

## **Análise de cobertura em redes de comunicações sem fio utilizando a ferramenta de geoprocessamento Spring**

Gilson Alves de Alencar  
Renata Braz Falcão da Costa

Centro Federal de Educação Tecnológica  
Celso da Suckow da Fonseca - CEFET/RJ  
Av. Maracanã, 229 - 20271-110 - Rio de Janeiro - RJ  
gilsonalencar@cefet-rj.br  
rbfcosta@gmail.com

**Abstract.** This paper shows how the spring tools could be used to investigate propagation problems in wide area networks for wireless communications. Spring adds to an especial designed propagation program represents a powerful way to perform coverage studies in wireless network communications. The method presented here was developed to avoid the high cost and complexity of non free softwares. Spring is not a specific program to work with telecommunication problems. In this way, was necessary to create a program to get from and pass to information to the spring in an interactive mode. The special designed program imports geoprocessing data from the spring for a target area. The results from the propagation program are exported to the spring to evaluate the coverage using a specific propagation model. This is a low cost method to study the performance of different propagation models in the wireless coverage analysis. To reduce the development cost we decided to use only free programing tools as Octave. Octave is a free version of Matlab (is not equal) that works in a similar way and run under Linux. The Linux was our choice as development platform. An application for WiMax network was carried out to evaluate the coverage area over a small region in Brazil. The results showed that the technique proposed here is able to perform well coverage prediction for wireless communication.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, propagation, wireless communications, sensoriamento remoto, processamento de imagens, propagação, comunicações sem fio.

### **1. Introdução**

As redes sem fio apresentam facilidade, rapidez e baixo custo de implantação em comparação com as redes cabeadas além, do avanço da tecnologia que possibilitou trafegar serviços de comunicação em grandes volumes a altas taxas. Suas aplicações incluem, entre outras coisas, a interconexão de redes WLAN (*Wireless Local Area Network*) com a Internet e representa uma solução para o problema de acesso na última milha.

O dimensionamento de sistemas de comunicações sem fio depende primordialmente da escolha adequada do modelo de propagação e da ferramenta computacional de análise de cobertura. Algumas ferramentas de análise de cobertura proprietárias estão disponíveis no mercado. No entanto, tais ferramentas são muitas vezes de uso complexo e não dispõem de recursos que permitam avaliar ou até modificar os modelos de propagação já programados. Quando se trata de realizar um estudo científico mais criterioso sobre o desempenho de modelos de propagação nas mais diversas condições operacionais, as ferramentas proprietárias não se mostram adequadas. Para o desenvolvimento de pesquisas de propagação em redes sem fio em uma determinada região é necessário trabalhar com uma base de dados de relevo digitalizada. As bases de dados disponíveis no mercado são de custo elevado, que para o meio acadêmico, representa um obstáculo para a realização de pesquisas avançadas na área.

O Spring [1] representa uma solução adequada para contornar a questão do uso de ferramentas proprietárias e bases de dados de alto custo. Com o Spring todo o trabalho de georeferenciamento e digitalização de relevo pode ser conduzido facilmente (com o devido conhecimento e treinamento na ferramenta) no meio acadêmico e a base de dados gerada pode ser tratada por um software de propagação específico para estudos de cobertura em redes sem fio. Os resultados obtidos a partir do software, de acordo com o modelo de propagação programado, pode ser visualizado pelo Spring para a região estudada. Para o desenvolvimento do software de propagação que interage com o Spring foi utilizada a linguagem de programação Octave. O Octave é uma ferramenta não proprietária que trabalha de forma similar ao Matlab. O Linux foi utilizado como plataforma de desenvolvimento. Desta forma, todo o trabalho foi realizado com recursos de softwares não proprietários.

