

## **Aplicabilidade dos Métodos de Predição COST231 e Miura na Cobertura Outdoor-Indoor na faixa de 700 MHz**

### **Applicability of COST231 and Miura Prediction Methods in Outdoor-Indoor Coverage in the 700 MHz Band**

DOI:10.34117/bjdv7n10-079

Recebimento dos originais: 07/09/2021

Aceitação para publicação: 08/10/2021

#### **Alexandre de Oliveira Mieli**

Mestre em Engenharia Elétrica

Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ)

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del-Rei, Minas Gerais, Brasil.

E-mail: a\_mieli@hotmail.com

#### **Gláucio Lopes Ramos**

Doutor em Engenharia Elétrica

Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ)

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del-Rei, Minas Gerais, Brasil

E-mail: glopesr@gmail.com

#### **Leni Joaquim de Matos**

Doutora em Engenharia Elétrica

Universidade Federal Fluminense (UFF)

Endereço: Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: lenijm@id.uff.br

#### **Matheus Bernardes de Moura**

Mestre em Engenharia Elétrica

Universidade Federal Fluminense (UFF)

Endereço: Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: matheus.moura@amdocs.com

#### **Paulo Victor Padrão Lopes**

Mestre em Engenharia Elétrica

Instituto Federal Fluminense (IFF)

Endereço: Rua Doutor Siqueira, 273, Parque Dom Bosco, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: paulo.padrao@iff.edu.br

#### **Natália Nogueira Monteiro**

Bacharel em Engenharia de Controle e Automação

Instituto Federal Fluminense (IFF)

Endereço: Rua Doutor Siqueira, 273, Parque Dom Bosco, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: natalia\_nmonteiro@outlook.com

## ABSTRACT

This work consists in verifying two prediction models applied in outdoor-to-indoor coverage, but now taking in consideration that there is some vegetation between the transmission antenna and the indoor environment and lateral obstacles. Measurements on a 768 MHz carrier were carried out along the corridors, in four floors, inside a building and the models were adjusted to the local mean of the received signal, leading to the conclusion that the multipath has great influence in the received signal levels, presenting a considerable difference in relation to the proposed models.

**Keywords:** indoor propagation, outdoor-to-indoor coverage, signal prediction models.

## ABSTRACT

This work consists in verifying two prediction models applied in outdoor-to-indoor coverage, but now taking into account that there is some vegetation between the transmission antenna and the indoor environment and lateral obstacles. Measurements on a 768 MHz carrier were carried out along the corridors, in four floors, inside the building and the models were adjusted to the location mean of the received signal, leading to the conclusion that the multipath has great influence on the received signal levels, presenting a considerable difference in relation to the proposed models.

**Keywords:** indoor propagation, outdoor-to-indoor coverage, signal prediction models.

## 1 INTRODUÇÃO

Uma vez que, nos dias atuais, se passa a maior parte do tempo em algum ambiente fechado, é indispensável para o provedor de rede tornar viável a conexão para os dispositivos aí localizados [1]. Estudos constatam que ampla proporção do tráfego de dados de celular tem origem dentro de edifícios. Tal fato acarreta uma maior significância para estudos de propagação de sinais em ambientes internos, para atender à crescente demanda por serviços de dados em alta velocidade e capacidade [2], [3]. Em alguns edifícios, a área de serviço interna é estabelecida por antenas de base posicionadas, exclusivamente, dentro do ambiente, entretanto, a maior parte da comunicação móvel interna é proveniente das ondas de rádio oriundas de estações base externas, que devem ser posicionadas de modo a minimizar possíveis perdas de sinal dentro das edificações [4], [5].

A atenuação dos sinais de rádio dentro de construções (edifícios, casas, etc.) não é tão simples de ser verificada, pois sua propagação é influenciada por diversos fatores [5]. Tal atenuação do sinal pode ser verificada em diversos níveis, sendo dependente do trajeto e dos meios pelos quais o mesmo se propaga [4].

