



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE SANTA CATARINA
CURSO TÉCNICO INTEGRADO EM TELECOMUNICAÇÕES

Comunicações Móveis

Prof. Rubem Toledo Bergamo
São José - SC, 2014

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO ÀS COMUNICAÇÕES MÓVEIS

Atualmente verifica-se um crescimento comercial muito grande por parte dos sistemas de comunicação rádio-móveis, especialmente o serviço de telefonia celular. Entretanto, apesar de estarem em grande evidências nos dias de hoje, estes sistemas apresentam um histórico bastante antigo que se inicia em 1876, ou seja a mais de 100 anos atrás. Portanto, primeiramente neste curso será apresentado um histórico das comunicações móveis que nos permite situar cronologicamente o momento em que vivemos, e a grande importância que estes sistemas assumiram na vida do ser humano.

1.1 BREVE HISTÓRICO

- Para falarmos das Telecomunicações Celulares devemos nos reportar ao início com a transmissão de voz através de sinais elétricos experimentada por Alexander Graham Bell em 1876.
- Em meados de 1880 Heinrich Hertz evidenciou a propagação de ondas eletromagnéticas teoricamente sugerida por Maxwell. Isto levou o italiano Gugliermo Marconi a encontrar a primeira aplicação para a comunicação entre pontos não fixos. Em 1897, Marconi fez várias transmissões de rádio de Needles, na ilha de Wight, para um navio a 18 milhas da costa. Podemos dizer portanto, que a primeira aplicação importante das comunicações móveis foi a utilização em navegação até mesmo para a segurança dos navios.
- Reginald Fessenden realizou experimentos de transmissão em Amplitude Modulada (AM) de voz e música em 1905, mas somente em 1920 surgiu a primeira estação comercial de rádio em Pittsburg (EUA). Mesmo assim o uso do sistemas de radiodifusão durante a 1ª Guerra Mundial ainda foi limitado.
- Motivados mais pela curiosidade, em 1921 o Departamento de Polícia de Detroit fez o primeiro uso regular de sistema de rádio móvel em viaturas, primeiramente somente enviando ordens da Central de Polícia para as mesmas. Posteriormente as estações móveis também podiam enviar mensagens. Esse sistema operava na faixa de 2MHz e

sua operação era *Simplex Push-to-talk*. Em 1932 era a vez do Departamento de Polícia Civil de Nova Iorque usar o sistema. Eram apenas 11 canais de voz compartilhados por até 5.000 veículos. Os primeiros transmissores móveis começaram a ser desenvolvidos no início da década seguinte e, apesar do tamanho (eram transportados no porta malas dos veículos), possibilitaram as transmissões half-duplex (*push to talk*).

- Com o avanço tecnológico, a tendência era a de elevar as frequências de operação. Em 1935, a *Federal Communication Commission* (FCC), órgão regular do setor nos EUA, autorizou a utilização de quatro canais na faixa de 30MHz a 40MHz, em bases experimentais, regulamentando seu uso em 1938. Foi apresentado o primeiro rádio FM, por Edmond H. Armstrong. Este rádio possuía qualidade muito superior a dos rádios AM, principalmente por ser mais imune a ruídos.
- Durante a Segunda guerra mundial (1942-1945) o uso extensivo de equipamentos FM em combate fez com que aparecesse uma forte estrutura industrial para a produção destes equipamentos, tornando-os comercialmente viáveis. No entanto, os primeiros sistemas FM necessitavam de uma banda de 120 kHz para transmitir um sinal de voz de 3 kHz. Somente na década de 60 os receptores FM foram melhorados, podendo-se transmitir a voz num canal de 30 kHz.
- A regulamentação do espectro destinado às comunicações móveis impulsionou o desenvolvimento de um sistema de grande porte nos Estados Unidos e que em 1946 a AT&T colocou em funcionamento. Esse sistema, iniciado em 1945 com um programa experimental a 150MHz, possuía seis canais espaçados de 60kHz e foi implantado em St. Louis (EUA). Este sistema também foi implantado em Green Bay (EUA), na mesma época. O sistema operava com poucos canais na faixa de 35MHz. Deve-se ressaltar que, mesmo com os canais espaçados de 60kHz, os mesmos eram susceptíveis a interferências de canais adjacentes entre usuários da mesma área. Este serviço era conhecido como Rádio Urbano, consistia de um transmissor de alta potência que atingia um raio de 80 km e operava com 3 canais *half-duplex* FM. O interessante é que apresentava custos baixos aos assinantes (15 cents/minuto), o que levou a uma grande procura pelo serviço, o qual cresceu rapidamente e logo ficou saturado
- Em 1947 a empresa americana Bell Labs. apresentou o conceito de telefonia móvel celular. Este novo sistema necessitava, entretanto, de um número muito grande de

canais que na época não foram liberados pelo FCC(*Federal Communications Commission* – órgão que regulamente as telecomunicações nos Estados Unidos).

- Com novas descobertas a respeito da utilização de baixas frequências em sistemas de comunicação móvel inaugura-se um sistema de telefonia móvel ao longo da rodovia Nova Iorque – Boston em 1947. Esse sistema operava na faixa de 35 – 44MHz por acreditar que essa faixa possui um alcance maior e contornava melhor obstáculos de relevo, o que é verdade. Porém, o que veio a tona foi que essas frequências se propagam a longas distâncias via reflexão na ionosfera, fazendo com que as conversações pudessem ser ouvidas a quilômetros de distância causando interferências em outros sistemas.
- Em 1949 com o surgimento da televisão, o FCC resolve utilizar a faixa de 470-890 MHz e criar 70 novos canais, de 6 MHz cada, para as emissoras de TV. neste mesmo ano, na cidade de Detroit, uma companhia de táxi instalou um sistema similar ao sistema celular proposto pelo Bell Labs. fazendo reuso de frequências em células alternadas de pequenas áreas de cobertura e foram conseguidos grandes ganhos de capacidade. Entretanto, a execução do *hand-off* era manual na troca das células.
- Década de 50 – Apareceram os primeiros sistemas de *paging* (envio de mensagens curtas). Deve-se ressaltar que a operação nos sistemas acima descritos ainda era *Simplex Push-to-talk* com as chamadas realizadas via telefonista e ainda com a necessidade de o usuário procurar manualmente um canal vago antes de solicitar uma chamada. Com o aumento da demanda, houve uma insuficiência de canais disponíveis tornando as listas de espera de usuários enormes.
- Em 1950 o Departamento de Polícia da Filadélfia implanta o primeiro sistema Full-duplex, e a técnica de Multiplexação por Divisão de Tempo (TDM) é utilizada em sistemas fixos.
- Já em 1955, implementou-se a seleção automática de canais vagos pelos equipamentos de rádios móveis, surgiram de novas técnicas de projeto e fabricação de filtros que diminuiram o espaçamento de canais, houve um aperfeiçoamento dos sistemas acarretando um melhor desempenho dos mesmos e também o uso de frequências cada vez mais elevadas. Nessa época, a Suécia já era pioneira na telefonia móvel automática,

interligando o sistema de rádio móvel a uma central de comutação automática através de um computador.

- Década de 60 - O surgimento de sistemas chamados *Trunked*. Até então cada rádio urbano trabalhava apenas em uma única frequência e os assinantes eram alocados em grupos, sendo que cada grupo utilizava um canal apenas. Porém, o conceito de *trunked*, cada rádio podia ocupar qualquer um dos canais disponíveis, estando este desocupado
- Em 1961 os circuitos integrados vão para a produção comercial
- Em 1964 o primeiro sistema de comutação telefônico totalmente eletrônico entra em serviço.
- Em 1967 foi introduzido experimentalmente o IMTS (*Improved Mobile Telephone Service*), (**Fig. 1.1**) que foi uma experiência bem sucedida implementada em diversos centros metropolitanos. As principais características do IMTS eram: transmissor de alta potência (área de cobertura de 30 a 50 Km de raio), operação *Full-Duplex*, comutação automática, operação entre 150 a 450 MHz com canais de 30 KHz.

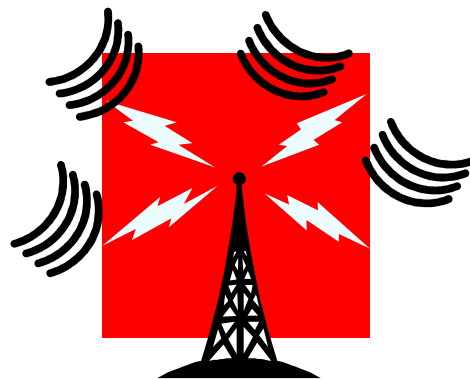


Figura 1.1. Sistema IMTS

- Em 1971 é apresentada pela AT&T a proposta do sistema AMPS (*Advanced Mobile Phone Service*). Na época este sistema apresentava ainda poucos atrativos na medida em que não possuía *hand-off* automático. Este tipo de controle inteligente só foi tecnologicamente viável anos depois com grande aumento de capacidade de processamento dos microprocessadores.
- Pressões de mercado e das operadoras para a expansão do sistema levaram o FCC a liberar uma banda de 40 MHz entre 800 e 900 MHz, isto só foi possível após

negociações com emissoras de TVs que perderiam alguns canais de UHF. Posteriormente ampliou esta faixa para a faixa entre 824 a 894 MHz, na qual ainda é utilizada pelo sistema AMPS.

- Em 1978 o primeiro sistema celular é testado nos EUA, até então todos eram centralizados (com raríssimas exceções de sistemas pequenos).

1.2 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DOS SISTEMAS

Os sistemas de comunicação móvel celular pioneiros da década de 30 pecaram por seus equipamentos volumosos, pesados, caros e de grande consumo. Utilizava-se a válvula de lógica. Os transmissores operavam com potência alta para cobrir a maior área de serviço possível, com a utilização ineficiente do espectro de frequência e transmissão apenas *one-way*. Em meados de 1950 surgiram os primeiros equipamentos transportáveis pelo homem, mas sua utilização ainda limitava-se às aplicações militares. Em 1957, com o surgimento dos transistores houve uma grande redução do volume dos aparelhos, em até 50% de seu volume. Isto representou redução de custo e menor consumo de potência. Os rádio portáteis já eram utilizados em 1960 com o advento dos circuitos integrados os telefones sem fio e telefones celulares portáteis surgiram com a tecnologia VLSI de integração de circuito em larga escala em 1970.

O *boom* dos sistemas de comunicação móveis celulares deu-se com o avanço tecnológico da década de 80 proporcionado pelas centrais CPA, técnicas de sinalização por canal comum e os enlaces digitais, via rádio ou cabo óptico. Isto tornou os sistema móvel celular mais baratos ao usuário. Nos últimos anos, os sistemas móvel celular se popularizaram mundialmente. A tecnologia celular está evoluindo de analógica para digital, objetivando a eficiência do espectro, qualidade de voz e integração de serviços.

Durante a implantação dos primeiros sistemas de comunicação móvel celular, a tecnologia ficou dependente das características do mercado-alvo. Essa tendência de pesquisa mercadológica dirigiu a evolução e convergência dos sistemas em todo o mundo.

Na Europa os sistemas celulares analógicos TACS o NMT 900 convergiram para o *Global System for Mobile Communications (GSM)*.

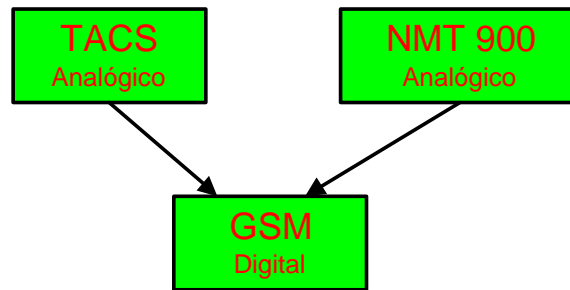


Figura 1.2: Evolução dos Sistemas Celulares na Europa

Nos Estados Unidos, o sistema analógico AMPS, implantado também nas Américas e Austrália, evoluiu para o *Narrowband AMPS* (NAMPS) e depois para os padrões digitais *Time Division Multiple Access* (TDMA) e *Code Division Multiple Access* (CDMA).

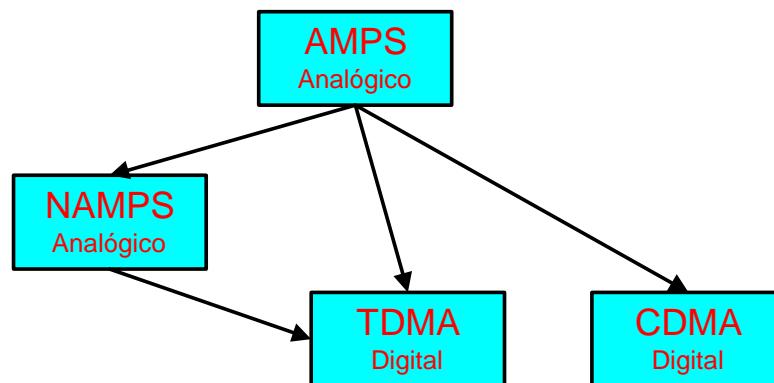


Figura 1.3: Evolução dos Sistemas Celulares nas Américas.

O Japão desenvolveu seu padrão analógico NTT 800 evoluindo depois para o padrão digital *Personal Digital Celular* (PDC).

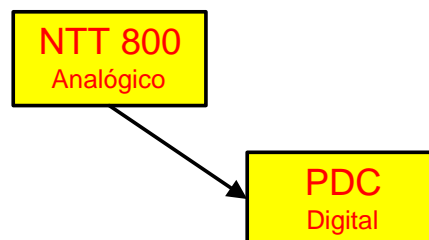


Figura 1.4: Evolução do Sistema Celular Japonês.

A expectativa tecnológica do mercado de serviços móvel celular é a supremacia do padrão CDMA sobre as outras soluções analógicas e digitais devido à utilização mais

eficiente do espectro, qualidade de transmissão e adaptabilidade aos diversos serviços existentes.

Mais a frente mostraremos a evolução dos sistemas 2,5G até o 4G atualmente já em implantação.

1.3 INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION - ITU

O *International Telecommunication Union* (ITU) foi fundado em 1932 vinculado às Nações Unidas (ONU) com os objetivos de harmonizar a utilização do espectro de rádio frequência e padronizar a oferta de serviços telefônicos no mundo. O ITU é coordenado por um Conselho Administrativo, apoiado por uma Secretaria Geral e subdividido em três Comitês:

- IFRB - International Frequency Registration Board
- CCIR - International Radio Consultative Committee
- CCITT - International Telegraph and Telephone Consultative Comitee

O ITU divide o mundo em três regiões para coordenação de suas atividades:

Região 1: Europa, Antiga URSS, Ásia Menor e África

Região 2: Américas e Hawai

Região 3: Oceania e Restante da Ásia

O novo organograma da ITU apresenta três entidades permanentes e uma que se reúne periodicamente (Conferência Plenipotenciária e Conselho). A secretária geral é o órgão administrativo da ITU e de sua representação oficial através do secretário geral. Entretanto, o órgão decisório máximo da ITU é a Conferência Plenipotenciária, com autoridade para revisar a convenção Internacional de Telecomunicações, em face a evolução tecnológica e criação de novos serviços.

Em função do progresso e dinamismo das telecomunicações, a partir de 1993 os comitês anteriores, com suas siglas muito conhecidas: CCITT e CCIR são agora UTI-T e UTI-R.

1. **UTI-T** = assuntos em telecomunicações (network)
2. **UTI-R** = assuntos em radio-comunicação
3. **UTI-D** = assuntos de desenvolvimento

Além do órgão máximo representado pela ITU, há órgãos regionais que procuram ordenar os assuntos de telecomunicações nas suas áreas de competências. Os principais são:

1. CEPT & ETSI

2. ANSI & FCC

3. ARIB

4. CITELE

- **CEPT** (Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications), congrega operadoras do continente Europeu
- **ETSI** (European Telecommunication Standard Institute), órgão que assume todas as discussões de caráter técnico e de desenvolvimento e administração das padronizações.

O ETSI produziu os padrões GSM e o DECT. Seus trabalhos tem repercussão em outras regiões e seus padrões são utilizados também em países não europeus.

- **ANSI** (American National Standards) entidade normalizadora dos EUA, equivalente a ABNT, edita normas oficiais.
- **FCC** (Federal Communication Commission), nos EUA, os assuntos de telecomunicações são coordenados pela FCC. As associações dos ramos industriais são mais ativas, destacam-se:
 - a) **TIA** (Telecommunication Industries Association)
 - b) **EIA** (Eletronics industries Association)

Essas duas associações desenvolveram os Interins Standards (IS) que regulam as interfaces do D-AMPS e do CDMA

- **ARIB** (Association of Radio Industries and Businesses), essa associação elaborou as especificações do celular japonês (PDH) e também do PHS.

O Japão utiliza o modelo norte-americano da TIA e EIA através da ARIB.

- **CITELE** (Conferência Interamericana de Telecomunicações), É uma entidade subordinada à Organização dos Estados Americanos (OEA) que se encarrega em discutir assuntos de telecomunicações. São objetivos da CITELE:
 - a) Transformar-se num órgão unificado na UTI;
 - b) Estabelecer padrões comum de rádio;

- c) Impulsionar a modernização e integração das infra-estruturas de telecomunicações nas Américas

1.4 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES – ANATEL

A Lei Geral das Telecomunicações Brasileiras aprovada em votação na Câmara dos Deputados em 18/06/97, no Senado Federal em 10/07/97 e sancionada no dia 16 de julho de 1997 pelo Presidente da República determina a criação da Agencia Nacional de Telecomunicações – ANATEL.

A ANATEL é então criada como autarquia especial, administrativamente independente, financeiramente autônoma e não se subordina hierarquicamente a nenhum órgão de governo. Nestes termos suas decisões só podem ser contestadas judicialmente. Assim, a Agência possui poderes de outorga, regulamentação e fiscalização. A autonomia financeira da agência é assegurada pelos recursos do Fundo de Fiscalização das Telecomunicações (FISTEL).

A ANATEL deve implementar a política nacional de telecomunicações; propor a instituição ou eliminação da prestação de modalidade de serviço no regime público; propor o Plano Geral de Outorgas; propor o plano geral de metas para universalização dos serviços de telecomunicações, administrar o espectro de radio-freqüências e o uso de órbitas; compor administrativamente conflitos de interesses entre prestadoras de serviços de telecomunicações; atuar na defesa e proteção dos direitos dos usuários; atuar no controle, prevenção e repressão das infrações de ordem econômica; estabelecer restrições, limites ou condições a grupos empresariais para obtenção e transferência de concessões, permissões e autorizações, de forma a garantir a competição e impedir a concentração econômica no mercado; estabelecer a estrutura tarifária de cada modalidade de serviço; dentre outras atribuições.

No Brasil a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) é o órgão regulador e fiscalizador de todos os sistemas de comunicação no Brasil. A ANATEL foi criada pela Lei Geral das Telecomunicações de julho de 1997.

Resumindo, as atribuições principais da ANATEL são:

- a) Propor políticas governamentais para o setor;**
- b) Atuar na regulamentação e fiscalização;**

- c) **Atuar como poder concedente;**
- d) **Fixar, acompanhar e controlar tarifas;**
- e) **Atuar na defesa e proteção dos direitos dos usuários;**
- f) **Administrar o espectro radioelétrico;**
- g) **Representar o Brasil em organismos internacionais**

1.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS SISTEMAS MÓVEIS E SEM FIO

A principal característica de um sistema celular é que o aparelho telefônico pode ser carregado e utilizado em qualquer lugar desde que se tenha acesso ao serviço. Isto faz com que os assinantes não estejam presos a uma determinada região e tenham acesso imediato ao serviço. Esta característica, que é uma das principais vantagens dos sistemas celulares pode também trazer alguns inconvenientes, como por exemplo, a perturbação causada por aparelhos celulares em determinados ambientes.

Uma das maiores vantagens dos sistemas celulares sobre os sistemas fixos é certamente a não necessidade de cabeamento. Para a instalação de um sistema de telefonia fixa, são necessários quilômetros e quilômetros de fios, postes, dutos subterrâneos, etc.

Naturalmente existem desvantagens em qualquer sistema. E os sistemas móveis não estão livres delas. As tecnologias utilizadas são muito complexas, principalmente em função das características do ambiente onde estes sistemas são utilizados. Os sistemas móveis trabalham com interfaces aéreas(rádio), estando, portanto, sujeitos a problemas como topologia do terreno, características das regiões onde os sistemas são instalados(área urbana, rural), condições do tempo, entre outros.

Além disso os sistemas móveis também são limitados em função dos espectros de frequência utilizados.

Vantagens

- Mobilidade dos usuários
- Acesso imediato aos serviços independente de
- Não há necessidade de cabeamento

Desvantagens

- Espectro de frequências limitado
- Problemas com segurança/privacidade
- Fontes de energia para os telefones móveis
- Qualidade do sinal

Por outro lado, os sistemas móveis são mais simples de instalar se comparados aos sistemas fixos e os custos de ampliação da rede são praticamente constantes, o que não acontece com os sistemas fixos, como pode ser observado na figura 1.8, que se refere a um estudo realizado sobre os custos de ampliação de uma rede telefônica. A figura 1.8 mostra que os custos de ampliação de uma rede telefônica fixa aumentam com a distância dos assinante em relação à central telefônica.

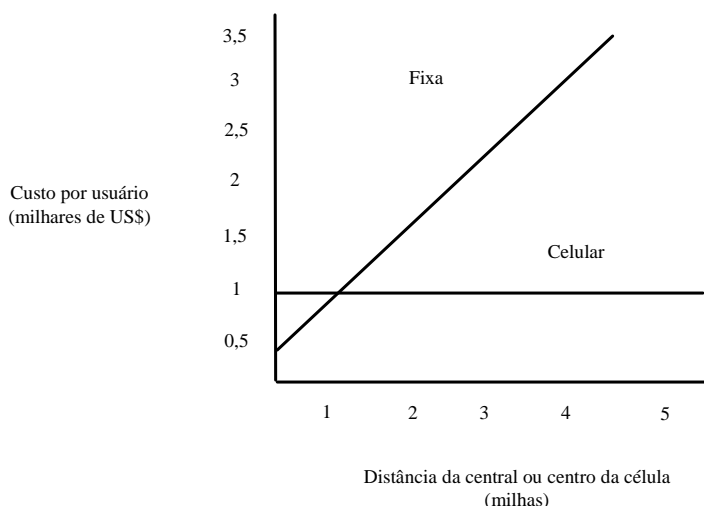


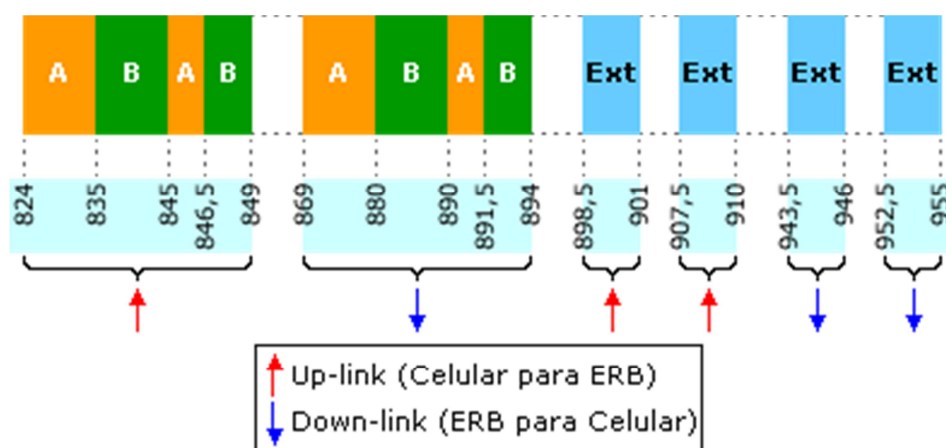
Fig.1.8 – Custos de ampliação de redes telefônicas fixa e móvel

1.6 BANDAS DE FREQUÊNCIAS PARA O CELULAR NO BRASIL

Estão disponíveis para o celular no Brasil (SMP) frequências nas bandas de:

- 850 MHz, antigas bandas A e B
- 900 MHz, bandas de extensão utilizadas pelo GSM
- 1700 e 1800 MHz, bandas D, E e subfaixas de extensão utilizadas pelo GSM
- 1900 e 2100 MHz destinadas na sua maior parte para sistemas 3G

Frequências em 850 MHz e 900 MHz



Frequências (MHz)	Transmissão da	
	Estação Móvel	ERB
Subfaixa A**	824-835 845-846,5	869-880 890-891,5
Subfaixa B**	835-845 846,5-849	880-890 891,5-894
Subfaixa D	910-912,5 1710-1725	955-957,5 1805-1820
Subfaixa E	912,5-915 1740-1755	957,5-960 1835-1850
<u>Subfaixas de Extensão</u>	898,5-901* 907,5-910* 1725-1740 1775-1785	943,5-946* 952,5-955* 1820-1835 1870-1880

* Não serão autorizadas para prestadoras do SMP operando nas Bandas D e E. Todas as operadoras de Banda D e E adquiriram também as faixas de frequências de 900 MHz alocadas para a sua Banda.

