

1. Sistemas de Comunicação Celular – Overview

2. Fundamentos de Projeto de Sistemas Celulares

Reuso de frequências

Geometria de células, Canais e Capacidade do sistema, Fator de reuso co-canal, Estratégia para atribuição de canais

Estratégias de handoff

Priorização de handoff

Interferência e Capacidade do Sistema

Interferência co-canal, Cálculo da razão S/I, Planejamento de canais para sistemas wireless, Interferência entre canais adjacentes

Trunking e Grau de Serviço

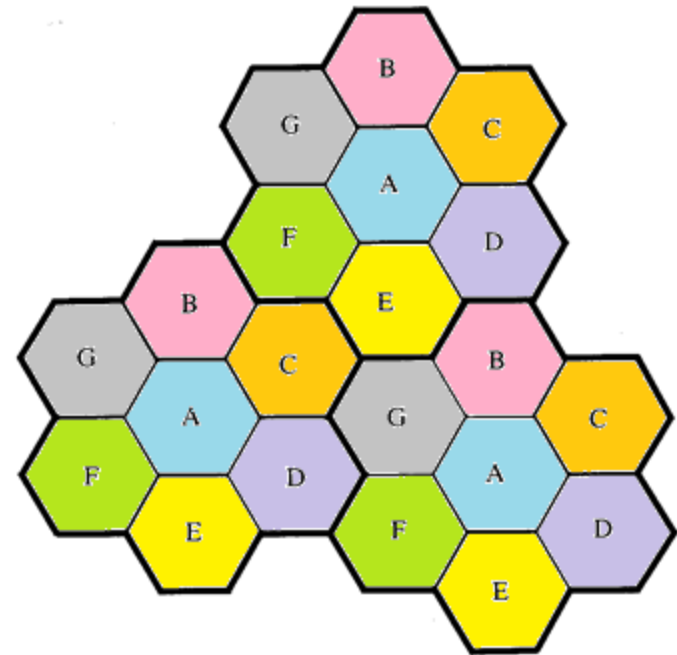
Dimensionamento, Atrasos, Filas, Perdas de chamadas

Conceito de Reuso de Frequências

- A comunicação celular consiste na **substituição do transmissor único de elevada potência** (equivalente a uma grande célula) **por diversos transmissores de baixa potência** (equivalentes a pequenas células), cada um deles permitindo a cobertura de uma pequena porção da área de cobertura que se deseja atender.
- A cada ERB (estação rádio base) é alocada uma **porção do número total de canais** disponíveis ao sistema inteiro.
- A **ERBs vizinhas** são atribuídos **diferentes grupos de canais**, para que a interferência entre as estações-base seja minimizada.
- Canais disponíveis são distribuídos através da região geográfica e **reusados tantas vezes quanto necessário**, desde que a interferência entre canais seja mantida em níveis aceitáveis.

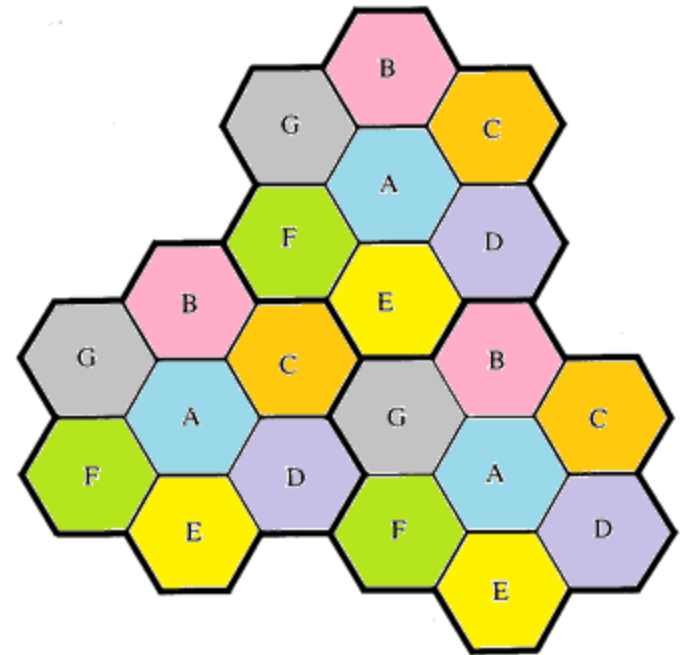
Conceito de Reuso de Frequências

- O processo de selecionar e alocar grupos de canais para as ERBs celulares dentro de um sistema é chamado **planejamento de frequências**.
- A região é dividida em células, que são agrupadas em *clusters*;
- A figura ao lado apresenta um conjunto de três *clusters*, cada um deles com 7 células, designadas de A a G;
- Cada célula do *cluster* contará com uma ERB;
- A células designadas com a mesma letra são atribuídos os mesmos canais (o mesmo conjunto de frequências).

