

P-AOMDV: Um protocolo de roteamento para comunicação V2V baseado na infraestrutura de transporte público

Joilson Alves Junior e Emilio C. G. Wille

Resumo—As Redes Ad Hoc Veiculares (VANETs) fazem parte dos Sistemas Inteligentes de Transporte Terrestre e possuem como propósito a comunicação entre veículos para fornecer segurança e entretenimento a seus ocupantes. Nestas redes, os principais desafios da comunicação estão relacionados à falta de conectividade entre os veículos e ao baixo desempenho dos protocolos de roteamento. Este trabalho propõe um novo protocolo de roteamento chamado P-AOMDV, que em conjunto com um *backbone* móvel formado pelos ônibus do transporte público, pode minimizar os efeitos da falta de conectividade e melhorar o desempenho da rede. Experimentos de simulação comprovam que o conjunto P-AOMDV/*backbone* pode aumentar a taxa de entrega e de rota ativa, bem como diminuir a taxa de quebra de rotas e de perda de pacotes de dados.

Palavras-Chave - VANETs, V2V, protocolos de roteamento, P-AOMDV, conectividade, ônibus, *backbone*.

I. INTRODUÇÃO

As Veicular Ad Hoc Networks (VANETs) são redes ad hoc móveis onde a comunicação é estabelecida entre veículos [1]. Quando a topologia da rede é totalmente dinâmica, a comunicação é conhecida como V2V (*Vehicle-to-Vehicle*). Entre os principais objetivos das VANETs estão a segurança em rodovias, informações sobre condições de tráfego e entretenimento.

Redes V2V são redes móveis auto organizáveis e auto gerenciáveis com controle descentralizado. Elas caracterizam-se por serem construídas em qualquer lugar, pois independem da existência de infraestrutura fixa [2]. Os nós de tais redes se comunicam uns com os outros através de sinais de rádio - frequência. Como o alcance dos sinais de rádio é limitado, cada nó só pode se comunicar diretamente com nós que estiverem dentro do raio de alcance de seus sinais.

Contudo, pode existir a necessidade de um nó transmitir informações para outros nós que estão além do seu raio de alcance. Para isso, os nós devem cooperar entre si agindo como roteadores, repassando as informações do nó origem ao nó destino [3]. Para que a informação possa ser transmitida do nó de origem até o destino, a rede deve possuir conectividade, ou seja, os nós da rede devem ser capazes de encontrar outros nós dentro do raio de alcance de seus sinais, de tal forma que a origem e o destino sempre encontrem uma rota para se comunicar.

J. Alves Jr. and E.C.G. Wille, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Av. Sete de Setembro 3165, 80230-901, Curitiba (PR), Brazil. E-mail: joilson@utfpr.edu.br, ewille@utfpr.edu.br.

As VANETs V2V são caracterizadas também pela alta mobilidade dos nós (veículos), pela circulação dos nós na rede ser escassa ou desequilibrada e por estarem limitadas pela orientação das autoestradas ou das vias urbanas [1], [4]. Nestas redes, os principais desafios da comunicação estão relacionados à falta de conectividade entre os veículos e ao baixo desempenho dos protocolos de roteamento.

Atualmente, muitos estudos mostram que a utilização de infraestrutura fixa com protocolos clássicos pode prover conectividade e viabilizar a utilização das VANETs [5], [6], [7]. No entanto, o custo da infraestrutura para construção e manutenção destas redes é muito elevado, o que as torna impraticáveis na maioria das vezes [8]. Além disso, os protocolos clássicos não estão preparados para lidar com a falta de conectividade.

O alvo deste trabalho consiste em manter as VANETs conectadas sem a utilização de infraestrutura fixa, aumentando o desempenho da rede com custo reduzido. Para isso, será utilizado um *backbone* ad hoc móvel (BMVA) e um novo protocolo de roteamento. Conforme apresentado em [9] e [10], o BMVA é uma rede de transporte de dados ad hoc móvel, formada pelos ônibus da rede pública de transporte coletivo urbano, cuja função é prover conectividade e favorecer a troca de mensagens entre os veículos em uma determinada região.

