

Um Estudo Estatístico dos Modelos de Rádio Propagação Aplicado na Transmissão de Vídeo em Ambientes de Cidades Inteligentes

Marcelo M. Colares¹, Francisco V. S. Neto¹, José A. O. Medeiros¹, Ananias P. Neto¹

¹Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET) – Curso de Bacharelado em Ciência da Computação – Universidade da Amazônia (UNAMA)
CEP 66060-902 – Belém – PA – Brasil

marcelo_matos_colares@hotmail.com, netynhow_ps@yahoo.com.br,
jaugustoxt@hotmail.com, apneto@unama.br

Abstract. *This work presents a statistical approach of the Walfisch-Bertoni and Walfisch-Ikegami propagation models, combining the characteristics and parameters for environments of Smart Cities. Based on previous statistical analyses, the work considers the parameters of the model, such as height and distances between the buildings as two-dimensional random variables, assuming characteristics of Gaussian distribution. The models were integrated into the LTE (Long Term Evolution) system chosen as core network for the scenario of Smart Cities, in addition to the assessment of QoE (Quality of Experience) in respect with the path loss for models. The results obtained from simulations show the impact and benefits of statistical approach for Walfisch-Bertoni model.*

Resumo *Este trabalho apresenta uma abordagem estatística dos modelos de propagação Walfisch-Ikegami Walfisch-Bertoni e, combinando as características e parâmetros para ambientes de Cidades Inteligentes. Com base em análises estatísticas anteriores, o trabalho considera os parâmetros de modelo, tais como altura e distâncias entre os edifícios como variáveis aleatórias bidimensionais, assumindo características de distribuição de Gauss. Os modelos foram integrados ao sistema LTE (Long Term Evolution) escolhido como rede principal para o cenário de Cidades Inteligentes, além de avaliação de QoE (Quality of Experience) em relação com a perda de caminho para os modelos. Os resultados obtidos a partir de simulações mostram o impacto e os benefícios da abordagem estatística para o modelo Walfisch-Bertoni.*

1. Introdução

Com o avanço do desenvolvimento tecnológico nos últimos anos, um dos desafios das operadoras de redes móveis é adequar os serviços e aplicações ao desenvolvimento urbano sustentável através de tecnologias e serviços de cidades inteligentes.

Segundo [Pentikousis *et al* 2011], a iniciativa de projetar cidades inteligentes baseia-se em três fatores principais: o primeiro fator está relacionado a alta disponibilidade dos dispositivos, o que inclui computadores, celulares, câmeras e demais aparelhos capazes de serem conectados uns aos outros; o segundo fator é o

grande poder de interconexão desses dispositivos e o terceiro é o uso desses dispositivos conectados de uma forma mais inteligente, integrando e gerando novos e diferentes dispositivos.

O desafio de preparar as cidades para as próximas décadas está baseado na proposta de avaliar a atual e futura infraestrutura de telecomunicação, as aplicações e serviços, a convergência tecnológica, além do potencial no campo emergente das cidades inteligentes.

Atualmente, com a ampla disseminação e diminuição de custos no setor tecnológico e o uso massivo das redes de banda larga, o planejamento de cidades digitais apresenta um cenário apropriado para criar condições de crescimento econômico e sustentável em ambientes urbanos [Hernández 2010] e [IBM 2011]. Desta forma, o desafio é convergir a infraestrutura física das cidades com novas tecnologias como, as redes sem fio, redes de sensores, Internet e Web das coisas.

Outros desafios, no contexto de cidades inteligentes, é investigar soluções inovadoras para o uso eficiente do espectro de frequências para cidades inteligentes de qualquer porte, a propagação do sinal e suas características em ambientes urbanos, suburbanos e rurais, além das características de radiopropagação em cenários realísticos voltados para cidades digitais [Morvaj *et al* 2011]. Neste contexto, é muito importante investigar o impacto das características de radiopropagação em ambientes urbanos, nas suas redes de acesso e/ou nas redes núcleos.

Nas últimas décadas, as redes núcleos têm permitido grandes avanços e mudanças nos sistemas de comunicação, garantindo maior mobilidade e disseminação de conteúdo. A Tecnologia LTE (*Long Term Evolution*) é a evolução da tecnologia de rede móvel padronizada pelo 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), que utiliza novos sistemas de múltiplo acesso a interface aérea, para prover novos serviços e aplicações de conteúdo, tais como, MMOG (*Multimedia Online Gaming*), TV Móvel, Web 2.0, *streaming* de vídeo, download de músicas e muitos outros [McQueen 2009].

Com a evolução dos meios de telecomunicações e o rápido crescimento das redes sem fio, surge a necessidade da implementação de soluções que trafeguem dados de maneira mais rápida e eficaz, como no caso das redes 4G (Quarta Geração), destacando o sistema LTE, bastante apropriada para cenários de cidades inteligentes. O sistema LTE precisa de mecanismos que garantam QoS (*Quality of Service*) adequado para cada tipo de aplicação, pois diferentes serviços possuem requisitos de QoS diferentes. Tal comportamento pode impactar positivamente ou negativamente na QoE (*Quality of Experience*) [Greengrass *et al* 2009].