No caso deste trabalho foi elaborado um estudo de cobertura para uma aplicação WiMax na região de Macaé no Rio de Janeiro. A escolha desta região se deu com base na sua importância econômica para o Estado do Rio de Janeiro tendo em vista a expansão da área de petróleo na mesma. O estudo de caso em questão levou em consideração uma aplicação WiMax para terminais de acesso fixo. A análise de cobertura foi conduzida com base no modelo de propagação SUI (*Stanford University Interim*) [2], que foi programado como parte da ferramenta de análise computacional que interage com o Spring. Cabe ressaltar, que qualquer modelo de propagação pode ser incorporado a ferramenta computacional em questão.

## 2. Aspectos de Propagação

Para o planejamento adequado de uma rede de comunicações sem fio é necessário um estudo detalhado de cobertura sobre a região de interesse. Este estudo é realizado com base em dados digitalizados do relevo da região e cotas das edificações existentes. O uso de imagens aéreas e de satélite é fundamental para o sucesso de um projeto de redes de comunicações sem fio. Na análise de cobertura, a escolha por um modelo de propagação que represente da forma mais precisa a fenomenologia do problema também é uma parte importante do estudo. Os modelos de propagação são classificados basicamente em três categorias: modelos empíricos, modelos semi-empíricos e modelos físicos [3]. Os modelos empíricos são criados a partir de medidas realizadas em campo e se adaptam especificamente às condições operacionais em que as medidas foram conduzidas. Os modelos semi-empíricos são gerados também a partir de medidas de campo porém, suas equações guardam relação com modelos canônicos de propagação obtidos da teoria. Já os modelos físicos são criados com base em fundamentos puramente teóricos. Neste trabalho, optamos por usar um modelo empírico para estudo da viabilidade do uso do Spring em problemas de propagação. O modelo empírico proporciona uma maior velocidade de processamento e facilita a implementação computacional.

Para o estudo de caso de uma rede WiMax (IEEE 802.16) [4] empregamos o modelo empírico SUI (*Stanford University Interim*) [2]. Este modelo de cobertura foi escolhido devido sua simplicidade de implementação e velocidade de processamento. O modelo SUI é uma extensão do trabalho realizado anteriormente pela AT&T [5]. O modelo SUI leva em consideração três tipos de terrenos:

- Terreno Tipo A – Montanhoso / Alta-Moderada Densidade de Árvores;
- Terreno Tipo B – Montanhoso / Baixa Densidade de Árvores ou Planície/ Alta-Moderada Densidade de Árvores;
- Terreno Tipo C – Planície/ Baixa Densidade de Árvores.

Para aplicações WiMax o modelo SUI apresenta seis variações. Ao todo são definidos dois modelos para cada um dos três tipos de terreno, conforme indicado na Tabela 1. As variações do modelo SUI são caracterizadas por informação como dispersão temporal, em forma de amplitude, atraso de tempo (*time delay*) e fator k da distribuição Rician [6].

Tabela 1. Variações do modelo SUI.

Modelo SUI	Tipo de Terreno	Delay Spread	Fator k	Doppler
SUI-1	C	Baixo	Alto	Baixo
SUI-2	C	Baixo	Alto	Baixo
SUI-3	B	Baixo	Baixo	Baixo
SUI-4	B	Moderado	Baixo	Alto
SUI-5	A	Alto	Baixo	Baixo
SUI-6	A	Alto	Baixo	Alto

Em condições de visibilidade (*LOS – Line of Sight*) entre a antena transmissora e a antena receptora a perda no enlace corresponde a do espaço livre. A perda de espaço livre está associada a dispersão da energia do sinal ao longo do trajeto de propagação sendo determinada pela Equação de Friss [7], conforme especificado na Equação 1.

$$L = 92,44 + 20 \log(f \text{ (GHz)}) + 20 \log(d \text{ (Km)}) \quad (1)$$

Em condições em que o trajeto entre a antena transmissora e antena receptora se encontra obstruído (*NLOS – Non Line Sight*), o sinal alcança o receptor depois de sofrer reflexões, espalhamentos e difrações ao longo do percurso. Cabe ressaltar, que a condição de enlace em visibilidade ou com obstrução é determinada pela ocupação da região definida pela primeira zona do elipsóide de Fresnel. Em um cenário NLOS, as perdas no trajeto entre a antena transmissora e receptora são determinadas pelo modelo SUI, conforme descrito na Equação 2:

$$L = A + 10 \gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_f + X_h + S \quad (2)$$

