

# Estimativa da Capacidade de Transmissão de Informação com Parâmetros de Multipercurso

Raphael Tavares de Alencar\*, Marcelo Sampaio de Alencar\*\*

**Resumo** — Propõe-se um método de estimativa da capacidade de canal, a partir de parâmetros de multipercurso, com o uso da equação da capacidade do segundo teorema de Shannon, considerando que o sinal recebido contém tanto características do sinal transmitido quanto do efeito do canal sem fio. Foram obtidas curvas aproximadas para as envoltórias do sinal recebido em cenários sem linha de visada direta, foi observado que essas curvas têm formatos que podem ser modelados por expressões envolvendo parâmetros relacionados aos efeitos do multipercurso. É possível verificar como a variação de um dos parâmetros, assim como a razão sinal ruído afetam a estimativa da capacidade pelo método proposto, seguindo tendências similares às observadas para o cálculo de capacidade a partir de métodos mais complexos, de forma que o método proposto pode ser usado por empresas para indicar melhores posições para instalação de Estações Radiobase, ou estimar a máxima taxa de transmissão permitida, a partir da comparação de estimativas da capacidade e dos parâmetros propostos.

**Palavras-chave** — Multipercurso. Capacidade de Canal. Espalhamento de Atraso. Comunicações sem Fio.

## I. INTRODUÇÃO

A capacidade de informação do canal é definida como a maior taxa de *bits* por uso do canal, em que a informação pode ser enviada com uma probabilidade de erro arbitrariamente baixa. O segundo teorema de Shannon estabelece que a capacidade de informação de um canal é igual à sua capacidade operacional [1] e é considerada uma das mais importantes medidas da Teoria da Informação.

A capacidade pode ser calculada a partir da densidade espectral de potência (DEP) de um sinal, e do ruído do canal, a partir da Fórmula (1), sendo esta expressão válida apenas para canais com ruído estacionário gaussiano [1,2]

$$C = \int_{B_1}^{B_2} \log_2 \left( 1 + \frac{S(f)}{N(f)} \right) df \quad (1)$$

em que  $C$  é a capacidade do canal, em *bit/s*;  $B = B_2 - B_1$  é a banda passante do canal, em Hz;  $S(f)$  é a DEP do sinal, em W/Hz;  $N(f)$  é a DEP do ruído, em W/Hz;  $f$  é frequência em Hz.

A DEP define como a potência de um sinal é distribuída na frequência. Para um sinal aleatório contínuo no tempo,  $x(t)$ , a DEP,  $S_{xx}(f)$  pode ser obtida como [2].

$$S_{xx}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau = \mathcal{F}[R_{xx}(\tau)] \quad (2)$$

em que  $R_{xx}(\tau)$  é a autocorrelação do sinal  $x(t)$ ,

$$R_{xx}(\tau) = E[x(t)x(t + \tau)] \quad (3)$$

O cálculo da capacidade do sistema é importante antes de sua instalação e para a avaliação de sistemas instalados, a fim de verificar que a operadora é capaz de prover as taxas de transmissão oferecidas.

O desempenho de um sistema de comunicações depende do canal pelo qual se propaga o sinal transmitido. Tipicamente, no canal sem fio, há múltiplos percursos entre o transmissor e receptor, tendo cada percurso uma característica de atenuação e atraso própria, devido às diferentes distâncias ao longo de cada caminho percorrido, de forma que cópias do sinal chegam à recepção com tempos de propagação e amplitudes diferentes, resultando em espalhamento do sinal no tempo [3].

A caracterização do espalhamento é importante para sistemas de comunicações digitais, em que a interferência intersimbólica (ISI) pode ocorrer, e limita a taxa de transmissão do sistema, reduzindo sua capacidade.

O espalhamento de atraso eficaz é um parâmetro comumente utilizado para caracterizar os efeitos de multipercurso, ele representa o valor do perfil de atrasos em relação ao atraso médio, sendo associado à ISI; é dado por

$$\sigma_{Tm} = \sqrt{\frac{\int_0^{\infty} (\tau - \mu_{Tm})^2 P(\tau) d\tau}{\int_0^{\infty} P(\tau) d\tau}} \quad (4)$$

em que  $\mu_{Tm}$  é espalhamento médio, dado por

$$\mu_{Tm} = \frac{\int_0^{\infty} \tau P(\tau) d\tau}{\int_0^{\infty} P(\tau) d\tau} \quad (5)$$

e  $P(\tau)$  representa o perfil de potência do canal em função dos atrasos  $\tau$  referentes aos caminhos percorridos.