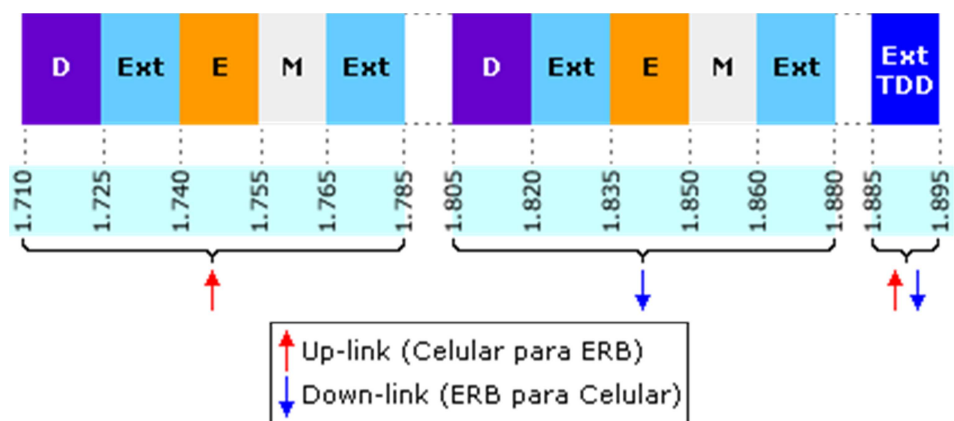
** Admite o emprego de sistemas analógicos (AMPS) nas Bandas A e B até 30/06/2008.

Desligamento do AMPS

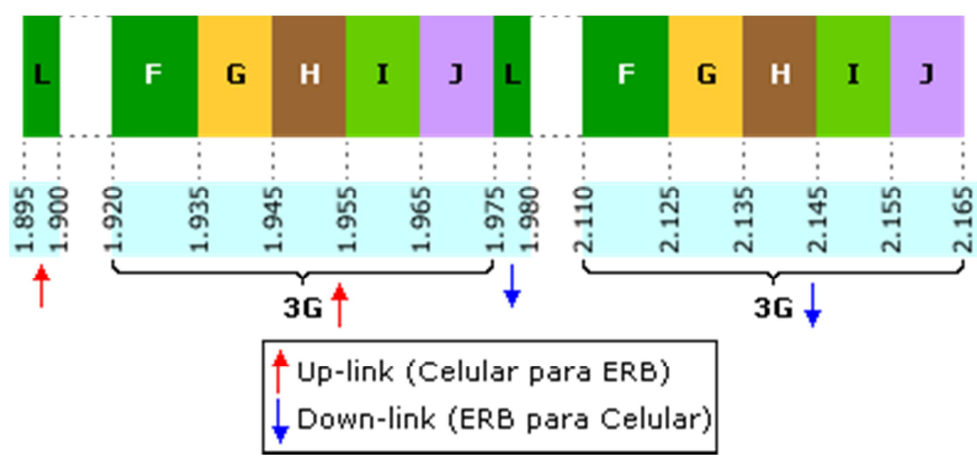
Foi publicado em 30/06/08, ato da Anatel prorrogando a operação da rede analógica até a finalização do processo de Consulta Pública nº 24, de 19 de junho de 2008, ou nova data que venha a ser estabelecida pela Anatel.

Esta consulta pública propõe adiamento de 12 meses no prazo para desligamento do AMPS utilizado em sistemas para o suporte a telefonia fixa em áreas remotas e de baixa densidade populacional, em modalidades conhecidas como Ruralcel e Ruralvan.

Frequências em 1700 e 1800 MHz



Frequências em 1900 e 2100 MHz



Novas Bandas do SMP

Res. 454 de 11/12/06 que revogou a Res. 376 02/09/04.

MHz	Transmissão da	
	Estação Móvel	ERB
F*	1920-1935	2.110-2.125
G*	1.935-1.945	2.125-2.135
H*	1.945-1.955	2.135-2.145
I*	1.955-1.965	2.145-2.155
J*	1.965-1.975	2.155-2.165

L	1.895-1.900	1.975-1.980
M	1.755-1.765	1.850-1.860
Subfaixa de Extensão	1.765-1.770 1.770-1.775	1.860-1.865 1.865-1.870
	1.885-1.890** 1.890-1.895**	

* Faixas reservadas para sistemas 3G

** Sistemas TDD (Time Division Duplex) que utilizam a mesma subfaixa de frequências para transmissão nas duas direções.

Limites de Banda por prestadora de SMP

O limite máximo total por prestadora de SMP em uma mesma área geográfica é de 50 MHz, passando a 80 MHz quando forem licitadas as subfaixas de 1.900 e 2.100 MHz (F, G, H, I e J) e a 85 MHz quando também for licitada a subfaixa de extensão para TDD.

Além do limite total devem ser respeitados também os seguintes limites por faixas de frequências.

Subfaixas de	Limite (MHz)
800 MHz	12,5 + 12,5
900 MHz	2,5 + 2,5
1.800 MHz	25 + 25
1.900 e 2.100 MHz	15 + 15
Extensão TDD de 1.900 MHz	5

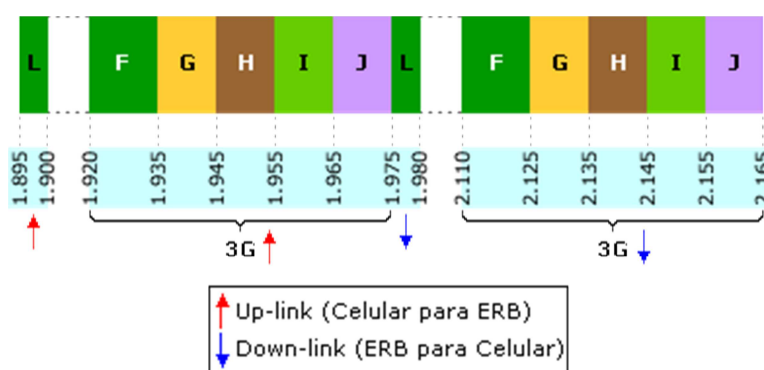
Para o 3G e 4G seguem as Bandas que estão em uso para terceira geração e as que serão licitadas para quarta geração.

3G : Frequências e Licitação

O padrão UMTS (WCDMA/HSDPA) é o padrão de 3G predominante no Brasil sendo adotado por todas as operadoras, inclusive a Vivo.

A Anatel realizou em 2007 uma licitação de frequências em 1900/2100 MHz para a implantação de redes 3G. As empresas que adquiriram estas frequências foram: Vivo, Tim, Claro, Oi, Brt e CTBC ([mais detalhes](#)). Algumas destas redes, como as da Tim e BrT, estão prontas para entrar em operação e aguardam a assinatura do termo de autorização da Anatel.

A Anatel alocou as frequências de 1900/2100 MHz para implantação da 3G no Brasil. Não existe, no entanto, impedimento para se utilizar outras faixas de frequências para 3G. Vivo, Telemig e Claro implantaram suas redes 3G em 850 MHz.



A tabela a seguir apresenta as subfaixas em 1.900 MHz e 2.100 MHz destinadas pela Anatel para a implantação de 3G ([mais detalhes](#)).

Subfaixa (MHz)	Largura de Banda (MHz)	Transmissão da	
		Estação Móvel	ERB
F	15+15	1920-1935	2.110-2.125
G	10+10	1.935-1.945	2.125-2.135
H	10+10	1.945-1.955	2.135-2.145
I	10+10	1.955-1.965	2.145-2.155
J	10=10	1.965-1.975	2.155-2.165
Subfaixa de Extensão	5	1.885-1.890*	
	5	1.890-1.895*	

* Sistemas TDD (Time Division Duplex) que utilizam a mesma subfaixa de frequências para transmissão nas duas direções.

As faixas F, G, I e J foram objeto da primeira licitação de 3G promovida pela Anatel em 2007.

A faixa H foi reservada pela Anatel para a entrada de novas operadoras ou de empresas menores. Uma outra possibilidade é ela ser adquirida no futuro por empresas que adquirirem as faixas G ou I.

Operadoras e frequências de 1900/2100 MHz (3G)

	Área SMC	F	G	H	I	J
1	SP 11	Tim	Claro	Nextel	Oi	Vivo
2	SP Interior Franca (1)	Claro	Tim CTBC	Nextel	Oi Tim	Vivo
3	RJ/ES	Oi	Tim	Nextel	Claro	Vivo
4	MG Uberaba (2)	Claro	Tim CTBC	Nextel CTBC*	Oi	Vivo
5	PR/SC Londrina (3)	BrT	Claro	Nextel	Tim	Vivo
6	Rio G. do Sul Pelotas (4)	BrT	Claro	Nextel	Tim	Vivo
7	C. Oeste (5)	Brt Claro	Claro Tim	Nextel	Tim CTBC	Vivo
8	Norte	Tim	Claro	Nextel	Oi	Vivo
9	BA/SE	Oi	Tim	Nextel	Claro	Vivo
10	Nordeste	Claro	Tim	Nextel	Oi	Vivo

Utilização das Bandas A e B (850 MHz) para 3G

As operadoras de celular que possuem frequências nas faixa de 800 MHz (Bandas A e B) podem utilizar estas frequências para implantar sistemas 3G no padrão UMTS (WCDMA/HSDPA). Esta faixa está sendo utilizada por operadoras nos Estados Unidos como a Cingular para implantar sua rede WCDMA/HSDPA.

Claro e Tim tem sobra de espectro em 850 MHz pois seus clientes migraram para o GSM e estão utilizando as bandas de extensão em 900 e 1800 MHz (mais detalhes). A Claro, em particular, poderia implantar sua rede 3G (WCDMA/HSDPA) em São Paulo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, no Nordeste e no Centro-Oeste, sem precisar adquirir novas frequências da Anatel.

Operadoras nas Bandas A e B (850 MHz) no Brasil.

Área SMC	Banda A	Banda B
1 e 2 (São Paulo)	Vivo	Claro
3 (RJ, ES)	Vivo	Claro
4 (MG)	Telemig	TIM
5 (PR, SC)	TIM	Vivo
6 (Rio G Sul)	Vivo	Claro
7 (C. Oeste)		
8 (Amazônia)	Claro	Vivo
9 (BA, SE)	Vivo	TIM
10 (Nordeste)	TIM	Claro

4 G : Frequências e Licitação – (fonte: www.teleco.com.br)

O padrão LTE é o padrão de 4G predominante no Brasil sendo adotado por todas as operadoras. A Anatel realizou em 2012 uma licitação de frequências em 2500 MHz para a implantação de redes 4G. As empresas que adquiriram estas frequências foram: Vivo, Tim, Claro, Oi, Sky e Sunrise.

Frequências de 700 MHz no Brasil

A melhor faixa de frequência para a implantação de 4G é a de 700 MHz, liberada com o fim da transição da TV Aberta analógica para a digital. No Brasil isto deve ocorrer em 2016.

O Minicom publicou a portaria 14 de 6/02/2013 que estabelece diretrizes para a aceleração do processo de transição da TV analógica para a aberta no Brasil e determina que a Anatel

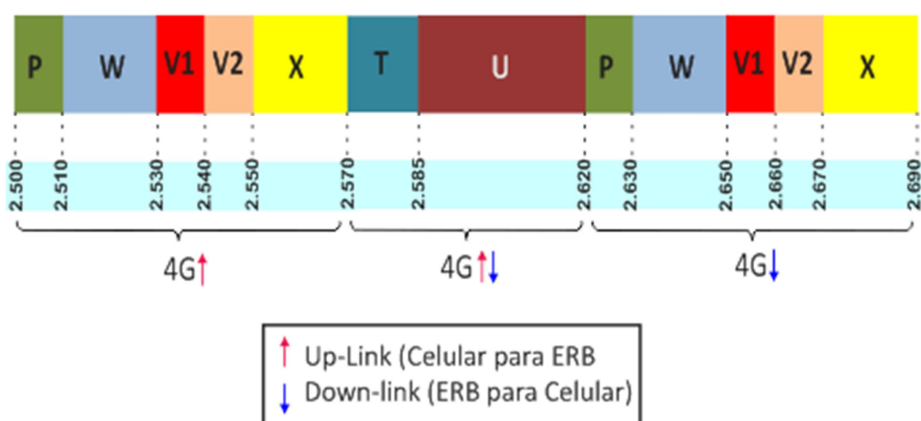
inicie os estudos para disponibilizar a faixa de 698 MHz a 806 MHz para 4G. ([mais detalhes](#))

A Anatel divulgou no dia 21/02/2013 um [regulamento](#) sobre nova destinação da faixa de 700 MHz, onde ela recomenda a adoção do plano de banda da APT que permite uso de 90 MHz (45 + 45 MHz) de espectro. ([mais detalhes](#))

Os próximos passos da Anatel será a elaboração do edital de licitação que deverá passar por consulta pública após o publicação no D.O.U.

Frequências de 2,5 GHz no Brasil

Enquanto se espera pela liberação da faixa de 700 MHz, no Brasil, a Anatel destinou para o 4G . ([Res. 544 de 11/08/2010](#)) a faixa de frequências de 2.500 MHz a 2.690 MHz anteriormente destinada ao MMDS.



As faixas de frequências entre 2.500-2.570 MHz e 2.620-2.690 MHz (P, W, V e X) foram destinadas para operação FDD (canais separados para transmissão e recepção que está entre 2.570 e 2.620 MHz. Já as subfaixas T e U para operação TDD (transmissão e recepção no mesmo canal).

Subfaixa (MHz)	Largura de Banda (MHz)	Transmissão da		Operadora
		Estação Móvel	ERB	
P	10+10	2.500-2.510	2.620-2.630	Claro (11 lotes); TIM (6 lotes); Oi (11 lotes)
W	20+20	2.510-2.530	2.630-2.650	Claro

V1	10+10	2.530-2.540	2.650-2.660	TIM
V2	10+10	2.540-2.550	2.660-2.670	Oi
X	20+20	2.550-2.570	2.670-2.690	Vivo
T	15	2.570-2.585*		-
U	35	2.585-2.620*		Sky e Sunrise (12 lotes cada)

* Sistemas TDD (Time Division Duplex) que utilizam a mesma subfaixa de frequências para transmissão nas duas direções.

- O regulamento do edital de licitação destas faixas estabeleceu um valor máximo de espectro que uma operadora poderia possuir em uma região geográfica (Cap): 60 MHz (2.500-2.570 MHz e 2.620-2.690 MHz) ou 50 Mhz (2.570 e 2.620 MHz).
- As operadoras de MMDS possuem parte deste espectro. Entre elas está a Telefônica, que adquiriu as operações da Abril e a Sky que em 2011 passou a oferecer LTE (TDD) em Brasília.

1.7 EVOLUÇÃO DO MERCADO - *(fonte: www.teleco.com.br)*

Estatísticas de Celulares no Brasil

TOTAL DE CELULARES JUN/14: 275,7 MILHÕES

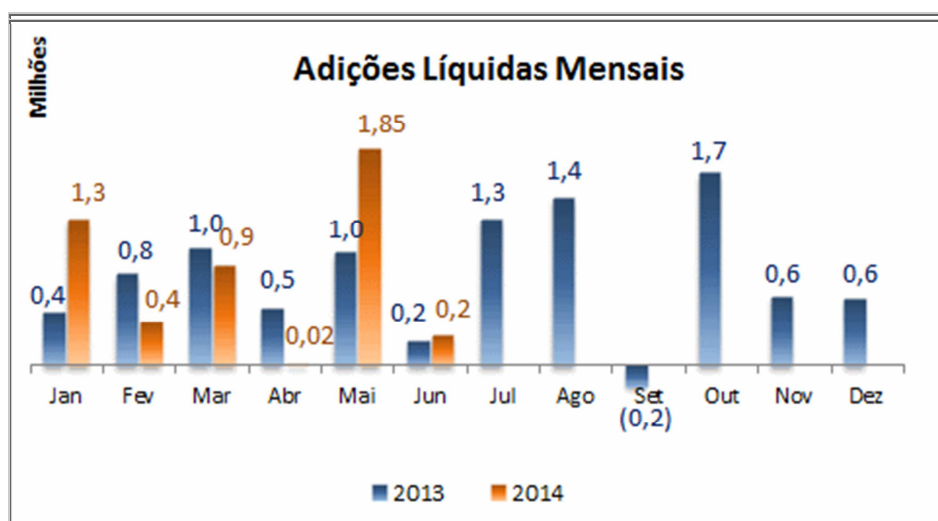
275,7 milhões de celulares em Jun/14

Dados da Anatel indicam que o Brasil terminou Jun/14 com 275,7 milhões de celulares e 136,06 cel/100 hab.

O mês de Jun/14 apresentou adições líquidas de 255 mil celulares.

O pré-pago apresentou adições líquidas negativas de (334 mil) e o pós-pago de +589 mil.

A participação do pré-pago caiu para 76,99%.



Celulares em Jun/14

	Jun/13	Dez/13	Abr/14	Mai/14	Jun/14
Celulares	265.741.217	271.099.799	273.598.967	275.451.832	275.706.913
Pré-pago	79,43%	78,05%	77,35%	77,18%	76,99%
Densidade*	132,28	134,36	135,21	136,03	136,06
Crescimento Mês	215.322 0,1%	580.924 0,2%	15.491 0,0%	1.852.865 0,7%	255.081 0,1%
Crescimento Ano	3.933.314 1,5%	9.291.896 3,5%	2.499.168 0,9%	4.352.033 1,6%	4.607.114 1,7%
Crescimento em 1 ano	9.610.150 3,8%	9.291.896 3,5%	9.047.364 3,4%	9.925.937 3,7%	9.965.696 3,8%

Nota: celulares ativos na operadora. Densidade calculada com a projeção de população do IBGE (Rev. 2013) para o mês respectivo.

Celulares por Tecnologia

Tecnologia	Dezembro 2013	Junho de 2014			
		Nº Celulares		Cresc. mês	Cresc. ano
GSM*	159.674.015	138.104.023	50,09%	(3,3%)	(13,5%)
3G (WCDMA)*	94.763.509	118.474.236	42,97%	3,9%	25,0%
LTE	1.309.771	3.270.375	1,19%	15,6%	149,7%
CDMA*	21.637	14.594	0,01%	(9,7%)	(32,6%)
Total Terminais de Dados	15.330.867	15.843.685	5,75%	0,2%	3,3%
- Term. Dados Banda larga	7.034.289	6.742.772	3,30%	(0,1%)	(4,1%)
- Term. Dados M2M	8.296.578	9.100.913	2,45%	1,1%	9,7%
Total	271.099.799	275.706.913	100,0%	0,1%	(26,3%)

* Somente acessos via aparelhos

Fonte: Anatel

A participação do GSM no total de acessos atingiu o pico de 90,16% em Nov/09 e depois começou a cair. A queda na participação ocorre por que a quantidade de celulares GSM está crescendo menos que a do WCDMA. O WCDMA superou o CDMA em Fev/10.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS E CONCEITOS BÁSICOS

2.1 SISTEMA DE COMUNICAÇÃO MÓVEL

O primeiros sistemas de comunicação por rádio móvel possuíam uma única estação base, com a antena em região elevada da cidade e alta potência de transmissão, cobrindo uma grande área contendo todo o espectro de frequências. Como a comunicação era restrita à área coberta por uma única antena, o tráfego oferecido era limitado ao espectro de frequências disponível, ou seja, ao número de canais disponíveis. Os sistemas deveriam estar geograficamente separados para evitar a interferência co-canal, mas isto gerava descontinuidade das chamadas em andamento sempre que o usuário necessitava de percorrer duas áreas de serviço distintas operando sua Estação Móvel (EM).

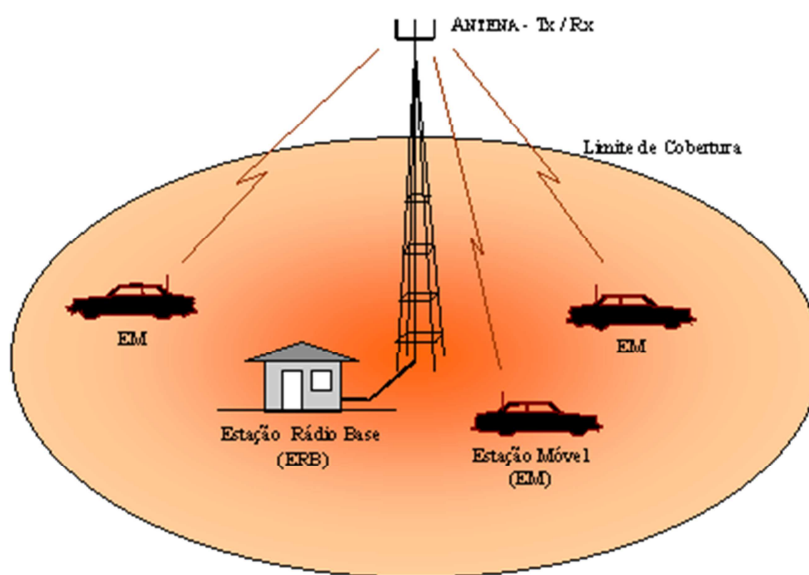


Figura 2.1: Sistema de rádio móvel convencional.

Um sistema de comunicação móvel celular utiliza o reuso de um mesmo conjunto de canais para conseguir atender ao tráfego pelo uso de um grande número de Estações Rádio Base (ERB). Chama-se *célula* a região iluminada por uma ERB e atendida por um grupo de

canais e *área celular* como aquela coberta pela potência mínima para comunicação adequada

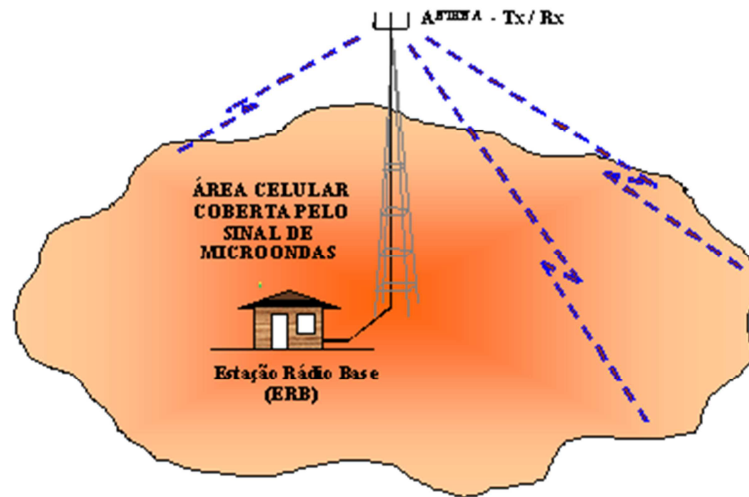


Figura 2.2: Conceito de célula.

O reuso de frequência é feito dividindo-se todo o espectro disponível em grupos de frequências. Estes grupos são utilizados em células separadas entre si o suficiente para não haver interferência. As células que contêm o mesmo grupo de canais são denominadas co-células ou células co-canais.

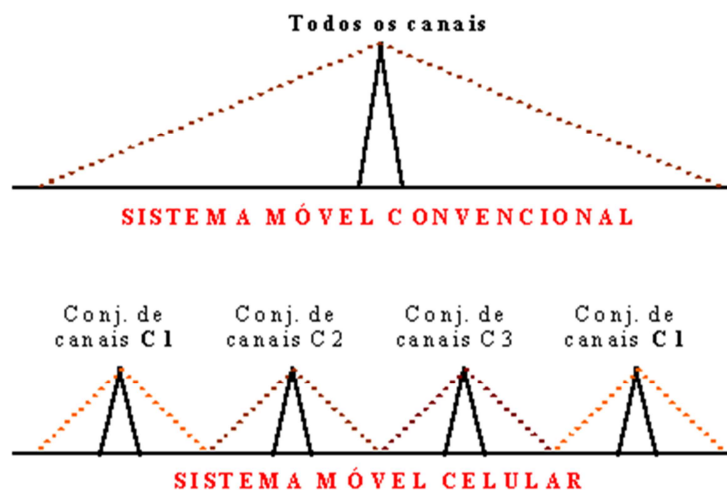


Figura 2.3: Conceito de reuso.

Define-se *padrão de reuso* como o número de células adjacentes que reagrupam todo o espectro original, ou seja, o número de grupos de frequência. Quanto menor o padrão de

reuso, maior o número de canais por grupo, portanto mais canais por célula e maior a quantidade de tráfego oferecido por cada célula.

Para que haja a reutilização de uma frequência em outra área é necessário garantir que o sinal transmitido por uma ERB não interfira na área celular coberta por outra. Para isto a área de serviço é dividida em *Clusters* contendo todo espectro disponível.

O sistema celular permite cobrir toda a área utilizando transmissores de baixa potência e permitindo a continuidade das chamadas em curso através da técnica de *Handoff*. O maior número de canais na mesma área oferece alta eficiência de tráfego com baixa Probabilidade de Bloqueio (P_B). Pode-se fazer uso da hierarquia celular com células de diferentes tamanhos atendendo o tráfego flutuante ao longo do dia.

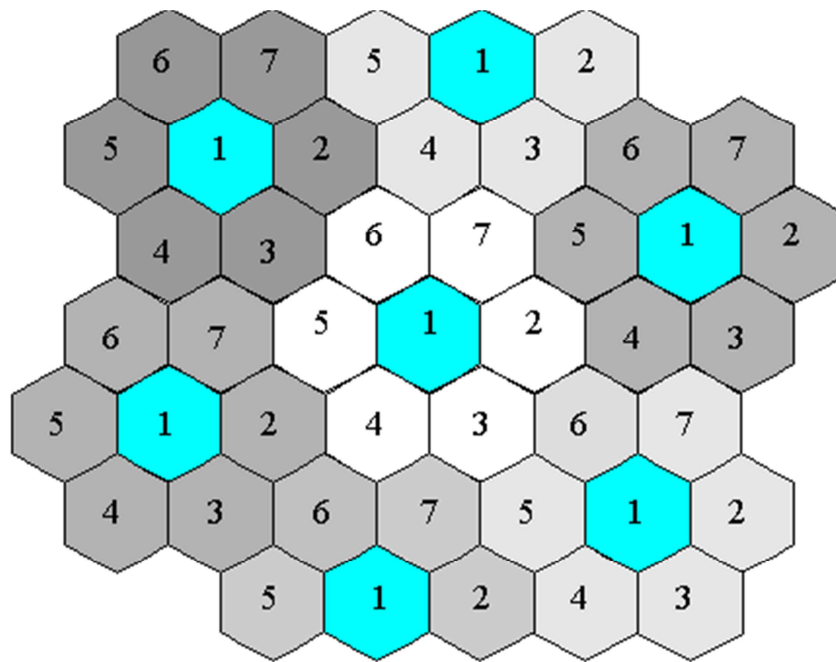


Figura 2.4: Conjunto de *Clusters*.

