

## 2

### **Arquitetura do sistema de comunicação móvel celular**

Neste capítulo será mostrada uma configuração básica para qualquer sistema de comunicação móvel celular, relacionando as principais funções de cada componente. Será dada ênfase ao controle de potência, um dos módulos da Estação Rádio Base (ERB) e, também, aos tipos e configurações de antenas para ERBs. O foco nestes dois parâmetros é de especial interesse para atendimento ao principal objetivo proposto nesta dissertação, que é a verificação dos níveis de radiação emitidos pelas antenas das ERBs nas comunidades próximas.

#### **2.1**

##### **Configuração básica do sistema celular**

A idéia básica de um sistema celular é a divisão de uma área de cobertura, em áreas menores, chamadas “células”. Cada célula é atendida por uma Estação Rádio Base que através de transceptores com potências de transmissão menores, antenas pouco elevadas e com técnicas de reuso de frequências [7], permite a comunicação com as estações móveis dentro ou fora da própria célula. Desta forma alguns problemas encontrados nos sistemas móveis tradicionais tais como o aumento da densidade de usuários que antes era menor, grandes áreas geográficas, antenas das ERBs muito elevadas, potências transmitidas muito altas e não reutilização de frequências foram resolvidos. Um sistema móvel celular, portanto, tem sua estrutura básica representada pela figura 1 mostrada abaixo:

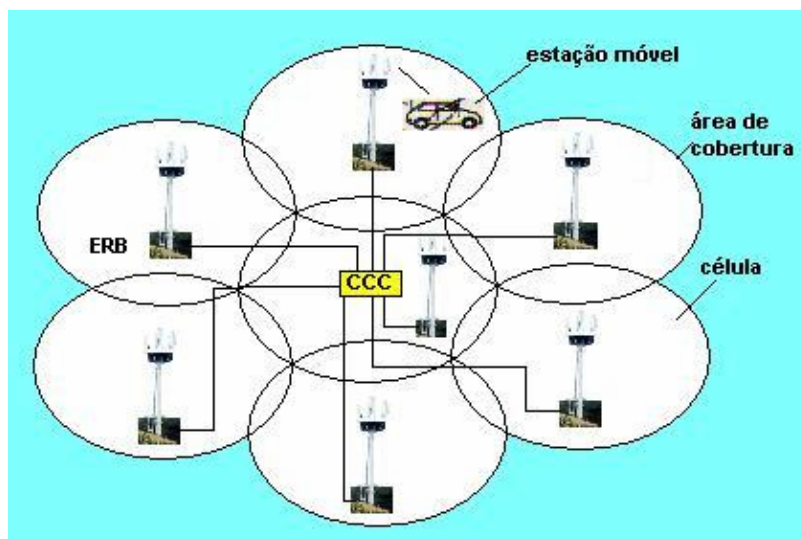


Figura 1 - Estrutura básica do Sistema Móvel Celular

A arquitetura básica de um sistema celular, independente da tecnologia utilizada, é composta por três componentes:

- Estação Móvel (EM);
- Central de Comutação e Controle (CCC);
- Estação Rádio Base (ERB).

Esta configuração interligada com a rede pública forma um sistema completo de comunicação sem fio, possibilitando a comunicação entre telefones celulares e o terminal fixo convencional, conforme ilustrado na figura 2.

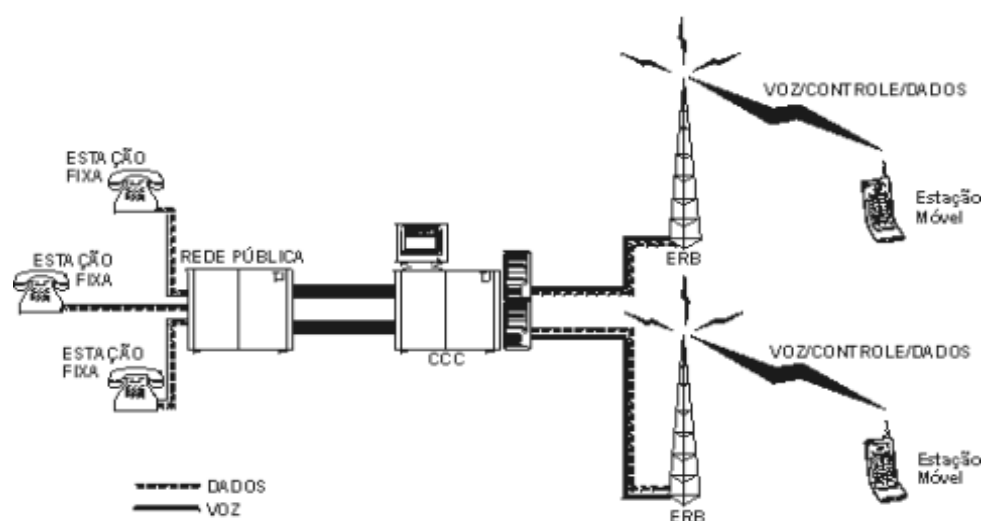


Figura 2 – Arquitetura completa de um Sistema Celular

Neste sistema as unidades móveis estão em comunicação direta com as Estações Rádio-Base (ERB) através de um enlace rádio. A ERB, por sua vez, é interligada à Central de Comutação e Controle através de meios físicos de transmissão (linhas de transmissão ou enlaces rádio). Uma ERB pode trocar dados com uma única CCC, enquanto que uma CCC pode se comunicar com várias ERBs. Além disso, a CCC faz conexão com a rede pública, possibilitando o encaminhamento de uma chamada para terminais fixos, e com outras CCCs. A seguir serão descritas as principais funções dos componentes de uma estrutura básica de um sistema móvel celular.

O primeiro componente da estrutura é a Estação Móvel (EM) ou terminal, dispositivo compacto que permite uma grande mobilidade do usuário, além de muitas outras facilidades. Dentre elas, uma melhor qualidade de vida. Suas principais funções são:

- ✓ Prover a interface entre usuário e sistema;
- ✓ Converter sinais de áudio em sinais de RF, e vice-versa;
- ✓ Responder a comandos enviados pelo sistema;
- ✓ Alertar usuário sobre chamadas recebidas;
- ✓ Alertar o sistema sobre tentativas de originar chamadas.