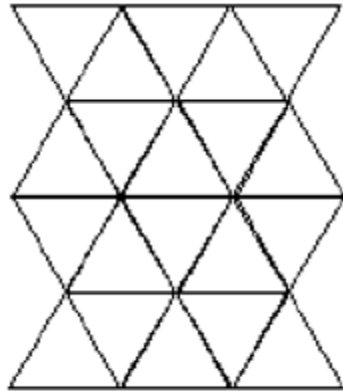


Conceito de Reuso de Frequências

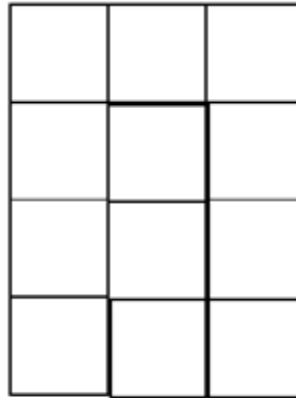
- O conjunto de canais disponível para uso no sistema é distribuído entre as células do *cluster*.
- O *cluster* é replicado sobre a área de cobertura.
- O **fator de reuso de frequência** é dado por $1/N$, onde N é o número de células que compõem o *cluster*.
- Na figura, o fator de reuso é igual a $1/7$.



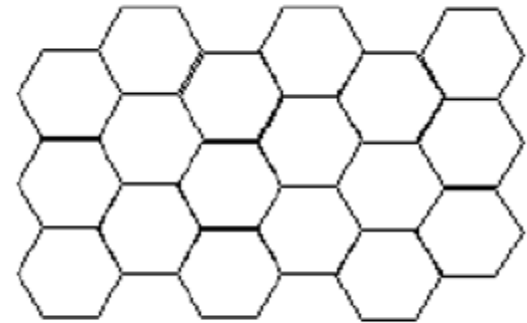
Padrões Regulares Para Geometria de Células



Padrão Triangular

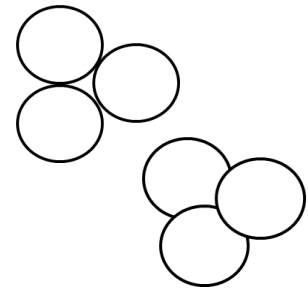


Padrão Quadrado

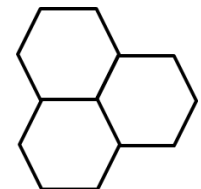


Padrão Hexagonal

Apesar de parecer lógico que o círculo represente a área de cobertura de uma célula, o **círculo** não é utilizado para representar a área de cobertura porque **círculos adjacentes não podem ser justapostos sem deixar espaços ou criar regiões sobrepostas.**

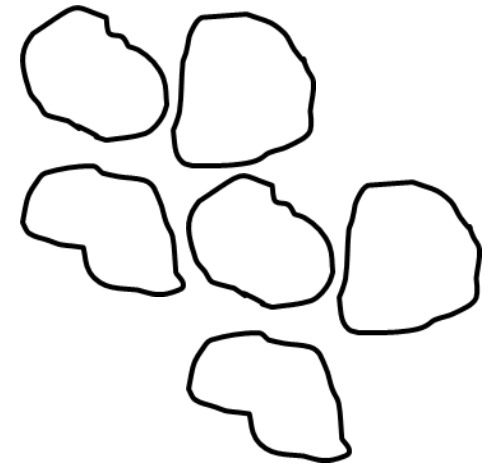
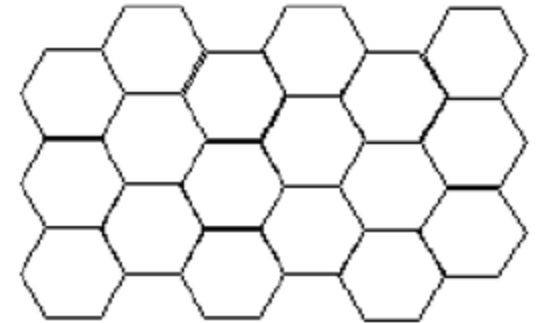


O hexágono é o modelo conceitual simplificado utilizado para fins de projeto de sistemas celulares.