A maioria dos sistemas de comunicações móveis operam nas áreas urbanas, onde não há nenhuma linha de visada direta (transmissão sem obstáculos) no percurso entre transmissor e receptor, e onde a presença de edifícios de elevadas alturas causam a perda por difração e reflexões múltiplas nas diferentes ondas que viajam ao longo do percurso, características marcantes em cidades inteligentes [Rappaport 2009].

A interação entre essas ondas causa o desvanecimento de multipercursos em uma posição específica, a potência do sinal diminui com o aumento da distância entre transmissor e receptor [Rappaport 2009]. Os modelos de propagação desenvolvidos para ambientes urbanos, suburbanos e rurais possuem parâmetros diferentes, de acordo com a área considerada [Rahimian e Mehran 2011]. O propósito desses modelos é

caracterizar a perda de propagação considerando fatores como, altura dos prédios, distancia entre os prédios, altura da antena transmissora e receptora, etc.

A proposta deste trabalho é avaliar as principais características de propagação do sinal em ambientes de cidades inteligentes, providas pela rede núcleo LTE, além de descrever os principais métodos de predição em sistemas de comunicação sem fio para um ambiente urbano. O estudo propõe uma aproximação estatística para os modelos de propagação Walfisch-Bertoni e Walfisch-Ikegami que possuem características de radiopropagação de cenários urbanos realísticos em cidades inteligentes, avaliando o impacto desses modelos na disseminação de conteúdo multimídia.

Na literatura [Tabatabaei *et al* 2011], [Aust e Ito 2012], [Muller *et al* 2011], [Okamoto *et al* 2009] e [Peiris *et al* 2009], a análise dos parâmetros nos modelos de propagação em ambientes urbanos foram modelados apenas para o caso unidimensional, no entanto, torna-se interessante observar as características da perda de propagação em relação as métricas de QoE, quando os parâmetros variam simultaneamente, conforme um cenário realístico.

Os modelos de propagação analisados foram integrados no NS2 (*Network Simulator 2*) e a aproximação estatística validada no Matlab, considerando as alturas e as distâncias entre os prédios como variáveis aleatórias bidimensional, na frequência de 1 GHz, para diferentes valores de distância entre transmissor e receptor no sistema LTE.

O artigo está organizado da seguinte forma: Na Seção 2 são discutidos os trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta uma abordagem sobre a aproximação estatística dos modelos de propagação Walfisch-Bertoni e Walfisch-Ikegami. A Seção 4 apresenta as simulações e resultados para um ambiente de cidades inteligentes, enquanto a Seção 5 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Nesta seção são destacados os principais trabalhos relacionados com a pesquisa [Aust e Ito 2012], [Muller *et al* 2011], [Okamoto *et al* 2009] e [Peiris *et al* 2009]. Muitos introduzem conceitos e principalmente boas contribuições sobre as características de radiopropagação e modelos de propagação em sistemas de comunicação móveis, considerando cenários urbanos realísticos em cidades inteligentes.

Em [Aust e Ito 2012] os autores propõem um estudo da banda de 1 GHz em WLAN, aplicados em ambiente de Smart Grid em cenários urbanos. Trata-se de um estudo em uma banda de frequência ideal para comunicação sem fio, isenta de licença para novos padrões WLAN e cenários de Smart Grids, analisando três modelos de propagação em ambiente urbano.

O trabalho em [Muller *et al* 2011] é mais uma contribuição referente aos estudos de modelo de propagação baseado em simulação e modelagem para cenários de Smart Grids. Na pesquisa são utilizados modelos tradicionais empíricos, incluindo Okumura-Hata, COST 231, COST 231 Walfisch-Ikegami e Winner, avaliando suas aplicabilidades em cenários reais. O modelo Winner apresentou melhores resultados de propagação de sinal em comparação aos modelos tradicionais.

Na proposta apresentada em [Okamoto *et al* 2009], os autores apresentam uma contribuição significativa para a proposta deste trabalho, destacando no estudo uma equação de predição de perda de percurso em penetração derivada, com base nos resultados de medição. Apresenta medidas e análises da perda de propagação em ambientes urbanos na faixa de frequência de 800 MHz a 8 GHz

No trabalho desenvolvido em [Peiris *et al* 2009] é apresentado uma avaliação de desempenho de rede núcleo em cenários suburbanos, utilizando modelos empíricos, incluindo Okumura-Hata, COST 231 Hata, COST Walfisch-Ikegami e Erceg, além das campanhas de medições. Os autores também analisam os modelos empíricos relacionados com cenários de cidades inteligentes, em um ambiente suburbano para redes WiMAX.