Para melhor conhecer a propagação de sinais provenientes de fontes externas em direção ao interior de construções e prever seu comportamento no que se refere à perda de propagação até seu destino final, vários modelos de cobertura foram desenvolvidos,

sendo adotada neste trabalho a utilização de modelos empíricos [5], [6], [8]. Também se encontra a aplicação de redes neurais para prever a cobertura *indoor* a partir de sinal de transmissão *outdoor* [7].

A fim de verificar o modelo de melhor aderência aos dados medidos em um ambiente universitário na situação de transmissão *outdoor-indoor*, este artigo propõe verificar a aplicabilidade dos modelos COST 231 [8] e de Miura [5], testando sua aderência à curva de *path loss* obtida dos dados das medições. Tais medições foram realizadas na faixa de 700 MHz, de grande uso atualmente, principalmente para cobertura celular em zonas fora do perímetro da cidade, pois o sinal tem maior alcance nas frequências mais baixas. O diferencial no canal escolhido é que existe alguma vegetação no ambiente *outdoor*, entre a transmissão e a recepção, e nas laterais do prédio onde foram realizadas as medições, existe um morro à esquerda e um prédio à direita, tudo isto influenciando no nível de sinal recebido dentro do prédio. Assim, será possível se observar a influência, dos refletores e da vegetação, no sinal recebido no ambiente *indoor*. Para atingir tal finalidade, o artigo consta de mais quatro seções. A Seção II descreve os dois modelos a serem testados nos dados; a Seção III descreve o cenário de medições e o processamento dos dados; a Seção IV analisa os resultados e, por fim, a Seção V apresenta as conclusões do trabalho.

## 2 MODELOS DE PROPAGAÇÃO *OUTDOOR-INDOOR*

### A. Modelo COST231

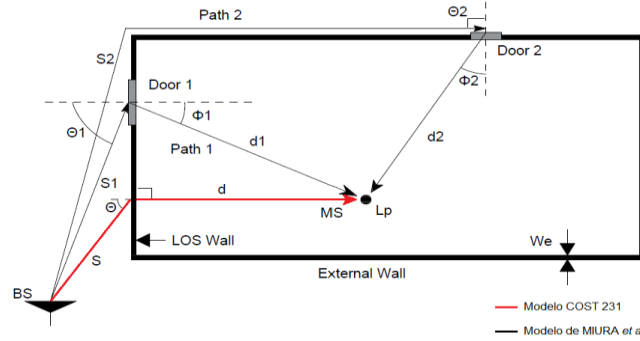
Neste modelo, o ponto de penetração é assumido como o ponto na parede da linha de visada (LOS) mais próximo da estação móvel, independente da estrutura da parede. As ondas de rádio transmitidas pela estação base penetram a parede neste local e se propagam dentro do edifício até as estações móveis (receptores), como se vê no exemplo da Fig. 1. A perda de propagação ( $L_p$ ) é calculada através de (1) [8]:

$$L_p = L_f(S + d) + W_e + WG_e(1 - \cos \theta)^2 + \alpha(d - 2)(1 - \cos \theta)^2 \quad (1)$$

onde  $S$  é a distância entre a estação base e o ponto de penetração na parede e  $d$  é a distância da parede externa à estação móvel;  $\theta$  é o ângulo de incidência da parede externa;  $L_f$  é a perda de propagação externa para a distância entre as bases. O termo  $W_e$  é a perda, em dB, de uma parede externamente iluminada com penetração perpendicular ( $\theta = 0^\circ$ );  $WG_e$  é a perda adicional, em dB, na parede externa, quando  $\theta = 90^\circ$  e  $\alpha$  é a constante específica

de atenuação interna, cuja unidade é dB/m [4], [5]. Na impossibilidade de se obter valores específicos desses parâmetros para o cenário em análise, foram utilizados os parâmetros de referência apresentados por [5], o que pode não representar o ambiente interno destas medições de forma tão minuciosa.

