



# Introdução aos Sistemas Celulares & WLL

Prof. Dayani Adionel Guimarães

[dayani@inatel.br](mailto:dayani@inatel.br)

## Conteúdo

Componentes de um sistema celular,  
Princípios básicos de telefonia celular,  
*Overview* dos principais padrões para sistemas  
de comunicações móveis. Introdução ao WLL.

## Objetivo do curso

Fornecer aos participantes uma abordagem básica dos principais conceitos e elementos de rede dos sistemas Celulares e WLL, bem como uma visão geral de alguns dos principais padrões empregados nesses sistemas.

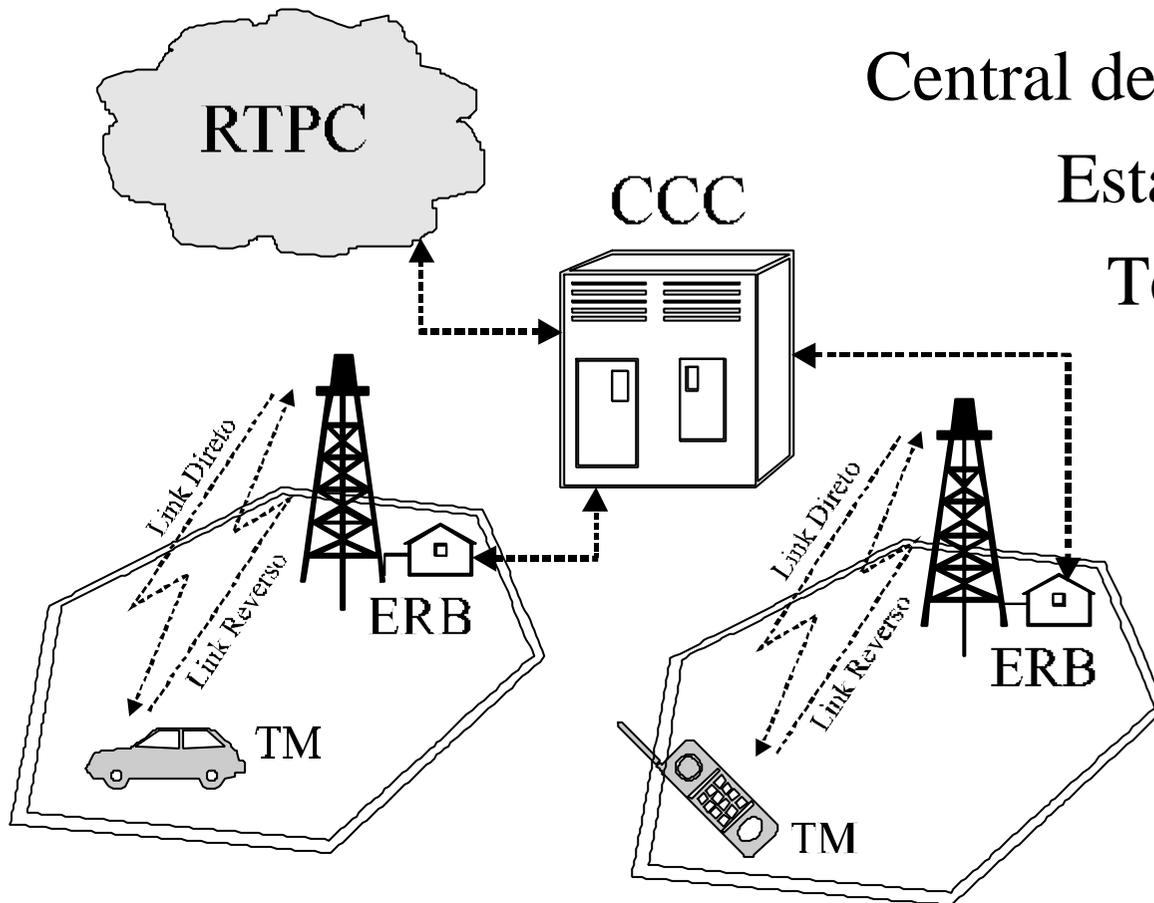
# Sistema Celular - Conceitos

Componentes básicos:

Central de Comutação e Controle

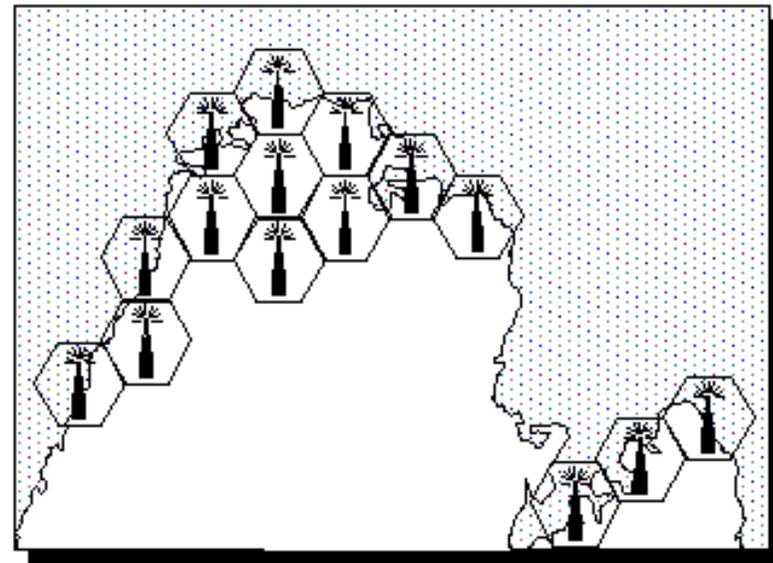
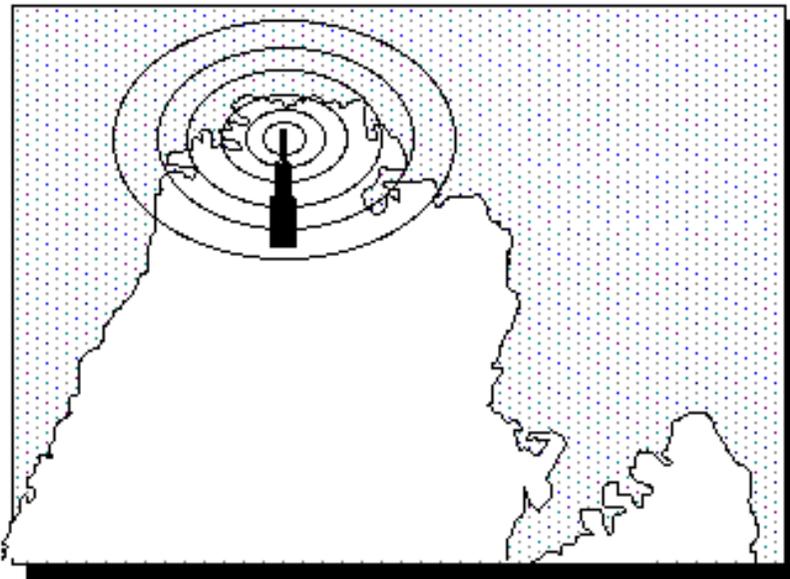
Estação Rádio Base

Terminal Móvel

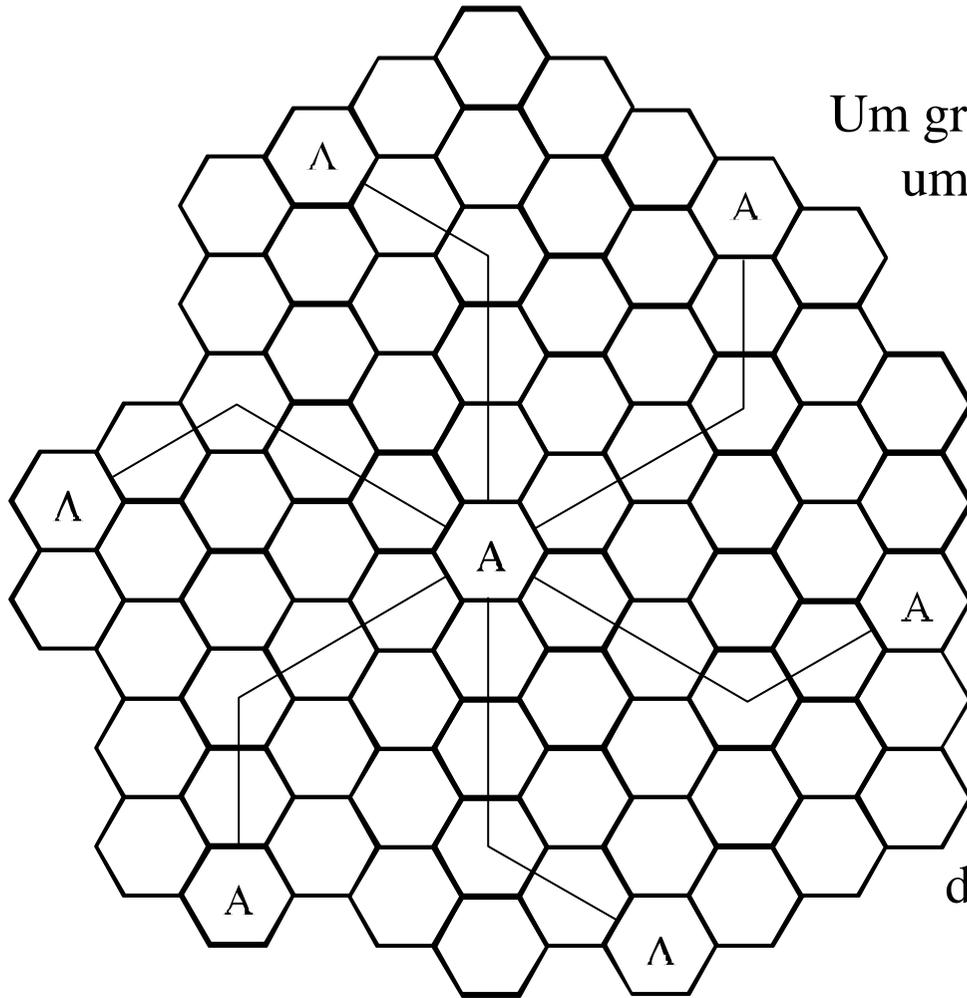


## Sistema Celular - Conceitos

Sistemas antigos - grande área de cobertura com estações rádio base de alta potência; hoje - cobertura por células menores.



## Reuso de Frequências

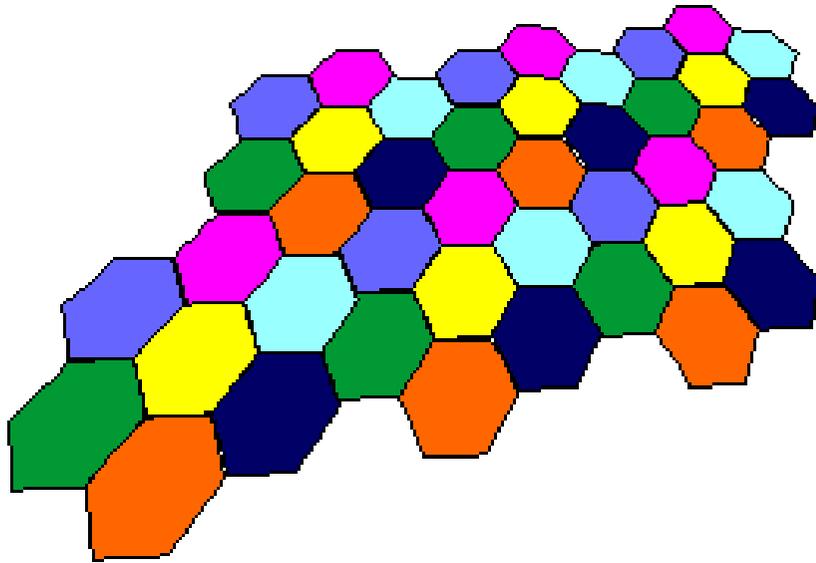


Um grupo de canais utilizado em uma célula pode ser reutilizado nas células co-canais se estas se encontram a uma distância tal que a relação portadora-interferência no sistema seja superior à mínima necessária para uma qualidade aceitável do serviço. Para o caso de telefonia, essa qualidade é determinada por pesquisa de opinião.

