Ajustes Alternativos para Perdas de Percurso em Sondagem Urbana na Faixa de 3,5 GHz

Talita A. S. Castro, Fábio J. B. Fonseca, Tadeu N. Ferreira, Vinícius N. H. Silva, Leni J. de Matos, Pedro V. Gonzalez Castellanos

***Resumo*— Este artigo propõe ajustes alternativos de modelos de perda de percurso para a faixa de 3,5 GHz num cenário V2I para o 5G. Os dados utilizados são provenientes de uma campanha de medições para Mobile WiMAX, num cenário totalmente compatível com V2I para o 5G. É utilizado um ajuste polinomial e que gera a proposta de um modelo matemático para a perda de percurso. A equação de perda no percurso mostra-se mais ajustada quando um ajuste polinomial de terceira ordem é aplicado na equação do modelo log-distância.**

***Palavras-Chave*— 5G, perda de percurso, radiopropagação, V2I.**

***Abstract*— This article proposes alternative fitting for path loss models at 3.5 GHz in a V2I scenario for 5G. The data used here belong to a measurement campaign for Mobile WiMAX characterization, however, the scenario is plainly compatible to a V2I setup for 5G. A polynomial fitting is used, which generates a mathematical model for path loss. New models are more adapted to data when a third-order polynomial term is applied to the log-distance model.**

***Keywords*— 5G, path loss, radiopropagation, V2I.**

I. Introdução

O espectro de frequências nas faixas até 2,5 GHz vem sendo cada vez mais ocupado por diversas aplicações móveis [1], [2]. Bandas de frequências mais altas, em geral, são evitadas pela maior atenuação, e, portanto, menor cobertura numa dada região [3]. A faixa de 3,5 GHz passou a se popularizar, comercialmente, em aplicações como o Mobile WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), que foi cogitado para ser o padrão dominante na quarta geração (4G) de telefonia móvel [1], [2].

A quinta geração (5G) de sistemas móveis utiliza a faixa até 6 GHz promovendo compatibilidade com as gerações anteriores de sistemas móveis. A faixa de 3,5 GHz deve ser autorizada pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) para ser utilizada pelos sistemas 5G. Dentro dos sistemas 5G é coberta a comunicação entre veículos e infraestrutura (V2I) [9]. Devido ao alto grau de mobilidade, canais V2I apresentam modelos um pouco mais complexos que no caso das aplicações celulares.

Em [1], [2] é descrita uma campanha de medições voltada para a transmissão em 3,5 GHz. Neste artigo, propomos novos ajustes no modelo log-distância agora à luz da utilização da mesma faixa de frequências num cenário V2I dentro do 5G, que se encaixa com o cenário original de medições.

T. A. S. Castro, F. J. B. Fonseca, T. N. Ferreira, V. N. H. Silva, L. J. Matos, P. V. G. Castellanos, Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, e-mail: [talitaalmeida, fabiojbf, tadeu_ferreira, viniciusnhs, lenijm, pcastellanos]@id.uff.br

Transmissões em V2I e também de veículo-para-veículo (V2V) em geral são padronizadas para 5,85 GHz [9], [10]. Para o caso V2V, isso é bastante adequado pelo pouco alcance desejado e pelos requisitos de não-interferência entre transmissões, o que é adequado a faixas mais altas de frequência. A possibilidade de uso de 3,5 GHz são mais adequadas ao uso em V2I, onde a distância entre veículo e infraestrutura pode requisitar uma cobertura numa área maior. Além disso, pela grande compatibilidade promovida pelo 5G com outros padrões, há a possibilidade de um acesso V2I por uma rede Mobile WiMAX em 3,5 GHz para alcançar uma rede 5G [11].

O objetivo deste artigo é apresentar um ajuste polinomial para perda de percurso com base em [4]-[8], utilizando os dados de campanhas de medição descritas em [1], [2]. Além disso, é proposto também um modelo para perda de percurso para o ambiente em questão a partir dos parâmetros obtidos no ajuste polinomial de terceira ordem realizado. Nesse contexto, a Seção II apresenta conceitos relacionados à perda de percurso. Na Seção III, é descrita a campanha de medições onde foram adquiridos os dados usados no processamento e a modelagem proposta de propagação, que é mostrada na Seção IV. Por fim, a Seção V apresenta as conclusões do artigo.

