

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Os Sistemas de Comunicações Móveis Celulares representam o que há de mais moderno e dinâmico dentro da engenharia de telecomunicações, graças aos significativos avanços tecnológicos que vêm experimentando nos últimos anos. São modernos porque conseguem garantir a comunicação confiável e com grande qualidade nas situações em que o usuário se desloca, no que pese as grandes dificuldades inerentes às constantes mudanças de meio-ambiente. São dinâmicos porque o progresso da ciência e da tecnologia na área de sistemas celulares é vertiginoso, o que a torna um campo de mudanças extremamente rápidas e às vezes radicais, provocadas pelo surgimento de novas tecnologias, mais confiáveis, eficientes e de custo mais baixo, permitindo um atendimento à crescente demanda por tais serviços.

Para que se possa aquilatar a “velocidade” de modernização desta importante área da engenharia, os pioneiros sistemas analógicos, com acesso FDMA – “ Frequency Division Multiple Access ”, devido à sua limitada capacidade de número de usuários por região, estão perdendo espaços significativos para os modernos e eficientes sistemas digitais, que adotam tecnologia de acesso TDMA – “ Time Division Multiple Access ”. Estes, por sua vez, não conseguem atender integralmente às fortes demandas das grandes metrópoles e às exigências do mundo moderno, onde a globalização é proporcionada pelas comunicações. Novas tecnologias são, portanto, estudadas e desenvolvidas a cada instante para promover o aumento da capacidade dos sistemas móveis e dentre elas cita-se, por exemplo, a tecnologia de acesso CDMA ( “ Code Division Multiple Access ” ). Uma constatação importante é que estas novas

tecnologias estão cada vez mais voltadas para a utilização de células tão pequenas quanto possível, as microcélulas ( e/ou as picocélulas ) para definição das áreas de cobertura.

Os Sistemas de Comunicações Pessoais ( PCS – “ Personal Communication Systems ” ), operando inicialmente na faixa de 1.8 GHz e oferecendo ao usuário comunicação de voz e dados com elevado grau de confiabilidade, deverão dominar o mercado no início do próximo século e utilizarão largamente as microcélulas. Para que o grau de confiabilidade desejado seja alcançado, as microcélulas devem ser delineadas, calculadas e projetadas para se ajustar a uma pequena área, com raio da ordem de poucas centenas de metros, e o comportamento do sinal no seu interior deve ser bem conhecido, estatística e deterministicamente.

O aumento da capacidade dos Sistemas de Comunicações Móveis Celulares exige um conhecimento profundo de como o meio-ambiente da região onde está imersa a Estação Rádio-Base e o usuário ( receptor ) influenciam na radiopropagação. Enquanto que uma considerável atenção tem sido dispensada, pelos pesquisadores, à caracterização da influência de edifícios[1-17] em tais sistemas, conforme pode ser observado na literatura técnica, relativamente poucos estudos relacionados à influência da vegetação têm sido relatados, conforme será mostrado no item a seguir, e quase nenhum deles considera a vegetação como parte integrante dos ambientes urbanos. É exatamente neste contexto que se insere o presente trabalho, uma vez que enfocará a caracterização da influência da vegetação nos Sistemas de Comunicações Móveis Celulares, quando esta estiver presente na microcélula.

## 1.1 - HISTÓRICO

Segundo Mehrotra[18], a história do desenvolvimento dos sistemas rádio-móveis pode ser dividida em duas partes, a primeira englobando os sistemas pioneiros desenvolvidos – os sistemas precursores – e a segunda englobando os sistemas criados após a classificação dos “ Domestic Public Land Mobile Radio Services – DPLMRS ” pela “ Federal Communications Commission - FCC ” dos Estados Unidos. A primeira fase teve seu início com a implantação, com absoluto sucesso, do sistema móvel da polícia de Detroit, em 1921, operando na faixa de frequências próximas de 2 MHz e a segunda fase com a implantação, em Saint Louis, pela Bell Telephone Laboratories, do primeiro sistema de comunicações móveis para uso público.

No que pese a história das comunicações móveis ser relativamente antiga, a grande explosão de mercado para tais serviços está sendo esperada para o limiar do século 21, quando os “ Personal Communication Services ( PCS ) ” , baseados em tecnologia microcelular de baixa potência, proverão comunicações de voz e dados, com rapidez e confiabilidade, em qualquer lugar, a qualquer hora, universalizando as comunicações.

A utilização de microcélulas nos sistemas de comunicações móveis é relativamente recente e a caracterização completa da influência dos diversos fatores ligados ao meio-ambiente na propagação da energia é alvo de inúmeras pesquisas em todo o mundo. A vegetação, que se manifesta no ambiente celular de diversas formas, é um dos fatores cuja influência na propagação da energia mais se desconhece, uma vez que a maior parte das

pesquisas realizadas sobre o tema, e que serão descritas no item a seguir, foram concentradas basicamente nos sistemas fixos e em florestas afastadas dos ambientes urbanos.

