

SPRad: Preditor de Cobertura Multi-faixa

Mateus M. Evangelista¹, Cláudio G. Batista², Cássio G. Rego¹, Fernando J. S. Moreira¹, Paulo Roberto R. Medeiros³

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos 6627,
31270-901, Belo Horizonte, MG

²GAPEA, DETEM/UFSJ

³TIM – Networking Implementation – TLE

Resumo — Esse trabalho apresenta uma nova ferramenta para análise de previsão de cobertura radioelétrica para sistemas de telefonia móvel celular. A partir do levantamento de perfis topográficos da região de interesse, características do solo e sistema irradiante, são calculados os níveis de potência recebida através do Método dos Momentos, FDTD e da recomendação ITU - 1546, utilizando o software *SPRad*. A partir desses dados, é feita uma estimativa do percentual de cobertura da região para um dado nível de serviço. Dois estudos de caso realizados em Belo Horizonte/MG são apresentados como exemplos.

Palavras chave—Previsão de Cobertura; Método dos Momentos; ITU-1546; Percentual de área coberta;

I. INTRODUÇÃO

O planejamento e análise de sistemas de comunicação wireless é um tema de grande importância atualmente. Os recentes avanços tecnológicos na área de telefonia celular (como o advento dos *smartphones* e o *WiMax*) fizeram com que as redes sem fio se tornassem cada vez maiores e mais complexas. Com isso, há um grande interesse no desenvolvimento de técnicas para previsão de cobertura radioelétrica e capacidade de transmissão de dados.

As ferramentas comerciais mais utilizadas atualmente baseiam-se em modelos semi-empíricos, como a ITU-R 1546 e modelos empíricos, como os modelos de Okumura-Hata e variantes. A grande vantagem desses métodos é seu baixo custo computacional e grande agilidade, porém, são necessárias longas campanhas de medição, para realizar a calibração dos modelos de propagação, o que pode tornar sua utilização economicamente inviável em alguns casos. Com o avanço dos computadores, e o surgimento de algoritmos com técnicas de aceleração [1], ferramentas baseadas em modelos analíticos (como o Método dos Momentos e FDTD) têm se mostrado como alternativas interessantes no projeto de rádio-enlaces, dada a maior precisão e rigor nas previsões [2]. A partir desse interesse, vem sendo desenvolvido por pesquisadores do Gaptem/UFGM (Grupo de Antenas, Propagação e Teoria Eletromagnética) o *software* *SPRad*, que faz o cálculo do nível de sinal recebido em enlaces bidimensionais [2], [3], [4], [5] utilizando informações sobre o solo e perfis topográficos da região de interesse, assim como do sistema irradiante presente nos transmissores. O *software* realiza as previsões utilizando modelos analíticos (Método dos Momentos, FDTD, etc.) e semi-empíricos (ITU – 1546). Com os resultados obtidos, é feita então uma estimativa do percentual da área coberta com

um nível de sinal acima de um determinado limiar [6], avaliando a qualidade de serviço em uma determinada localidade.

O presente trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção II é apresentada a metodologia para o levantamento das informações da região de interesse. Em seguida, na Seção III, mostra-se os procedimentos para o cálculo da predição de cobertura através das técnicas implementadas. Por fim, são apresentados resultados para dois estudos de caso realizados em Belo Horizonte/MG na Seção IV, para uma Estação Rádio Base de telefonia celular e uma estação de rádio FM, seguida de uma breve discussão dos resultados obtidos e então é feita a conclusão na Seção V.

II. METODOLOGIA

A. Levantamento das informações da região de interesse

Primeiramente, é levantado o perfil topográfico da região de interesse, a partir de bases de dados existentes (comerciais ou de uso livre [7]). A partir desses dados, são levantados os perfis topográficos bidimensionais para um determinado número de radiais, com amostras igualmente espaçadas, que se originam do ponto onde está instalado o transmissor a ser avaliado, até o raio da região de interesse. O número de perfis coletados é feito de tal forma que o comprimento do arco relativo ao setor circular formado entre duas radiais seja menor que a resolução dos perfis (distância entre 2 pontos adjacentes), como mostrado na figura 1, para que possa ser realizada uma análise ponto-área de cobertura, através de uma interpolação com os valores obtidos em cada perfil calculado.



