

# Análise sobre o impacto da densidade, da carga e do padrão de mobilidade sobre o desempenho de protocolos de roteamento para Redes Veiculares

Bruno G. Mateus<sup>1</sup>, Carina T. de Oliveira<sup>2</sup>, Rossana M. C. Andrade<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Redes Sistemas e Engenharia de Software (GREAT)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

<sup>2</sup>CNRS Laboratoire d'Informatique de Grenoble UMR 5217  
Université Joseph Fourier (UJF)

**Abstract.** *Advances in mobile computing and wireless communications have led to the development of the Intelligent Transportation Systems, which include the vehicular networks. In these networks, routing is a challenging task due to the high mobility of nodes, the instability of wireless links and the diversity of scenarios. For this reason, several routing protocols have been designed with the goal of solving one or more specific problems of each scenario. In this paper, we analyze through simulations the impact of density, load and mobility pattern in the performance of routing protocols in vehicular networks. The main contribution of this work is, thus, that our results can provide new directions for designing efficient vehicular network routing protocols, able to adapt to different scenarios. To achieve this goal, four protocols are evaluated in urban and highway scenarios.*

**Resumo.** *Os avanços alcançados na computação móvel e na comunicação sem fio levaram ao desenvolvimento dos Sistemas Inteligentes de Transporte, onde pode-se destacar as redes veiculares. Nestas redes, o roteamento é uma tarefa desafiadora devido à alta mobilidade dos nós, à instabilidade dos enlaces sem-fio e a diversidade de cenários. Por essa razão, diversos protocolos de roteamento foram projetados com o objetivo de solucionar um ou mais problemas específicos de cada cenário. Neste artigo, analisamos através de simulações o impacto da densidade, da carga e do padrão de mobilidade no desempenho do roteamento em redes veiculares. A principal contribuição deste trabalho é que os resultados alcançados forneçam diretrizes para os projetistas de redes veiculares desenvolverem protocolos de roteamento eficientes, capazes de se adaptar aos mais diversos cenários. Para alcançar esse objetivo, quatro protocolos são avaliados nos cenários urbano e de rodovia.*

## 1. Introdução

É cada vez mais clara a importância da Tecnologia da Informação (TI) no desenvolvimento social, econômico e cultural de uma nação. Neste contexto, existe uma demanda crescente do usuário de permanecer conectado onde quer que esteja e a qualquer momento, até mesmo quando está em movimento. As redes sem fio desempenham um papel fundamental nessa tarefa, possibilitando que o usuário se conecte em sua casa, no trabalho, no shopping e, até mesmo, no veículo. Este último cenário vem recebendo

bastante atenção dos pesquisadores e da indústria automobilística, que estudam soluções de redes capazes de integrar a nova geração de redes sem fio em veículos automotores. O objetivo é desenvolver um Sistema de Transporte Inteligente (*Intelligent Transportation Systems* - ITS) capaz de integrar diferentes veículos e possibilitar que aplicações com diferentes requisitos sejam atendidas satisfatoriamente. Para alcançar este objetivo foram criadas as redes veiculares [Hartenstein and Laberteaux 2008].

Em um cenário de redes veiculares existem dois tipos de nós: veículo automotor e infra-estrutura fixa [Bernsen and Manivannan 2008]. Os veículos automotores são nós móveis como carros, caminhões e ônibus equipados com um dispositivo de comunicação sem fio. A infra-estrutura fixa é fornecida pelos pontos de acesso posicionados nas margens de ruas e estradas. Os veículos automotores podem se comunicar entre si, veículo-veículo (*Vehicle-to-Vehicle* - V2V), ou com pontos de acesso fixos, veículo-infra-estrutura (*Vehicle-to-Infrastructure* - V2I). Neste trabalho, foca-se nos desafios das redes V2V.

Por ser uma tecnologia emergente, muitas aplicações já foram desenvolvidas para ambientes de redes veiculares. Grande parte dessas aplicações sugere a existência de uma comunicação de múltiplos saltos. Por isso, surge a necessidade de um protocolo de roteamento eficiente capaz de lidar com a topologia altamente dinâmica da rede e as frequentes desconexões. Além disso, outra característica inerente das redes veiculares que contribui para tornar ainda mais desafiador o desenvolvimento de um protocolo de roteamento é a variedade de cenários, tais como: urbano, rodovia e rural.

Em redes veiculares, o cenário é uma característica que influencia diretamente a mobilidade dos nós. Logo, independentemente do cenário onde um dado veículo esteja presente, é necessário que o protocolo de roteamento opere de forma satisfatória [Bernsen and Manivannan 2008], devendo ser inclusive tolerante às mudanças de cenário. Devido à grande variedade de cenários, diversos protocolos de roteamento foram projetados com objetivo de solucionar um ou mais problemas específicos de cada cenário. Por exemplo, Zhang *et al.* voltaram suas atenções para o cenário rural, caracterizado por redes esparsas, com pouca densidade e muita mobilidade. Já em [Lochert et al. 2003] e [Tian et al. 2003], o foco é o cenário urbano com cruzamentos e sinalizações. Em cenários de rodovia, muitos trabalhos propõem mecanismos para utilizar de melhor maneira o curto tempo de contato entre os veículos [Cavalcanti et al. 2010].

Devido ao caráter específico dos protocolos que hoje são encontrados na literatura, faz-se necessário novos protocolos de roteamento capazes de apresentar um desempenho satisfatório nos mais diversos tipos de cenários de redes veiculares, por essa razão, vários esforços vêm sendo realizados para desenvolver um protocolo para todos esses cenários [Jin et al. 2009]. Contudo, apesar de existirem várias soluções propostas para o problema do roteamento em redes veiculares, ainda não está claro que características específicas os protocolos devem levar em consideração na tomada de decisão, já que nenhuma das soluções propostas alcançou um desempenho satisfatório em mais de um cenário [Boban et al. 2008].

Como ponto inicial em direção à compreensão dos principais fatores que devem ser considerados ao se projetar um protocolo de roteamento eficiente para redes veiculares, neste trabalho é proposta a identificação e análise através de simulações do impacto da densidade veicular, da carga da rede e da mobilidade no desempenho de um protocolo

de roteamento. Neste trabalho nós focamos na análise dos cenários urbano e de rodovia já que em escala global esses dois cenários concentram a maior parte do tráfego de veículos.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 discute os trabalhos relacionados. Na Seção 3 apresentamos o ambiente utilizado nas simulações, bem como a modelagem dos cenários utilizados. Os resultados são analisados na Seção 4. Por fim, são apresentadas as conclusões e os trabalhos futuros na Seção 5.