O padrão hexagonal é escolhido para a representação das células, mas sabemos que devido as condições de relevo do ambiente de propagação temos áreas celulares disformes, inclusive tendo seus contornos se sobrepondo como mostra a **Fig. 2.5**. A primeira vista isto pode parecer um inconveniente ao sistema. Na verdade estamos diante de uma grande "oportunidade de negócio".

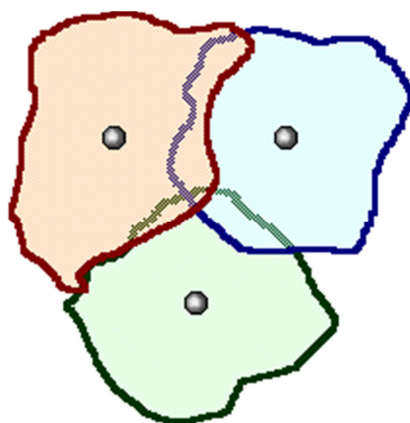


Figura 2.5: Sobreposição Celular.

Verifica-se nestas áreas de sobreposição uma maior oferta de tráfego, onde a EM pode ter comunicação adequada com mais de uma ERB. Técnicas de encaminhamento alternativo de tráfego fazem uso destas imperfeições, muitas das vezes até provocadas, para aumento do tráfego oferecido em regiões críticas. A setorização celular pode ser utilizada para projetar a morfologia da célula. Assim, além das células omnidirecionais, onde um mesmo grupo de frequências é irradiado uniformemente em toda a região em torno da antena, também podemos ter células setorizadas onde o grupo de frequências é subdividido em novos subgrupos através de antenas diretivas espaçadas de 120° ou 60° .

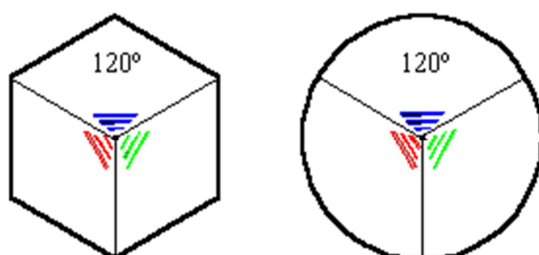


Figura 2.6: Setorização Celular.

2.2 ARQUITETURA DO SISTEMA

Um sistema celular é composto basicamente de Centrais de Comutação e Controle (CCC), Estações Rádio Base (ERB), Controladoras de Estações Rádio Base (CERB), Estações Móveis (EM) e Unidades Repetidoras (UR). A escolha da tecnologia adequada

depende diretamente do serviço a ser oferecido. Do ponto de vista da operadora, a alternativa deve oferecer facilidade de planejamento, administração e gerenciamento da rede em contraste com os custos.

As soluções diferem na topologia básica, na frequência de rádio, na modulação, no protocolo de comunicação, no padrão tecnológico, na disponibilidade para o comércio em massa, nos recursos de software, na área de serviço e na técnica de acesso ao meio, ou seja, na forma pela qual os usuários repartem o espectro de frequências. Mostramos na **Fig. 2.7** algumas arquiteturas básicas de soluções propostas.

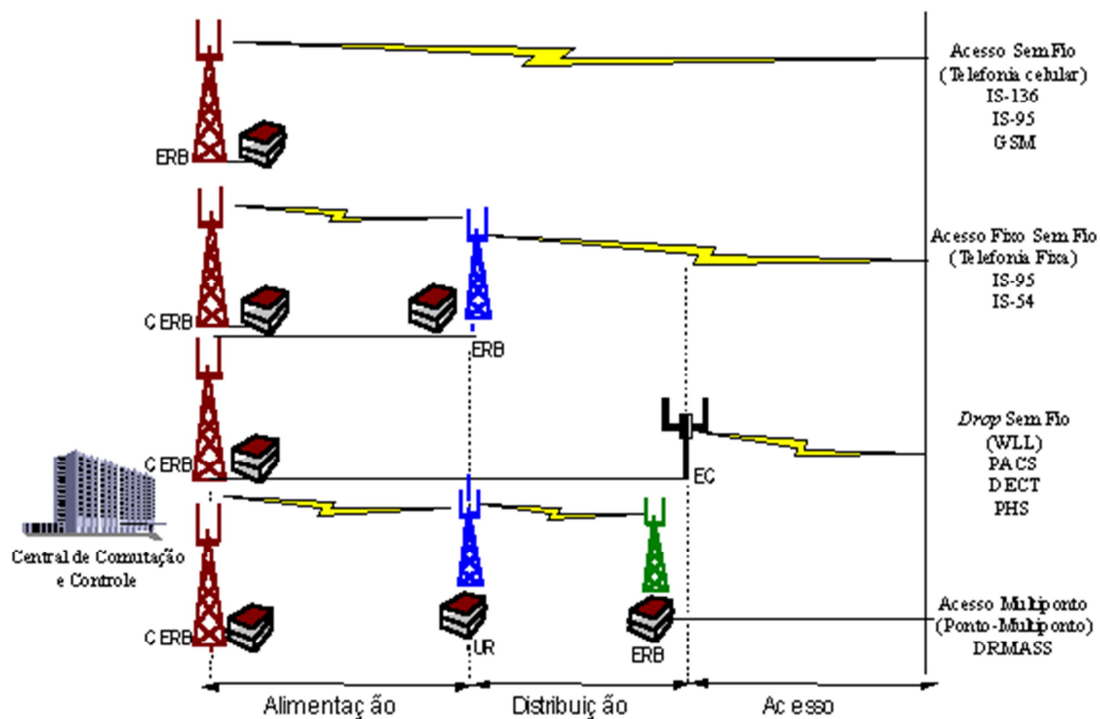


Figura 2.7: Arquiteturas de Sistemas Celulares.

O Sistema de Telefonia Celular é o mais popular dos sistemas de comunicação existentes. Este sistema resume-se à CCCs, ERBs e EMs como mostra a **Fig. 2.8**. Os conceitos de *handoff*, que permite a continuidade da chamada em andamento quando se atravessa a fronteira entre células, e de *roaming*, que permite o acesso ao sistema em outra área de serviço que não àquela em que o assinante mantém seu registro, garantem a mobilidade no sistema. A maioria dos sistemas já citados podem prover este serviço, geralmente nas faixas em torno de 400, 800, 1800 e 1900 MHz.

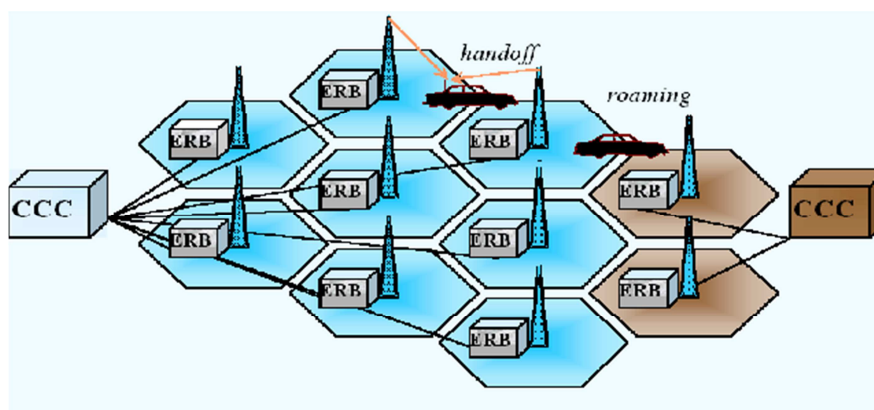


Figura 2.8: Sistema Móvel Celular.

As aplicações de Telefonia Fixa (por acesso fixo sem fio) são muito utilizadas no meio rural ou para cobrir uma grande área (raio de 40 km) de baixa densidade de tráfego. Apesar de utilizar as mesmas soluções analógicas (AMPS, TACS, NMT) e digitais (GSM, PDC, IS-95, IS-136) do serviço móvel celular, as funções específicas para prover de mobilidade, como *handoff* e *roaming*, podem não ser utilizadas. Os transmissores trabalham em alta potência nas faixas em torno de 400, 800, 900, 1000, 1800 e 1900 MHz.

Os sistemas *Wireless Local Loop* (WLL) foram projetados para prover mobilidade *não veicular* e interconexão entre áreas residenciais, escritórios e de acesso público. A tecnologia foi desenvolvida apenas para acesso local via rádio mas ainda são compatíveis com a infra-estrutura da rede pública. Estes serviços podem oferecer transmissão de voz e dados, incluindo interconexão à Rede Digital de Serviços Integrados (RDSI) com ótimo grau de serviço. Os sistemas CT 2, PACS, PHS e DECT são utilizados para estas aplicações fixas ou de mobilidade restrita, tais como PABX sem fio. Os sistemas WLL operam em baixa potência em faixas de frequência específicas para seu uso, cobrindo pequenas áreas de serviço. Conseguem atender a uma alta densidade de tráfego em pouco tempo, por isto, este tem sido o sistema preferido pelas operadoras que querem abocanhar mercados de uma só vez.

Os sistemas de rádio acesso ponto-multiponto, com o uso do FDMA ou do TDMA, tem sido utilizados para prover comunicação a assinantes em áreas de baixa densidade, remotas e/ou rurais. A técnica de acesso mais utilizada é o TDMA nas faixas de 1.4, 2.3 e 23 GHz. A ERB comunica-se com o assinante via cabo o que torna o sistema pouco flexível.

Todos estes sistemas ainda podem estar em arquiteturas centralizada ou descentralizada de acordo com as condições de contorno do projeto. Como uma CCC é capaz de controlar diversas áreas de serviço, podemos ter a arquitetura centralizada do sistema como mostra a **Fig. 2.9**. Para áreas com alta densidade de tráfego ou grande número de ERBs, devido às limitações da CCC, podemos fazer uso da arquitetura descentralizada onde várias CCCs fazem a comutação e o controle de ERBs na mesma área de serviço como na **Fig. 2.10**.

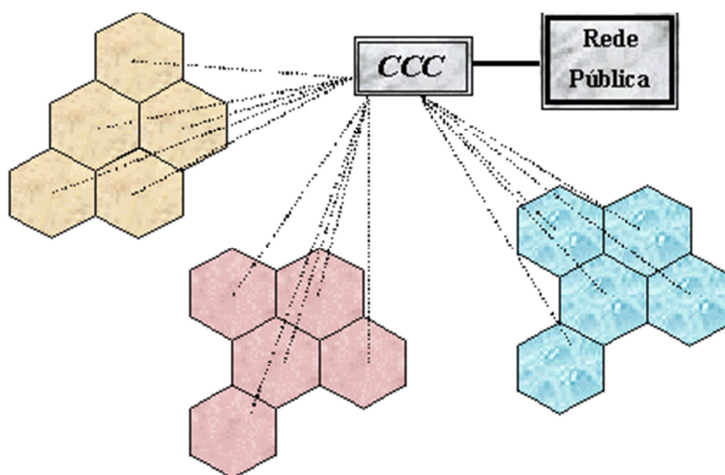


Figura 2.9: Arquitetura centralizada

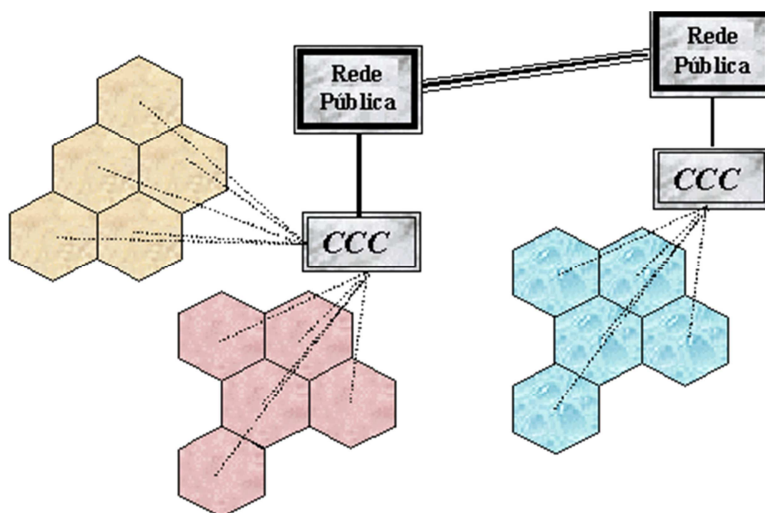


Figura 2.10: Arquitetura descentralizada

2.3 COMPONENTES DO SISTEMA CELULAR

2.3.1 - Estação Móvel (EM)

A Estação Móvel é o terminal móvel do usuário composto por monofone, teclado, unidade de controle, bateria, unidade de rádio e antena. Sua função principal é fazer a interface eletromecânica entre o usuário e o sistema. Estes equipamentos podem ser classificados como portátil, veicular ou transportável, dependendo de suas dimensões e capacidade de potência e carga (bateria).



Figura.2.11 – Unidade Móvel

Algumas características e funções variam dependendo do modelo oferecido pelos diversos fabricantes existentes.

As funções básicas são comuns a todos aparelhos:

- Realizar a interface entre o usuário e o sistema.
- Realizar a varredura dos canais de controle, escolhendo o melhor sinal para sintonia.
- 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 realização de chamadas.

Alguns exemplos de mensagens de controle trocadas entre móvel e base são:

- pedido do móvel para acessar um canal e efetuar uma chamada;
- registro do móvel na área de serviço atual (outra CCC);
- mensagem de alocação de canal para o móvel, oriunda da estação base;
- mensagem de handoff oriunda da estação base, para que o móvel sintonize outro canal.

Ressalta-se nesse ponto que o que está sendo chamado de “canal” constitui-se na dupla link direto e reverso.

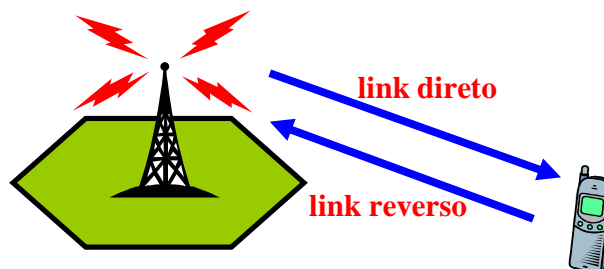


Figura 2.12 - Comunicação entre terminal móvel e base

Um fator importante com relação às unidades móveis é que estas devem seguir um determinado padrão para que haja uma independência e compatibilidade entre os equipamentos de diferentes fabricantes.

Toda Estação móvel é composta por três partes principais:

- Bloco de Lógico;
- Bloco de RF (Rádio);
- Bloco de Interação com o usuário (Handset).

O Bloco Lógico é composto pelos microprocessadores e memórias, que executam as seguintes funções:

- Sinalizar controle para Estação Rádio Base;
- Controlar os Blocos de RF e Handset.

O Bloco RF é utilizado para comunicação com a Estação Base. Dividi-se em:

- Circuito Transmissor (Tx);
- Circuito Receptor (Rx);
- Circuito Seletor de Canais.

2.3.2 - Estação Radio Base (ERB)

A Estação Rádio Base é a repetidora da informação de voz e dados de controle em meio eletromagnético. Na verdade ela é responsável em fazer a interface entre uma única CCC e diversas Estações Móveis. Cada ERB pode suportar até 154 canais de voz dependendo do fabricante, do sistema e de sua aplicação.

Cada ERB é composta de um sistema de rádio contendo receptores (Rx), transmissores (Tx), combinadores, divisores, filtros, antenas, um sistema de processamento

e controle contendo o processador de controle, multiplexadores (MUX), cabos coaxiais, painel de controle e da interface com a CCC por um MUX a 2Mbps ou taxa maior.

A ERB é responsável por monitorar o sinal recebido de uma EM comunicando à CCC qualquer alteração indesejável em relação a potência ou a interferência no sinal recebido. Outras funções de sinalização também são agregadas à ERB, como o controle de potência das EM, e outros comandos recebidos da CCC.

A ERB desempenha diversas funções. São elas:

- 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.

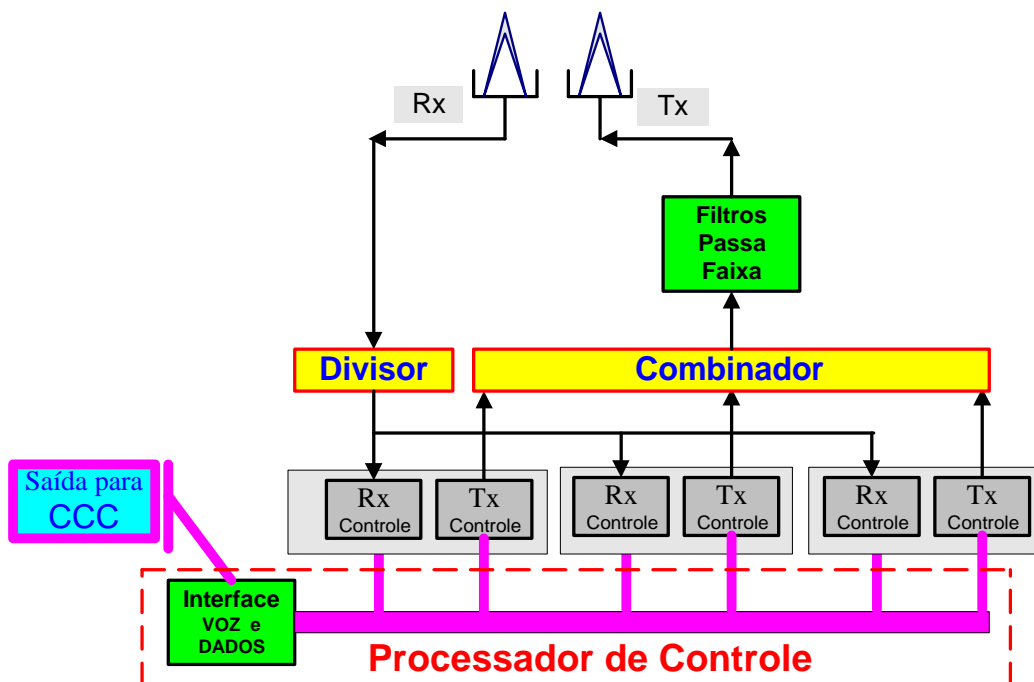


Figura 2.13: Estação Rádio Base

A Estação Rádio Base está basicamente dividida em quatro partes. São elas:

- Sistema de Controle de Potência;
- Circuitos de sinalização e alarme;
- Circuitos de Rádio Frequência (RF);

- Torre e antenas.

2.3.3 – Central de Comutação e Controle (CCC).

A Central de Comutação e Controle faz a interface entre o Sistema Móvel e Rede Pública. Sua estrutura é parecida com a das centrais telefônicas de comutação automática (CPAs). Alguns fabricantes adaptaram suas CPAs ao sistema móvel sendo que em alguns casos apenas modificações a nível de software foram consideradas. Pelas características de modularidade, as CCCs podem ser expandidas gradualmente até atingir sua capacidade máxima de gerência de tráfego ou ERBs.

Dado que existem vários padrões, arquiteturas, serviços e sistemas, padronizou-se o protocolo de comunicação *S-41* para interligar CCCs de fabricantes diferentes. Mas pode-se caracterizar as CCCs pelos equipamentos de entrada e saída de dados, interface de áudio e dados para a ERB (I/F), terminais de operação e manutenção, memória de configuração, troncos, matriz de comutação e controlador.

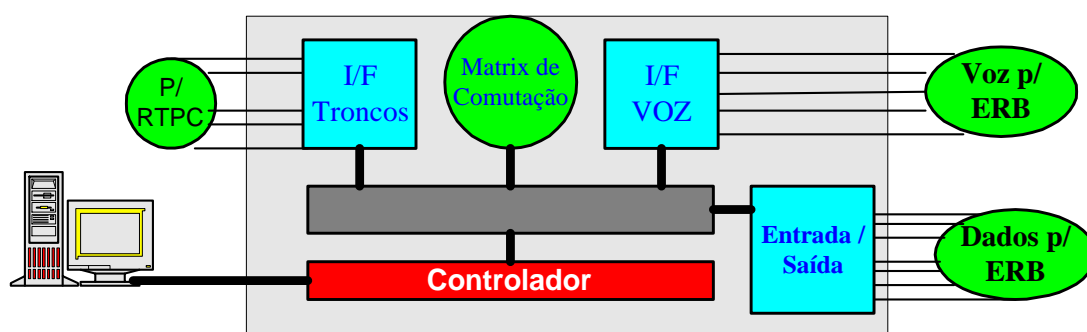


Figura 2.14: Central de Comutação e Controle (CCC)

O Controlador é composto do *Home Location Register* (HLR), que é o registro de endereços e identifica cada móvel pertencente a esta área de localização; do *Visit Location Register* (VLR) que é o registro de endereços de visitantes e identifica as EMs visitantes de outra área de localização ou área de serviço; do *Base Station Controller* (BSC) que controla cada ERB vinculada a esta CCC; e da *Mobile Switch Center* (MSC) que controla as comutações entre os troncos da Rede Telefônica Pública Comutada e os canais das ERBs vinculadas a esta CCC.

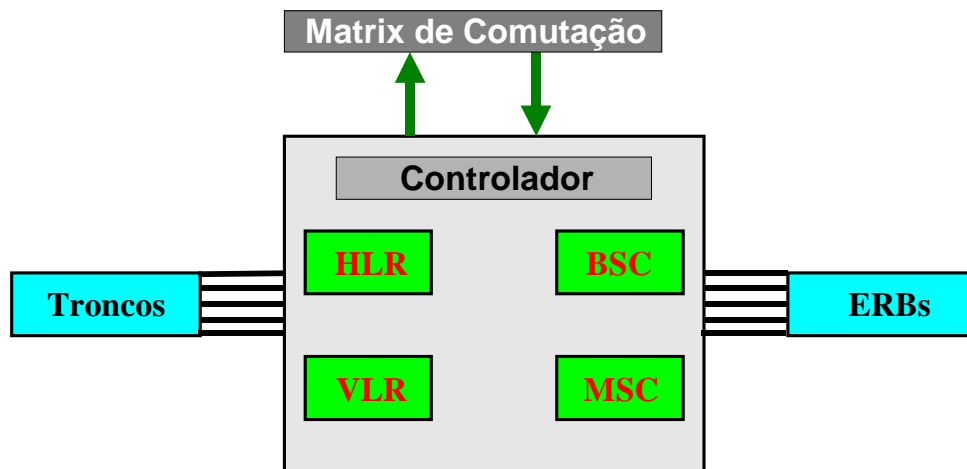


Figura 2.15: Controlador da CCC.

A Central de Controle e Comutação é o cérebro do sistema de comunicação móvel celular. A unidade de controle (Controlador) de uma CCC pode ser entendida como computador que controla funções específicas de uma sistema de comunicação móvel celular, tal como alocação de frequência, controle do nível de potência das EMs, procedimento de *handoff*, controle de tráfego, rastreamento, procedimentos de registro de EMs locais, localização e tarifação do sistema. Portanto, a capacidade de processamento da unidade de controle nas CCCs deve ser maior que a de sistemas de telefonia fixa.

A unidade de comutação é similar ao das centrais telefônicas fixas, mas seu processamento é diferente. Na comutação telefônica fixa, a duração da chamada não é fator relevante ao sistema, enquanto que em um sistema de comunicação móvel celular essa duração é função do gerenciamento dos canais e do número de *handoffs* processados.

Resumindo, a 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 o "Link" entre a rede telefônica e o sistema móvel celular;
- Comunicar-se com outros padrões de 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 sistemas;
- Administrar o sistema.

2.3.4 - Controladora de Estações Rádio Base (CERB)

As Controladoras de Estações Rádio Base fazem apenas a interface entre um conjunto de ERBs e uma CCC em alguns sistemas. Na verdade as CERBs tomam algumas funções tanto da CCC como das ERBs, o que descarrega o processamento centralizado nas CCCs. Algumas destas funções são a avaliação do nível de potência do sinal, o controle da relação sinal/ruído nos canais, a monitoria da Taxa de Erro de Bit (*BER*) dos canais, etc.

2.3.5 - Estação Celular (EC)

A Estação Celular resume algumas funções da ERB e trabalha como repetidora de informação de voz e de dados entre ERBs e o assinante e é basicamente composta por um bando de bateria, ou grupo gerador, e o Controlador de Unidade de Assinante (SUC). Cada EC tem como função a recepção, o tratamento da informação e sua transmissão para o usuário (EM). Assim, a UR interpreta a sinalização proveniente da ERB e executa ações locais ou às retransmite ao usuário.

2.3.6 - Unidade Repetidora (UR)

A UR trabalha apenas como repetidora dos canais do sistema, ou seja, apenas retransmite informações entre duas ERBs, entre CERB e ERBs ou entre a CCC e ERBs. Não há processamento local, apenas há recepção, filtragem e retransmissão do sinal em potências e relação sinal/ruído adequadas.

