

Análise de Propagação de Sinais em Ambiente *Indoor*: Uma Comparação Entre Os Modelos *One Slope*, ITU-R P.1238-1, Keenan-Motley e Medições *in Loco*

Francisco Leonésio Carneiro Duarte¹, Cassiano Perin de Carvalho¹, Jeferson John do Rego Leite¹, Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo¹

¹Departamento de Engenharias e Tecnologia – Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA)

leonesiorf@hotmail.com, cassil8@hotmail.com.br,
jefferson.john.rego@gmail.com, francisco.segundo@ufersa.edu.br

Abstract. *A use of local wireless networks became widespread after the adoption of the IEEE 802.11 standard, also known as Wi-Fi. In this way, the study of the propagation of signals in the interior environment is necessary for designing the communication system. In the present work is exposed the study of the loss and speed of transmission, realized in the building of the laboratories of the Universidade Federal Rural do Semi-árido - UFERSA, Campus of Pau dos Ferros. There were analysed twenty-six points. The losses in the way were carried out by means of instruments, were compared with the options by the models: One Slope; ITU-R P.1238-1; and, COST 231. It was observed that the COST 231 model overestimated the losses.*

Resumo. *A utilização de redes locais sem fio tornou-se profundamente difundida após a adoção do padrão IEEE 802.11, também denominado Wi-Fi. Desta forma, o estudo da propagação de sinais em ambiente indoor faz-se necessário para dimensionamento do sistema de comunicação. No presente trabalho é exposto o estudo das perdas e velocidade de transmissão, realizado no prédio dos laboratórios da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Câmpus de Pau dos Ferros. Foram analisados vinte-e-seis pontos. As perdas no caminho mensuradas pelos instrumentos, foram comparadas com as previstas pelos modelos: One Slope; ITU-R P.1238-1; e, COST 231. Observou-se que o modelo COST 231 superestimou as perdas.*

1. Introdução

Capdeville e Vianna (2013), ressaltam que a tecnologia de redes sem fio locais, vêm se popularizando cada vez mais, tornando-se assim um componente importante para as redes de comunicação de computadores. Historicamente, esta tecnologia começou a se popularizar graças à aprovação do padrão IEEE 802.11 ocorrida em 1997, fazendo com que ela saísse do ambiente de implementação e pudesse se tornar uma solução ampla e aberta.

São diversos os motivos que levam as instituições públicas e privadas a adotarem a tecnologia sem fio. Hosseinzadeh (2017), por sua vez destaca alguns desses motivos como sendo: a minimização dos custos de implementação e manutenção da rede, uma vez que não é mais necessário alterar a estrutura original do ambiente para passar cabos.

Outros motivos para a adoção deste padrão estão associados a praticidade e confiabilidade do mesmo, características estas que vêm evoluindo muito ao longo dos anos.

Para garantir a praticidade e confiabilidade da tecnologia sem fio, é de suma importância o estudo da propagação das ondas em ambiente interno, Rappaport (2009) destaca que o canal de rádio em ambiente *indoor* é diferente do canal outdoor em dois aspectos importantes.

O Primeiro aspecto de diferenciação está associado a magnitude das distâncias cobertas, sendo bem menores no caso do rádio no interior. O outro aspecto fundamental diz respeito a variabilidade do ambiente que é muito maior no interior. Por isso, torna-se necessário estudar especificamente os modelos de propagação *indoor*.

São vários os modelos de propagação *indoor* disponíveis na literatura. Este trabalho vem por selecionar três modelos empíricos, sendo eles: *One Slope*, ITU-R, e Keenan e Motley. Os modelos serão comparados com medidas práticas realizadas no bloco de laboratórios da UFERSA – Câmpus Pau dos Ferros. Os resultados desta análise serão apresentados neste trabalho.

1.1. Estado Da Arte

Gomes (2010) ressalta que projetos de WLANs estão dominando o setor de redes locais, visto isso, propõem um modelo de propagação que considere pisos e paredes com propriedades distintas. Para tal, foi utilizado a aproximação de Padé. Por fim, o modelo proposto apresentou erro médio quadrático (rms) aceitável e mostrou-se mais adequado que o modelo fator de atenuação.