Sob o ponto de vista científico, o problema do estabelecimento da radiocomunicação na situação em que o transmissor e/ou receptor estão imersos na floresta assemelha-se ao caso teórico em que a propagação se dá num meio com condutividade finita (a floresta). O caso real, entretanto, é de difícil solução uma vez que a floresta não é homogênea e seus parâmetros elétricos geralmente não são conhecidos.

O desenvolvimento dos primeiros sistemas de comunicações para operação em florestas de que se têm notícia data do início da década de 40. Durante a Segunda Guerra Mundial, as operações militares nas ilhas do Oceano Pacífico mostraram a necessidade operacional do estabelecimento de ligações-rádio confiáveis com as frações de tropa que operavam no interior das selvas e florestas típicas daquela região.

Com o envolvimento direto dos Estados Unidos na Guerra do Vietnã, na década de 60, o programa de pesquisas relativo a comunicações em florestas foi estimulado pelo Exército Americano, o que resultou num grande acervo científico que foi mantido em sigilo por vários anos. Tais pesquisas eram realizadas em universidades americanas e conduzidas por destacados professores-pesquisadores, dentre os quais sobressaiu-se Theodor Tamir, autor de modelos que se tornaram clássicos. Os testes de propagação necessários para a realização das pesquisas, pelo que hoje se tem notícia, eram executados na Tailândia, país vizinho que possui floresta idêntica à do Vietnã.

No Brasil, relativamente poucas pesquisas relativas ao tema foram realizadas, dentre as quais destaca-se o projeto de “ Propagação de Ondas Eletromagnéticas na região Amazônica ” realizado no Instituto Militar de Engenharia ( IME ) entre 1983 e 1988 e as pesquisas conduzidas pela Universidade Federal do Pará. As pesquisas conduzidas por estas duas instituições estão concentradas na caracterização da influência da vegetação da Selva Amazônica na propagação da energia e, portanto, o ambiente urbano não é considerado.

## 1.2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para que se possa ter uma visão geral das pesquisas realizadas sobre o tema, os principais trabalhos desenvolvidos e publicados na literatura técnica serão a seguir apresentados sumariamente:

- **Tamir**[19-24], utilizando a teoria clássica (rigorosa) da propagação em camadas múltiplas desenvolvida por Brekhovskikh[25], propôs aproximações de ordem prática que permitiram a utilização de seus modelos na implementação de radioenlaces operando no interior da vegetação. Suas teorias foram desenvolvidas para a faixa de frequências de 2 a 200 MHz e seus artigos, seis ao todo, publicados nas décadas de 60 e 70, tornaram-se referência quase obrigatória quando o tema propagação em floresta estivesse presente. Contudo, devido aos comprimentos de onda relativamente grandes desta faixa ( 1,5 a 150m ), o desvanecimento rápido, devido ao multipercurso, não foi relatado e não é considerado no modelo de Tamir. No que pese os trabalhos de Tamir serem os mais conhecidos,

motivo pelo qual serão analisados no capítulo 3, outros também obtiveram destaque no cenário mundial.

- **Lang**[26], concentrou-se no estudo do espalhamento ( “ backscatering ” ) da onda eletromagnética incidente em uma distribuição de partículas dielétricas, com posição e orientação aleatórias.

- **Lang e Sidhu**[27]- posteriormente estenderam tais estudos para o caso específico em que o espalhamento se dá numa camada de vegetação colocada sobre a terra. Neste caso, que é de particular interesse para o presente trabalho, a vegetação é composta por folhas que são modeladas como discos, com posição e orientação aleatórias.

- **Karam, Fung, Lang e Chauhan**[28] propuseram, mais tarde, um modelo para determinar o espalhamento devido a uma camada de vegetação, na faixa de microondas, considerando o espalhamento no interior da copa das árvores e entre a copa das árvores e a terra.

- **Torrico, Bertoni e Lang**[29] usando resultados obtidos anteriormente por Lang fizeram uma investigação teórica do efeito da vegetação nos meio-ambientes residenciais. Pela primeira vez o ambiente urbano foi levado em conta por Lang para estudar os problemas de espalhamento causado pela vegetação, mas considerando o caso particular em que uma linha de edificios representados como “absorbing screens” ( telas absorventes ) é colocada paralela a uma linha de árvores “phase screens”. Os trabalhos de Lang, ao contrário dos trabalhos de Tamir, que são essencialmente determinísticos, consideram estatisticamente ( ou estocasticamente ) a propagação da onda eletromagnética no meio aleatório.