Fig. 1. Exemplificação dos modelos COST231 e Miura.



## B. Modelo Miura

As ondas de rádio transmitidas pela estação base propagam-se através do espaço livre até a parede externa do edifício. Daí, tais ondas atravessam a parede e, por último, a propagação acontece dentro do recinto onde está o receptor. A perda na propagação *outdoor-indoor* é estimada pela predição das perdas nessas três etapas que fazem parte do trajeto do sinal. Essas perdas podem ser calculadas individualmente e, naturalmente, a atenuação total ( $L_p$ ) é o resultado da somas de todas as perdas em dB [5], como é mostrado em (2):

$$L_p = L_{out} + L_{pn} + L_{in} \quad (2)$$

onde  $L_{out}$  é a perda de propagação externa,  $L_{pn}$ , em (3), é a perda pela penetração das ondas no edifício e  $L_{in}$ , em (4), é a perda de propagação interna.

De acordo com este modelo, assume-se que o caminho percorrido pelas ondas, através das aberturas no edifício, acarretará menor perda de sinal, sendo mais eficiente, mesmo que a distância de propagação seja maior por janelas ou portas, por exemplo. Isso significa que, se houver aberturas na parede externa do edifício, o caminho percorrido pelas ondas através das mesmas será dominante no processo de recepção e determinarão a atenuação no ponto de recepção [5].

$$L_{pn1} = W_e + WG_e(1 - \cos \theta)^2 + f(\phi_1) \quad (3)$$

A atenuação em (3) descreve o caminho 1 na Fig. 1. O primeiro termo  $W_e$  representa a perda através da abertura com penetração perpendicular ( $\theta = 90^\circ$ ); o segundo termo é a dependência angular externa, como no modelo COST231; e o terceiro termo é a dependência angular interna da abertura até o receptor.

A expressão que descreve a perda de propagação interna do caminho 1, calculada por este modelo, é:

$$L_{in1} = \alpha d_1 \quad (4)$$

onde  $\alpha$  é o coeficiente de atenuação para meios com propagação interna uniforme (normalmente único para cada construção) e  $d_1$  é a distância entre a abertura e o receptor [4], [5].

Para melhor lidar com as diversas condições de construções e estações base, a perda de propagação externa ( $L_{out}$ ) é calculada pela perda de propagação predita para macro ou microcélula, conforme for adequado [5].

### 3 CAMPANHA DE MEDIÇÕES E PROCESSAMENTO DOS DADOS

#### A. Ambiente das Medições

As medições foram realizadas nos quatro andares superiores (2º, 3º, 4º e 5º pavimentos) do bloco D da Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense (UFF), campus Praia Vermelha.

Fig. 2. Visão aérea do enlace.



(Fonte: Google Earth)

A linha preta da Fig. 2 mostra a distância entre os edifícios, que é de 112 m, enquanto a linha vermelha representa o trajeto realizado ao longo dos corredores do bloco D em uma extensão de 114 m, formando um ângulo de  $156^\circ$  entre as duas linhas. O

transmissor (TX), no topo do edifício do Instituto de Física, foi posicionado com azimute de 80° em relação à superfície normal à construção e inclinação vertical de 3°, de maneira que todo o edifício da Engenharia estivesse totalmente dentro da zona de meia potência do lóbulo principal da antena e que a máxima potência fosse apontada para o 5° andar. Para a obtenção desses dados, foi considerada como altura total a soma entre a altitude do terreno e a altura do edifício. A antena transmissora foi posicionada a 43 m acima do nível do mar, enquanto o edifício da Escola de Engenharia tem por base a altitude de 23 m, contando com 17 m de altura.

