabalho. Portanto, os protocolos são válidos para o conjunto de simulações, os cenários e os valores dos parâmetros utilizados.

## 5.1 Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, existem algumas alternativas para melhorar os protocolos implementados e também para considerar as implementações de novos protocolos.

As simulações foram divididas em dois conjuntos com diferentes valores para as velocidades médias dos veículos e densidade de nós na via, portanto as métricas das simulações interferiram diretamente nos gráficos de resultados dos protocolos. Isso mostra que os protocolos precisam ser melhorados para operar quando a densidade de veículos for alta ou variar durante a simulação. Nas densidades de veículos baixas pode-se não informar todos os veículos da ROI e, nesse caso, faz-se necessário a utilização de estações rádio base porque possuem maior alcance em relação às comunicações ad hoc, logo podem gerenciar maior área do que os veículos.

Uma das principais melhorias é a simulação com utilização de obstáculos para causar interferências na transmissão e, conseqüentemente, diminuir o alcance da transmissão. Além disso é necessário criar simulações e variar o parâmetro de alcance da transmissão através da potência do sinal.

Outras melhorias estão relacionadas à identificação e implementação de soluções para evitar e reduzir possíveis congestionamentos causados por acidentes de trânsito. As soluções para congestionamentos também estão incluídas em trabalhos futuros.

Pretende-se também reduzir o número e o volume de pacotes enviados e isso pode ser feito através da implementação de *clusterhead*, ou seja, determina-se um líder para um grupo de veículos. Esse líder comunica diretamente com outros líderes e cada um deles gerencia um grupo de veículos. Pretende-se também implementar novos eventos e alterar

os protocolos para funcionar nesses eventos.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, S.; KANERE, S. S. **SKVR: scalable knowledge-based routing architecture for public transport networks**. In: PROCEEDINGS OF THE 3RD INTERNATIONAL WORKSHOP ON VEHICULAR AD HOC NETWORKS. [S.l.]: ACM, 2006. (VANET '06), p. 92–93.
- ALVES, R. d. S. et al. **Uma Análise Experimental da Capacidade de Redes *Ad Hoc* Veiculares**. SBrT – XXVI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, 2008.
- ATECHIAN, T.; BRUNIE, L. **DG-CastoR for query packets dissemination in VANET**. In: MOBILE AD HOC AND SENSOR SYSTEMS, 2008. MASS 2008. 5TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON. [S.l.: s.n.], 2008. p. 547–552.
- BACHIR, A.; BENSLIMANE, A. **Towards supporting GPS-unequipped vehicles in inter-vehicle geocast**. In: LOCAL COMPUTER NETWORKS, 2003. LCN '03. PROCEEDINGS. 28TH ANNUAL IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON. [S.l.: s.n.], 2003. p. 766 – 767.
- BALDAUF, M.; DUSTDAR, S.; ROSENBERG, F. **A Survey on context-aware systems**. INTERNATIONAL JOURNAL OF AD HOC AND UBIQUITOUS COMPUTING, Inderscience Publishers, Geneva, SWITZERLAND, v. 2, p. 263–277, 2007.
- BALDESSARI, R. et al. **A MANET-centric solution for the application of NEMO in VANET using geographic routing**. In: PROCEEDINGS OF THE 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TESTBEDS AND RESEARCH INFRASTRUCTURES FOR THE DEVELOPMENT OF NETWORKS & COMMUNITIES. ICST, Brussels, Belgium, Belgium: ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2008. (TridentCom '08), p. 12:1–12:7.
- BALUZ, R. A. R. S.; FILHO, R. H. **Um Estudo sobre os Protocolos de Encaminhamento em Redes Veiculares com Ênfase na Abordagem Geocast e Ambientes Urbanos**. REVISTA MULTIDISCIPLINAR, Universidade de Fortaleza, Fortaleza - CE, Brasil, V. 3, n. N.º 3, 2011.
- BANZI, A. S. **Disseminação Bio-inspirada de Eventos em Redes Dinâmicas e Descentralizadas**. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, UFPR, Curitiba – PR, Brasil, 2011.
- BANZI, A. S.; POZO, A. T. R.; JR., E. P. D. **Bio-inspired event dissemination in dynamic and decentralized networks**. In: GECCO (COMPANION). [S.l.: s.n.], 2011. p. 223–224.
- BARBERIS, C.; MALNATI, G. **Epidemic information diffusion in realistic vehicular network mobility scenarios**. In: ULTRA MODERN TELECOMMUNICATIONS WORKSHOPS, 2009. ICUMT '09. INTERNATIONAL CONFERENCE ON. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1–8.
- BARROS, M.; GOMES, R. de M.; COSTA, A. da. **Routing Architecture for Vehicular Ad-Hoc Networks**. LATIN AMERICA TRANSACTIONS, IEEE (REVISTA IEEE AMERICA LATINA), v. 10, n. 1, p. 1411–1419, jan. 2012.