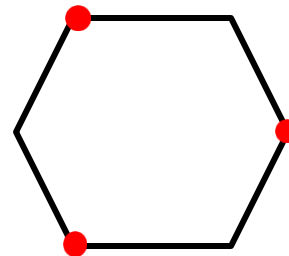
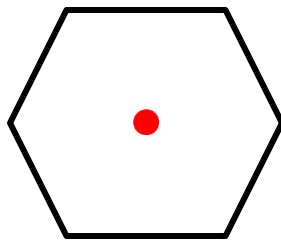
Padrões Regulares Para Geometria de Células

- O **padrão hexagonal** é usado para modelar a área de cobertura de uma célula, mas não representa a realidade.
- A **real cobertura** de rádio de uma célula é conhecida como *footprint* (pegada) e é determinada a partir de **medidas de campo** ou **modelos de predição de propagação**.
- Embora a **real footprint** seja por natureza, amorfa, uma forma regular para a célula é necessária por requerimentos de projeto e de planejamento (adaptação dos clusters) para futuro crescimento.



Padrões Regulares Para Geometria de Células

- Localização dos transmissores nas ERBs ao utilizarmos hexágonos para modelar áreas de cobertura:
 - No **centro da célula** (*center-excited cells*): antenas omni-direcionais.
 - Em **três dos seis vértices da célula** (*edge-excited cells* ou *corner-excited cells*): antenas direcionais setORIZADAS.
- Devido a considerações de natureza prática, projetos permitem que uma ERB seja posicionada a até $\frac{1}{4}$ de raio da célula.



Capacidade do Sistema em termos de quantidade de canais

- A quantidade total de S canais duplex disponíveis para uso, é dividida pelo tamanho do *cluster* N , de modo que cada célula do *cluster* dispõe de C canais:

$$C = S/N$$

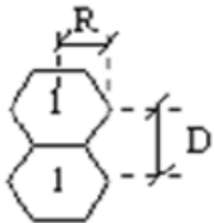
- Se o *cluster* é replicado M vezes dentro de um sistema, o nº total de canais duplex C_{Total} , que pode ser usado como uma medida da capacidade do sistema, é dado por

$$C_{Total} = MCN$$

- Note que a capacidade de um sistema celular é diretamente proporcional ao número M de vezes que um *cluster* é replicado em uma área de serviço fixa.

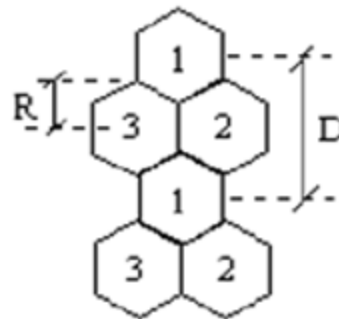
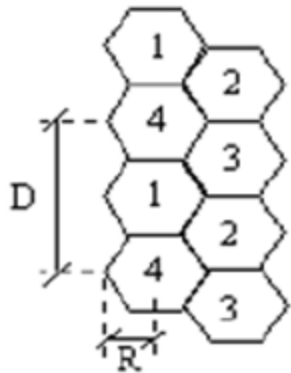
Fator de Reuso Co-canal

- O fator de reuso co-canal (q) é dado pela relação entre a distância entre células co-canais (D) e o raio da célula (R):