II. Perda de Percurso

A transmissão de um sinal em um sistema celular envolve a utilização de um meio de transmissão sem fio. Essa transmissão é suscetível a interferências de fontes diversas de sinal eletromagnético, de outros usuários e de distorções no próprio sinal de transmissão, provenientes da presença de obstáculos e de reflexões do sinal interferindo com o sinal original [3]. Em geral, o sinal transmitido é modelado com uma atenuação com caracterização estastística, em geral denominada desvanecimento. O desvanecimento é denominado como desvanecimento de larga escala ao longo de distâncias em ordem de grandeza maiores que o comprimento de onda central transmitido [12].

Para uma trasmissão omnidirecional em espaço livre, onde não há reflexões a perda de percurso ocorre pela dispersão da onda transmitida, onde apenas uma fração da potência chega ao receptor. Nesse caso, a potência no receptor, em dBm, em função da distância é dada por [3]:

$$P(d) = P_0 + 20\log(d/d_0), \tag{1}$$

onde P_0 é a potência medida numa distância d_0 na região de campo distante do transmissor. No caso de um ambiente mais

genérico, com obstáculos e reflexões, Eq. (1) é modificada para:

$$P(d) = P_0 + 10n\log(d/d_0), \qquad (2)$$

onde n é conhecido como coeficiente de perda de percurso. Quanto maior o valor de n, maior é a perda de potência para uma dada distância, ou seja, mais hostil é o ambiente para o sinal transmitido.

O modelo expresso em (2) é denominado modelo log-distância. Esse modelo é um modelo básico, que pode ser usado para uma grande variedade de frequências e concentra as perdas no parâmetro n. Modificações no modelo log-distância são válidas para situações específicas, como em [4]-[8]. Em [1], [2] é utilizado como modelo básico para a modelagem de perda de percurso, e, portanto, também será nosso ponto de partida neste artigo para as propostas na Seção IV.

Os parâmetros P_0 e n a serem extraídos do meio para a perda de percurso, em uma certa frequência, podem ser obtidos a partir de técnicas de sondagem em faixa estreita [1], [2], nas quais uma senoide em onda contínua é transmitida e a recepção é observada numa faixa curta de frequências. A sondagem realizada neste trabalho é de faixa estreita, cuja definição e diferenças para sondagem em faixa larga podem ser vistos em [13].

III. Campanha de Medições

A campanha de medições é descrita em [1], [2] e resumida aqui. Uma antena transmissora foi colocada no prédio da reitoria da Universidade Federal Fluminense (UFF) no bairro de Icaraí, Niterói (RJ). A antena utilizada é uma antena setorial painel Hyperlink HG3515P-120 com polarização vertical e abertura horizontal de 120^o, com banda entre 3,4 GHz e 3,7 GHz. Na vertical, a antena é bastante diretiva, com abertura de 3^o. Essa antena é conectada a um amplificador de 37,5 dB, recebendo o sinal a ser transmitido de um gerador vetorial de sinal Anritsu MG3700A. É enviado um sinal de onda contínua de forma a se realizar uma sondagem em faixa estreita [3]. O cenário e as rotas estão representadas na Fig. 1 [1].

O receptor se localizava em um carro que percorreu as ruas de Icaraí, de acordo com as rotas que estão representadas na Fig. 1. Note que as rotas 1 e 3 apresentam um caráter longitudinal em relação à fonte, isto é, claramente de aproximação ou afastamento da fonte, enquanto as rotas 2 e 4 apresentam componentes tanto longitudinais quanto transversais. No entanto, como é visto em [1], o comportamento do canal nas rotas 1 e 3 também sofrem influência principalmente da altura dos prédios ao redor.