Figura 1 – Perfis radiais coletados e área de interesse para a previsão

Também são coletadas informações relativas ao solo da região, como permissividade relativa e condutividade médias.

B. Informações do sistema irradiante

Após obtidas as informações topográficas do terreno, são inseridas no software também as características do sistema irradiante, como frequência de operação, número de antenas, altura, potência, diagramas de radiação, azimute e tilts (elétrico e mecânico). Como o cálculo dos enlaces é feito de forma bidimensional, o diagrama de radiação horizontal é contabilizado tomando um ponto no diagrama relativo ao ângulo azimutal de cada enlace.

III. CÁLCULO DO NÍVEL DE COBERTURA

Levantadas os dados necessários, é realizado o cálculo da potência recebida, através do Método dos Momentos, FDTD e da recomendação ITU – 1546.

Para ambos os métodos, primeiramente é calculada a previsão de cobertura para os perfis bidimensionais. Os resultados então estendidos para a área de interesse através da interpolação dos valores obtidos para 2 perfis adjacentes.

A. Método dos Momentos

A previsão de cobertura pelo Método dos Momentos parte da solução das equações de Maxwell através de Equações Integrais para o Campo Magnético (MFIE) e Campo Elétrico (EFIE). A formulação para o Campo Magnético é a mais utilizada no software, por apresentar melhores resultados que aquela do Campo Elétrico [2].

Para a formulação das Equações Integrais utilizadas, foram feitas as seguintes considerações

- Frequência de operação: faixas de VHF e UHF;
- Despreza-se a incidência rasante;
- Solo modelado por trechos homogêneos, localmente planos e com diferentes parâmetros constitutivos;
- Terreno invariante na direção perpendicular à direção de propagação.

O terreno também é assumido como sendo eletricamente suave, ou seja, os raios de curvatura das irregularidades do terreno são muito maiores que o comprimento de onda. Dessa forma, é possível desprezar o retro-espalhamento de energia sem maiores prejuízos nos resultados, além de se reduzir o custo computacional. As perdas do solo são calculadas assumindo-se a condição de contorno de Leontovich, para o tratamento da condutividade finita do terreno. O desenvolvimento da formulação que inclui a perda no solo é encontrada em [6]. A formulação para a equação MFIE implementada é descrita em [1].

Para o recepção, assume-se um receptor omnidirecional do tipo dipolo de Hertz, com ganho de 1,76 dBi. A altura normalmente utilizada é de 1,8m. Define-se também o número de segmentos por comprimento de onda, utilizado no cálculo das correntes equivalentes. Podem ser consideradas as

Tabela 1 – Parâmetros Constitutivos

Tipos de Solo	Parâmetros Constitutivos		
	μ_g/μ_0	ϵ_g/ϵ_0	σ_g
Solo Seco	1	6	0,001
Solo Médio	1	15	0,012
Solo Úmido	1	27	0,2
Mar/Oceano	1	81	2
Lago/Lagoa	1	81	0,01
Areia Seca	1	3	0,001
Areia Úmida	1	30	0,01

polarizações vertical e horizontal, modificando a impedância equivalente utilizada na estimativa das perdas do solo [1]. Os parâmetros constitutivos adotados no cálculo da impedância de superfície são mostrados na Tabela 1.

B. Recomendação ITU – 1546

A implementação feita no software SPRad é baseada na terceira versão da Recomendação ITU-R 1546-2. Foram utilizadas as curvas de propagação padrão do modelo, como mostrado na figura 2, com variabilidade local de 50%, percentuais de tempo excedido de 1, 10 e 50%, altura efetiva do transmissor de 10 a 1200m e altura do receptor de 10 a 30m para a terra e 10m para a água. Também foi implementada a correção do ângulo de visada do terreno, para as situações onde existem obstáculos relevantes ao longo do enlace.

Para o tratamento de terrenos mistos (terra/água), também foi proposta uma correção em [4], onde é considerada a sequência de zonas sobre terra/água.