Na Equação 2, “A” (Equação 3) corresponde a perda no espaço livre na distância  $d_0$ ,  $\gamma$  é o expoente de perda de propagação em função da altura da estação base (Equação 4),  $d_0$  é uma distância de referência ( $d_0 = 100$  m),  $X_f$  é a correção na frequência (Equação 5),  $X_h$  é a correção na altura da antena receptora (Equação 6) e  $S$  corresponde a perda de sombreamento dada pelo tipo de terreno. A Equação 2 é válida somente para  $d > d_0$ .

$$A = 20 \log\left(\frac{4 \pi d_0}{\lambda}\right) \quad (3)$$

$$\gamma = a - b \cdot h_b + \frac{c}{h_b} \quad (4)$$

Na Equação 4,  $h_b$  é a altura em metros da estação base e os parâmetros a, b, c são determinados de acordo com o tipo de terreno (Tabela 2). Cabe ressaltar, que a altura da estação base está compreendida entre 10 e 80 m para o modelo em questão.

Tabela2. Tipo de terreno e seus parâmetros.

Parâmetros	Terreno Tipo A	Terreno Tipo B	Terreno Tipo C
a	4,6	4,0	3,6
b (1/m)	0,0075	0,0065	0,0050
c (m)	12,6	17,1	20,0

$$X_f = 6 \log\left(\frac{f(\text{MHz})}{2000}\right) \quad (5)$$

Para terrenos tipo A e B:  $X_h = 10.8 \log\left(\frac{h_m}{2}\right) \quad (6)$

Para terrenos tipo C:  $X_h = -20 - \log\left(\frac{h_m}{2}\right)$

Na Equação 6, o parâmetro  $h_m$  corresponde a altura da antena receptora, que para o modelo em questão está compreendida entre 2 e 10 m. O cálculo da potência recebida nos terminais de acesso foi determinada com base na seguinte equação:

$$P_r = P_t + G_t + G_r + G_{dv} - M - L - L_{tr} \quad (7)$$

Na Equação 7,  $P_r$  é a potência recebida em dBm no terminal de acesso,  $P_t$  é a potência de transmissão em dBm,  $G_t$  é o ganho da antena de transmissão em dBi,  $G_r$  é o ganho da antena de recepção em dBi,  $G_{dv}$  é o ganho de diversidade em dBi,  $M$  é a margem de desvanecimento em dB,  $L$  corresponde a parcela de perdas no enlace em condições NLOS e  $L_{tr}$  são as perdas nas antenas de transmissão e recepção. Na condição LOS, a Equação 7 se resume a

$$P_r = P_t + G_t + G_r + L_0 - L_{tr} \quad (8)$$

onde,  $L_0$  é a atenuação de espaço livre.

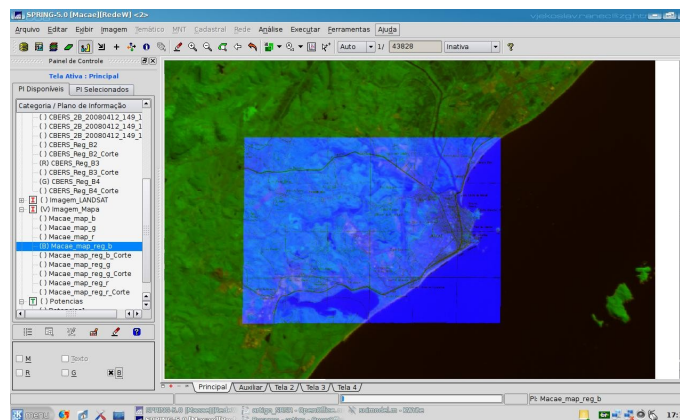
No estudo de caso implementado neste trabalho foram estabelecidos os seguintes parâmetros para o modelo SUI [8]:

- Limiar de recepção ( $P_r$  mínimo aceitável): -85 dBm
- Frequência de operação: 2,4 Ghz
- Terreno tipo B
- $P_t = 27$  dBm
- $G_t = 24$  dBi
- $G_r = 14$  dBm
- $G_{dv} = 0$
- $M = 6$  dB

- $L_{tr} = 3$  dB
- $S = 9,6$  para o terreno tipo B
- $h_b = 20$  metros
- $h_m = 3$  metros

### 3. Metodologia de Trabalho

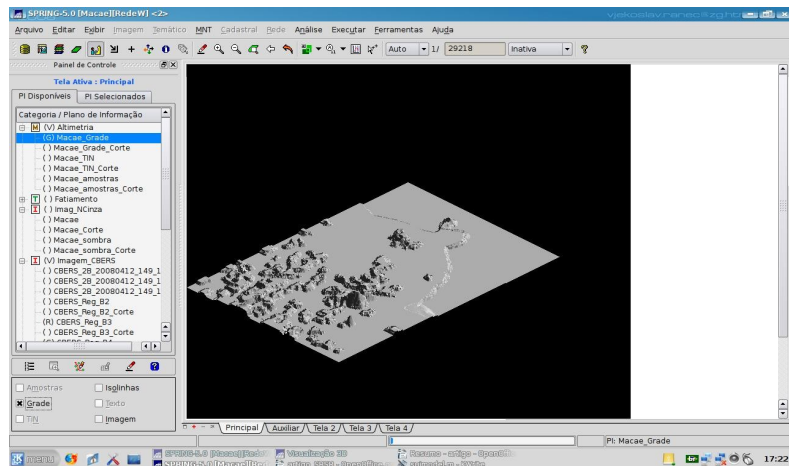
Para o estudo de cobertura foi escolhida a região de Macaé, no Rio de Janeiro. Definida a região de interesse, teve início o processo de digitalização do mapa topográfico da região adquirido do acervo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O mapa, na escala 1:50000, foi digitalizado gerando-se uma imagem no formato JPEG. Para o georeferenciamento do mapa topográfico utilizamos uma imagem do satélite CBERS 2B (Câmera de alta resolução CCD) adquirida do catálogo de imagens do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Antes de iniciar o georeferenciamento, a imagem do CBERS 2B com correção geométrica de sistema passou por um processo de registro no Spring para eliminar o erro de posicionamento de alguns Km. Para a operação de registro foi utilizada uma imagem do satélite LANDSAT 7 (câmera ETM), também adquirida do catálogo disponível no sítio do INPE. Com a imagem do CBERS 2B corrigida, o mapa topográfico do IBGE foi então georeferenciado, também por um processo de registro. O resultado foi um conjunto de imagens pronto para o processo de digitalização das curvas de nível, conforme ilustrado na Figura 1.



**Figura 1.** Tela do Spring com o mapa de Macaé georeferenciado.

Após o georeferenciamento do mapa, as curvas de nível foram inseridas no projeto com suas respectivas cotas e uma grade retangular foi gerada. O resultado da digitalização do relevo está ilustrado na Figura 2. Cabe destacar, que para facilitar a realização deste trabalho, não levamos em consideração as informações de altura das edificações da região. Obtida a grade retangular, um arquivo ASCII Spring foi gerado como base de dados para o programa de análise de cobertura denominado PROPAG. O PROPAG, escrito em octave versão Linux, lê o arquivo de grade do Spring e realiza a análise de propagação de uma forma matricial. A posição da estação base e dos terminais de acesso (terminal de recepção do sinal) corresponde a uma linha e coluna da matriz, onde cada ponto está associado às coordenadas planas e altura do relevo da região de Macaé. O PROPAG varre cada ponto da matriz e determina as condições de propagação em relação ao ponto da estação base. O passo para deslocamento na matriz e determinação de pontos intermediários (fora dos pontos da matriz) ao longo de um trajeto entre transmissor e receptor corresponde ao valor da resolução da imagem CBERS 2B, ou seja, 20 m. A altura dos pontos intermediários são obtidas a partir de um processo de interpolação com critério de vizinho próximo. O PROPAG varre a matriz por linha e para

