

Uma Avaliação de Desempenho de Modelos de Propagação para Redes Veiculares Urbanas

Gabriel B. A. Orofino¹, Natália C. Fernandes¹, Diogo M. F. Mattos¹, Ricardo C. Carrano¹,
Pedro V. G. Castellanos², Dianne. S. V. Medeiros¹

¹MídiaCom – PPGEET/TET

²Laprop – PPGEET/TET

Universidade Federal Fluminense (UFF)

Resumo— O projeto de redes veiculares requer um conhecimento aprofundado do comportamento do sinal no sistema, permitindo otimizar o desempenho da rede para cenários específicos. Este artigo tem como objetivo analisar a influência dos modelos de propagação no desempenho de uma comunicação veículo para infraestrutura. Para isso, utiliza-se um simulador de redes configurado com base em medidas reais que caracterizam o ambiente de propagação. O desempenho é avaliado através da análise dos atrasos, do tempo de contato e da taxa de entrega de pacotes no sistema. Os resultados mostram que o cenário avaliado é melhor descrito pelo modelo Log-Distância. Além disso, existem diferenças entre os valores de atraso, tempo de contato e taxa de entrega de pacotes obtidos quando o veículo se aproxima e se afasta da unidade de estrada (*Road Side Unit*, RSU). O melhor desempenho é alcançado quando o veículo se aproxima da RSU.

Palavras-Chave— Comunicação V2I, Desempenho, Modelos de propagação, Redes veiculares, Simulação de redes.

Abstract— The design of vehicular networks requires in-depth knowledge of signal behavior in the system, allowing the optimization of the network performance for specific scenario. This paper aims to analyze the influence of propagation models on the performance of a vehicle-to-infrastructure communication. To this end, we use a network simulator which is configured based on real measurements that characterize the propagation environment. Performance is assessed by analyzing the delays, contact time, and packet delivery rate in the system. The results show that the scenario evaluated is best described by the Log-Distance model. In addition, there are differences on the values of delay, contact time and packets delivery rate obtained when the vehicle moves towards and away from the Road Side Unit (RSU). The best performance is reached when the vehicle moves towards the RSU.

Keywords— Network simulation, Performance, Propagation models, V2I communication, Vehicular networks.

I. INTRODUÇÃO

As Redes Ad Hoc Veiculares (*Vehicular Ad Hoc Networks*, VANETs) caracterizam-se pela intensa mobilidade dos veículos e pela complexidade do ambiente de propagação. Devido a essas características, o protocolo padrão para comunicação sem fio IEEE 802.11 não é adequado [1]. Por isso, o padrão IEEE 802.11p foi desenvolvido juntamente com a arquitetura *Wireless Access in Vehicular Environments / Dedicated Short-Range Communications* (WAVE/DSRC). A

Os autores agradecem a Fernando José de Oliveira pelo fornecimento dos dados experimentais utilizados neste artigo. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq, CAPES, FAPERJ e RNP.

implantação de VANETs é especialmente desafiadora devido às desconexões frequentes provocadas pela influência dos mecanismos de propagação presentes no ambiente [2]. No projeto dessas redes é essencial caracterizar o ambiente de propagação, verificando como o sistema se comporta em diversas condições de propagação através de medições em campo, nem sempre viáveis. Nesses casos, ferramentas de simulação são úteis para verificar o comportamento do sistema em diversos ambientes.

São dois os tipos principais de comunicação em redes veiculares: Veículo para Veículo (*Vehicle-to-Vehicle*, V2V) e Veículo para Infraestrutura (*Vehicle-to-Infrastructure*, V2I). Em ambos, o sinal recebido pode ser fortemente influenciado pelas condições do meio de propagação. Os principais fatores que prejudicam a recepção desse sinal são a perda de percurso (*path loss*) e a obstrução do sinal devido aos outros veículos e à própria geografia no caminho entre o transmissor e o receptor [3]. O desenvolvimento de sistemas e protocolos de comunicação adequados ao ambiente veicular é essencial para a implantação das VANETs. Para tanto, é necessário conhecer parâmetros importantes que caracterizam o canal de propagação, que influenciam o tempo de contato entre os usuários [1]. Esse tempo define a janela de comunicação entre os usuários, sendo um parâmetro importante tanto em aplicações de segurança quanto de entretenimento. O tempo de contato varia de acordo com a influência do atraso de propagação inserido pelo canal, da variação do atraso (*jitter*) e da atenuação no percurso, reduzindo o tempo de contato entre eles. O estudo dos parâmetros que caracterizam o canal de propagação através de medições reais e extensivas deve ser estimulado para que se possa determinar seus valores em um ambiente real de propagação, contribuindo para a obtenção de um modelo de canal mais realístico. Com isso, os modelos obtidos podem ser implementados em ferramentas de simulação, que serão usadas para analisar o comportamento do sistema sob diversas condições, a fim de otimizar o desempenho antes da implementação real. Essa avaliação é possível porque a ferramenta de simulação permite ajustar parâmetros dos modelos de propagação de acordo com o cenário desejado.