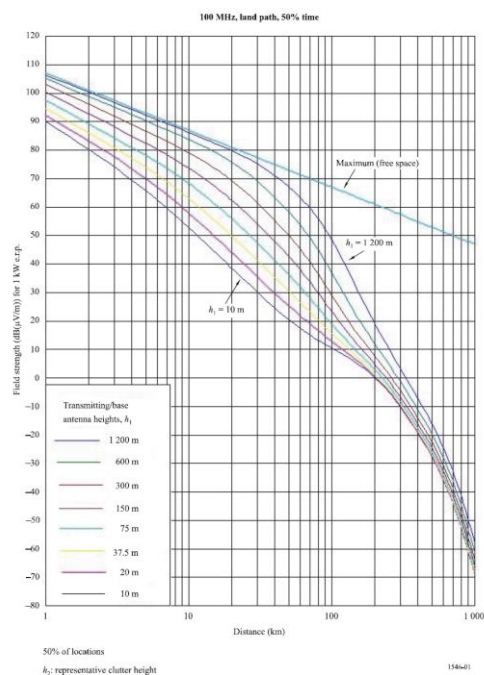


Figura 2 - Exemplo de curva de propagação da ITU 1546-2 [4]

C. FDTD

O SPRad também realiza a previsão de cobertura utilizando uma versão do algoritmo FDTD do tipo janela deslizante [5]. O método implementado tem as seguintes características

- Algoritmo incondicionalmente estável, onde o passo de tempo não é limitado pelo fator de Courant;
- Formulação da PML independente do material, reduzindo os erros de reflexões espúrias e no cálculo de permissividades efetivas;
- Aumento na ordem das derivadas espaciais, reduzindo a dispersão numérica.

O domínio computacional móvel reduz drasticamente o custo computacional, principalmente para enlaces de grandes dimensões. As modificações feitas no intervalo de amostragem de tempo e no cálculo das derivadas espaciais, onde a maior ordem da expansão em série de Taylor das mesmas permite utilizar um nível de discretização menor, também auxiliam na redução do uso de recursos computacionais.

A principal vantagem do método na predição de cobertura radioelétrica é a possibilidade de modelar a propagação de um sinal com largura espectral arbitrária, ao contrário das técnicas convencionais (no domínio da frequência) que assumem portadora monocromática. Dessa forma, é possível fazer a caracterização de um enlace para um maior número de faixas de frequência de interesse em apenas uma sequência de cálculos, utilizando algoritmos da transformada de Fourier para fazer a análise de cada faixa.

D. Percentagem de área coberta

Para se realizar o cálculo do percentual de área coberta, é utilizado o modelo de sombreamento log-normal, conforme as definições apresentadas em [6]. Definido um limiar de recepção para um móvel médio, é estimado o percentual da área da região de interesse em que o nível de sinal recebido

IV. RESULTADOS

Para fazer a validação das técnicas implementadas no software SPRad, foram feitas comparações com medições feitas na Dinamarca e em Brasília. O modelo de Hata também foi considerado nas comparações [1], [2].

Os resultados, como o da Figura 3, mostraram que a técnica com maior concordância com as medições foi a MFIE.

A. Estudo de Caso 1 – Estação Rádio Base

A ferramenta SPRad vem sendo utilizada na avaliação da cobertura oferecida por ERBs de empresas de telefonia celular em Belo Horizonte/MG, para atender a lei municipal nº 8201, de 17 de julho de 2001, que regulamenta a localização das mesmas, determinando uma distância mínima de 500m entre estações do tipo Greenfield



Figura 3 - Resultados para um perfil em Hjørring, Dinamarca. $f = 435$ MHz

A ferramenta auxilia na determinação da possibilidade de mudança das ERBs em desacordo com a lei, verificando se a qualidade do serviço oferecido é comprometida com a alteração.

Para o caso exemplo, a avaliação pelo Método dos Momentos tinha os seguintes parâmetros

- Raio: 500m
- Número de radiais: 48
- Pontos por radial: 50
- Frequência de operação: 850MHz
- $P_{transmissão}$: 40 dBm
- Ganho: 18,5 dBi (setor 1); 9 dBi (setores 2 e 3)
- Limiar de recepção: -80 dBm
- Segmentos/lambda: 4
- h_{TX} : 40m (setores 1 e 2); 30m (setor 3)
- $\sigma_g = 0,012$ S/m $\epsilon_g/\epsilon_0 = 15$

Os azimutes dos setores 1, 2 e 3 são 60°, 180° e 320°, respectivamente.

