



## UTILIZAÇÃO DA TRANSFORMADA DA INCERTEZA PARA DETERMINAÇÃO DO MELHOR MODELO DE PROPAGAÇÃO PARA SISTEMA DE COMUNICAÇÃO MÓVEL UBÍQUA

João Batista José Pereira<sup>1</sup>, Wivianne Cristina dos Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Professor Doutor em Telecomunicações do IFG. e-mail: jb@ifg.edu.br

<sup>2</sup>Bolsista PIBIC/CNPq/IFG. e-mail: wivianne.santos@estudantes.ifg.edu.br

**Resumo:** Os principais problemas das comunicações sem fio são as atenuações, distorções e interferências eletromagnéticas que os sinais sofrem. Sendo que destes o que sempre ocorre é a atenuação que é causada pela perda no espaço livre, reflexão em superfície plana, refração e difração pelos objetos no percurso. O sinal no receptor é o somatório dos diversos sinais oriundos do transmissor que são refletidos, refratados, difratados e/ou provenientes de sistemas interferentes. O trabalho tem como principal objetivo buscar uma solução eficiente que melhore a utilização dos recursos da rede wireless, num cenário de operação dinâmica, com impacto mínimo na arquitetura da infraestrutura existente, obtendo redução de custos e melhor desempenho da rede. Foram analisados cenários indoor onde os caminhos, obstáculos e potências envolvidas definem a eficiência do sistema de telecomunicação em uso. Utilizando métodos de propagação obtêm-se melhor controle e desempenho da rede Wireless com a alteração de alguns parâmetros como distância e frequência, sem a alteração da infraestrutura já existente no local, o que ocasiona redução de custos. O método da Teoria da Incerteza é recomendável devido menor exigência de cálculos computacionais, se comparado com outros métodos de análise estatística como o método de Monte Carlo, e se obtêm a mesma garantia de resultados.

**Palavras-chave:** comunicação wireless, móvel, transforma da incerteza, ubíqua

### 1. INTRODUÇÃO

A Computação Ubíqua envolve, em termos tecnológicos, a existência de diversos computadores interconectados por redes sem fios em cada ambiente, protocolos de comunicação que permitam o trânsito entre diferentes dispositivos e entre redes que se espalham pelos prédios, ruas, carros, em todos os locais. Isso demanda computadores de diferentes tamanhos, assim como sensores que os tornem conscientes de cada usuário e de cada ambiente (ZANELA, 2007).

Formas de rede de informações e comunicações ubíquas são evidentes se considerar o imenso número de dispositivos móveis distribuídos por todo o mundo. Além disso, se considerarmos a miniaturização dos processadores e o uso de tecnologias de rádio de baixa potência, conseguimos a chamada IoT – (*Internet of Things* - Internet das Coisas), com isso, os objetos criam uma nova dinâmica de redes, que permitem novas formas de interação entre objetos e, com isso, novos tipos de serviços (ARDREINI, 2012).

Os principais problemas das comunicações sem fio são as atenuações, distorções e interferências eletromagnéticas que os sinais recebem. Sendo que destes o que sempre ocorre é a atenuação. Os motivos que levam as ondas eletromagnéticas a sofrerem atenuação no percurso entre a antena transmissora e a receptora são a perda no espaço livre, reflexão em superfície plana, refração e difração em objetos no percurso (MENDONÇA, 2002).

O trabalho propõe como objetivo geral, buscar uma solução eficiente que melhore a utilização dos recursos da rede *wireless*, num cenário de operação dinâmica, com impacto mínimo na arquitetura da infraestrutura existente, obtendo assim menores custos e melhor desempenho da rede.

Como objetivos específicos, propõe a tabulação e o tratamento dos resultados teóricos e práticos já existentes efetuados pela pesquisadora Oliveira e o tratamento estatístico desses resultados.



## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados durante o projeto 02 Microcomputadores PC-AT, 01 Microcomputador Notebook, 02 Pontos de Acesso 802.11, 01 Conjunto de Teste de Antenas e 01 Analisador de Espectro de 6 GHz com funcionalidade de medição de intensidade de campo.

O método utilizado nesse trabalho foi o Hipotético-Dedutivo numa política de diferenciação dos diversos modelos empíricos, probabilísticos e científico determinístico. Os métodos de procedimento executados foram o comparativo e o monográfico. E as técnicas usadas foram pesquisa bibliográfica, laboratório, simulações e teste de campo.

Foram analisados cenários *indoor* e *outdoor* (considerando propagação eletromagnética e antenas) onde os caminhos, obstáculos e potências envolvidas definem a eficiência do sistema de telecomunicação em uso.