- **Cavalcante, Rogers e Giarola**[30] analisaram a propagação da onda eletromagnética num meio com várias camadas horizontais. Os campos recebidos fora das camadas foram calculados usando as funções de Green Diádicas para meios com 3 e 4 camadas, para as polarizações vertical e horizontal.

- **Tewari, Swarup e Roy**[31] estimaram os valores da permissividade e da condutividade de uma camada de vegetação ajustando os valores obtidos teóricamente com o modelo da onda lateral com valores obtidos experimentalmente, na faixa de frequências de 50 a 800 MHz.

- **Vogel e Goldhirsh**[32, 33] determinaram os valores de atenuação imposta pelas árvores baseados em dados adquiridos de um experimento empregando transmissão em UHF na frequência de 869 MHz entre um avião remotamente pilotado e um veículo parado. O objetivo do experimento era estudar o efeito de sombreamento provocado pelas árvores existentes nas estradas num sistema de comunicação terra-satélite e foram realizados em Wallops Island, Virgínia, em junho de 1985.

- **Löw**[34] realizou uma série de medições na faixa de UHF, numa mesma seção de estrada existente em área rural, na Alemanha, entre 1983 e 1985, de modo a determinar a variação sazonal da intensidade de campo.

- **Nuaimi e Hammoudeh**[35, 36] realizaram experimentos na frequência de 11.2 GHz para fins de modelamento da atenuação de propagação quando o sinal atravessa a vegetação.

- **Mathews, Hu e Ahmed**[37] analisaram a irradiação por um dipolo elétrico vertical colocado em três diferentes camadas: ar, vegetação e solo. Partindo das equações de campo de Maxwell, uma análise rigorosa do campo eletromagnético é realizada e é obtida uma representação

integral das componentes de campo para o problema de dois meios semi-infinitos.

- **Kürner, Chichon e Wiesbeck**[ 38] realizaram experimentos em 947 MHz e utilizaram a aproximação da onda lateral para determinar a atenuação adicional devida a uma floresta, num ambiente rural ou urbano . No trabalho destes autores é sugerida uma aproximação óptica para determinação da atenuação adicional imposta pela floresta.

- **Assis M. e Dal Bello J.C.** [39], durante a vigência do projeto “ Propagação de Ondas Eletromagnéticas na Região Amazônica ” implementado pelo IME e mencionado no item anterior ( de 1983 a 1988 ), realizaram inúmeros testes de propagação na Região Amazônica buscando a caracterização da onda lateral como mecanismo principal de propagação, nas situações específicas em que o transmissor e/ou receptor estão colocados no interior da floresta. Estes estudos foram concentrados na faixa de HF.

É importante que seja ressaltado que nenhum destes autores considerou a presença da vegetação nos ambientes urbanos, exceto Torrico ( para o caso específico de linhas de árvores), o que garante o ineditismo do presente trabalho.

### **1.3 – EVOLUÇÃO DO SISTEMA CELULAR**

Um Sistema de Comunicações Móveis Celulares ou, simplificadaamente, um Sistema Celular, é definido pela FCC( “ Federal

Communication Commission ” ), órgão que normatiza as Comunicações nos Estados Unidos da América, da seguinte forma:

“ É um sistema de comunicações móveis terrestre, de alta capacidade, que possui um espectro de frequências dividido em canais diferenciados que, por sua vez, são alocados em grupos de células geográficas para cobrir uma determinada área de serviço. Os canais podem ser reutilizados em diferentes células de uma mesma área de cobertura ”.

Assim sendo, segundo a FCC, os três parâmetros que definem um Sistema Celular são: alta capacidade, existência de células e reuso de frequência.

- **Alta capacidade:** teoricamente um Sistema de Comunicações Móveis Celulares pode ser configurado e expandido para servir um número ilimitado de assinantes, embora na prática existam limitações impostas pelo tráfego realizado por estes assinantes.

- **Células:** são definidas como áreas de serviço individuais, onde cada uma possui um grupo de canais designados de acordo com o espectro disponível. Um grupo de células adjacentes forma uma Área Geográfica de Serviço Celular (CGSA) que pode ser expandida fisicamente através da adição de novas células.

- **Reuso de frequências:** Permite que canais distintos designados para uma determinada célula possam ser usados novamente em qualquer célula, desde que estejam separados por uma distância suficientemente grande para se evitar a interferência co-canal, que deteriora a qualidade do serviço. À medida que o sistema se expande, os canais podem ser continuamente reutilizados.

Os Sistemas de Comunicações Móveis Celulares representam o que existe de mais avançado em sistemas de comunicações móveis, mas o crescimento vertiginoso da demanda por tais serviços vem exigindo a alocação de um número cada vez maior de canais no espectro de rádio-freqüências. A alocação de novas faixas de freqüências em torno de 900 MHz e 1.8 GHz para os serviços móveis tem solucionado em parte o problema, mas o uso eficiente do espectro é uma meta a ser perseguida a todo instante.