A recepção é feita a partir de uma antena omnidirecional Rubber Duck ligado na bateria de um Fiat Uno adaptado com alternador de corrente de 55 A e inversor de tensão de 800 W. Essa antena é conectada a um amplificador de baixo ruído de 30 dB de ganho que entregava o sinal para o analisador de sinais Anritsu Signature MS2781B [1]. Acoplado ao receptor há um localizador por GPS (*Global Positioning System*) a fim de permitir uma marcação mais precisa do espaço percorrido para cada medida. A alimentação contava com um inversor de tensão de 800 W, além da bateria do carro. Uma foto do posicionamento da antena de recepção em cima do carro está mostrada na Fig. 2.

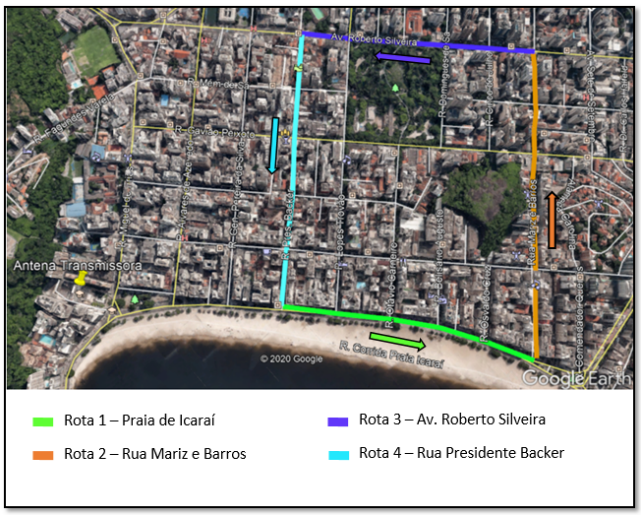

Fig. 1. Rotas da campanha de medições no bairro de Icaraí, na cidade de Niterói.

Fig. 2. Posicionamento da antena de recepção no teto do carro.

IV. Modelagem Proposta de Perda de Percurso

A partir da análise de dados feita em [1], [2], é feito um ajuste de reta para o modelo de perda de percurso com desvanecimento log-distância. No entanto, ao se observar os dados, nota-se que há uma diferença visual nos dados em relação à reta de melhor ajuste segundo os critérios *least-squares* (LS).

A. Ajustes para Perda de Percurso

Em [4], [5], [6], são mostrados modelos com múltiplas inclinações no desvanecimento log-distância, com vários pontos de *breakdown*, isto é, de mudança no coeficiente de perda de percurso. De início, tentou-se essa abordagem para os dados obtidos, como mostrado nas Figs. 3, 4 e 5.

As rotas 2 e 4 foram as que mais se beneficiaram de um ajuste com mudança repentina no coeficiente de perda de percurso. Essas rotas têm a característica de apresentarem

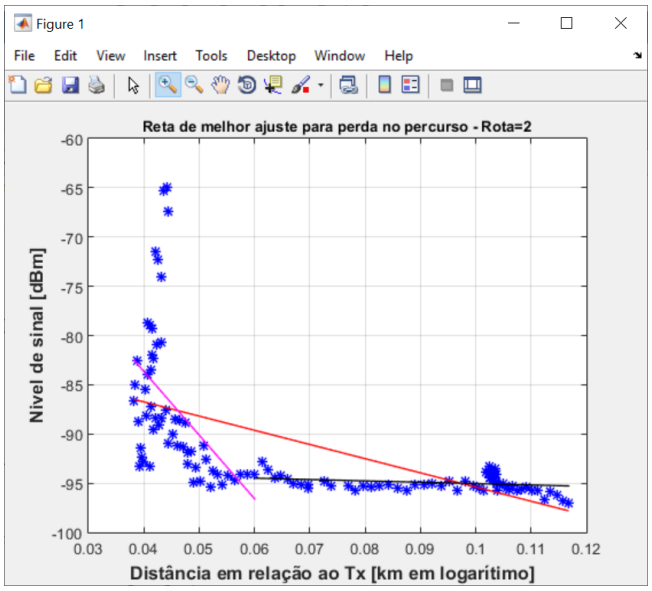

Fig. 3. Ajuste alternativo de perda de percurso para a rota 2, na Rua Mariz e Barros.