2.4 PADRÃO DE REUSO

A idéia básica do conceito de celular é o reuso de frequência, em que o mesmo subconjunto de canais pode ser reutilizado em diferentes áreas geográficas suficientemente distantes umas das outras, de forma que a *interferência co-canal* (canais de mesmo número) esteja dentro de limites toleráveis. O conjunto de todos os canais disponíveis no sistema é alocado a um grupo de células, que constitui o *cluster*

Para efeito de planejamento, as células assumem o formato hexagonal, sendo o hexágono a figura geométrica regular ladrilhável que mais se aproxima de um círculo.

2.4.1 Cluster e Co-células

Um *cluster* é um conjunto de células no qual são distribuídos todos os grupos de canais disponíveis, mantendo-se um padrão geométrico para que se respeite uma distância mínima de reuso (D) entre os canais.

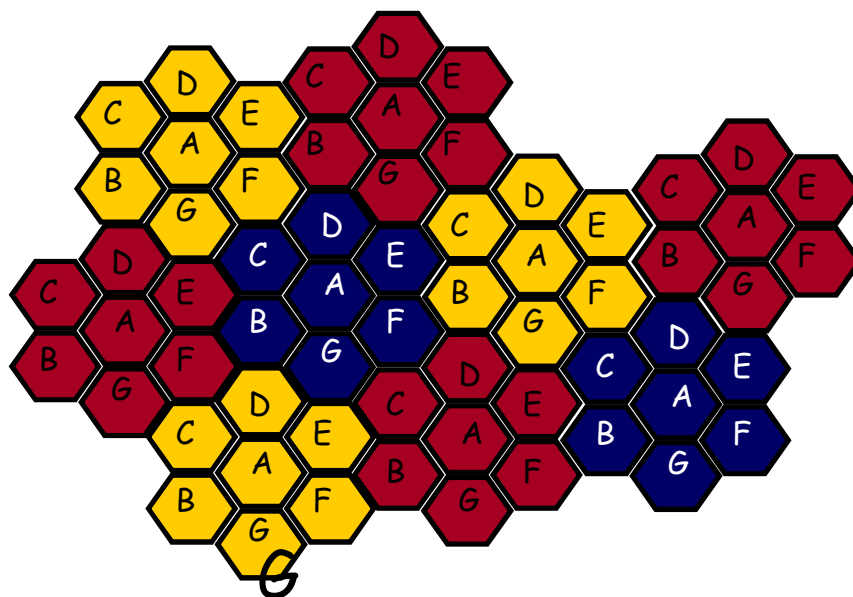


Fig.2.16: Cluster e co-células

Co-células são células que utilizam o mesmo grupo de canais.

2.4.2- Interferência

Em um sistema de comunicação via rádio, a interferência é um dos fatores mais críticos, definindo na maioria das vezes a capacidade do sistema.

Em um sistema celular existem basicamente dois tipos de interferência:

- **Interferência co-canal**: como os sistemas celulares utilizam os mesmos canais em localidades diferentes, existe a possibilidade de um canal interferir no outro. Portanto a distância entre células que utilizam os mesmos canais deve ser suficiente para que a atenuação sofrida por estes canais evite a interferência mútua.

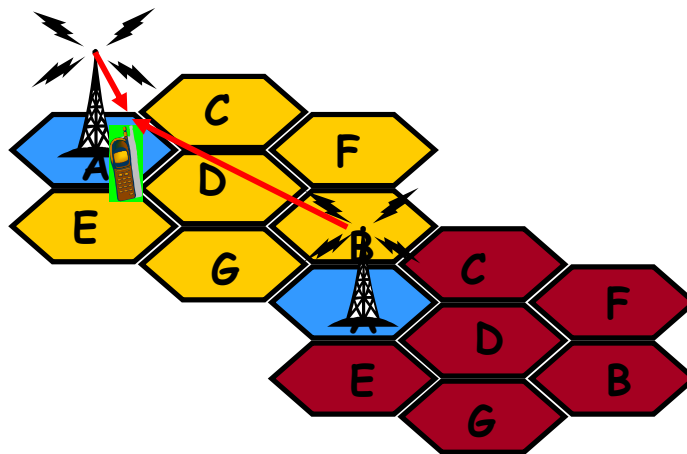


Fig.2.17 – Interferência co-canal

- **Interferência por canal adjacente**: na prática a região de cobertura de uma célula não é perfeitamente definida. Sendo assim, células vizinhas podem ter suas áreas de cobertura sobrepostas. Devido a imperfeições dos filtros receptores e/ou dos circuitos moduladores um canal vizinho pode interferir em outro, interferência denominada de canal adjacente. Uma maneira de minimizar a interferência por canal adjacente é evitar a utilização de canais próximos em frequência em células vizinhas.

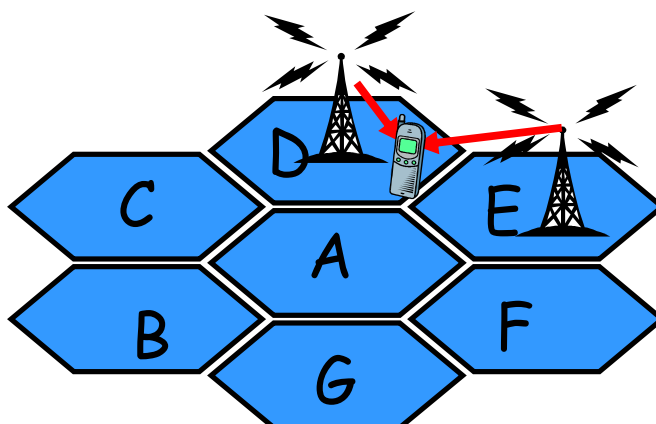


Fig.2.18 – Interferência por canal adjacente

2.4.3 Reuso de Frequência

Para a realização do reuso de frequências os canais disponíveis são agrupados em K grupos, onde K é o fator de reuso de frequências e define o número de células dentro de um *cluster*. O fator K é calculado através da seguinte equação:

$$K = i^2 + i.j + j^2 \quad \text{Eq. 2.1}$$

Sendo necessário apenas garantir que i e j sejam inteiros.

I	J	K
1	0	1
0	1	1
1	1	3
2	0	4
2	1	7
2	2	12

Tabela 2.1

Na prática, todos os sistemas celulares utilizados têm o seu tamanho de cluster definido. Os mais comuns são *clusters* com K de 4 ou 7.

Um outro parâmetro importante no reuso de frequências é a relação entre a distância de reuso e o raio das células, conhecida como *cochannel reuse ratio*, que leva em consideração a capacidade de tráfego e a qualidade do sinal.

A razão D/R , da distância de reuso e do raio da célula, pode ser calculada pela seguinte equação:

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3.K} \quad \text{Eq. 2.2}$$

A razão D/R é apenas uma medida qualitativa da capacidade e do padrão de interferência do sistema celular. Os níveis de interferência serão efetivamente calculados, conhecendo-se o *layout* do sistema, as distâncias entre as células e as potências das estações rádio base.

O aumento no fator de reuso aumenta a distância entre as células que utilizam os mesmos canais, diminuindo a interferência (qualidade do sinal melhora). Porém, a capacidade do sistema diminui, pois a região de cobertura fica maior para o mesmo número de canais.

Por outro lado, a redução do fator de reuso provoca um aumento da interferência (qualidade do sinal piora), mas aumenta a capacidade do sistema.

Fazendo uma análise superficial, podemos observar que a medida que aumentamos o fator de reuso K , ou seja, o número de células por *cluster*, estaremos diminuindo o número de canais por célula, diminuindo o tráfego oferecido por célula. Por outro lado, estaremos aumentando a relação D/R (*podemos entender que estamos aumentando a distância de reuso ou que estamos diminuindo o raio das células*). Isto implica na diminuição da interferência entre co-células, uma vez que a potência transmitida decresce com a distância.

Agora, considerando a diminuição do fator de reuso estaremos aumentando tráfego nas células pelo maior número de canais. A contraposição se dá na diminuição da relação D/R implicando em menor qualidade do sinal recebido. A Tabela 2.2 ilustra bem as relações do fator de reuso com o tráfego e qualidade do sinal recebido devida à interferência co-canal.

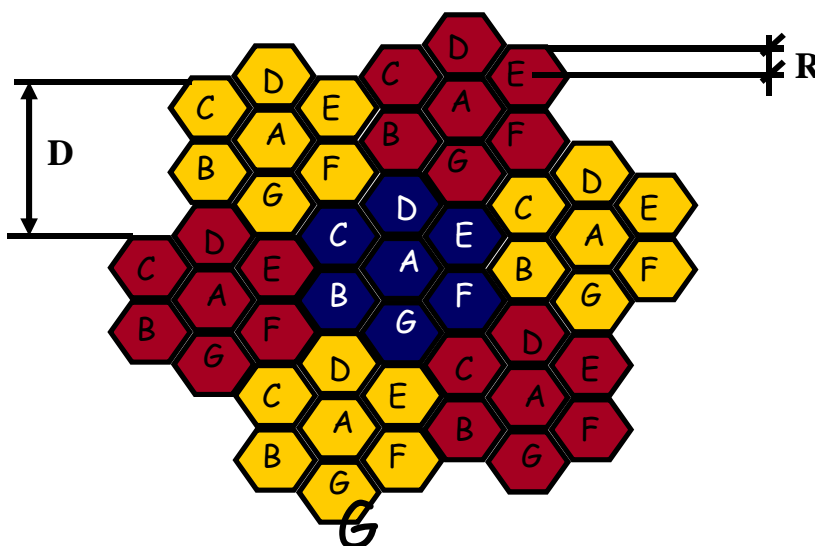


Fig.2.19: Distância de reuso

Padrão de Reuso (N)	Relação D/R	Canais por Célula	Tráfego por Célula	Qualidade na recepção
1	1.73	395	<i>alto</i> <i>baixo</i>	<i>baixa</i> <i>alta</i>
3	3.00	131		
4	3.46	98		
7	4.58	56		
12	6.00	32		

Tabela 2.2: Aspectos do Padrão de Reuso.

Na verdade podemos utilizar células de outro formato que não o hexagonal. Para o planejamento de microcélulas em região urbana, por exemplo, padrões triangular, quadrado ou até em forma de diamante podem ser utilizados. Assim, dependendo do polígono escolhido formamos nova geometria do sistema, podendo ter padrões de reuso diferentes daqueles dados pela **Equação 2.2**.

2.5 HANDOFF (HANDOVER)

Os telefones celulares móveis podem sair da área de cobertura de uma célula (ERB) e entrar na de outra. A pedido da ERB, todos os terminais estão constantemente enviando medidas das condições dos sinais que recebem. Essas medidas são retransmitidas pelas ERBs às CCC.

Um telefone envia, por exemplo, as medidas que indicam as condições dos sinais que está recebendo à ERB em que atualmente está. Se estas medidas começam a mostrar degradação, a ERB “*compreende*” que o telefone está afastando-se. Neste ponto ela envia à CCC um pedido de *handoff* para aquele telefone. A CCC, por sua vez, ordena a todas as ERBs da região, que informem a intensidade do sinal que estão recebendo do telefone em questão.

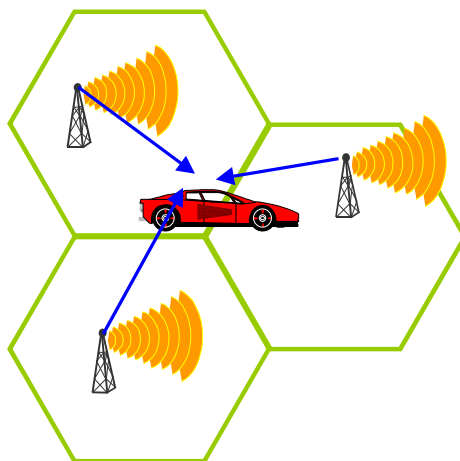


Fig.2.20 – Processo de *Handoff*

A CCC classifica os dados recebidos em ordem de prioridade: da ERB que tiver enviado as melhores medidas de recepção à que tiver enviado as piores. Depois, a CCC analisa os dados sobre as ERBs, para saber se elas têm canais de voz disponíveis. Das que tiverem canais disponíveis, a CCC vai escolher a que tiver informado os sinais mais fortes e vai ordenar que a ERB informe ao telefone os novos canais que deve sintonizar. Quando o telefone do usuário estiver pronto para trocar de canal, a CCC ordena a troca e reencaminha a chamada de uma ERB para a outra, este processo é feito continuamente.

Se o sinal do assinante começar a diminuir em uma ERB e nenhuma outra for capaz de encontrá-lo, a CCC presume que o assinante está saindo da área de cobertura. Quando

isto ocorre, ela encaminha as chamadas destinadas àquele telefone para a caixa postal de voz ou para a máquina anunciadora (é o que também ocorre quando o usuário troca de bateria ou desliga o telefone).

2.6 ROAMING

Roaming significa “em locomoção”, indicando o processamento de uma chamada telefônica celular móvel em uma CCC, a qual não é a de origem do assinante celular móvel que está participando de ligação telefônica, ou seja este celular está registrado em uma outra CCC.

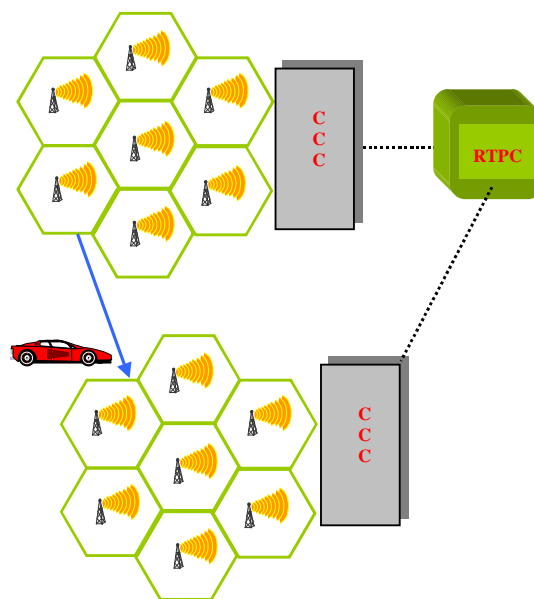


Fig.2.21 – Roaming

Existe o *Roaming* automático, que permite o anúncio da chegada deste celular “visitante”, quando este celular envia um sinal para a CCC “visitada” e esta lhe devolve a identificação da área visitada através do canal de controle, surgindo a mensagem “ROAM” no display do celular visitante.

Após o reconhecimento deste celular “visitante”, ao receber ou solicitar uma chamada telefônica a CCC “visitada” entra contato com a CCC de origem do celular “visitante” e recebe desta, os dados deste assinante, como por exemplo, número de série do celular, categoria do assinante, etc. e permite a realização da ligação telefônica.

O *Roaming* pode também proceder de forma não automática. Neste caso, o assinante deve entrar em contato com a central de atendimento da companhia a ser “visitada” e solicitar uma pré-validação.

O *Roaming* Nacional é efetuado, quando o “visitante” disca o código DDD do local visitado, antes de teclar o número desejado do assinante local. Se ele for efetuar uma ligação para uma outra localidade, da mesma forma terá que teclar o código DDD da localidade desejada, antes de teclar o número desejado do assinante desta outra localidade.

2.7 PLANO DE FREQUÊNCIAS

Um projeto de comunicações via rádio baseia-se na transmissão e recepção de informações que modulam uma frequência portadora. Utiliza-se um plano que frequências para organizar essas frequências portadoras. Neste plano as frequências portadoras são distribuídas de acordo com o fim a que se destina, seja a televisão, a telefonia, o rádio, etc.

A faixa dos 800MHz, inicialmente designada a serviços de TV em UHF, foi escolhida pelo FCC para a utilização em serviços de comunicação móvel celular. Essa faixa não a é ideal, mas apesar das dificuldades encontradas, foi comprovada sua utilização. Foram definidos, 40MHz inicialmente, e depois 50 MHz como descrito na Figura 2.21.

Espectro Expandido

824	825	835	845	846.5	849
A'	A	B	A'	B'	
869	870	880	890	891.5	894
33 canais	333 canais	333 canais	50 canais	83 canais	

Figura 2.22: Espectro definido pelo FCC.

Os primeiros sistema utilizava um espectro básico de 666 canais *Duplex* dividido em duas bandas, A e B, para exploração do serviço por duas operadoras. Posteriormente foram acrescentados novos canais ao sistema que utiliza agora um espectro expandido com 832 canais *Duplex*.

Como pode-se ver os recursos do espectro designados ao serviço celular são finitos, assim o desafio é a utilização das frequências da maneira mais eficiente possível. Podemos conseguir isto pelo aumento da quantidade de canais de voz, aprimoramento do reuso

espacial das frequências, designação de novos canais e pela, alocação dinâmica de canais para as chamadas. A forma escolhida para melhor utilização do espectro foi o reuso de frequências que é, então, a espinha dorsal dos sistemas celulares.

O método de reuso de frequência é útil para aumentar a eficiência do uso do espectro, mas, como já vimos, resulta em interferências de co-canal, pois o mesmo canal de frequência é usado repetidas vezes em diferentes células co-canal com certa proximidade entre si. Assim, o padrão de reuso vai depender da distância mínima entre células com mesma frequência, ou seja, células que possam estar submetidas à interferência co-canal. Sabemos que a distância de reuso não é absoluta, e sim, função do raio das células.

Exercícios

1. Qual o meio de transmissão utilizado entre uma ERB e um telefone móvel?
2. Quais as vantagens do sistema celular?
3. Quais as vantagens do uso de baixa potência de transmissão?
4. O que é um agrupamento de células e qual a sua finalidade?
5. Porque usa-se o padrão hexagonal para representação de célula?
6. Qual é a vantagem e desvantagem da sobreposição de algumas áreas de cobertura de células vizinhas?
7. Quais são os componentes básicos de um sistema de telefonia celular?
8. Quando é que usa-se arquitetura centralizada e descentralizada em um sistema celular?
9. Quais as funções básicas de um EM?
10. O que é canal direto e canal reverso?
11. Qual as funções da CCC?
12. A unidade de comutação da CCC é parecida com a da rede fixa, porém existe uma diferença. Qual é?
13. O que é Padrão de Reuso?
14. Quais são os principais tipos de interferência num sistema celular? E como “evitá-los” (minimiza-los)?
15. O que acontece quando aumenta-se o padrão de reuso?
16. O que acontece quando diminui-se o padrão de reuso?
17. O que é o Handoff?
18. O que é o Roaming?

2.8 ASPECTOS DE TRÁFEGO

Os sistemas de comunicação móvel celular são projetados para que as chamadas realizadas tenham boa probabilidade de sucesso nas horas de maior movimento do sistema. Para isto define-se o Grau de Serviço (GOS), também conhecido como de Probabilidade de Bloqueio (P_B), e que representa o percentual de tentativas de comunicação mal sucedidas

pelo usuário devido ao congestionamento do sistema, ou seja, é a relação entre o tráfego perdido e o tráfego oferecido. Valores típicos de GOS em sistemas de telefonia celular atingem de 2% a 5%.

A Hora de Maior Movimento (HMM) é definida como o período de 60 minutos do dia nos quais a intensidade de tráfego de um grupo de canais atinge o seu valor máximo, tomada a média dos valores nos dias da semana. O GOS determina a quantidade de troncos e equipamentos de comutação necessários para atender adequadamente o tráfego telefônico durante as horas de maior movimento. Podemos em certas condições, considerar a HMM do sistema, de uma *Cluster* ou da célula mais congestionada

A Intensidade de Tráfego é uma medida de densidade, portanto adimensional, representada pela unidade *Erlang*. A Intensidade de Tráfego indica o número médio canais ocupados ao mesmo tempo, ou seja, é calculado pela relação entre a somatória dos tempos de ocupação de N canais e o tempo de observação. Um canal ocupado continuamente corresponde 1 *Erlang*.

Várias equações tem sido sugeridas para o estudo do tráfego móvel celular. Um modelo bem aceito é conhecido como fórmula *Erlang-B*. Esta fórmula relaciona o GOS com o número de canais em um grupo (N) e o tráfego oferecido por este grupo (A). Um estudo mais aprofundado sobre tráfego será descrito mais adiante onde apresenta-se também a fórmula *Erlang-B*.

O objetivo de qualquer sistema é atender o maior número de assinantes possível mantendo um aceitável GOS. No caso de dimensionamento prático de um sistema deve-se observar a Acessibilidade e Graduação, o perfil do tráfego, suas propriedades estatísticas e GOS exigido.

Apresentamos a seguir algumas definições básicas que envolvem o estudo de tráfego:

a) Tempo de Ocupação (t)

Tempo total em que uma dada chamada ocupa um canal.

b) Volume de Tráfego (V)

Soma dos Tempo de Ocupação de todos os canais de um sistema dada pela expressão,

$$V = \sum_{i=1}^N t_i \quad \text{Eq.2.3}$$

onde N é o número total de canais do sistema e t_i é o tempo de duração da chamada i.

c) Intensidade de Chamadas (I)

Número de chamadas que ocorrem em um conjunto de canais em um dado intervalo de tempo.

$$I = n/T \text{ [chamadas por hora] ,} \quad \text{Eq.2.4}$$

onde n é o número de chamadas e T é o período de observação

d) Tempo Médio de Chamada (t_m)

A média dos tempos de ocupação por um dado intervalo de tempo, neste caso,

$$t_m = V/n. \quad \text{Eq.2.5}$$

e) Hora de Maior Movimento (HMM)

O período de uma hora do dia no qual a Intensidade de Tráfego de um grupo de canais atinge o seu valor máximo.

Os sistemas de comunicação móvel celular são projetados para que as chamadas realizadas tenham boa probabilidade de sucesso na Horas de Maior Movimento. Neste caso podemos considerar a HMM do sistema, de uma *Cluster* ou da célula mais congestionada.

f) Probabilidade de Bloqueio (P_B)

Percentual de tentativas de comunicação mal sucedidas pelo usuário devido ao congestionamento do sistema, ou seja, é razão entre o número de chamadas entrantes mal sucedidas pelo número total de chamadas entrantes.

g) Intensidade de Tráfego (A)

Densidade do Volume de Tráfego no tempo. A unidade de Intensidade de Tráfego é o Erlang e representa exatamente uma hora de sistema ocupado em uma hora de observação. A Intensidade de Tráfego pode ser interpretada de três formas:

- *número médio de canais ocupados em uma hora de observação;*
- *tempo necessário para escoamento de todo o tráfego por um único canal e;*

- *número médio de chamadas originadas durante um intervalo igual ao Tempo Médio de Chamada.*

Exemplo 2.1

Considere um sistema com 15 canais. Dado que 2 canais estiveram ocupados por 4 horas cada, 4 canais por 6 horas cada, 4 canais por 10 horas cada e 5 canais por 12 horas cada, tudo isto em um período de um dia de observação. Logo temos:

$$A = \frac{(2 \times 4hs + 4 \times 6hs + 4 \times 10hs + 5 \times 12hs)}{24hs} \rightarrow A = 5,5 \text{ Erl}$$

A definição de volume de tráfego não especifica, entretanto, durante quanto tempo se observa a duração de uma chamada. para permitir comparações homogêneas é importante ter uma referência de tempo. para isto divide-se o volume de tráfego V pelo tempo de observação T . Esta razão denomina-se INTENSIDADE DE TRÁFEGO (A). às vezes chamada apenas de TRÁFEGO.

$$A = V/T \quad \text{Eq.2.6}$$

h) Tráfego Escoado (A_e)

Porção da Intensidade de Tráfego equivalente às chamadas entrantes ao sistema e que foram atendidas.

i) Tráfego Oferecido (A_o)

Intensidade de Tráfego máxima suportada pelo sistema.

j) Tráfego Requerido (A_r)

Intensidade de Tráfego gerada (requerida) pelos usuários.

l) Tráfego Perdido (A_p)

Intensidade de Tráfego não atendida pelo sistema devido ao congestionamento dos canais no instante da geração da chamada.

m) Grau de Serviço (GOS)

Relação entre o Tráfego Perdido e o Tráfego Oferecido. Na verdade é igual à Probabilidade de Bloqueio. Valores típicos de GOS em sistemas de telefonia celular atingem de 2% a 5%.

O GOS determina a quantidade de troncos e equipamentos de comutação necessários para atender adequadamente o tráfego telefônico durante a Hora de Maior Movimento.

2.8.1 Tráfego em um Sistema Celular

O tráfego em um sistema celular pode ser considerado como o número de assinantes que este sistema pode habilitar.

Uma maneira simplificada de avaliar a capacidade de tráfego de um sistema celular deriva da fórmula de *Erlang-B*. A fórmula de *Erlang-B* determina a probabilidade de bloqueio de uma chamada (P_B), sendo uma medida de Grau de Serviço (GOS) de um sistema entroncado que não oferece nenhum tipo de fila de espera aos usuários requisitantes de chamadas. Esta fórmula considera um número de usuários bem maior que o número de canais e as antes chamadas consideradas perdidas ainda podem ser encaminhadas em rotas alternativas (outras células).

$$GOS = P_B = \frac{A^N}{N! + \sum_{i=0}^{N-1} \frac{A^i}{i!}} \quad \text{Eq. 2.7}$$

Onde N é o número de canais do sistema, P_B é a probabilidade de bloqueio e A é o tráfego oferecido. O tráfego é expresso em *Erlangs* e significa quantas chamadas o sistema consegue atender dentro de um intervalo normalizado de tempo. Por exemplo, um tráfego de 1 *Erlang* significa uma chamada de 1 unidade de tempo em 1 unidade de tempo (o canal está ocupado durante todo o tempo de observação).