$$q = D/R$$

N	$q = D/R$
1	1,73
3	3,00
4	3,46
7	4,58
9	5,20
12	6,00
13	6,24

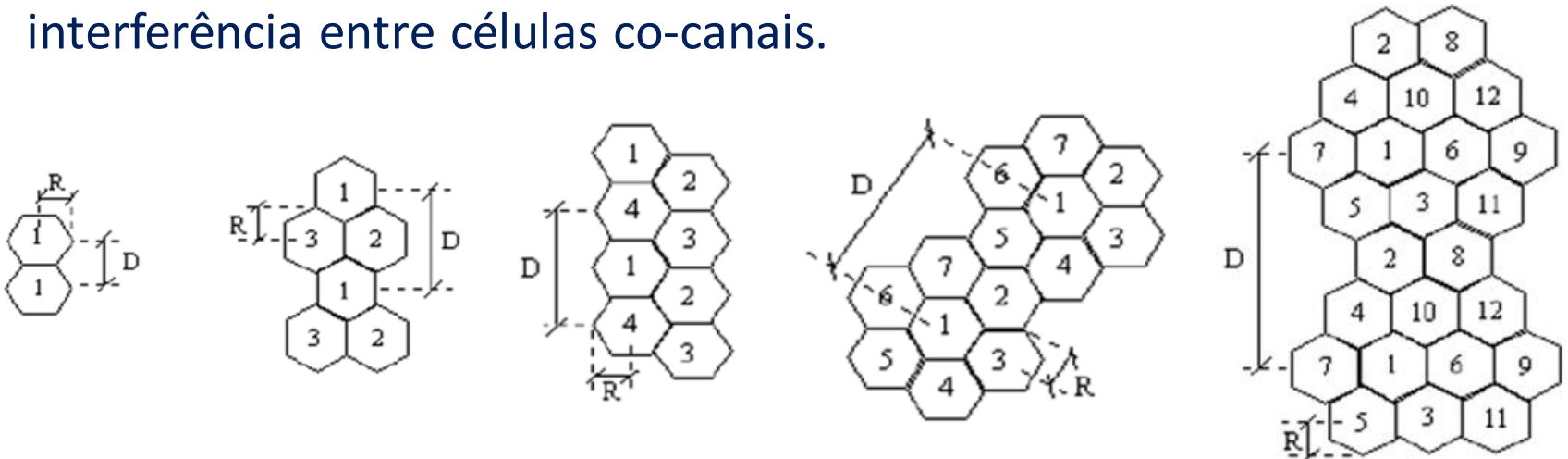


- Quanto maior o fator de reuso co-canal (q), menor a interferência entre células co-canais.

Fator de Reuso Co-canal

Considere que o tamanho da célula e a quantidade de canais disponíveis S são mantidos constantes:

- O **tamanho do cluster N** é quem define a quantidade de *clusters* necessária para cobrir uma determinada área. Quanto **menor o cluster, mais vezes ele necessita ser replicado** para cobrir a área.
- Quanto **menor o cluster, maior o número de canais por célula**.
- No entanto, um **pequeno tamanho de cluster** indica que as células co-canais são localizadas mais próximas (D), aumentando a interferência entre células co-canais.



Fator de Reuso Co-canal

- O valor de N é uma função da **máxima interferência que uma ERM ou ERB pode tolerar**, mantendo uma qualidade adequada de comunicação.
- Em termos de projeto, **é desejável o menor valor possível de N para maximizar a capacidade do sistema** sobre uma dada área de cobertura (menor N , maior fator de reuso q , maior número de canais por célula C).
- Para que seja possível uma **conexão sem interrupções entre células adjacentes**, a geometria do hexágono é tal que o número de células por *cluster* N , pode apenas assumir valores que satisfaçam à equação:

$$N = i^2 + ij + j^2$$

onde i e j são inteiros não negativos.

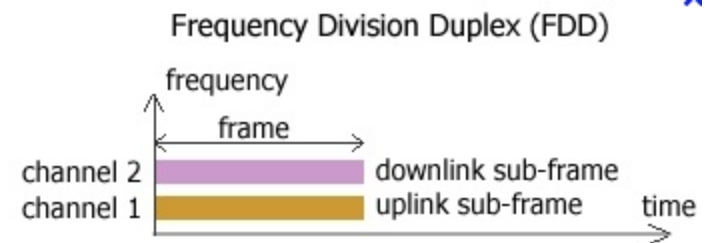
i	j	$N = i^2 + ij + j^2$
0	2	4
1	2	7
2	2	12
3	2	19

Fator de Reuso Co-canal – Exemplo 1

Se um total de 33 MHz de largura de banda é alocado para um particular sistema de telefonia celular FDD, o qual usa dois canais *simplex* de 25kHz para prover canais de voz e controle *full duplex*, determine o número de canais disponível por célula se um sistema usa:

- (a) Reuso de 4 células; $N = 4$
- (b) Reuso de 7 células; $N = 7$
- (c) Reuso de 12 células; $N = 12$

Se 1 MHz do espectro alocado é dedicado a canais de controle, determine uma distribuição equitativa de canais de controle e de voz em cada célula para cada um dos três sistemas.



Fator de Reuso Co-canal – Exemplo 1

Largura de banda total: 33 MHz

Largura de banda do canal:

2 canais simplex de 25 kHz/canal = 50 kHz/canal duplex

Número total de canais disponíveis: $33000/50 = 660$ canais

Distribuição de canais por célula:

(a) Para $N = 4$,

o nº total de canais disponíveis por célula será = $660/4=165$ canais.

(b) Para $N = 7$,

o nº total de canais disponíveis por célula será = $660/7=94$ canais.

(c) Para $N = 12$,

o nº total de canais disponíveis por célula será = $660/12=55$ canais.

Fator de Reuso Co-canal – Exemplo 1

Um espectro de **1 MHz para canais de controle** implica em $1000/50=20$ canais de controle.

Na prática, apenas 640 canais de voz poderão ser alocados, já que dos 660 canais disponíveis, 20 canais serão de controle.

Deve-se procurar alocar o mesmo número de canais de voz e controle em cada célula, sempre que possível.