A Central de Comutação e Controle (CCC) é a parte fundamental no Sistema de Comunicação Móvel, responsável por coordenar todas as funções e ações ligadas ao estado das chamadas e ao sistema. As principais funções de uma CCC são:

- ✓ Realizar a conexão entre a rede telefônica e o sistema móvel celular;
- ✓ Comunicar-se com outros sistemas celulares;
- ✓ Controlar as ERBs;
- ✓ Monitorar e controlar as chamadas;
- ✓ Interligar várias ERBs ao sistema;
- ✓ Supervisionar o estado do sistema;
- ✓ Comutar e controlar o *handoff* de chamadas em andamento;
- ✓ Administrar o sistema.

Tais funções são possíveis graças a uma base de dados do sistema, contendo todas as informações necessárias para o seu adequado funcionamento.

As Estações Rádio-Base (ERBs) são classificadas quanto ao sítio de instalação, basicamente em dois tipos, conforme mostra a figura 3:

- ✓ *Greenfield* – aquelas que são instaladas em terrenos, ou seja, no solo.
- ✓ *Rooftop* – aquelas instaladas em pavimentos de cobertura de edifícios comerciais ou residenciais.

A ERB contempla um receptor e um transmissor que podem operar simultaneamente em diversas frequências de modo a atender a diversas comunicações ao mesmo tempo.

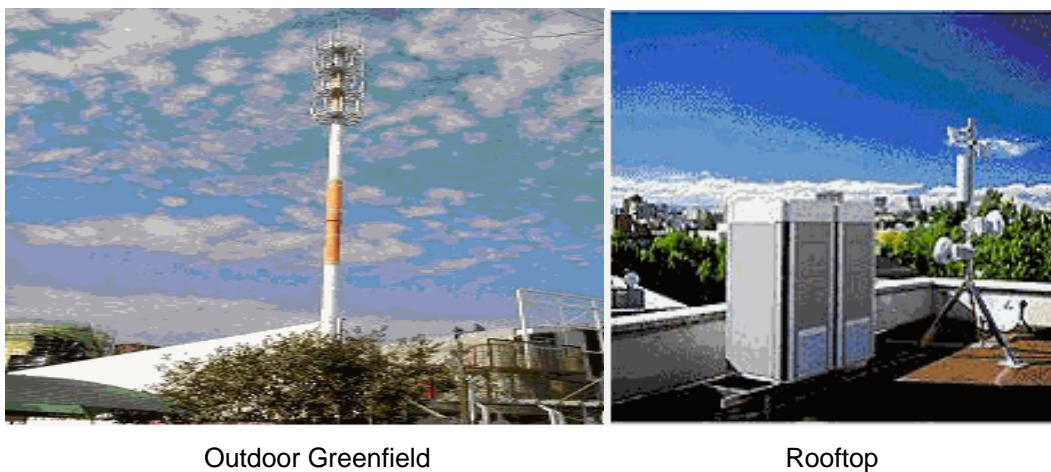


Figura 3 - Tipos de ERBs: *Outdoor Greenfield* e *Rooftop*

As principais funções de uma ERB são descritas abaixo:

- ✓ Prover a interface de rádio entre as EMs e o sistema;
- ✓ Converter sinais de RF em áudio, e vice-versa;
- ✓ Controlar e informar as EMs em sua área de cobertura;
- ✓ Verificar e informar a qualidade de sinal das chamadas sobre o seu controle;
- ✓ Verificar e informar a entrada em operação de novas EMs sob seu controle;
- ✓ Responder a comandos recebidos da CCC.

A Estação Rádio-Base está basicamente dividida em quatro partes descritas abaixo:

- ✓ Sistema de Controle de Potência;
- ✓ Circuitos de sinalização e alarme;

- ✓ Circuitos de Rádio Frequência (RF);
- ✓ Torre e antenas.

## 2.2

### Tecnologias de acesso múltiplo

O grau de interferência e a capacidade dos sistemas variam de acordo com a técnica de acesso utilizada. O telefone celular em si é um pequeno transceptor de rádio, mas com recursos sofisticados, cuja potência, no caso do sistema analógico é da ordem de 600mW ocupando uma faixa de 800-900 MHz. Sistemas digitais também operam nesta faixa de frequência e, mais recentemente, passaram a ocupar também a faixa de 1800-2000 MHz. Tais sistemas irradiam níveis mais baixos de potência, em atendimento às normas internacionais. A tabela 3 mostra um quadro demonstrativo das diferentes faixas de frequências utilizadas no Brasil para as principais tecnologias celulares.

	Frequências de transmissão (MHz)	
	Estação Móvel (EM)	ERB
Banda A	824-835	869-880
	845-846,5	890-891,5
Banda B	835-845	880-890
	846,5-849	891,5-894
Banda D	910-912,5	955-957,5
	1710-1725	1805-1820
Banda E	912,5-915	957,5-960
	1740-1755	1835-1850
Subfaixas de Extensão	907,5-910	952,5-955
	1725-1740	1820-1835
	1775-1785	1870-1880

Tabela 3 - Bandas de frequência para o celular no Brasil

Na técnica de acesso múltiplo FDMA - *Frequency Division Multiple Access*, a alocação de frequência dos canais é fixa dentro da banda, ou seja, cada canal é dedicado integralmente a cada terminal móvel dentro da célula, como uma sub-banda conforme a figura 4. Esta técnica é empregada basicamente no padrão

AMPS - *Advanced Mobile Phone System*. Para reduzir a interferência entre canais adjacentes a níveis aceitáveis podem ser utilizados filtros de canal com alta seletividade que, por sua vez, são muito caros. Considerando que muitos canais compartilham de um mesmo amplificador de potência pode ocorrer o efeito da intermodulação. Para minimizar tal efeito, os dispositivos de amplificação trabalham próximo à região não-linear da curva característica. Quanto à capacidade do sistema, esta poderia ser aumentada se apenas canais com usuários fossem transmitidos.