Uma rede de transporte coletivo urbano é um conjunto interligado de rotas ou vias onde circulam ônibus que transportam passageiros. Nestas redes, podem existir diversos tipos de ônibus e vias, sendo que o BMVA foi criando sob os ônibus expressos que circulam em vias exclusivas. Tais vias possuem duplo sentido, permitem ultrapassagem e ligam os principais bairros ao centro da cidade [11]. A rede de transporte de dados é formada pelos ônibus que estão em frequente movimento por toda extensão das vias expressas, sendo desta forma independente de infraestrutura fixa. Esta rede além de permitir a troca de informações entre os próprios ônibus, busca a troca de informações entre veículos separados por até dezenas de quilômetros. A Figura 1 ilustra a topologia da rede.

Para que a rede de transporte de dados possa ser utilizada para conectar veículos distantes, os ônibus que a compõe devem permanecer conectados durante o maior tempo possível, ou seja, devem possuir um elevado grau de conectividade. O trabalho realizado em [9] mostrou por meio de estudos experimentais com dados reais que o grau de conectividade no BMVA pode ser superior a 99%. O grau de conectividade é definido como o percentual de tempo onde a distância inter-

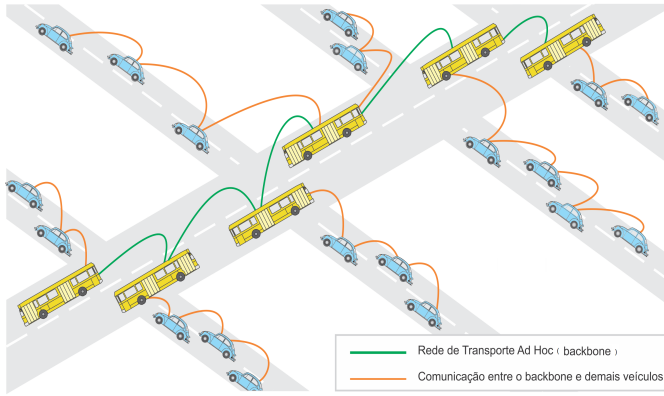


Figura 1. Topologia da rede de transporte de dados [9].

veicular assume valor menor ou igual ao raio de transmissão do sistema sem fio. A distância inter-veicular é definida como a distância, em quilômetros, entre um certo veículo (ônibus) e seu vizinho mais próximo. O trabalho também mostrou, através de estudos analíticos, que a distribuição de Weibull pode caracterizar analiticamente a distância inter-veicular, não podendo ser rejeitada (com base no teste qui-quadrado de Pearson [12], [13]). Por último, mostrou que a realidade observada nos estudos experimentais quanto à distância inter-veicular e a conectividade, pode ser obtida em um software gerador de mobilidade veicular (VanetMobiSim [14]) parametrizado com informações obtidas dos dados reais. Os estudos experimentais, analíticos e simulados completos podem ser encontrados em [9].

O BMVA possui a capacidade de prover infraestrutura e aumentar a conectividade da rede. Porém, ele pode ser melhor explorado pelos protocolos de roteamento clássicos, os quais devem reconhecê-lo e utilizá-lo com a maior frequência possível. Desta maneira, este trabalho propõe a construção de um novo protocolo de roteamento, chamado de *Priority Ad Hoc On-Demand Multipath Distance Vector* (P-AOMDV), o qual tem a capacidade de atuar em conjunto com o BMVA, minimizando os efeitos da falta de conectividade e melhorando o desempenho da rede. O P-AOMDV é uma modificação do protocolo AOMDV [15].

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção II exhibe o protocolo proposto; a Seção III mostra a avaliação do protocolo proposto utilizando um simulador de rede; e por fim a Seção IV apresenta a conclusão.