Este artigo tem como objetivo analisar a influência dos modelos de propagação no desempenho de uma comunicação V2I, utilizando um simulador de redes configurado com base em medidas obtidas a partir de experimentos reais [4]. Essa avaliação é importante porque permite validar os modelos implementados no simulador de redes utilizando dados co-

letados através de medições em campo. São comparados três modelos de propagação comumente utilizados em simulações de redes veiculares [5]: Espaço Livre, Dois Raios e Log-Distância. A influência desses modelos na comunicação V2I é avaliada através da análise do atraso médio entre pacotes, do atraso fim-a-fim no sistema, do tempo de contato, da vazão obtida na comunicação e da taxa de entrega de pacotes. Os resultados preliminares mostram que o modelo Log-Distância apresenta um ajuste levemente melhor para o cenário estudado. Além disso, observa-se que existe uma leve diferença nos desempenhos obtidos na aproximação e no afastamento.

Este artigo está organizado da seguinte forma. A Seção II discute os trabalhos relacionados. A Seção III descreve o problema tratado neste artigo. A Seção IV descreve o cenário no qual as medidas experimentais foram coletadas, e o cenário simulado com base nessas medidas. A análise dos resultados comparativos obtidos na simulação é feita na Seção V. Por fim, a Seção VI conclui este artigo.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

O padrão IEEE 802.11p define os parâmetros de operação da camada física que opera na faixa exclusiva, DSRC. Nos Estados Unidos, a faixa de frequências entre 5,850 GHz e 5,925 GHz é reservada pela *Federal Communications Commission* (FCC) [6]. Já na Europa, a faixa de comunicação reservada em 2008 pelo *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) ocupa a faixa de frequências entre 5,860 GHz e 5,900 GHz. A implantação de sistemas inseridos nesse contexto requer a investigação do comportamento e do desempenho da rede sob as condições impostas pelo paradigma das VANETs. Benin *et al.* [7] comparam diversos modelos de propagação existentes no NS-3, com o objetivo de obter resultados mais realistas nas simulações. Dentre os modelos analisados estão os empíricos, determinísticos e estatísticos, além de modelos de desvanecimento. Galván *et al.* [8] comparam quatro modelos de propagação, Espaço Livre, Dois Raios, Sombreamento Log-Normal e o modelo de Nakagami, em diversos cenários de mobilidade veicular urbana. Para isso são utilizados valores de parâmetros reais aplicados ao mapa da cidade de Curitiba. Onubogu *et al.* [9] apresentam uma caracterização da perda de percurso para comunicações V2V, com base em dados empíricos coletados a partir de uma ampla campanha de medições realizadas em linha de visada (*Line-of-Sight*, LOS), com diferentes densidades de tráfego. O experimento foi conduzido em ambiente de propagação V2V urbano, em uma rodovia, usando a frequência de 5,8 GHz. A partir das medições foram determinados os parâmetros de dois modelos de propagação para o ambiente de teste.

Este artigo difere dos trabalhos citados quando, além de utilizar medições reais para definir os parâmetros de configuração dos modelos de propagação, realiza uma simulação do mesmo ambiente experimental com o objetivo de obter medidas do desempenho de rede. Nenhum dos trabalhos citados analisa a capacidade de transmissão de dados no ambiente estudado.

III. DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

Conhecer o comportamento do sinal em uma determinada faixa de frequências é essencial para planejar sistemas de

TABELA I

MODELOS DE PERDA DE PROPAGAÇÃO E DE DESVANECIMENTO IMPLEMENTADOS NO NS-3.28

Categoria	Modelo
Determinístico	Fixed RSS, Matrix, Log Distance, Friis, Two Ray Ground
Empírico	COST 231
Estatístico	Random
Desvanecimento	Jakes, Nakagami m

comunicação. É fundamental, portanto, caracterizar a perda de percurso no sistema de acordo com o cenário estudado. Para tanto, o canal de propagação é modelado através de modelos já estabelecidos na literatura, com os parâmetros ajustados para o cenário em questão. Os modelos de perda de propagação podem ser classificados como determinísticos, empíricos e estatísticos [7]. Os determinísticos utilizam as equações de Maxwell junto com as leis de óptica geométrica, como reflexão e difração, para determinar a intensidade de campo recebida em um determinado ambiente. Os empíricos são obtidos a partir de experimentos reais nos quais são construídas, ou utilizadas, equações já estabelecidas para reproduzir os dados medidos. Já os modelos estatísticos são fundamentados na análise de probabilidades, tomando como base a contagem do número de sucessos resultantes de um dado número de tentativas. Nesse caso, o ambiente é modelado como uma série de variáveis aleatórias.

Diversos modelos de propagação estão implementados no simulador de redes *Network Simulator 3* (NS-3) [10]. O NS-3 é um simulador de eventos discretos de código aberto, que facilita o estudo de redes e aplicações, permitindo investigar a influência de diversos mecanismos de propagação na comunicação sem fio. É possível, inclusive, combinar diversos modelos de propagação em um mesmo cenário, tornando a simulação mais fiel à realidade. Neste artigo, utiliza-se a versão 3.28, que suporta os modelos de propagação listados na Tabela I.

Os modelos de propagação usados neste artigo são Log-Distância, Espaço livre e Dois Raios. O modelo Log-Distância determina a atenuação média do sinal em função de dois parâmetros. O modelo é definido pela Equação 1 [10], na qual $PL(d)$ é a atenuação resultante, em dB, $P(d_0)$ é a atenuação na distância de referência d_0 , em metros, d é a distância entre as antenas em metros e γ é o expoente que determina o decaimento do sinal com a distância. O coeficiente γ ajuda a determinar o tipo de ambiente de propagação. Nos experimentos deste artigo, utiliza-se $d_0 = 1$ metro e $P(d_0) = -47$ dB (do modelo de Espaço Livre).

$$PL(d) = P(d_0) + 10 \cdot \gamma \cdot \log(d/d_0) \quad (1)$$

O modelo de Espaço Livre é geralmente usado como referência em ambientes com pouca ou nenhuma obstrução. O modelo é definido pela Equação 2, na qual d é a distância entre as antenas, em km, e F é a frequência do sinal, em MHz.

$$PL(d) = 32,44 + 20 \cdot \log(d) + 20 \cdot \log(F) \quad (2)$$

O modelo de Dois Raios é mais adequado para áreas rurais e

com distâncias maiores do que 100 metros [11], sendo definido pela Equação 3 [11].

$$PL(d) = PL(d_0) + 10 \cdot \gamma \cdot \log(d) - 10 \cdot \log|E_T/E_R|^2 \quad (3)$$

O modelo de Dois Raios é baseado na ótica geométrica e leva em consideração um raio direto e um raio refletido no percurso entre o transmissor e receptor. A superposição dos raios direto e refletido na antena receptora resulta em um ganho de intensidade do campo elétrico, representado pela razão E_T/E_R , onde E_T é o campo elétrico total na recepção, composto pelo sinal refletido mais o sinal direto, e E_R é o campo elétrico do sinal direto. Para distâncias longas entre as antenas, isto é, $d \gg h_t, h_r$, onde h_t é a altura da antena transmissora e h_r é a altura da antena receptora, a razão E_T/E_R pode ser aproximada por:

$$\frac{E_T}{E_R} = 2 \cdot \text{sen} \left(\frac{2\pi \cdot h_t \cdot h_r}{\lambda_c \cdot d} \right),$$

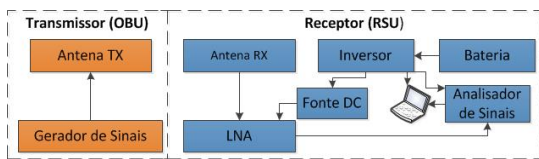
onde λ_c é o comprimento de onda do sinal transmitido.