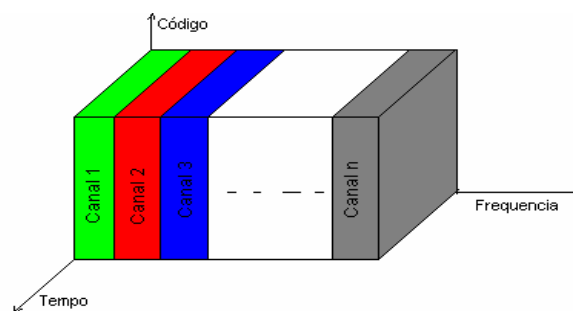


Figura 4 - Esquema de acesso múltiplo por divisão de frequência [7]

A técnica de acesso utilizada no TDMA - *Time Division Multiple Access*, implica no aumento da capacidade do sistema, pois o canal digital é dividido em 3 ou 6 “time slots” permitindo a ocupação simultânea de 3 ou 6 usuários diferentes numa transmissão. A figura 5 mostra o esquema de acesso múltiplo por divisão de tempo utilizado na implementação do padrão IS-54 e IS-136. Observa-se que, na verdade, o esquema de acesso é um híbrido TDMA-FDMA, pois outras frequências são utilizadas para prover acesso em uma mesma célula. A tecnologia TDMA faz com que os usuários do canal não sofram interferências de outras transmissões simultâneas e, ainda, proporciona ao usuário um aumento da vida útil da bateria. O TDMA pode sofrer interferência de sinais que chegam ao móvel por multipercurso. Neste caso, para minimizar a interferência pode-se inserir um limiar de tempo no sistema, que irá tratar o sinal no tempo pré-determinado. Após este tempo o sistema irá ignorar os sinais atrasados. No canal digital de tráfego acontece uma transmissão descontínua que se refere à habilidade das estações móveis em chavear entre dois estados de potência de transmissão: *DTX- High* e *DTX - Low*. Este chaveamento ocorre, por exemplo, entre sílabas, entre palavras, em pausas da fala ou enquanto se ouve. No estado “DTX - High” o transmissor irradia no nível de potência indicado pela mais recente ordem de controle de

potência (designação de canal de voz inicial, *handoff* ou ordem de mudança de potência) recebida pela Estação Móvel (EM). No estado “DTX - Low” o transmissor permanece desligado e o *CDVCC - Coded Digital Verification Color Code*, usado para verificação da continuidade entre os enlaces direto e reverso, não será enviado, exceto para transmissão de mensagens no *FACCH - Fast Associated Control Channel*, que é utilizado para transmitir mensagens urgentes, que não podem esperar para serem transmitidas pelo *SACCH - Slow Associated Control Channel*.

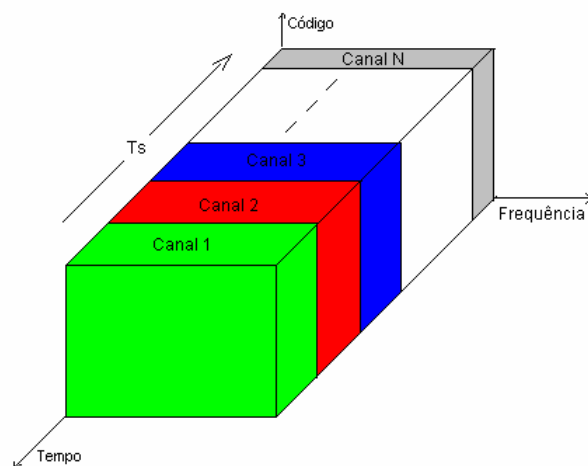


Figura 5 - Esquema de acesso múltiplo por divisão de tempo com 3 “time slots” por canal digital [7]

O GSM - *Groupe Special Mobile*, é um padrão de 2ª geração celular que utiliza canais de 200 kHz na faixa de 900 e 1800 MHz e que também controla a potência de transmissão das estações móveis. Assim, minimiza a interferência gerada nos canais e, também, melhora a vida útil da bateria.

O subsistema de rádio GSM utiliza duas bandas de 25 MHz. Na faixa de 890-915 MHz é utilizada no enlace reverso, e de 935-960 MHz no enlace direto. O GSM utiliza a duplexação por divisão de frequência (FDD) e, também, uma combinação do TDMA e FH - *Frequency Hopping*. O FH pode ser usado pelo sistema (nem sempre ele está ativado) [7, 8, 9]. O salto em frequência lento pode ser implementado pelo operador de rede para combater os efeitos de multipercurso e de interferência devido aos usuários daquela célula específica (*hopping cell*) que apresentam sérios problemas de multipercurso.

O CDMA - *Code Division Multiple Access*, técnica de acesso múltiplo adotada pelo padrão de sistema IS-95, utiliza a tecnologia de espalhamento espectral por sequência direta que revolucionou os conceitos empregados na comunicação entre terminais móveis. O controle de potência é especialmente importante para os sistemas CDMA, pois permite a todos os usuários celulares compartilhar a mesma portadora de RF.

No Brasil o CDMA é utilizado por operadoras na faixa de frequência de 800 MHz nas bandas A e B. As bandas deste padrão são divididas em canais de RF, onde cada canal (transmissão e recepção) tem uma banda de 1,23 MHz. Teoricamente poderia haver 10 canais por banda, totalizando 12,3 MHz. Entretanto, como a faixa de 800 MHz é dividida com o padrão AMPS e, na prática a fatia alocada ao CDMA é um pouco menor. A figura 6 mostra esquema de canalização digital de RF do padrão em análise.

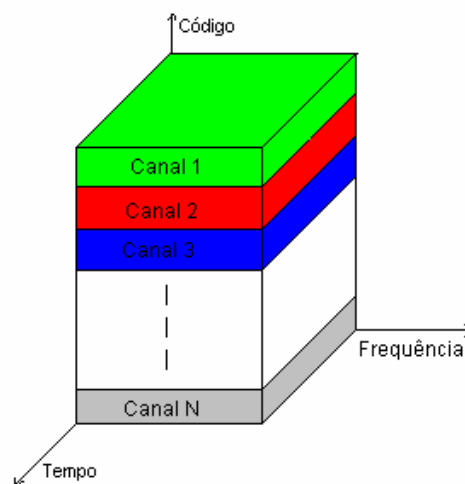


Figura 6 - Esquema de canalização digital de RF do CDMA [7]

Nos sistemas CDMA o sinal de informação é codificado utilizando-se códigos que provocam o espalhamento espectral do sinal na banda. No IS-95 os códigos utilizados são do tipo ortogonal (*Walsh*) e PN (*Pseudo-noise*). Cada bit deste tipo de código é chamado de “chip”. Este espalhamento espectral é chamado de “espalhamento espectral por sequência direta” (DSSS) [3, 7, 8].