II. PROTOCOLO PROPOSTO

O *Priority Ad Hoc On-Demand Multipath Distance Vector* (P-AOMDV) é uma modificação do protocolo AOMDV. Ele foi desenvolvido para atuar em conjunto com o BMVA no momento em que os nós estão descobrindo as rotas, possuindo assim a capacidade de construí-las levando em consideração a quantidade de ônibus expressos que cada uma das rotas possui. Neste protocolo, as mensagens de dados trafegam por rotas que possuem o maior número possível de ônibus pertencentes ao BMVA, onde existe maior conectividade e confiabilidade. A modificação foi realizada principalmente no processo de descoberta de rotas do AOMDV.

No AOMDV, a origem inicia um processo de descoberta de rota enviando uma mensagem de *route request* (RREQ) em broadcast. A partir do momento que a RREQ é enviada para a rede toda, um nó pode receber várias cópias da mesma RREQ. Em protocolos de caminho único, apenas a primeira RREQ é usada para formar rotas inversas entre o nó que recebeu a RREQ e a origem, as cópias duplicadas que chegam depois são simplesmente descartadas. Porém, algumas dessas cópias duplicadas podem ser utilizadas para formar caminhos inversos alternativos. Assim, todas as cópias duplicadas são examinadas no AOMDV, aquelas cópias que preservam a liberdade de laço e possuem caminhos disjuntos entre a origem e o destino, podem ser utilizadas para formar caminhos alternativos. Quando um nó intermediário recebe uma cópia de uma mensagem RREQ, ele verifica em sua tabela de roteamento se existe um ou mais caminhos válidos para o destino solicitado na mensagem RREQ. Caso exista, o nó gera uma mensagem de *route reply* (RREP) e a envia de volta para a origem no caminho inverso. Caso contrário, a mensagem RREQ é reencaminhada pelo nó intermediário na rede. Quando o nó destino recebe cópias da RREQ, ele constrói caminhos inversos da mesma forma que os nós intermediários. O nó destino gera uma RREP em resposta a cada RREQ que chega, através de um caminho livre de laço com a origem [15].

A. Processo de descoberta de rotas do P-AOMDV

O processo de descoberta de rotas do P-AOMDV é semelhante ao original, quando um nó necessita enviar uma mensagem para outro nó para o qual ele ainda não conhece a rota, uma mensagem RREQ é enviada em *broadcast* e mensagens RREP são enviadas em resposta pelo destino ou por um nó intermediário conhecedor da rota até a origem. Na mensagem RREP foi incluído um novo campo, chamado de *cont_bus*, cuja função é armazenar a quantidade de ônibus pertencente ao BMVA que cada uma das múltiplas rotas possui. Desta forma, quando a RREP estiver percorrendo a rota do destino até a origem pelo caminho inverso, ela irá incrementar a variável *cont_bus* em uma unidade toda vez que for recebida por um ônibus que pertence ao BVMA. Assuma-se que todos os nós da rede sabem identificar, por meio de um identificador único (ID), quem são os ônibus pertencentes ao BMVA.

A estrutura da mensagem de RREP proposta para o P-AOMDV pode ser visualizada na Tabela I.

Tabela I
FORMATO DA MENSAGEM DE RREP PROPOSTO NO P-AOMDV.

scr	dst	dst_seqno	hop_count	lifetime	cont_bus
-----	-----	-----------	-----------	----------	----------

No processo de descoberta de rotas, as mensagens RREP são utilizadas para atualizar as tabelas de roteamento dos nós com informação de roteamento, como por exemplo, atualizar o campo *next_hop* com o endereço do próximo nó em direção ao destino. No P-AOMDV, incluiu-se um novo campo na tabela de roteamento, chamado de *num_bus*, cuja função é armazenar quantos nós pertencentes ao BMVA a rota possui. Com isso, quando a mensagem RREP viajar do destino até a

origem, todos os nós que a receberem vão atualizar o valor da variável `num_bus` em suas tabelas de roteamento, com a quantidade de nós pertencentes ao BMVA que a rota possui a partir do nó atual (nó que recebeu a RREP), ou seja, vão copiar o valor da variável `cont_bus` da mensagem RREP para a variável `num_bus` da tabela de rotas.