IV. CONFIGURAÇÃO DO AMBIENTE DE MEDIÇÃO

Em VANETs, os veículos móveis possuem Unidades de Bordo (*On-Board Units*, OBUs) que se comunicam umas com as outras, dando origem ao paradigma de comunicação V2V. As OBUs também podem se comunicar com Unidades de Estrada (*Road-Side Units*, RSUs) estacionárias, formando o paradigma V2I. Este artigo foca apenas no ambiente V2I.

A. Cenário Real

A configuração de medição utilizada para coletar as medidas de potência está esquematizada na Figura 1(a). O sinal foi gerado por um gerador de sinais modelo MG3700A da Anritsu, e as antenas utilizadas na transmissão e na recepção são omnidirecionais, modelo ANT2547V-N da Anritsu com 7



(a) Esquema do cenário experimental para obtenção das medições reais.



(b) Mapa do cenário V2I, vista de cima.

Fig. 1. Configuração do cenário estudado. (a) Interação entre os equipamentos utilizados no cenário experimental. (b) Trajeto percorrido no cenário experimental, refletido de forma equivalente pela simulação realizada.

TABELA II
PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÃO DA SIMULAÇÃO

Parâmetro	Especificação
Versão do NS-3	3.28
Distância percorrida pelos veículos	225 metros
Velocidade média	30 km/h
Tempo de simulação	30 segundos
Tipo de tráfego	UDP
Tamanho do pacote de dados	256 Bytes
Taxa de Transmissão	170,666 kb/s
Modelos de propagação	Espaço Livre, Dois Raios, Log-Distância
Modulação	OFDM
Protocolo de camada de enlace	IEEE 802.11p
Frequência do sinal transmitido	5,850 GHz
Tipo de cenário	Urbano veicular

dBi de ganho. A potência efetiva irradiada pelo transmissor é de 16 dBm. Na recepção, utiliza-se um analisador de sinais modelo MS2692A, também da Anritsu, conectado a um computador para realizar o armazenamento dos dados. As medidas são coletadas em um trecho de 225 metros ao longo de uma estrada em linha reta, conforme ilustrado na Figura 1(b). A antena transmissora faz o papel de RSU e está fixada a 5 metros [12] de altura, aproximadamente no centro do trecho de 225 metros. A antena receptora está a uma altura de 1,5 metros acima do solo, instalada no teto de um veículo que se movimenta ao longo do trecho de 225 metros. Os equipamentos de recepção foram instalados no interior do veículo e alimentados através de bateria e inversor de corrente.

B. Cenário Simulado

O ambiente de medição real foi simulado usando o NS-3 com o objetivo de verificar o desempenho do sistema em termos de vazão e taxa de entrega de pacotes. A dinâmica do cenário é descrita em um arquivo de mobilidade fornecido como entrada para o NS-3, que o utiliza como modelo de mobilidade. Nesse arquivo, define-se o nó fixo e sua posição, representando uma RSU, e um nó móvel, que representa a OBU, conforme representado na Figura 1(b). A Tabela II mostra os parâmetros de configuração da simulação.

O NS-3 permite configurar diversos parâmetros de entrada para tornar a simulação mais realística. Um desses parâmetros é a sensibilidade do receptor, P_{th} , que define o limiar de potência para determinar se um pacote é recebido com êxito pela camada física do dispositivo. A potência de recepção do sinal é calculada como $P_r = P_t - P_L$, em que P_t é a potência de transmissão e P_L é a perda de propagação. Assim, se $P_r < P_{th}$, o sinal é interpretado como ruído e os bits do pacote não são recebidos. No cenário simulado, a potência de transmissão é configurada em 16 dBm e o limiar de sensibilidade, em -75 dBm. Esses valores são provenientes das medições em campo, em que a sensibilidade do receptor foi limitada em -75 dBm. Note que, se $PL > 91$ dB, o receptor não detecta o sinal recebido.

V. RESULTADOS

Essa seção apresenta os resultados obtidos em um cenário V2I real, comparados ao mesmo cenário V2I simulado. Primeiramente, compara-se o perfil de atenuação obtido na

simulação com o perfil de atenuação obtido a partir das medições reais. Em seguida, avalia-se a taxa de entrega de pacotes, vazão do sistema, atraso fim-a-fim e o tempo de contato obtidos para cada modelo de propagação utilizado.