## Reuso de frequências

- Um dos principais conceitos em sistemas celulares.
- Usuários em diferentes áreas geográficas podem simultaneamente utilizar as mesmas frequências.
- Aumenta de forma considerável a eficiência espectral do sistema e, por consequência, a sua capacidade (nº de usuários).
- Causa interferência co-canal (compromisso de qualidade do *link* x capacidade de usuários).

## Cluster x Reuso de frequências



- *Cluster*: conjunto das  $N$  células que utilizam um conjunto de frequências disponíveis. No desenho  $N = 7$ .

- Células adjacentes utilizam diferentes conjuntos de frequências.

## Sistemas celulares: ruído x interferências

- A capacidade dos sistemas celulares é essencialmente limitada pelas interferências, não pelo ruído.
- Por análise geométrica do *lay-out* exagonal, um *cluster* somente pode ter  $N = i^2 + ij + j^2 = 1, 3, 4, 7, 12, \text{etc.}$  células igualmente espaçadas de suas co-células, onde  $i$  e  $j$  são inteiros positivos.
- Em telefonia celular escolhe-se  $N$  para uma dada qualidade aceitável do *link* nos limites das células.

## Interferências

- O reuso de frequências faz com que em uma dada área de cobertura existam várias células que utilizam o mesmo conjunto de frequências. Estas células são chamadas de co-células e a interferência entre sinais dessas células é denominada de *Interferência Co-canal*.
- A interferência resultante de sinais adjacentes em frequência ao sinal desejado é chamada *Interferência de Canal Adjacente*.
- Ambas limitam a capacidade do sistema.

## Reuso de frequências

- Parâmetro  $D/R$  - *Cochannel Reuse Ratio* (CRR) ou *Cochannel Inteference Reduction Factor* (CIRF).  $D$  é distância centro a centro entre células cocanais e  $R$  é o raio das células em um padrão de reuso qualquer
- $D/R$  é determinado em função do limite de interferência permitido para uma dada qualidade do serviço. Por exemplo, no sistema AMPS e padrão de reuso = 7 ,  $D/R = 4.6$  para uma  $C/I > 18\text{dB}$  em 90% da área de cobertura
- $D/R = (3N)^{1/2}$ , onde  $N$  é o número de células por *cluster*

## Estratégias de Alocação de Canal

- Na *alocação fixa*, a cada célula é alocado um conjunto pré determinado de canais de voz. Se todos os canais da célula estiverem ocupados a chamada é bloqueada. Variação: *estratégia de empréstimo* - a célula empresta canais de uma célula vizinha se todos os seus canais se encontram ocupados. A CCC supervisiona o processo e assegura que ele não interfira em nenhuma das chamadas em andamento na célula fornecedora.
- Na *alocação dinâmica* todos os canais estão disponíveis a todos os usuários. A CCC aloca um canal à célula requisitante seguindo um algoritmo que leva em conta: probabilidade de bloqueio futura dentro da célula, frequência de utilização do canal candidato, a distância de reuso do canal, entre outros fatores. A alocação dinâmica de canais reduz a probabilidade de bloqueio, o que aumenta a capacidade de tráfego do sistema.
- Na *alocação híbrida* um determinado número de canais é destinado à alocação fixa e outro número (menor) é disponibilizado para alocação dinâmica.

## Estratégias de Alocação de Canal

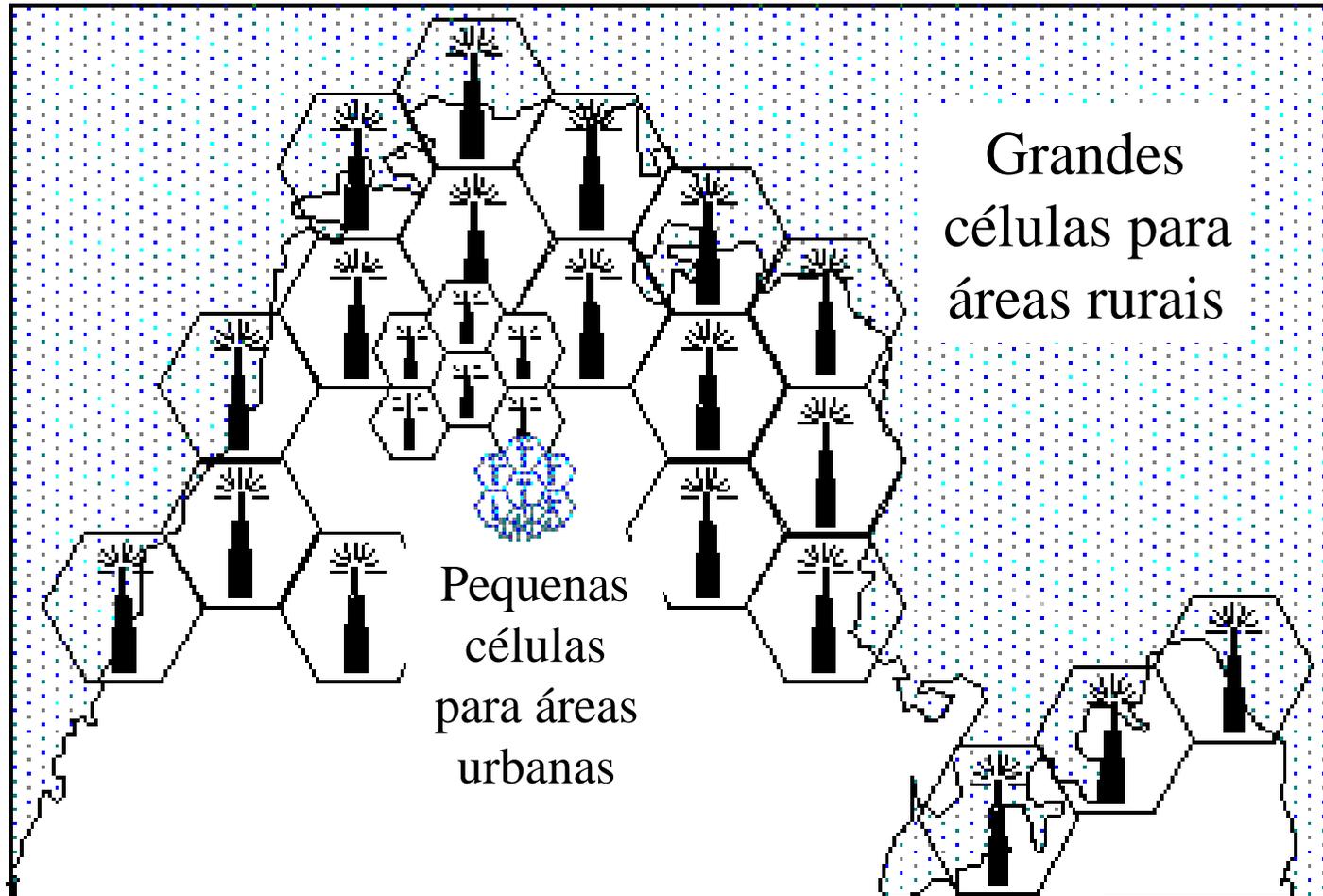
- Exemplo de alocação fixa para o sistema AMPS: Cada conjunto de 395 canais de voz é dividido em 21 subconjuntos com 19 canais cada.
- Num *cluster* de 7 células, cada célula utiliza 3 subconjuntos de forma que a separação mínima entre canais seja de 7 bandas de um canal - redução de interferência de canal adjacente.
- Como mostrado na tabela a seguir, cada célula utiliza canais dos subconjuntos  $iA$ ,  $iB$  e  $iC$ ,  $i = 1, 2, \dots, 7$ .
- O número máximo de canais de voz por célula é de 57 (podem existir mais, mas nessa situação pode haver aumento excessivo de interferência de canal adjacente, pois a regra de distribuição acima mencionada será quebrada).
- Cada célula terá de 1 a 3 canais de controle.
- .

## Estratégias de Alocação de Canal

Exemplo de alocação fixa para o sistema AMPS, banda A.

1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126
127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147
148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168
169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189
190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210
211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231
232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252
253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273
274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294
295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	-	-	-
313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	667	668	669
670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690
691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711
712	713	714	715	716	-	-	-	-	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002
1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023

## O tamanho das células diminui com o crescimento do sistema



## O tamanho das células diminui com o crescimento do sistema

Sistema macro-celular: 1 - 30Km

Sistema micro-celular: 200 - 2000m

Sistema pico-celular: 4 - 200m

### O efeito de decrescer o tamanho das células:

- Aumento da capacidade de usuários;
- Aumento do número de *handoffs* por chamada;
- Menor consumo de potência no terminal móvel (maior tempo de conversação, operação mais segura);

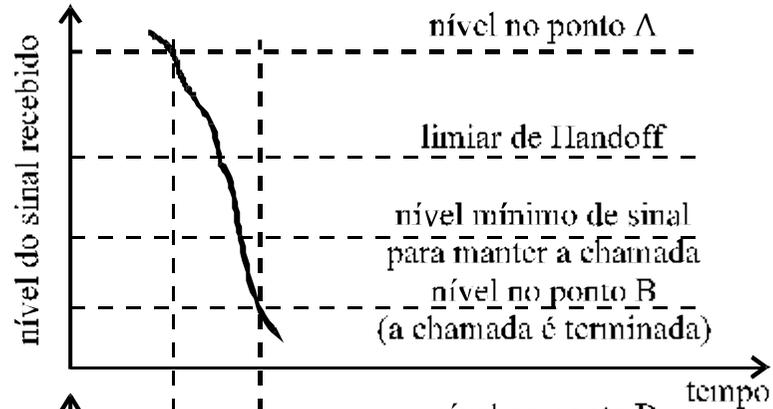
## O tamanho das células diminui com o crescimento do sistema

### O efeito de decrescer o tamanho das células:

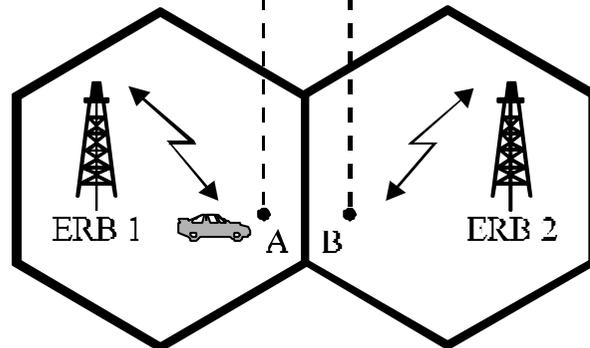
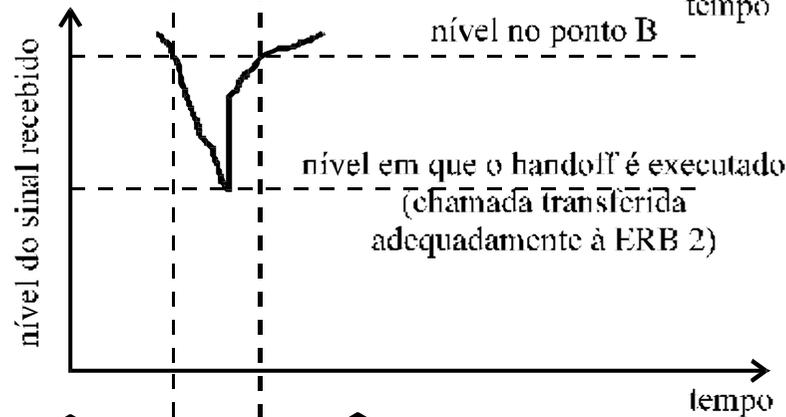
- Diferentes ambientes de propagação e menores espalhamentos temporais;
- Diferentes *lay-outs* das células: Menor expoente de perdas no percurso, maiores interferências; células tendem a seguir o perfil dos quarteirões; sistema mais difícil de planejar.