A determinação da potência mínima de transmissão necessária para o estabelecimento de uma ligação com qualidade aceitável e a determinação de suas prováveis interferências nos demais serviços é de extrema importância para a definição de um plano de reuso de freqüências e de compartilhamento das freqüências em Sistemas Celulares. Além disso, é importante o entendimento da influência dos diferentes fatores relacionados ao relevo e à urbanização na propagação do sinal, o que permitirá a estimativa do sinal mediano recebido pelo móvel através de modelos de previsão de cobertura.

A idéia de cobertura celular surgiu da necessidade de dividir uma determinada região ( uma cidade, por exemplo ) em áreas bem delimitadas, onde cada partição recebe o nome de célula. O conjunto de células constitui o ambiente celular.

Conforme já foi apresentado, o primeiro Sistema de Comunicações Móveis Celulares disponível para uso público, com certo grau de confiabilidade, foi o MTS ( “ Mobile Telephone Service ” ) implantado em St. Louis, pela Bell Telephone Company, em 1946. Este sistema era composto de uma única estação base com transmissor de potência elevada e poucos canais de conversação. Este sistema possuía uma série de

limitações de ordem prática e cada usuário tinha um determinado canal de rádio-frequência fixo, que era compartilhado por outros assinantes.

A solução encontrada para superar estas dificuldades foi a divisão da área a ser coberta em pequenas células, cada uma com sua estação base e com canais de RF distintos, operando na faixa de UHF ( que oferece vantagens em relação ao uso da faixa de VHF, particularmente no que diz respeito à qualidade do sinal ), e sistema de comutação, onde todos os canais da Estação Rádio Base estariam disponíveis para todos os usuários. Assim sendo, a grande, única e congestionada célula dos sistemas antigos foi dividida em várias outras células, criando-se a base para os Sistemas de Comunicações Móveis Celulares dos anos 90, que utilizam células tão pequenas quanto possível.

A célula não é uma estrutura circular, conforme ocorreria se a propagação fosse em condições de espaço livre, utilizando-se uma antena onidirecional. O modelo ideal de irradiação circular implica no aparecimento de áreas de superposição ( “ overlap ” ) e de sombra. A solução encontrada para fins de análise teórica ( pois na prática não se pode prever a geometria de uma célula devido às condições anômalas de propagação ) para o problema da existência de regiões de superposição e de sombra foi a utilização de polígonos regulares, especialmente o hexágono, conforme pode ser observado na figura 1.1. Nesta figura pode ser observada, também, a geometria hexagonal utilizada nos Sistemas de Comunicações Móveis Celulares, onde os eixos coordenados se interceptam em ângulo de  $60^\circ$  e a unidade do sistema é a distância entre os centros de duas células adjacentes.

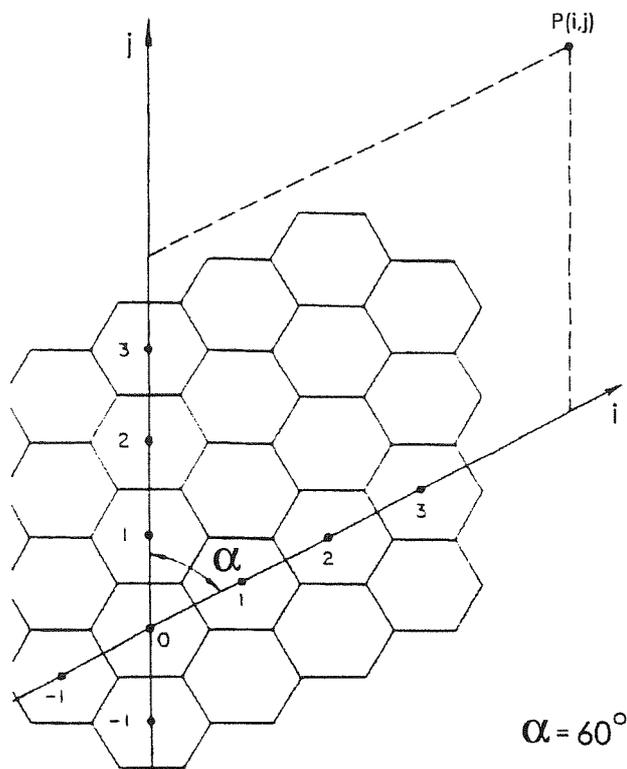


Fig. 1.1 – Estrutura celular e geometria hexagonal

O raio de cada célula é igual a  $1/\sqrt{3}$  unidades de medida e a distância entre dois pontos de coordenadas  $(i_1, j_1)$  e  $(i_2, j_2)$  é dada por :

$$d = \left[ (i_2 - i_1)^2 + (j_2 - j_1)^2 + (i_2 - i_1)(j_2 - j_1) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.1)$$

Pode-se calcular o número N de células por “ cluster ” ( Grupo de células com determinados canais de RF que se repetem de acordo com os planos de frequência ), da seguinte forma :

$$N = i^2 + j^2 + i \cdot j \quad (1.2)$$

A distância mínima de reuso de frequência pode ser determinada pela seguinte equação :

$$D = (i^2 + j^2 + i.j)^{\frac{1}{2}} \quad (1.3)$$

Pode-se visualizar um “cluster” como sendo um grande hexágono cuja área é equivalente à soma das áreas das N células internas, conforme mostra a figura 1.2.