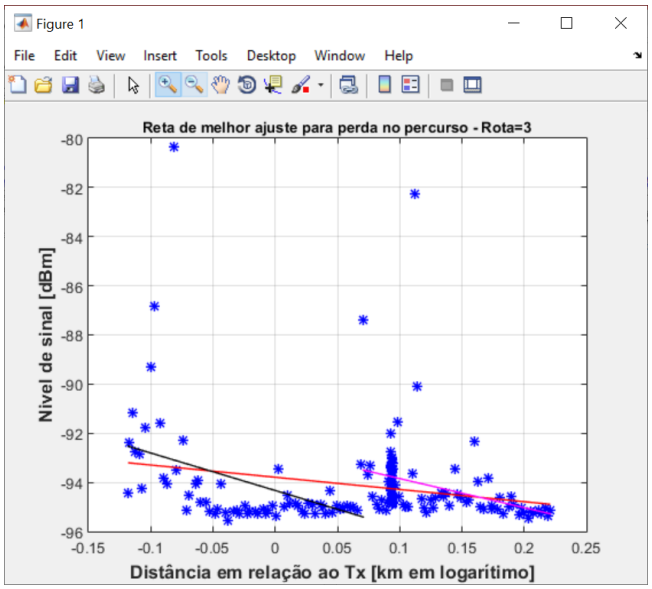

Fig. 4. Ajuste alternativo de perda de percurso para a rota 3, na Av. Roberto Silveira.

um componente transversal no caminho, o que pode causar eventuais obstáculos para a visada direta do móvel.

Como se pode observar, o ajuste em duas retas mostra-se superior nos trechos das Figs. 3, 4 e 5, porém ainda com uma deficiência no rastreamento dos dados. Uma dificuldade extra foi a definição do ponto de quebra, onde é mudada a inclinação da reta. Esse parâmetro acabou sendo definido empiricamente, sendo a otimização do *fitting* feita apenas quanto à inclinação das semi-retas. No entanto, observa-se que o ponto de quebra de cada rota está de acordo com o momento onde há uma grande mudança de inclinação no ajuste polinomial. A Tabela I resume os resultados do coeficiente de perda de percurso com duas semi-retas.

Uma modelagem alternativa seria utilizar o conhecido mo-

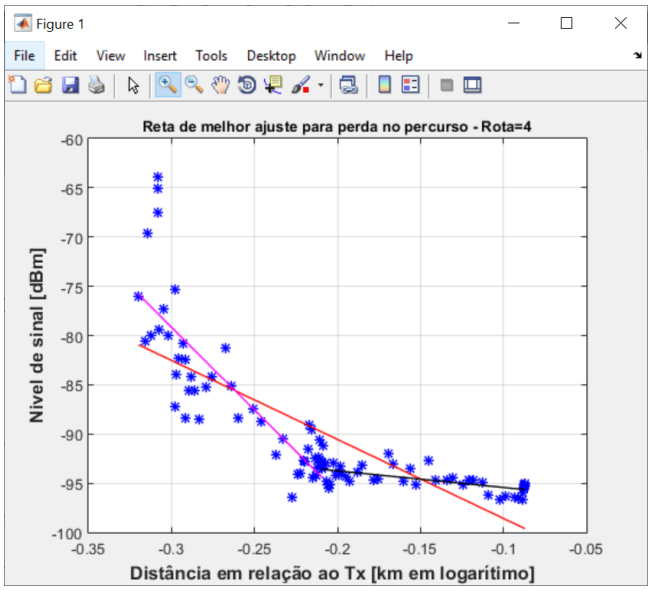

Fig. 5. Ajuste alternativo de perda de percurso para a rota 4, na Rua Presidente Backer.

delo de sombreamento log-normal [3]. No entanto, devido ao espalhamento dos dados, haveria a necessidade de modelar o sombreamento com alta variância, o que prejudicaria o termo de log-distância dentro desse modelo. Por outro lado, a ideia do sombreamento evita algumas dificuldades de ajuste para alguns pontos específicos de medição, onde há uma maior variância nos dados. Essa ideia será retomada na nossa modelagem.

