

1 Introdução

O atual estágio das comunicações móveis é caracterizado por um vertiginoso crescimento na demanda por serviços nos mais diversos tipos de cenários urbanos, desde os mais densos até os menos ocupados. As vantagens destes sistemas de comunicações são evidentes. Entre elas, apontam-se a liberdade de movimentação do usuário, a redução do número de fios nas construções e a facilidade de introdução de novos serviços sem a necessidade de modificações estruturais.

Tal crescimento enfrenta o desafio de atingir sempre maiores taxas de transmissão e tem como principais limitantes a potência do transmissor e o espectro eletromagnético finito.

Além destas limitações, o canal móvel ainda é afetado por desvanecimentos no sinal recebido devidos à propagação por multipercursos, assim como por obstruções causadas por grandes edificações ou por outras configurações do terreno.

Durante décadas, diferentes técnicas de diversidade foram estudadas e empregadas para mitigar o efeito do desvanecimento. Permitiram alcançar, assim, uma melhor qualidade na comunicação, sem aumentar excessivamente a complexidade do receptor e sem aumentar a potência transmitida.

Dependendo do domínio em que se introduz a diversidade, podemos classificá-las em: diversidade temporal, diversidade em frequência e diversidade espacial.

A diversidade espacial divide-se em diversidade de recepção, onde se utilizam duas ou mais antenas no receptor (canal MISO, *multiple input single output*), e diversidade de transmissão, onde se utilizam duas ou mais antenas no transmissor (canal SIMO, *single input multiple output*).

A diversidade de recepção é bem conhecida, já que muitos estudos foram realizados, sendo este tipo de diversidade amplamente difundido. Porém, a diversidade de transmissão tem sido objeto de uma crescente investigação a partir da introdução dos chamados códigos espaço-temporais, os quais tornam possível um uso coordenado da diversidade.

Entretanto, ao empregar os códigos espaço-temporais e o processamento de conjuntos de antenas na recepção, estamos formando um canal de muitas entradas e muitas saídas, conhecido como canal MIMO (*multiple input multiple output*).

Os cálculos existentes para a capacidade do canal MIMO são muito promissores, mostrando que o incremento na capacidade é linear com o número de antenas transmissoras (considerando que as antenas na recepção são de igual ou maior número). Assim, a utilização dos canais MIMO nas comunicações móveis das próximas gerações de sistemas banda larga torna-se bastante atraente.

O modelamento de um canal é utilizado para estimar os parâmetros do sinal recebido pelo receptor, predizendo a perda de propagação no enlace e caracterizando sua resposta impulsional.

O cálculo da perda média de propagação é razão do valor das potências no transmissor e receptor, o que implica no cálculo dos campos eletromagnéticos (direto, refletido, difratado). Estes campos, gerados na interação do sinal com os elementos que causam obstrução no terreno, poderiam ser calculados diretamente usando as equações de Maxwell.

Como a utilização de tais equações é muito complexa, diversos modelos foram criados. Estes modelos são classificados como empíricos, determinísticos ou semi-empíricos.

Os modelos empíricos são aqueles desenvolvidos com base em amplas campanhas de medidas em regiões urbanas, apresentando precisão suficiente para a predição de atenuação resultante da propagação em regiões com raios de cobertura da ordem de quilômetros. Tais modelos apresentam como vantagem a praticidade e rapidez de uso, porém, por serem derivados de medições realizadas em locais específicos, podem falhar ao serem aplicados em ambientes significativamente diferentes do original.

Os modelos determinísticos são baseados na parte física dos cenários em que serão aplicados. Devido a esta característica, podem ser usados nos mais diferentes cenários sem afetar sua exatidão. Estes modelos aproveitam o fato de que, na frequência de rádio propagação (alta frequência), os comprimentos de onda são muito pequenos em comparação com o tamanho característico dos objetos. Portanto, determina-se o campo eletromagnético usando-se aproximações assintóticas.

Os métodos assintóticos mais conhecidos são a teoria geométrica da difração (GTD) e a teoria uniforme da difração (UTD). Estes métodos assumem

que todas as ondas são bem formadas e que são ondas planas localmente. Isso permite utilizar a técnica de traçado de raios, onde são considerados os fenômenos de reflexão, transmissão e difração. Assim sendo, estes modelos geram uma predição que considera as características específicas da localidade em estudo. Cabe enfatizar que, em todos os casos, a modelagem é aproximada, dado que somente podem ser executados cálculos exatos em ambientes idealizados (obstáculos de formas regulares e propriedades eletromagnéticas conhecidas). Entretanto, em alguns cenários, o grau de aproximação que se consegue pode ser melhor que o obtido com métodos empíricos.

Neste trabalho, o método de traçado de raios será utilizado para analisar os efeitos da propagação na capacidade do canal MIMO. A técnica será aplicada a um ambiente obtido a partir de dados relativos à cidade do Rio de Janeiro, verificando o aumento na capacidade para tais sistemas. O banco de dados de edificações de diversos bairros da cidade do Rio de Janeiro foi adquirido do Instituto Pereira Passos (da Prefeitura do Município do Rio de Janeiro).

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: o capítulo 2 apresenta a teoria eletromagnética necessária ao cálculo de campos realizado pelo método de traçado de raios; o capítulo 3 apresenta o programa de traçado de raios utilizado e descreve os procedimentos adotados na utilização da base de dados da cidade do Rio de Janeiro para a devida representação do cenário; o capítulo 4 fornece uma ampla visão sobre os sistemas MIMO; o capítulo 5 apresenta algumas características do programa e os resultados encontrados; o capítulo 6 apresenta conclusões e sugestões para trabalhos futuros e o capítulo 7 apresenta as referências bibliográficas.