Capdeville e Vianna (2013) estudaram dimensionamento para uma WLAN num campus universitário, com quantidade de aparelhos limitada a 5 unidades, área de cobertura de 490 m² e demanda de atendimento de 70 pessoas. A fim de atingirem tal objetivo utilizaram o método GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure). Tal algoritmo apresentou resultados bons, conseguindo cobertura acima de 80 %.

Faria (1996) implementou o método de *ray tracing* força bruta para predição da rádio propagação *indoor*. Concluíram que, tal modelo, é sensível ao estado da porta (aberta ou fechada), quando aberta causa aumento de 0,363 dB no ambiente, mas chegando a 14,98 dB em alguns pontos.

Lopes, Freixo e Serrador (2005) propuseram um modelo de predição de propagação em ambiente indoor e comparam com outros modelos, quais são: ITU; Atenuação Linear; Keenan e COST; e, Espaço Livre. Concluíram que, tal modelo, foi o mais robusto e confiável, uma vez que modelos como Keenan ou da COST 231 apresentaram erros elevados para locais afastados.

2. Fundamentação Teórica

Devido a diferenças entre propagação *indoor* e *outdoor*, anteriormente citadas, são necessários modelos de propagação focados em ambientes internos de modo a prover melhores previsões.

Em ambientes *indoor*, existem dois tipos de modelos, conforme destacados por Najnudel (2004). O primeiro tipo é o empírico, que é baseado em medições reais, gerando um modelo de propagação adequado a algumas categorias de ambientes comumente

encontrados. O segundo tipo diz respeito aos modelos puramente teóricos. Neste caso são resolvidas as equações de onda para as condições de contorno do ambiente.

Santos (2016) ressalva que os modelos empíricos são os mais utilizados para a previsão de cobertura, uma vez que eles constituem fórmulas simples e fáceis de aplicar, demandando uma baixa carga computacional. Enquanto isso, os modelos teóricos são complexos e demandam uma carga computacional muito grande.

Tendo em vista a maior aplicabilidade dos modelos empíricos, foi selecionado três modelos deste tipo, para serem avaliados com relação a perda real mensurada em um ambiente interno. Estes modelos são descritos nos próximos subtópicos.

2.1. Modelo *One Slope*

Este modelo é um dos mais simples para predição de sinal *indoor*, estabelecendo uma relação linear entre a perda e a distância. É adotado um parâmetro tabelado “n” para descrever as características gerais do ambiente, englobando assim por exemplo o tipo de material de construção, efeitos de difração, reflexão, entre outros. A perda de propagação para este modelo é definida pela Equação (1).

$$L = L_0 + 10 * n * \log(d) \quad (1)$$

L é a perda, em dB, de propagação para a distância d ; d é a distância, em metros (m), entre o transmissor e o emissor; L_0 é a perda de propagação, em dB, no espaço livre para uma distância de 1 m; n é o gradiente de potência-distância.

2.2 Modelo ITU-R P.1238-1

Este modelo foi desenvolvido pelo ITU-R (Setor de Radiocomunicações da União Internacional de Telecomunicações), podendo atuar na predição de sinais em ambiente fechado, com uma faixa de frequência entre 900 MHz e 100 GHz. Os principais efeitos considerados por este modelo são: reflexão e difração, transmissão através de obstáculos, confinamento de energia em corredores, e pessoas e objetos em movimento. A perda de propagação para este modelo, é dada pela Equação (2).

$$L = 20 * \log(f) + n * \log(d) + L_f(k_f) - 28 \quad (2)$$

L é a perda de propagação, em dB; f é a frequência do sinal, em MHz; n é o coeficiente de atenuação com a distância; d é a distância percorrida, em m; k_f é o número de andares atravessados; L_f é o coeficiente de atenuação por andar atravessado, em dB.