## 2. Trabalhos Relacionados

O protocolo MURU (*Multi-hop Routing Protocol for Urban V-anets*) [Mo et al. 2006] utiliza a métrica EDD (*Expected Disconnection Degree*) para a escolha das rotas com menor probabilidade de sofrer uma quebra de enlace em um determinado período de tempo. O EDD é calculado através das informações sobre velocidade e trajetória de cada veículo aliadas a uma função de predição de movimento. Para isso, é assumida a existência de um serviço de localização (GPS), assim como o conhecimento prévio da topologia da rede através de mapas digitais. De posse da posição do destino, o protocolo calcula o menor caminho físico até o destino baseado nas informações obtidas dos mapas. A partir desse momento, inicia-se o envio de mensagens de requisição de rotas (RREQ), que são limitadas por uma área retangular que varia em função da posição dos nós de origem e destino e do comprimento do quarteirão. Quando um nó recebe uma mensagem RREQ, ele determina o EDD entre ele e o nó que enviou a mensagem. Em seguida, ele atualiza a métrica EDD no pacote. Enquanto ele espera um tempo proporcional ao EDD (*backoff time*), ele escuta as mensagens RREQ de outros vizinhos. Se o nó não descartar a mensagem RREQ durante esse tempo, ele irá retransmitir dentro de uma área retangular menor do que a do nó anterior. Segundo o protocolo, um nó descarta uma mensagem RREQ se ele receber uma nova RREQ com valor menor no campo EDD. Depois que o destino recebe algumas mensagens RREQ de diferentes rotas, ele escolhe a rota com o menor EDD acumulado e envia uma resposta para a origem contendo o caminho escolhido. Os autores apresentam que o MURU é livre de ciclos e que escolhe os caminhos com o menor EDD.

O ROMSGP (*Receive On Most Stable Group-Path*) [Sakhaee et al. 2007] é um protocolo que agrupa os veículos utilizando informações de velocidade e direção do movimento. O protocolo procura garantir que os caminhos escolhidos sejam compostos por veículos que estão se movendo juntos (direção e velocidade semelhantes). Logo, rotas que envolvam veículos de um mesmo grupo são consideradas estáveis. Dado um conjunto de rotas possíveis, o protocolo escolhe o caminho com o maior tempo de expiração do enlace, representado pela métrica LET (*Link Expiration Time*). Para por em prática o agrupamento de veículos, é assumido que cada veículo possui um GPS e que sua posição é verificada a cada segundo. As informações sobre o grupo são incluídas nas mensagens de requisição de rotas. Dessa forma, quando um veículo recebe um RREQ, ele compara o identificador do seu grupo com o identificador do veículo que originou a mensagem. Se eles estiverem em grupos diferentes, o enlace entre eles é penalizado, sendo marcado como instável, e a mensagem RREQ é descartada. Dessa forma, o mecanismo evita a retransmissão de pacotes que podem tornar os enlaces instáveis. O ROMSGP diminui a sobrecarga da rede evitando o envio de mensagens de controle, requisições de rotas e mensagens de erros dos enlaces instáveis.

Outras propostas de roteamento podem ser encontradas na literatura. Al-

gumas utilizam informações sobre o tráfego [Seet et al. 2004] e densidade da via [Azarmi et al. 2008] para escolher o melhor caminho. Outros trabalhos optam por não utilizar serviço de localização e mapas para realizar o roteamento [Naumov and Gross 2007]. Em [Perkins et al. 2001], os autores comparam através de simulação dois protocolos importantes da redes móveis *ad hoc*, o AODV [Perkins and Royer 1999] e o DSR [Johnson et al. 2001]. Já em [Naumov et al. 2006] os autores comparam e analisam o desempenho dos protocolos AODV e GPSR [Karp and Kung 2000] no ambiente veicular. Ao final da análise, são propostas algumas melhorias para ambos protocolos.

### 3. Ambiente de simulação

Para aproximar ao máximo a avaliação dos resultados em simuladores com o mundo real, neste trabalho são utilizados mapas do formato *OpenStreetMap* (OSM) [openstreetmap 2009]. O OSM é um formato de mapa livre e editável que possibilita o uso de dados geográficos de qualquer lugar do mundo de maneira colaborativa. Os mapas do formato OSM aqui utilizados são baseados em mapas reais e estão disponíveis no site da *OpenStreetMap*, onde o usuário pode exportar um mapa real de qualquer cidade do mundo, desde que seu mapa tenha sido descrito no formato OSM. Neste trabalho, dois mapas são utilizados: um para representar o cenário urbano e outro para representar o cenário de rodovia. Para o cenário urbano é utilizado o mapa do centro de Ottawa. Este mapa engloba uma área de um quilômetro quadrado, contendo aproximadamente vinte ruas, algumas de mão dupla outras de sentido único. O mapa contém cerca de oitenta cruzamentos, dos quais cerca de cinquenta possuem semáforos. Para o cenário de rodovia é utilizada uma rodovia de oito quilômetros de comprimento e oito faixas de veículos, quatro para cada sentido.

Para tornar os dois cenários mais realísticos, representamos no simulador de tráfego SUMO [SUMO 2009] alguns perfis de motoristas através das definição de *tipos de veículos*, apresentados na Tabela 1. Como não se pode definir ao certo quantos perfis de motoristas existem, optamos por utilizar três perfis: motoristas lentos, motoristas em velocidade média e motoristas rápidos, os quais são distribuídos aleatoriamente em cada rodada de simulação. Para isso, nos baseamos na velocidade máxima das vias urbanas de trânsito rápido brasileiras que é 80 km/h. A partir desse valor definimos um perfil para veículos que trafegam abaixo desse valor e um perfil que representa motoristas infratores, que podem alcançar até 120 km/h.

Tipo	Velocidade máxima	Aceleração	Desaceleração
Tipo 1	120 km/h	9.7 km/h <sup>2</sup>	4.5 km/h <sup>2</sup>
Tipo 2	80 km/h	9 km/h <sup>2</sup>	4.5 km/h <sup>2</sup>
Tipo 3	60 km/h	7.7 km/h <sup>2</sup>	4.5 km/h <sup>2</sup>

Tabela 1. Tipos de veículos.