todos os pontos de uma linha realiza os cálculos de propagação em relação ao ponto da estação base. Como resultado dos cálculos, obtém-se a potência no ponto de recepção (terminal de acesso) em dBm. Os valores calculados em dBm são salvos em um arquivo com a mesma estrutura do arquivo de grade retangular do Spring inclusive, como o mesmo cabeçalho do arquivo original. Desta forma, tem-se um novo arquivo no formato Spring com os resultados da análise de propagação. Para este arquivo é criada uma categoria MNT (Modelo Numérico de Terreno) e um plano de informação para a geração de uma “grade de potências”. A partir desta grade é realizado um processo de fatiamento, com o qual é possível visualizar as condições de propagação sobre a região de interesse.



**Figura 2.** Tela do Spring com uma imagem 3D do relevo.

#### 4. Resultados e Conclusões

As imagens geradas no Spring a partir dos dados de potência determinados pelo PROPAG para o relevo de Macaé mostram claramente as condições de propagação sobre a região. Diversas combinações entre imagens de satélite, imagens de mapa, imagens vetoriais e informações de grade, que podem ser proporcionadas pelo Spring, são de grande valor para uma análise de cobertura em um sistema de comunicações sem fio. A Figura 3 ilustra uma imagem com o fatiamento gerado a partir da “grade retangular de potências” obtida pelo PROPAG. Com a imagem da Figura 3 é possível observar as regiões que não são atendidas (áreas em azul mais claro) pela rede de comunicações sem fio em questão. Na mesma figura, percebe-se também, as áreas de maior intensidade do sinal (áreas em amarelo e laranja). A Figura 4, ilustra os resultados da Figura 3 em uma representação de classes sobreposta a uma imagem de fatiamento gerada pela grade retangular de altimetria. Nesta figura, o fenômeno da propagação em condições de visada e com obstrução é facilmente observado. As áreas mais elevadas (manchas em azul mais escuro) implicam em obstrução do enlace de comunicação e produzem áreas sem cobertura (manchas em azul mais claro) em regiões próximas. As regiões planas são melhor atendidas pelo sinal da estação base (área hachurada em azul mais escuro) cuja antena se localiza no centro do círculo alaranjado (área de maior intensidade do sinal). Estes resultados estão de acordo com a fenomenologia do problema. Os resultados obtidos demonstram que o Spring agregado a um programa específico de modelagem de propagação representa uma solução de baixo custo para o estudo de cobertura em redes de comunicações sem fio. A técnica apresentada neste trabalho permite facilmente a análise de qualquer modelo de propagação e viabiliza pesquisas mais criteriosas sobre o desempenho dos mesmos. Tais pesquisas inclusive, podem colaborar para o desenvolvimento de modelos mais precisos.

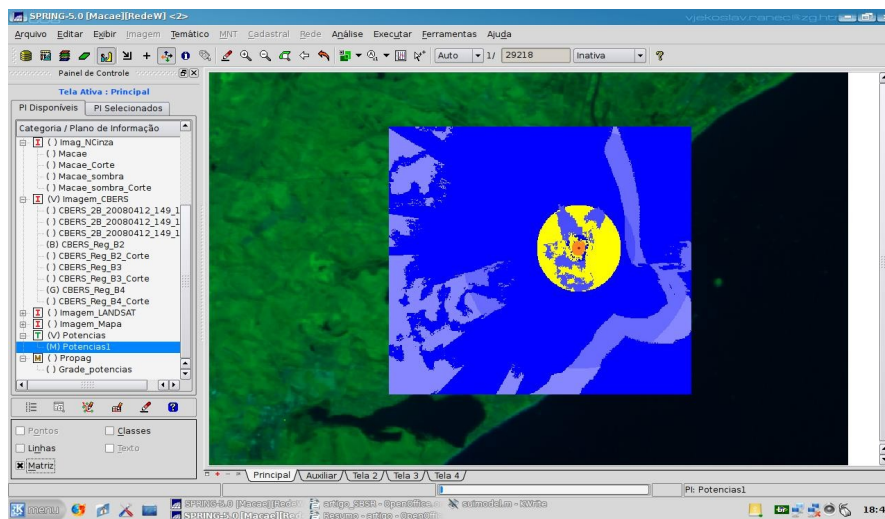


Figura 3. Fatiamento gerado a partir da grade de potencias.