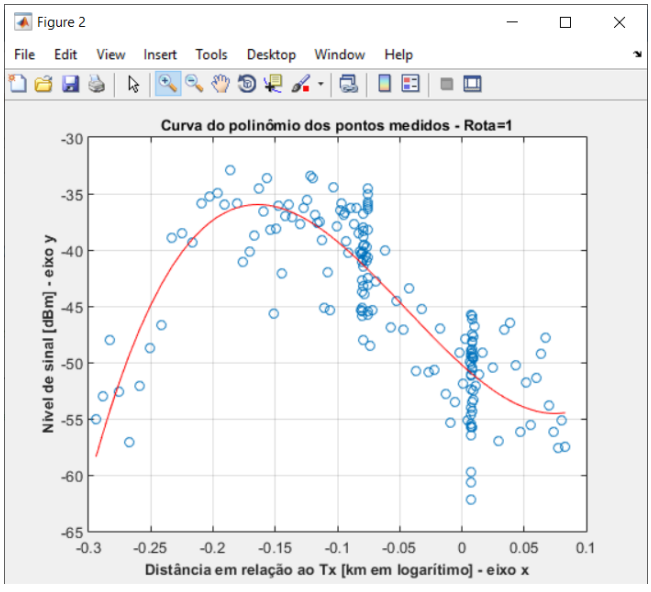

Fig. 6. Ajuste polinomial de perda de percurso para a rota 1, na Praia de Icaraí.

A rota 1 é predominantemente longitudinal em relação ao transmissor. Com isso, deveria apresentar os dados mais próximos ao modelo de log-distância. No entanto, como já apresentado em [1], [2], há uma certa variação nas alturas dos prédios na orla, o que gera ocasionais modificações nos

obstáculos até o transmissor. Como pode ser visto na Fig. 6, há um crescimento inicial da potência em relação à distância, o que pode ser causado por algum sombreamento. Um polinômio do terceiro grau consegue rastrear melhor essa subida e depois a descida do que a reta no log-distância.

TABELA I

COEFICIENTES DE PERDA DE PERCURSO NO AJUSTE DAS RETAS EM DUAS ROTAS.

	Coeficiente de Perda de Percurso	
Rota	Parte 1	Parte 2
2-Mariz e Barros	6,46	0,13
4-Presidente Backer	1,67	0,17

Verifica-se que a parte inicial nos dois casos apresenta um desvanecimento forte, seguido de um desvanecimento com pouca variação, o que não retrata o ambiente em questão com exatidão. Buscou-se uma outra abordagem baseada em [7], [8]. O ajuste pode ser feito a partir de polinômios, em geral usando-se até polinômios de terceiro grau, como em [7], [8]. Esse ajuste polinomial é mostrado nas Figs. 7, 8 e 9 para as rotas 2, 3 e 4, respectivamente.

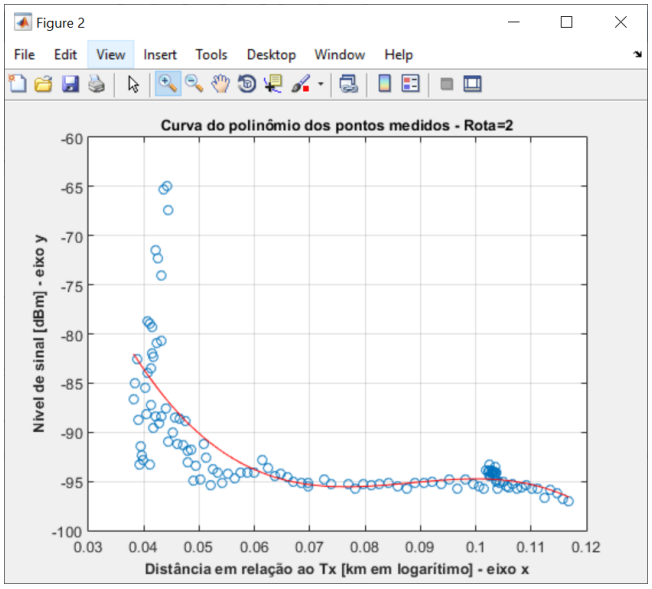

Fig. 7. Ajuste polinomial de perda de percurso para a rota 2, na Rua Mariz e Barros.