Neste trabalho, o simulador de rede escolhido foi o Network Simulator 2 (versão 2.33) [McCanne and Floyd ] por ser um simulador amplamente utilizado na literatura para simulações de redes móveis *ad hoc*, por ser um programa de código aberto e, principalmente, pela compatibilidade com o SUMO. Os parâmetros utilizados no NS-2 estão listados na Tabela 2. Para nossos experimentos, consideramos as aplicações dos nós como geradoras de dados CBR transmitidos em intervalos constantes de tempo. Os valores apresentados nos gráficos da seção de resultados são valores médios de 30 amostras ob-

tidas por meio de repetições das simulações. Todos os gráficos são apresentados com intervalo de confiança calculado com um nível de confiança de 95%.

No simulador NS-2 foram implementados os protocolos MURU e ROMSGP. Apesar de utilizarem métricas diferentes, o MURU e o ROMSGP compartilham algumas características comuns. Primeiramente, ambos os protocolos são reativos e baseados em posição, utilizando informações sobre a mobilidade dos nós durante o roteamento. Outra característica comum é o uso de GPS, útil para calcular a posição atual dos veículos. Além disso, para evitar o congestionamento da rede, o MURU e o ROMSGP implementam mecanismos que minimizam o número de pacotes de controle. Apesar das semelhanças, o MURU e o ROMSGP também apresentam algumas diferenças. Enquanto o MURU necessita de mapas externos para calcular sua métrica principal, o ROMSGP agrupa os veículos baseado na direção do movimento. O MURU e o ROMSGP também foram comparados com dois protocolos legados de redes *ad hoc*, o AODV e o DSR, por seus resultados significativos em cenários de mobilidade.

Parâmetro	Valor
Aplicação	Tráfego CBR
Protocolos MAC/Físico	IEEE 802.11
Dimensão do cenário	1 km x 1 km
Raio de transmissão	400 m
Modelo de propagação	<i>TwoRayGround</i>
Modelo de mobilidade	<i>Kraussβ car-following</i>
Tempo de simulação	200 s
Quantidade de nós	100 - 500
Quantidade de nós fontes	10% - 60%
Intervalo entre envios	0.5 s

Tabela 2. Parâmetros de simulação no NS-2.

## 4. Resultados

Analisamos o impacto de três diferentes condições de rede sobre o desempenho dos protocolos simulados: **Densidade** - variação da quantidade de veículos por unidade de área; **Carga** - variação do número de veículos fonte (geradores de tráfego); e **Mobilidade** - variação do tipo de cenário (urbano ou rodovia). Os resultados são apresentados nas próximas seções em função dos **Pacotes de Controle** - número médio de pacotes de controle utilizados para manter o funcionamento da rede; e da **Taxa de Entrega** - razão média entre o número de dados entregues ao destino com relação ao número de dados que são enviados pelo nó de origem.

### 4.1. Pacotes de Controle

Os pacotes de controle, apesar de indispensáveis para manter o correto funcionamento da rede, são os principais responsáveis pela sobrecarga da rede. À medida que a quantidade de pacotes de controle enviados cresce, as chances da rede ficar congestionada aumentam e, conseqüentemente, as perdas de pacotes passam a ser mais frequentes. Entretanto, a sobrecarga da rede pode ser amenizada se o protocolo de roteamento utilizar um mecanismo para controlar o envio e/ou propagação desses pacotes.

A Figura 1 apresenta a quantidade de pacotes de controle enviados por cada protocolo de roteamento em função da densidade de veículos nos cenários urbano e rodovia. Conforme pode ser visto nas Figuras 1(a) e 1(c), o DSR é o protocolo que mais envia pacotes de controle no cenário urbano. Ao comparar o desempenho do DSR com o do

AODV, pode-se observar que o AODV envia menos pacotes de controle. Isso deve-se aos diferentes mecanismos de roteamento utilizados por eles. Como o DSR realiza o roteamento baseado na origem, quando um enlace quebra, a não existência de um caminho alternativo no *cache* faz com que um novo procedimento de descoberta de rota seja executado pelo nó de origem. Por outro lado, no AODV qualquer nó pode obter rotas novas para o destino, logo, quando um enlace quebra, um nó intermediário pode iniciar o procedimento de rota, diminuindo assim o número de mensagens de controle para restabelecer o caminho quebrado.

A variação da densidade veicular não influencia da mesma forma os diversos cenários urbano e de rodovia. Em cenários urbanos, os cruzamentos com semáforos tendem a concentrar um maior número de veículos, enquanto regiões sem sinalização apresentam maior fluidez do tráfego. Já em cenários de rodovia, os veículos são distribuídos quase que uniformemente ao longo das vias devido a ausência de regiões concentradoras de veículos, permitindo maior fluidez do tráfego nas vias. Por essa razão, o aumento da densidade de veículos afeta de maneira mais suave o envio de pacotes de controle, como apresenta as Figuras 1(b) e 1(d). Pode-se observar no cenário de rodovia que quando a rede é esparsa, o desempenho dos protocolos MURU e ROMSGP é semelhante. Além disso, a diferença entre o número de pacotes enviados é bem menor se comparada com uma rede nas mesmas condições no cenário urbano. Isso ocorre devido ao padrão de mobilidade do cenário de rodovia somado às características dos mecanismos de controle de sobrecarga utilizados pelos protocolos. No cenário de rodovia em uma rede esparsa, o mecanismo utilizado pelo MURU (baseado na área de *broadcast*) se torna menos restritivo que o utilizado pelo ROMSGP, já que alguns caminhos formados por nós que estão se movimentando no sentido contrário ao movimento do nó fonte serão propagados devido à proximidade das vias, enquanto no ROMSGP apenas caminhos compostos por nós que se movimentam no mesmo sentido serão propagados. Entretanto, quando a densidade da rede aumenta, a área de *broadcast* passa a ser mais restritiva que o agrupamento de veículos realizado pelo ROMSGP, já que devido ao aumento do número de veículos, o número de caminhos de ambos os sentidos também aumenta. Assim, como a única restrição imposta pelo ROMSGP para utilizar um caminho é que os nós que o compõem estejam se movimentando na mesma direção, boa parte dos novos caminhos poderão ser utilizados.

A Figura 2 apresenta a quantidade de pacotes de controle de acordo com o tipo de pacote de controle (RERR, RREP e RREQ) em função do cenário e para cada protocolo de roteamento. No cenário de rodovia, mais mensagens de *reply* são enviadas, logo mais caminhos são estabelecidos. Contudo, devido ao elevado número de mensagens de erro, pode-se concluir que grande parte desses caminhos quebram durante a transmissão das mensagens de dados. Além disso, podemos verificar que em redes esparsas a mudança de cenário é uma característica determinante para o desempenho dos mecanismos de controle de sobrecarga do MURU e do ROMSGP. Enquanto no cenário urbano o MURU envia menos pacotes de controle, no cenário de rodovia o ROMSGP é quem envia menos pacotes de controle.