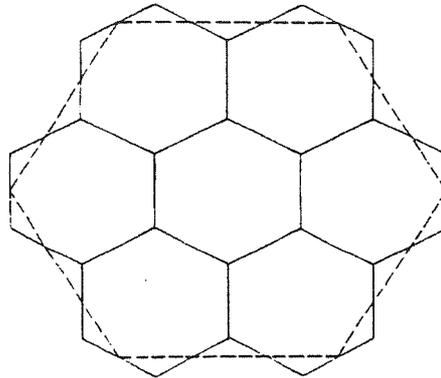


Fig. 1.2 Conjunto de Células ou “ Cluster ”

Das equações (1.2) e (1.3) acima deduz-se a seguinte relação:

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3N} \quad (1.4)$$

onde D é a distância mínima de reuso, R o raio da célula e N é o número de células contidas no cluster.

Devido à grande flexibilidade do sistema celular, a sua expansão não é uma tarefa complicada. Quando a demanda em uma determinada célula cresce, o problema pode ser contornado da seguinte forma[18]:

- Por **adição de novas células** e
- Através da **setorização das células existentes**.

A adição de novas células pode ser conseguida baixando-se a potência dos transmissores das células existentes para cobrir metade da área original, conforme está apresentado na figura 1.3 ou criando-se pequenas células dentro da célula congestionada e fazendo-se uma reordenação do plano de frequências. Procedendo-se desta forma, a distância de reuso das frequências diminui, possibilitando que na mesma área anterior ocorra um número muito maior de ligações simultâneas[18].

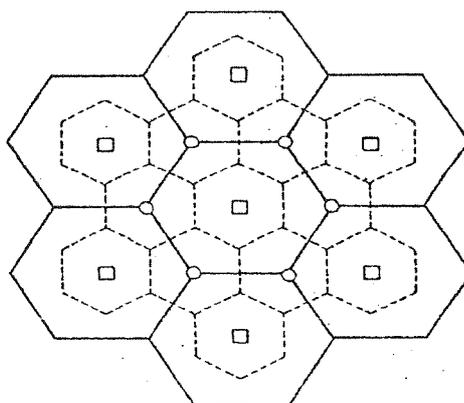


Fig. 1.3 – Criação de novas células pela redução da potência dos transmissores

Um exemplo de criação de células menores dentro de uma célula congestionada, utilizando alguns canais da célula hospedeira (que continua

a cobrir a mesma área de antes) até que toda a região tenha sido coberta pelas células menores, está mostrado na figura 1.4.

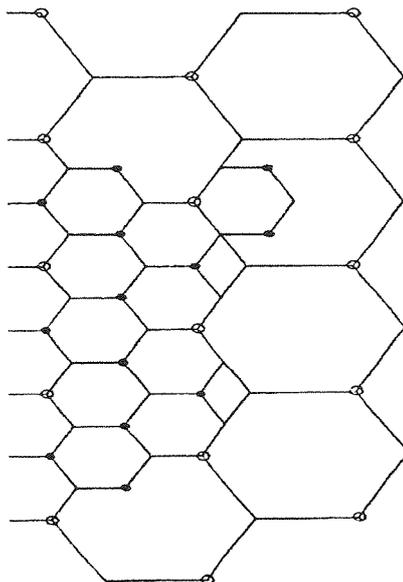


Fig. 1.4 - Criação de novas células dentro de uma célula hospedeira

No primeiro caso ( baixando-se a potência do transmissor e incluindo-se novas células ) o custo final é muito elevado pois é necessária a reordenação total de todo o sistema de uma só vez, o que nem sempre é possível. No segundo caso ( criando células menores dentro das antigas ) custo é menos elevado, já que o aumento de células pode ser programado criando pequenas células nos locais de maior tráfego.

No caso da **setorização da célula**, o custo é bem menos expressivo, pois não há necessidade de criação de novas células. A setorização pode ser feita da seguinte forma:

Inicialmente a célula possui uma antena onidirecional posicionada em seu centro e, à medida que o tráfego cresce, a célula é dividida em

setores, usando antenas direcionais de  $60^\circ$  ou  $120^\circ$ , conforme pode ser visto na figura 1.5.