Sendo conhecido o tráfego oferecido por um sistema, que vai depender do número de canais disponível e da taxa de bloqueio considerada, pode-se calcular o número de chamadas por hora que o sistema pode atender:

$$Q = \frac{A.T}{\mu} \quad \text{Eq.2.8}$$

Onde Q é o número de chamadas por hora, T é o tempo de observação e μ é o tempo médio de duração de uma chamada realizada por um assinante.

O valor de A é encontrado em tabelas derivadas da fórmula de *Erlang-B*.

Exercício 01

Calcular o número de assinantes para um sistema com 100 células e as seguintes características:

- 1) Cada célula possui 45 canais de voz.
- 2) O tempo médio de duração das chamadas é 1,65 minutos.
- 3) Cada assinante gera em média 1,68 chamadas na hora de maior movimento(HMM).
- 4) A taxa de bloqueio é de 5%.

<i>N (número de canais)</i>	<i>P_B=1%</i>	<i>P_B=2%</i>	<i>P_B=5%</i>	<i>P_B=10%</i>	<i>P_B=50%</i>
<i>1</i>	0,0101	0,0204	0,0526	0,111	1,00
<i>2</i>	0,153	0,223	0,381	0,595	2,73
<i>3</i>	0,455	0,602	0,899	1,27	4,59
<i>4</i>	0,869	1,09	1,52	2,05	6,50
<i>5</i>	1,36	1,66	2,22	2,88	8,44
<i>6</i>	1,91	2,28	2,96	3,76	10,4
<i>7</i>	2,50	2,94	3,74	4,67	12,4
<i>8</i>	3,13	3,63	4,54	5,60	14,3
<i>9</i>	3,78	4,34	5,37	6,55	16,3
<i>10</i>	4,46	5,08	6,22	7,51	18,3
<i>11</i>	5,16	5,84	7,08	8,49	20,3
<i>12</i>	5,88	6,61	7,95	9,47	22,2
<i>13</i>	6,61	7,40	8,83	10,5	24,2
<i>14</i>	7,35	8,20	9,73	11,5	26,,2
<i>15</i>	8,11	9,01	10,6	12,5	28,2
<i>16</i>	8,88	9,83	11,5	13,5	30,2
<i>17</i>	9,65	10,7	12,5	14,5	32,2
<i>18</i>	10,4	11,5	13,45	15,5	34,2
<i>19</i>	11,2	12,3	14,3	16,6	36,2
<i>20</i>	12,0	13,2	15,2	17,6	38,2
<i>21</i>	12,8	14,0	16,2	18,7	40,2
<i>22</i>	13,7	14,9	17,1	19,6	42,1
<i>23</i>	14,5	15,8	18,1	20,7	44,1
<i>24</i>	15,3	16,6	19,0	21,8	46,1
<i>25</i>	16,1	17,5	20,0	22,8	48,1
<i>30</i>	20,3	21,9	24,8	28,1	58,1
<i>35</i>	24,6	26,4	29,7	33,4	68,1
<i>40</i>	29,0	31,0	34,6	38,8	78,1
<i>45</i>	33,4	35,6	39,6	44,2	88,1
<i>50</i>	37,9	40,3	44,5	49,6	108,1
<i>60</i>	46,9	49,6	54,6	60,4	118,1

70	56,1	59,1	64,7	71,3	138,1
80	65,4	68,7	74,8	82,2	158,0
90	74,7	78,3	85,0	93,1	178,0
100	84,1	88,0	95,2	104,1	198,0

Tabela 2.1 - Valores de A

2.9 ETAPAS DO PLANEJAMENTO

O planejamento celular demanda uma grande quantidade de informação relacionada com a demografia e com o mercado. O projeto propriamente dito é multidisciplinar, envolvendo todas as áreas de telecomunicações. Como na concepção do sistema, as informações disponíveis são principalmente baseadas na melhor estimativa possível no momento, o projeto pode não refletir as reais condições a serem experimentadas pelo sistema. A maturidade das redes será adquirida com ajustes necessários em campo. Os passos principais no projeto celular são descritos a seguir:

2.9.1 Definição da Área de Serviço (Área de cobertura)

Em geral, esta tarefa fica a cargo da companhia operadora, que baseia sua decisão em pesquisa de mercado e em quanto ela estará disposta a investir.

Um plano de prioridades é utilizado pela operadora para definir a região onde o serviço celular será oferecido. As áreas inicialmente cobertas são geralmente de grande densidade populacional e interesse político, uma vez que o serviço pode ser levado à áreas menos importantes de acordo com uma expansão modular do sistema.

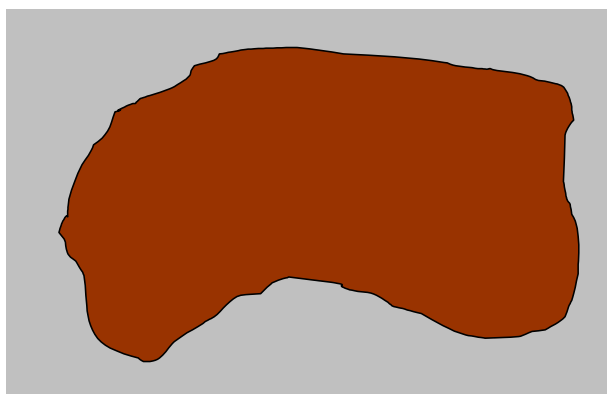


Figura 2.23 – Região de cobertura

2.9.2 Definição do Perfil de Tráfego

Como no caso anterior, este passo depende de uma pesquisa de mercado e do perfil do assinante de cada região a ser servida.

A quantidade de canais em cada ERB é definida dividindo-se a região de cobertura em pequenos quadrados onde serão realizadas pesquisas de distribuição de tráfego. Em cada um destes quadrados deverá ser determinado o tráfego esperado para a hora de maior movimento (HMM).

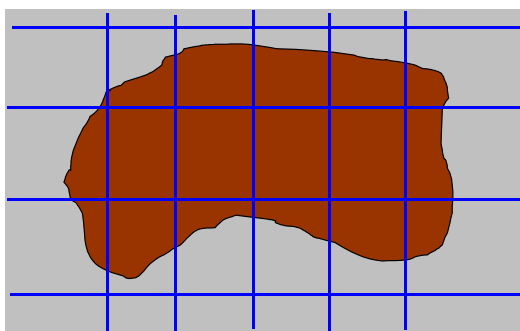


Figura 2.24 – Distribuição de tráfego

2.9.3 Escolha do Padrão de Reuso

Dada a distribuição de tráfego e os requisitos de interferência, escolhe-se o padrão de reuso. O padrão de 7 células por *clusters* tem sido largamente utilizado. No caso de sistemas CDMA, onde o fator de reuso é unitário (como veremos adiante), esta etapa do projeto não é prevista.

2.9.4 Localização das Estações RádioBase

Em geral a primeira estação rádio base será localizada na área de maior relevância da região a ser servida. dados como a infra-estrutura disponível no local e as regulamentações vigentes são certamente relevantes neste passo.

Normalmente a primeira ERB é instalada no centro da região de maior densidade populacional e/ou maior intensidade de tráfego. Evidentemente é necessário que se encontre um terreno disponível para a instalação da ERB.

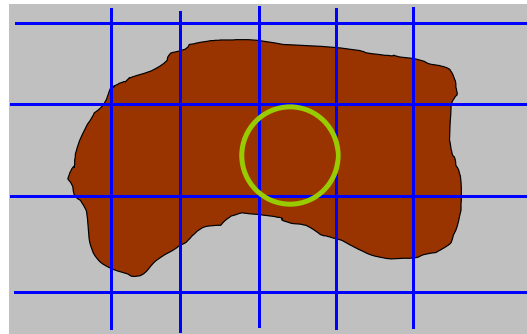


Figura 2.25 – Localização da primeira ERB.

O raio da célula pode ser determinado a partir de duas situações:

- Quando a disponibilidade de canais não é problema adota-se raios grandes para as células. A limitação neste caso vem dos níveis de potência e interferência.
- Quando a disponibilidade de canais é crítica adota-se raios pequenos. A limitação neste caso é a demanda.

Em áreas urbanas, onde a concentração do tráfego é maior, as células devem ser pequenas e atender à demanda com os canais disponíveis. Em áreas suburbanas e rurais, células grandes são utilizadas, economizando-se, assim, em infra-estrutura. Uma vez que a primeira estação rádio base é posicionada, as demais passam a ser acomodadas no *grid* de acordo com o padrão de reuso escolhido.

Para sistemas analógicos e digitais TDMA o padrão mais comum é $N = 7$ com utilização de antenas tri-setorizadas.

Para um *cluster* de 7 células é necessário determinar a localização das 6 células restantes. O raio destas células deve ser aproximadamente igual. A localização das ERB's deve ser feita de maneira tal que células de mesmo raio estejam localizadas sobre uma circunferência cujo centro é a primeira ERB. Em regiões de menor tráfego pode-se utilizar células de raio maior

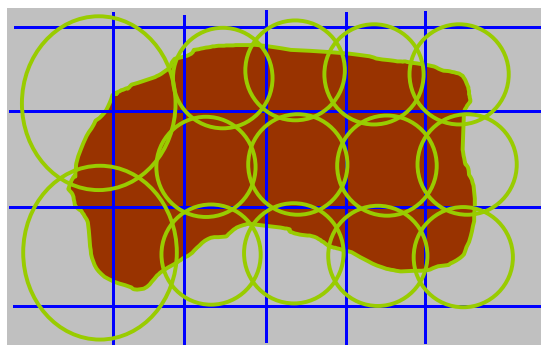


Figura 2.26 – Localização das demais ERB's.

2.9.5 Predição de Cobertura

Na prática, o planejamento de um sistema celular não é tão simples como parece. A localização e o tamanho da células depende de um número muito grande de variáveis, como a topografia e a morfologia do terreno (em geral os mapas disponíveis são desatualizados, não correspondendo a realidade), presença de vegetação, área urbana, rios, lagos, montanhas, necessidade e distribuição de tráfego, disponibilidade e preço de terrenos onde serão instaladas as ERB's, interesses políticos, entre outros.

A solução para o planejamento é a utilização de programas de computador especialmente desenvolvidos para o cálculo da área de cobertura.

Os programas são alimentados com mapas topográficos, previsão da distribuição do tráfego e a suposta localização das ERB's. A partir destes dados, utilizando modelos matemáticos de propagação de ondas de rádio os programas apresentam como resultados mapas de cobertura. Os resultados das simulações são utilizados para identificar problemas como áreas sem cobertura ou com alta interferência de outras células.

A grande vantagem do uso de simulação é que várias posições de ERB's podem ser testadas de maneira rápida e relativamente barata até que se consiga a cobertura desejada.

2.9.6 Checkup do Projeto

Neste ponto, verifica-se se os parâmetros de projeto satisfazem os requisitos de sistema. Poderá ser necessário reavaliar a localização das estações rádio base, altura da antena, etc.

2.9.7 Medidas de Campo

Para uma melhor sintonia dos parâmetros utilizados nos softwares de predição, medidas de campo (*survey* rádio) deverão ser incluídas no projeto.

A qualidade dos resultados de simulação depende principalmente da precisão e atualidade dos mapas utilizados.

Geralmente, após a simulação ainda são realizados testes de campo, para os quais são instalados transmissores e receptores provisórios nos locais definidos pela simulação. Nestes testes são coletados dados em toda a região onde espera-se ter cobertura

2.10 AUMENTO DA CAPACIDADE DE UM SISTEMA CELULAR

A maneira mais óbvia e mais comum de se admitir mais assinantes na rede é permitir uma degradação do desempenho do sistema. A questão é a definição de “tolerável”. Sistemas operando com níveis muito distantes dos requisitos inicialmente especificados são comuns. As técnicas mais triviais de expansão da capacidade do sistema são descritas a seguir.

2.10.1 Degradação do Grau de Serviço (Aumento da Taxa de Bloqueio)

A degradação do Grau de Serviço é a primeira investida das operadoras para acomodar novos assinantes. É fácil perceber pelos modelos de tráfego, que quando o número de usuários de um sistema aumenta, para um mesmo número de canais disponíveis, a consequência é o aumento da taxa de bloqueio.

Mas observe que esta atitude deve ser apenas temporária, pois a degradação da qualidade do serviço prestado, detectada pelo usuário pelo aumento da ocorrência de insucessos ao tentar acessar o sistema (aumento da probabilidade de bloqueio), é fator de desânimo e que muitas vezes faz o usuário trocar de operadora em busca de um serviço melhor.

2.10.2 Adicionando Novos Canais

Em geral, na concepção inicial do sistema, quando a demanda de tráfego é ainda baixa, algumas estações rádio base são equipadas com um número de canais menor que o máximo possível. À medida que a demanda vai aumentando, novos canais podem ser adicionados. Logo, a adição de novos canais nas células de um sistema só pode ser feita se o projeto inicial não contemplou todos os possíveis canais de um subgrupo em um certo Padrão de Reuso.

Infelizmente, são raras as situações em que existem canais disponíveis, tornando esta solução pouco prática.

2.10.3 Mudança no Padrão de Reuso

Clusters com menos células operam com mais canais por célula e, portanto, com uma maior eficiência de troncalização. Por outro lado, devido à menor separação entre

océlulas, a qualidade de transmissão poderá ficar comprometida, isto é, um controle mais rigoroso da interferência deve ser exercitado.

A diminuição do tamanho do *cluster* utilizado, por exemplo de 12 para 7 células, ou de 7 para 4 células, dá ao sistema uma maior capacidade de atender ao tráfego, porém aumenta os níveis de interferência.

Para se conseguir a diminuição do fator de reuso é necessário todo um replanejamento, levando em conta o problema de tráfego e interferência e a necessidade de muitas alterações de *hardware*, cujo custo pode ser elevado.

2.10.4 Empréstimo de Frequências (Canais)

O empréstimo de frequências é feito quando um ERB precisa oferecer um tráfego maior que o oferecido pelo número de canais máximo definido pelo Padrão de Reuso. Neste caso o projetista do sistema atropela o Padrão de Reuso e aloca frequências a esta ERB fora de seu subgrupo original. Logo as células co-canais cedentes mais próximas desta ERB não pode utilizá-las.

Perceba que não há grandes alterações de hardware. Basta a ERB possuir rádio disponível para sintonizar as novas portadoras. Na verdade o projetista pode fazer isto com quantas células quiser dependendo da distribuição geográfica do tráfego. Perceba que o empréstimo atende apenas a uma determinada região do sistema de maior tráfego, por isto constitui uma alternativa temporária aguardando expansão a física do sistema.

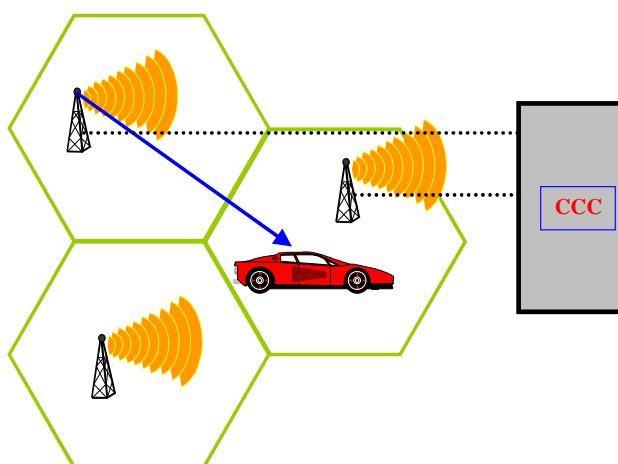


Figura 2.26 – Empréstimo de canais

2.10.5 Divisão Celular (Cell Splitting)

Quando é detectado um aumento inesperado de tráfego em determinada região do sistema já implantado, por exemplo, pela inauguração de um shopping center não prevista para a região, o projetista pode fazer da técnica de Cell Splitting.

Esta técnica consiste em dividir um pequeno grupo de células em células bem menores mas ainda obedecendo o Padrão de Reuso. Assim, para novas células de raio k vezes menor que as originais teremos uma redução da área coberta e aumento de ERBs de ambos de k^2 , **Fig. 2.27**.

Na verdade temos alguns fatores que limitam a aplicação desta técnica como: a distância mínima de reuso em função da degradação da qualidade de voz, a possibilidade de localização das novas ERBs e os aspectos econômicos envolvidos.

A divisão celular normalmente é feita a partir do centro da área congestionada e é planejada de tal forma a manter as estações base existentes.

Em geral, a divisão de células é uma solução cara, pois implica na mudança da localização de ERB's e/ou instalação de novas ERB's e antenas. Existe ainda o problema da distância de reuso dos canais.

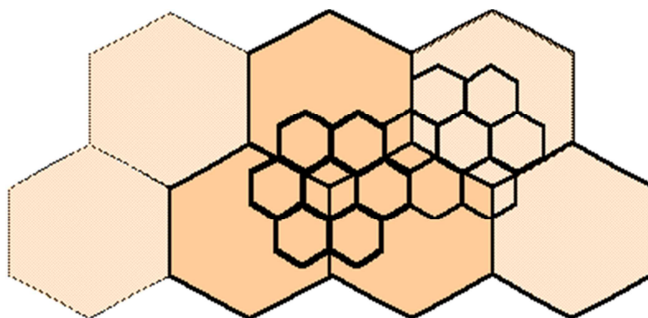


Figura 2.27 - Cell Splitting

2.10 .7. Setorização

Nesta técnica a área celular é dividida em setores servidos por diferentes frequências. Tipicamente temos 3 ou 6 setores (120° ou 60°), sendo os arranjos mais comuns, com cada setor iluminado por uma antena direcional e servido por um conjunto distinto de canais. Efetivamente cada setor se comporta como uma célula. A divisão de células leva a um

aumento da capacidade através de um reescalonamento do sistema. Diminuindo o raio da célula R e mantendo a razão de reuso D/R, aumenta-se o número de canais por unidade de área.

O uso de antenas direcionais diminui a interferência co-canal, permitindo que as co-células (células utilizando o mesmo conjunto de canais) possam ser espaçadas com distâncias menores, aumentando, assim, a eficiência espectral.

A técnica de redução da interferência co-canal e aumento da capacidade do sistema utilizando antenas direcionais é chamada *setorização*. O quanto a interferência será reduzida vai depender da quantidade de setores implementados e a quantidade de setores 3 ou 6.

Note que com a setorização pode-se ter duas situações. Na primeira considera-se que o grupo original de canais de uma célula é redistribuído no novos setores da célula configurando uma mudança no Padrão de Reuso. Na segunda situação considera-se que cada setor torna-se uma nova célula do sistema mantendo o Padrão de Reuso original e o mesmo número da canais das células originais. Em ambos os casos não há despesas de infra-estrutura, pois mantêm-se as mesmas ERBs. A expansão é muito facilitada pela característica modular das ERBs e da CCC. Desta forma esta técnica se apresenta com custo bem mais baixo que o Cell Splitting.

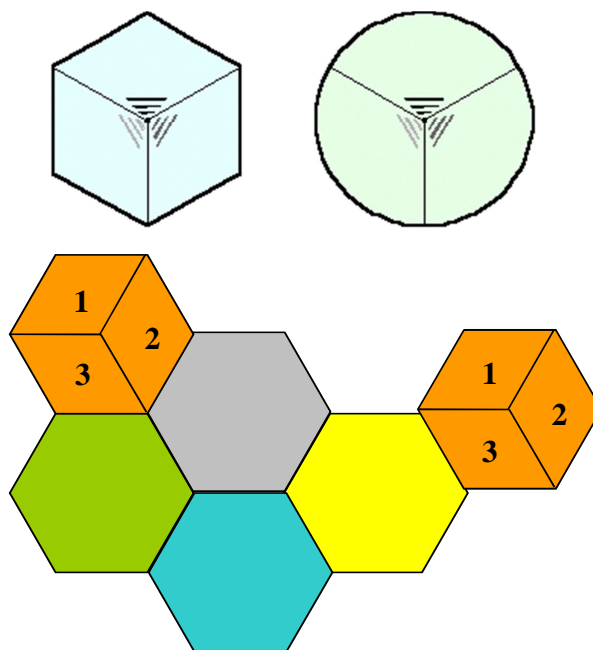


Figura 2.28 - Setorização Celular (120°)

2.10.8 Algoritmos de Alocação de Canais

Com a aplicação apropriada de algoritmos de alocação de canais, um ganho substancial de desempenho pode ser obtido. Os sistemas celulares em uso utilizam Alocação Fixa de Canais (AFC) em que, dada uma distribuição esperada de tráfego, dimensiona-se os recursos do sistema de forma fixa. Nesta condição, cada estação rádio base é equipada com um número suficiente de canais para prover o grau de serviço estipulado pelas especificações, se a distribuição de tráfego for exatamente como prevista, este esquema provê a melhor eficiência de utilização de canais. É sabido, no entanto, que dada a característica mais peculiar dos sistemas móveis – a mobilidade dos usuários -, a distribuição de tráfego poderá mudar repentinamente levando certas células ao congestionamento, enquanto os recursos de outras experimentam a ociosidade. neste caso o desempenho do sistema fica severamente comprometido. Uma alocação adequada de canais poderá otimizar melhor os recursos, levando o sistema a oferecer melhores serviços e, por conseqüência, auferir melhores retornos financeiros.

O desempenho da AFC poderá ser melhorado com o uso de uma técnica conhecida como Alocação de Canais por Empréstimo (ACE). Em ACE, uma célula sobrecarregada empresta canais de células menos sobrecarregadas. É óbvio que isto implica a mudança momentânea do Padrão de Reuso adotado, requerendo um controle rigoroso da interferência. Neste caso, os canais emprestados deverão ser impedidos de uso em outras células para se manter a distância mínima de reuso. Uma vez utilizados, os canais emprestados deverão voltar às células de origem.

Uma alternativa comumente utilizada para a melhoria do desempenho do sistema, mantendo-se o padrão de reuso, utiliza o tráfego da fronteira entre células com acesso rádio a mais de uma estação rádio base. A técnica mais conhecida utilizando este recurso é chamada *Directed Retry* (DRY). Em DRY, uma chamada que não encontra canais livres em sua própria célula é direcionada à célula vizinha em busca de recursos livres. Uma generalização desta técnica, conhecida como *Blocking Threshold Variation* (BTV), direciona as chamadas da fronteira a partir do instante em que o número de canais ocupados na célula de primeira opção (a própria célula) atinge um dado limiar. Este limiar é um parâmetro ajustável de acordo com os requisitos do sistema. Note que se este parâmetro for dimensionado para assumir o valor do próprio número de canais da célula, então BTV

passa a coincidir com DRY. Por outro lado, se este parâmetro for dimensionado para assumir o valor zero, então as chamadas das fronteiras serão sempre direcionadas à célula com menor número de canais ocupados.

As técnicas mais complexas de alocação de canais utilizam a Alocação Dinâmica de Canais (ADC). Existe uma infinidade de técnicas ADC.

A utilização das técnicas DRY ou BTV implica o aumento do nível de interferência co-canal e canal adjacente, uma vez que o uso de canais fora da sua área de melhor atendimento, de certa forma, estende a fronteira da própria célula.

2.11 TÉCNICAS DE ACESSO AO MEIO

2.11.1 EVOLUÇÃO DOS MÉTODOS DE ACESSO

Descrevemos a seguir a evolução dos métodos de acesso e aspectos operacionais dos sistemas de comunicações via rádio móvel.

2.11.1.1 - Simplex

Inicialmente temos o *Symplex System* (SS), como um sistema que utilizava apenas uma frequência, e somente a estação base era capaz de transmitir dados para as estações móveis, ou seja, as estações móveis eram simples receptores. Como exemplo desse sistema temos o sistema adotado pela polícia de Detroit em 1921, utilizando somente uma portadora. Um exemplo ainda em operação são os serviços de radiodifusão.

2.11.1.2 - Half Duplex

Após esse sistema pode-se citar o *Single Half-Duplex System* (SHDS) o qual ainda utilizava uma frequência, porém tanto a unidade móvel quanto a estação base eram capazes de transmitir e receber mensagens. Este sistema operava na base do *push-to-talk*, onde a estação base competia com a unidade móvel pelo canal de frequência. Como exemplo de utilização desse sistema temos o sistema de telefonia móvel da rodovia Nova Iorque – Boston, implantado em 1947, onde as chamadas eram realizadas com a ajuda de uma telefonista. O serviço de Radioamador ainda opera neste sistema.

2.11.1.3 - Double Half Duplex

No sistema *Double Half-Duplex System* (DHDS), a estação base é capaz de transmitir e receber mensagens simultaneamente, ficando a unidade móvel ainda utilizando o sistema *push-to-talk*. Para melhor assimilação, pode-se citar o exemplo dos rádio-taxi que utilizam este sistema.

2.11.1.4 - Duplex

Tanto a estação base quanto a unidade móvel operam com sistema *Full Duplex* (DS). É utilizado para transmitir sinais de forma independente, enviando-o em uma frequência e recebendo em outra diferente. Aqui enquadra-se os sistemas de Telefonia Celular.

2.11.2 TÉCNICAS DE ACESSO

Buscando uma maior eficiência o uso do espectro disponível aos serviços de rádio móvel, foram criadas técnicas que permitem o acesso de múltiplos usuários ao meio de transmissão, ou seja, o compartilhamento de canais de rádio. A alocação de canais sob demanda é conhecida por *Demand-Assigned Multiple Access* (DAMA), ou simplesmente Múltiplo Acesso.