Em relação à sobrecarga da rede, os protocolos desenvolvidos para redes veiculares obtiveram melhor desempenho em ambos os cenários devido aos mecanismos de controle de carga da rede implementados por eles, já que ao utilizar parâmetros de mobi-

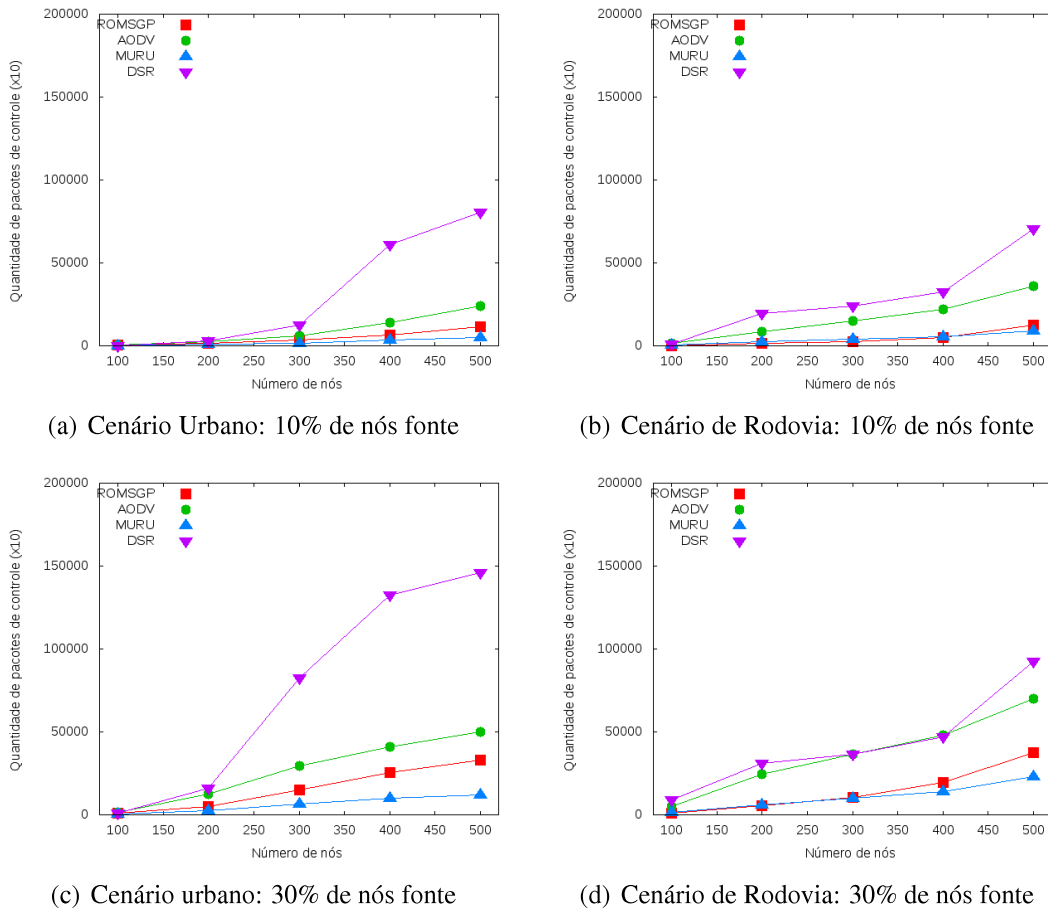


Figura 1. Quantidade de pacotes de controle enviados por cada protocolo de roteamento em função da densidade de veículos nos cenários simulados.

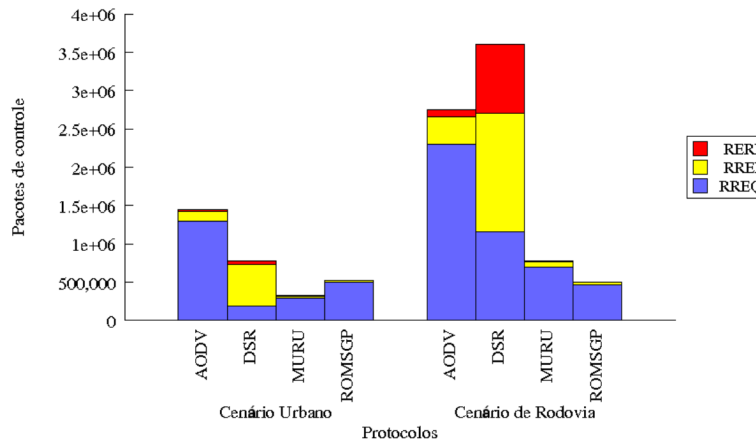


Figura 2. Quantidade de pacotes de controle enviados em função do tipo de pacote de controle, do cenário e do protocolo de roteamento. Rede composta por 100 veículos e 50% de nós fonte.

lidade eles conseguem evitar o envio desnecessário de mensagens de pacotes de controle, principalmente quando a rede é muito densa. Para melhor entender o impacto da carga da rede no desempenho dos protocolos foram realizadas simulações variando o número de veículos fonte presente nos cenários. A quantidade de veículos fonte foi variada de 10% a 60% do total de veículos. A Figura 3 demonstra o impacto do aumento do número de

nós fonte na quantidade de pacotes de controle necessária para manter a rede em funcionamento. Quando a carga da rede aumenta, o número de pacotes de controle enviados aumenta. Isso ocorre devido ao maior número de pacotes de dados enviados. Como os quatro protocolos simulados utilizam a estratégia reativa, é natural que a medida que o número de fontes aumenta, a quantidade de pacotes de controle enviados cresça também.

A Figura 3(a) mostra o desempenho dos protocolos em uma rede com 100 veículos. Como a rede representada nesse cenário é esparsa, os protocolos sofrem com a escassez de caminhos para a realização do roteamento. Por essa razão, várias mensagens de requisição de rotas são enviadas pelos protocolos, em especial o AODV, o que resulta na maior quantidade de envio de pacotes de controle. O mesmo problema não ocorre com o ROMSGP e o MURU devido ao mecanismo de controle de sobrecarga utilizado por eles, que limita o encaminhamento de mensagens de requisição. Apesar do protocolo DSR não ser eficiente em cenários com alta mobilidade, nesse cenário ele se sobressaiu em relação ao AODV devido ao mecanismo de *cache* utilizado por ele. A Figura 3(c) demonstra comportamentos similares dos protocolos simulados, ou seja, à medida que o número de fontes aumenta, os protocolos sobrecarregam mais a rede. Conforme dito anteriormente, os protocolos ROMSGP e MURU sofrem menos com o aumento da carga da rede graças aos mecanismos de controle que utilizam. Nesse contexto, devido à dinamicidade da rede e ao maior número de caminhos existentes, o DSR foi o protocolo que mais sobrecarregou a rede.