A estrutura da tabela de roteamento do AOMDV e do P-AOMDV é ilustrada pela Tabela II.

Tabela II
ESTRUTURA DA TABELA DE ROTEAMENTO DO AOMDV E DO P-AOMDV.

AOMDV	P-AOMDV
Destination Address	Destination Address
Sequence Number	Sequence Number
Advertised-hop count	Advertised-hop count
RouteList [(next_hop1, hop_count1),(next_hop2, hop_count2),.....]	RouteList [(next_hop1, hop_count1, cont_bus1),(next_hop2, hop_count2, cont_bus2),.....]
Expiration time out	Expiration time out

Com esta nova tabela de roteamento, os nós do protocolo P-AOMDV são capazes de ordenar as rotas em suas tabelas em ordem crescente, tendo como parâmetro para a ordenação o número de nós que pertencem ao BMVA. Caso duas rotas tenham o mesmo número de nós do BMVA, terá prioridade aquela que apresentar o menor número de saltos para o destino. Ressalta-se que o AOMDV original cria no máximo três rotas disjuntas e livres de laço entre dois nós quaisquer, em cada processo de descoberta de rotas. Outra modificação realizada foi o aumento do número de rotas possíveis, uma vez que o novo protocolo mantém até dez rotas disjuntas entre origens e destinos. A Tabela III ilustra os dados da tabela de rotas de um nó qualquer do P-AOMDV.

Conforme pode ser observado na Tabela III, as rotas são ordenadas prioritariamente pelo número de nós pertencentes ao BMVA, caso este número seja o mesmo, a rota é ordenada pelo número de saltos ao destino.

Tabela III
DADOS DA TABELA DE ROTAS DE UM NÓ DO P-AOMDV.

Destination	Sequence Number	Advertised hop count	Next hop	Cont bus	Hop count
100	2	1683	3	5	8
			40	5	9
			51	4	7
			12	3	6
			33	2	7

A alteração do cabeçalho da mensagem RREP pode gerar uma sobrecarga no tráfego da rede, assim como a alteração da tabela de roteamento pode gerar a necessidade de mais espaço para armazenamento. Porém, as VANETs possuem menos restrições de hardware em relação às demais redes ad hoc, como as MANETs, por exemplo, pois são implementadas em veículos, os quais não possuem restrição de energia, suportando assim um hardware mais potente. Cabe lembrar que nenhum pacote novo foi criado, por isso qualquer

sobrecarga gerada é pequena, sendo compensada com a melhora de diversas métricas de desempenho.

III. AVALIAÇÃO DO P-AOMDV UTILIZANDO SIMULADOR DE REDE

A avaliação do P-AOMDV utilizando um simulador de rede consiste em verificar o quanto o conjunto P-AOMDV/BMVA pode melhorar métricas de desempenho como a taxa de entrega e taxa de rota ativa (item III-B). Para isso, o conjunto foi avaliado através de simulações usando o Network Simulator (NS) versão 2.35 [16]. As avaliações de desempenho foram feitas por meio de comparações entre cenários que não utilizam o BMVA, cenários que utilizam o BMVA e cenários que utilizam o BMVA em conjunto com o P-AOMDV.

A. Ambiente de simulação

Conforme ilustrado na Figura 2, a rede criada para a simulação é uma área retangular de 2000m x 500m dividida em quatro regiões: 1, 2, 3 e 4, onde a região 4 representa as vias expressas do BMVA. Existem cinco veículos distribuídos na região 1 e cinco veículos na região 2, além de 15, 25, 35, 45 ou 55 veículos distribuídos por todo o ambiente de simulação (regiões 1, 2, e 3). Os veículos da região 1 se comunicam aleatoriamente com os veículos da região 3, fazendo com que as mensagens passem necessariamente pelas regiões 2 e 4. Neste cenário, os veículos comuns transmitem seus sinais de radiofrequência em um raio de 300m [17] e os ônibus do BMVA em um raio de 500m.