## II. MÉTODO PROPOSTO

A transformada de Fourier da envoltória do sinal recebido no tempo é usada na Equação (1), ou seja

$$S(f) = S_y(f) = |\mathcal{F}[\tilde{y}(t)]|^2 \quad (6)$$

em que  $\tilde{y}(t)$  é a aproximação da envoltória do sinal recebido, visto que o sinal recebido contém as características do canal de transmissão. Considerando o ruído como gaussiano branco [4]

$$N(f) = N, \text{ para } B_1 < f < B_2, \quad (7)$$

Desta forma, a estimativa da capacidade, pelo método proposto é dada pela expressão

$$\tilde{C} = \int_{B_1}^{B_2} \log_2 \left[ 1 + \frac{|\mathcal{F}[\tilde{y}(t)]|^2}{N} \right] df \quad (8)$$

Foram considerados três cenários distintos de sistemas de comunicação sem fio sem linha de visada direta, obtidos de dados experimentais: *Cenário A*, Illinois – EUA, característica urbana em região plana e densidade média de árvores [5]; *Cenário B*, Nova Jérsei – EUA, característica urbana, região pouco acidentada e alta densidade de árvores [5]; *Cenário C*, São Francisco – EUA, característica bastante acidentada [6].

\*R. T. Alencar é aluno de Doutorado da Universidade Federal de Campina Grande; e-mail: raphael.alencar@ee.ufcg.edu.br.

\*\*M. S. Alencar é professor titular da Universidade Federal de Campina Grande; e-mail: malencar@dee.ufcg.edu.br.

### III. RESULTADOS E ANÁLISES

Tanto para o cenário A, quanto para o B, foi possível, utilizando a ferramenta de ajuste de curvas do Matlab 2010a, ajustar os pontos para o modelo dado pela expressão

$$\hat{y}(t) = At e^{-\alpha t} u(t) \quad (9)$$

Para o cenário A, foram obtidas as estimativas para os parâmetros  $A = 0,85 \text{ W} \cdot \mu\text{s}^{-1}$  e  $\alpha = 6 \mu\text{s}^{-1}$ . Para o cenário B, foram obtidos os valores  $A = 2,3 \text{ W} \cdot \mu\text{s}^{-1}$  e  $\alpha = 8 \mu\text{s}^{-1}$ .

É possível ver na Fig. 1 as amostras do sinal experimental recebido para o cenário A, em verde, e a curva, em vermelho, ajustada para o modelo exponencial.

Para o cenário C, foi possível ajustar a curva para o modelo dado pela expressão

$$\hat{y}(t) = At^2 e^{-\alpha t} u(t) \quad (10)$$

com parâmetros  $A = 0,2 \text{ W} \cdot \mu\text{s}^{-2}$  e  $\alpha = 42 \mu\text{s}^{-1}$ .

Para o cenário C, foi possível ajustar a curva para o modelo dado por

$$\hat{y}(t) = At^2 e^{-\alpha t} u(t) \quad (11)$$

com  $A = 0,2 \text{ W} \cdot \mu\text{s}^{-2}$  e  $\alpha = 42 \mu\text{s}^{-1}$

Para efeito de comparação, o cenário A é o menos grave, com espalhamento de atraso eficaz, calculado por (4), dado por 55,9 ns. O valor do atraso eficaz obtido para o cenário B foi de 210 ns, e para o cenário C o valor foi de 525 ns.

Foi realizada a estimativa da capacidade, a partir da Fórmula (8), para diferentes valores da relação sinal ruído (SNR). O resultado pode ser visto na Fig. 2, com os valores estimados comparados com valores de referência em função do espalhamento de atraso eficaz [7].

A diferença média entre os pontos, para o cenário A foi de 17,7Mbits/s. Para o cenário B, foi de 12,9 Mbits/s. Para o cenário C, obteve-se 4.4 Mbits/s. Observa-se a tendência crescente das curvas com a SNR.

A partir dos resultados vistos na Fig. 2, nota-se que é possível distinguir quais cenários são mais graves, em termos de deterioração ocasionada por multipercurso e ISI, mesmo que os valores para estimados para capacidade não se igualem aos calculados pela referência, sugerindo que o método pode ser usado para realizar uma primeira comparação entre os sistemas.

O efeito da variação do parâmetro  $\alpha$  sobre a capacidade pode ser observado na Fig. 3. Nota-se que existe uma correlação entre o aumento do parâmetro  $\alpha$  com o espalhamento de atraso e com a redução da capacidade.