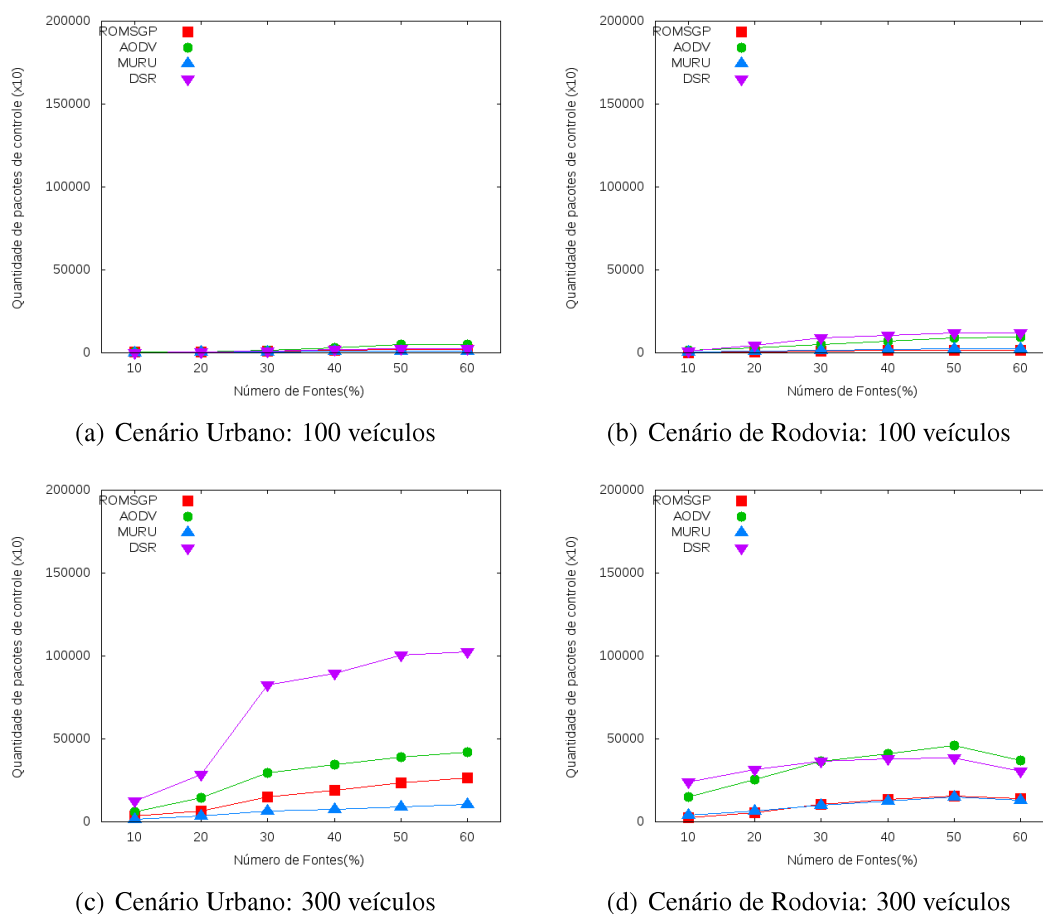
Em relação aos resultados obtidos na simulação dos cenários de rodovia (Figuras 3(b) e 3(d)), pode-se observar um comportamento distinto dos protocolos AODV e DSR se compararmos aos resultados alcançados no cenário urbano. Em relação ao desempenho do DSR no cenário de rodovia, nós podemos observar que o aumento da carga da rede não resulta em um crescimento acentuado do número de pacotes de controles enviados, mantendo-se praticamente constante. Isso ocorre porque no cenário de rodovia o DSR consegue utilizar de maneira mais eficiente os caminhos alternativos armazenados em *cache*. Por essa razão, quando a carga da rede é grande, o AODV é o protocolo que mais envia pacotes de controle.

## 4.2. Taxa de Entrega

A Figura 4 demonstra o impacto da densidade da rede na taxa de entrega para os cenários urbano e de rodovia. No cenário urbano, o aumento da densidade afeta a taxa de entrega de duas formas distintas (Figuras 4(a) e 4(c)). Em redes esparsas, o aumento da densidade determina uma maior quantidade de caminhos possíveis de serem utilizados no roteamento, o que consequentemente resulta em taxas de entrega melhores. Contudo, quando a rede torna-se muito densa a taxa de entrega passa a ser prejudicada e, a partir desse ponto, o aumento da densidade passa a afetar de forma negativa a taxa de entrega. Destaca-se que o comportamento da taxa de entrega não é determinado apenas pela densidade da rede, mas também pela quantidade de nós fontes. Nesse caso, quanto maior a quantidade de nós fonte, maior o número de pacotes de controle necessário para manter a rede funcionando. Contudo, à medida que a carga da rede aumenta, perdas de pacotes passam a ser mais frequentes, degradando assim a taxa de entrega.

Nas Figuras 4(a) e 4(b) a carga da rede é pequena (10% de nós fonte). Por essa razão, os protocolos AODV e DSR apresentam-se mais eficientes quando a densidade é baixa, enquanto o MURU e ROMSGP sofrem para entregar os pacotes devido ao me-