De acordo com a forma com que o espectro é disponibilizado aos usuários, tem-se a classificação geral de sistemas em faixa estreita e faixa larga. Em um sistema faixa estreita, a faixa de frequências é subdividida em várias faixas menores, os canais, que são alocadas sob demanda aos usuários. Em sistemas faixa larga, toda ou grande parte da banda de frequências é disponibilizada aos usuários, como um único bloco. Três métodos de acesso ao meio se destacaram nos sistemas de comunicação móvel celular diferenciados apenas pela manipulação adequada da frequência, tempo ou código .

- Múltiplo Acesso por Divisão de Frequência (FDMA);
- Múltiplo Acesso por Divisão de Tempo (TDMA);
- Múltiplo Acesso por Divisão de Código (CDMA).

Enquanto o FDMA e o CDMA são, respectivamente, técnicas faixa estreita e faixa larga por natureza, o TDMA permite ambas as formas de implementação.

O *Frequency Division Multiple Access* (FDMA) é caracterizado pela alocação de diferentes faixas do espectro para os canais e voz. O *Time Division Multiple Access* (TDMA) faz uso do processamento digital do sinal de voz e multiplexa a informação de diferentes usuários em *slots* de tempo diferentes dentro de um mesmo canal físico. Já o *Code Division Multiple Access* (CDMA) multiplica a informação digital por códigos de taxa mais elevada espalhando o espectro do sinal em uma faixa larga compartilhada com outros códigos. Assim a comunicação duplex pode ser feita por divisão de frequência, de tempo ou de código, ou seja, utilizando *Frequency Division Duplex* (FDD), *Time Division Duplex* (TDD) ou *Code Division Duplex* (CDD).

2.11.2.1 Arquitetura faixa estreita

Em geral, a arquitetura faixa estreita está associada a sistemas com alta capacidade – o número de canais em que a banda é dividida dá uma dimensão da capacidade do sistema quanto ao número de usuários – mas, muitas vezes, baixa qualidade de transmissão – muitos canais significa banda pequena para cada canal. Nesse sentido, há um esforço para que se utilize técnicas de modulação que permitam qualidade de voz aceitável sem que se aumente a banda ocupada pelos canais, ou até, que se reduza a banda ocupada. Outro aspecto é a necessidade de se utilizar filtros estreitos para minimizar a interferência de canal adjacente, o que contribui para o aumento no custo de equipamento. E ainda, em sistemas faixa estreita, o sinal propagante sofre o chamado desvanecimento não-seletivo em frequência, ou seja, quando ocorre um desvanecimento toda a informação contida no canal é afetada, pois o canal é, em geral, muito estreito.

2.11.2.2 Arquitetura faixa larga

As técnicas de acesso que se utilizam dessa arquitetura são o TDMA faixa larga e o CDMA, sendo que este último frequentemente usa toda a faixa disponível. Como grande vantagem dessa abordagem, pode-se citar o fato de que a banda utilizada é maior que a banda dentro da qual ocorre desvanecimento não-seletivo (banda de coerência). Ou seja, o sinal faixa larga experimenta desvanecimento seletivo em frequência e, então, apenas uma fração das frequências que o compõem é afetada pelo desvanecimento. Da mesma forma, interferências também podem ser minimizadas com o uso dessa arquitetura.

2.12.3 FDMA

A maneira usual de se realizar um esquema FDMA é através da associação de um canal a cada portadora. Esse esquema é conhecido por Canal Único por Portadora (SCPC– *Single Channel per Carrier*). A representação do método FDMA está na **Fig. 2.29**.

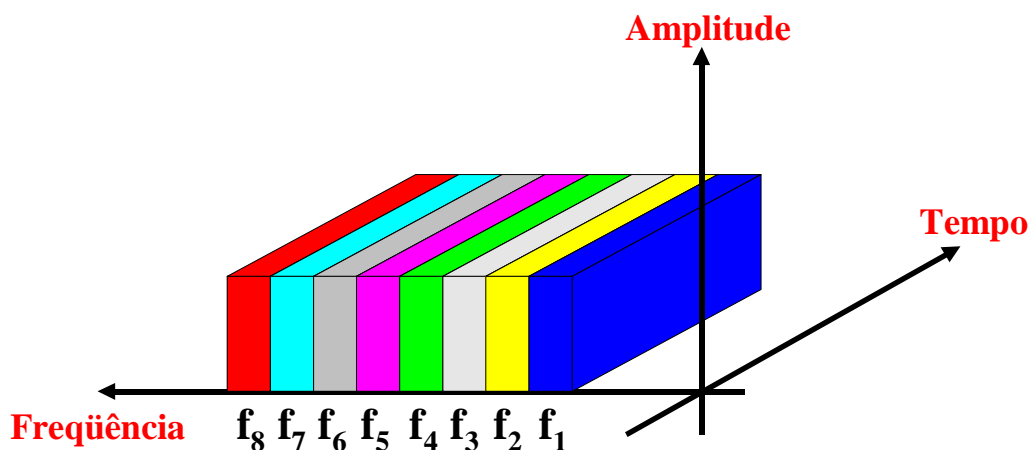


Figura 2.29: Técnica de Acesso FDMA

Os canais possuem bandas de guarda nas suas extremidades, que são pequenas faixas de frequências destinadas a minimizar o efeito causado por filtros e osciladores imperfeitos, ou seja, minimizar a interferência de canal adjacente gerada pela invasão de um canal na faixa ocupada pelos seus canais adjacentes. Usualmente, o que se chama de “canal” são as duas bandas associadas ao par de portadoras, link direto (ERB para móvel) e link reverso (móvel para ERB).

O número de canais no sistema será função da largura de cada canal. Dentre os canais disponíveis, uma pequena porção é dedicada a canais de controle, sendo os demais utilizados para tráfego de voz. No caso do sistema AMPS o espectro é dividido em canais de 30 kHz usados durante toda a duração de uma chamada.

Os canais de uma ERB podem ser acessados por qualquer EM dentro de sua área de cobertura. Para isto basta a EM sintonizar um portadora, sendo a alocação de canais feita sob demanda pela CCC. O esquema *Single Channel Per Carrier* (SCPC) implementa o FDMA atribuindo apenas um canal por portadora, como ilustra a **Fig. 2.30**.

Os equipamentos eletrônicos de uma ERB apresentam aspectos de não-linearidade. Assim, a informação transmitida pode ser afetada por interferência. O espalhamento

espectral corresponde ao alargamento do canal excedendo sua própria faixa causando interferência nos canais adjacentes. A intermodulação acontece quando harmônicas de certas frequências interferem em outras. A transferência de modulação promove distorções na fase e na amplitude do sinal. A supressão do sinal é resultante da amplificação não linear do sinal.

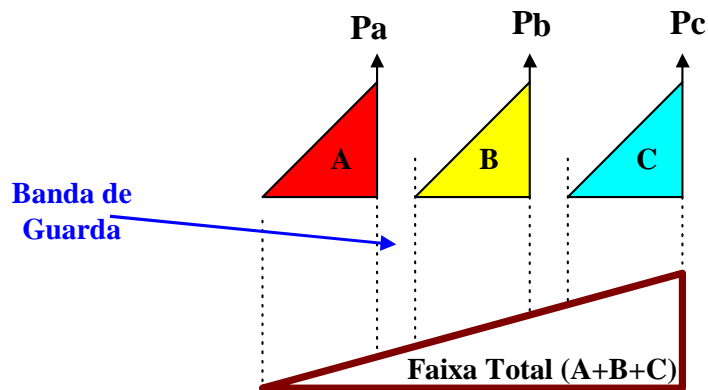


Figura 2.30: Esquema SCPC

Sistemas FDMA são sempre FDD e usualmente implementados segundo a arquitetura faixa estreita. Tanto sistemas analógicos como digitais podem ser implementados com a técnica FDMA.

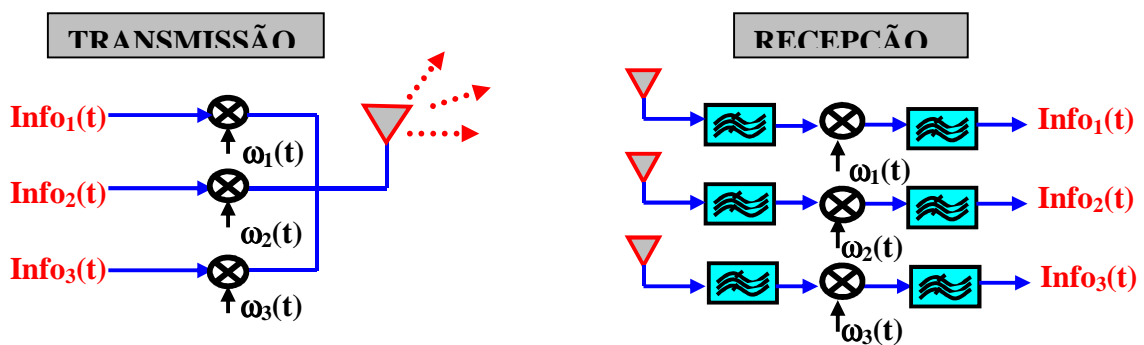


Figura 2.31: Esquema de transmissão e recepção de um Sistema FDMA

Na técnica de acesso FDMA podemos dizer:

- A faixa de Transmissão é dividida em determinado número de canais
- Os canais são atribuídos aos usuários através do processo de consignação por demanda

- Cada sinal de informação a ser enviado modula uma portadora
- Na recepção os sinais de cada usuário são separados por filtros passa-faixa adequados
- A probabilidade de interferência mútua é maior que nos esquemas digitais

As principais características dos sistemas que utilizam FDMA são:

- Implementação usual baseada em SCPC;
- Transmissão contínua – uma vez alocados, os canais são usados continuamente pela base e pelo móvel até o fim da comunicação;
- Banda Estreita – como cada porção de frequência é utilizada por um único usuário, a banda necessária é relativamente pequena, variando de 25-30 KHz em sistemas analógicos. Em sistemas digitais, o uso de codificação de voz a baixa taxa pode diminuir ainda mais a banda necessária;
- Baixa interferência intersimbólica – problema que afeta apenas sistemas digitais. Devido à característica de sistemas FDMA digitais trafegarem à baixas taxas de transmissão, esse não é um problema importante;
- Baixa sobrecarga de informações de controle (overhead) – os canais de voz carregam também mensagens de controle, como handoff por exemplo. Pelo fato dos canais alocados serem usados continuamente, pouco espaço é necessário para controle se comparando ao TDMA, por exemplo;
- Eletrônica simples – pouca ou nenhuma necessidade de processamento digital para combater interferência intersimbólica (em sistemas digitais), entre outras razões, permitem o uso de equipamentos mais simples nas bases e nos terminais;
- Uso de duplexador – como a transmissão é full-duplex e usa-se apenas uma antena para transmissão e recepção, deve-se usar um duplexador para fazer a filtragem entre recepção e transmissão e, assim, evitar interferências entre ambas;
- Alto custo das ERBs – a arquitetura SCPC requer que um transmissor, um receptor, dois codecs (codificador / decodificador) e dois modems (modulador / demodulador) sejam usados para cada canal numa estação base. A alocação de mais usuários em uma mesma portadora, tornaria o sistema mais econômico nesse aspecto;
- Handoff perceptível – pelo fato da transmissão ser contínua, a comutação entre frequências no processo de handoff é perceptível (audível) ao usuário.

- Se um canal não está sendo utilizado existe um desperdício de recurso, pois nenhum usuário está utilizando o sistema, o que aumentaria a capacidade.
- A comunicação é contínua no tempo, o que leva à necessidade de poucos bits de sincronismo e limitação de quadros em uma transmissão digital.
- Os filtros de canal são normalmente caros, pois precisam apresentar seletividade suficiente para reduzir a interferência entre canais adjacentes.

2.12.4 TDMA

Como dito, o TDMA permite implementação em faixa estreita e faixa larga. No TDMA faixa larga, toda ou grande parte da banda disponível é alocada a cada usuário por determinado intervalo de tempo, denominado *slot*. Em cada *slot* de tempo apenas um usuário terá acesso a toda (ou grande parte) da banda. No TDMA faixa estreita, o usuário tem acesso a uma pequena porção da banda por determinado intervalo de tempo (*slot*). A seguir, ilustra-se o conceito TDMA faixa estreita, **Fig. 2.32**. No TDMA faixa larga não haveria as subdivisões faixa 1, faixa 2, ... faixa M, ou elas seriam em número muito reduzido comparado ao faixa estreita.

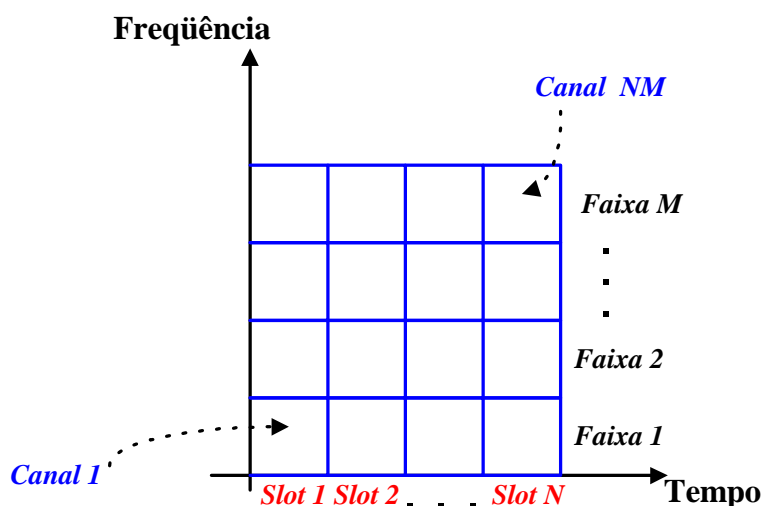


Figura 2.32: Técnica de acesso TDMA (faixa estreita)

O canal TDMA é definido pelas duas combinações [**porção da banda (faixa), slot**] alocadas ao usuário, para o link direto e reverso. O TDMA permite utilização tanto de FDD como de TDD.

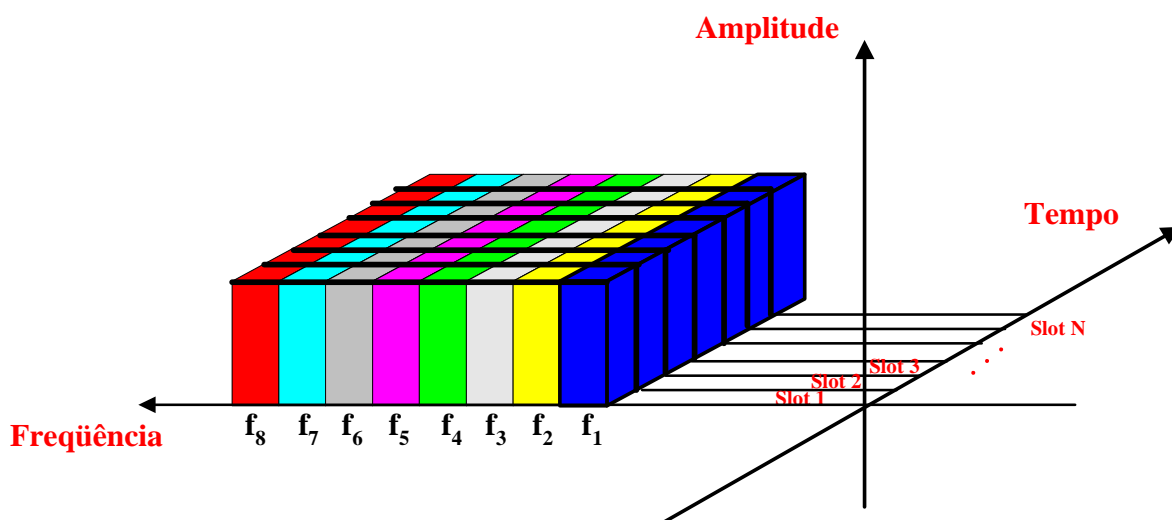


Figura 2.33: Acesso TDMA em *Time-Slots*

Como visto, uma única portadora é compartilhada em vários slots de tempo, ou seja, é compartilhada por vários usuários, cada qual em seu instante determinado. Esse mecanismo diferencia o TDMA do FDMA pois, no último, o esquema SCPC fazia com que cada portadora fosse alocada a apenas um usuário até o fim de sua comunicação.

A transmissão entre móvel e base é feita de forma não-contínua. A transmissão entre móvel-base é feita em rajadas, ocorrendo apenas no instante de tempo (*slot*) reservado para que o móvel transmita e/ou receba. Nos demais instantes de tempo, outros usuários poderão ter acesso à mesma portadora sem, portanto, que as comunicações interfiram entre si.

Pelas características apresentadas, a tecnologia digital é a única adequada para o tipo de transmissão envolvido, de forma que sistemas TDMA são sempre digitais.

O TDMA reparte um canal físico em diversos *slots* de tempo fazendo com que cada canal possa ser usado por mais de uma pessoa, uma de cada vez. A cada assinante é alocado uma seqüência periódica e *slots* de tempo dentro de um canal físico, assim uma mesma portadora pode ser compartilhada por diferentes assinantes. Desta forma o TDMA utilizado pelos sistemas digitais é, na verdade, uma combinação FDMA/TDMA.

Observe que quanto maior número de canais lógicos por portadora, maior a taxa de transmissão e maior a largura de faixa necessária ao canal. Técnicas de processamento digital e compressão do sinal de voz reduzem as taxas de transmissão e a largura dos canais. Na verdade a transmissão da informação neste esquema é feita forma *buffer-and-*

burst. A informação é primeiramente armazenada e depois enviada em rajadas dentro de seu *slot* de tempo correspondente, assim diversas EMs alternam a transmissão e recepção de *bursts* de dados através de uma portadora comum compartilhada. Este método apresenta um aumento significativo no tráfego atendido em relação ao FDMA.

Pela característica digital do sistema há maior imunidade a ruído e interferência e também mais segurança no enlace de comunicação promovendo privacidade ao usuário. Há também a necessidade de equalização, mas esta pode ser usada para combater o desvanecimento.

Uma grande vantagem deste método é que as taxas de transmissão podem ser variáveis em múltiplo da taxa básica do canal. A potência do sinal e a taxa de erros de bit podem controladas facilitando e acelerando o processo de handoff.

O método TDMA é atribuído à sistemas digitais como GSM, D-AMPS (IS-136) e PDC

Principais características do TDMA são apresentado abaixo:

- vários canais por portadora – como dito, uma portadora é utilizada em vários instantes de tempo distintos, cada qual correspondendo a um canal (usuário). No sistema Americano IS-54, usa-se três slots por portadora, enquanto que no sistema Europeu GSM cada portadora atende a oito slots;
- transmissão em rajadas (bursts) – como cada portadora é compartilhada no tempo, cada usuário transmite ou recebe sua informação numa rajada dentro dos respectivos slots. Essa forma de transmissão também leva a uma maior economia de bateria se comparado ao FDMA;
- faixa larga ou faixa estreita – a banda de cada canal depende de vários fatores, como o esquema de modulação. Dependendo do sistema os canais variam de dezenas a centenas de kHz. Como exemplo, o GSM usa canais de 200 KHz, enquanto que no IS-54 e IS-136 os canais são de 30 kHz;
- alta interferência intersimbólica – como a taxa de transmissão é muito mais alta no TDMA do que no FDMA digital, começa a haver problemas pelo fato da duração de símbolos ser comparável ao espalhamento por retardo (*delay spread*), a ser explicado. É requerido tratamento especial para minimizar esse problema, em especial em sistemas com taxas mais altas, como o GSM;

- alta sobrecarga de informações de controle (*overhead*) – a característica de transmissão em rajadas requer um tratamento mais minucioso no que diz respeito à sincronização. Os bits requeridos nesse tratamento em conjunto com o fato de haver tempos de guarda entre slots (equivalente à banda de guarda, na frequência), gera um alto *overhead*;
- eletrônica complexa – por usar tecnologia digital, muitos recursos podem ser agregados na unidade móvel, aumentando sua complexidade;
- não requer o uso de duplexador – como transmissão e recepção acontecem em slots distintos, é desnecessário o uso de duplexador. O que há é um switch que liga / desliga o transmissor / receptor quando este não está em uso. O uso de duplexador é dispensável mesmo no TDMA/FDD pois, nesse caso, o que se faz usualmente é acrescentar intencionalmente alguns intervalos de tempo entre os slots de transmissão e recepção para que a comunicação nos dois sentidos não ocorra exatamente no mesmo instante;
- baixo custo de estações base – como são usados múltiplos canais por portadora, o custo pode ser reduzido proporcionalmente;
- handoff eficiente – o handoff pode ser realizado nos instantes em que o transmissor do móvel é desligado, tornando-se imperceptível ao usuário;
- uso eficiente da potência, por permitir que o amplificador de saída seja operado na região de saturação;
- vantagens inerentes a sistemas digitais, como capacidade de monitoração da comunicação quadro a quadro, por exemplo.

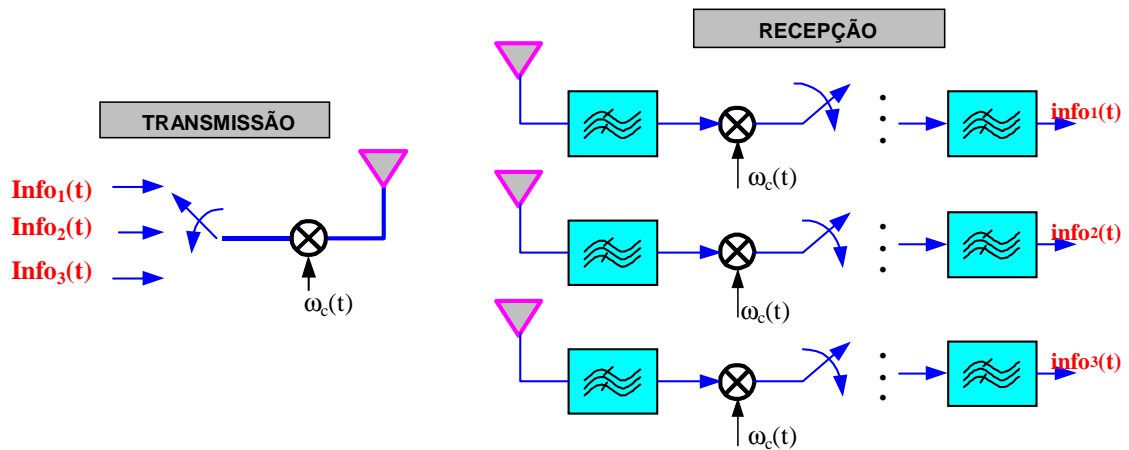


Figura 2.34: Esquema de transmissão e recepção de um Sistema TDMA

A Fig. 4.7 ilustra um quadro (frame) de informação usado em sistemas TDMA. Cada slot é composto de um preâmbulo e bits de informação associados a cada usuário (exemplo de quadro da base para usuários). O preâmbulo tem como função prover identificação, controle e sincronização na recepção. Tempos de guarda são utilizados para minimizar a interferência entre canais (cross talk). Ainda na Fig. 2.35 , cada usuário de um mesmo slot ocupa a sua respectiva faixa de frequências. Uma vantagem do TDMA é que pode-se alocar diferentes números de slots por quadro para cada usuário, provendo uma forma de banda por demanda, de acordo com as necessidades de comunicação (de dados, no caso) de cada usuário.

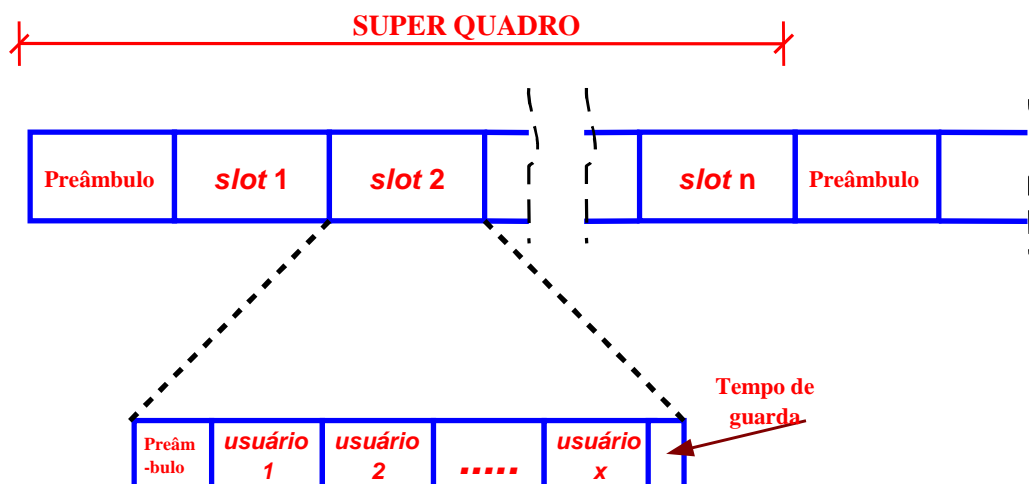


Figura 2.35 : Quadro (frame) do TDMA

2.12.5 CDMA

O Acesso Múltiplo por Divisão de Código foi desenvolvido nos EUA pelo segmento militar. Sua primeira utilização foi para a comunicação entre aviões de caça e rádio controle de mísseis teleguiados. Neste método de acesso as EMs transmitem na mesma portadora e ao mesmo tempo, mas cada comunicação individual é provida com um código particular. Isto garante alta privacidade na comunicação.

Fazendo uma analogia, podemos considerar vários pares de pessoas em uma sala se comunicando, só que cada par fala um idioma diferente que só eles entendem. Quanto mais diferentes os idiomas utilizados nesta sala, menor a probabilidade de confusão na comunicação (interferência entre os códigos). Por exemplo, o português e o espanhol são idiomas bastante parecidos; já o português e o alemão têm bastante diferenças.