## B. Setup das Medições

Utilizou-se como transmissora a antena RFS modelo APX75-866512-CTO, a qual atende de maneira satisfatória às necessidades do estudo em questão. Seguem, na Tabela I, as especificações da antena transmissora.

TABELA I. Características da Antena Transmissora

Parâmetro	Valor
Faixa de Frequência	698-896 MHz
Ganho	14.1 dBi
Abertura Vertical	66°
Abertura Horizontal	15°
Tilt Elétrico	03°
VSWR	1.4
Impedância	50 $\Omega$
Potência Máxima de Entrada	500 W

A antena receptora utilizada foi do tipo omnidirecional, possuindo 2 dBi de ganho para a faixa deste trabalho (760 MHz), modelo CE-150727, fabricante CELTA. O gerador vetorial usado para transmissão foi o Anritsu MG3700A, que possui banda de operação entre 250 kHz e 3 GHz, resolução de 0.01 Hz e potência de transmissão entre -140 e 13 dBm. Tal dispositivo atinge com perfeição o objetivo da transmissão do sinal CW (*continuous wave*) faixa estreita na frequência de 768 MHz.

Uma vez que o tom é gerado e enviado através da antena, o analisador Anritsu MS2038A, na função de analisador espectral, recebeu e armazenou o sinal medido ao longo dos corredores dos quatro andares. Este equipamento possui capacidade para operar entre 9 kHz e 4 GHz e possui memória interna suficiente para armazenamento dos dados.

### C. Parâmetros e Procedimentos Básicos de Medição

A Fig. 3 mostra o diagrama em blocos do sistema devidamente montado, bem como suas características básicas de medição, que são discriminadas na Tabela II.

Fig. 3. Diagrama em blocos do sistema de transmissão e recepção.

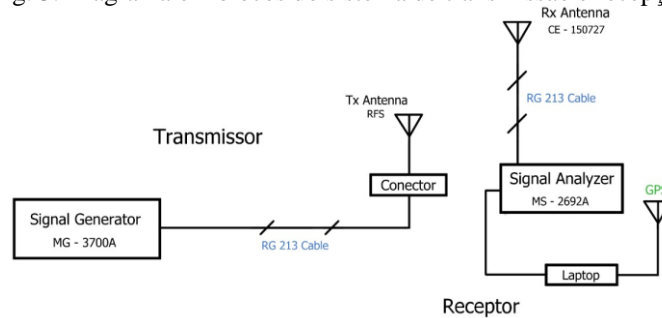


TABELA II. Parametrização Empregada nas Medições

Parâmetro	Unidade	Valor
Frequência Central	MHz	768
Potência de RF do Transmissor	dBm	6.5
Altura da Antena de Transmissão/Recepção	m	41/1.5
Ganho da Antena de Transmissão/Recepção	dBi	14.1/2
Perda Total nos Cabos	dB	2
EIRP	dBm	18.6

## 4 ANÁLISE DAS MEDIÇÕES

### A. Análise de Variabilidade em Pequena Escala do Sinal

Da Fig. 4 à Fig. 7 as amostras do nível de sinal medido estão distribuídas pela distância percorrida nos corredores do bloco D, assim como o sinal filtrado por FMM (filtro de média móvel) [9] para cada andar, de forma a obter o sinal de variabilidade de grande escala, com a perda com a distância nele embutida.

Fig. 4. Sinal medido e filtrado no 5º andar do bloco D.

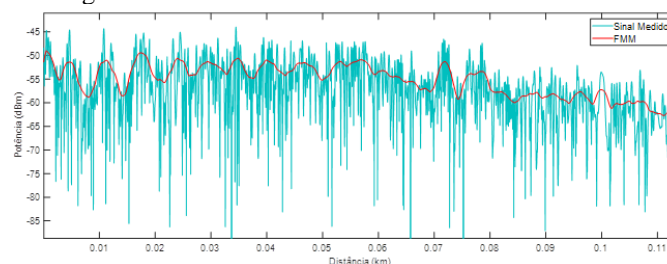




Fig. 5. Sinal medido e filtrado no 4º andar do bloco D.