# Handoff

(a) Handoff impróprio



(b) Handoff adequado



- Quando um terminal móvel se movimenta através de células diferentes, enquanto uma conversação está sendo realizada, a chamada é automaticamente transferida para um novo canal pertencente à nova estação rádio base

## Estratégias de *Handoff*

Deve-se especificar um nível ótimo de sinal a partir do qual se inicia o processo de *handoff*. Esse limiar de *handoff* é definido como um valor ligeiramente superior ao nível de sinal suficiente a uma qualidade de voz aceitável na estação rádio base (normalmente entre  $-90\text{dBm}$  e  $-100\text{dBm}$ ). A diferença, dada por  $\Delta = Pr_{handoff} - Pr_{mínima}$ , não pode ser nem muito grande e nem muito pequena. Se  $\Delta$  for muito grande, *handoffs* desnecessários podem ocorrer; se muito pequeno, pode não haver tempo suficiente para que o processo se complete antes que a chamada seja perdida por causa de uma baixa intensidade do sinal. Nos sistemas celulares de primeira geração o intervalo típico de tempo para se ter o *handoff* concluído, tendo o nível do sinal caído abaixo do limiar de *handoff*, é de aproximadamente 10 segundos. Isto requer que o valor de  $\Delta$  seja da ordem de 6 a 12dB. Nos novos sistemas digitais, como o GSM, por exemplo, além do processo ser precedido por uma decisão de sua necessidade, tendo-se iniciado, leva em torno de 1 a 2 segundos. Consequentemente  $\Delta$  possui valores típicos entre 0 e 6dB. O valor de  $\Delta$  pode ser programado na CCC (ou remotamente) para todas as ERBs.

## Estratégias de *Handoff*

Nos sistemas celulares analógicos da primeira geração, as medidas de intensidade do sinal são feitas pelas Estações Rádio Base e supervisionadas pela CCC. Cada Estação Rádio Base monitora constantemente a intensidade do sinal em todos os canais reversos de voz de forma a determinar a posição relativa de cada usuário móvel em relação à torre da Estação Rádio Base. Além dessa medida, um receptor à parte em cada Estação Rádio Base, denominado *receptor localizador*, é utilizado para monitorar a intensidade do sinal dos usuários móveis que estiverem em células vizinhas. O receptor localizador é controlado pela CCC à qual a informação de intensidade do sinal é enviada com o objetivo de se decidir se um processo de *handoff* será ou não necessário.

Nos sistemas digitais de segunda geração com tecnologia TDMA, as decisões de *handoff* são assistidas pelos terminais móveis. No *Handoff Assistido pelo Móvel* cada terminal de usuário mede a potência recebida pelas ERBs vizinhas e a taxa de erro de bit média e reporta essas médias à ERB servidora. A CCC se utiliza dessas informações para o processamento de *handoff*.

## Priorização de *Handoffs*

Muitas estratégias priorizam as requisições de *handoff* sobre as requisições de inicialização de chamada. Um dos métodos é conhecido como *método do canal de guarda*, no qual uma fração do número total de canais do sistema é reservada para as requisições de *handoff* de chamadas “entrantes” de outros sistemas. **Desvantagem:** redução da capacidade de tráfego (menos canais serão dedicados a chamadas sendo originadas dentro do próprio sistema). **Vantagem:** Do ponto de vista do usuário, ter sua chamada em curso repentinamente bloqueada é mais aborrecedor que obter um sinal de ocupado quando da tentativa de se completar uma chamada.

## Enfileiramento de *Handoffs*

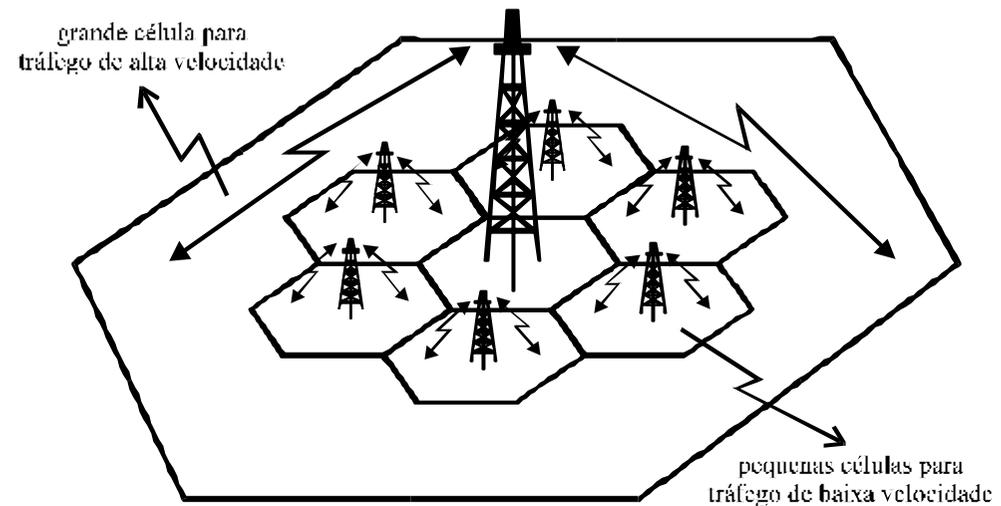
A colocação das *requisições de handoff em filas* de espera é um outro método utilizado para reduzir a probabilidade de bloqueio de uma chamada. Esse enfileiramento de *handoffs* é possível, pois existe um intervalo de tempo finito entre o instante em que o nível do sinal cai abaixo do limiar de *handoff* e o instante em que a chamada é terminada forçosamente devido a um nível insuficiente do sinal.

## Considerações práticas sobre o *Handoff*

Em sistemas celulares reais, vários problemas surgem quando da tentativa de atender a várias velocidades dos terminais móveis. Veículos em alta velocidade podem passar pela área de cobertura de uma célula em poucos segundos, enquanto usuários pedestres podem nunca necessitar de um *handoff* durante uma chamada. Através da utilização de antenas com diferentes alturas e diferentes níveis de potência é possível se obter “grandes” e “pequenas” células co-localizadas. Esta técnica é chamada de técnica da *célula guarda-chuva* e é utilizada para fornecer grandes áreas de cobertura a usuários que trafegam em alta velocidade e áreas menores para aqueles que se movimentam a baixas velocidades.

## Considerações práticas sobre o *Handoff*

- Para aumentar a capacidade, micro-células podem ser usadas para complementar macro-células numa configuração onde as células maiores dão suporte a usuários de maior mobilidade e as menores a usuários de menor mobilidade.
- Tipicamente o espectro é subdividido em uma parte para a macro-célula e outra para a micro-célula.



## Considerações práticas sobre o *Handoff*

Um problema comum em configurações onde existem microcélulas é conhecido como *arrastamento de célula*. Esse fenômeno resulta de usuários pedestres que fornecem sinais de alta intensidade à ERB. Tal situação ocorre em ambientes urbanos quando há linha de visada entre o usuário e a ERB. Conforme o usuário vai se distanciando da ERB a uma velocidade muito baixa, a intensidade média do sinal não cai rapidamente. Mesmo tendo excedido os limites de sua célula o nível de sinal na ERB pode estar acima do limiar de *handoff* e assim este pode não ocorrer. Isto cria um grande problema de interferência e de tráfego, pois o usuário terá invadido a área da célula vizinha. Para resolver o problema do arrastamento de célula, os limiares de *handoffs* e parâmetros de cobertura devem ser ajustados cuidadosamente.

## Aspectos de Tráfego

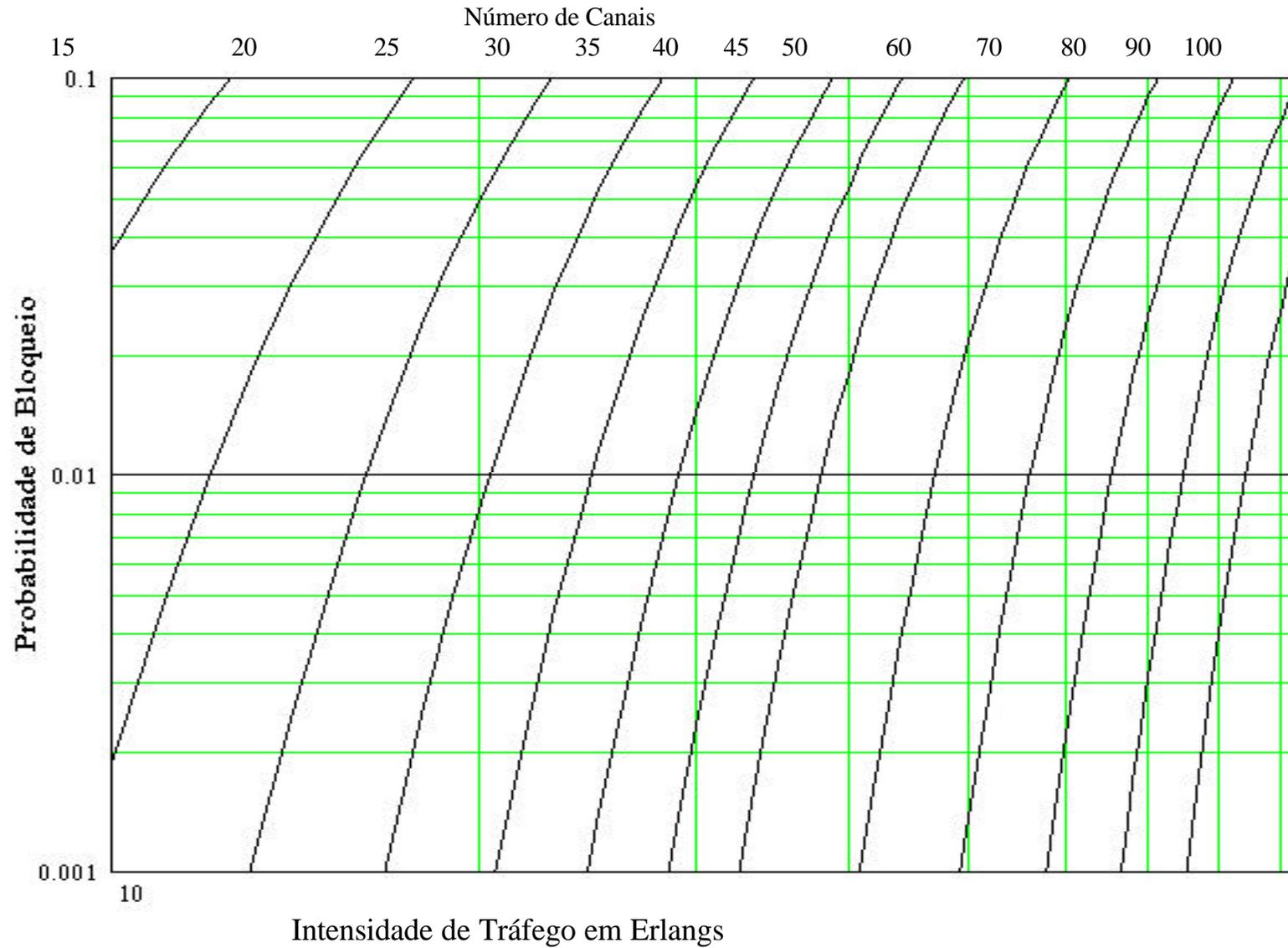
- Define-se *Tráfego Oferecido [erlangs]* como a relação entre a taxa de chegada e a taxa de atendimento de chamadas
- $A = Q \cdot T_{\text{médio}} / T_{\text{obs}} = \text{Número de chamadas em um intervalo de tempo de observação} \times \text{Duração média das chamadas} / \text{Tempo de observação}$
- A probabilidade de Bloqueio (também conhecido por GOS - *Grade of Service*) define a probabilidade de uma chamada gerada ser perdida (bloqueada)
- A relação entre tráfego, número de canais e probabilidade de bloqueio é calculada pela fórmula *ERLANG-B*