Na literatura, existem propostas de análises dos parâmetros nos modelos de propagação em ambientes urbanos combinando cenários de cidades inteligentes e características de radiopropagação, no entanto, possuem avaliações considerando apenas variáveis unidimensionais. A proposta apresentada neste artigo utiliza uma aproximação estatística bidimensional que considera as características da perda de propagação quando os parâmetros variam simultaneamente, conforme um cenário realístico na disseminação de conteúdo multimídia.

3. Aproximação Estatística dos Modelos de Propagação

Esta seção apresenta os modelos de propagação utilizados no estudo, de acordo com as características de cada área urbana onde o modelo é aplicado. A análise estatística foi realizada baseada nos parâmetros que generalizam os modelos, os quais foram modelados como variáveis aleatórias com função de distribuição de probabilidade Gaussiana.

3.1. Parâmetros do Modelo Walfisch-Bertoni

O modelo de Walfisch-Bertoni é usado para estimar a perda de percurso em um ambiente urbano para comunicações móveis. O modelo é uma combinação de modelos empíricos e determinísticos usados na estimativa da perda de percurso em ambientes urbanos sobre uma faixa de frequência de 800 a 2000 MHz.

O modelo caracteriza ambientes urbanos e suburbanos onde os prédios estão a uma altura razoavelmente uniforme e são construídos em fileiras com uma separação pequena entre os prédios vizinhos. Neste método, o sinal recebido não possui componente em linha de visada, sendo composto por diversos raios espalhados próximos ao terminal móvel.

Além dos parâmetros básicos tais como a frequência de operação f , à distância entre o transmissor e o receptor D , a altura da antena transmissora e receptora h e h_m , respectivamente, o modelo leva em consideração dois parâmetros muito importantes para o cálculo da perda: a altura dos prédios h_b e a distância entre os prédios d_b , conforme mostra ilustra a Figura 1.

O modelo Walfisch-Bertoni apresenta um melhor desempenho quando comparado com outros modelos de predição, uma vez que ele leva em consideração as características de cada área urbana onde o modelo é aplicado. Para o terreno nivelado e

dentro do horizonte de rádio, a perda de transmissão média para 1 GHz, assumindo uma antena isotrópica é dada pela equação (1) [Yuan e Shen 2011]:

$$L = 152,55 + 5 \log \left[\left(\frac{d_b}{2} \right)^2 + (h_b - h_m)^2 \right] - 9 \log d_b + 2 \log \left[\tan^{-1} \left[2(h_b - 2h_m) / d_b \right] \right] - 18 \log(h - h_b) + 38 \log D \quad (1)$$

onde d_b é a distância centro-a-centro das fileiras dos prédios em metros, h_b é a altura média dos prédios em metros, h_m é a altura da antena móvel em metros, h é a altura da estação rádio base da antena transmissora em metros e D é a distância entre a estação rádio base e a antena móvel em km.

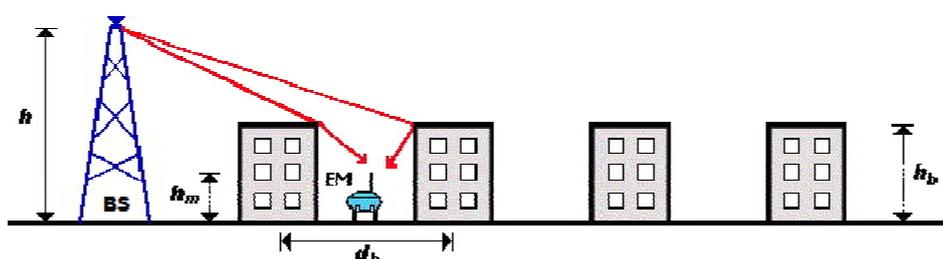


Figura 1. Modelo Walfisch-Bertoni.

Os parâmetros como a altura média do prédio h_b , e a distância centro-a-centro das fileiras dos prédios d_b , são muito importantes para calcular toda a perda de percurso neste modelo. Por outro lado estes parâmetros podem variar para cada ambiente urbano.

3.2. Parâmetros do Modelo Walfisch-Ikegami

O modelo Walfisch-Ikegami baseia-se principalmente sobre os estudos desenvolvidos por Walfisch-Bertoni e Ikegami para a propagação em ambientes urbanos, acrescentando algumas correções empíricas devido aos fatores como a altura das antenas, a orientação da rua e frequência utilizada. Os parâmetros estão definidos na Figura 2 e 3. O modelo Walfisch-Ikegami possui três componentes básicos [Ambawabe *et al* 2010]:

- Perda do Espaço Livre (L_o);
- Perda de difração para o nível da rua (L_{rts});
- Perda por multipercursos (L_{ms});