A. Perfil de atenuação

Os parâmetros dos modelos Log-Distância, Dois Raios e Espaço Livre foram ajustados a partir das medições em campo [4]. Esse ajuste é feito individualmente para cada modelo para encontrar os coeficientes de decaimento, γ , adequados que apresentem o menores raízes quadradas dos erros quadráticos médios (*Root Mean Square Error*, RMSE). Tanto os coeficientes γ quanto os valores RMSE, para o afastamento e aproximação são mostrados na Tabela III. Observa-se que, para todos os modelos, o valor do coeficiente de decaimento para Espaço Livre é $\gamma = 2$. Isso ocorre devido às condições de propagação em visada direta.

A Figura 2 mostra uma comparação entre as medições reais e os resultados obtidos para o perfil de atenuação utilizando os modelos de Espaço Livre, Dois Raios e Log-Distância conforme implementados no NS-3. Considera-se que a RSU está localizada em $x = 0$, de forma que o veículo se aproxima da RSU à medida em que x se torna menos negativo, e se afasta da RSU à medida em que x se torna mais positivo. Na Tabela III apresenta-se o valor de erro e os valores do parâmetro de decaimento utilizados na simulação. Na maior parte do tempo o comportamento do modelo Log-Distância acompanha com menor erro o comportamento dos dados experimentais. O modelo de Dois Raios implementado no NS-3 não utiliza a Equação 3, mas sim a equação aproximada:

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r (H_t H_r)^2}{L d^4},$$

onde G_t e G_r são os ganhos de potência das antenas transmissora e receptora, respectivamente, e L é o coeficiente da perda do sistema. Essa equação não possui a amortização referente à diferença de fase entre o raio direto e ao raio refletido, afetando diretamente no resultado final do respectivo perfil de atenuação. Essa diferença se perpetua mais visivelmente para pequenas distâncias [13]. O NS-3 explicita que o modelo de Dois Raios não fornece um bom resultado para curtas distâncias devido à oscilação causada pela combinação dos raios direto e refletido, podendo essa combinação ser construtiva ou destrutiva. Em vez disso para curtas distâncias se utiliza o modelo de Espaço Livre. O limiar que define qual modelo de fato será utilizado para a perda de percurso no NS-3 é denominado distância de cruzamento, d_{cross} (Equação 4), abaixo

da qual se utiliza o modelo de Espaço Livre. Na Equação 4, λ é calculado como c/f , onde $c = 299.792,458$ m/s é a velocidade da luz no vácuo, e f é a frequência, em Hz, do sinal.

$$d_{cross} = \frac{4\pi H_t H_r}{\lambda} \quad (4)$$

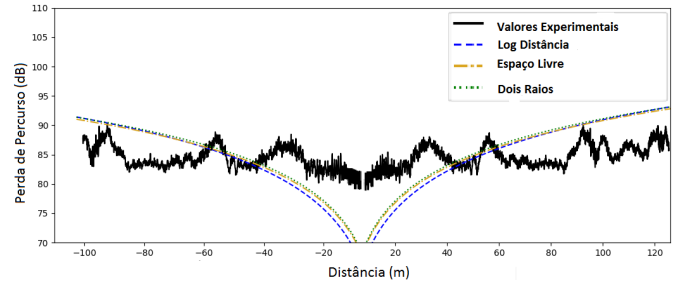


Fig. 2. Comparação do perfil de atenuação obtido nos experimentos reais e na simulação realizada no NS-3, tanto para afastamento quanto para aproximação em relação à RSU. O modelo que apresenta menor erro em relação aos valores medidos é o Log-Distância.

B. Vazão do sistema e taxa de entrega de pacotes

A vazão e a taxa de entrega de pacotes (*Packet Delivery Ratio*, PDR) são influenciadas pela atenuação sofrida pelo sinal. A vazão para cada modelo de propagação é mostrada na Figura 3 e a PDR é mostrada na Figura 4. Observa-se na Figura 3 que a maior vazão é obtida considerando-se o modelo de Espaço Livre. Isso ocorre porque esse modelo é o que apresenta a menor atenuação. No entanto, essa diferença entre os modelos é muito pequena. O perfil de atenuação de cada modelo no afastamento e na aproximação são ligeiramente distintos, e isso influencia diretamente no comportamento da PDR. Assim, apesar de todos os modelos resultarem em uma PDR idêntica na maior parte do percurso, como mostra a Figura 4, a partir de aproximadamente 100 m da RSU na região de afastamento o modelo de Espaço Livre apresenta vazão ligeiramente maior. Logo, a vazão total para o modelo de Espaço Livre é ligeiramente maior. Ainda, observa-se na Figura 4, que à medida em que o veículo se aproxima da RSU, a taxa de entrega de pacotes cresce, sem nunca chegar a 100% para o cenário avaliado devido às interferências existentes na comunicação sem fio. Essa figura mostra também que ao se afastar da RSU, o comportamento da PDR muda completamente, apresentando um decaimento acentuado, a partir de aproximadamente 100 m da RSU.