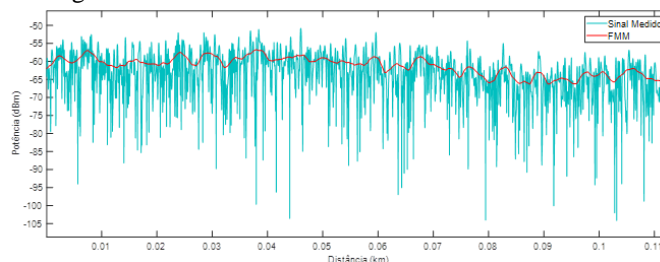


Fig. 6. Sinal medido e filtrado no 3º andar do bloco D.

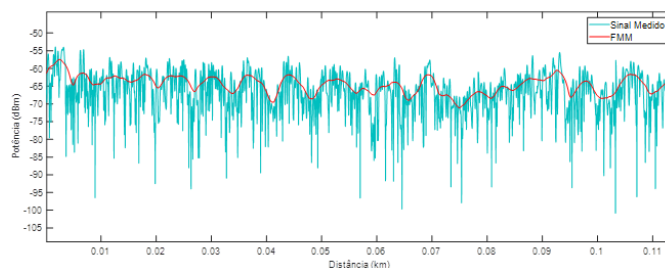
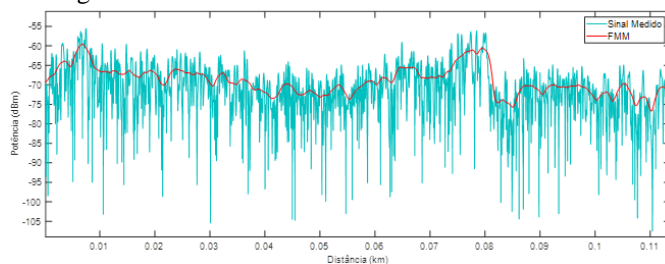


Fig. 7. Sinal medido e filtrado no 2º andar do bloco D.



Observa-se que o 5º andar é aquele que possui os maiores valores de nível de potência. É o que se esperava, uma vez que a direção de máxima potência da antena estava apontada para este andar, além do fato de que o sinal não atravessa a vegetação, como nos demais andares, percorrendo o espaço livre de obstáculos. Devido a um pequeno morro de um lado do bloco D e um prédio (Bloco E) do outro lado, multipercursos externos contribuem positivamente para o nível de sinal que chega aos corredores. Também há multipercursos devido à vegetação, principalmente do quarto andar para baixo, já que o feixe vai atravessar a vegetação entre o transmissor e o receptor. A variação do sinal com a distância é pequena ao longo dos corredores. Isso se dá pelo fato de que o sinal passa do ambiente externo para os corredores do edifício, que funcionam como guias de onda, confinando o sinal, com multipercursos advindos das reflexões em suas paredes. O sinal recebido a cada instante é, portanto, o resultado de somatórios positivos e negativos dos multipercursos, explicando vários pontos de mínimo com valores por volta de 30 dB abaixo da média e queda lenta.



Através do levantamento da estatística de variabilidade, verifica-se, dentre as distribuições mais usuais (Rice, Rayleigh e Nakagami), que Rice é a melhor ajustada à variabilidade em pequena escala, com menor erro de verossimilhança máxima, através do uso da função *dfittool* do MATLAB®. Todos os andares apresentaram comportamento padrão, mostrando valores muito próximos entre as distribuições Rice e Nakagami. Os gráficos das funções densidade de probabilidade (f.d.p.) para os andares medidos estão traçados das Fig. 8 à Fig. 11.

Fig. 8. F.d.p. da variabilidade em pequena escala do sinal no 5<sup>o</sup> andar.