Para o modelo ITU-R, foram considerados os mesmos parâmetros para o sistema irradiante e de recepção, com os seguintes parâmetros adicionais

- Variabilidade temporal : 50%
- Variabilidade local: 50%
- Correção do ângulo de visada
- Ambiente Urbano

Utilizando essas informações, foram obtidos os níveis de potência recebidos através das duas técnicas, e calculadas as probabilidades do nível de sinal ser maior que o limiar determinado e o percentual de cobertura da região

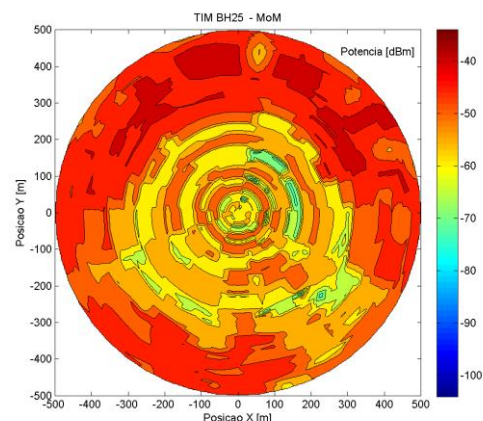
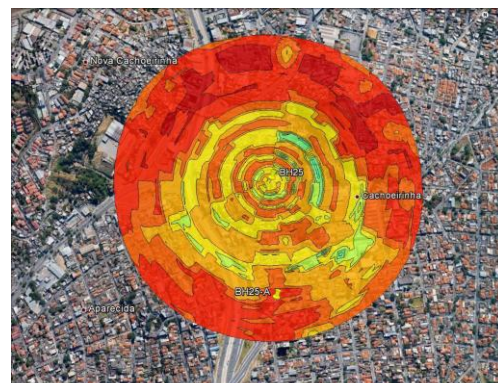
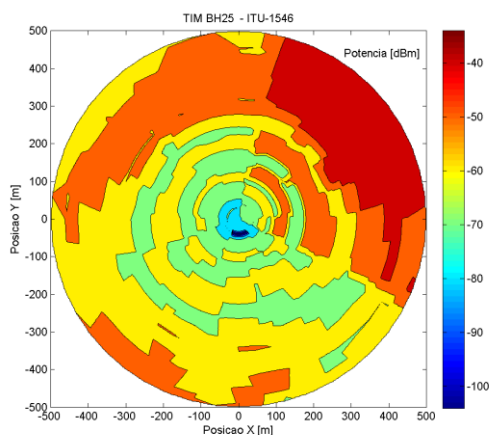
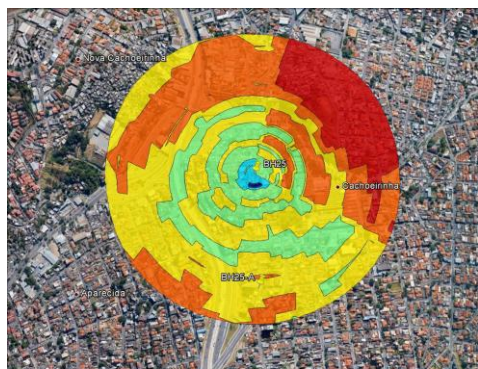


Figura 4 - Predição de cobertura para a ERB BH25, baseada na recomendação ITU-R P. 1546

Figura 5 - Predição de cobertura para a ERB BH25, baseada no Método dos Momentos

Nota-se pelos resultados das figuras 4 e 5 um maior nível de detalhamento obtido na predição realizada através do Método dos Momentos.

A partir dos valores de potência recebidos obtidos através do Método dos Momentos, foi plotado o gráfico com as probabilidades do nível de sinal recebido em cada ponto esta acima do limiar de -80 dBm, determinado pela Anatel para o atendimento aos usuários do serviço de SMP (Serviço Móvel Pessoal) para ambientes outdoor. Os resultados encontram-se na Figura 6.