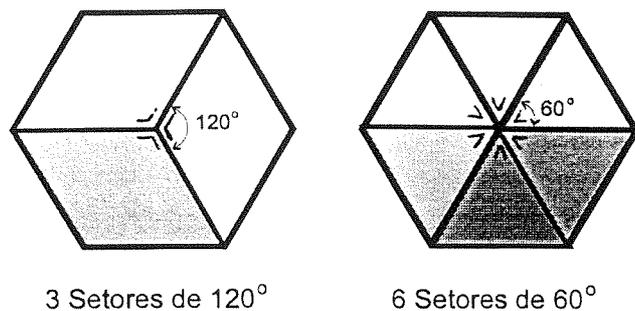


Fig. 1.5 – Setorização da célula

Esta configuração permite o melhor uso dos canais de frequência em determinada área, aumentando a sensibilidade da ERB (Estação Rádio Base) e possibilita o uso de terminais de menor potência, além da diminuição da interferência co-canal.

É importante ser ressaltado, contudo, que a setorização só aumenta a capacidade em sistemas que utilizem acesso por código ( CDMA ).

Os recursos acima apresentados para a diminuição do tamanho das células visam a cobertura da região com o máximo de confiabilidade e precisão. Nos projetos mais modernos e avançados, a célula já é concebida tão pequena quanto possível ( microcélula ou picocélula ) e todos os fatores ambientais nela presentes são de grande importância para o

conhecimento perfeito do comportamento do sinal no seu interior. Dentre estes fatores, a presença da vegetação é um dos mais importantes e a caracterização da sua influência é a meta deste trabalho, conforme será visto a seguir.

#### **1.4 - OBJETIVO**

A análise da influência da vegetação típica dos ambientes urbanos na propagação da energia pode ser feita através de quatro casos distintos:

Caso 1 - Uma árvore isolada;

Caso 2 - Uma linha ou múltiplas linhas de árvores( existentes nas ruas e avenidas, paralelas aos edifícios );

Caso 3 - Uma pequena floresta cobrindo uma área bem definida no interior das cidades ( como ocorre nos parques );

Caso 4 - Uma floresta relativamente grande, cobrindo completamente uma determinada área.

As árvores isoladas ( caso 1 ) podem causar significativo sombreamento numa pequena área localizada diretamente atrás das mesmas, conforme foi mostrado por Vogel e Goldhirsh [32], mas a difração nas mesmas conduzirá a valores de campo, nas regiões distantes, bem semelhantes ao valor que seria obtido sem o sombreamento. Foi mostrado, adicionalmente, por estes autores, que uma única árvore pode atenuar de mais de 10 dB o campo recebido.

A influência das linhas de árvores ( caso 2 ) localizadas ao longo das ruas foi estudada recentemente por Torrico, Bertoni e Lang [29], e foi mostrado que as mesmas reduzem os campos recebidos de apenas poucos decibéis, exceto nas regiões próximas das mesmas.

Este trabalho estará concentrado em estudos relativos ao caso 3 acima descrito, com algumas considerações sobre o caso 4, e visa focalizar a dependência no espaço ( variações lentas ) e no tempo ( variações rápidas ) de um sinal recebido de uma transmissão CW, objetivando a caracterização dos desvanecimentos à luz de distribuições estatísticas convenientes. O desvanecimento multipercurso ( “ fading ” ) torna-se evidente nas variações espaciais ( para distâncias da ordem de meio comprimento de onda ) e nas variações temporais de um sinal, devido ao movimento relativo dos espalhadores individuais.

Os testes de propagação necessários para a realização destes estudos foram executados no Campo de Santana, que fica localizado no centro da cidade do Rio de Janeiro, de novembro de 1995 a julho de 1996 e as análises numéricas das medidas foram realizadas na Polytechnic University ( Brooklyn - New York ), de outubro de 1996 a outubro de 1997.

Os resultados das medidas realizadas no Campo de Santana proporcionam informações sobre o desvanecimento em áreas de tamanho limitado, cobertas por vegetação e em grandes áreas de florestas, enquadradas nos casos 3 e 4 acima descritos. As principais distribuições estatísticas a serem utilizadas para a descrição dos desvanecimentos multipercurso são a de Rayleigh, a Gaussiana, a de Nakagami a Rician e a Log-Normal. Destas, a distribuição Riceana será a mais explorada, devido às interpretações físicas que podem ser feitas através de análises do seu fator K.

Além dos estudos de desvanecimentos multipercurso, meta principal do presente trabalho, a atenuação de propagação será discutida à luz da teoria clássica de T. Tamir, por ser a base para a grande maioria dos trabalhos publicados na literatura técnica. Serão feitas, também, algumas considerações sobre as formulações propostas formuladas por R. Lang.