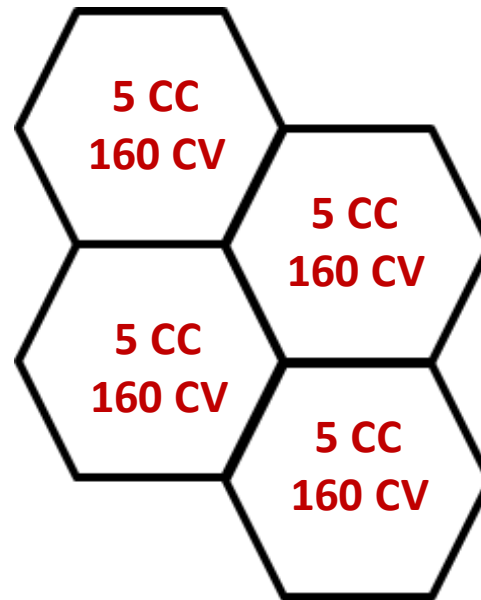
No presente exemplo, os 660 canais serão distribuídos da maneira mais uniforme possível para cada célula dentro do *cluster*.

Fator de Reuso Co-canal – Exemplo 1

(a) Para $N = 4$, pode-se alocar:

$$4(5cc + 160cv) = 660 \text{ canais}$$

5 canais de controle
160 canais de voz
por célula



Fator de Reuso Co-canal – Exemplo 1

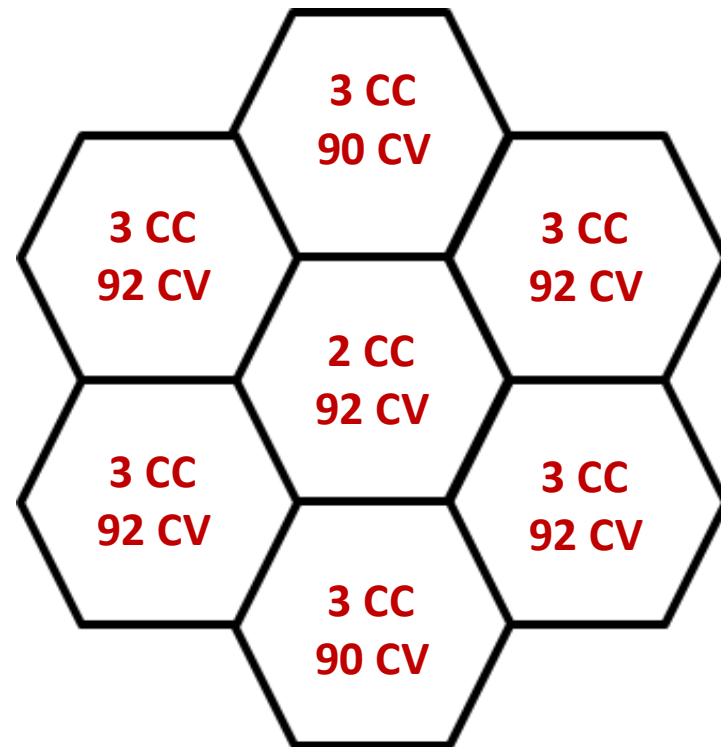
(b) Para $N = 7$, pode-se alocar:

$$4(3cc + 92cv) + 1(2cc + 92cv) + 2(3cc + 90cv) = 660 \text{ canais}$$

4 células com
3 canais de controle e
92 canais de voz

1 célula com
2 canais de controle e
92 canais de voz

2 células com
3 canais de controle e
90 canais de voz



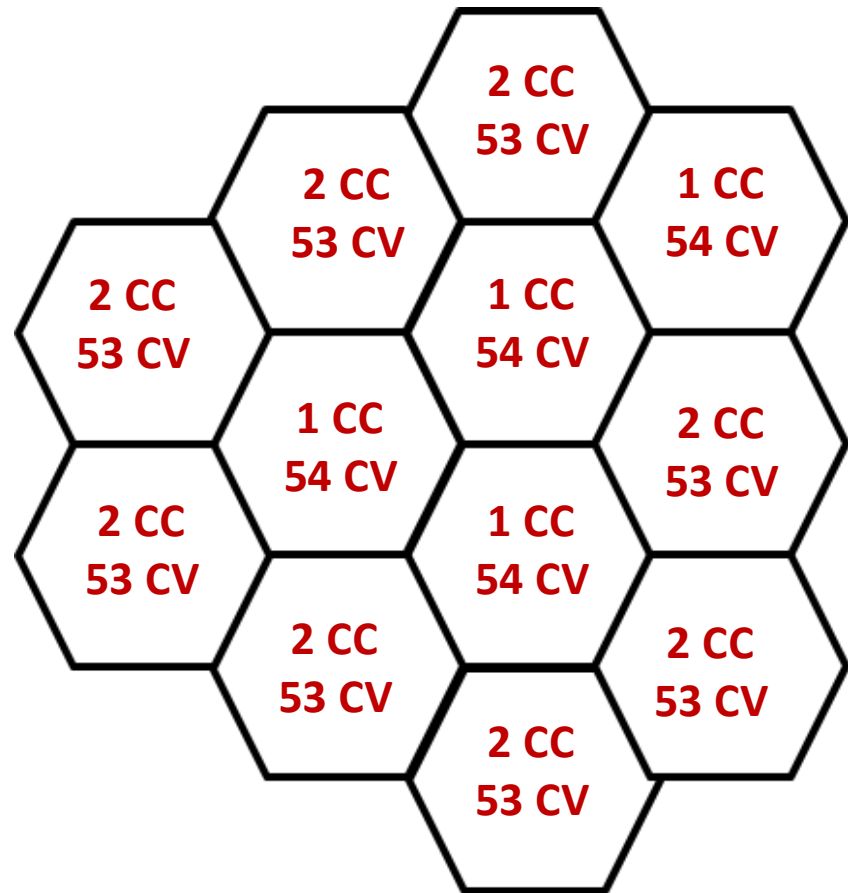
Fator de Reuso Co-canal – Exemplo 1

(c) Para $N = 12$, pode-se alocar:

$$8(2cc + 53cv) + 4(1cc + 54cv) = 660 \text{ canais}$$

8 células com
53 canais de voz e
2 canais de controle

4 células
com 54 canais de voz e
1 canal de controle



Estratégias para Atribuição de Canais

- O esquema para o reuso de frequências deve ser consistente com os objetivos de **umentar a capacidade** do sistema e **minimizar a interferência**.
- As estratégias para atribuição de canais podem ser classificadas como **fixas ou dinâmicas**.
- A estratégia adotada tem impacto no desempenho do sistema, particularmente na forma com a qual as chamadas são gerenciadas quando um usuário móvel é "passado" de uma célula a outra.

Estratégias para Atribuição de Canais

Estratégia fixa para atribuição de canais:

- Nesta estratégia é alocado para cada célula um pré-determinado conjunto de canais de voz.
- Tentativas de chamada dentro da célula podem ser atendidas apenas pelos canais não utilizados naquela particular célula.
- Se todos os canais na célula estão ocupados, a chamada é bloqueada ou interrompida, se for procedente de outra célula, e o assinante não recebe, ou tem a interrupção do serviço.

Estratégias para Atribuição de Canais

Borrowing Strategy:

- É uma variação da estratégia fixa.
- Uma célula pode pedir canais emprestados a uma célula vizinha se todos os seus canais já estiverem ocupados.
- A CCC supervisiona os procedimentos de empréstimo e garante que o empréstimo de um canal não interrompa ou interfira com qualquer das chamadas em progresso na célula doadora.

Estratégias para Atribuição de Canais

Estratégia dinâmica para atribuição de canais:

- Os canais de voz não são alocados a diferentes células de forma permanente.
- Cada vez que uma solicitação de chamada é feita, a ERB solicita um canal ao CCC.
- A CCC aloca um canal para a célula requerida de acordo com um algoritmo que leva em conta a **probabilidade de bloqueios futuros** dentro da célula, a **frequência** de uso do canal candidato, a **distância de reuso do canal** e outras funções de custo.
- A CCC apenas aloca uma dada frequência se aquela frequência não está presentemente em uso na célula ou em outra célula qualquer que caia dentro da mínima distância restrita de reuso de frequências, para evitar interferência co-canal.

Estratégias para Atribuição de Canais

Estratégia dinâmica para atribuição de canais:

- A atribuição dinâmica de canais **reduz a probabilidade de bloqueio**, a qual aumenta a capacidade de *trunking* do sistema, desde que todos os canais disponíveis dentro de um mercado são acessíveis a todas as células.
- As estratégias de atribuição dinâmica de canais requerem que a **CCC colete dados em tempo real e de forma contínua** sobre ocupação de canal, distribuição de tráfego e indicações de intensidade de sinal de rádio dos canais, o que aumenta a carga computacional e de armazenamento do sistema, mas provê a vantagem de aumentar a utilização dos canais e diminuir a probabilidade de uma chamada bloqueada.