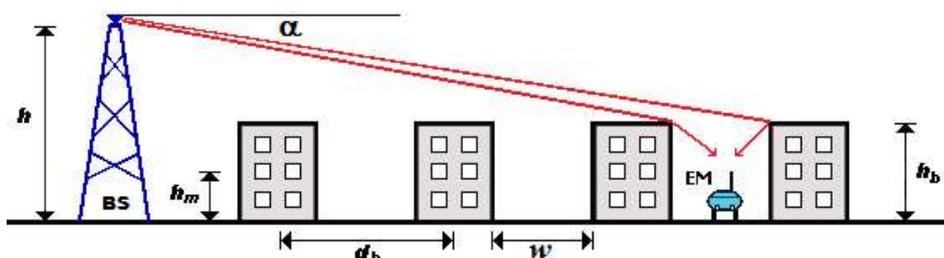


Figura 2. Modelo Walfisch-Ikegami (vista ao longo da rua).

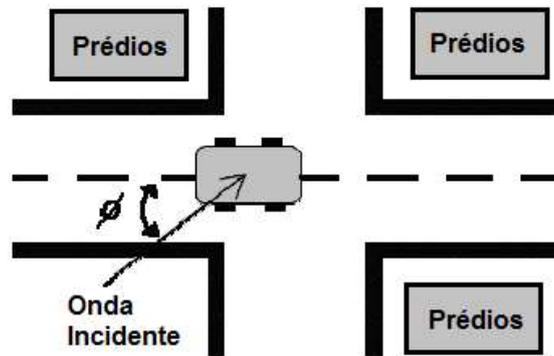


Figura 3. Modelo Walfisch-Ikegami (vista do topo da rua).

A atenuação total pode ser dada pela equação (2):

$$L_T = \begin{cases} L_o + L_{rts} + L_{ms} \\ L_o \end{cases} \quad \text{for } L_{rts} + L_{ms} \leq 0 \quad (2)$$

As perdas médias de transmissão L_o , L_{rts} e L_{ms} para 1 GHz, assumindo uma antena isotrópica e um ângulo de incidência $\phi = 30^\circ$ são dadas pelas equações (3), (4) e (5):

$$L_o = 92,44 + 20 \log D \quad (3)$$

$$L_{rts} = 13,60 - 10 \log w + 20 \log (h_b - h_m) \quad (4)$$

$$L_{ms} = 42,36 + 18 \log D - 9 \log d_b \quad (5)$$

onde D é a distância entre o transmissor e receptor, em km, h representa a altura da antena de transmissão da estação de base em metros e h_m representa a altura da antena móvel em metros. O modelo leva em consideração três parâmetros muito importantes para o cálculo da perda de percurso: a altura dos prédios h_b em metros, a distância centro-a-centro das fileiras dos prédios d_b em metros e a largura da rua w em metros.

Estes parâmetros podem variar para cada ambiente urbano. Consequentemente, estes parâmetros devem ser generalizados para que se possa usar o modelo de Walfisch-Ikegami em diferentes áreas urbanas. Para generalizar este modelo, foi desenvolvido um método para estimar os parâmetros h_b , d_b e w que haviam sido modelados como variáveis aleatórias com função distribuição Gaussiana e Rayleigh. Estas funções de distribuição foram escolhidas levando em consideração as características físicas das áreas urbanas.

3.3. Análise Bidimensional dos Modelos de Propagação

Para os modelos de propagação Walfisch-Bertoni e Walfisch-Ikegami, os parâmetros d_b e h_b foram modelados apenas para o caso unidimensional. No entanto, torna-se interessante observar as características da perda de percurso quando estes dois parâmetros variam simultaneamente, tratando-se o par (d_b, h_b) como duas variáveis aleatórias independentes, usadas na análise. Desta forma, pode-se tomar todos os

valores em alguma região R do plano Euclidiano, na qual a função densidade de probabilidade $f(d_b, h_b)$ é aquela que satisfaz a seguinte condição dada pelas equações (6) e (7):

$$f(d_b, h_b) \geq 0, \text{ para todo } (d_b, h_b) \in R \quad (6)$$

$$\iint_R f(d_b, h_b) d_{d_b} d_{h_b} = 1. \quad (7)$$

Através do conceito da independência de dois eventos, pode-se intuitivamente dizer que d_b e h_b são variáveis aleatórias independentes. Esta é uma noção extremamente importante, pois se (d_b, h_b) é uma variável aleatória bidimensional dada pela equação (8):

$$p(d_b = d_{bj}, h_b = h_{bi}) = p(d_b = d_{bj}) \cdot p(h_b = h_{bi}) \quad (8)$$

Para todo i e j . Com isto, pode-se calcular o efeito de cada um destes dois parâmetros e por fim estabelecer o produto entre estes para obter as superfícies representativas da função densidade de probabilidade (FDP) bidimensional e para a função distribuição cumulativa (FDC) bidimensional. Este modelo se aproxima de uma situação real como, por exemplo, um cenário de cidades inteligentes, como ilustra a Figura 4.