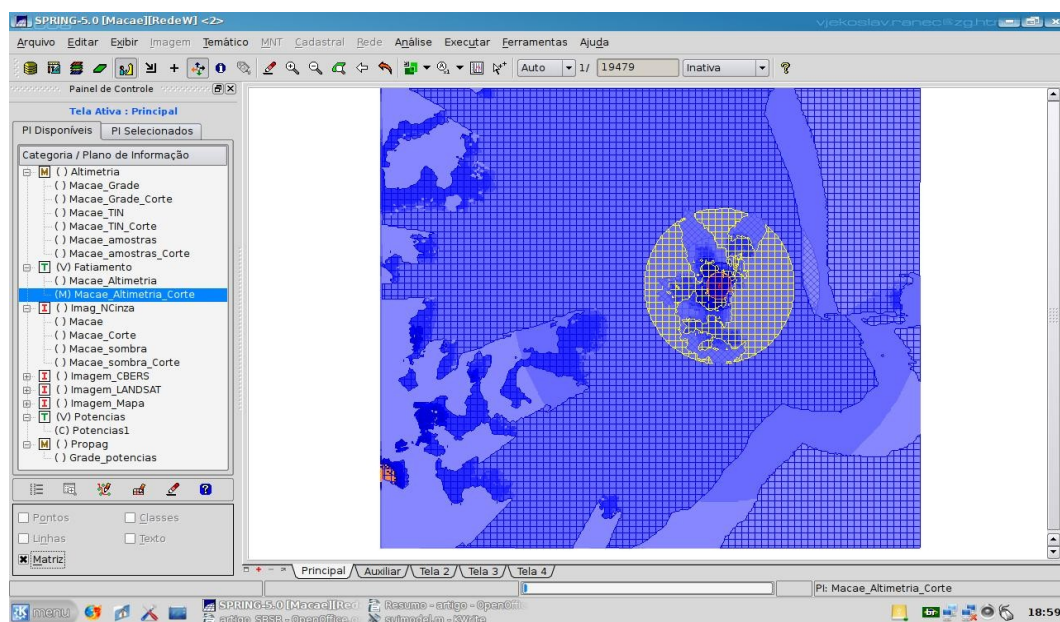


Figura 4. Efeito da propagação sobre a região de Macaé.

## Referências Bibliográficas

- [1] "SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling" Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.
- [2] "Channel Models for Fixed wireless Applications", IEEE 802.16.3c-01/29r4, 17/07/2001.
- [3] "Redes WiMax- Aspectos de arquitetura e planejamento", Marcio Eduardo da Costa Rodrigues, PUC-Rio.

[4] “WIMAX Padrão 802.16 para Banda Larga Sem Fio, Lima, L. S., Soares, L. F. G., Endler, M., Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio, Setembro de 2004.

[5] “An Empirical Based Path Loss Model for Wireless Channel in Suburban Environments”, Erceg, V., IEE Select Areas in Communications, Vol. 17, No. 7, Julio, 1999.

[6] “Rician K-factors in Narrowband Fixed wireless Channels”, Greenstein, L. J., Ghassemzadeh, S., Erceg, V., Michelson, D. G., theories, Experiments and Statistical Models, WPMC, Conference Proceedings, Amsterdam, September, 1999.

[7] Wireless Communication: Principle and Practice, Rappaport T. S., Prentice Hall Publications, 1996.

[8] “Redes WMAN/WIMAX – Arquitetura e Planejamento”, Santos D., Universidade Federal de Santa Maria, Fevereiro de 2007.