Na recepção, o sinal só é recuperado se for correlatado com a mesma sequência que o espalhou. Com isso, todos os demais sinais espalhados por outras sequências são vistos como “ruído”. Portanto quanto mais usuários utilizam o



canal, maior o nível de interferência para os canais que utilizam a mesma banda. Como há uma relação sinal / interferência de limiar para a recepção adequada do sinal, há um limite prático no número de usuários de uma determinada célula. Esta interferência está diretamente relacionada ao nível de potência transmitida por cada canal individual, ou seja, quanto maior o nível de potência, maior o nível de interferência no sistema.

## 2.3

### Controle de potência

O controle de potência em sistemas celulares é uma das principais ferramentas utilizadas para reduzir a interferência entre canais e, também, ajuda a prolongar a vida útil e a autonomia da bateria do terminal.

O AMPS realiza o controle de potência dinâmico sobre as transmissões a partir dos terminais. Isto é feito pelo comando de cada terminal que deverá transmitir um dos oito níveis de potência de acordo com a especificação do sistema. O sistema utiliza o *control filler* no canal de controle direto para especificar o nível de potência de transmissão no canal de controle reverso.

O nível de potência inicial para transmissão no canal de tráfego é especificado nas mensagens *initial voice channel* e *hand off*.

Como o terminal muda sua posição de acordo com a célula, o sistema comanda a sua troca de nível de potência através da mensagem *change power level* no canal direto de voz [8].

Um terminal AMPS é capaz de irradiar sinais numa variação de 6 a 8 diferentes níveis de potência dependendo da natureza do terminal. Através de um comando a ERB estabelece a potência inicial a ser irradiada. Estes níveis variam de 8dBm (6mW) a 36dBm (4W) com espaçamento de 4dB, de forma que cada nível de potência é 2,5 vezes maior que o próximo mais baixo [8].

O terminal classe I, normalmente alimentado por uma bateria veicular tem acesso aos oito níveis.

O terminal classe III, portátil, cobre os seis níveis menores a um máximo de 600mW.

O terminal classe II irradia 1,6W para uma máxima potência irradiada. Entretanto não existem produtos comerciais operando neste limite segundo.

A ERB controla o nível de potência transmitido pelos terminais ativos através de mensagens. Alguns níveis são designados para transmissão descontínua (DTX). Durante a conversação é possível para estes terminais a alternância entre dois níveis, correspondendo aos estados ativo e inativo, sob controle do detector de atividade de voz. No estado ativo, quando o terminal detecta o início da fala, ele transmite o nível de potência comandado pela ERB. No estado inativo, o terminal transmite um nível reduzido para conservar a energia da bateria.

O TDMA especifica 11 níveis de potência irradiada pelos terminais, incluindo os oito níveis dos terminais AMPS. O maior nível é 4W (6dBw) e eles diferem por um espaçamento de 4dB, variando até o limite inferior de -3dBw (0,25W). Em um sistema dual, os três menores níveis podem ser designados apenas para canais digitais de tráfego e de controle especificados no padrão IS-136-1 [8].

Um transmissor que utiliza canal físico TDMA na taxa máxima está ativo apenas 1/3 do tempo. Desta forma, a potência média transmitida é  $10\log(3) = 4,8\text{dB}$  menor que o nível de potência irradiada especificada no referido padrão. Isto significa um aumento da vida útil da bateria de um terminal operando em um canal de tráfego digital em relação a um analógico para a mesma potência irradiada.

O GSM especifica cinco classes de EMs diferenciadas por uma potência máxima de transmissão, que varia de 20W (43dBm) a 0,8W (29dBm).

Quando um terminal transmite na taxa máxima do canal, o transmissor fica ativo apenas durante um oitavo do tempo do *frame*. Isto significa que a potência média irradiada é menor que a máxima por um fator de 8 (9dB). Tipicamente, para um terminal móvel, a potência é de 8W (1W em média).

Para terminais portáteis a potência máxima de transmissão é de 2W e a potência média é de 250mW. Como em outros sistemas celulares, o GSM emprega o controle de potência. Os terminais podem ajustar suas potências para qualquer um dos 16 níveis de potência que varia até 30dB com incrementos de 2dB [8].

Nos sistemas CDMA a capacidade do sistema é aumentada se cada nível de potência transmitido do móvel é controlado de forma que o sinal chegue à ERB com um valor mínimo desejado de razão sinal / interferência. Se a potência de todos os transmissores das estações móveis (EM) da área de cobertura da célula

estiver controlada pela ERB, então a potência total recebida na estação base de todos de todas as estações móveis será igual a potência média recebida multiplicada pelo número de EM operando na região de cobertura. Se a potência recebida de um usuário móvel é muito grande, o desempenho deste móvel é adequado, mas ele, certamente, adicionará uma interferência indesejável para todos os outros usuários da célula.

Entretanto, uma ERB em particular é incapaz de controlar a potência dos usuários nas células vizinhas, e estes usuários adicionam ruído de fundo e contribuem para a redução da capacidade do link reverso da célula de particular interesse. A potência transmitida de cada usuário fora da célula adicionará interferência na ERB receptora. O total de interferência fora da célula determina o fator de reuso de frequência,  $f$ , do sistema celular CDMA. Idealmente, cada célula compartilha a mesma frequência e o máximo valor possível de “ $f$ ”, ( $f=1$ ), é atingido. Este fator de reuso está definido na íntegra em [7, 9].

Para solucionar o problema da interferência foi desenvolvido um sofisticado mecanismo de controle de potência tanto para os terminais quanto para as ERBs. Este controle de potência acaba gerando uma expansão ou uma contração do raio da célula CDMA, de acordo com a sua carga de tráfego. O controle de potência ocorre tanto no enlace direto quanto no enlace reverso.