BEHRISCH, M. et al. **SUMO - Simulation of Urban MObility: An Overview**. In: SIMUL 2011, THE THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN SYSTEM SIMULATION. Barcelona, Spain: [s.n.], 2011. p. 63–68.

BMW DAIMLERCHRYSLER, F. G. N. T. The CAMP Vehicle Safety Communications Consortium consisting of; VW. **Vehicle Safety Communications Project: Task 3 Final Report: Identify Intelligent Vehicle Safety Applications Enabled by DSRC**. [S.l.]: National Highway Traffic Safety Administration, Office of Research and Development, Washington, D.C., 2005. 141 p.

BURGESS, J. et al. **MaxProp: Routing for Vehicle-Based Disruption-Tolerant Networks**. In: INFOCOM 2006. 25TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER COMMUNICATIONS. PROCEEDINGS. [S.l.: s.n.], 2006. p. 1–11.

CALISKAN, M.; GRAUPNER, D.; MAUVE, M. **Decentralized discovery of free parking places**. In: PROCEEDINGS OF THE 3RD INTERNATIONAL WORKSHOP ON VEHICULAR AD HOC NETWORKS. New York, NY, USA: ACM, 2006. (VANET '06), p. 30–39.

CASTRO, M. S. de et al. **Disseminação de Mensagens de Acidente em Redes Veiculares**. In: SEMISH 2013. [S.l.: s.n.], 2013. (CSBC).

CHO, I. K.; OKAMURA, K. **A centralized resource and admission control scheme for NGN core networks**. In: INFORMATION NETWORKING, 2009. ICOIN 2009. INTERNATIONAL CONFERENCE ON. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1–5.

CORREIA, S.; CELESTINO, J.; CHERKAOUI, O. **Mobility-aware Ant Colony Optimization routing for vehicular ad hoc networks**. In: WIRELESS COMMUNICATIONS AND NETWORKING CONFERENCE (WCNC), 2011 IEEE. [S.l.: s.n.], 2011. p. 1125–1130.

DING, B. et al. **An improved AODV routing protocol for VANETs**. In: WIRELESS COMMUNICATIONS AND SIGNAL PROCESSING (WCSP), 2011 INTERNATIONAL CONFERENCE ON. [S.l.: s.n.], 2011. p. 1–5.

DUBE, R. et al. **Signal stability-based adaptive routing (SSA) for ad hoc mobile networks**. PERSONAL COMMUNICATIONS, IEEE, v. 4, n. 1, p. 36–45, feb 1997.

EUGSTER, P. et al. **Epidemic Information Dissemination in Distributed Systems**. COMPUTER, v. 37, n. 5, p. 60–67, 2004.

FAEZIPOUR, M. et al. **Progress and challenges in intelligent vehicle area networks**. COMMUN. ACM, ACM, v. 55, n. 2, p. 90–100, 2012.

FEI, R.; YANG, K.; CHENG, X. **A cooperative social and vehicular network and its dynamic bandwidth allocation algorithms**. In: COMPUTER COMMUNICATIONS WORKSHOPS (INFOCOM WKSHPs), 2011 IEEE CONFERENCE ON. [S.l.: s.n.], 2011. p. 63–67.

FERRAZ, C.; GOLÇANVES, P. A. d. S. **Redes Veiculares: Princípios, Aplicações e Desafios**. SBRC – Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, p. 212–267, 2009.

FESTAG, A. et al. **NoW – Network on Wheels: Project Objectives, Technology and Achievements**. In: PROCEEDINGS OF 5RD INTERNATIONAL WORKSHOP ON INTELLIGENT TRANSPORTATION (WIT). [S.l.: s.n.], 2008. p. 211 – 216.

HARTENSTEIN, H.; LABERTEAUX, K. **A tutorial survey on vehicular ad hoc networks**. COMMUNICATIONS MAGAZINE, IEEE, v. 46, n. 6, p. 164 –171, june 2008.