Observa-se o melhor rastreamento polinomial dos dados nas Figs. 7, 8 e 9 em comparação com a reta original do modelo log-distância, o que ocorre devido ao maior número de graus de liberdade do polinômio. Ainda assim, há a presença de *outliers* que não são satisfatoriamente modelados nem pelo log-distância nem pelo ajuste polinomial, e que posteriormente serão tratados na Eq. 4.

Na Tabela II são mostrados os polinômios utilizados no ajuste das curvas. Verifica-se que os termos predominantes são os termos que multiplicam x^3 e x^2, onde x representa $\log(d/d_0)$. Nesse caso, o modelo fornece uma perda de percurso proporcional a $\alpha(\log(d/d_0))^3+\beta(\log(d/d_0))^2$, onde, pelo nosso ajuste, $|\alpha| > |\beta|$.

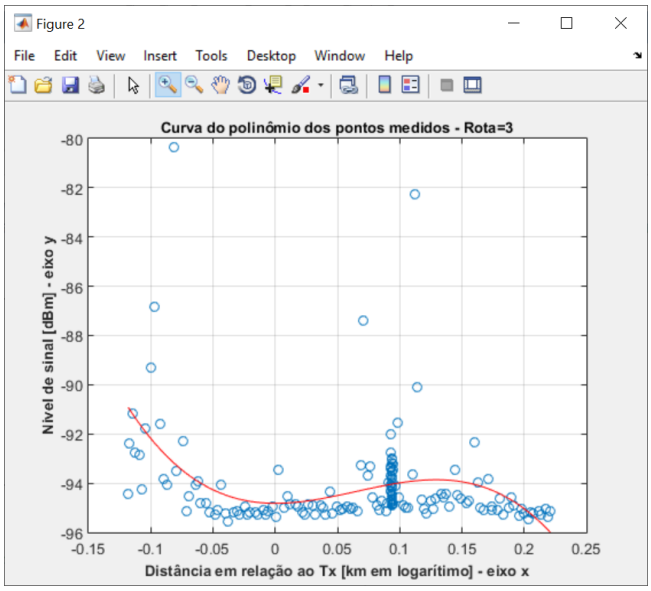

Fig. 8. Ajuste polinomial de perda de percurso para a rota 3, na Av. Roberto Silveira.

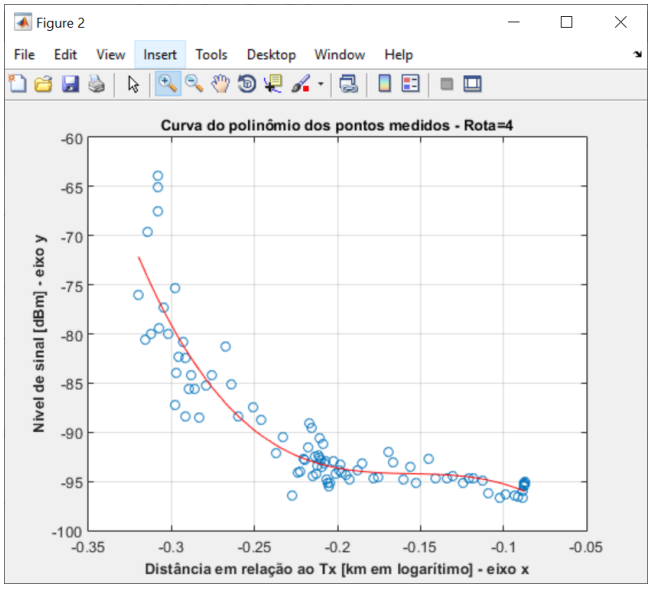

Fig. 9. Ajuste polinomial de perda de percurso para a rota 4, na Rua Presidente Backer.