### 2.3.1

#### Controle de potência no enlace reverso no CDMA

O controle de potência é essencialmente importante no enlace reverso para evitar que um móvel próximo a ERB mascare o sinal de um móvel próximo ao limite da mesma célula, provocando o chamado “efeito perto-distante” [7, 8]. A situação típica em que o referido efeito poderia ocorrer está ilustrada na figura 7.

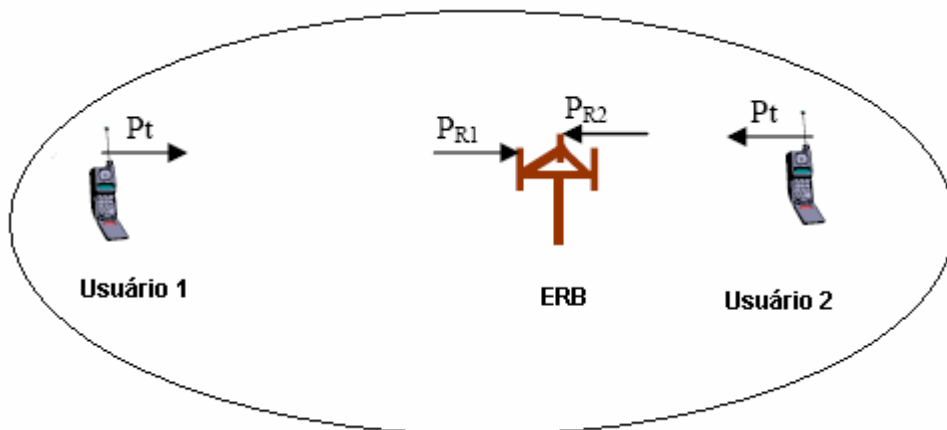


Figura 7 - Efeito perto-distante em uma célula CDMA

O padrão IS-95 estabelece que o móvel deve usar o nível de potência recebida da ERB para estimar qual é a potência inicial a ser transmitida. Ou seja, se o nível recebido é alto, então, o móvel assume que a ERB está próxima. Caso contrário assume que a ERB está distante. Este processo é conhecido como “controle de potência de laço aberto” (*open loop*) [8, 9]. Neste caso a operação é controlada unicamente pelo móvel, sem envolver a ERB.

É importante notar que o controle de potência de laço aberto é baseado na estimativa da atenuação do enlace direto, por ocasião do estabelecimento de uma chamada. A resposta do canal de propagação radio-móvel é variante no tempo, ou seja, aquela estimativa inicial é insuficiente para garantir um adequado controle de potência. Mais ainda, apesar de se esperar alguma correlação entre as respostas do canal nos enlaces reverso e direto, as portadoras são distintas, separadas por 45 MHz, separação esta que excede bastante a banda de coerência típica do canal radio-móvel [8]. É necessário, portanto, utilizar um outro tipo de controle para compensar as diferenças entre as respostas de canal nos dois enlaces e para acompanhar as variações ao longo do tempo. Este controle adicional é chamado “controle de laço fechado” (*closed loop*). Neste tipo de controle estão envolvidas a estação base e a estação móvel (EM). No controle de potência em laço fechado [8] a ERB monitora continuamente o enlace reverso e mede a qualidade do enlace. Se a qualidade do enlace torna-se ruim a ERB, através do enlace direto, determina ao móvel o aumento da potência. Se a qualidade do enlace está demasiado boa a ERB determina ao móvel a redução do nível de potência. Idealmente a taxa de erro de quadro (*FER – Frame Error Rate*) é um excelente indicador da qualidade do

enlace. Entretanto a estação base teria que acumular um número suficiente de bits para calcular a FER, o que tornaria o processo lento para o controle do desvanecimento rápido. Por este motivo utiliza-se a relação entre energia de bit ( $E_b$ ) e a densidade de ruído ( $N_0$ ), ou seja,  $E_b/N_0$  como indicador de qualidade do enlace reverso. Este processo é chamado de “parte interna do controle de potência de laço fechado”. A estação base envia comandos de controle de potência diretamente sobre o canal de tráfego. Os bits que carregam esta informação são chamados de bits de controle de potência (*Power Control Bits*), e normalmente comandam um aumento ou decréscimo de 1dB.

Como não há uma relação única entre o limiar de  $E_b/N_0$  e a FER, é necessário um ajuste dinâmico do limiar de  $E_b/N_0$  para se manter uma determinada FER. Este processo é chamado de “parte externa do controle de potência de laço fechado”, conforme ilustrado na figura 8.

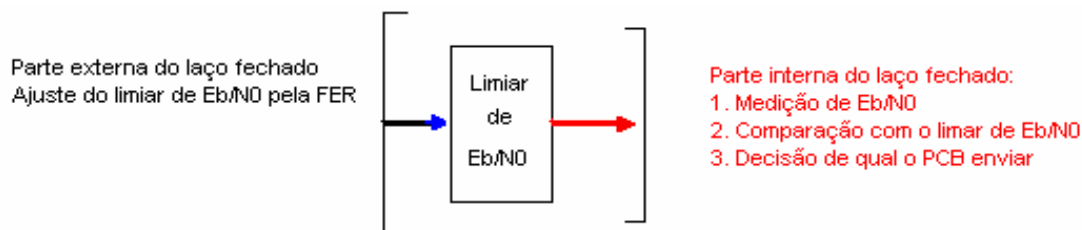


Figura 8 - Controle de potência de laço fechado [9]

### 2.3.2

#### Controle de potência no enlace direto no CDMA

No enlace direto todos os sinais se propagam através do mesmo canal sendo recebidos pela estação móvel (EM) com a mesma potência. Embora não exista a interferência perto-distante, o controle de potência ainda é necessário para minimizar a interferência em outras células e compensar a interferência de outras células. O padrão IS-95 especifica que a EM deve informar a ERB a qualidade do enlace direto. A Estação móvel deve monitorar continuamente a FER do enlace direto e, então, reportar a ERB através de uma mensagem denominada “*Power Measurement Report Message - MRW*”. A ERB, conhecendo a qualidade do

enlace direto, ajusta automaticamente a potência do canal para aquela estação móvel.