Foram realizadas simulações sem o BMVA, com o BMVA e com o BMVA em conjunto com o P-AOMDV. Nas simulações onde o BMVA é utilizado, ele é configurado com a mesma densidade observada no cenário real (7 veículos/km para raio de 500m).

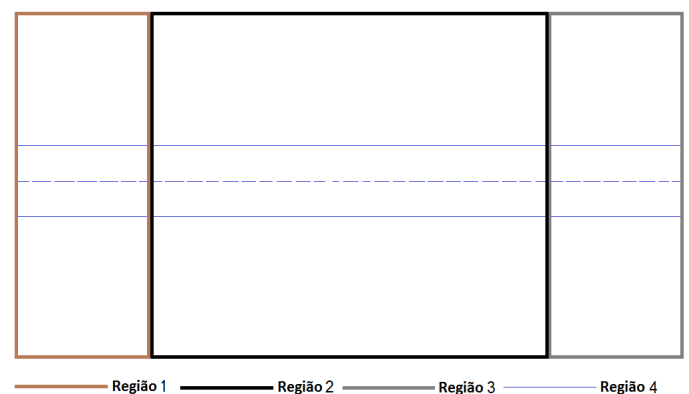


Figura 2. Topologia do cenário de simulação.

Além disso, todos os veículos se deslocam seguindo o modelo de movimentação estabelecido pelo VanetMobiSim, com velocidades de até 54 km/h. O padrão de tráfego consiste de conexões com taxa de bits constante (CBR) considerando o protocolo UDP. O modelo de propagação de rádio é o *twoRay ground*, enquanto a camada MAC segue as especificações IEEE 802.11p [18]. As simulações são realizadas por 600 segundos e todos os resultados apresentados são médias de

35 simulações com o mesmo modelo de tráfego, mas com diferentes cenários de mobilidade. Para estas simulações o intervalo de confiança considerado é de 95%. Os parâmetros configurados nas simulações estão resumidos na Tabela IV.

Tabela IV
PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO UTILIZANDO SIMULADOR DE REDE.

Parâmetros	Valores(s)
Simulador	NS-2 (2.35)
Protocolo de roteamento	AOMDV, P-AOMDV
Área de simulação	2000m X 500m
Número de veículos	15,25,35,45,55
Densidade do BMVA	7 Ônibus/km
Modelo de mobilidade	<i>VanetMobiSim</i>
Raio de alcance dos veículos comuns	300m
Raio de alcance dos ônibus do BMVA	500m
Velocidade máxima dos veículos comuns	40km/h
Velocidade máxima do BMVA	54km/h
Padrão de tráfego	UDP/CBR com 2 mensagens/s
Conexões simultâneas	5
Tempo de simulação	600s
Modelo de propagação de rádio	<i>twoRay ground</i>
Especificações da camada MAC	IEEE 802.11p

B. Métricas

O conjunto BMVA/P-AOMDV foi avaliado com base nas seguintes métricas:

- *Taxa de entrega dos pacotes (TEP)*: é a razão entre os pacotes de dados entregues ao destino pela quantidade de pacotes de dados enviados pela origem, para cada origem e destino;
- *Taxa de rota ativa (TRA)*: é a razão entre o tempo de rota ativa pelo tempo de rota ativa mais o tempo de descoberta de rotas, para cada origem e destino. Entende-se por rota ativa o tempo em que a origem está transmitindo dados, e por tempo de descoberta, o tempo em que a origem está descobrindo uma rota;
- *Taxa de quebra de rotas (TQR)*: é a razão entre o número de pacotes de roteamento gerado por quebra de rotas pela quantidade de pacotes de dados recebidos, para cada origem e destino;
- *Taxa de perda de pacotes de dados (TPP)*: é a razão entre o número de pacotes de dados descartados por rota indisponível pelo número de pacotes de dados transmitidos, para cada origem e destino.