C. Atrasos e tempo de contato

O atraso médio para todos os modelos analisados é semelhante, pois na configuração da simulação utiliza-se um atraso de propagação constante, que se torna a parcela dominante nesse cálculo. O atraso médio é calculado como a média das diferenças entre o tempo de envio do pacote pelo veículo e da recepção pela RSU. Na aproximação o atraso médio de cada modelo é de $1,3 \mu s$. Já para o afastamento, os atrasos médios são iguais a $241,1 \mu s$, $240,9 \mu s$, e $241,0 \mu s$, para os modelos

TABELA III

RMSE E COEFICIENTE DE DECAIMENTO PARA AFASTAMENTO E APROXIMAÇÃO EM RELAÇÃO À RSU.

Modelo de perda de percurso	Afastamento		Aproximação	
	RMSE	γ	RMSE	γ
Espaço Livre	5,281	2	5,432	2
Dois Raios	4,754	2,15	5,126	2,161
Log-Distância	4,742	2,197	5,032	2,208

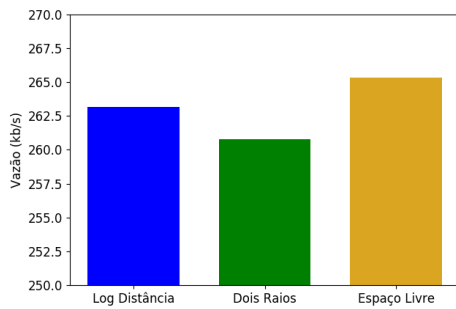


Fig. 3. Comparação entre os valores da vazão total usando cada modelo de propagação. O modelo de Espaço Livre é o que permite alcançar a maior vazão.

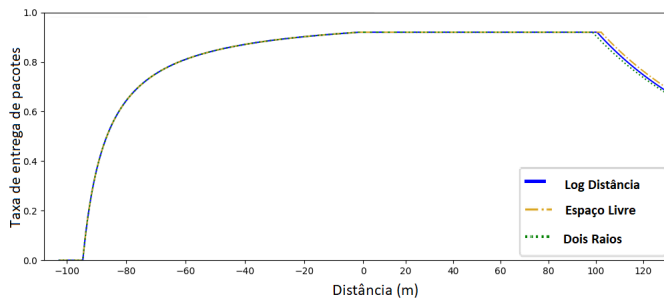


Fig. 4. Comparação entre os valores de taxa de entrega de pacotes em relação à distância usando cada modelo de propagação. O comportamento é semelhante para todos os modelos, exceto após ultrapassar uma determinada distância de afastamento.

de Dois Raios, Espaço Livre e Log-Distância, respectivamente. O atraso fim-a-fim é calculado como o intervalo de tempo desde a transmissão do primeiro pacote até a recepção do último pacote. No cenário simulado, esse atraso é igual a 204 ms, 432 ms e 228 ms para os modelos de Espaço Livre, Log-Distância, e Dois Raios, respectivamente. O tempo de contato médio entre veículo e RSU é elevado, mas apresenta pequena variação entre os modelos e entre o afastamento e a aproximação. Na aproximação, o tempo de contato é igual a 12,0 s para todos os modelos, enquanto que no afastamento os tempos de contato são iguais a 11,0 s, 11,4 s e 11,2 s para os modelos de Dois Raios, Espaço Livre e Log-Distância, respectivamente. A análise dos atrasos e tempo de contato mostra que é mais interessante para a aplicação o envio de dados durante a aproximação, uma vez que os atrasos são menores e o tempo de contato é ligeiramente maior.