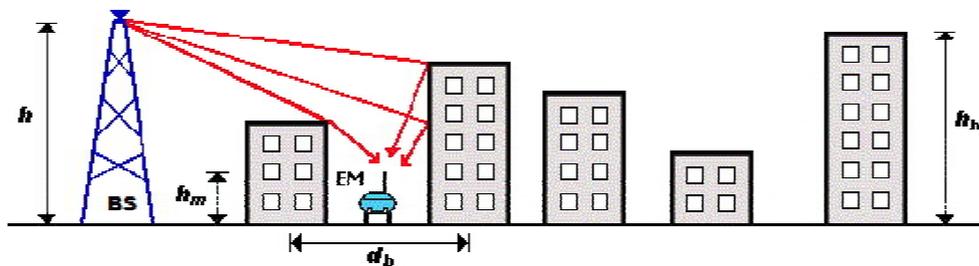


Figura 4. Modelo de Propagação com d_b e h_b como variáveis aleatórias.

4. Simulações e Resultados no Ambiente de Cidades Inteligentes

Nesta seção são destacados os procedimentos e as descrições do sistema de simulação para o cenário de cidades inteligentes. Ilustra o cenário de simulação e a avaliação de QoE, através das métricas PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*) e SSIM (*Structural Similarity Index*), em relação as perdas de propagação para os modelos Walfisch-Bertoni e Walfisch-Ikegami, utilizando a aproximação estatística proposta.

Apresenta também, o comportamento da rede LTE, escolhida como rede núcleo para o cenário de cidades inteligentes, para a transmissão de conteúdo multimídia entre a eNB (*E-UTRAN Node B*) e o UE (*User Equipment*), tais como, vídeo, voz e dados.

Para avaliar esse trabalho, foram realizadas simulações conduzidas no módulo LTE, no NS-2 (*Network Simulator 2*), versão 2.33, desenvolvido por [Qiu *et al* 2009],

além da validação da análise estatística realizada no Matlab. Os modelos de propagação Walfisch-Bertoni e Walfisch-Ikegami foram integrados no NS2.

Para transmissão dos vídeos foi utilizado o *framework* Evalvid [Evalvid 2012]. O modelo de topologia simulado para a rede LTE está ilustrado na Figura 5. Este modelo foi definido por [Qiu *et al* 2010], com um Server responsável por prover os serviços de vídeo, FTP e VoIP, um MME/S-GW, um eNBs e um UE. Neste último, estão acoplados os agentes de recepção para os tráfegos UDP e TCP.

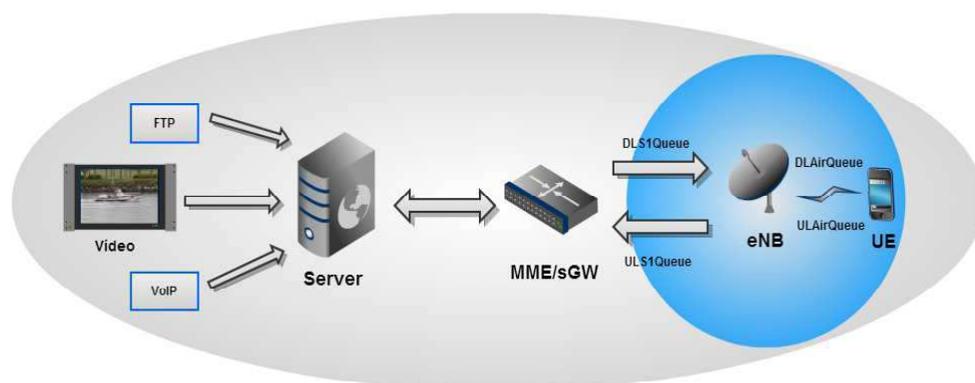


Figura 5. Cenário da Simulação para o Ambiente de Cidade Inteligente.

O tráfego FTP é transmitido através do protocolo TCP, a uma taxa de dados de 512 kbps, com tamanho de 1500 bytes. O tráfego VoIP é transmitido através do protocolo UDP, a uma taxa de dados de 8 kbps, com tamanho do pacote de 1500 bytes. Na simulação, o fluxo de vídeo utilizado foi o *Coastguard*, taxa de dados de 512 kbps, composto de 596 quadros, resolução de 352 x 288, 30 fps e GoP: 30.

Além das especificações e padrões de vídeo, FTP e VoIP, a Tabela 1 apresenta os principais parâmetros utilizados na simulação. Os parâmetros mostrados nesta tabela estão relacionados ao ambiente de simulação proposto em [Aust e Ito 2012] para um cenário de cidades inteligentes, com largura de banda de 1 GHz.

Tabela 1. Parâmetros de simulação.