2.3 Modelo COST 231: Keenan e Motley

Este é o modelo mais completo de propagação em ambientes internos, considerando assim tanto a influência das paredes como também as dos pisos em sua expressão matemática. Este modelo requer um grande volume de parâmetros de entrada. A expressão que define a perda de propagação, é dada pela Equação (3).

$$L = L_0 + 10 * n * \log(d) + \sum_{i=1}^I k_{f,i} * L_{f,i} + \sum_{j=1}^J k_{w,j} * L_{w,j} \quad (3)$$

L é a perda de propagação, em dB; L_0 é a perda no espaço livre, em dB, para uma distância de 1 m; d é a distância percorrida pelo sinal, em m; n é o coeficiente de propagação; $L_{f,i}$ é a perda de propagação do sinal, em dB, que atravessa o piso i ; $k_{f,i}$ é o número de pisos com a mesma característica; $L_{w,j}$ é a perda de propagação, em dB, do

sinal através da parede j ; $k_{w,j}$ é o número de paredes com a mesma característica; i é o número de pisos que o sinal atravessa e j é o número de paredes que o sinal atravessa.

3. Metodologia

O trabalho foi iniciado por meio de uma revisão bibliográfica, sobre os modelos de propagação em ambientes internos. Com base nestes estudos, foram selecionados três modelos para analisar a propagação do Sinal Wi-Fi 802.11 de 2,4 GHz em um dos prédios da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Câmpus Pau dos Ferros.

O prédio em questão possui dois andares, sendo que os pontos onde foram realizadas a medição prática e teórica da perda de propagação são mostrados na Figura 1 e 2. Na Figura 2, “R” refere-se ao rádio transmissor. Em todas as figuras, PN refere-se ao ponto de medição N.

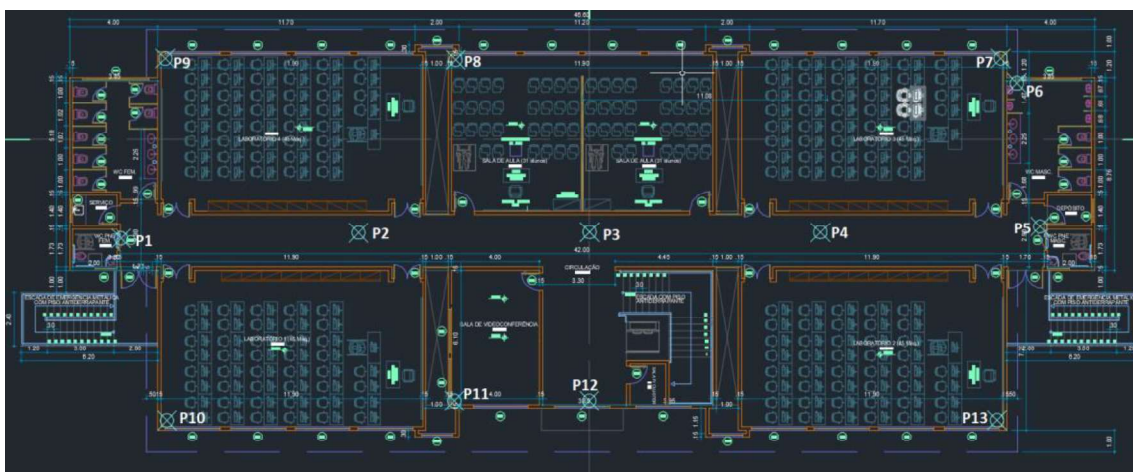


Figura 1. Pontos de Análise da Perda de Propagação – Andar Térreo

Fonte: Autoria própria



Figura 2. Pontos de Análise da Perda de Propagação – Primeiro Andar

Fonte: Autoria própria

Com relação a medição prática, foram efetuadas cinco mensurações de potência recebida (dBm) e taxa de transmissão (Mbps) em cada ponto de forma a obter um valor médio para a perda de propagação e taxa de transmissão. O rádio transmissor era um AP-0622-66030-WIFI da Motorola, com potência de transmissão de 24 dBm, o qual possuía apenas dois dispositivos conectados.

O primeiro dispositivo constituía de um notebook que ficava próximo ao rádio, possuindo assim uma placa de rede Intel Dual Band Wireless-AC 3165. O mesmo tinha um servidor web apache que disponibilizava para download um arquivo .iso, de forma a permitir a verificação da capacidade máxima de transmissão da rede.