Existem vários estudos que trata do controle de potência em função das deferentes tecnologias de acesso. Diversos deles estão referenciados no artigo de Novakovic e Dukic [10] que mostra um resumo de várias técnicas de controle de potência para modernos sistemas de comunicação sem fio, como por exemplo o *DS-CDMA systems*. O estudo mostra que uma interface aérea baseada no DS-CDMA banda larga é um grande candidato para implementação de sistemas com características que atendam os requisitos da 3G juntamente com outros requisitos sistêmicos.

Em todos os sistemas propostos, o controle de potência é indicado para operação no modo FDD - *Frequency-Division Duplex*. É importante, também, no modo de operação TDD - *Time-Division Duplex*. Para o modo FDD, o controle de potência consiste de um rápido controle de potência, tanto no enlace direto, quanto no enlace reverso. Para o modo TDD, o controle de potência é baseado na relação S/I, para todos os sistemas propostos, exceto para o CDMA2000, que o controle de potência é baseado na intensidade do sinal. Para sistemas CDMA 2000 o controle de potência baseado no FDD. O controle de potência no enlace reverso é o mesmo utilizado para o IS-95. Para o enlace direto, o controle de potência é diferente, ou seja, é utilizado o controle de potência de laço fechado rápido em canais dedicados no enlace direto com 800 amostras por segundo. O controle de potência de laço fechado compensa o desvanecimento rápido do meio e as imprecisões do controle de potência de laço aberto [10].

O controle de potência no enlace direto é muito importante, pois com um controle bem definido é possível reduzir a potência dos usuários móveis que estão parados e relativamente próximos à estação-base. Estes usuários ficam prejudicados pelo desvanecimento por multipercurso ou por efeito de sombreamento ou, ainda, por interferência de outras células. Entretanto, uma potência extra pode ser fornecida aos usuários que estão em ambientes desfavoráveis ou longe da estação-base.

Os autores acreditam que a integração do controle de potência com as técnicas de detecção multi-usuários e *beamforming* [11] garantirá uma alta performance nos diversos algoritmos apresentados. Como os algoritmos são de alta complexidade, eles necessitam de poderosas ferramentas computacionais para

implementação e testes em ambientes reais. Porém, podem ter aplicação em sistemas de terceira geração.

Algumas operadoras utilizam, também, a técnica da setorização para reduzir determinados níveis de interferência, isto porque os setores utilizam antenas direcionais e estas interferem pouco nos demais setores da célula CDMA [7, 8, 9].

## 2.4

### Antenas para sistemas celulares terrestres: tipos e configurações

As antenas são dispositivos capazes de irradiar ou captar ondas eletromagnéticas no espaço, conforme o princípio da reciprocidade [12]. Define-se uma antena isotrópica como aquela que hipoteticamente irradia uniformemente para todas as direções.

As antenas para sistemas celulares terrestres são usualmente classificadas, quanto à diretividade, em dois tipos: omnidirecionais e setoriais ou diretivas. As omnidirecionais são aquelas que têm um diagrama de radiação horizontal essencialmente não diretivo e diagrama de radiação vertical diretivo conforme mostra a figura 9.

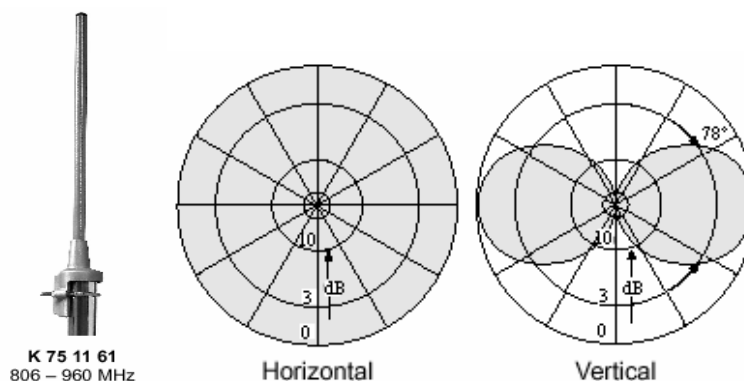


Figura 9 - Antena omni com seus diagramas de radiação horizontal e vertical [13]

As antenas setoriais, também chamadas de setorizadas ou diretivas, são aquelas que têm um diagrama de radiação horizontal projetado para cobrir uma determinada região angular dentro de níveis de radiação pré-estabelecidos.

As figuras 10 e 11 mostram modelos de antenas diretivas com seus respectivos diagramas de radiação.

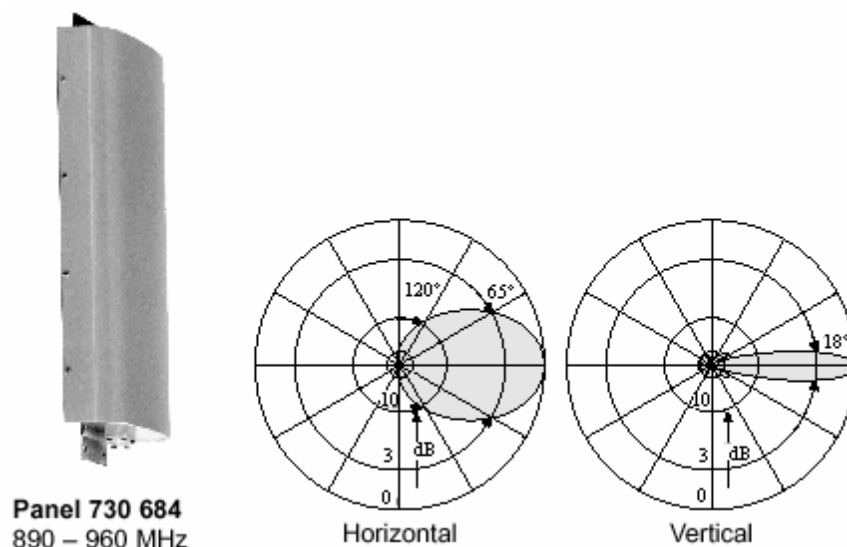


Figura 10 - Antena diretiva com seus diagramas de radiação horizontal e vertical [13]