## Aspectos de Tráfego

- A fórmula *ERLANG-B* tem resultados que relacionam tráfego, número de canais e probabilidade de bloqueio normalmente apresentados em tabelas ou gráficos como o da transparência seguinte.

$$\text{Pr}[Bloqueio] = \frac{A^C / C!}{\sum_{k=0}^C A^k / k!}$$

# Aspectos de Tráfego



## Aspectos de Tráfego

Número de canais, C	Capacidade em Erlangs para GS =			
	1%	0.5%	0.2%	0.1%
2	0.153	0.105	0.065	0.046
4	0.869	0.701	0.535	0.439
5	1.36	1.13	0.9	0.762
10	4.46	3.96	3.43	3.09
20	12	11.1	10.1	9.41
24	15.3	14.2	13	12.2
40	29	27.3	25.7	24.5
70	56.1	53.7	51	49.2
100	84.1	80.9	77.4	75.2

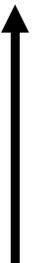
**Tabela II.5** – Capacidade de alguns sistemas com a fórmula Erlang B

## Aspectos de Tráfego

- A necessidade: Dado um tráfego esperado e as limitações de interferência, a região em análise é dividida em células. Através de uma probabilidade de bloqueio de chamadas aceitável determina-se o número de canais por célula
- O problema: Devido à mobilidade dos usuários, *Hand-offs* e *Roamings* estão sempre ocorrendo tornando o tráfego instável, não permitindo a utilização isolada da conhecida fórmula (ou tabela) *Erlang-B*

## Aspectos de Tráfego

D/R relaciona C/I com Tráfego. Quanto maior C/I, maior D/R (mais células por Clusters), menores capacidades de tráfego por célula. A tabela ilustra o que foi dito e sugere uma solução de compromisso entre qualidade e tráfego

Fator de reuso	D/R	Canais / Célula	Capacidade de tráfego	Qualidade de serviço
1	1.73	360	 <p>Alta</p> <p>Baixa</p>	 <p>Baixa</p> <p>Alta</p>
3	3.00	120		
4	3.46	90		
7	4.58	51		
12	6.00	30		

## Aspectos de Tráfego

### Algoritmos de Alocação Global de Canais:

- Alocação Dinâmica.
- Alocação Híbrida.

### Algoritmos de Alocação Local de Canais:

- Alocação por Variação do Limiar de Bloqueio (*Blocking Threshold Variation - BTV*) [Yac93].
- Alocação Fixa.

## Aspectos de Tráfego - BTV (definições)

- **Tráfego Flexível:** ocorre em regiões de sobreposição de cobertura de células.
- **Limiar de Bloqueio ( $T$ ):** ponto a partir do qual a *home-cell* com  $T$  canais ocupados deve ser excluída das possibilidades de tráfego.
- O cálculo de capacidade de tráfego com esse método envolve um grande número de operações e só pode ser efetuado a partir de simulações, onde são considerados os tráfegos das células envolvidas individualmente e conjuntamente.

## Aspectos de Tráfego

A fórmula *ERLANG-B* pode ser aplicada com “precisão” quando:

- As áreas de cobertura das células em análise não apresentarem sobreposição.
- O tráfego fixo for nulo, o que equivale a se ter uma célula de dupla capacidade  $B_m = E(A, 2N)$ .
- $T = N+1$ , o que equivale a uma flexibilidade nula.

## Eficiência espectral

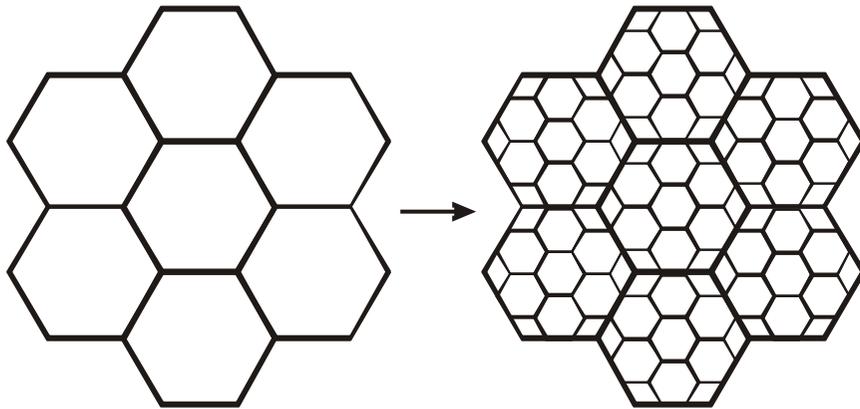
A largura de faixa total para a rede celular,  $B$ , é igual ao produto da largura de faixa ocupada por canal,  $B_C$ , pelo número de canais por estação rádio base,  $M$ , e pelo tamanho do *cluster*,  $N$ . A eficiência espectral,  $E_E$ , pode ser definida pela quantidade de tráfego por célula,  $A$ , em Erlangs, dividida por  $B$  e pela área de uma célula,  $S$ .

$$E_E = \frac{A}{B_C \cdot M \cdot N \cdot S} \quad [\text{Erlang} / \text{MHz} / \text{Km}^2]$$

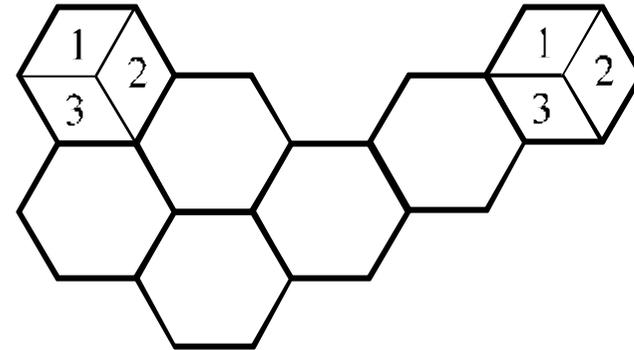
## Eficiência espectral

- Observa-se que a eficiência espectral decresce com o tamanho do *cluster*  $N$ .
- O desempenho do sistema, medido através de alguma *outage probability* ou taxa de erro de bit por usuário, melhora com o aumento da distância de reuso, ou seja, melhora com o aumento de  $N$ .
- **Conclusão:** Atingir alto desempenho do sistema e, ao mesmo tempo, um eficiente uso do espectro são objetivos conflitantes para o projetista da rede.

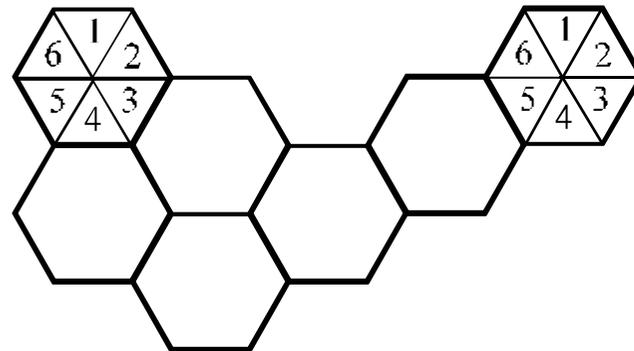
# Aumentando a capacidade do sistema



Divisão de Células



Setorização



## Aumentando a capacidade do sistema

- **Divisão de células:** técnica amplamente utilizada por proporcionar grande aumento de capacidade. Difícil implementação devido à grande chance de aumento no nível de interferência no sistema (nunca é possível realizar a divisão ideal mostrada na figura do slide anterior).
- **Setorização:** possibilidade de aumento de capacidade devido à redução de interferência co-canal e correspondente possibilidade de redução no tamanho do *cluster*. É utilizada normalmente na prática como ferramenta para redução de interferência co-canal causada por dificuldade de planejamento adequada e/ou implementação de divisão de células no sistema.