VI. CONCLUSÃO

Este artigo avaliou a influência de modelos de propagação importantes, configurados com parâmetros realísticos, na vazão, taxa de entrega de pacotes, atraso fim-a-fim e tempo de contato entre veículo e infraestrutura. Os parâmetros dos modelos de propagação foram obtidos a partir de medições experimentais. Já as medidas de vazão, taxa de entrega de pacotes, atraso fim-a-fim e tempo de contato foram obtidas usando o Network Simulator 3 para simular o cenário experimental usado para obter medições reais da atenuação do sinal recebido em um ambiente de comunicação V2I. O modelo de

propagação que apresenta o menor erro em relação às medidas reais é o Log-Distância. O modelo Log-Distância apresenta um ajuste levemente melhor do que o de Espaço Livre e de Dois Raios. No entanto, é necessário realizar mais medições experimentais e testar outros modelos de propagação para obter um resultado mais expressivo. O modelo de Espaço Livre, por apresentar as menores perdas, apresenta os melhores resultados em relação à vazão, taxa de entrega de pacotes, atrasos e tempo de contato. Espera-se que ao realizar o experimento real para coletar medidas quanto à capacidade de transmissão de dados nesse cenário, os valores sejam mais próximos aos resultados encontrados na simulação que utiliza o modelo Log-Distância. Além do experimento real para medições de rede, prevê-se como trabalhos futuros a comparação com outros modelos de propagação, inclusive realizando uma combinação entre os modelos, e a ampliação da análise para um sistema V2V com mais veículos participantes na rede.

REFERÊNCIAS

- [1] D. S. V. Medeiros, D. A. B. Hernandez, M. E. M. Campista, and A. de Castro P. Pedroza, "Impact of relative speed on node vicinity dynamics in vanets," *Wireless Networks*, vol. 25, no. 4, pp. 1895–1912, May 2019.
- [2] I. p Working Group *et al.*, "Ieee standard for information technology-local and metropolitan area networks-specific requirements-part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications amendment 6: Wireless access in vehicular environments," *IEEE Std; IEEE: Piscataway, NJ, USA*, 2010.
- [3] M. Stoffers and G. Riley, "Comparing the ns-3 propagation models," in *2012 IEEE 20th International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems*, Aug 2012, pp. 61–67.
- [4] F. J. Oliveira, P. V. G. Castellanos, L. J. Matos, W. D. T. Meza, and L. A. R. Silva Mello, "Channel characterization on vehicle to infrastructure scenarios in 5.8 ghz," in *2018 IEEE MTT-S Latin America Microwave Conference (LAMC 2018)*, Dec 2018, pp. 1–3.
- [5] W. F. A. Galván *et al.*, "Estudo do impacto dos modelos de propagação no desempenho de protocolos ad hoc em um ambiente vanet urbano," Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.
- [6] S. H. Cheng, H. T. and W. Zhuang, "Infotainment and road safety service support in vehicular networking: From a communication perspective. mechanical systems and signal processing," in *Mechanical Systems and Signal Processing. Interdisciplinary Aspects of Vehicle Dynamics*, 2010, pp. 2020 – 2038.
- [7] J. Benin, M. Nowatkowski, and H. L. Owen, "Vehicular network simulation propagation loss model parameter standardization in ns-3 and beyond," *2012 Proceedings of IEEE Southeastcon*, pp. 1–5, 2012.
- [8] W. Galván and A. Fonseca, "O impacto dos modelos de propagação nos protocolos de roteamento para redes veiculares urbanas," *XXXIV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações-SBrT*, pp. 1–5, 2016.
- [9] O. Onubogu, K. Ziri-Castro, D. Jayalath, K. Ansari, and H. Suzuki, "Empirical vehicle-to-vehicle pathloss modeling in highway, suburban and urban environments at 5.8 ghz," in *2014 8th International Conference on Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS)*, Dec 2014, pp. 1–6.
- [10] "NS-3," Disponível em <https://www.nsnam.org/>, acessado em 12/2/2018.
- [11] M. Sepulcre, J. Gozalvez, B. Coll-Perales, M. C. Lucas-Estañ, and J. R. Gisbert, "Empirical performance models for v2v communications," in *2015 IEEE International Conference on Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing*, Oct 2015, pp. 737–742.
- [12] E. Green and M. Hata, "Microcellular propagation measurements in an urban environment," in *IEEE International Symposium On Personal, Indoor And Mobile Radio Communications*, Sep. 1991, pp. 324–328.
- [13] J. D. Parsons, *The mobile radio propagation channel*. Wiley Online Library, 2000.