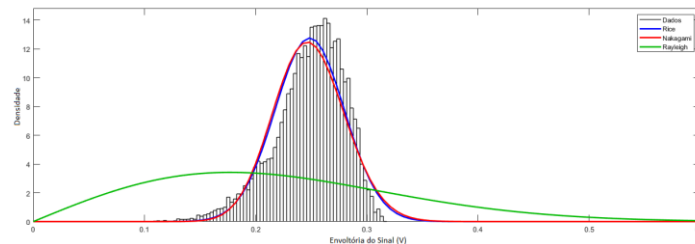


Fig. 9. F.d.p. da variabilidade em pequena escala do sinal no 4<sup>o</sup> andar.

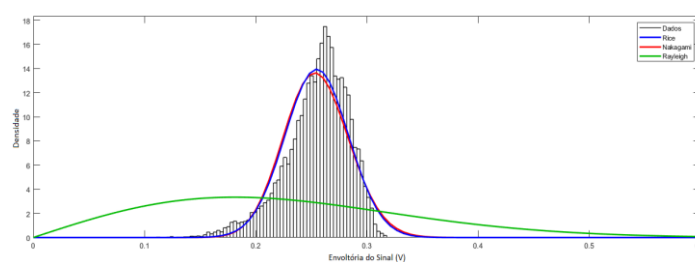


Fig. 10. F.d.p. da variabilidade em pequena escala do sinal no 3<sup>o</sup> andar.

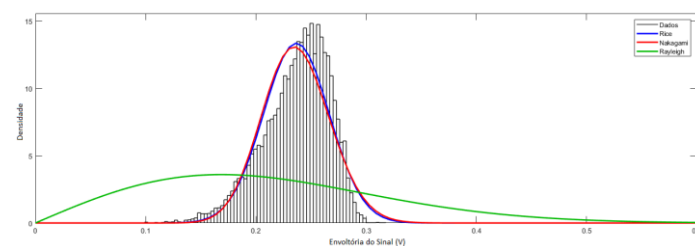
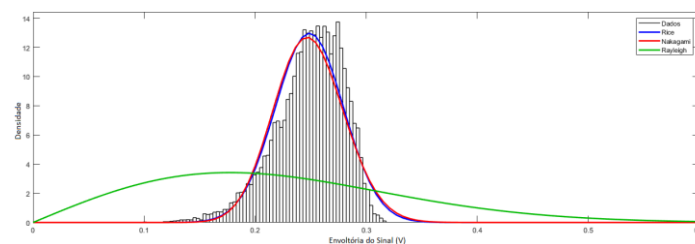


Fig. 11. F.d.p. da variabilidade em pequena escala do sinal no 2<sup>o</sup> andar.



A f.d.p. Rayleigh mostrou-se totalmente fora do ajuste. Isto era de se esperar, pois esta distribuição é típica de ambientes com multipercursos, sem a presença de uma

componente de visada dominante chegando ao receptor. Já a f.d.p. Rice é típica de recepção com forte raio principal de chegada e mais multipercursos de níveis mais baixos.

## B. Análise dos Métodos de Predição

Entre os métodos de predição, embora tenham apresentado curvas muito próximas, o modelo COST231 foi o que melhor se ajustou ao sinal medido, apresentando menor erro (RMSE – *Root Mean Squared Error*) em todos os andares verificados, destacando que os valores de erro são relativamente grandes, como mostra a Tabela III.

Vale ressaltar que, no modelo de Miura, os parâmetros empregados foram:  $WGe = 20$  dB,  $We = 17.2$  dB,  $f(\theta) = WGi \sin \theta = 20 \cdot \sin \theta$  e  $\alpha = 0,348$  dB/m. Os valores foram calculados a partir de uma série de testes de campo [5], em distâncias diferentes ao ambiente *indoor* e posições diferentes das aberturas no mesmo, sendo usados os valores médios obtidos e, por isso, foram empregados neste trabalho.