O tipo de amostragem usada foi a probabilística que se baseia na escolha aleatória dos dados pesquisados através de simulações e/ou teste de campo. A utilização de tratamento estatístico possibilita compensar erros amostrais e outros aspectos relevantes para a representatividade e significância da amostra.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sinal presente no receptor é o somatório dos diversos sinais oriundos do transmissor que são refletidos, refratados, difratados e/ou provenientes de sistemas interferentes. O cálculo de potência do sinal recebido pode ser feito utilizando-se de modelos de propagação *indoor*. De uma forma geral, estes modelo podem ser representado pelas Equações 1 e 2.

$$P_R = P_T + G_R + G_T - L \quad (1)$$

$$P_R = P_T + G_R + G_T - [a + b \cdot \log(f) + c \cdot \log(d_0) + e \cdot \log(d) + L_p + L_a] \quad (2)$$

Em que:

$P_R$  – potência recebida (dBm);

$P_T$  – potência transmitida (dBm);

$G_R$  – ganho da antena receptora (dBi);

$G_T$  – ganho da antena transmissora (dBi);

$L$  – perda de propagação em função da distância (dB);

$a$  – constante determinada empiricamente ou a partir de modelos canônicos (dB);

$b$  – fator de atenuação com a frequência (relativo ao expoente de perda com a frequência);

$c$  – fator necessário quando o modelo utiliza uma distância de referência,  $d_0$ ;

$e$  – fator de atenuação com a distância (valor tabelado);

$L_p$  – atenuação devida à travessia de paredes (dB);

$L_a$  – atenuação devida à travessia de pisos (dB);

$f$  – frequência da portadora (MHz);

$d$  – distância entre transmissor e receptor (m);

$d_0$  – distância de referência (m).

Segundo a pesquisadora Oliveira existem vários modelos empíricos de propagação *indoor* e entre eles os que apresentaram resultados com melhor similaridade com os testes de campo foram: *One-Slope*, *Chan/Razaqpur*, *Seidel/Rappaport I*, *ITU-R*, *ITU-R P.1238*, *Sheikh et. al.*, *Keenan/Motley*, *Multi-wall* e *Tornevik et. al.* (OLIVEIRA, 2010).

Os testes realizados para confirmação, aprimoramento e expansão da análise da pesquisadora Oliveira foram efetuados com a utilização do programa *Netstumbler* 4.0 que é uma ferramenta que possibilita a medição de sinais em redes sem fio, padrões 802.11b, 802.11a e 802.11g.

Para análise dos modelos empíricos de propagação *indoor* foram consideradas as distâncias na faixa de 1m a 70m (distâncias normalmente encontradas nos ambientes *indoor*), determinados pelo método Monte Carlo. A frequência utilizada nas medidas e nos cálculos do sinal recebido foi de 2.450MHz.

Para se determinar o melhor modelo de propagação, foram utilizadas ferramentas de análise estatística tais como: Média, Erro Padrão, Mediana, Moda, Desvio Padrão, Variância da Amostra, Curtose, Assimetria e Valor Médio Quadrático.



Comparando as medidas feitas do sinal recebido com os valores calculados pelos diversos modelos empíricos de propagação indoor apresentados e após análise estatística criteriosa, os modelos com melhor comportamento e com os valores mais próximos dos medidos foram: ITU-R; Seidel / Rappaport II; Seidel / Rappaport III; Bartolomé / Vallejo; Tornevik et all. O modelo com maior destaque foi o Bartolomé / Vallejo como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1- Análise dos parâmetros estatísticos dos modelos empíricos de melhor comportamento.

Modelos de Propagação	Bartolomé / Vallejo	ITU-R	Seidel / Rappaport II	Seidel / Rappaport III	Tornevik et all
Média	58,393	-67,937	-68,378	-68,376	-68,378
Erro padrão	0,457	0,761	0,761	0,761	0,761
Mediana	59,431	-69,665	-70,108	-70,106	-70,108
Modo	59,410	-69,630	-70,074	-70,072	-70,074
Desvio padrão	4,568	7,612	7,613	7,613	7,613
Variância da amostra	20,863	57,955	57,952	57,952	57,952
Curtose	1,250	1,249	1,250	1,250	1,250
Assimetria	-1,186	1,185	1,186	1,186	1,186
Valor Médio Quadrático	58,569	68,359	68,796	68,794	68,796

Outra ferramenta muito útil e simples para análise de resultados com comportamentos probabilísticos é a UT (*Unscented Transform* - Transformada da Incerteza) (PEREIRA, 2008).

Utilizando cálculos de UT pode-se prever qual será o sinal recebido em uma determinada distância. Por exemplo: sejam as variáveis aleatórias de entrada  $d_r$  (distância) e  $f_r$  (frequência em MHz), onde o valor médio de  $d_r$  é 40 m e o intervalo é de 30m, e o valor médio de  $f_r$  é 2437MHz e o intervalo de 30MHz. Então  $d_r = 40 \pm 30m$  e  $f_r = 2437 \pm 30MHz$ . Usam-se três pontos sigma ( $n=3$ ) e são efetuados nove cálculos ou medições.

Então se calcula a probabilidade de ocorrência em função do afastamento da média segundo o número de desvios-padrão, ou seja, para 95,4% de certeza temos que o sinal recebido dentro desta faixa de frequência e distância compreenderá na faixa de  $-107,557 < P_r < -97,261$ .