## Aumentando a capacidade do sistema

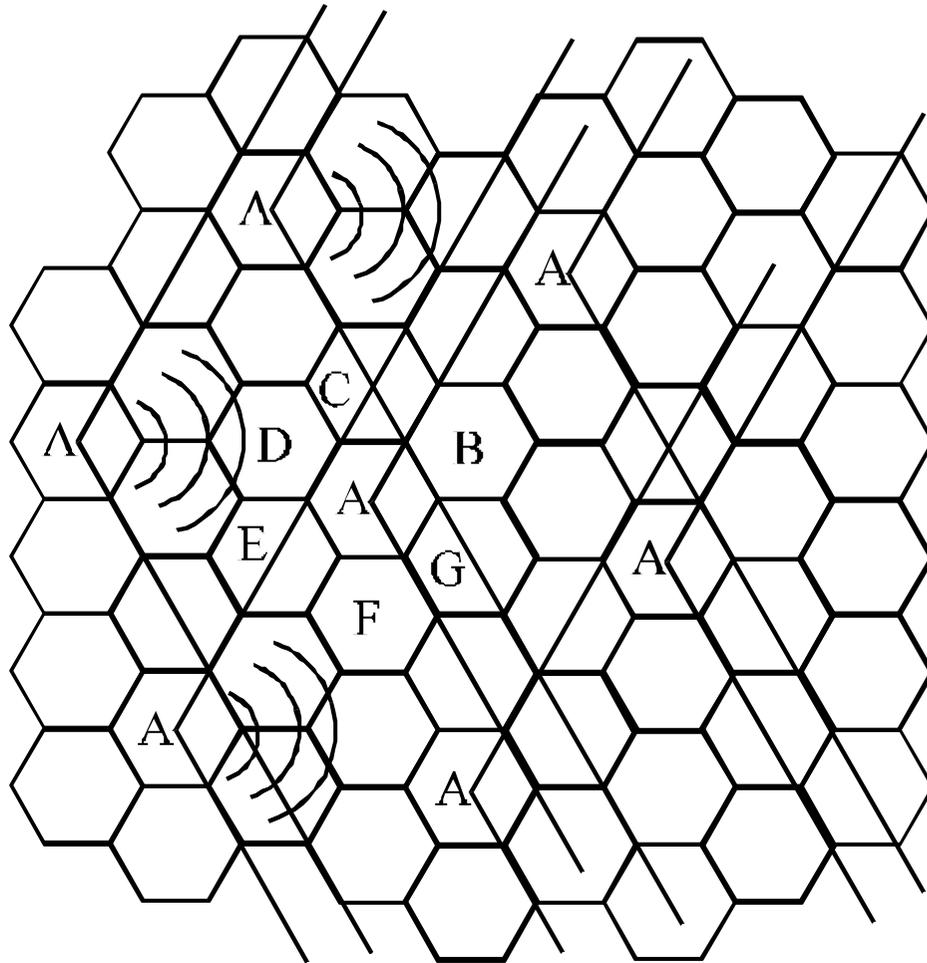
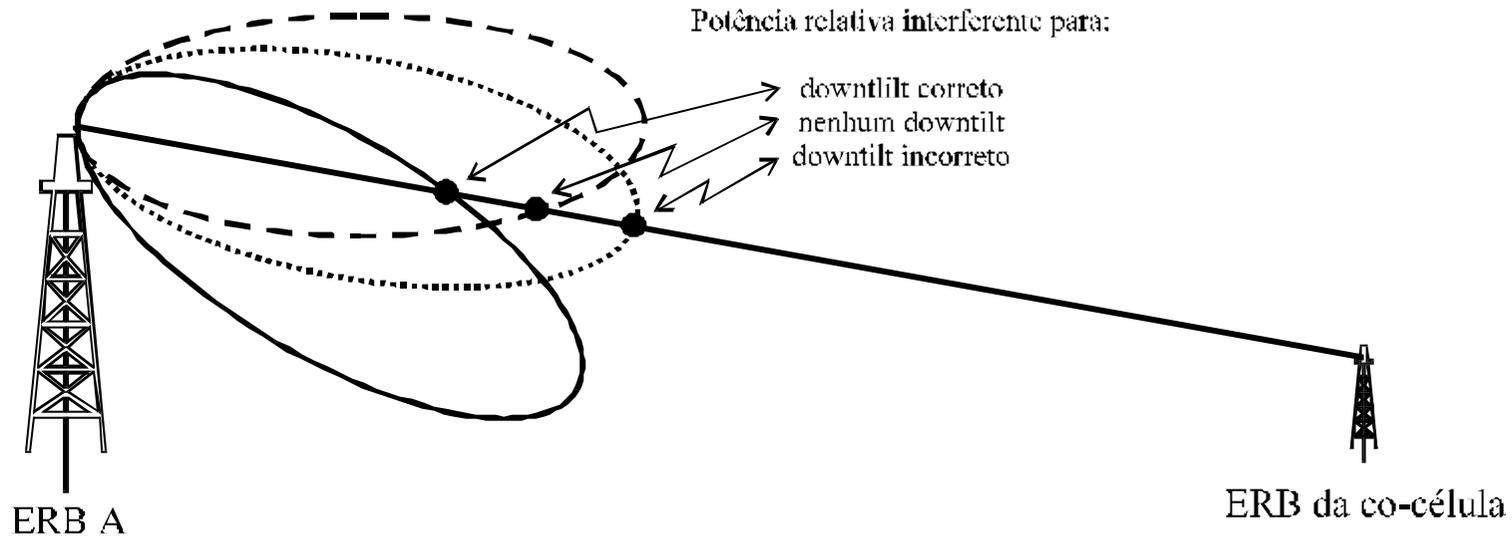


Ilustração do efeito da setorização na diminuição da interferência co-canal.

## Aumentando a capacidade do sistema



***Downtilt***: Direcionamento do diagrama de irradiação da antena para o solo. Com esse direcionamento observa-se que o diagrama de irradiação no plano horizontal apresenta um *notch*. Se esse *notch* coincidir com a direção das células co-canais, pode-se reduzir a interferência.

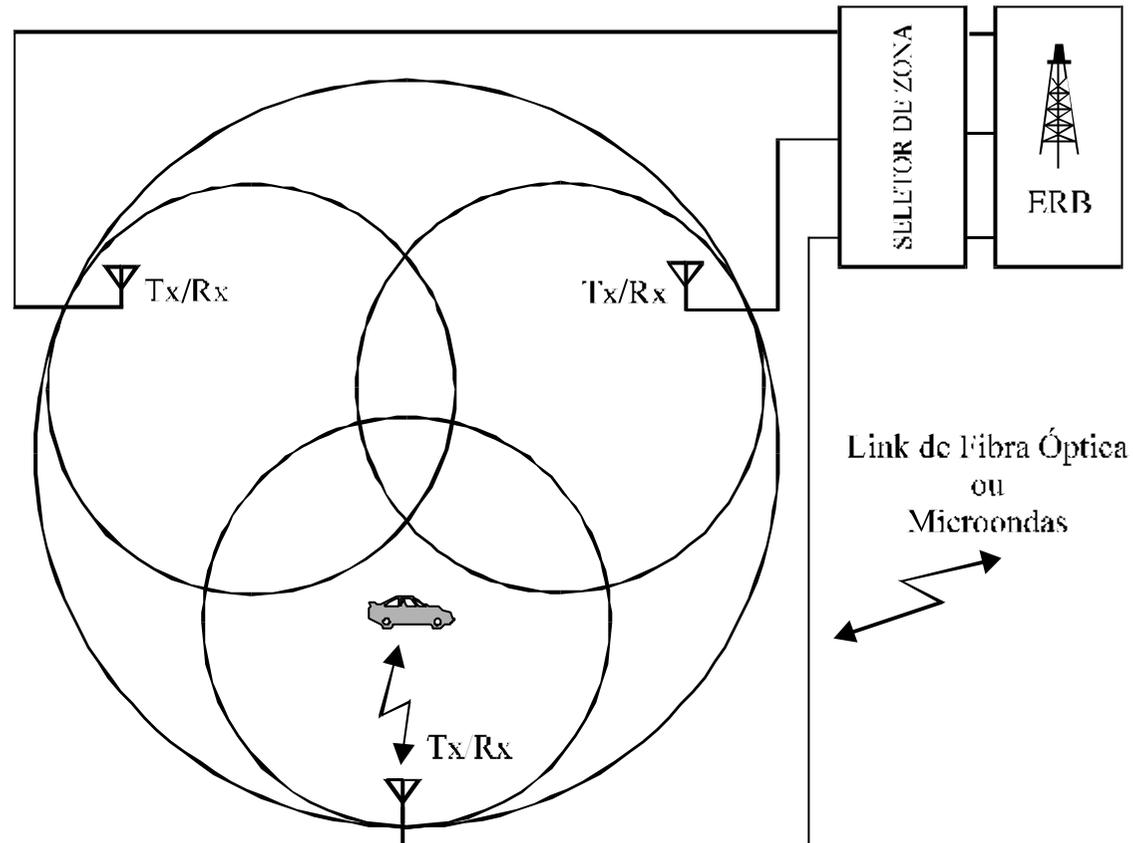
## Aumentando a capacidade do sistema

- *Downtilt*: possibilidade de aumento de capacidade devido à redução de interferência co-canal e correspondente possibilidade de redução no tamanho do *cluster*. O *downtilt* pode ser mecânico ou elétrico.
- É utilizado normalmente na prática como ferramenta para redução na área de cobertura de células, em conjunto com a redução de potência de transmissão.
- É utilizado também como ferramenta para a redução de áreas de sombra que normalmente se formam nas proximidades do transmissor da estação rádio base.

## Aumentando a capacidade do sistema

- **Um problema:** aumento no número de *handoffs* quando da adoção da setorização resulta em carga adicional de comutação e controle no sistema de comunicação móvel.
- **Uma solução:** *Microcélulas inteligentes ou zonais - Power Delivery approach* - Cada uma das três (ou mais) estações “zonais” são conectadas a uma única ERB e compartilham o mesmo equipamento de rádio. As zonas são conectadas à ERB por cabos coaxiais, fibra óptica ou por *links* de microondas. O terminal móvel é servido pela zona que lhe proporcione a maior intensidade de sinal.
- Técnica é superior à setorização, pois as antenas são dispostas no limite das células (melhor cobertura) e cada canal pode ser alocado pela ERB a qualquer zona (melhor eficiência de entroncamento).

## Aumentando a capacidade do sistema



Conceito de *Microcélulas inteligentes ou zonais*

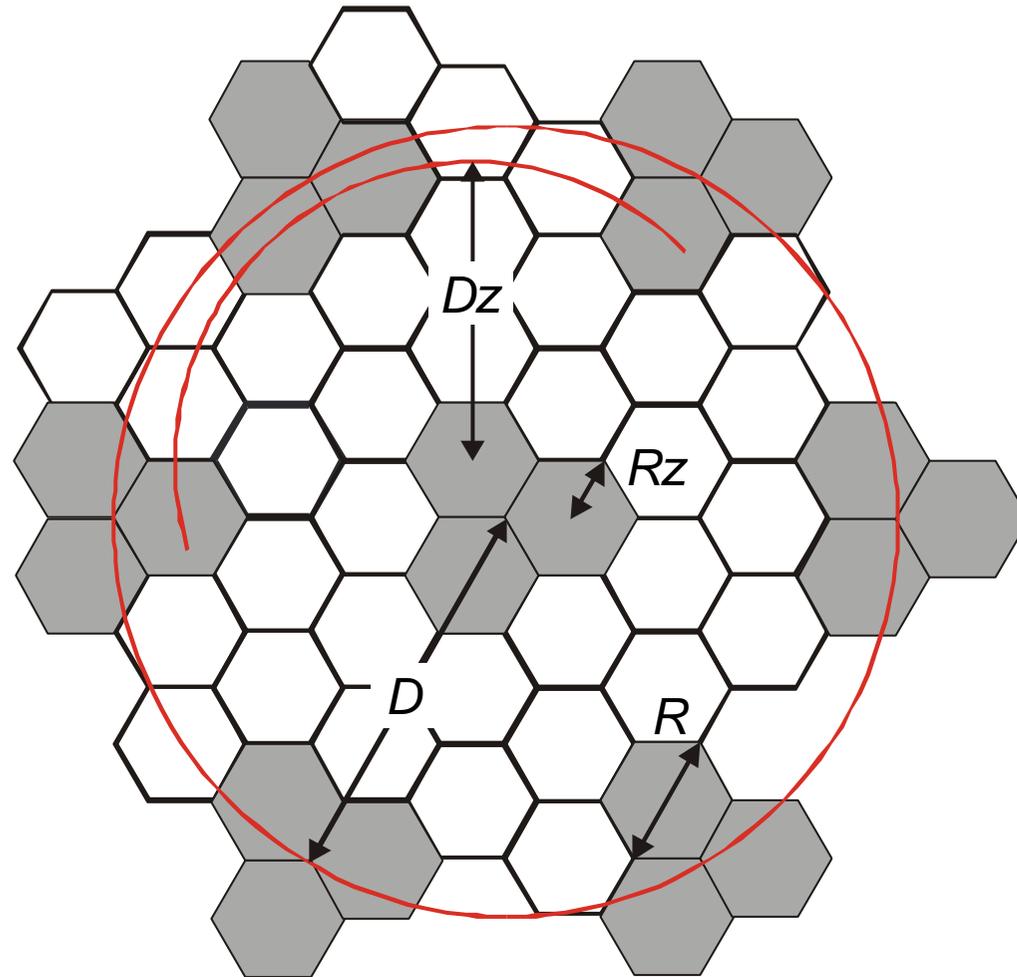
- *Power Delivery approach* -

## Aumentando a capacidade do sistema

- **A vantagem:** além de não reduzir a eficiência de entroncamento, a técnica de microcélula zonal reduz o nível de interferência co-canal no sistema e correspondente possibilidade de redução do tamanho do *cluster*.
- **Exemplo:** sabe-se que uma relação sinal-interferência de 18dB é suficiente para uma qualidade satisfatória do serviço no sistema AMPS o que implica em cluster com  $N = 7$  células. Nesse caso  $D/R = 4.6$  é suficiente. Com um sistema de microcélula zonal, uma  $D_z/R_z$  de 4.6 é suficiente ao desempenho desejado (veja ilustração no slide seguinte). Mas a capacidade do sistema está associada à distância  $D$  entre co-células e não entre zonas. Para  $D_z/R_z$  igual a 4.6, pode-se obter através da geometria da ilustração do slide seguinte uma relação  $D/R = 3$ . Esse valor de  $D/R = 3$  leva a um tamanho de *cluster*  $N = 3$ . Esta possível redução no tamanho do *cluster* de 7 para 3 corresponde a um aumento na capacidade do sistema de  $7/3 = 2.33$  vezes.