Estratégias de *Handoff*

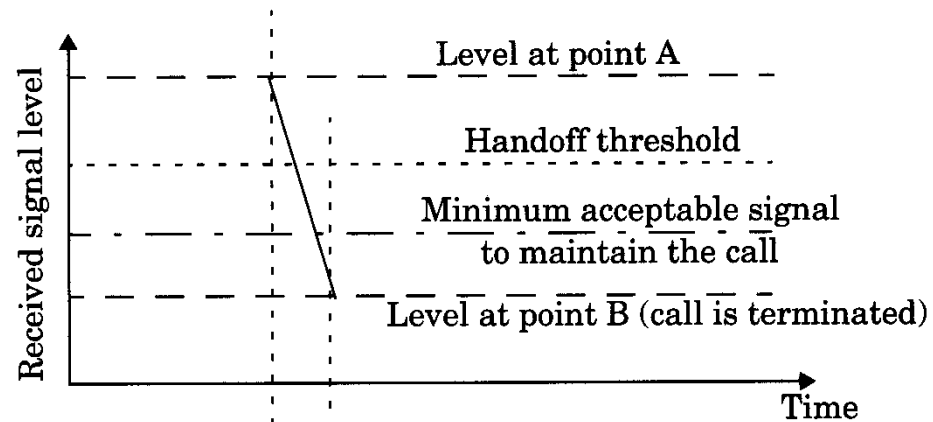
- Quando uma estação rádio-móvel se muda para uma diferente célula enquanto uma conversação está em progresso, a CCC automaticamente transfere a chamada para um novo canal que pertença à nova estação base.
- Esta operação, chamada de *handoff*, não envolve apenas a identificação de uma nova ERB, mas também **requer que os sinais de voz e controle sejam alocados a canais associados com a nova ERB.**
- Muitas estratégias de *handoff* **priorizam a operação de *handoff*** sobre solicitações de inicialização de chamadas quando alocam canais não utilizados em uma célula.

Estratégias de *Handoff*

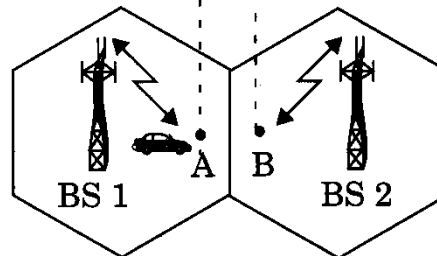
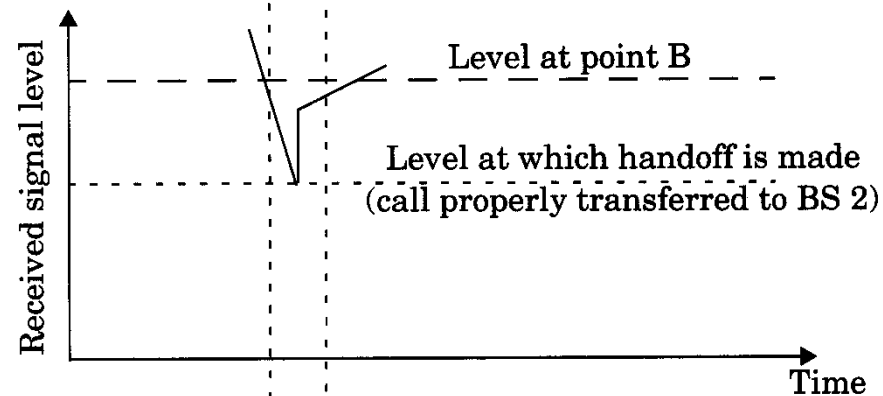
- Cada sistema possui um **nível ótimo** de sinal para o qual a operação de *handoff* é iniciada.
- O **threshold** para que a operação de *handoff* seja feita deve ser **levemente superior ao mínimo sinal utilizável** para qualidade de voz aceitável no receptor.
- Esta margem $\Delta = P_{handoff} - P_{mínima}$ não pode ser muito grande ou pequena.
- Se **Δ é muito grande**, poderão ocorrer operações de *handoff* desnecessárias, que irão sobrecarregar a CCC.
- Se **Δ é muito pequeno**, poderá não haver tempo suficiente para completar uma operação de *handoff* antes que uma chamada seja perdida devido a fracas condições de sinal e sobrecarga de processamento na CCC.

Estratégias de *Handoff*

(a) Improper handoff situation



(b) Proper handoff situation



Estratégias de *Handoff*

A **interrupção de chamada** durante o *handoff* pode ocorrer:

- Quando há um **atraso excessivo** por parte da CCC em atribuir uma operação de *handoff* ou
- Quando o limiar Δ é **assumido muito pequeno** para o tempo de *handoff* no sistema.