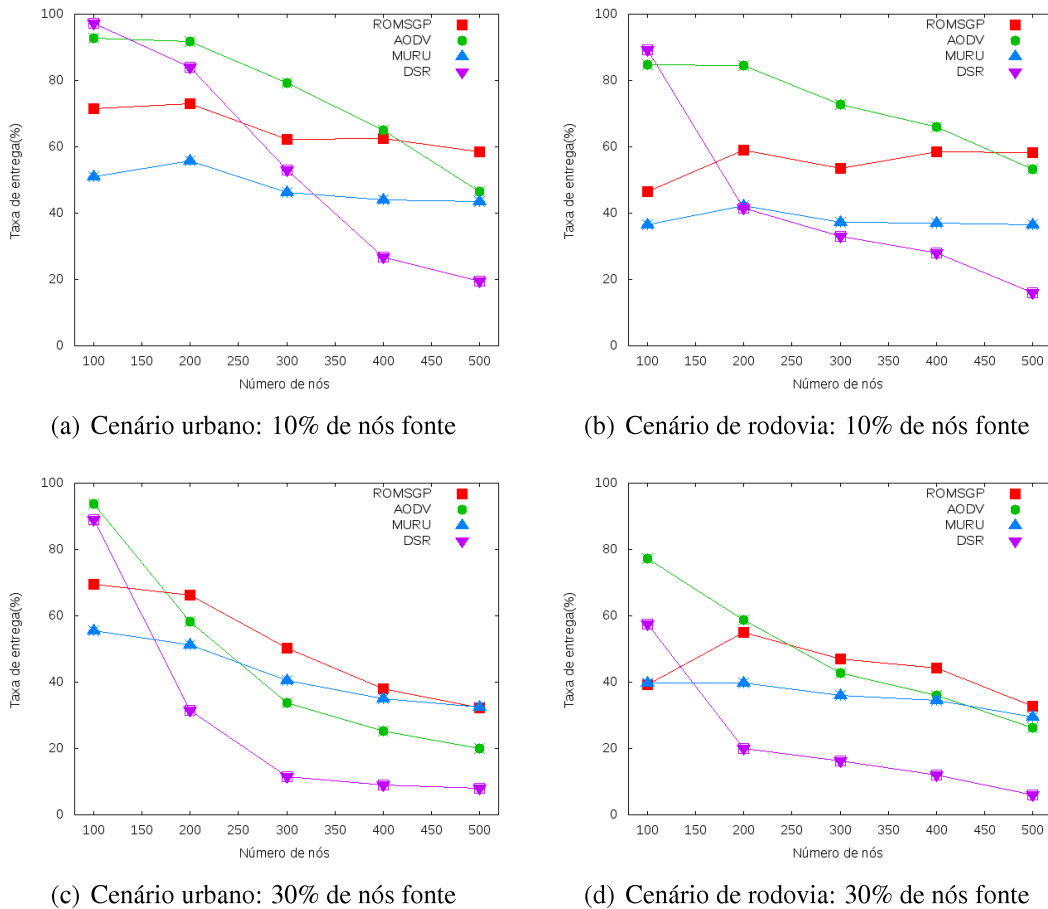




**Figura 3. Quantidade de pacotes de controle enviados por cada protocolo de roteamento em função do número de fontes nos cenários simulados.**

canismo implementado por eles para evitar a sobrecarga da rede, que é responsável por filtrar os caminhos existentes elegendo os que podem ser utilizados. À medida que a rede se torna mais densa, os protocolos passam a sofrer mais com a sobrecarga da rede. Contudo, os protocolos MURU e ROMSGP conseguem lidar melhor com esse problema, amenizando assim o impacto sobre a taxa de entrega. Já os protocolos DSR e AODV têm seus desempenhos consideravelmente afetados pelo envio excessivo de pacotes de controle, podendo ser observada uma queda acentuada da taxa de entrega. Comparando a melhor taxa de entrega alcançada pelos protocolos com a taxa atingida com a rede mais densa, pode-se perceber de maneira mais clara o quão eficientes são os protocolos de roteamento para redes veiculares.

A Tabela 3 mostra que os protocolos MURU e ROMSGP lidam melhor com o aumento da carga da rede obtendo a menor variação da taxa de entrega nas condições extremas em ambos os cenários. No cenário urbano, a variação medida da taxa de entrega dos protocolos MURU e ROMSGP foi de 10% e no cenário de rodovia foi de 5% para o MURU e 15% para o ROMSGP. Além disso, no cenário urbano esses protocolos atingiram uma maior taxa de entrega quando comparados com os resultados obtidos no cenário de rodovia. Apesar do AODV e DSR sofrerem as maiores variações da taxa de entrega em ambos os cenários, esses protocolos alcançaram a melhor taxa de entrega. No cenário urbano, o DSR entregou 95% dos pacotes enquanto o AODV entregou 90%. No cenário



**Figura 4. Taxa de entrega para cada protocolo de roteamento em função da densidade de veículos nos cenários simulados.**

de rodovia, o DSR entregou cerca de 90% dos pacotes, enquanto o AODV conseguiu entregar cerca de 85%. No entanto, quando a densidade da rede é máxima, o ROMSGP torna-se o protocolo mais eficiente, seguido respectivamente pelo AODV, MURU e DSR.

As Figuras 4(c) e 4(d) mostram o desempenho dos protocolos em uma rede com 30% de nós fonte. Uma maior quantidade de nós gerando mensagens só acelera o processo observado no cenário anterior: a degradação da taxa de entrega devido ao aumento da densidade e da carga da rede. Como pode ser visto, quando a densidade da rede é baixa, os protocolos AODV e DSR são mais eficientes pelas mesmas razões abordadas anteriormente. Contudo, quando a densidade passa a ser de duzentos veículos, podemos observar no cenário urbano um comportamento diferente em relação ao cenário anterior: o protocolo que alcança a melhor taxa de entrega é o ROMSGP e não o AODV, devido a sobrecarga da rede gerada pelo pacotes de controle enviados. Por sua vez, no cenário de rodovia, o protocolo ROMSGP passar a ser o mais eficiente após a densidade veicular ultrapassar trezentos veículos, já que no cenário de rodovia o aumento da densidade afeta de maneira mais sutil o envio de pacotes de controle e, conseqüentemente, a sobrecarga da rede.

A Tabela 3 mostra novamente que o DSR é o protocolo que mais sofre com o aumento da densidade e carga da rede. Por outro lado, o MURU é novamente o protocolo

Porcentagem de veículos fontes	Protocolo	Melhor taxa de entrega alcançada		Taxa de entrega alcançada com densidade máxima da rede		Variação das taxas alcançadas em condições extremas	
		Urbano	Rodovia	Urbano	Rodovia	Urbano	Rodovia
10%	DSR	95%	90%	20%	15%	75%	75%
	AODV	90%	85%	47%	55%	43%	30%
	MURU	55%	40%	45%	35%	10%	5%
	ROMSGP	70%	60%	60%	45%	10%	15%
30%	DSR	90%	57%	10%	5%	80%	52%
	AODV	95%	77%	20%	27%	75%	50%
	MURU	55%	40%	35%	30%	20%	10%
	ROMSGP	70%	55%	35%	35%	35%	20%