<i>Parâmetros</i>	<i>Valor Utilizado</i>
Modelo de Propagação	Walfisch-Bertoni e Walfisch Ikegamk
Ambiente de Operação	Outdoor
Largura de Banda	1 GHz
Altura dos Prédios	10 – 20 m
Distância entre os Prédios	7 – 15 m
Largura das Ruas	10 m
Altura da Antena Móvel	1,5 m
Altura da Antena da eNB	30 m
Área de Cobertura	1 km
Intervalo de Confiança	95%
Framework de Vídeo	Evalvid
Simulador	NS-2 2.33 (Módulo LTE) e Matlab

As Figuras 6 (a) e (b) apresentam o contorno de densidade de probabilidade (vista superior) das superfícies representativas da função densidade de probabilidade bidimensional para os modelos Walfisch-Bertoni e Walfisch-Ikegami, respectivamente, representando o mapa das características da perda de propagação quando os parâmetros h_b e d_b variam simultaneamente.

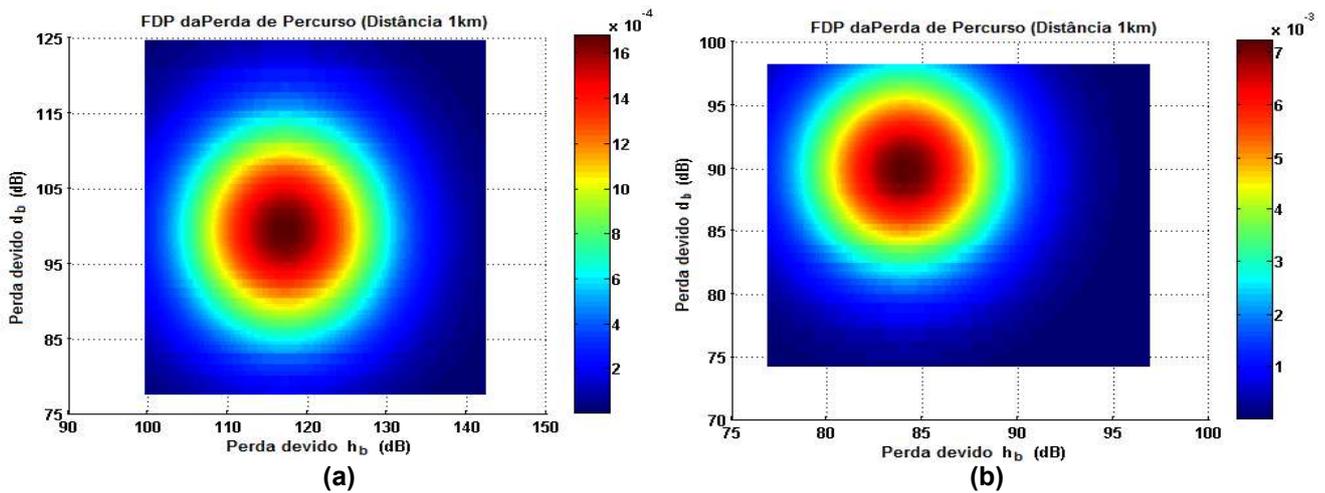


Figura 6. Vista Superior da Densidade de Probabilidade para: (a) Walfisch-Bertoni e (b) Walfisch-Ikegami.

Nas superfícies mostradas nas Figuras 6 (a) e 6 (b) representando, respectivamente, os modelos de propagação Walfisch-Bertoni e Walfisch-Ikegami, para função densidade de probabilidade bidimensional. Observa-se que com o aumento da variação das alturas dos prédios h_b (10 – 20 m) e da distância entre os prédios d_b (7 – 15 m), ocorre uma mudança na superfície de uma distribuição menos assimétrica, Figura 6 (a), para uma distribuição mais assimétrica, Figura 6 (b).

Nesta análise, os efeitos aleatórios dos parâmetros h_b e d_b são responsáveis pela modificação da assimetria da distribuição Gaussiana, isso devido ao valor da variância que modificou de $\sigma^2 = 84,32$ dB para $\sigma^2 = 14,68$ dB, considerando a variação das alturas dos prédios h_b e de $\sigma^2 = 107,65$ dB para $\sigma^2 = 33,05$ dB, considerando a distância entre os prédios d_b .

Através das simulações, observou-se que a variação destes parâmetros foram mais significativos para o modelo de Walfisch-Ikegami, devido as características das variáveis aleatórias bidimensionais, além dos demais parâmetros como largura da rua e ângulo de incidência da onda.

Os resultados obtidos baseado nas métricas de QoE, PSNR e SSIM em relação ao mapeamento da perda de percurso para a aproximação estatística proposta são apresentados, respectivamente, nas Figuras 7 (a) e 7 (b).

Na Figura 7 (a), os resultados demonstram que o modelo de propagação Walfisch-Bertoni, entre a eNB e o UE foi mais efetivo que o modelo de propagação Walfisch-Ikegami, para a distribuição da perda de percurso no cenário proposto. Os resultados apresentam uma excelente qualidade de vídeo, para o modelo Walfisch-

Bertoni, segundo mapeamento de valores de PSNR para MOS (*Mean Option Score*), Tabela 2 [Piamrat *et al* 2009].