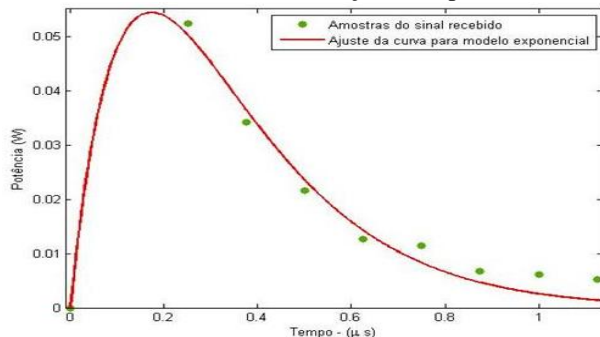


Fig. 1. Amostras do sinal recebido (em verde) no cenário A, em conjunto com a curva aproximada (em vermelho) para um modelo exponencial.

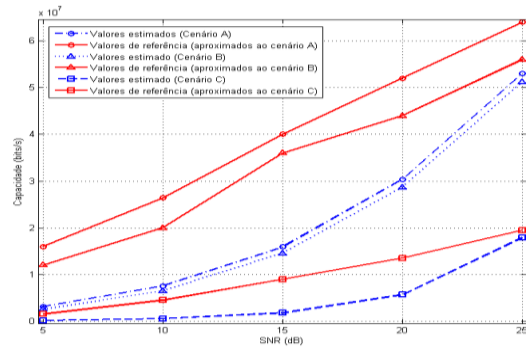


Fig. 2. Comparação de valores da capacidade estimados (linhas tracejadas em azul) com valores de referência (linhas sólidas em vermelho), para diferentes valores da relação sinal ruído (SNR).

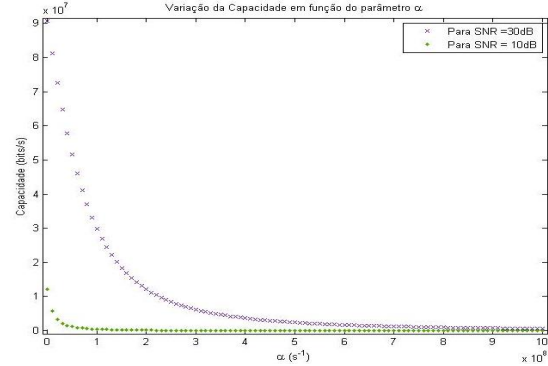


Fig. 3. O efeito da variação do parâmetro  $\alpha$  sobre a estimativa da capacidade, para valores de SNR de 10 dB e de 30 dB.

### IV. CONCLUSÕES

Foi apresentado um método de estimar a capacidade do canal sem fio, a partir de parâmetros de multipercurso, com a equação da capacidade do segundo teorema de Shannon.

Foram obtidas curvas aproximadas para as envoltórias do sinal recebido em cenários sem linha de visada direta, foi observado que essas curvas têm formatos que podem ser modelados por expressões envolvendo os parâmetros  $A$  e  $\alpha$ , relacionados aos efeitos do multipercurso.

Trabalhos futuros visam buscar uma relação entre os parâmetros  $A$  e  $\alpha$  e características da topologia urbana, tais como distância entre transmissor e receptor, densidade urbana e percolação, e parametrizar a relação com o espalhamento.

Objetiva-se também estimar, em tempo real, a capacidade a partir da transformada rápida do sinal recebido, sem aproximação através de curvas, e fazer observações experimentais para validar o método proposto.

### REFERÊNCIAS

- [1] E. C. Shannon, A Mathematical Theory of Communication. The Bell System Technical Journal, 1948, Vol. 27, pp. 379–423, 623–656.
- [2] M. S. Alencar, Comunicações Móveis Celulares. Ed. Érica, São Paulo, Brasil, 2009.
- [3] R. T. Alencar et al, Modulation Diversity Technique in a Multiple Channel Scenario, International Telecommunications Symposium, ITS'14, São Paulo, Brasil, 2014.
- [4] T. M. Cover, J. A. Thomas, Elements of Information Theory. John Wiley and Sons, Hoboken, Nova Jérsei, 2006.
- [5] V. Erceg et al, A Model for the Multipath Delay Profile of Fixed Wireless Channels. IEEE Journal of Selected Areas in Communications, 1999.
- [6] S. T. Rappaport, S. Y. Seidel, R. Singh, 900-MHz Multipath Propagation Measurements for U.S. Digital Cellular Radiotelephone. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1990, Vol 39, No 2.
- [7] Y. Y. Kang, S. H. Mo, J. H. Cho, RMS Delay Spread vs. Mean-Square Path Gain for Characterization of Channel Capacity. RWS'2008, 2008.