HUNG, C.-C.; CHAN, H.; WU, E.-K. **Mobility Pattern Aware Routing for Heterogeneous Vehicular Networks**. In: WIRELESS COMMUNICATIONS AND NETWORKING CONFERENCE, 2008. WCNC 2008. IEEE. [S.l.: s.n.], 2008. p. 2200–2205.

JACOBSSON, M.; GUO, C.; NIEMEGERERS, I. **A flooding protocol for MANETs with self-pruning and prioritized retransmissions**. In: MOBILE ADHOC AND SENSOR SYSTEMS CONFERENCE, 2005. IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON. [S.l.: s.n.], 2005. p. 9 pp.–49.

JERBI, M. et al. **GyTAR: improved greedy traffic aware routing protocol for vehicular ad hoc networks in city environments**. In: PROCEEDINGS OF THE 3RD INTERNATIONAL WORKSHOP ON VEHICULAR AD HOC NETWORKS. [S.l.]: ACM, 2006. (VANET '06), p. 88–89.

JIANCAI, L.; FENG, C.; JIAKAI, X. **The study of routing strategies in vehicular ad-hoc networks**. In: WIRELESS COMMUNICATIONS AND SIGNAL PROCESSING (WCSP), 2010 INTERNATIONAL CONFERENCE ON. [S.l.: s.n.], 2010. p. 1–5.

JIANG, D.; DELGROSSI, L. **IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments**. In: VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE, 2008. VTC SPRING 2008. IEEE. [S.l.: s.n.], 2008. p. 2036 –2040.

JOHNSON, D. B.; MALTZ, D. A.; BROCH, J. **DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks**. In: IN AD HOC NETWORKING, EDITED BY CHARLES E. PERKINS, CHAPTER 5. [S.l.]: Addison-Wesley, 2001. p. 139–172.

JOSHI, H. P.; SICHITIU1, M. L.; KIHHL, M. **Distributed Robust Geocast**. In: . [S.l.: s.n.], 2007.

KARP, B.; KUNG, H. T. **GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks**. In: PROCEEDINGS OF THE 6TH ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE COMPUTING AND NETWORKING. New York, NY, USA: ACM, 2000. (MobiCom '00), p. 243–254.

KIHHL, M.; SICHITIU, M.; JOSHI, H. **Design and evaluation of two geocast protocols for vehicular ad-hoc networks**. JOURNAL OF INTERNET ENGINEERING, Klidarithmos Press, v. 2, n. 1, 2008.

KORKMAZ, G. et al. **Urban multi-hop broadcast protocol for inter-vehicle communication systems**. In: PROCEEDINGS OF THE 1ST ACM INTERNATIONAL WORKSHOP ON VEHICULAR AD HOC NETWORKS. [S.l.]: ACM, 2004. (VANET '04), p. 76–85.