O outro dispositivo era um smartphone Asus Zenfone Max, cujo objetivo era ser levado aos pontos de medições, coletando assim as amostras de potência recebida do AP da Motorola, bem como a taxa de transmissão. Para aferir tais grandezas foi utilizado o aplicativo WiFi Monitor.

Com o objetivo de estimar a perda teórica, será aplicado cada um dos três modelos de propagação discutidos nos tópicos 2,1, 2,2, 2,3. Para o modelo *One Slope*, conforme indicado por Santos (2016) será utilizado o gradiente distância-potência de 1,8, para os pontos em um corredor do mesmo andar do roteador. Para os pontos em alguma sala do primeiro andar será utilizado o fator de 2,7. Para pontos no andar térreo será utilizado 3.

Com relação ao modelo ITU-R, conforme tabelas apresentadas por Najnudel (2004), será adotado o coeficiente n de 22 para ambiente comercial. O coeficiente de atenuação por piso atravessado será dado por: $6 + 3 * (k_f - 1)$.

Para o modelo de Keenan Montley com base no trabalho de Najnudel (2004), adotou-se um coeficiente de propagação de 2,5. A perda adicional para cada parede foi tomada como sendo de 15 dB, a perda adicional para o teto foi definida em 20 dB.

As distâncias entre o receptor e o emissor foram calculadas por meio da planta do prédio. Os valores respectivos de perda foram calculados por meio de uma rotina desenvolvida no Matlab.

Para confecção dos gráficos foi utilizado o *software* Matlab. Além do programa *Multi Wall*, desenvolvido por Hosseinzadeh (2019), para confecção dos mapas de distribuição de perdas no prédio.

4. Resultados e Discussões

Com relação as medições de velocidade, observou-se que ocorreram velocidades inferiores a 12 Mbps apenas nas extremidades esquerda e direita do prédio, tanto para o primeiro como para o segundo andar. Assim como, maiores perdas nessas posições.

A Figura 3, apresenta as perdas estimadas pelos métodos *One Slope*, ITU-R e COST 231, assim como as perdas encontradas pela medição direta, para os vinte e seis pontos, em relação as distâncias até o roteador.

Observa-se que os modelos *One Slope* e ITU-R apresentaram valores semelhantes para todos os pontos amostrados, condição esta explicada devido ao prédio ter apenas um andar e devido ao emprego do gradiente distância-potência variável. Também se verifica que as curvas tanto dos modelos como das medições, apresentaram crescimento das perdas ao longo da distância, vale ressaltar que muitos outros fatores afetam as perdas, por isso ocorrem quedas repentinas.

Comparando-se os modelos analisados, verifica-se que, o COST 231, sempre apresentou perdas maiores que os outros modelos, devido à grande quantidade de parâmetros empregados na previsão.

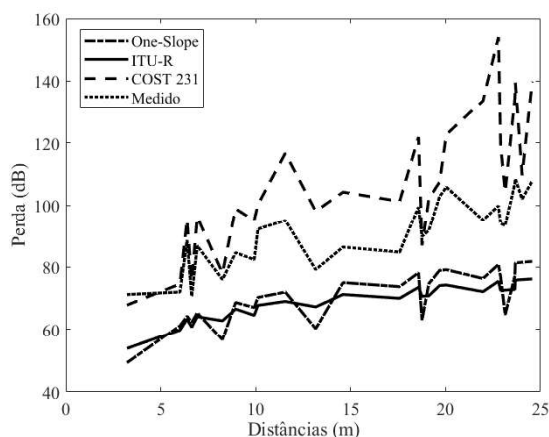


Figura 3. Perdas Medidas e Estimadas em Função da Distância

Fonte: Autoria própria

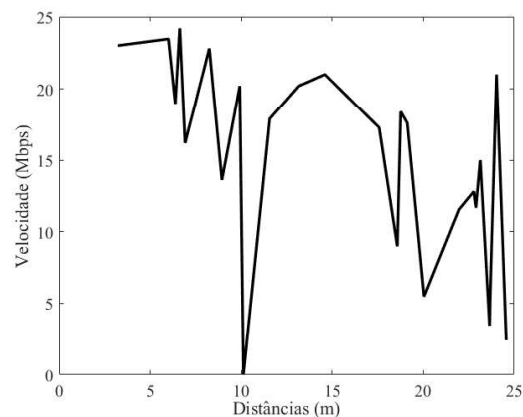


Figura 4. Velocidade em Função da Distância

Fonte: Autoria própria

A Figura 4, descreve o comportamento da velocidade com relação unicamente a distância. É possível observar que não existe uma relação nítida entre a velocidade da conexão e a distância, devido aos outros fatores não apresentados no gráfico, como as paredes e os andares.