B. Modelagem Proposta

A partir do que é visto na Tabela II, podemos aproximadamente chegar a um modelo para os dados em que:

$$P = P_0 + 10n'(1 + \log(d/d_0)), \tag{3}$$

onde $n' = n(\log(d/d_0))^2$ é um coeficiente de perda de percurso dependente da distância, o que se aproxima do descrito em [7], [8]. Nota-se a semelhança entre as Eqs. (2) e (3) com a diferença na dependência do coeficiente de perda de percurso para a distância no modelo da Eq. (3) e a presença de uma soma. Nem todas as rotas apresentam dados que estão totalmente ajustados ao polinômio de terceiro grau, como visto na Fig. 6. Por isso, podemos definir uma perda de percurso com um termo de sombreamento, como no modelo

TABELA II
POLINÔMIOS UTILIZADOS NO AJUSTE DAS CURVAS EM TRÊS DAS ROTAS.

Rota	Polinômio
2-Mariz e Barros	$10^5(-1,25x^3+0,33x^2-0,030x-0,0001)$
3-Roberto Silveira	$-891,29x^3+173,32x^2-0.105x-94,82$
4-Pres. Backer	$10^3(-4,86x^3-2,27x^2-0,36x-0,11)$

log-normal [3]:

$$P = P_0 + 10n'(1+\log(d/d_0)) + \chi, \quad (4)$$

onde o termo de sombreamento χ apresenta uma variável aleatória com distribuição gaussiana.

A proposta de um coeficiente de perda de percurso que depende da distância está presente em outros cenários e situações como em [14], [15]. No artigo [14], a modelagem dependente da distância é atribuída à presença de efeitos de rápida ocorrência que ficam no limite entre o desvanecimento de pequena e larga escala. Por sua vez, [15] caracteriza um ambiente de propagação para VLC (*Visible Light Communication*), com uma faixa de transmissão na ordem de terahertz. Neste trabalho, os efeitos de pequena escala são evitadas pela utilização de uma média móvel já na apresentação de cada amostra. No entanto, efeitos que ocorram perdurando distâncias da ordem do comprimento de onda possivelmente reflitam no modelo de perda de percurso em qualquer cenário. A utilização de faixas mais altas de frequência, como as medições em [15], podem levar a efeitos de ambiente que passam a afetar a perda de percurso.

No nosso cenário de comunicação V2I para 3,5 GHz parece mais natural que haja uma dependência do coeficiente n ao longo da distância pela variedade de cenários em que se pode incorrer ao longo de cada rota, podendo aparecer obstáculos maiores em algumas linhas de visada, principalmente em rotas transversais à localização da antena transmissora. O aparecimento de uma soma com o termo de decaimento da distância se assemelha, para certos cenários, com a extensão COST-231 para o modelo de Hata [16]. Há, também, modelos em faixa larga onde isso ocorre [17], em que o termo de soma depende da frequência. Essa dependência teria que ser confirmada por uma sondagem em faixa larga para o nosso ambiente.

Em [10], são analisados alguns modelos para a perda de percurso em situações de V2I e também de V2V. Dentre os modelos apontados como adequados está o COST-231-Hata, mesmo estando fora da faixa de frequências original desse modelo. Isso pode indicar que é válido que o modelo proposto aqui apresente semelhanças com o COST-231-Hata, mesmo que também esteja fora da faixa de frequências do modelo original. Em [18], é analisada a perda de percurso para o Mobile WiMAX exatamente na faixa de 3,5 GHz e também se aponta o COST-231-Hata como uma das melhores alternativas de modelo.

V. CONCLUSÕES

Este artigo descreve um novo ajuste (*fitting*) de modelo para a perda de percurso de uma campanha de medições em um cenário de transmissão em 3,5 GHz entre estrutura fixa e veículo. Esse cenário pode ser visto como de comunicação Veículo-para-Infraestrutra (V2I) numa frequência típica da quinta geração (5G) de telefonia móvel. É proposto um ajuste de dados por modelo polinomial de terceira ordem, com bons resultados. A partir dos parâmetros polinomiais, é feita uma proposta de modelo matemático para perda de percurso no cenário abordado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES e FAPERJ pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

[1] F. J. B. Fonseca, *Análise do Comportamento em Faixa Estreita do Canal Rádio Móvel em 3,5 GHz*, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2011.