## Aumentando a capacidade do sistema

- Com o uso de **microcélula zonal**, se uma  $D_z/R_z$  de 4.6 é suficiente ao desempenho desejado, a relação  $D/R = 3 \Rightarrow N = 3$ .
- Esta redução no tamanho do *cluster* de 7 para 3 corresponde a um aumento na capacidade do sistema de  $7/3 = 2.33$  vezes.

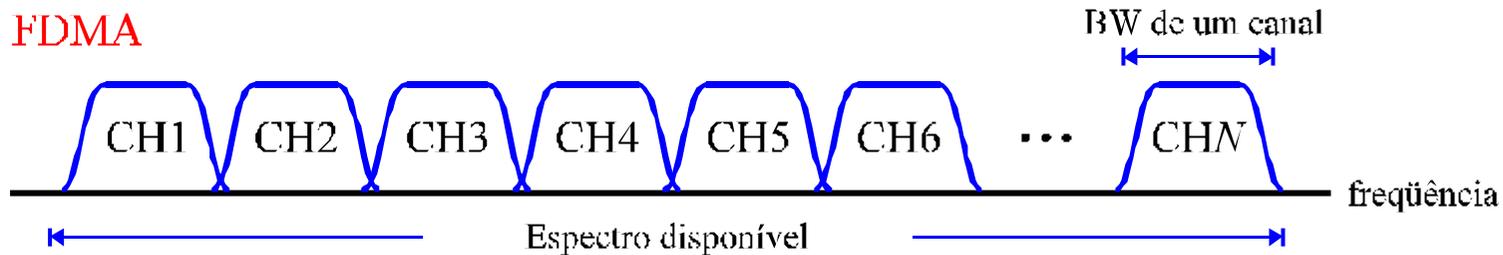


## Técnicas de Múltiplo Acesso

Técnicas que permitem o compartilhamento do meio de transmissão (ou recurso de comunicação) entre diversos usuários. Podem ser implementadas isoladamente, mas normalmente são combinadas em forma híbridas.

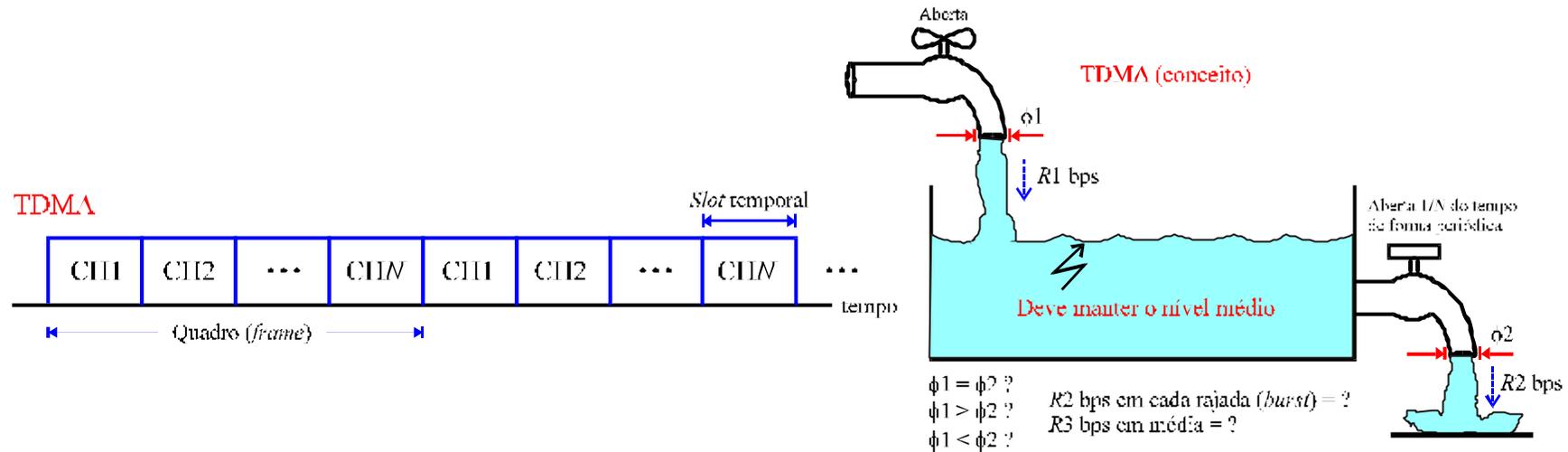
- FDMA - *Frequency Division Multiple Access*: o canal é dividido em subfaixas e cada usuário ocupa uma determinada subfaixa
- TDMA - *Time Division Multiple Access*: o tempo de transmissão é dividido e cada usuário pode transmitir/receber no *slot* a ele reservado
- CDMA - *Code Division Multiple Access*: utiliza espalhamento espectral, com adequada escolha da seqüência pseudo aleatória de cada usuário, de tal sorte que todos possam compartilhar um mesmo canal de comunicação, ao mesmo tempo e na mesma faixa de frequências

## Técnicas de Múltiplo Acesso



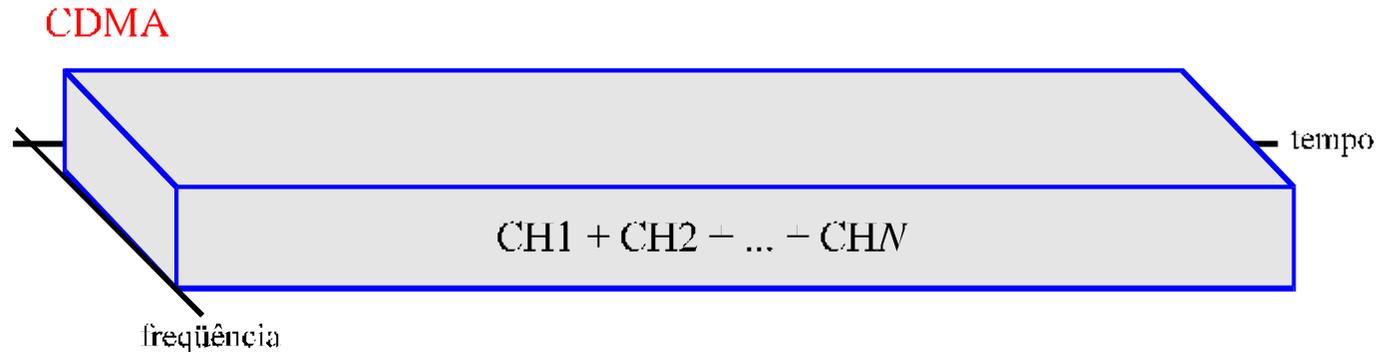
- Permite transmissões analógicas e digitais
- Interferência entre os canais adjacentes (filtros caros)
- Estando um canal sendo utilizado não se pode ter outro(s) usuário(s) compartilhando-o
  - Normalmente é um sistema de faixa estreita
- Intermodulações quando vários canais compartilham um único amplificador de potência

# Técnicas de Múltiplo Acesso



- Descontinuidade na transmissão facilitam o processo de *handoff*
- Taxas em rajadas elevadas levam à necessidade de equalização
  - *Slots* não utilizados podem ser alocados por demanda
  - Não permite transmissão com modulação analógica

## Técnicas de Múltiplo Acesso



- A capacidade de um sistema CDMA é limitada pela quantidade de interferência entre os usuários
- Possibilidade de superar a capacidade (em termos de um número de usuários) dos sistemas FDMA e TDMA através de adequadas setorização, utilização do ciclo de atividade da voz, controle de potência

## Técnicas de Duplexação

Permitem a comunicação bidirecional simultânea (duplex)

- FDD - *Frequency Division Duplexing*: as transmissões nos canais direto e reverso ocorrem em frequências distintas
- TDD - *Time Division Duplexing*: as transmissões nos canais direto e reverso ocorrem em frequências idênticas, mas a intervalos de tempo distintos
- FDD/TDD - *Híbrid Frequency Division & Time Division Duplexing* : as transmissões nos canais direto e reverso ocorrem em frequências e intervalos de tempo distintos

## Overview AMPS/ETACS

- Padrão EIA/TIA-553 (1989).
- Desenvolvido pela AT&T<sup>®</sup> Bell Labs. Nos anos 70.
- Primeira aplicação prática em 1983 em Chicago (EUA).
- Em 1989: alocação de 10MHz adicionais aos 40MHz.
- Inicialmente composto por grandes células com antenas omnidirecionais e previsão para setorização e divisão de células.
- Padrão de reuso de 7 células: suficiente a uma  $C/I > 18\text{dB}$ .
- Bandas A e B com 416 canais cada (varia de país para país).
- ETACS x AMPS: 25KHz x 30KHz; *country code* x *area code*.
- Modulação FM na faixa dos 800MHz para o AMPS e um pouco acima para o ETACS.
- Separação de 45MHz entre link reverso e direto.

## Overview N-AMPS

- Padrão TIA/EIA-88 (1993) e TIA/EIA-91 (1994).
- Desenvolvido pela Motorola<sup>®</sup> com o objetivo de aumentar a capacidade do AMPS.
- Canal AMPS de 30KHz convertido para 3 canais de 10KHz pela técnica FDMA.
- Capacidade triplicada em relação ao AMPS.
- Menor desvio de frequência da portadora modulada em FM (menor qualidade do áudio) e compansão mais forte antes da modulação (para minimizar a influência do menor desvio da portadora na qualidade do áudio).

## Overview IS-54

- Sistema com tecnologia digital, elaborado a partir do USDC.
- Objetivo de elevar a capacidade dos sistemas analógicos.
- Técnica de acesso TDMA com 3 usuários *full-rate* ou 6 usuários *half-rate* por canal de 30KHz.
- Mesma duplexação que o AMPS (FDD com separação de 45MHz entre os links direto e reverso).
- Sistema *dual-mode* USDC/AMPS  $\Rightarrow$  IS-54 (1990)  $\Rightarrow$  D-AMPS.
- Migração AMPS para D-AMPS feita gradualmente, canal a canal ou faixa a faixa, conforme taxa de alteração dos equipamentos dos usuários.
- Para compatibilidade AMPS / D-AMPS, somente a modulação no canal de voz é alterada para  $\pi/4$ -DQPSK.

## Overview IS-94 & IS-136

- IS-94: Possibilita interface do terminal móvel a certos equipamentos PBX (1994).
- Certa capacidade de processamento da central de comutação é dirigida à estação rádio base (exemplo: MAHO).
- IS-54 Rev.C: canais de controle a 48.6Kbps no USDC (somente), sem capacidade de interligação com PBX.
- IS-136: todas as características acima e outras adicionais objetivando a concorrência com alguns sistemas PCS: *Short Message Service*, modo *sleep*.
- Terminais IS-136 não são compatíveis com terminais IS-54 (todos os canais de controle operam a 48.6Kbps; não é aceita sinalização a 10Kbps com modulação FSK).
- Padrão TIA/EIA-136 publicado em março de 1999.