A técnica CDMA possui as seguintes características básicas : todos os usuários podem transmitir simultaneamente, nas mesmas frequências e utilizando toda a banda disponível.

Ao invés de se fazer a separação entre usuários através de frequência ou frequência / tempo, a cada usuário é designado um código, de forma que sua transmissão possa ser identificada. Os códigos usados têm baixa correlação cruzada (idealmente zero), ou seja, são ortogonais, fazendo com que as informações contidas nas várias transmissões não se confundam. No outro extremo da comunicação, o receptor tem conhecimento do código usado, tornando possível a decodificação apenas da informação de seu interlocutor. A **Fig. 2.36**, ilustra o sistema.

As conexões simultâneas são diferenciadas por códigos distintos de baixa correlação. Sequências digitais do tipo *pseudo-noise* (PN) são geradas por códigos pseudo-randômicos (PN *codes*) e ortogonais com taxa alta de transmissão por *Direct Sequence*, ou *Direct Spread*. Obtêm-se, então, um sinal de faixa larga por *Spread Spectrum* (espalhamento espectral) pelo fato de se transmitir o sinal em uma taxa maior que a taxa da informação. A largura de faixa padronizada para os serviços móvel celular é de 1.25 MHz. A razão entre a faixa espalhada do sinal e sua faixa original é conhecida como ganho de processamento.

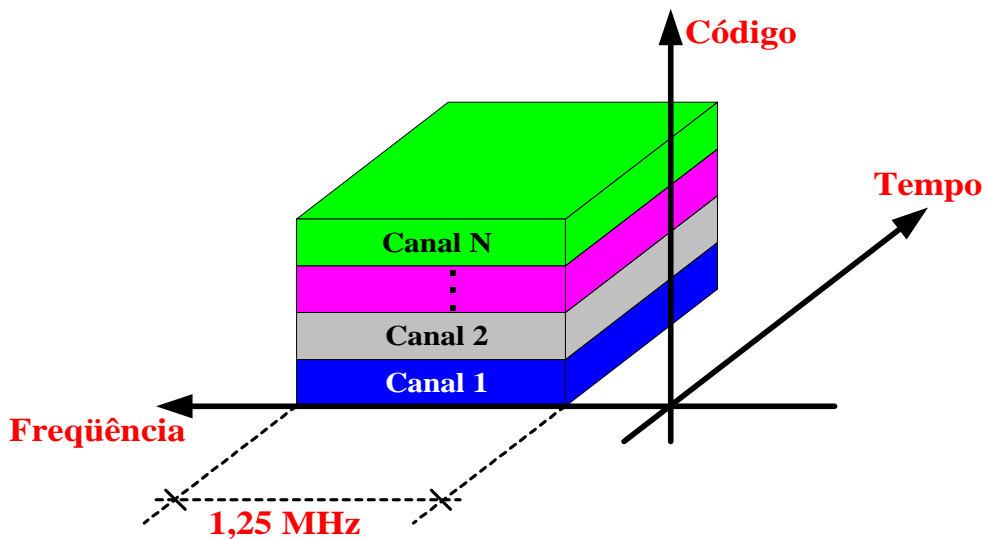


Figura 2.36: Técnica de acesso CDMA

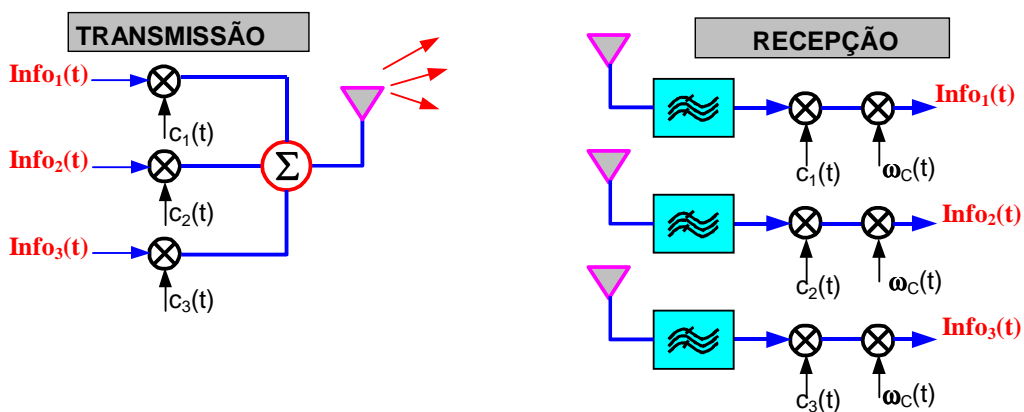


Figura 2.37 : Esquema de transmissão e recepção de um Sistema CDMA

Espalhamento Espectral

Através dessa técnica, o sinal original que se deseja transmitir é espalhado por uma banda muito maior que a necessária a sua transmissão. Esse efeito é obtido, no caso do CDMA (espalhamento espectral por seqüência direta, como será explicado), pela multiplicação do sinal por um código com taxa de transmissão muito superior, de forma que o sinal resultante ocupa uma faixa muito larga. A energia total é mantida, sendo distribuída uniformemente por toda a banda, assemelhando-se ao espectro de ruído branco. Todos os sinais oriundos dos diversos usuários / estações base e o próprio ruído agregado à

transmissão são superpostos no espectro. Através do código apropriado, a informação do usuário desejado é extraída em meio ao “ruído”.

Nessa breve descrição, já é possível observar a alta imunidade intrínseca do espalhamento espectral a ruído e interferência, uma vez que sinais de outros usuários bem como ruído / interferência são tratados da mesma forma e seus danos à informação de determinado usuário são eliminados, teórica e idealmente, quando da aplicação do código de recuperação.

Há duas formas principais de se realizar o espalhamento espectral: Salto em Frequência – Frequency Hopping (FH) e Sequência Direta – Direct Sequence (DS). O que se chama comumente de CDMA é, na verdade, a técnica de múltiplo acesso por sequência direta.

2.12.5.1 Salto em Frequência – Frequency Hopping (FH)

Nessa técnica, a portadora “salta” entre as várias frequências do espectro alocado. A faixa original do sinal é mantida, porém, como a portadora percorre rapidamente uma faixa muito grande de frequências, o efeito final é de espalhamento espectral. Um sistema FH pode ser pensado como um sistema FDMA com diversidade de frequência.

Esta técnica provê um alto nível de segurança, uma vez que um receptor que queira interceptar a comunicação e que não saiba a sequência pseudo-aleatória usada para gerar a sequência de “saltos”, necessitará buscar por frequências de forma muito rápida e acertar a frequência em uso em cada instante (e no slot de tempo exato). Pode apresentar problemas de colisão entre usuários e é crítico quanto à necessidade de sincronização entre transmissor e receptor. A **Fig. 2.38** ilustra essa técnica, através de dois usuários, “X” e “0”.

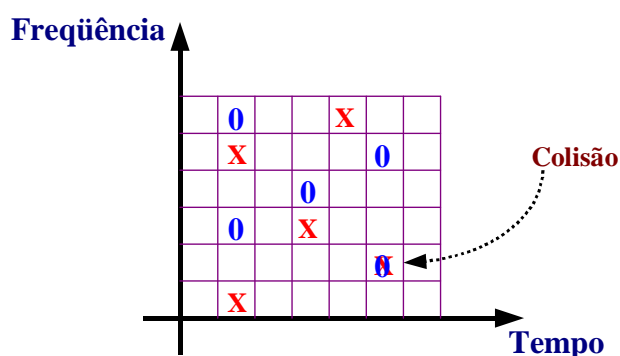


Figura 2.38: Salto em Frequência (Frequency Hopping)

2.12.5.2 Sequência Direta – Direct Sequency (DS)

No CDMA como dito, a técnica baseia-se em associar códigos ortogonais aos usuários, de forma que suas comunicações não interferem entre si mesmo compartilhando o mesmo espectro e tempo. Para determinado usuário, todos os outros são vistos como sendo ruído.

O código utilizado na transmissão deverá ser conhecido na recepção. Na teoria poderíamos tantos assinantes quanto códigos geradores existentes, mas isto não é verdade uma vez que a comunicação se processa em um ambiente ruidoso. Cada EM gera uma parcela do ruído total do sistema que é proporcional ao número de chamadas em curso. Assim, o receptor correlaciona os sinais recebidos com o código gerador multiplicando-os, detectando o sinal desejado que agora se destaca sobre os demais. Um sistema de comunicação utilizando o CDMA é mostrado em blocos na **Fig.2.39**.

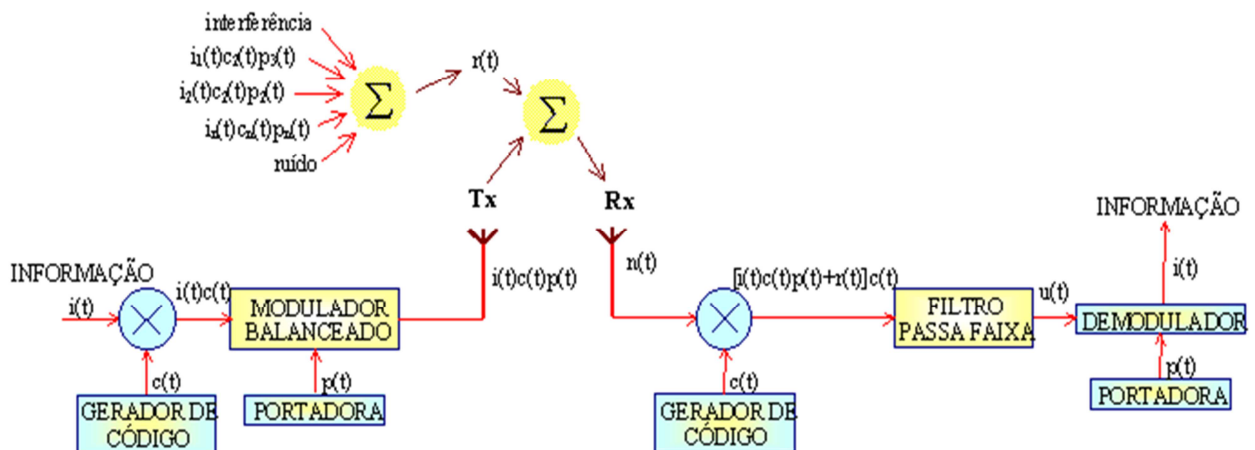


Figura 2.39: Diagrama de comunicação CDMA.

No processo de transmissão pelo método do CDMA a voz é primeiramente codificada, passa por um expensor (*spreader*) que a multiplica por seqüência preestabelecida e única para cada EM, o sinal de espectro agora espalhado é modulado em amplitude e transmitido. Logo abaixo é exemplificado o processo de transmissão e recuperação da informação pelo método CDMA descrito pela **Fig. 2.40**.

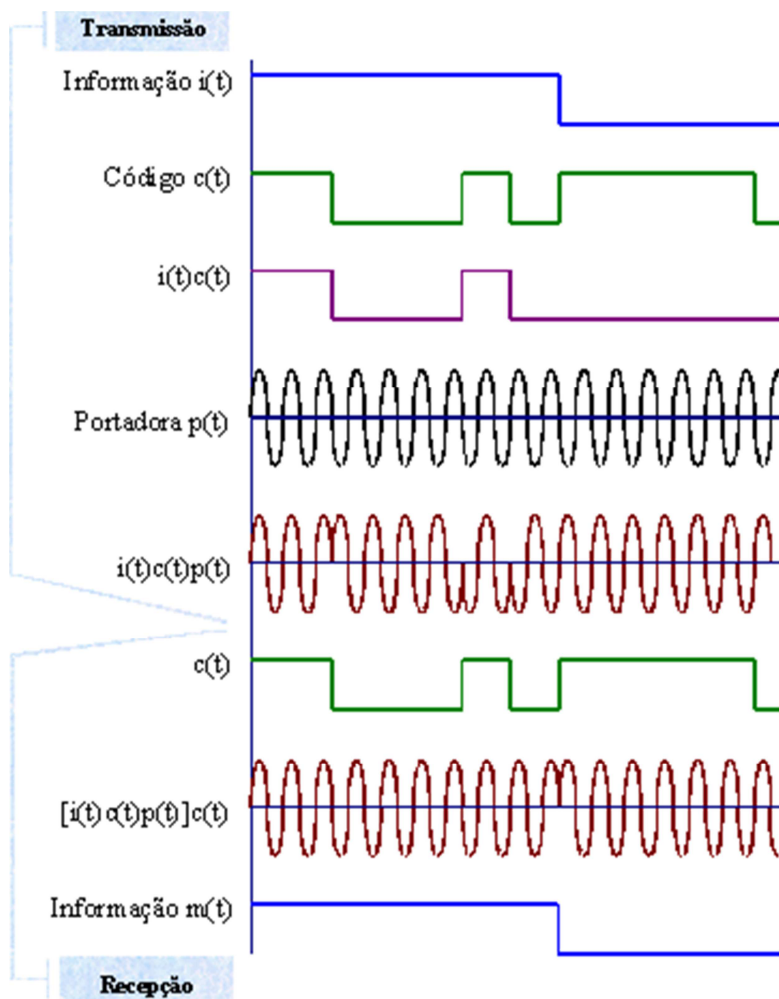


Figura 2.40: Transmissão por espalhamento espectral

O ruído pode ser trabalhado utilizando-se taxas menores nos períodos de silêncio em uma conversação. O controle da potência nas EMs equaliza o nível de interferência provocado por usuários próximos ou distantes da ERB. A utilização de antenas diretivas limitando o ângulo de chegada dos sinais também reduz o nível do ruído.

Verifica-se que o fator limitante do método CDMA é a relação sinal-ruído por EMs. Assim, a capacidade do sistema é determinada pelo nível da relação sinal-ruído e pelo ganho de processamento. Mesmo assim considera-se um ganho da ordem de 8 vezes em relação à capacidade do método FDMA

Os sistemas que utilizam o método CDMA tem como padrão de reuso somente uma célula por *cluster*. Isto dispensa o planejamento de frequências. O que diferencia uma

célula de outra são os conjuntos de códigos utilizados já que todas as células utilizam a mesma frequência portadora. Isto facilita a implementação do procedimento de *soft-handoff*. Neste procedimento a EM cruzando a fronteira entre duas células poderá utilizar os sinais das duas ERBs ao mesmo tempo, transmitindo o mesmo código, combinando os sinais recebidos para melhorar a recepção.

Os sistemas que utilizam o CDMA seguem o padrão IS-95 com taxa de espalhamento a 1,2288 Mbps utilizando uma portadora de 1,25 MHz de faixa. O uso de uma taxa básica de 9,6 kbps implica em maior capacidade do sistema e em menor qualidade de transmissão. Utilizando 14,4 kbps teremos uma menor capacidade do sistema, porém uma melhor qualidade de transmissão. Um fato curioso é que as operadoras podem prover serviços em ambas as taxas com tarifas diferenciadas.

Para a expansão de um sistema baseado em CDMA basta aplicar aceitar uma degradação do grau de serviço pelo aumento do número de usuários no sistema, o que simplesmente aumenta a interferência total, e não implica em nenhuma alteração física do sistema.

Principais características do CDMA são apresentadas abaixo:

- usuários comunicam-se usando as mesmas frequências, simultaneamente, por divisão de código;
- ao contrário do FDMA e do TDMA, o CDMA não tem um limite de capacidade bem definido, e sim o que se chama de limite soft. Ao aumentar o número de usuários, o nível mínimo de ruído é aumentado linearmente, de forma que há um decréscimo gradual de desempenho do sistema, percebido por todos os usuários;
- efeitos do canal nocivos e seletivos em frequência podem ser minimizados pelo fato do sinal original estar espalhado por uma banda muito grande. E ainda, o receptor utilizado – RAKE - permite que se faça um especial tratamento nos sinais recebidos por multipercursos, de maneira que o sinal recebido tenha a melhor qualidade possível;
- no caso de handoff entre células co-canal (todo o espectro é utilizado pelas células – possível no CDMA), o processo pode ser suave. Mais de uma estação

base monitora o nível do móvel e a central de controle pode escolher a melhor versão do sinal, sem necessitar comutar frequências;

- problema perto-distante, caso não haja controle de potência eficiente.
- Sigilo na comunicação.

2.12.6 Comparação entre FDMA, TDMA e CDMA

Uma vantagem básica do CDMA é sua capacidade muito maior de tolerar sinais interferentes, se comparado a FDMA e a TDMA. Como resultado dessa qualidade, problemas de alocação da banda e interferência entre células adjacentes são simplificados, enquanto que sistemas FDMA e TDMA precisam de cauteloso estudo de alocação de frequência e slots para evitar interferência, exigindo filtros sofisticados e tempos de guarda entre slots. Aumento de capacidade no CDMA pode ser conseguido através do fator de atividade de voz, utilizando-se os instantes de tempo nos quais não é detectada voz para prover aumento de usuários atendidos (utilização de *vocoders* eficientes).

Em termos de capacidade, teoricamente o CDMA possui uma vantagem sobre sistemas analógicos por um fator de 20. Por outro lado, toda a vantagem teórica do CDMA exige que uma série de requisitos como, controle de potência eficiente, ortogonalidade entre códigos e necessidade de sincronismo perfeito (bases são sincronizadas por GPS – Sistema de Posicionamento Global, e passam o sincronismo aos móveis), entre outros, sejam atendidos. Na prática, dada a dificuldade de se implementar todos os requisitos, sistemas CDMA em geral não exploram toda a capacidade teórica prevista para essa técnica, embora os avanços tecnológicos os levem cada vez mais próximos a esse ideal.

CAPÍTULO 4

ASPECTOS DE PROPAGAÇÃO EM AMBIENTE MÓVEL CELULAR

O projeto de um sistema de comunicações móvel celular têm a finalidade de prover acesso ao serviço em toda a área proposta ao usuário, e isto utilizando o menor número possível de ERBs. Mas nem sempre é possível uma cobertura de 100% da área proposta. Assim, o projeto deve considerar a cobertura adequada de regiões com tráfego expressivo e ser flexível nas regiões de pouco tráfego.

O primeiro passo para o projeto de cobertura é definir que área geográfica onde acesso ao serviço será possível. Quanto maior a área de cobertura, maior a mobilidade para os usuários do sistema, conseqüentemente será maior também a quantidade de ERBs a serem utilizadas. Portanto, um estudo detalhado da área a ser coberta nos aspectos de topografia e tráfego é fundamental, como já foi dito anteriormente, para a elaboração de um projeto eficaz e economicamente viável.

Com relação a propagação do sinal de rádio móvel, o terreno pode influenciar sob três aspectos:

- **Obstrução:** Obstáculos como montanhas, prédios, árvores ou a própria superfície terrestre podem bloquear parcialmente o feixe causando a atenuação por obstrução.
- **Reflexão:** Regiões razoavelmente planas como mares, lagos e planícies podem refletir o feixe de ondas com oposição de fase em relação ao sinal direto, causando a atenuação por interferência.
- **Difração:** Gumes como o cume de montanhas, canto prédios, ou a própria pessoa podem desviar parcialmente o feixe causando a difração do sinal.

A cobertura do sinal pode ser simulada através de modelos de predição que serão apresentados a seguir. Pela necessidade de conhecimento do tipo de terreno no qual o sinal vai ser transmitido, no estudo de propagação do sinal de rádio móvel, considera-se a área de serviço sob as seguintes condições:

Estruturas Artificiais	Terreno
Em área aberta	Sobre terreno plano
Em área suburbana	Sobre terreno montanhoso
Em área urbana	Sobre água
---	Através de folhagem

Tabela 4.1 : Condições de Propagação

A localização de uma ERB baseado na predição de cobertura tem índices de acerto maiores que 50 % dependendo do algoritmo de predição. Os planos de urbanização, as áreas sob litígio, dentre outros fatores, impossibilitam o posicionamento de algumas ERBs. Neste caso deve-se escolher um novo local e realizar novos estudos de predição de cobertura.

4.1 Desvanecimento (Fading)

Os modelos de predição de cobertura fornecem o valor médio da potência recebida em função dos parâmetros que mais fortemente influenciam a propagação do sinal rádio móvel. Contudo, uma infinidade de fatores existem que pode provocar o desvio instantâneo do sinal com relação ao seu valor médio (mobilidade do receptor, mudanças de ambientes, etc.). Para se levar em conta as variações provocadas por fenômenos aleatórios, o sinal de rádio móvel é tratado de forma estatística. As variações aleatórias caracterizam o fenômeno de desvanecimento.

A variação da envoltória do sinal recebido em um ambiente móvel celular segue uma lei aleatória com uma distribuição Rayleigh. Uma abordagem comum na descrição do desvanecimento dos sinais de rádio durante sua propagação é:

$$S(x) = M(x) + R(x) \quad \text{Eq.4.1}$$

onde:

$S(x)$ = sinal rádio móvel com desvanecimento,

$M(x)$ = desvanecimento de longo prazo (média do sinal),

$R(x)$ = desvanecimento de curto prazo.

Logo, existem dois tipos de desvanecimento:

1. O de longo prazo ou lento
2. O de curto prazo ou rápido

O desvanecimento de longo prazo relaciona-se com a variação da média global do sinal devido ao sombreamento causado por obstáculos, ocorrendo em intervalos de tempo de dezenas de comprimento de onda (para 900 MHz, estes intervalos são da ordem de vários, 8-10, metros). O desvanecimento de curto prazo relaciona-se com a média local do sinal devido a propagação por múltiplos percursos, ocorrendo em intervalos de aproximadamente meio comprimento de onda (para 900 MHz, estes intervalos seriam da ordem de 17 cm).

O desvanecimento de longo prazo está relacionada com a atenuação média do sinal com a distância entre transmissor e receptor.

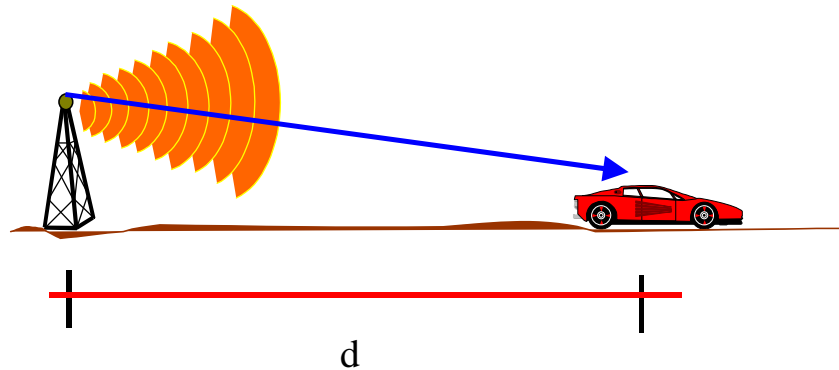


Figura 4.2: Desvanecimento de longo prazo

Portanto, o sinal rádio móvel em um sistema celular pode ser considerado como a soma de um sinal que apresenta desvanecimento lento, em função da distância, e um sinal que apresenta desvanecimento rápido, em função dos multipercursos e obstruções.

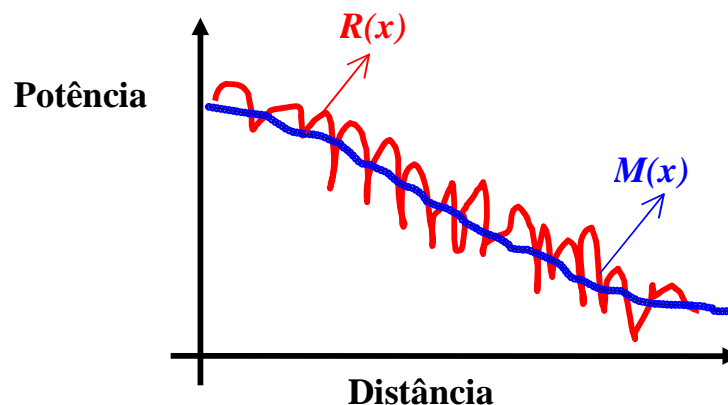


Figura 4.3 – Caracterização de um sinal rádio móvel com desvanecimento.

Devido à grande variabilidade das estruturas encontradas em canais de rádio móvel terrestres, a uma mesma distância de um transmissor a potência recebida pode ser variável. Assim, normalmente o telefone celular não recebe os sinais diretamente da antena da ERB, mas sim refletidos, ao se misturarem, resultam em um sinal de intensidade variável, provocando o aparecimento de regiões, no espaço, onde o sinal sofre grandes atenuação e outras, onde existe um pequeno reforço. A atenuação acontece nos pontos em que sinais refletidos se interferem de forma destrutiva. O ganho acontece onde os sinais estão em fase.

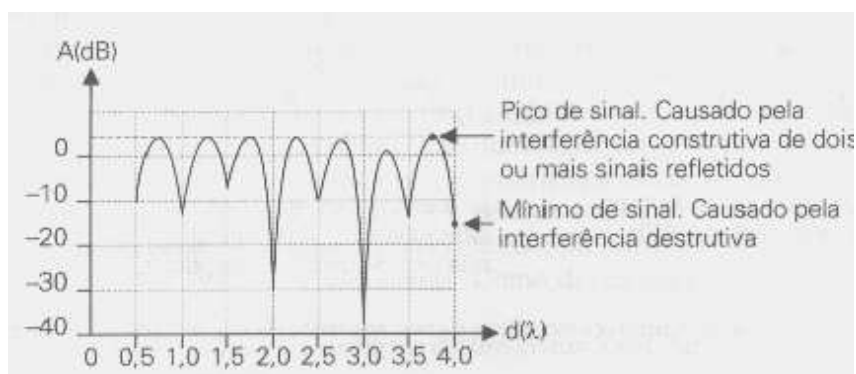


Figura 4.4 – Variação da intensidade do sinal de RF no meio urbano.