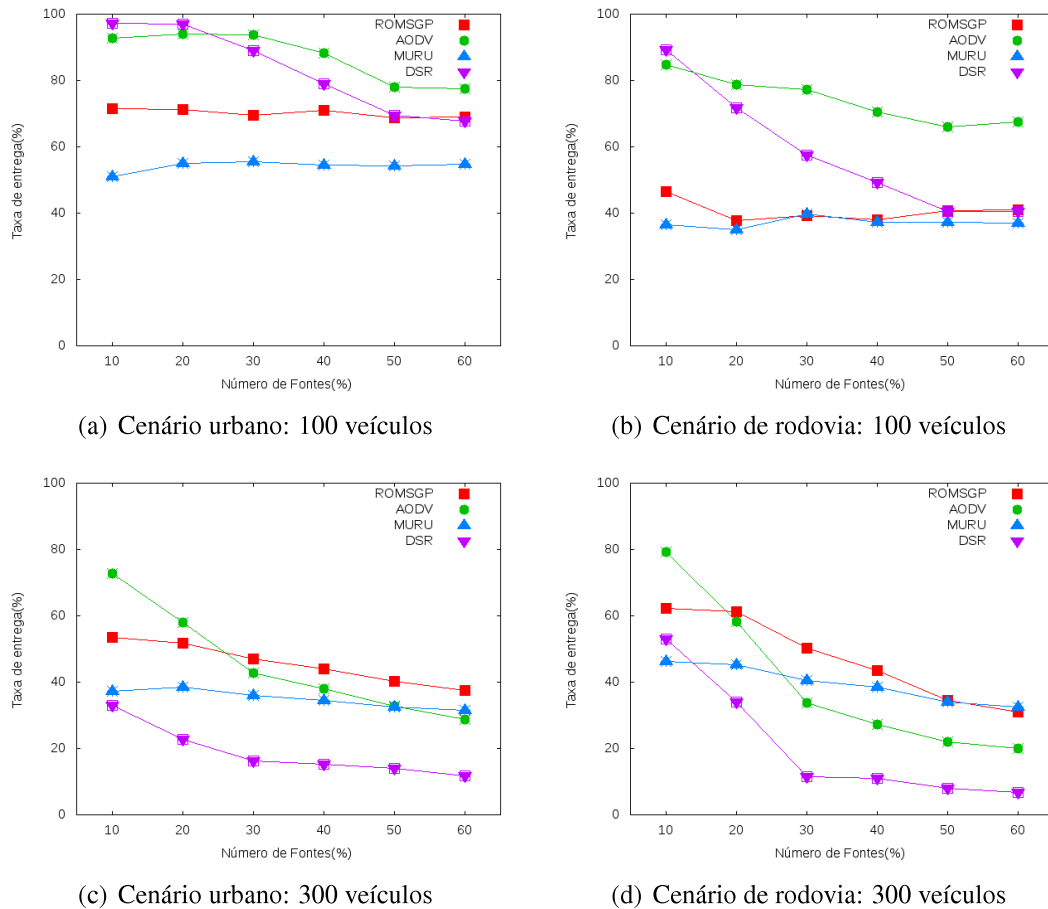
**Tabela 3. Comparação das taxas de entrega alcançadas em situações extremas da rede com 10% e 30% de nós fonte nos cenários simulados.**

que apresentou a menor variação da taxa de entrega: 20% no cenário urbano e 10% no cenário de rodovia. No cenário de rodovia, o AODV foi o protocolo que alcançou a maior taxa de entrega, entregando 77% quando a rede possuía cem veículos. No cenário urbano, o AODV também foi o protocolo que alcançou a melhor taxa de entrega, entretanto, com o aumento da densidade ele teve seu desempenho rapidamente degradado. Comparando o desempenho do ROMSGP nos cenários simulados, nós podemos perceber que no cenário de rodovia o seu desempenho diminui suavemente com o aumento da densidade devido ao menor impacto do aumento da densidade na quantidade de pacotes de controle enviados e, conseqüentemente, no aumento da sobrecarga da rede. Devido ao mecanismo de controle de sobrecarga implementado pelo MURU, este foi o protocolo menos afetado pelo aumento da densidade nos cenários simulados.

A Figura 5 apresenta o impacto do aumento da carga na taxa de entrega dos nós, no cenário urbano e de rodovia. As Figuras 5(a) e 5(b) ilustram o desempenho dos protocolos simulados quando aplicados em uma rede esparsa, mais especificamente com cem nós. Como se trata de uma rede esparsa, ou seja, com poucos caminhos possíveis de serem utilizados no roteamento, os protocolos MURU e ROMSGP não superam os protocolos típicos de MANETs, pois eles implementam mecanismos para evitar a sobrecarga da rede que, por sua vez, acabam impedindo o roteamento através de caminhos que, apesar de não serem estáveis, permitem a entrega dos pacotes de dados.

*Perkins et al.* [Perkins et al. 2001] demonstram através de simulações que o protocolo DSR é mais eficiente em redes que possuem baixa carga e/ou seus nós possuem baixa mobilidade. Já o AODV é mais eficiente em redes com maior carga e maior mobilidade dos nós. A Figura 5(a) comprova exatamente esse comportamento. A princípio, quando a carga da rede é baixa, o protocolo DSR entrega mais pacotes que o AODV. Contudo, à medida que a carga da rede aumenta, o desempenho do DSR diminui, chegando ao ponto do AODV ultrapassar o DSR em relação a taxa de entrega. O mesmo comportamento pode ser observado na Figura 5(b).

As Figuras 5(d) e 5(c), ilustram comportamentos semelhantes. Em todas elas, à medida que a carga da rede aumenta, a taxa de entrega dos protocolos diminui. No entanto, notam-se pequenas diferenças. Nas Figuras 5(d) e 5(c), quando a carga da rede é mínima, o AODV é o protocolo com a melhor taxa de entrega. Com o aumento do número de nós fonte, mais pacotes de dados são enviados, por isso mais pacotes de controle são necessários para garantir a entrega dos dados, gerando, assim, uma sobrecarga da rede.



**Figura 5. Taxa de entrega para cada protocolo de roteamento em função do número de fontes nos cenários simulados.**

Por essa razão, protocolos como o AODV e o DSR, que não implementam mecanismos de controle de sobrecargas eficientes, têm seus desempenhos mais afetados. Por outro lado, protocolos como o MURU e o ROMSGP, que implementam mecanismo de controle de sobrecarga, têm seus desempenhos afetados suavemente. Por essa razão, quando a carga da rede é máxima, os protocolos com melhores taxas de entrega são o MURU e o ROMSGP.