## Overview GSM

- Sistema celular digital de criado para resolver o problema da fragmentação dos primeiros sistemas na Europa (1991).
- Promessa de uma série de serviços utilizando a ISDN.
- Normas atuais suportadas pela ETSI.
- Serviços: telefonia móvel, fax, telex, transmissão de dados por comutação de pacote até 9600bps, redirecionamento de chamada, SMS, identificação de assinante chamador.
- Faixa dos 900MHz, acesso TDMA/FHMA com 8 *slots* por quadro e saltos de frequência de quadro a quadro, BW de canal de 200KHz, duplexação FDD com 45MHz de separação.
- Transmissão criptografada, utilização do SIM (*Subscriber Identity Module* ), que é ativado por uma senha de 4 dígitos.
- Padrão TIA/EIA-95-B publicado em março de 1999.

## Overview IS-95

- Sistema celular digital com tecnologia CDMA padronizado pela TIA (EUA) para ser compatível com o sistema AMPS com terminais *dual-mode* (1994, Qualcomm®).
- Canal de 1.25MHz de banda (10% da banda alocada ao AMPS) com guarda de 270KHz (9 canais AMPS) em cada lado, na faixa dos 850MHz, duplexação FDD com 45MHz de espaçamento.
- Transmissões simultâneas na mesma banda, sendo os usuários diferenciados por seus códigos de espalhamento espectral, leva à possibilidade de *soft handoff*.
- Limitação da capacidade pelo grau de interferência leva à necessidade de controle de potência preciso e possibilita crescimento suave com correspondente degradação da qualidade do áudio.
- Taxa de transmissão variável em função da atividade da voz.

## Overview CT2

- Sistema de telefonia *cordless* digital introduzido na Inglaterra em 1989 para uso doméstico e em escritórios.
- Serviço *telepoint*: possibilidade de conexão à rede pública (PSTN).
- O terminal não pode receber chamadas.
- O terminal móvel pode funcionar como modem e pode suportar taxas de dados/fax de até 2400bps.
- Alcance aproximado de 100m.
- Utiliza técnicas de alocação dinâmica de canais.
- Canais de 100KHz na faixa dos 850MHz, acesso TDMA com duplexação TDD.

## Overview DECT

- Sistema de telefonia *cordless* digital introduzido na Europa em 1992 para uso doméstico e em escritórios, promovendo mobilidade interna aos usuários de um PBX.
- Adequado para regiões de alto tráfego e curtas distâncias.
- Possui excelente qualidade de voz e suporta transmissão de dados a taxas de 32Kbps ou múltiplos.
- Suporta serviço *telepoint* e pode ser conectado à rede GSM ou ISDN.
- Canais de 1.728MHz na faixa dos 1900MHz, acesso FHMA/TDMA com 24 *slots* por quadro e duplexação TDD.
- Utiliza técnica de seleção dinâmica de uma entre 10 portadoras disponíveis em cada *slot*.

## Overview PACS

- Sistema de comunicação pessoal (PCS) de terceira geração desenvolvido pelo Bellcore<sup>®</sup> em 1992.
- Suporta serviços de voz, dados e imagens de vídeo em uso interno (conexão a PBX) ou microcelular em distâncias de até 500m.
- Contém uma rede de distribuição fixa onde somente os últimos 500m são designados a serem via rádio.
- Objetiva integrar todos os tipos de comunicação sem fio com possibilidade de conexão às centrais de comutação locais.
- Desenvolvido para utilizar a banda para sistemas PCS nos EUA (1 a 3GHz), utiliza acesso TDMA e duplexação TDD ou FDD com canais de 300KHz de banda e 8 *slots* por quadro.

## Overview PDC (JDC)

- Sistema de telefonia celular digital projetado em 1991 para atender ao aumento da demanda de tráfego no Japão.
- Sistema similar ao IS-54, mas utiliza modulação quaternária nos canais de controle (similaridade com o IS-136, nesse aspecto).
- Acesso TDMA com duplexação FDD com 3 *slots* por cada canal de 25KHz de banda.
- Prevê o uso de um codificador de voz *half-rate* e conseqüente aumento para 6 usuários por quadro de 20ms.
- No Japão são alocados 80MHz para o PDC na faixa dos 800MHz e 1500MHz.
- Utiliza técnica MAHO e suporta padrão de reuso de 4 células.

## Overview PHS

- Sistema de telefonia digital introduzido no Japão em 1993.
- Como os padrões DECT e PACS-UB, a técnica de acesso é TDMA com duplexação TDD, tendo 40 canais de 300KHz para aplicações públicas e outros 37 canais de 300KHz para aplicações domésticas ou em escritórios.
- Utiliza alocação dinâmica de canais baseada na intensidade do sinal (+ interferência) percebido na base e no terminal móvel
- *Handoffs* possíveis somente a velocidade de pedestres.

## Overview IMT-2000 (FPLMTS)

- Sistema de comunicação pessoal digital de terceira geração.
- Em fase de padronização pelo ITU, pretende ser uma evolução dos atuais sistemas GSM, DECT, IS-54, IS-95 e DCT1800, nas faixas propostas de 1885 a 2025MHz e 2110 a 2200MHz.
- Objetiva unificar diversos sistemas em um único, tendo um terminal móvel mundialmente utilizável. Os serviços propostos incluem voz, multimídia e dados com taxas de 64Kbps a 2Mbps, para uso interior e exterior. Pretende-se alcançar desempenho equiparável ao de redes locais fixas.
- Duas das configurações propostas são baseadas em acesso múltiplo híbrido TDMA/CDMA com tecnologia W-CDMA (*Wideband* CDMA). Todos os tipos de modulação estão sendo considerados, inclusive as técnicas FH-SS e DS-SS.

## Overview IRIDIUM

- Planejado para ter 77 satélites em órbita baixa (número de elétrons do elemento Iridium), o sistema Iridium hoje tem lançados um total final de 66 satélites que podem comunicar-se entre si e com os terminais terrestres. Idéia concebida pela empresa Motorola<sup>®</sup>, vários consórcios em todo o mundo participaram do desenvolvimento e implantação do sistema.
- Cobertura global; uma chamada pode iniciar-se e terminar pela ação do próprio sistema; *gateways* em vários países e permitem interconectividade com os sistemas de comunicação terrestres – no Brasil um *gateway* foi instalado no Rio de Janeiro, mas foi desativado.
- Os terminais do sistema Iridium são *dual-mode* e, além dos serviços de voz, serão oferecidos serviços de fax e transmissão de dados com taxas de até 9600bps.

## Overview TELEDESIC

- O sistema Teledesic, suportado por Bill Gates e Craig McCaw, é o mais complexo e caro sistema de comunicação global até hoje concebido. Originalmente planejado para ter 840 satélites, a constelação está hoje reduzida a aproximadamente 288 satélites que ocuparão uma órbita circular a 700Km de altitude (LEO). Estima-se cerca de 20 milhões de usuários em todo o mundo.
- Como no Iridium, os satélites do sistema Teledesic se comunicarão entre si e a terra, utilizando a banda *Ka* do espectro. Estão sendo planejados canais com taxas variáveis que vão desde 16Kbps a 1.24Gbps.

## Técnicas de Acesso - revisão

Técnicas usuais: par trançado, cabo coaxial, difusão de TV, rádio móvel celular e *cordless* (já citados) e WLL.

### Par trançado

Modems para a faixa de voz : taxas a até 56Kbps  
RDSI : 2B+D (*Basic Rate Access - BRA*),  
2 x 64Kbps + 1 canal de dados (sinalização)  
xDSL : (*ADSL - Asymmetric Digital Subscriber Line*;  
*HDSL - High-rate Digital Subscriber Line*;  
*VDSL - Very-high-rate Digital Subscriber Line*)

## Técnicas de Acesso - revisão

### Par trançado

**HDSL** : taxas a até 768Kbps

**ADSL** : taxas até 8Mbps no sentido *downstream*  
(rede ==> usuário) e dezenas de Kbps no *upstream*.

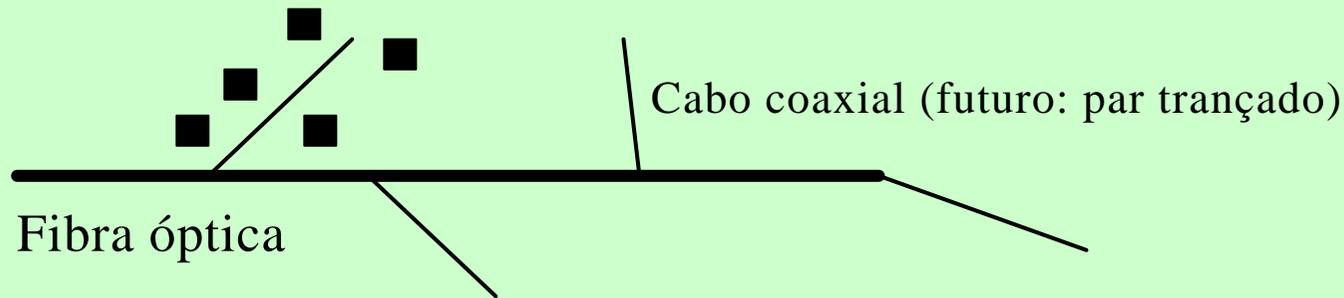
**VDSL** : distâncias menores que 500m; espera-se taxas até 50Mbps (atuais propostas: 10Mbps *down* e 64Kbps *up*)

**O problema com a tecnologia xDSL:**  
taxa atingível dependente da distância!

## Técnicas de Acesso - revisão

### Cabo coaxial

Arquitetura típica de rede árvore-e-ramo (*tree-and-branch*)



Fibra óptica com ~ Gbps. Cabo coaxial ~ 750Mbps  
(para o cabo coaxial: compromisso custo x BW).

**Problema:** ramo compartilhado (BW por casa ~ 31KHz; mais ruído, menor capacidade)

*Cable modems* hoje oferecem 30Mbps *up* e 10Mbps *down*.

## Técnicas de Acesso - revisão

### TV broadcast

Pode ser via cabo (já visto),  
*broadcast* terrestre e *broadcast* satélite (a ver)

#### **TV broadcast terrestre:**

- ~ 400MHz de espectro na faixa de UHF;
- o mesmo espectro não pode ser utilizado em regiões adjacentes (interferência);
- espectro tipicamente dividido em *clusters* de 11 células com ~ 31MHz por célula;
- algumas células atendem milhões de usuários ==> poucas dezenas de Hz por usuário ==> serviços individuais (ex.: VOD - *video on demand*) não são possíveis.

## Técnicas de Acesso - revisão

### TV broadcast

#### **TV broadcast via satélite:**

- ~ 1GHz de espectro sem necessidade de divisão;
- grandes células com ~100 milhões de usuários ==> também não é possível oferecer serviços individuais;

Tanto **TV broadcast terrestre** quanto **TV broadcast via satélite** não oferecem forma de transmissão de retorno (*return path*). Com a TV digital ter-se-á a aplicação em difusão de grandes volumes de dados (ex.: jornal *on-line*)

## Técnicas de Acesso - revisão

WLL

### Sistemas baseados em telefonia

- taxas de 9.6Kbps a 384Kbps;
- vantagem econômica em uma série de ambientes;
- serviços de voz (dados em alguns casos) com taxa moderada;
- necessita implantação de infra-estrutura.