Em resumo, neste trabalho serão apresentados os resultados obtidos com estudos teórico-experimentais de propagação na faixa de frequências de 900 MHz a 1.8 GHz em áreas cobertas por florestas enquadradas nos casos 3 e 4 acima descritos, típicas de ambientes urbanos, caracterizando-se, através de análises estatísticas e determinísticas:

- Como o efeito de multipercurso provoca o desvanecimento rápido do sinal, definindo seu comportamento através das distribuições estatísticas de Rayleigh, Gaussiana, Nakagami e Rician, com ênfase para a distribuição Rician em virtude das interpretações físicas que podem ser feitas através de seu fator K;

- A dependência dos parâmetros das distribuições estatísticas, principalmente o fator K da distribuição de Rice com a distância entre as estações e altura de transmissão;

- A dependência da atenuação de propagação com a frequência, polarização, distância entre as estações e altura de transmissão.

Desta forma, o objetivo final deste trabalho será atingido, que é a “ Caracterização da Influência da Vegetação nos Sistemas de Comunicações Móveis Celulares ”.

## **1.5 - ROTEIRO**

Para que os objetivos propostos neste trabalho possam ser alcançados, ele consta de 7 capítulos: no atual Capítulo 1 foi feita uma introdução, no Capítulo 2 será apresentada a formulação do problema, no Capítulo 3 serão apresentadas as conceituações estatísticas e determinísticas pertinentes, no Capítulo 4 serão descritas as medidas realizadas no Campo de Santana, no Capítulo 5 serão feitas as análises estatísticas das medidas, no Capítulo 6 serão feitas as análises determinísticas das medidas e no Capítulo 7 serão apresentadas as conclusões.

## REFERÊNCIAS:

- [1] Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, e K. Fukuda, "Field Strength and its Variability in VHF and Land-Mobile Radio Service," Rev. Elec. Commun. Lab., vol. 16, pp. 825-873, 1968.
- [2] A. P. Barsis, "Determination of Service Area for VHF/UHF Land Mobile and Broadcast Operation Over Irregular Terrain," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-22, pp. 21-29, 1973.
- [3] K. Allsebrook e J. D. Parsons, "Mobile Radio Propagation in British Cities at Frequencies in the VHF and UHF Bands," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-26, pp. 313-322, 1977.
- [4] S. Kozono e K. Watanabe, "Influence of Environmental Buildings on UHF Land Mobile Radio Propagation." IEEE Trans. Commun., vol. COM-25, pp. 1133-1145, 1977.
- [5] K.K. Kelly, "Flat Suburban Area Propagation at 820 MHz," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-27, pp. 198-204, 1978.
- [6] V. Graziano, "Propagation Correlations at 900 MHz," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-27, pp. 182-189, 1978.
- [7] G. D. Ott e A. Plitkins, "Urban Path-Loss Characteristics at 820 MHz," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-27, pp. 189-197, 1978.
- [8] S. W. Lee, "Path Integrals for Solving Some Electromagnetic Edge Diffraction Problems," J. Math. Phys., vol. 19, pp 1434-1469, 1978.

- [9] M. Hata, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-29, pp. 317-325, 1980.
- [10] F. Ikegami e S. Yoshida, "Analysis of Multipath Propagation Structure in Urban Mobile Radio Environments," IEEE Trans. Commun., vol. AP-28, pp. 531-537, 1980.
- [11] W. C. Lee, "Studies of Base-Station Antenna Height Effects on Mobile Radio," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-29, pp 252-260, 1980.
- [12] F. Ikegami, S. Yoshida, T. Takeuchi, e M. Umehira, "Propagation Factors Controlling Mean Field Strength on Urban Streets," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-32, pp. 822-829, 1984.
- [13] J. Walfisch, "UHF/microwave propagation in urban environments," Ph.D. Dissertation, Polytechnic Univ. , Brooklyn, NY, 1986.
- [14] J. Walfish e H. L. Bertoni, "A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments," IEEE Trans. Antenna Propagat., vol. 36, No. 12, pp. 1788-1796, 1988.
- [15] H. H. Xia e H. L. Bertoni, "Diffraction of Cylindrical and Plane Waves by an Array of Absorbing Half-Screens," IEEE Trans. Antenna Propagat., vol.40, pp. 170-177, 1992.
- [16] L. R. Maciel e H. L. Bertoni, "Cell Shape for Microcellular Systems in Residential and Commercial Environments," IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. 43, NO. 2, pp. 270-278, 1994.