Com as métricas TRA e TQR pretende-se avaliar o desempenho do conjunto P-AOMDV/BMVA em relação à conectividade da rede, enquanto que com as métricas TEP e TPP pretende-se verificar se a conectividade reflete no desempenho da rede. Espera-se o aumento das taxas TEP e TRA sempre que o conjunto BMVA/P-AOMDV estiver presente na rede, assim como a diminuição das taxas TQR e TPP.

C. Resultados de simulação

As Figuras 3 e 4 apresentam os resultados obtidos para a taxa de entrega e taxa de perda de pacotes versus o número de veículos na rede. É possível notar que a taxa de entrega aumenta com o acréscimo do número de veículos na rede e a taxa de perda de pacotes diminui. Contudo, utilizando o BMVA, foi possível obter melhores resultados, com maior relevância para os casos onde existem até 25 veículos, fato que demonstra a importância do *backbone* em redes com pouca conectividade.

Os resultados foram significativamente melhores onde o conjunto P-AOMDV/BMVA foi utilizado, com destaque para o fato do ganho (aumento da taxa de entrega e diminuição da perda de pacotes de dados) ser constante, independentemente do número de veículos. Este fato pode ser observado, uma vez que o P-AOMDV prioriza as rotas mais confiáveis, ou seja, aquelas que possuem uma quantidade maior de ônibus pertencentes ao BMVA, conseguindo desta forma manter a conectividade entre a origem e o destino por um tempo maior.

Observa-se na Figura 5 que a taxa de rota ativa aumenta com o acréscimo do número de veículos na rede. Entretanto, conforme esperado, obteve-se melhores resultados onde foram utilizados o BMVA ou o conjunto BMVA/P-AOMDV, com maior ênfase para o conjunto, que foi capaz de apresentar ganhos significativos.

Na Figura 6 pode-se observar a taxa de quebra de rotas. Neste gráfico, comparou-se apenas os casos onde o BMVA foi utilizado (com o BMVA e BMVA em conjunto com o P-AOMDV). Nota-se que o conjunto reduziu a taxa de quebra, visto que ele é capaz de aumentar o tempo de rota ativa.

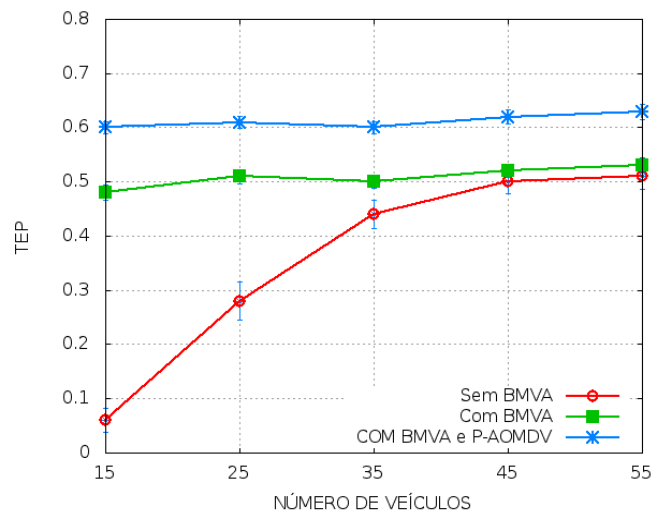


Figura 3. Taxa de entrega dos pacotes de dados.

IV. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o P-AOMDV, um novo protocolo de roteamento que, em conjunto com o BMVA, pode minimizar os efeitos da falta de conectividade e melhorar o desempenho da rede.