[2] F. J. B. Fonseca, P. P. Dias, J. C. R. Dal Bello, L. J. de Matos, "Variabilidade e Cobertura de Sinal Rádio Móvel na Faixa de 3,5 GHz em Ambiente Urbano," *in Proc. MOMAG*, pp. 1–6, João Pessoa, PB, Agosto de 2012.

[3] T. S. Rappaport, *Comunicações sem Fio: Princípios e Práticas*, Pearson, 2a. Ed., São Paulo, 2009.

[4] H. H. Xia, H. L. Bertoni, L. R. Maciel, A. L. Stewart, R. Rowe, "Path Loss, Delay Spread, and Outage Models as Functions of Antenna Height for Macrocellular System Design," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 41, n. 10, pp. 1439–1447, Oct. 1993.

[5] M. J. Feuerstein, K. L. Blackard, T. S. Rappaport, S. Y. Seidel, H. H. Xia, "Path Loss, Delay Spread, and Outage Models as Functions of Antenna Height for Microcellular System Design," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 43, n. 3, pp. 487–498, Aug 1994.

[6] L. Klozar, J. Prokopec, "Propagation path loss models for mobile communication," *in Proc. IEEE International Conference Radioelektronika*, pp. 1–4, Brno, Czech Republic, April 2011.

[7] Y. Tian, Z. Tan, Y. Yu, "Third-Order Channel Propagation Model-Based Indoor Adaptive Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 12, pp. 1578–1581, 2013.

[8] Z. Nadir, M. I. Ahmad, "Pathloss Determination Using Okumura-Hata Model And Cubic Regression For Missing Data For Oman," *in Proc. of the International MultiConference of Engineers and Computer*, vol 2, pp. 17–19, Hong Kong, March 2010.

[9] C. Campolo, A. Molinaro, A. Iera, F. Manichella, "5G Network Slicing for Vehicle-to-Everything Services," *IEEE Wireless Communications*, vol. 24, n. 6, pp. 38–45, Dec. 2017.

[10] P. Belanovic *et al.*, "On Wireless Links for Vehicle-to-Infrastructure Communications," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 59, n. 1, pp. 269–282, Jan. 2010.

[11] I. C. Msadaa, P. Cataldi, F. Filali, "A Comparative Study between 802.11p and Mobile WiMAX-based V2I Communication Networks," *in Proc. IEEE Int. Conf. Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies*, pp.186–191, Amman, Jordan, July 2010.

[12] B. Sklar, "Rayleigh fading channels in mobile digital communication systems .I. Characterization," *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, n. 7, pp. 90–100, July 1997.

[13] L. J. de Matos, *Influência da Vegetação na Dispersão dos Sinais Rádio-Móveis*, Tese de doutorado, CETUC/PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2005.

[14] M. M. Olama, S. M. Djouadi, C. D. Charalambous, " Stochastic Power Control for Time-Varying Long-Term Fading Wireless Networks," *EURASIP Journal Adv. Sig. Processing*, art. 089864, Nov 2006.

[15] S. Johari, V. Sundharam, "Performance analysis of an earth-satellite intensity modulated FSO link in the presence of turbulence and varying path loss", *in Proc. International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, pp. 38–43, Nagpur, India, Nov 2017.

[16] European Cooperation in Science and Technology, "Digital Mobile Radio towards Future Generation Systems", Technical Report - COST Action 231, *Publications Office of the EU*, Apr. 1999.

[17] W. Zhang, "A wide-band propagation model based on UTD for cellular mobile radio communications," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 45, n. 11, pp. 1669–1678, Nov. 1997.

[18] R. Mardeni, T. Siva Priya, "Optimised COST-231 Hata Models for WiMAX Path Loss Prediction in Suburban and Open Urban Environments," *Modern Applied Science*, vol. 4, n. 9, pp. 75–89, Sept 2010.