Utilizando os resultados da probabilidade em cada ponto, foi calculado o percentual de cobertura da região de interesse da ERB BH25 em 99,99962% da área.

No caso da ERB estudada, os valores de potência encontrados foram mais altos na borda da célula, o que não é normal de um sistema projetado para a cobertura de uma área. Os resultados encontrados devem-se à combinação entre diagrama de radiação estreito das antenas e tilts elétrico e mecânico, somado ao perfil topográfico irregular da região.

B. Estudo de Caso 2 – Radiodifusora FM

Para avaliar o desempenho do algoritmo FDTD implementado no SPRad, foi feito o cálculo da previsão de cobertura para o transmissor da Rádio UFMG Educativa. Os resultados foram obtidos via FDTD e Método dos Momentos, verificando se há concordância entre os mesmos.

A frequência de operação da rádio é de 104,5 MHz, com potência de 1,5 kW e altura do transmissor de 25m. A predição foi realizada para um raio de 1 km. Foi considerado um solo médio, de acordo com a Tabela 1. O número de perfis radiais, além do número de pontos por radial foram os mesmos para as duas técnicas.

Para os cálculos do FDTD, foram considerados um tamanho de janela de 20 celular, uma densidade de 15 células/lambda e fator de Courant de 4 [5]. Para o Método dos Momentos, manteve-se o número de segmentos/lambda de 4.

Os resultados obtidos podem ser vistos nas Figuras 7 e 8. Observa-se uma grande semelhança no perfil de recepção da região para as duas técnicas.

V. CONCLUSÕES

Esse trabalho demonstrou uma nova possibilidade de nicho comercial relacionado ao planejamento de redes sem fio. O grande interesse da indústria e pesquisadores pelo tema, somado ao grande avanço na computação numérica e desenvolvimento de eficientes algoritmos de aceleração mostram que técnicas baseadas em modelos analíticos podem substituir os modelos empíricos, largamente utilizados atualmente, em um número considerável de aplicações.

Foi apresentada a ferramenta SPRad, desenvolvida no Gaptm/UFMG, validada através de testes no Brasil e Dinamarca, que vem sendo utilizada na análise de cobertura para empresas de telefonia celular em Belo Horizonte/MG.

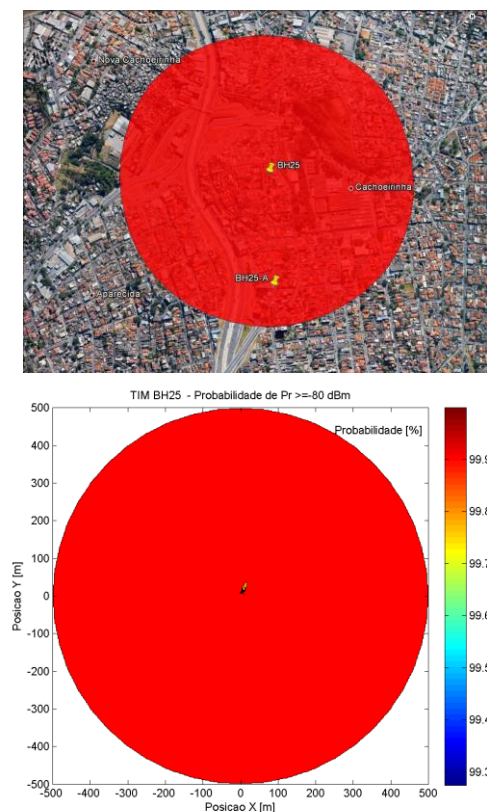


Figura 6 - Probabilidade da potência recebida ser maior que -80 dBm, segundo o modelo de sombreamento log-normal