O BMVA é uma rede de transporte de dados móvel, formada pelos ônibus expressos da rede de transporte coletivo urbano,

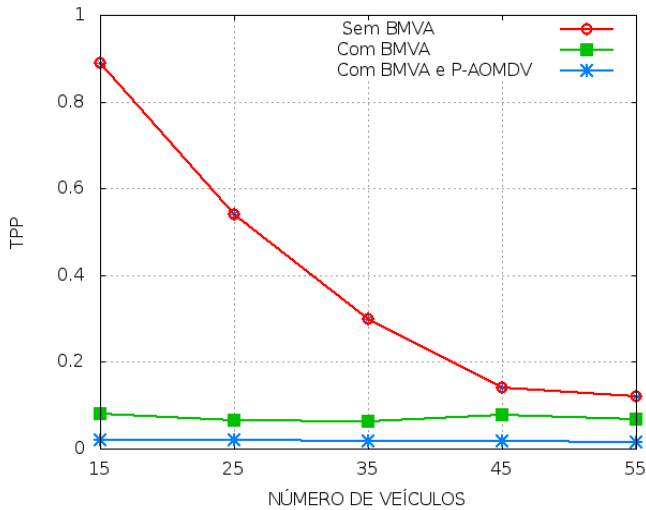


Figura 4. Taxa de perda de pacotes de dados.

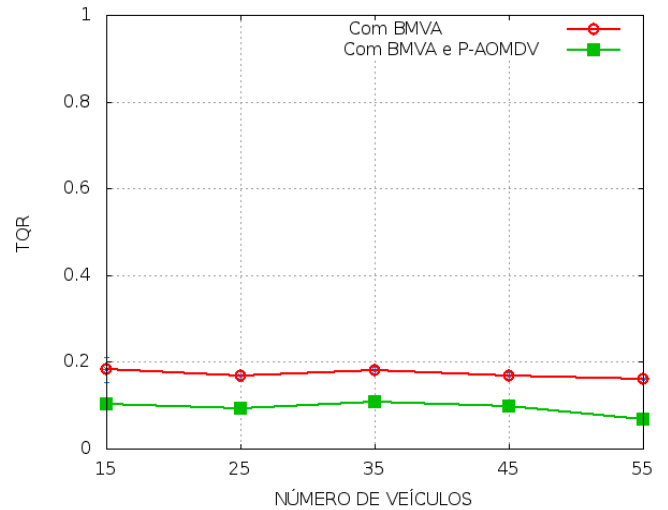


Figura 6. Taxa de quebra de rotas.

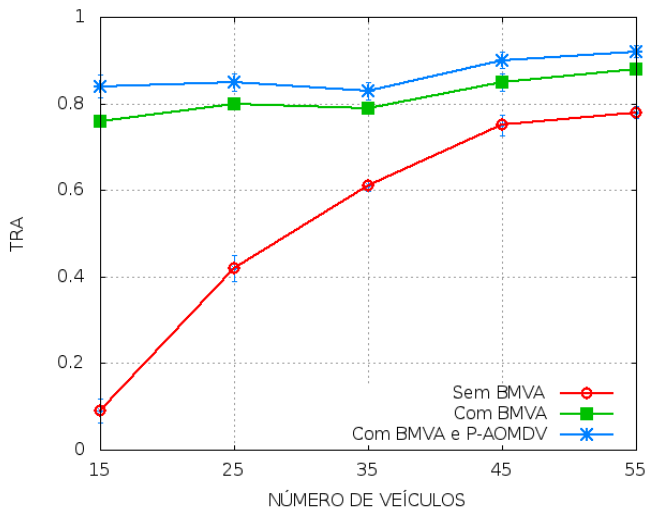


Figura 5. Taxa de rota ativa.

cuja função é prover conectividade e favorecer a troca de mensagens entre os veículos em uma determinada região. O grau de conectividade do BMVA pode atingir medidas superiores a 99%.

O P-AOMDV é um protocolo de roteamento capaz de explorar a conectividade fornecida pelo BMVA, de modo a aumentar o desempenho da rede. Ele foi desenvolvido para atuar em conjunto com o BMVA no momento em que os nós estão descobrindo as rotas, possuindo assim a capacidade de construí-las levando em consideração a quantidade de ônibus expressos que cada uma das rotas possui. Com o P-AOMDV, as mensagens de dados trafegam principalmente por rotas onde a conectividade e a confiabilidade são garantidas.