- LEBRUN, J. et al. **Knowledge-based opportunistic forwarding in vehicular wireless ad hoc networks**. In: VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE, 2005. VTC 2005-SPRING. 2005 IEEE 61ST. [S.l.: s.n.], 2005. v. 4, p. 2289 – 2293 Vol. 4.
- LEE, K. et al. **LOUVRE: Landmark Overlays for Urban Vehicular Routing Environments**. In: VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE, 2008. VTC 2008-FALL. IEEE 68TH. [S.l.: s.n.], 2008. p. 1–5.
- LI, F.; WANG, Y. **Routing in Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey**. VEHICULAR TECHNOLOGY MAGAZINE, IEEE, v. 2, n. 2, p. 12 –22, june 2007.
- LOCHERT, C. et al. **A routing strategy for vehicular ad hoc networks in city environments**. In: INTELLIGENT VEHICLES SYMPOSIUM, 2003. PROCEEDINGS. IEEE. [S.l.: s.n.], 2003. p. 156 – 161.
- MAIHOFER, C.; EBERHARDT, R. **Geocast in vehicular environments: caching and transmission range control for improved efficiency**. In: INTELLIGENT VEHICLES SYMPOSIUM, 2004 IEEE. [S.l.: s.n.], 2004. p. 951 – 956.
- MAIHÖFER, C.; LEINMÜLLER, T.; SCHOCH, E. **Abiding geocast: time-stable geocast for ad hoc networks**. In: PROCEEDINGS OF THE 2ND ACM INTERNATIONAL WORKSHOP ON VEHICULAR AD HOC NETWORKS. [S.l.]: ACM, 2005. (VANET '05), p. 20–29.
- MELLO, H. B. d. **Propostas de Roteamento para Redes Veiculares (VANETs) em Ambientes Urbanos**. TESE DE DOUTORADO, Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2009.
- NAMBOODIRI, V.; GAO, L. **Prediction-based routing for vehicular ad hoc networks**. In: IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY. [S.l.: s.n.], 2007. v. 56, n. 4, p. 2332–2345.
- OLIVEIRA, L. B. R. d. **Framework para desenvolvimento de aplicações móveis cientes de contexto**. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, UFMG, Belo Horizonte – MG, Brasil, 2010.
- PALAZZI, C. E. et al. **How to let gamers play in infrastructure-based vehicular networks**. In: . New York, NY, USA: ACM, 2008. p. 95–98.
- PARK, V.; MACKER, J.; CORSON, M. **Applicability of the temporally-ordered routing algorithm for use in mobile tactical networks**. In: MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE, 1998. MILCOM 98. PROCEEDINGS., IEEE. [S.l.: s.n.], 1998. v. 2, p. 426–430 vol.2.
- PARNO, B.; PERRIG, A. **Challenges in Securing Vehicular Networks**. 2005.
- PAULA, W. P. d. **Um Mecanismo de Reputação para Redes Veiculares Tolerantes a Atrasos e Desconexões**. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, UFMG, Belo Horizonte – MG, Brasil, 2009.
- PERKINS, C.; ROYER, E. **Ad-hoc on-demand distance vector routing**. In: MOBILE COMPUTING SYSTEMS AND APPLICATIONS, 1999. PROCEEDINGS. WMCSA '99. SECOND IEEE WORKSHOP ON. [S.l.: s.n.], 1999. p. 90–100.

PERKINS, C. E.; BHAGWAT, P. **Highly dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector routing (DSDV) for mobile computers**. SIGCOMM COMPUT. COMMUN. REV., ACM, v. 24, n. 4, p. 234–244, out. 1994.

SEADA, K.; HELMY, A. **Efficient and robust geocasting protocols for sensor networks**. COMPUT. COMMUN., Elsevier Science Publishers B. V., v. 29, n. 2, p. 151–161, jan. 2006.

SEET, B. chong et al. **A-STAR: A mobile ad hoc routing strategy for metropolis vehicular communications**. In: PROC. NETWORKING 2004. [S.l.: s.n.], 2004. p. 989–999.

SOARES, L. H. P.; SIQUEIRA, M. P. d. **Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Rodovias Brasileiras**. Dezembro 2006.

SOMMER, C.; GERMAN, R.; DRESSLER, F. **Bidirectionally Coupled Network and Road Traffic Simulation for Improved IVC Analysis**. IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING, IEEE, v. 10, n. 1, p. 3–15, January 2011.

TIAN, J.; HAN, L.; ROTHERMEL, K. **Spatially aware packet routing for mobile ad hoc inter-vehicle radio networks**. In: INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, 2003. PROCEEDINGS. 2003 IEEE. [S.l.: s.n.], 2003. v. 2, p. 1546 – 1551 vol.2.

VARGA, A. **Using the OMNeT++ discrete event simulation system in education**. In: . [S.l.: s.n.], 1999. v. 42, n. 4, p. 11 pp.

WISCHHOF, L.; EBNER, A.; ROHLING, H. **Information dissemination in self-organizing intervehicle networks**. INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, IEEE TRANSACTIONS ON, v. 6, n. 1, p. 90–101, 2005.

WISCHOFF, L. et al. **SOTIS - a self-organizing traffic information system**. In: VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE, 2003. VTC 2003-SPRING. THE 57TH IEEE SEMIANNUAL. [S.l.: s.n.], 2003. v. 4, p. 2442 – 2446 vol.4.

YASAR, A.-U.-H. et al. **Where people and cars meet: social interactions to improve information sharing in large scale vehicular networks**. In: PROCEEDINGS OF THE 2010 ACM SYMPOSIUM ON APPLIED COMPUTING. New York, NY, USA: ACM, 2010. (SAC '10), p. 1188–1194.

ZHAO, J.; CAO, G. **VADD: Vehicle-Assisted Data Delivery in Vehicular Ad Hoc Networks**. VEHICULAR TECHNOLOGY, IEEE TRANSACTIONS ON, v. 57, n. 3, p. 1910 –1922, 2008.