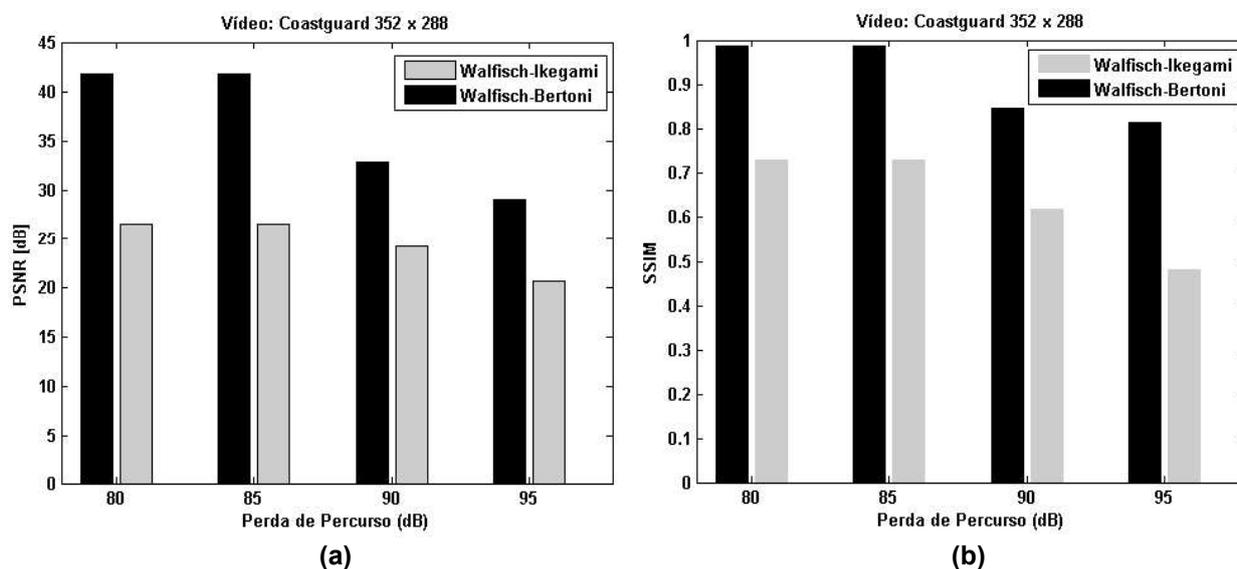


Figura 7. Resultados de QoE: (a) PSNR e (b) SSIM.

Tabela 2. Mapeamento do PSNR para o MOS.

PSNR (dB)	> 37	31 – 37	25 – 31	20 – 25	< 20
MOS	Excelente (5)	Bom (4)	Regular (3)	Pobre (2)	Péssimo (1)

Nota-se que a medida que a perda de percurso aumenta a qualidade do vídeo diminui, de acordo com o nível de PSNR. Para o modelo Walfisch-Bertoni, a qualidade do vídeo apresentou um nível de Excelente à Regular, devido a menor variação da assimetria do contorno estatístico da FDP. O modelo Walfisch-Ikegami apresentou nível de Regular à Pessimo da qualidade do vídeo devido a maior dependência das características das variáveis aleatórias do contorno estatístico da FDP.

Para a distribuição da métrica SSIM, o modelo Walfisch-Bertoni obteve o melhor desempenho, valores mais próximos de 1. No entanto, esse nível decaiu a partir da perda de percurso em 90 dB, confirmando os níveis apresentados para a métrica de PSNR. Para o modelo Walfisch-Ikegami, os valores de SSIM apresentaram valores inferiores, evidenciando os valores apresentados na métrica de PSNR, devido a maior variação da assimetria da FDP e das características do modelo.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este artigo apresentou uma análise estatística considerando variáveis aleatórias bidimensionais dos modelos de propagação Walfisch-Bertoni e Walfisch-Ikegami, para caracterização de radiopropagação em cenários de cidades inteligentes, com estudo da banda de 1 GHz, em uma rede núcleo LTE, considerando a relação entre as métricas de QoE (PSNR e SSIM) e a perda de percurso devido, possibilitando a predição na transmissão de conteúdo multimídia, como vídeo, voz e dados.

Foi observado que os efeitos aleatórios dos parâmetros h_b e d_b foram responsáveis pela alteração da distribuição de perda de propagação em cenários realísticos de um ambiente urbano.

Desta forma, o valor da variância modificou a distribuição da perda de propagação, considerando a variação das alturas dos prédios h_b , $\sigma^2 = 84,32$ dB (Walfisch-Bertoni) para $\sigma^2 = 14,68$ dB (Walfisch-Ikegami), além da distância entre os prédios d_b , $\sigma^2 = 107,65$ dB (Walfisch-Bertoni) para $\sigma^2 = 33,05$ dB (Walfisch-Ikegami).