As simulações de rede mostraram que o conjunto P-AOMDV/BMVA aumenta a taxa de entrega e de rota ativa, bem como diminui a taxa de quebra de rotas e de perda de pacotes de dados, mesmo em ambientes com notável falta de conectividade.

Trabalhos futuros incluem o desenvolvimento e análise de

novos protocolos de roteamento que exploram a conectividade intrínseca fornecida pela rede BMVA.

REFERÊNCIAS

- [1] F. Li, Y. Wang. *Routing in vehicular ad hoc networks: A survey*. IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 2, no. 2, pp. 12-22, 2007.
- [2] F. Santis, D. Malandrino. *QoS-Based Web Service Discovery in Mobile Ad Hoc Networks Using Swarm Strategies*. Journal of Computer Networks and Communications, article ID 450194, 2014.
- [3] V. N. Talooki, K. Ziarati. *Performance Comparison of Routing Protocols For Mobile Ad Hoc Networks*. Asia Pacific Conference. 2006.
- [4] W. Liang, Z. Li, H. Zhang, S. Wang, R. Bie. *Vehicular Ad Hoc Networks: Architectures, Research Issues, Methodologies, Challenges, and Trends*. International Journal of Distributed Sensor Networks, article ID 745303, 2014.
- [5] S. Yousefi, E. Altmaiv, R. El-Azouzi, M. Fathy. *Connectivity in vehicular ad hoc networks in presence wireless mobile base-stations*. Telecommunications. ITST' 07. 7th International Conference on ITS, pp. 1-6, 2007.
- [6] Z. Zheng, P. Sinha, S. Kumar. *Alpha Coverage: Bounding the Interconnection Gap for Vehicular Internet Access*. IEEE INFOCOM, pp. 2831-2835, 2009.
- [7] B. Dorransoro, P. Ruiz, G. Danoy, P. Bouvry, L. Tard. *Towards connectivity improvement in VANETs using bypass links*. Evolutionary Computation on CEC' 09. IEEE Congress, pp. 2201-2208, 2009.
- [8] N. Liu, M. Liu, W. Lou, G. Chen, J. Cao. *PVA in VANETs: Stopped Cars Are Not Silent*. IEEE INFOCOM, pp. 431-435, 2011.
- [9] J. Alves Junior, E. C. G. Wille. *Improving VANETs Connectivity with a Totally Ad Hoc Living Mobile Backbone*. Journal of Computer Networks and Communications, 2015.
- [10] J. Alves Junior, E. C. G. Wille. *Increasing Connectivity in VANETs using Public Transport Backbones*. Latin America Transactions, IEEE, vol. 50, no. 10, pp. 3421-3431, 2015.
- [11] URBS Curitiba. *20 de Junho de 2015*. www.urbs.curitiba.pr.gov.br.
- [12] J. R. Taylor. *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements*. University Science Books, 1997.
- [13] J.W. Harris, H. Stocker. *Handbook of Mathematics and Computational Science*. New York: Springer-Verlag, 1998.
- [14] VanetMobiSim. <http://vanet.eurecom.fr>. Acessado em Junho, 2015.
- [15] K. Marina, R. Samir. *On-Demand Multipath Distance Vector Routing in Ad Hoc Networks*. International Conference on Network Protocols (ICNP), pp. 14-23, 2001.
- [16] The network simulator. <http://www.isi.edu/nsnam>. Acessado em Outubro, 2014.
- [17] T. Jochle, B. Wiedersheim, F. Schaub, M. Weber. *Efficiency analysis of geocast target region specifications for VANET applications*. Vehicular Networking Conference (VNC), IEEE, pp. 250-257, 2012.
- [18] IEEE. *Draft Amendment for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)*, IEEE Std. P802.11p/D3.0, Julho, 2007.