TABELA III. ERRO RMSE DOS MODELOS AJUSTADOS À CURVA EXPERIMENTAL DE *PATH LOSS* DO SINAL MEDIDO NOS DIVERSOS ANDARES

RMSE		
Andar/Distri buição	COST2 31	Miura
5° andar	9.345	9.902
4° andar	11.644	12.210
3° andar	17.245	17.791
2° andar	21.735	22.066
Média	14.992	15.492

Percebe-se, entre os pavimentos, uma diferença variável do nível de sinal, sendo de 20 dB entre o início do segundo e quinto andares, por exemplo, o que é esperado, uma vez que, além do TX estar apontado diretamente para o último andar, existe uma sobreposição de pavimentos, levando os andares inferiores a sofrer um pouco mais com a atenuação. Através dos gráficos das Fig. 12 à Fig. 15, verifica-se que as curvas dos modelos ajustados se distanciam gradualmente da curva do sinal obtido à medida em que se caminha para pavimentos inferiores, onde as distâncias são maiores, portanto, gerando maior atenuação. Os efeitos de multipercursos tendem a ser maiores para os andares de baixo, mas é importante lembrar que os modelos empregados não levam em conta vegetação entre TX e RX e as superfícies refletoras externas (morro e bloco E).

Fig. 12. Modelos e sinal em grande escala medido no 5<sup>o</sup> andar.

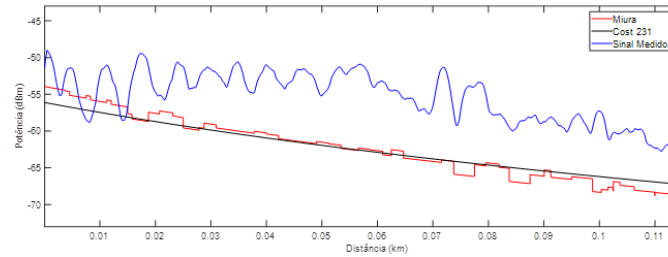


Fig. 13. Modelos e sinal em grande escala medido no 4<sup>o</sup> andar.

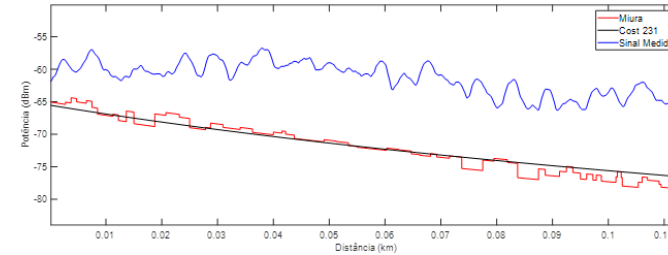


Fig. 14. Modelos e sinal em grande escala medido no 3<sup>o</sup> andar.

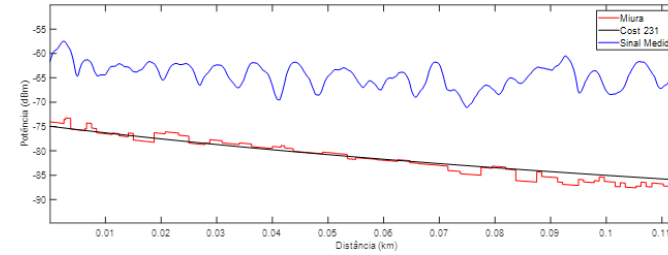
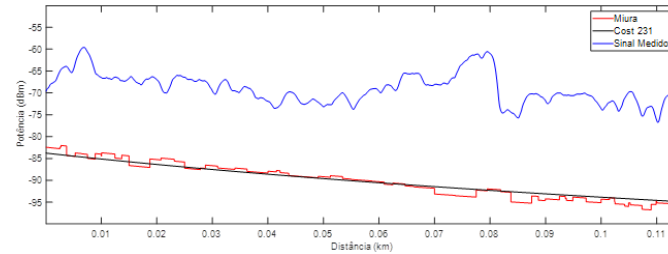


Fig. 15. Modelos e sinal em grande escala medido no 2<sup>o</sup> andar.