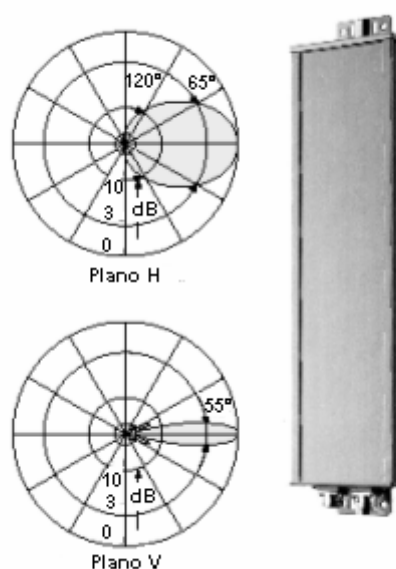


Figura 11 - Antena diretiva com seus diagramas de radiação horizontal e vertical [13]

As antenas, de acordo com o projeto, podem ser instaladas em dois tipos de ambientes: externos ou internos. Quando instaladas externamente são classificadas como “outdoor” e podem apresentar configurações como as mostradas na figura 12 para uma ERB típica GSM formada por 3 antenas omnidirecionais: uma transmissora (Tx) e duas receptoras (Rx). A antena transmissora é montada, normalmente entre as receptoras e no ponto mais alto para garantir uma melhor visibilidade. Entretanto, a influência de uma em relação



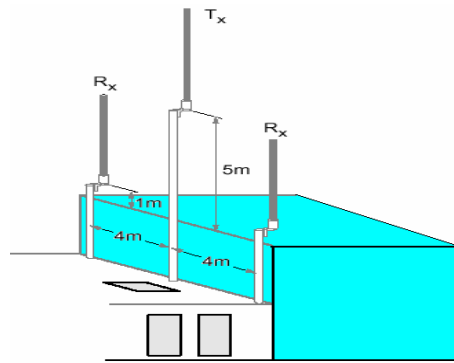


Figura 12 - ERB típica de um sistema GSM com 3 antenas omnidirecional

à outra é reduzida devido à característica de alta isolamento entre elas. As duas antenas receptoras são espaçadas de  $12$  a  $20\lambda$  atingindo um ganho de diversidade de  $4$  a  $6$  dB [13].

A figura 13 representa algumas configurações possíveis com antenas diretivas com seus respectivos diagramas de radiação.

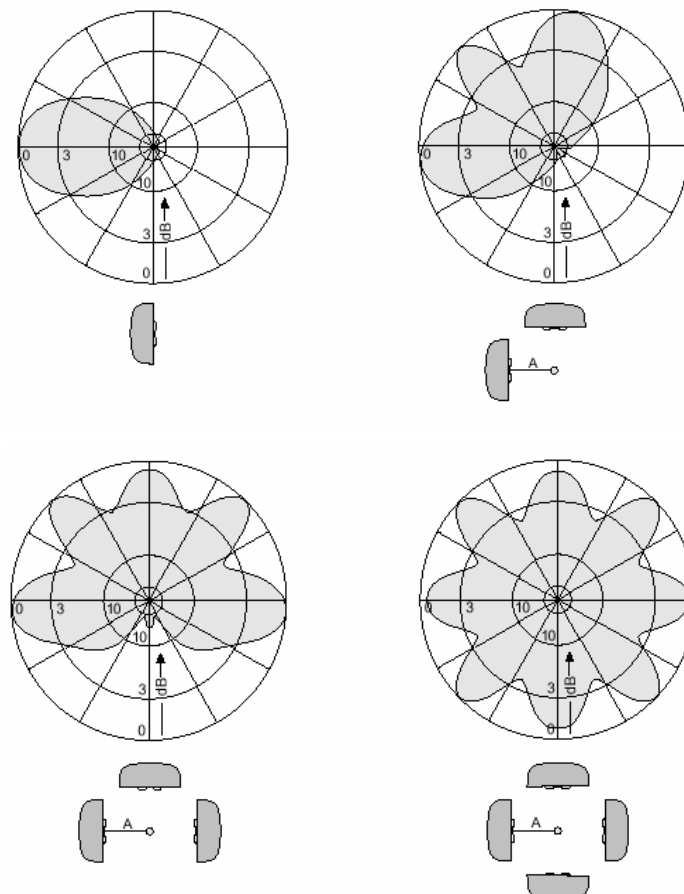


Figura 13 - Possíveis configurações com antenas diretivas e seus diagramas de radiação [13]

As figuras 14 a 17 mostram as antenas diretivas configuradas em  $120^\circ$ , que podem ser instaladas em ERBs no topo dos prédios ou em áreas abertas.

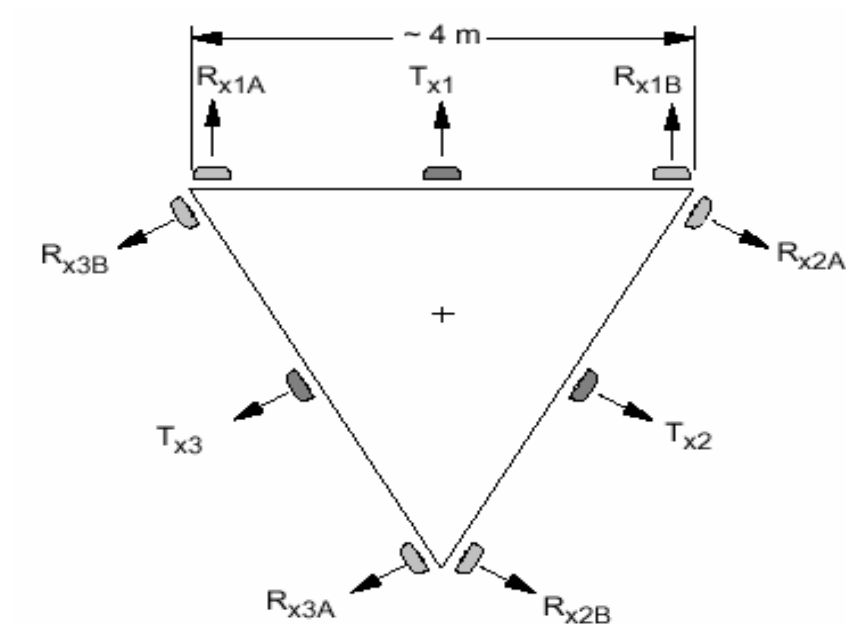


Figura 14 - Antenas diretivas configuradas a  $120^\circ$  com diversidade de espaço