Na Fig. 4.4, pode-se notar que os pontos de mínima e máxima intensidade repetem-se a intervalos de meia onda ($\lambda/2$). No caso do telefone celular, isso equivale a cerca de 17,8 cm de separação em 800 MHz. Este tipo de desvanecimento é conhecido como Desvanecimento rápido ou ainda por desvanecimento Rayleigh, Fast Fading e Rayleigh Fading. A causa principal são as múltiplas reflexões dos sinais recebidos de várias vias que se alternam em fase e fora de fase

Quando grandes obstáculos, como morros e edifícios por exemplo, se situam entre o transmissor e o receptor de um sistema de comunicação móvel, aparece o efeito denominado sombreamento (*shadowing*), que pode provocar consideráveis “vales” na potência recebida e interromper instantaneamente a comunicação.

4.2 – Multipercurso e Efeito Doppler

Os canais associados a sistemas de comunicação móvel podem ser agrupados em dois tipos: o canal via satélite e o canal terrestre.

O canal de comunicação via satélite é um canal onde predominam fortes atenuações e na maioria das vezes atrasos de propagação do sinal.

O canal de comunicação terrestre tem como características principais a propagação por multipercurso e o efeito Doppler. O sinal recebido pelo terminal móvel é composto pela soma (vetorial) dos vários sinais oriundos de diferentes caminhos entre o transmissor e o receptor. Estes multipercursos são formados pela reflexão e/ou difração e/ou espalhamento

do sinal transmitido em estruturas próximas ao receptor, tais como edifícios, árvores, postes, morros, etc.

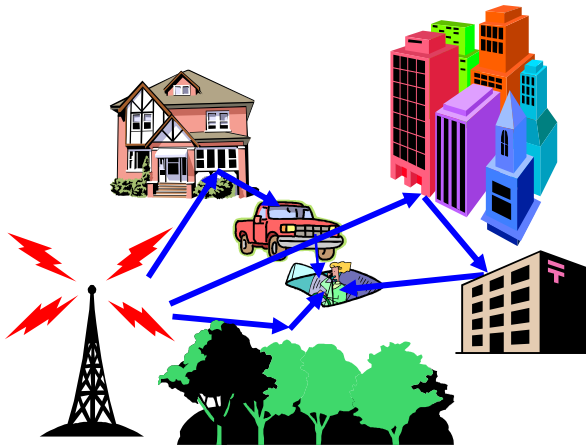


Figura 4.5 : Efeitos da Propagação de Multipercursos

O sinal propagado pela estação base chega à estação móvel na forma de múltiplos sinais espalhados pelos diversos objetos encontrados pelo caminho, constituindo-se este fenômeno de multipercursos. A soma dos vários sinais do multipercursos pode resultar em uma interferência construtiva ou destrutiva do sinal recebido. Com o movimento, as estruturas em torno do receptor vão se modificando e, por consequência, as interferências passam constantemente da situação construtiva para a destrutiva, fazendo com que a intensidade do sinal recebido varie rapidamente.

O espalhamento destes atrasos, conhecido como *delay spread*, varia de décimos de microssegundos a alguns microssegundos, dependendo da quantidade de espalhadores encontrados no caminho. Em ambientes urbanos, o *delay spread* é da ordem de 2,5 – 5 μ s, enquanto em ambientes suburbanos, ele é da ordem de 0,2-0,5 μ s. Note que sinais chegando dentro deste intervalo são detectados como fazendo parte do mesmo sinal, ou seja, sinais dentro destes intervalos guardam uma certa correlação (grau de similaridade) entre si. O inverso do *delay spread* define a largura de banda, conhecida como *largura de banda coerente*, dada em radianos por segundo, em que os sinais são considerados os mesmos.

A banda coerente, dada em hertz, é, assim igual a $1/(2\pi T)$, onde T é o *delay spread*. Sinais dentro da largura de banda coerente sofrem desvanecimento não seletivo, enquanto sinais fora da largura de banda coerente sofrem desvanecimento seletivo. No primeiro caso,

todas as frequências compondo o sinal são igualmente afetadas pelo desvanecimento. Já no segundo caso, as frequências são afetadas diferentemente pelo desvanecimento.

O Efeito Doppler é outro fenômeno fonte de distorção no sinal de rádio de sistemas móveis. Caracteriza-se pelo desvio de frequência devido à velocidade relativa entre o transmissor e o receptor. Quando o usuário se aproxima da ERB, ele capta um número maior de oscilações em um período de tempo, ou seja, o mesmo sinal é captado com uma frequência um pouco maior.

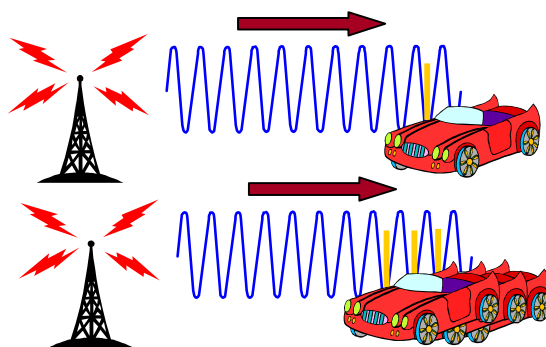


Figura 4.6 : Efeito Doppler devido a propagação

Exemplo: Um móvel se afastando com velocidade 36 km/h (10 m/s) capta um sinal na faixa de 900MHz com um desvio de 30Hz.

$$f_D = f \cdot \frac{v}{c} \quad \text{Eq. 4.2}$$

onde c é a velocidade de propagação, v é a velocidade de deslocamento da EM, f é a frequência do sinal transmitido e f_D é o desvio de frequência.

Quanto maior a velocidade de movimentação, mais rápidas serão as variações do sinal recebido. Esse fenômeno de alteração na intensidade do sinal recebido é chamado desvanecimento por multipercursos (desvanecimento de Rayleigh).

4.3 Modelos Teóricos de Propagação (Cálculo da Média do Sinal)

A cobertura provida por uma célula depende de parâmetros pré-definidos como, potência de transmissão, altura, ganho e localização de antena. Vários outros fatores como, presença de montanhas, túneis, vegetação e prédios afetam de forma considerável a

cobertura RF de uma base. Esses últimos fatores, obviamente, não são definidos pelo projetista de sistema e variam de uma região para outra.

Devido às características variáveis e complexas das diversas regiões a serem cobertas por sistemas celulares, vários modelos de predição de propagação foram e têm sido desenvolvidos, com a intenção de fornecer estimativas de atenuação de sinal nos diversos ambientes.

A perda de propagação predita pelos modelos pode ser, de forma geral, representada pela seguinte expressão:

$$L \text{ (dB)} = L_0 \text{ (dB)} + \alpha 10 \log (d/d_0) \quad \text{Eq. 4.3}$$

onde:

d_0 - é uma distância de referência

d - é a distância total de cobertura

α - é a constante de perda de propagação (função do ambiente)

L_0 - é a perda na distância de referência d_0

L - é a perda de propagação

4.3.1 Modelo do Espaço Livre:

Uma fonte isotrópica emite ondas de rádio com a mesma intensidade em todas as direções, que carregam uma determinada quantidade de energia. Quando não há obstáculos (espaço livre), pode-se imaginar que esta energia fica distribuída uniformemente na superfície de uma esfera formada pelas frentes de onda.

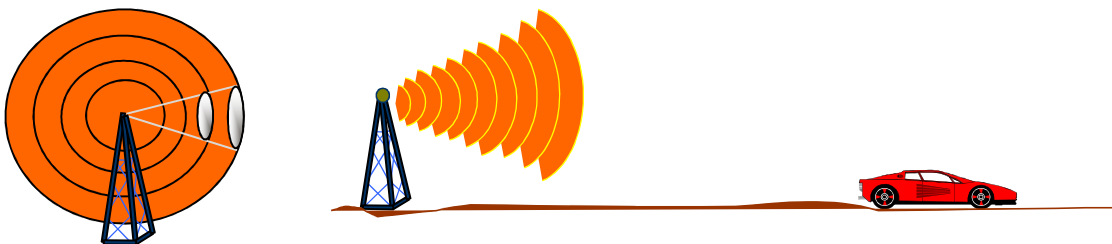


Figura 4.7 – Modelo de Espaço Livre

Pode-se dizer que na propagação por espaço livre:

- Ocorre sem reflexões ou obstruções
- Espalhamento do sinal é o único mecanismo

- Energia se conserva
- Sinal degrada 20 dB/década

Como já foi mencionado a propagação de ondas eletromagnéticas no espaço livre é feita sem obstáculos. Para esta situação ideal, pode-se calcular as perdas de potência do sinal em decibéis a partir da equação:

$$L = -10\log(G_t) - 10\log(G_r) + 20\log(f) + 20\log(d) + 32,44 \quad \text{Eq. 4.4}$$

onde L é a perda calculada em dB, f é a frequência do sinal transmitido em MHz, d é a distância entre o transmissor e o receptor em Km e G_t e G_r são os ganhos das antenas transmissora e receptora respectivamente.

4.3.2 Modelo do Terreno Plano:

Um modelo para o cálculo de perdas do sinal em terrenos planos ou quase planos é aquele que considera o sinal no receptor como uma combinação de uma onda que se propaga por um caminho direto, e uma onda refletida no solo. A equação que determina as perdas de potência do sinal em decibéis é a seguinte:

$$L = -10\log(G_t) - 10\log(G_r) - 20\log(h_t h_r) + 40\log(d) \quad \text{Eq. 4.5}$$

onde h_t e h_r são as alturas das antenas transmissora e receptora dadas em metros e d é a distância entre as antenas em metros.

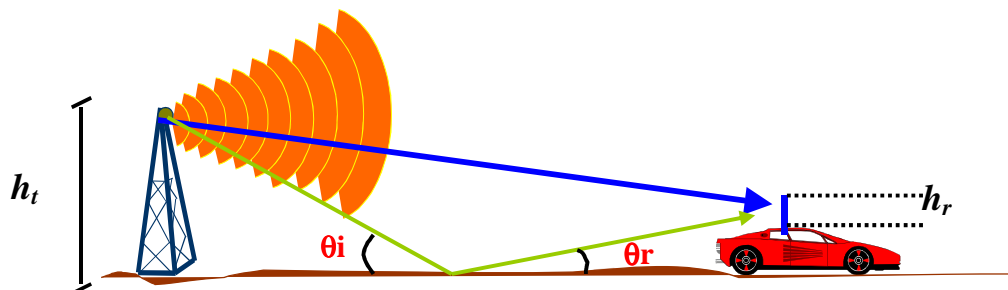


Figura 4.8 – Modelo de Terreno Plano

Exemplo 3.2:

Dadas as condições a seguir, calcular a potência do sinal no receptor em dB_m , para uma distância de 5 km:

a) Admitindo:

- Propagação no espaço livre

- Terreno Plano;

Frequência de operação: $f = 900 \text{ MHz}$;

Antena Tx: 50m e 10 W;

Antena Rx: 1,7m.

* Considerar o ganho das antenas Tx e Rx unitário (0dB)

b) Calcular a área de cobertura da antena para os seguintes dados:

Admitir, Propagação no espaço livre;

$f = 900 \text{ MHz}$;

$P_t = 10 \text{ W}$; $P_{r(\text{MIN})} = -70 \text{ dBm}$;

Ganho(Tx e Rx) = 1 dB e 0 dB.

4.3 MODELOS DE PREDIÇÃO DE COBERTURA

A propagação de energia em um ambiente rádio móvel é fortemente influenciada por diversos fatores, que incluem os relevos naturais e artificiais, a frequência de operação, alturas das antenas, e muitos outros. A caracterização precisa da variabilidade do sinal nestes ambientes é impossível. Métodos determinísticos, como aqueles descritos pelos modelos do espaço livre, terreno plano e difração, são muito restritos, não encontrando aplicação imediata em comunicações móveis.

Os modelos de predição em uso surgiram como combinação dos métodos determinísticos e medidas de campo. Os modelos empíricos resultantes incluem diversos parâmetros, muitos dos quais carecendo de justificativas teóricas, que deverão ser ajustados com medidas de campo.

No caso de antenas que são montadas acima das edificações, a propagação é determinada pelos fenômenos da difração e espalhamento da onda no topo dos edifícios e na vizinhança da estação móvel. Para antenas situadas abaixo das edificações, a propagação é determinada por difração e espalhamento em volta dos edifícios. De acordo com a posição da antena da estação base e tamanho da área coberta, as células podem ser classificadas em macrocélulas, minicélulas, e microcélulas. Macrocélulas e minicélulas são determinadas por antenas montadas acima das edificações, e seus raios ficam na ordem de vários quilômetros para as macros, e poucos (1 a 3) para as minis. microcélulas são definidas para antenas montadas abaixo das edificações e possuem raios de algumas centenas de metros.

Os diversos modelos de predição variam grandemente entre si. Desta forma, modelos de predição diferentes aplicados à mesma região certamente darão resultados diversos. Da mesma maneira, os mesmos modelos, porém implementados por companhias distintas, também darão resultados diversos mesmo aplicados ao mesmo ambiente. Em outras palavras, uma região dita coberta por algum algoritmo (ou companhia). Só medidas de campo poderão efetivamente comprovar os diversos métodos.

A perda de percurso varia com a distância d na forma d^α , com $2 \leq \alpha \leq 6$, assumindo tipicamente o valor 4. Da mesma forma, a perda é proporcional a

f^x , onde $2 \leq x \leq 3$ e f é a frequência de operação. Ainda, contasse um ganho proporcional à altura das antenas da estação rádio base e do móvel, sendo que com relação

a primeira, este ganho varia ao quadrado e com a segunda, o comportamento assume forma linear. Diversos outros fatores, como tipos de área (urbana, suburbana, aberta, rural, etc.), parâmetro de urbanização (altura média dos edifícios, distância entre edifícios, porcentagem da área ocupada por edifícios, largura das ruas, etc.), presença de túneis, área verde, água, e outros, influenciam sobremaneira os cálculos de predição.

Dos modelos disponíveis, os mais utilizados são o de Okumura / Hata e o de Lee, ambos para macrocélulas, e menos especificamente para minicélulas, e o COST 231, para minicélulas e microcélulas. A seguir veremos resumidamente estes modelos de predição.

4.3.1 Modelo de Okumura / Hata

O modelo de Okumura é baseado em medidas de campo tomadas na área de Tóquio, Japão. Através destes dados experimentais, Okumura fez um modelo baseado em gráficos relacionando perda de percurso com a distância, frequência de operação, altura da antena transmissora, altura da antena receptora e outros. O modelo de Okumura é certamente o mais completo de predição e tem se tornado uma referência de comparação para os demais métodos (como por exemplo o COST 231).

Devido ao modelo de Okumura basear-se totalmente em ábacos (gráficos), a sua forma automatizada em computador torna-se muito complexa. Com o intuito de facilitar a implementação computacional do modelo de Okumura, Hata desenvolveu uma série de fórmulas empíricas que descrevem com boa precisão as principais informações gráficas contidas no modelo de Okumura, e o método resultante passou a ser conhecido como Okumura / Hata. Estas fórmulas apresentam desvios que nunca ultrapassam 1 dB, mas existem restrições quanto a faixa de aplicabilidade dos parâmetros de entrada, como será mostrado a seguir.

Áreas Urbanas:

$$L_{HATA} = 69,55 + 26,16 \log(f) - 13,82 \log(h_t) - a(h_r) + (44,9 - 6,55 \log(h_t)) \log(d) \quad \text{Eq.4.6}$$

Onde:

$$150 \text{ MHz} \leq f \leq 1500 \text{ MHz} ; 30 \text{ m} \leq h_t \leq 300 \text{ m} \quad \text{e} \quad 1 \text{ Km} \leq d \leq 20 \text{ Km}$$

Áreas Suburbanas:

$$L_{HATA} = L_{HATA}(Urbana) - 2 \log^2 \left(\frac{f}{28} \right) - 5,4 \quad \text{Eq.4.7}$$

Áreas Abertas (ou Rurais):

$$L_{HATA} = L_{HATA}(Urbana) - 4,78 \log^2(f) + 18,331 \lg(f) - 40,94 \quad \text{Eq.4.8}$$

Cálculo do $a(h_r)$ (Fator de correção)

Cidade Pequena / Média:

$$a(h_r) = (1,1 \log(f) - 0,7) h_r - (1,56 \log(f) - 0,8) \quad (\text{dB}) \quad \text{Eq.4.9}$$

$$1 \leq h_r \leq 10 \text{ m}$$

Cidade Grande:

$$a(h_r) = 8,29 \log^2(1,54 h_r) - 1,1 \quad f \leq 300 \text{ MHz} \quad \text{Eq.4.10}$$

$$a(h_r) = 3,2 \log^2(11,75 h_r) - 4,97 \quad f \geq 300 \text{ MHz} \quad \text{Eq.4.11}$$

onde:

h_t = altura da antena transmissora (**obs: a altura da antena inclui a torre, ou seja, é a altura total**)

h_r = altura da antena receptora

f = frequência de operação

d = distância a ser coberta

Com o conjunto de fórmulas apresentadas por Hata, pode-se observar que estas tem uma boa aplicabilidade prática, pois permite uma implementação bastante simples computacionalmente.

4.3.2 COST 231 e Hess

Devido a grande difusão da formulação de predição de propagação de sinais de rádio de Okumura / Hata, alguns trabalhos foram desenvolvidos com o objetivo de ampliar a faixa de aplicabilidade do modelo. Uma destas extensões apresentada é um trabalho desenvolvido por um grupo Euro-COST 231 que propôs um fator de correção para ampliar a faixa de frequência.

$$K_{COST231} = -23,25 + 7,74 \log(f) \quad \text{Eq.4.12}$$

O fator $K_{COST231}$ deve ser somado às perdas calculadas pela formulação de Hata original quando o sistema opera em frequências na faixa de 1,5 a 2,0 GHz.

Outra extensão do modelo de Okumura / Hata é apresentada por Hess, que amplia a faixa de aplicabilidade na distância:

$$K_{20Km} = (d - 20) \left[0,31082 + 0,1865 \log \left(\frac{h_t}{100} \right) \right] \quad \text{Eq.4.13}$$

O fator acima é somado quando $d > 20 \text{ Km}$, e

$$K_{64Km} = -0,174(d - 64,36) \quad \text{Eq.4.14}$$

é somado quando $d > 64,36 \text{ Km}$.

4.3.3 Modelo de Lee

O modelo de Lee é baseado na bem aceita hipótese pela qual a razão entre as potências recebidas em dois pontos distintos é proporcional ao inverso da razão entre as distâncias respectivas destes pontos à estação base elevada ao fator α .

$$\frac{P_{di}}{P_{dj}} = \left(\frac{d_i}{d_j} \right)^{-\alpha} \quad \text{Eq.4.15}$$

Expressa em decibels, temos:

$$10 \log \left(\frac{P_{di}}{P_{dj}} \right) = -\alpha 10 \log \left(\frac{d_i}{d_j} \right) \quad \text{Eq.4.16}$$

Note que a curva $10 \log (P_{di} / P_{dj})$ versus $10 \log (d_i / d_j)$ é uma linha reta com inclinação $-\alpha$. Desta maneira, o parâmetro α é definido como coeficiente angular da reta de perdas em uma morfologia. O termo morfologia é aplicado na designação dos obstáculos de propagação não relacionados à topografia do terreno (elevações). Como exemplo pode-se citar as construções feitas pelo homem (edificações em geral) e pela natureza (vegetação, rios lagos). A morfologia de uma determinada região pode ser descrita em vários níveis de precisão. Pode-se por exemplo descrever uma cidade prédio por prédio, casa por casa, rua por rua. Outra forma de descrever a mesma cidade seria através de área urbana, área

suburbana, área urbana densa, etc. Quanto maior o grau de precisão destas informações melhor será a precisão da predição da área de cobertura de uma antena.

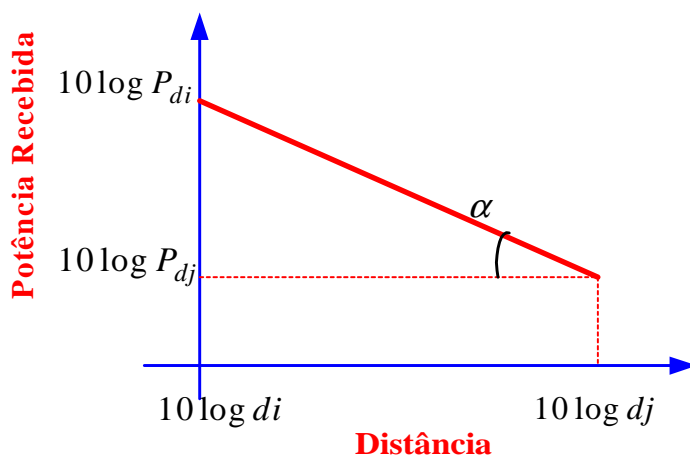


Figura 4.9: Uma típica curva de perda por distância

Desta forma tendo-se a potência a uma determinada distância, a potência a uma outra distância é determinada pela proporção citada. O fator α pode ser obtido através de medidas de campo utilizando a mesma proporção mencionada anteriormente, isto é, medem-se as potências em dois pontos cujas distâncias à estação base são conhecidas e procede-se à razão para se determinar o fator α .

De fato uma série de medidas deve ser realizada para, através de um processo de regressão linear, determinar o valor médio deste fator. Alternativamente pode-se utilizar alguns valores já conhecidos para certas localidades e publicados na literatura. Alguns exemplos são apresentados na Tabela a seguir.

<i>LOCAL (Morfologia)</i>	<i>FATOR α</i>
<i>Espaço livre</i>	<i>2,0</i>
<i>Área Aberta</i>	<i>4,35</i>
<i>Área Suburbana</i>	<i>3,84</i>
<i>Área Urbana(cidade Newark)</i>	<i>4,31</i>
<i>Área Urbana(cidade Filadélfia)</i>	<i>3,68</i>
<i>Área Urbana(cidade Tóquio)</i>	<i>3,05</i>
<i>Área Urbana(cidade Nova Iorque)</i>	<i>4,8</i>

Tabela 4.2: Medidas de campo do fator α para algumas Áreas

O expressão geral do modelo de Lee, incluem fatores de compensação de frequências, que são calculados empiricamente e que resultados experimentais sugerem valores entre 20 a 30 dB. Existem também os fatores de ajustes para as condições de operação, como por exemplo altura das antenas transmissora e receptora bem como o ganho delas, que juntos estes fatores se somam a para o cálculo total da perda de propagação.

Conclusão:

De fato, cada empresa, após o procedimento de rádio *survey* no projeto celular, passa a formar sua própria base de dados. Além do cálculo básico da perda de percurso, como descrito anteriormente deve-se acrescentar as perdas por difração, na presença de obstáculos, ou por reflexão, na ausência de obstáculos.

Cabe aqui uma definição de método:

“Um método consiste em um procedimento ou programa que regula previamente uma série de operações que devem ser realizadas em vista de um resultado determinado”

E a definição de modelo:

“Um modelo é um conjunto de hipóteses sobre a estrutura ou comportamento de um sistema físico, pelo qual se procura explicar ou prever, dentro de uma teoria científica, as propriedades do sistema”

Desta forma pode-se concluir, que um método usa modelos para implementar um determinado procedimento.

No caso dos métodos empíricos de predição estes são compostos pela combinação de três modelos, claro que também empíricos:

- de propagação
- de difração
- de reflexão

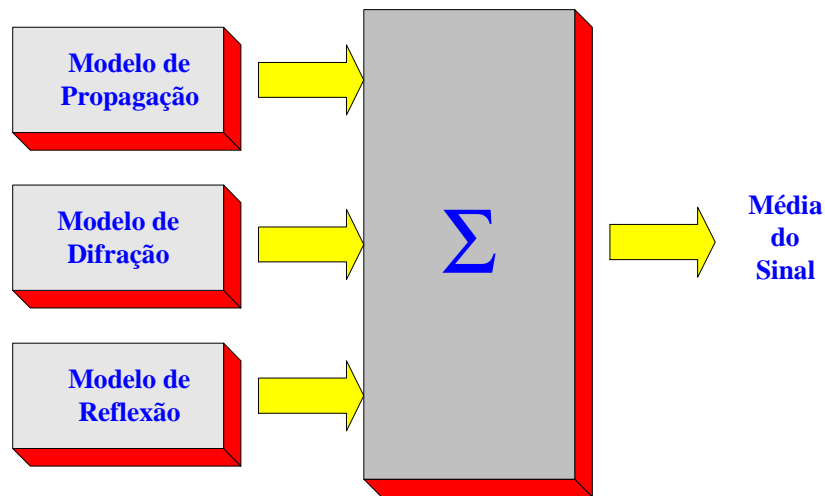


Figura 4.10 – Método de Predição de Cobertura

Os modelos de Difração e Reflexão não serão apresentados neste curso.

Exercícios

- 1) Pesquisa: qual a influência do handoff na capacidade de tráfego de um sistema celular?
- 2) Que tipos de desvanecimento estão presentes no ambiente móvel ? Explique.
- 3) Defina *delay spread*.
- 4) Defina largura de banda coerente?
- 5) Calcule a largura de banda coerente para um *delay spread* de 10 μ s.
- 6) O que é o fenômeno do desvio *Doppler*? Calcule o desvio *Doppler* para uma velocidade de 120 Km/h para uma frequência de 1,8 GHz (frequência de PCS).
- 7) Como varia a atenuação do sinal no ambiente móvel em função da distância? E em função da frequência?