### WLL

#### Sistemas baseados em vídeo

- forma avançada de WLL: usa MVDS (*Microwave Video Distribution System*) na banda de 40GHz com alocação de 2GHz para TV e dados em *broadcast*;
  - banda assimétrica: 500MHz *down* e ~20Kbps *up*;
  - **vantagens do MVDS**: altas taxas *downstream*, serviços de vídeo, telefonia e dados; baixo custo se comparado com cabo;
  - **desvantagens do MVDS**: mínimo *return path* (difícil a aplicação em vídeo-fone, por exemplo); pequena distância da base requer grande número de bases.

## Técnicas de Acesso - sumário

<b>Técnica de acesso</b>	<b>Taxas de dados</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Modems para a faixa de voz</b>	< 56Kbps	Baixo custo; instalação imediata	Bloqueia a linha telefônica; taxas relativamente baixas
<b>RDSI</b>	< 144Kbps	Tecnologia testada; custo relativamente baixo	Pequena melhoria em relação aos modems para faixa de voz; pode estar desatualizada rapidamente
<b>xDSL</b>	~ 8Mbps no <i>down</i> , por volta de 100Kbps de retorno	Altas taxas de dados em linhas existentes	Tecnologia ainda não suficientemente testada; alto custo
<b>Cable modems</b>	30Mbps <i>down</i> , 10Mbps de retorno	Custo relativamente baixo	Tem penetração limitada; arquitetura limita o número de usuários simultâneos
<b>Distribuição de TV</b>	Não conhecida, talvez 10Mbps <i>down</i>	Download para grandes volumes de dados a múltiplos usuários	Não apresenta tráfego de retorno; difícil de endereçar serviços a residências específicas
<b>Rádio móvel</b>	64Kbps celular; 500Kbps <i>cordless</i>	Pode ser utilizada imediatamente onde há cobertura	Limitação na taxa de dados; custo elevado; problemas de cobertura
<b>WLL (telefonia)</b>	< 384Kbps	Vantagem econômica; taxas de dados razoáveis	Impossibilidade de altas taxas de dados; necessária nova infra-estrutura
<b>WLL (vídeo)</b>	500Mbps <i>down</i> , 20Kbps de retorno	Altas taxas a baixo custo	Taxa de retorno mínima; pequenas distâncias

## WLL - *Wireless Local Loop*

**Definição:** uso da transmissão via rádio para prover toda a (ou parte da) conexão entre um assinante (ou grupo de assinantes) e uma central de comutação ou ponto de distribuição na rede fixa.

**Outros nomes:** WiLL (WLL da Motorola<sup>®</sup>); RFA ou RLL (*Radio Fixed Access* ou *Radio Local Loop*); RITL (*Radio In The Loop*); FWA (*Fixed Wireless Access*).

## A regra da comunicação sem fio: “A Última Milha”

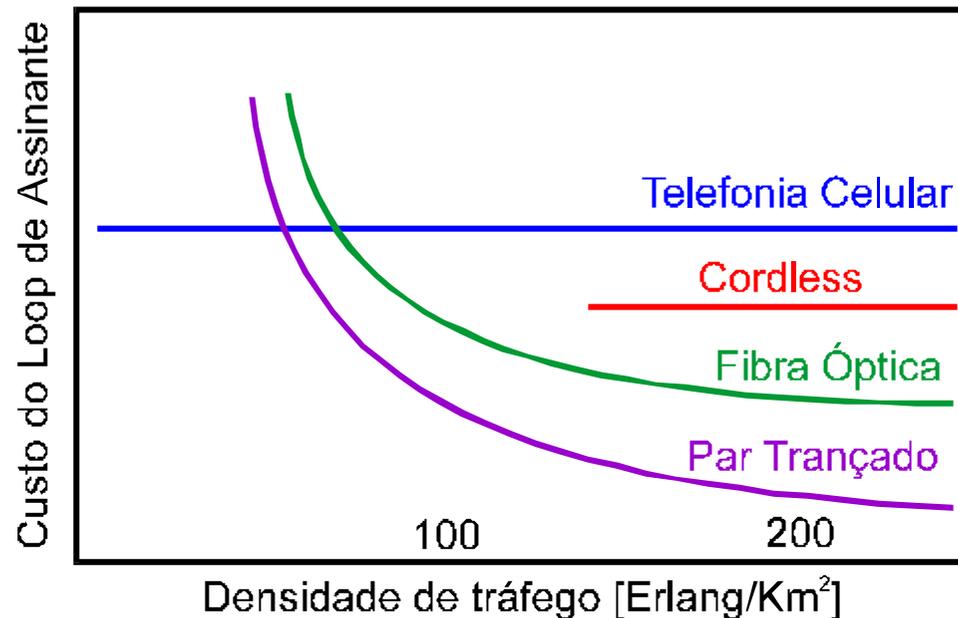
- 50% a 70% do investimento na rede de telefonia fixa comutada se localiza na conexão de acesso do assinante (*subscriber loop*).
- A instalação dessa conexão normalmente demanda muito tempo e o custo aumenta dramaticamente em áreas rurais, aproximadamente numa proporção inversa da densidade populacional e da capacidade de tráfego necessária.
- Conexões via rádio são menos onerosas em áreas com população esparsa; o custo praticamente independe da distância, mesmo com inclusão de repetidores ou amplificadores .

## A regra da comunicação sem fio: “A Última Milha”

- Em áreas residenciais os cabos de cobre existentes podem ser mais adequados que acessos via rádio; cabos ópticos podem se tornar competitivos nesse caso, principalmente se há integração da rede com outra que ofereça novos serviços.
- Em escritórios a estrutura organizacional pode ser proibitiva a mudanças frequentes na rede; sistemas tipo WOS (*Wireless Office Systems*) e que permitem conexão a centrais privadas, como o DECT, podem ser solução economicamente viável.
- **Obs.:** Devido à escassez de espectro, no futuro é possível algum tipo de “aluguel” de faixas de frequência.

## Tráfego x Densidade populacional x Custo

- Menos de 50 Erlang/Km<sup>2</sup> em áreas rurais ou pequenas vilas;
- Até 1000 Erlang/Km<sup>2</sup> em áreas residenciais e suburbanas;
- Até 10000 Erlang/Km<sup>2</sup> ou mais em grandes centros comerciais com grande concentração de escritórios.



## WLL - adequação da tecnologia

- A adequada tecnologia dependerá de considerações sobre a densidade populacional, a área geográfica (rural ou urbana), o tipo de serviço (uso residencial ou negócios, telefonia ou dados).
- Redes WLL serão implementadas através de cinco principais categorias: sistemas PCN/PCS, CT2/DECT e tecnologias proprietárias, a ver:
- **Sistemas celulares analógicos:** dominação do AMPS (69%, contra 23% TACS e 8% NMT); limitação em capacidade; adequado para mercados de baixa a média densidades; previsão de incorporar 19% dos sistemas WLL no ano 2000.

## WLL - adequação da tecnologia

- **Sistemas celulares digitais:** domínio do sistema GSM (71% dos assinantes); maiores capacidades; funcionalidades que permitem a incorporação de vários serviços; previsão de ocupação de 33% dos sistemas WLL no ano 2000; GSM apresenta grande quantidade de *overhead* (*roaming* internacional) ==> alto custo para WLL.
- **Sistemas celulares digitais:** CDMA parece ser a tecnologia mais adequada (grande capacidade, boa qualidade de voz e privacidade, mas ainda em início de operação).

## WLL - adequação da tecnologia

- Redes de comunicação pessoal (PCN) e serviços de comunicação pessoal (PCS): incorporam tecnologia celular e *cordless*, com o propósito de oferecer serviços sem fio a usuários com pouca mobilidade, com *handsets* baratos, leves e de pequena potência. Possuem a vantagem de terem sido desenvolvidos especificamente para oferecerem serviços WLL. Desvantagem de não estarem ainda comercialmente disponíveis.
- **Sistemas *cordless***: principal tecnologia - DECT; o DECT é considerado WLL quando a operadora fornece serviço sem fio ao usuário utilizando essa tecnologia;...

## WLL - adequação da tecnologia

- ... **Sistemas *cordless***: o DECT é adequado a áreas com médias a altas densidades; maior capacidade de tráfego, melhor qualidade de voz e maiores taxas se comparado com sistemas celulares; a estrutura micro-celular do DECT favorece o crescimento do sistema de acordo com as demandas dos usuários, com custos iniciais reduzidos.
- **Implementações proprietárias**: não estão disponíveis em redes sem fio públicas e são customizadas para aplicações específicas e geralmente não proporcionam mobilidade; adequadas para aplicações de baixa a média densidade de demanda.

## WLL - comparação entre os sistemas

As várias tecnologias e opções de desenvolvimento de sistemas WLL devem ser avaliadas nos termos: **densidade populacional da área de serviço; custo da conexão (equipamentos e instalação); grau de penetração; se o país ou área é desenvolvido ou está em desenvolvimento.**

A tabela a seguir mostra o resultado de um estudo conduzido em 1997 para a comparação dos sistemas PHS, DECT, Celulares Digitais e Analógicos e arquiteturas proprietárias. Os custos envolvidos podem ser vistos em [2b] .

## WLL - comparação entre os sistemas

	<b>Economia desenvolvida</b>	<b>Economia emergente</b>
<b>Área urbana e suburbana</b>	Celular digital DECT PHS Proprietária	DECT PHS Celular Digital Proprietária
<b>Área rural</b>	Celular digital Proprietária	Celular digital Celular analógico proprietária

Aplicação das várias tecnologias em WLL por segmento de mercado (de [2b]).

Como pode ser visto, nenhum sistema é mais adequado em todas as aplicações. Nem sempre é verdade que os sistemas micro-celulares (*cordless*) são melhores para áreas urbanas e que sistemas macro-celulares (celular) são mais adequados para áreas rurais.

## WLL - perspectivas

- Analistas prevêem que a maior parte do mercado global de WLL para o ano 2000 em diante ocorrerá em economias emergentes (ex.: China, Índia, Brasil, Rússia, Indonésia).
- Segundo o ITU, a demanda mundial por serviços WLL resultará em 800 milhões de novas linhas no ano 2000, sendo dessas 685 milhões em países emergentes e 115 milhões em países desenvolvidos.
- Algumas projeções indicam que o uso de WLL para atender à demanda em excesso de serviços de telefonia irá crescer dos atuais 5% para cerca de 70% em 2002, em países emergentes.

## WLL - perspectivas

- A penetração do WLL em países desenvolvidos deverá ser menor que em países emergentes economicamente.
- Os segmentos de mercado são serviços de telefonia básica em economias emergentes e serviços adicionais àqueles oferecidos pelas operadoras e proporcionados pelo WLL em economias desenvolvidas.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Economias emergentes	16	34	64	111	183	296
Economias desenvolvidas	7	13	21	31	37	43
Total	23	47	85	142	220	339

Número potencial de novas linhas WLL no mundo, em milhões (de [2b]).

## Referências bibliográficas

- [1] Rec. ITU-R F.757-1, “*Basic System Requirements and Performance Objectives for Fixed Wireless Local Loop Applications Using Cellular Type Mobile Technologies*”, 1997.
- [2a] <http://www.webproforum.com/iec03/full.html>, “*Cellular Communications Tutorial*”. January, 1999.
- [2b] <http://www.webproforum.com/amd/full.html>, “*Wireless Local Loop Tutorial*”. January, 1999.
- [3] Webb, William, “*Introduction to Wireless Local Loop*”. Artech House Publishers, Inc.: Boston, London, 1998.

Obrigado pela atenção !

**Inatel**

Instituto Nacional de Telecomunicações

[www.projeteredes.kit.net](http://www.projeteredes.kit.net)