O modelo Walfisch-Bertoni proporcionou um aumento *significativo* nos níveis de QoE, PSNR e SSIM, se comparado ao modelo Walfisch-Ikegami, devido a menor variação da assimetria do contorno estatístico da FDP. A aproximação estatística com a variação dos parâmetros do modelo Walfisch-Ikegami, alturas dos prédios h_b e da distância entre os prédios d_b

Para trabalhos futuros, propõe-se um estudo utilizando outras métricas de QoE, entre elas, métricas subjetivas como, por exemplo, o MOS. Propõe-se também, analisar outros modelos de propagação que descrevam e representem um cenário realístico de um cenário de cidades inteligentes.

Referências

- Pentikousis, K., Dongming, Z. and Wang, H. (2011) “Network Infrastructure at the Crossroads the Emergence of Smart Cities”, International Conference on Intelligence in Next Generation Networks (ICIN), pp. 109 - 114, Oct.
- Hernández, J. M. (2010) “Smart Cities, the Silent IoT Revolution”, Keynote in the Second International ICST Conference on Mobile Networks and Management (MONAMI), Santander, Spain, September.
- IBM Corp., (2011) “Smarter Cities Series: A Foundation for Understanding IBM Smarter Cities”, REDP-4733-00, December.
- Morvaj, B., Lugaric, L., and Krajcar, S. (2011) “Demonstrating Smart Buildings and Smart Grid features in a Smart Energy City”, 3rd International Youth Conference on Energetics (IYCE), pp. 1 – 8, July.
- McQueen, D. (2009) “The momentum behind LTE adoption” IEEE Communications Magazine, vol. 47, no. 2, pp. 44–45, Feb.
- Greengrass, J., Evans, J. and Begen, A. C. (2009) “Not All Packets are Equal, part 2: The impact of Network Packet Loss on Video Quality”, IEEE Internet Computing, vol. 13, pp. 74-82, March

- Rappaport, T. S. (2009) “Comunicações Sem Fio: Princípios e Práticas”, Pearson Prentice Hall, 2ª edição, São Paulo.
- Rahimian, A. and Mehran, F. (2011) “RF Link Budget Analysis in Urban Propagation Microcell Environment for Mobile Radio Communication Systems Link Planning”, International Conference on Wireless Communication and Signal Processing (WCSP), pp. 1 – 5, November.
- Tabatabaei, H., Fleury, M., Qadri, N. N. and Ghanbari, M. (2011) “Improving Propagation Modeling in Urban Environments for Vehicular Ad Hoc Networks”, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, pp. 705 – 716, September.
- Aust, S. and Ito, T. (2012) “Sub 1 GHz wireless LAN Propagation Path Loss Models for Urban Smart Grid Application”, International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC), pp. 116 – 120.
- Muller, C., Georg, H., Putzke, M. and Wietfeld, C. (2011) “Performance Analysis of Radio Propagation Models for Smart Grid Applications”, International Conference on Smart Grid Communication (SmartGridCom), pp. 96 – 101.
- Okamoto, H. Kitao, K. and Ichitsubo, S. (2009) “Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800 MHz to 8 GHz Band for Urban Area”, Vehicular Technology, IEEE Transactions on, vol. 58, no. 3, pp. 1059 – 1067.
- Peiris, K. Thelisinghe, L. Warnakulasuriya, G. and Samarasinghe, A. (2009) “Comparison of Propagation Models for Fixed Wimax System Based on IEEE 802.16”, International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS), pp.123 – 303.
- Yuan, D. and Shen, D. (2011) “Analysis of the Bertoni-Walfisch Propagation Model for Mobile Radio”, Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering (MACE), pp. 77 – 80, July.
- Ambawade, D. Deepak, K. Tejas, P., Lande, B. K., Daruwala, R. D. and Shah, A. (2010) “Statistical Tuning of Walfisch-Ikegami Model in Urban and Suburban Environments”, Fourth Asia International Conference on Mathematical/Analytical Modelling and Computer Simulation (AMS), pp. 538 – 543, May.
- Qiu, Q., Jian, C., Ping, L., Zhang, Q., and Pan, X. (2009) “LTE/SAE Model and its Implementation in NS 2”, Fifth International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks MSN’ 09, pp. 299 - 303.
- Evalvid Tool (2012). Disponível em: www.tkn.tu-berlin.de/menue/research/evalvid.
- Qiu, Q., Jian, C., Ping, L., and Pan, X. (2010) “Hierarchy Virtual Queue Based Flow Control in LTE/SAE”, Second International Conference on Future Networks ICFN’10, pp. 78 - 82.
- Piamrat, K., Viho, C., Ksentini, A., and Bonnin, J. (2009) “Quality of Experience Measurements for Video Streaming over Wireless Networks”, Sixth International Conference on Information Technology ITNG 09, pp. 1184 - 1189.