## 5 CONCLUSÕES

Medições de sinal, oriundo de transmissão externa, foram realizadas ao longo de corredores de quatro andares de um prédio, mostrando comportamento um tanto semelhante, gerando convergência para a função de densidade de probabilidade Rice para a variabilidade em pequena escala. Isso mostra que, diferente do que seria com Rayleigh, o sinal apresentou um raio dominante bastante significativo e sua intensidade em cada local do percurso medido sofreu influência não só do espaço livre (ambiente *outdoor*), como da atenuação oriunda da vegetação, de pisos e paredes e sombreamento nos andares inferiores em decorrência de obstáculos na rota.

Dentro do edifício (ambiente *indoor*), o sinal apresentou uma menor variação de intensidade à medida que avançava no percurso devido à canalização e os corredores funcionaram como um guia de ondas, com maior contribuição ao sinal do que destruição pela sobreposição de efeitos de multipercurso, mostrando um comportamento típico de sinal em ambientes confinados, onde a queda com a distância é menor do que no espaço livre.

Verificou-se que os modelos COST231 e Miura apresentaram um ajuste muito próximo, porém foram bem mais pessimistas que o sinal medido, mostrando que, neste ambiente, a contribuição de multipercursos externos foi construtiva, fornecendo um nível final de sinal maior que aquele previsto pelos modelos.

Como trabalho futuro, novos testes serão realizados não só no mesmo ambiente entre o transmissor e o prédio, confirmando os valores dos parâmetros de Miura aqui usados, como em diferentes ambientes, buscando equações genéricas para tais parâmetros usados na determinação da predição pelo modelo de Miura.

## REFERÊNCIAS

- [1] F. A. K. Kakar, K. A. Sani, and F. Elahi. "Essential Factors Influencing Building Penetration Loss". IEEE International Conference on Communication Technology, pp. 1-4, 2008.
- [2] H. Liang, and W. Zhuang. "Efficient On-Demand Data Service Delivery to High-Speed Trains in Cellular/Infostation Integrated Networks". IEEE Journal on Selected Areas of Communication, vol. 30, no. 4, pp. 780-791, 2012.
- [3] M. C. L. M, Frazão, N. A. Lemos, J. C. Silva, A. G. Neto, C. J. O. Peixeiro. "Caracterização da Cobertura de Sinais na Faixa de 700 MHz em Ambientes Internos sem Visada Direta Considerando os Efeitos dos Azimutes da Antena Diretiva". Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.5, p. 49452-49464, 2021.
- [4] W. M. Guimarães, and C. G. Batista. "Estudos de Modelos de Predição de Sinais para Propagação *Outdoor-Indoor*". Departamento de Engenharia de Telecomunicações, UFSJ, São João del-Rei, 2018.
- [5] Y. Miura, Y. Oda, and T. Taga. "Outdoor-to-Indoor Propagation Modelling with the Identification of Path Passing through Wall Openings," The 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, vol.1, pp. 130-134, Portugal, 2002.
- [6] H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo, "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area". IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 58, no. 3, pp. 1059-1067, 2009.
- [7] M. B. Moura, "Melhoria na Predição de Cobertura de Sinal Rádio Móvel *Outdoor-Indoor* na Faixa de 700 MHz através de Redes Neurais". Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações, UFF, Niterói, Dissertação de Mestrado 2017.
- [8] Cost Action 231, Digital mobile radio towards future generation systems – Final Report, Directorate-General Telecommunications, Information Society, Information Market, and Exploitation of Research, 1999.
- [9] J. G. Proakis, Digital Communications, 4th. Ed, McGraw Hill, 2000.