As figuras 5 e 6, descrevem, por meio de gráficos de cores, as perdas no interior do prédio, segundo o modelo COST 231, sendo que Tx é o ponto onde está localizado o rádio transmissor. A distribuição de perdas do andar térreo é apresentada na figura 5, já a do primeiro andar é apresentada na figura 6.

Pode-se observar que as maiores perdas ocorreram principalmente na extremidade direita do prédio, isso devido ao maior número de paredes que devem ser atravessadas pelo sinal até o aparelho. Além disso, as perdas foram maiores no andar térreo, isso porque o roteador está localizado no primeiro andar.

Desta forma, para tentar garantir uma velocidade de transmissão de 12 Mbps para os usuários do sistema, considerando também as restrições orçamentárias, recomenda-se que a instituição realize a instalação de dois APs no primeiro andar, posicionados no centro do lado esquerdo e direito do prédio. Também vale salientar que, com apenas um roteador disponível, a melhor posição seria no centro do corredor que interliga os banheiros, ou seja, o centro do prédio.

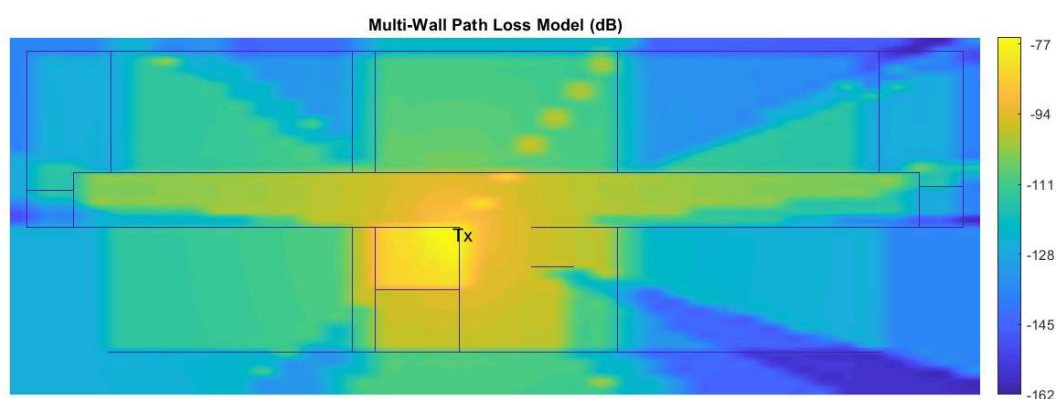


Figura 5. Distribuição das Perdas no Andar Térreo (Modelo Cost 231)

Fonte: Autoria própria

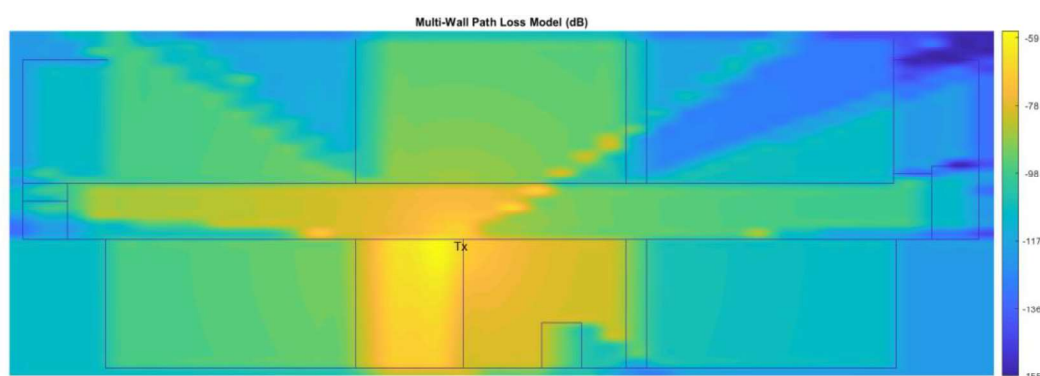


Figura 6. Distribuição das Perdas no Primeiro Andar (Modelo Cost 231)