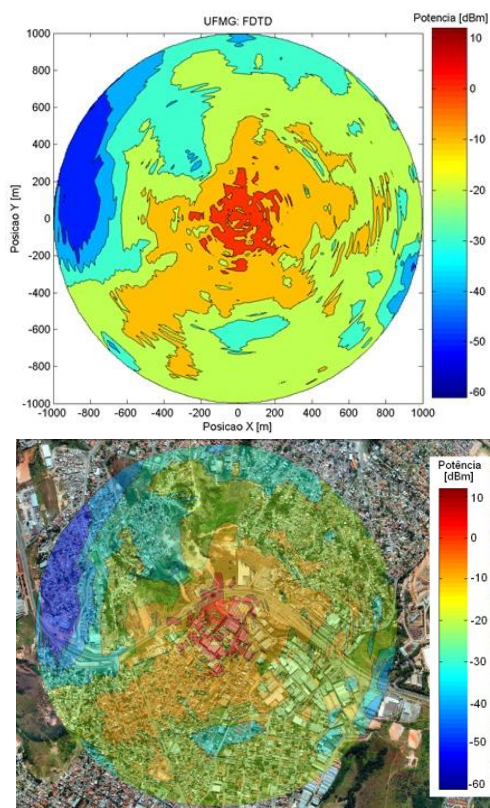


Figura 7 - Predição de cobertura para o transmissor da Rádio UFMG Educativa, via FDTD

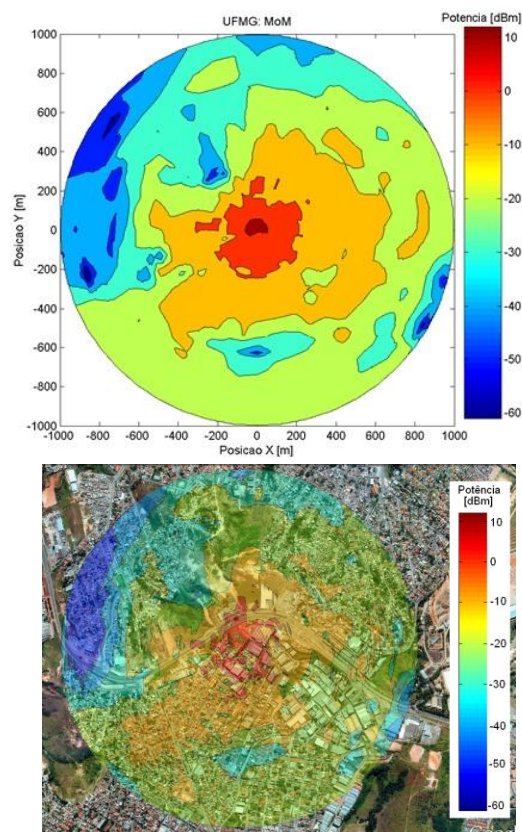


Figura 8 - Predição de cobertura para o transmissor da Rádio UFMG Educativa, via Método dos Momentos

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio financeiro da CAPES – Brasil e FAPEMIG.

Agradecimentos a TIM pela disponibilização dos resultados das análises das Estações Rádio Base de Belo Horizonte.

REFERÊNCIAS

- [1] C. Batista, “Predição de cobertura radioelétrica em terrenos mistos: uma abordagem via equações integrais”, Dissertação de Mestrado, PPGEE-UFMG, Maio, 2008
- [2] C. Batista and C. Rego, “An integral equation model for radiowave propagation over inhomogeneous smoothly irregular terrain”, *Microwave and Optical Tech. Letters*, vol. 54, pp. 26-31, 2012. DOI: 10.1002/mop.26473.
- [3] R. B. V. Temperino, “Utilização de equações integrais no domínio do tempo na predição da propagação sobre terrenos irregulares”, Dissertação de Mestrado, PPGEE-UFMG, Março, 2003
- [4] Marco Antônio de Souza Mayrink, *Uma Nova Abordagem da Recomendação ITU-R P.1546 para a Predição de Cobertura em Enlaces Curtos sobre Terrenos Mistos*, PPGEE-UFMG, Nov. 2005
- [5] C. Garcia and C. Rego, “A High-Order Unconditionally Stable FDTD-Based Propagation Method”, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 12, pp. 809 – 812, 2013
- [6] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, second edition, Prentice Hall, New York, 2002.
- [7] Perfis de terrenos, Sistema de Informações Geográficas da Anatel (SIGAnatel), <http://sistemas.anatel.gov.br/siganatel/>
- [8] F. J. S. Moreira, “Aplicação de Equações Integrais para a Predição da Propagação Radioelétrica sobre Solos Suavemente Irregulares e Incidência Rasante”, *X Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica (SBMO 2002)*, Recife, PE, pp.191-195, Aug. 2002.