Atrasos excessivos podem ocorrer durante condições de alto tráfego devido à carga computacional na CCC ou devido ao fato de que não hajam canais disponíveis em qualquer uma das ERBs vizinhas (forçando a CCC a esperar até que um canal em uma célula próxima se torne livre).

Estratégias de *Handoff*

Ao decidir quando proceder à operação de *handoff* é importante garantir que:

- A queda no nível do sinal medido **não é devida a desvanecimento momentâneo** (o desvanecimento pode ocorrer mesmo para um usuário estacionário, quando há movimento na vizinhança da ERB)
- A estação móvel está realmente **se deslocando para fora** da área da ERB de serviço.

Para garantir isto, a ERB **monitora** o nível de sinal por um certo **período de tempo** antes de iniciar a operação de *handoff*.

O tempo necessário para decidir se uma operação de *handoff* deve ser executada depende da **velocidade** na qual o usuário está se movendo.

Se a declividade média de curta duração do nível de sinal recebido em um determinado intervalo de tempo é acentuada, a operação de *handoff* precisa ser realizada rapidamente.

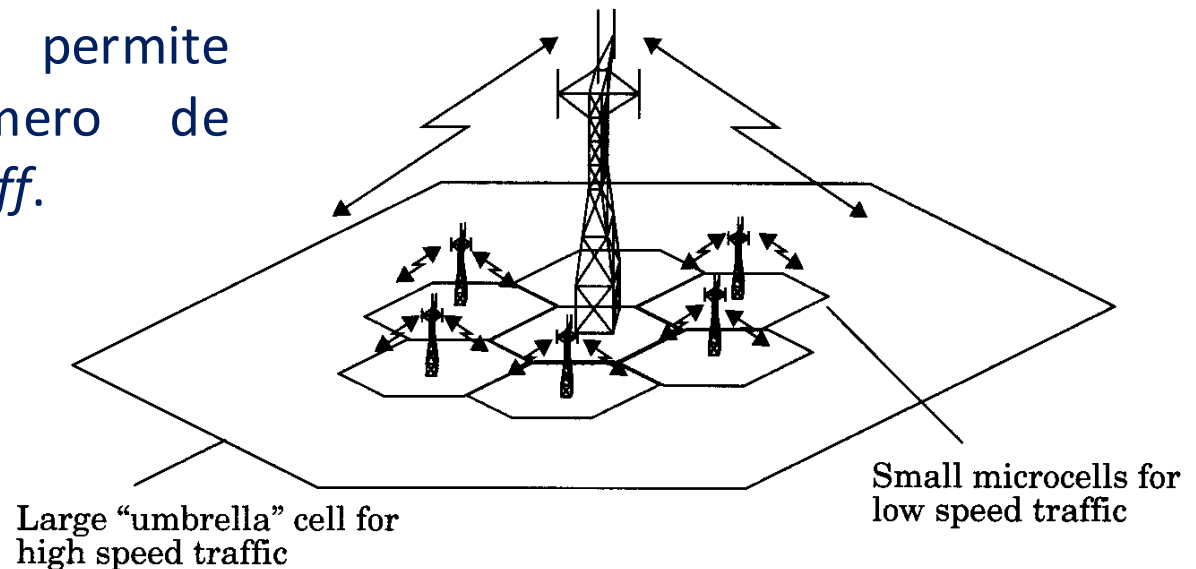
Priorizando Operações de *Handoff*

Canal de Guarda

- Um método para priorizar *handoffs* é chamado de "Conceito de Canal de Guarda".
- Neste método, uma fração dos canais disponíveis em uma célula é reservada exclusivamente para solicitações de *handoff* de chamadas em andamento.
- Desvantagem: reduz o tráfego total, à medida que menos canais acabam por ser alocados para chamadas que estão sendo originadas.
- No entanto, apresenta eficiente utilização do espectro quando são usadas estratégias dinâmicas de atribuição de canais, as quais minimizam o número total de canais de guarda requeridos, devido à alocação eficiente, baseada na demanda.

Umbrella Approach

- Células de diferentes tamanhos são definidas numa mesma região.
- Células que cobrem **grandes áreas** são utilizadas para acomodar **usuários que se deslocam a altas velocidades**.
- Células **pequenas** são utilizadas para acomodar **usuários que se deslocam a baixas velocidades**.
- Esta estratégia permite minimizar o número de operações de *handoff*.



Cell Dragging

Ocorre quando:

- O usuário se desloca em **baixa velocidade**, com linha de visada à ERB.
- **Potência recebida pela ERB é elevada, e decai lentamente.**
- Usuário se move para a célula adjacente, sem que seja realizada operação de *handoff*.
- Isso causa interferência com células adjacentes.