Fonte: Autoria própria

5. Conclusões

Por meio deste trabalho foi possível ter o contato com os modelos de propagação *indoor* e confrontá-los com relação as medidas reais de perda em um ambiente. Verificou-se que, para o ambiente analisado o modelo COST 231, foi o que mais se assemelhou aos dados amostrados.

Pôde-se observar também que os modelos ITU-R e *One Slope*, sempre subestimaram os valores das perdas se comparado aos seus valores reais, por sua vez o modelo COST 231 na maioria das vezes apresentou estimativas superestimadas.

Desta forma, pode-se concluir que em um projeto de rede mais robusto, pode ser mais interessante utilizar o modelo COST 231, de modo a ter uma maior garantia que os requisitos de projeto serão atendidos para o ambiente em estudo. Nada impede que os outros modelos sejam utilizados no projeto, mas caso o sejam é interessante que o fator de segurança para o projeto seja mais elevado.

Por meio deste trabalho de validação dos modelos de propagação interno, também foi possível adquirir experiência com relação ao dimensionamento de redes sem fio para grande parte dos prédios encontrados na região.

É importante destacar que a principal contribuição científica deste trabalho, diz respeito a apresentação do comportamento dos três modelos estudados, em um ambiente predial de uma universidade. Em adição, com base nos dados coletados neste trabalho, é possível que em trabalhos posteriores os parâmetros dos modelos empregados sejam ajustados as medições realizadas, trazendo assim um melhor desempenho preditivo para os mesmos.

Além disso, é possível com base nos dados coletados, desenvolver modelos baseados em redes neurais, para estimar tanto a perda de sinal, como também a velocidade nas diferentes partes do prédio. O desempenho destes modelos de redes neurais pode ser comparado com os dos modelos tradicionais, de modo a talvez encontrar modelos que melhor representem a propagação do sinal no ambiente em análise.

6. Referências

- Capdeville, R. M. A.; Vianna, D. S. (2013) “Heurísticas GRASP para o problema de alocação de pontos de acesso em uma rede sem fio em ambiente indoor. *Sistemas & Gestão*”, p. 86-93.
- Hosseinzadeh, S. et al. (2017) “Empirical propagation performance evaluation of LoRa for indoor environment”, In: *Industrial Informatics (INDIN), IEEE 15th International Conference on*. IEEE. p. 26-31.
- Rappaport, T. S. (2009) “Comunicações sem fio: Princípios e Práticas”. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Hosseinzadeh, S. (2019) “Multi wall (COST231) & Free Space Signal Propagation Models”. MATLAB Central File Exchange. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/61340-multi-wall-cost231-free-space-signal-propagation-models>>. Acesso em: 17 mar. 2019.
- Santos, A. F. (2016) “Caracterização de Cobertura de Sinais em Ambientes Internos com Mais de Um Pavimento na Faixa de 700 MHz”. Dissertação (Mestrado em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, João Pessoa.
- Najnudel, M. (2004) “Estudo da Propagação em Ambientes Fechados para o Planejamento de WLANs”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – PUC-Rio, Rio de Janeiro.
- Gomes, I. R. (2010) “Modelo de Propagação Indoor Multi-andar em 2.4 GHz com Estimativa de Parâmetros de QOS em Chamadas VoIP”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – UFPA – Pará, Belém.
- Faria, A. A. A. (1996) “Rádio Propagação *Indoor* Utilizando *Ray Tracing Força Bruta*”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – UNICAMP – São Paulo, Campinas.
- Lopes, R.; Freixo, P.; Serrador, A. (2005) “Modelo de Propagação Para WLANs”. Disponível em: <repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/8817/1/Modelo_ASerrador_ADEETC.pdf>, Acessado em: 17 Maio 2019.