Se quiser maior refinamento usam-se cinco pontos sigma ( $n=5$ ) e são necessários vinte e cinco cálculos ou medições. Neste caso para 95,4% de certeza temos que o sinal recebido dentro desta faixa de frequência e distância compreenderá na faixa de  $-89,693 < P_r < -110,276$ .

Utilizando-se a Função Densidade Probabilidade para construir a Figura 1 pode-se verificar a probabilidade de ocorrência de qualquer valor dentro deste intervalo utilizando tanto 3 quanto 5 pontos sigma.

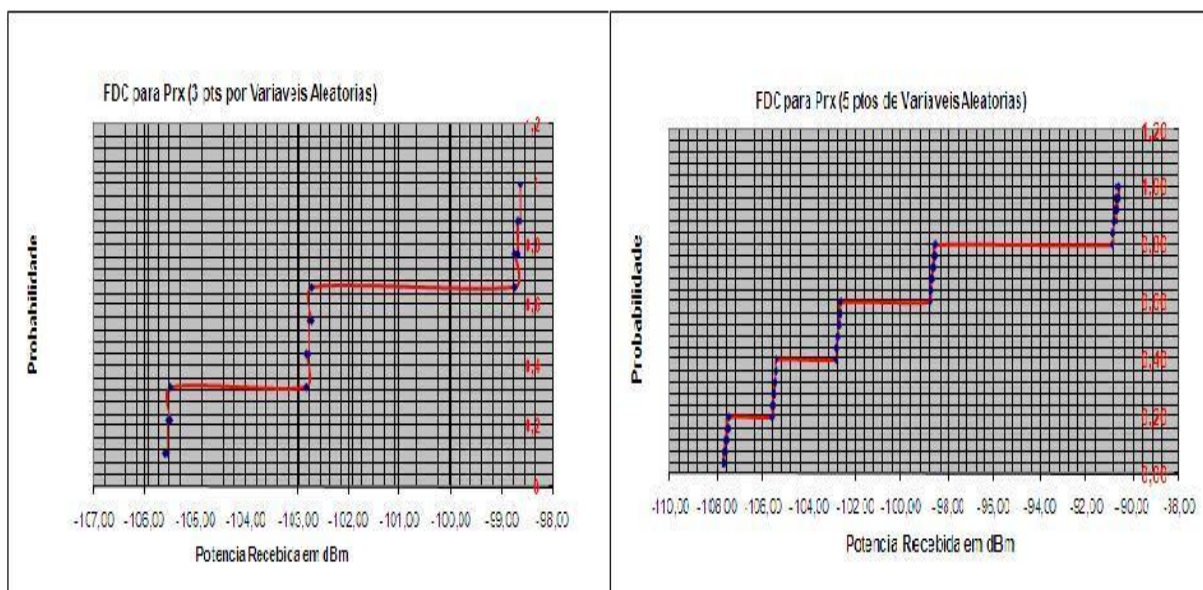


Figura 1 - Função Densidade de Probabilidade.

## 6. CONCLUSÕES

As principais vantagens deste método é o fato de não existir a necessidade de se resolver sistemas de equações, consistindo-se de um método bastante simples, estável envolvendo esforços computacionais modestos. Permite determinar com um grau de precisão satisfatório o valor esperado (estimado) da potência do sinal recebida e seu desvio padrão, para variações da distância e frequência, de maneira rápida e simples. Com a transformada da incerteza é muito mais rápido devido ao pequeno número de simulações, cálculos ou medições necessárias. A convergência ocorre com apenas três valores por variáveis, enquanto que para métodos como Monte Carlo a convergência começa a partir de 50 amostras.

## REFERÊNCIAS

ARDREINI, F.; CRISCIANI F.; CICONETTI C.; MAMBRINI R. **Internet das Coisas: Acesso a Serviços Geolocalizados. Rti Redes, Telecom e Instalações**, São Paulo-Capital, número 142, Mar. 2012, Aranda Editora.

MENDONÇA, L. **Análise da Propagação de Ondas Eletromagnéticas em Canais com Desvanecimento**. 2002. 111f. Dissertação (Mestrado em Telecomunicações) – Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí-MG, 2002.

OLIVEIRA, Juliana M.; PEREIRA João B. J. **Estudo Comparativo de Modelos de Propagação**. In: MOG2010, 2010, Vitória-ES.

PEREIRA, João B J. **Modelagem de Incertezas em Sistemas de Aterramento Elétrico**. 2008. 131f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2008.



ZANELA, Z.; REINHARD, N. Tecnologias de informação móveis, sem fio e ubíquas: definições, estado-da-arte e oportunidades de pesquisa. **Revista de Administração Contemporânea**, Curitiba, volume 11, número 4, Oct./Dec. 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-65552007000400009](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-65552007000400009)>. Acesso em: 08 Abr. 2012.