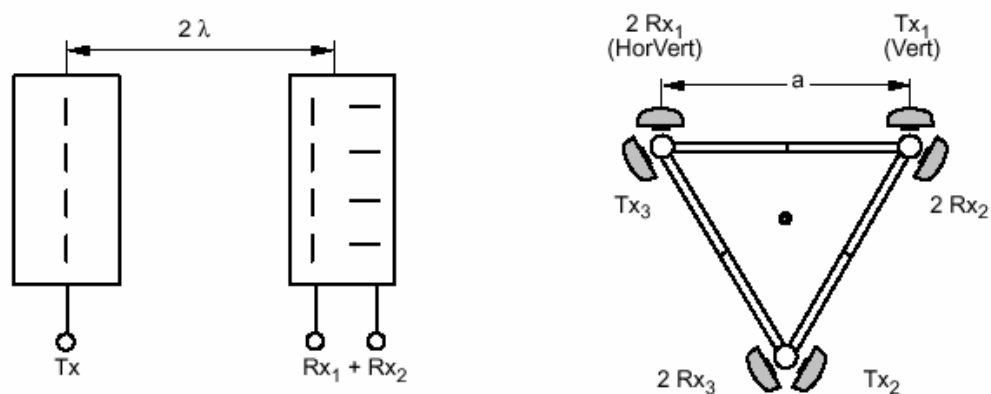


Figura 15 - Antena com 3 setores a  $120^\circ$



Figura 16 - Antenas externas diretivas cobrindo setores em ERB "Rooftop"



Figura 17 - Antenas externas diretivas com "down tilt" cobrindo setores em ERB "Rooftop"

As antenas do tipo "indoor" são instaladas principalmente em ambientes internos como prédios comerciais, shoppings, portos e aeroportos caracterizando picocélulas. Detalhes podem ser encontrados em [7, 9]. Normalmente é difícil o atendimento, em termos de cobertura rádio, no interior das edificações em determinadas frequências, em função dos obstáculos encontrados pelas ondas eletromagnéticas, como por exemplo, as paredes de concreto. Por este motivo alguns destes locais são atendidos por um sistema de baixa potência interligado a um repetidor que, por sua vez, é conectado a uma ERB mais próxima.

Antenas internas especiais são montadas em amplos salões e corredores de forma a cobrir plenamente as áreas de interesse. As figuras 18 a 20 mostram, respectivamente, uma antena omnidirecional, uma diretiva construída com

tecnologia “path” (microfita) e alguns parâmetros utilizados no projeto da antena de microfita.

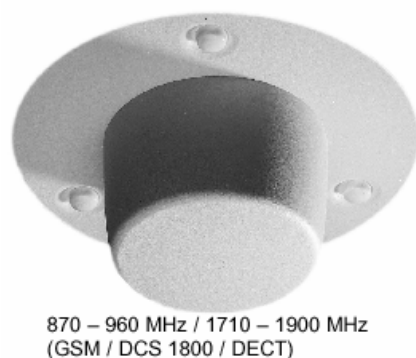


Figura 18 - Antena omni “indoor” [13]

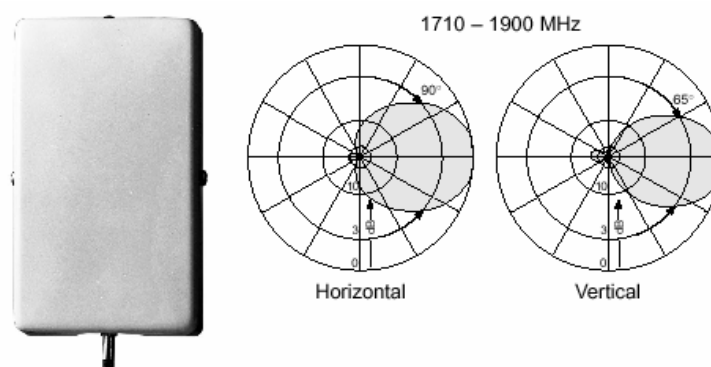


Figura 19 - Antena diretiva feita com tecnologia de microfita [13]

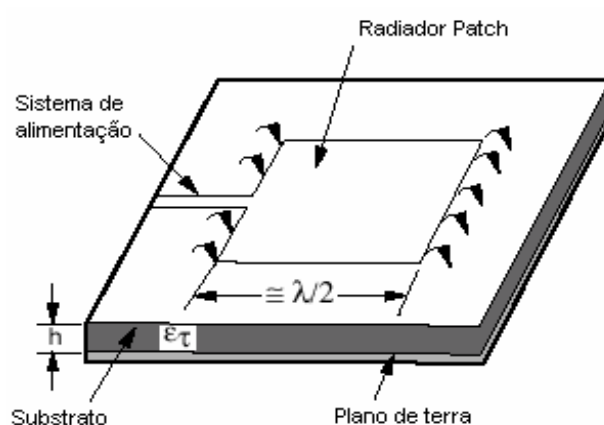


Figura 20 - Alguns parâmetros internos utilizados na antena com tecnologia de microfita [13]

A figura 21 mostra exemplos de antenas instaladas em diferentes tipos de torres como partes integrantes de uma ERB celular.



Figura 21 - Antenas instaladas em diferentes tipos de torres de sistemas celulares

Existem locais onde não são permitidas instalações de antenas em estruturas metálicas aparentes por questões ambientais. Para contornar o impasse, a alternativa encontrada foi a implementação da técnica de camuflagem para manter a harmonia do meio ambiente. A figura 22 mostra alguns casos.



Figura 22 - Antenas e torres camufladas em harmonia com o ambiente

Em termos de características mecânicas e ambientais das antenas a Anatel prevê, através da resolução 372 de maio de 2004, que a antena celular deverá suportar ventos de sobrevivência com velocidade não inferior a 120Km/h e ventos operacionais com velocidade não inferior a 50Km/h. Os valores nominais deverão ser informados pelo fabricante. As características elétricas detalhadas das antenas (diagrama de radiação, largura de feixe, alimentação, impedância, etc), podem ser encontradas em [12, 13].

O capítulo seguinte tratará da associação entre alguns efeitos biológicos conhecidos e a frequência quando da interação da radiação ionizante com um indivíduo.