- [17] G. L. Siqueira, E. A. Vásquez, R. A. Gomes, C. B. Sampaio e D. A. Borghi “Comparison Between Propagation Measurements and Coverage Prediction Models For Small Urban Cells,” IEEE Global Telecommunications Conference Records, GLOBECOM London UK, 18th to 22nd , vol.2, pp. 1182-1186, 1996.
- [18] A. Mehrotra, Cellular Radio: Analog and Digital Systems. USA.: Artech House, 1994
- [19] T. Tamir and L. B. Felsen “On Lateral Waves in Slab Configuration and Their Relation to Other Wave Types,” IEEE Trans. Antenna Propagat., pp. 410-422, 1965.
- [20] T. Tamir, “Nature and Optimisation of the Ground ( Lateral ) Wave Excited by Submerged Antennas ,” proc. IEE, vol.113, NO. 8, pp. 1299-1310, 1966.
- [21] T. Tamir, “On Radio-Wave Propagation in Forest Environments,” IEEE Trans. Antenna Propagat., pp. 806-817, 1967.
- [22] D. Dence e T. Tamir, “Radio Loss of Lateral Waves in Forest Environments,” Radio Science, vol. 4, NO. 4, pp. 307-318, 1969.
- [23] T. Tamir, “Lateral Wave Applications to Radio Systems, ” paper presented at Workshop on Radio Systems in Forested and/or Vegetated Environments, ” US Army Communications Command, Fort Huachuca, Arizona, 1973.
- [24] T. Tamir, “Radio Wave Propagation Along Mixed Paths in Forest Environments,” IEEE Trans. Antenna Propagat., vol. AP-25, NO. 4, 1977.

- [25] L. M. Brekhovskikh, *Waves in Layered Media*, New York: Academic Press, Inc., 1960.
- [26] R. H. Lang, "Electromagnetic Backscattering from a Sparse Distribution of Lossy Scatterers," *Radio Sci.*, vol.16, NO.1, pp 15-30, 1981.
- [27] R. H. Lang e J. S. Sidhu, "Electromagnetic Backscattering from a Layer of Vegetation: A Discrete Approach," *IEEE Trans. on Geosc. and Remote Sensing*, vol. GE-21, NO.1, pp. 62-71, 1983.
- [28] M. A. Karam, A. K. Fung, R. H. Lang e N. S. Chauhan, "A Microwave Scattering Model for Layered Vegetation," *IEEE Trans. Geosc. and Remote Sensing*, vol.30, NO.4, 1992.
- [29] S. A. Torrico, H. L. Bertoni e R. H. Lang, "Theoretical Investigation of Foliage Effects on Path Loss for Residential Environments," *IEEE Trans. Antenna Propagat.* , pp. 854-858, 1996.
- [30] G.P.S. Cavalcante, D. A. Rogers e A. J. Giarola, "Analysis of Electromagnetic Wave Propagation in Multilayered Media Using Dyadic Green's Functions," *Radio Science*, vol. 17, NO. 3, pp. 503-508, 1982.
- [31] R. K. Tewari, S. Swarup e M.N. Roy, "Evaluation of Relative Permittivity and Conduivity of Forest Slab from Experimentally Measured Data on Lateral Wave Attenuation Constant," *Int. J. Electronics*, vol. 61, NO. 5, pp. 597-605, 1986.
- [32] W. J. Vogel e J. Goldhirsh, "Tree Attenuation at 869 MHz Derived from Remotely Piloted Aircraft Measurements," *IEEE Trans. Antenna Propagat.* , vol. AP-34, pp. 1460-1464, 1986.

- [33] J. Goldhirsh e W. J. Vogel, "Roadside Tree Attenuation Measurements at UHF for Land Mobile Satellite Systems," IEEE Trans. Antenna Propagat. Vol. AP-35, NO. 5, pp. 589-596, 1987.
- [34] K. Löw, "UHF Measurements of Seasonal Field-Strength Variations in Forests," IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. 37, No. 3, pp 121-124, 1988.
- [35] M. O. Al-Nuaimi e A. M. Hammoudeh, "Attenuation Functions of Microwave Signals Propagated Through Trees," Electronics Letters, vol. 29. No. 14, pp. 1307-1308, 1993.
- [36] A. Hammoudeh e M. Al-Nuaimi, "Scattering Cross-Section Characterization of Vegetation Media at Microwave Frequencies," IEEE Electronics Letters Online, No. 19940613, 1994.
- [37] P. A. Mathews, Y. F. Hu e K. M. Ahmed, "Theoretical Analysis of VHF-UHF Propagation Through Air-Vegetation-Ground Media," IEE Proc. Microw. Antenna Propagat., vol. 141, NO. 5, pp. 415-422, 1994.
- [38] T. Kürner, D.J. Cichon e W. Wiesbeck, "Influence of the Receiver Near Range in Urban and Forested Areas in Land Mobile Radio Systems," IEEE Trans. Antenna Propagat. pp. 190-194, 1994.
- [39] M. S. Assis e J.C. Dal Bello, "Radiowave Propagation in the Amazon Forest," International Symposium on Antennas and EM Theory, Beijing, China, 1985