A Tabela 4 mostra o resumo dos resultados obtidos em relação a taxa de entrega nos cenários simulados. Pode-se perceber que os protocolos para redes móveis *ad hoc* alcançam as melhores taxas de entrega, porém isso acontece apenas quando a rede é esparsa. Quando a rede atinge sua densidade máxima, nós podemos perceber que os protocolos para redes veiculares se sobressaem perante os protocolos desenvolvidos para redes móveis *ad hoc*. Em condições nas quais a sobrecarga da rede é alta devido ao aumento do número de veículos fonte, verifica-se que o protocolo MURU tem o melhor desempenho dentre os protocolos simulados. Além disso, o protocolo MURU sempre alcança a menor variação das taxas de entrega. Através da Tabela 4, pode-se constatar que no cenário de rodovia os protocolos que alcançaram as melhores taxas de entregas foram os protocolos para redes móveis *ad hoc*. Entretanto, diferentemente do observado no cenário urbano, o protocolo AODV alcançou a melhor taxa de entrega mesmo quando a densidade da rede era máxima, em redes com 10% de nós fonte. Contudo, os protocolos

de redes veiculares foram os que apresentaram a menor variação das taxas de entrega.

Condições	10% de fontes		30% de fontes		50% de fontes	
	Urbano	Rodovia	Urbano	Rodovia	Urbano	Rodovia
Melhor taxa de entrega	DSR	DSR	AODV	AODV	AODV	AODV
Melhor taxa de entrega com densidade máxima	AODV	AODV	MURU e ROMSGP	ROMSGP	MURU	MURU e ROMSGP
Menor variação das taxas de entrega	MURU e ROMSGP	MURU	MURU	MURU	MURU	MURU

**Tabela 4. Resumo dos resultados obtidos em relação a taxa de entrega nos cenários simulados.**

## 5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste artigo, são apresentados os resultados obtidos por meio de simulações de dois protocolos para redes veiculares, MURU e ROMSGP, em diferentes cenários e condições de operação da rede. Foram realizadas comparações com protocolos típicos das redes móveis *ad hoc*, AODV e DSR. Através dos resultados alcançados conclui-se que os protocolos de roteamento ainda precisam evoluir para alcançar um desempenho satisfatório. Contudo, alguns pontos relevantes relacionados à deficiência dos protocolos foram observados. Primeiramente, destacamos a necessidade do uso de métricas que utilizem informações presentes nos mais variados cenários. Também destacamos a necessidade de um mecanismo de controle de sobrecarga capaz de adaptar seu comportamento de acordo com a densidade da rede, já que, conforme os resultados apresentados, os mecanismos avaliados não alcançam um bom desempenho em redes pouco densas devido ao alto número de pacotes descartados, enquanto em redes densas o desempenho é satisfatório.

Como trabalho futuro, propõe-se o desenvolvimento de um protocolo de roteamento adaptativo que leve em consideração as diretrizes apontadas por esse trabalho. Portanto, espera-se desenvolver um protocolo que se adapte às condições da rede, tais como a densidade, o padrão de mobilidade, o tipo de cenário (urbano, rodovia e rural), o raio de transmissão, dentre outros.

## Referências

- Azarmi, M., Sabaei, M., and Pedram, H. (2008). Adaptive routing protocols for vehicular ad hoc networks. In *International Symposium on Telecommunications (IST)*.
- Bernsen, J. and Manivannan, D. (2008). Routing protocols for vehicular ad hoc networks that ensure quality of service. In *International Conference on Wireless and Mobile Communications (ICWMC)*.
- Boban, M., Misek, G., and Tonguz, O. (2008). What is the best achievable qos for unicast routing in vanets? In *IEEE GLOBECOM Workshops*.
- Cavalcanti, S. R., Campista, M. E. M., Abdesslem, F. B., Costa, L. H. M. K., Amorim, M. D., and Duarte, O. C. M. B. (2010). Veer: A trajectory-based peer selection algorithm for networks of vehicles. In *IFIP Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (Med-Hoc-Net)*.
- Hartenstein, H. and Laberteaux, K. (2008). A tutorial survey on vehicular ad hoc networks. *IEEE Communications Magazine*, 46(6):164–175.

- Jin, Z., Yan, N., and Bing, L. (2009). Reliable on-demand geographic routing protocol resolving network disconnection for vanet. In *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCom)*.
- Johnson, D. B., Maltz, D. A., and Broch, J. (2001). DSR: The dynamic source routing protocol for multi-hop wireless ad hoc networks. In *Ad Hoc Networking*. Addison-Wesley.
- Karp, B. and Kung, H. T. (2000). GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks. In *International Conference on Mobile computing and networking, (MobiCom)*. ACM.
- Lochert, C., Hartenstein, H., Tian, J., Fussler, H., Hermann, D., and Mauve, M. (2003). A routing strategy for vehicular ad hoc networks in city environments. In *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*.
- McCanne, S. and Floyd, S. Ns-2 network simulator. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>. Acesso em 23 de Abril de 2011.
- Mo, Z., Zhu, H., Makki, K., and Pissinou, N. (2006). MURU: A multi-hop routing protocol for urban vehicular ad hoc networks. In *International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems - Workshops*.
- Naumov, V., Baumann, R., and Gross, T. (2006). An evaluation of inter-vehicle ad hoc networks based on realistic vehicular traces. In *ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc)*.
- Naumov, V. and Gross, T. (2007). Connectivity-aware routing (CAR) in vehicular ad-hoc networks. In *IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM)*.
- openstreetmap (2009). Openstreetmap foundation. <http://www.osmfoundation.org>. Acesso em 06 de Janeiro de 2011.
- Perkins, C. and Royer, E. (1999). Ad-hoc on-demand distance vector routing. In *IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA)*.
- Perkins, C., Royer, E., Das, S., and Marina, M. (2001). Performance comparison of two on-demand routing protocols for ad hoc networks. *IEEE Personal Communications*, 8(1):16–28.
- Sakhaee, E., Taleb, T., Jamalipour, A., Kato, N., and Nemoto, Y. (2007). A novel scheme to reduce control overhead and increase link duration in highly mobile ad hoc networks. In *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*.
- Seet, B., Liu, G., Lee, B., Foh, C., Wong, K., and Lee, K. (2004). A-star: A mobile ad hoc routing strategy for metropolis vehicular communications. *NETWORKING*, pages 989–999.
- SUMO (2009). Sumo. <http://sumo.sourceforge.net/>. Acesso em 03 de Janeiro de 2011.
- Tian, J., Han, L., and Rothermel, K. (2003). Spatially aware packet routing for mobile ad hoc inter-vehicle radio networks. In *IEEE Intelligent Transportation Systems*, volume 2, pages 1546–1551.