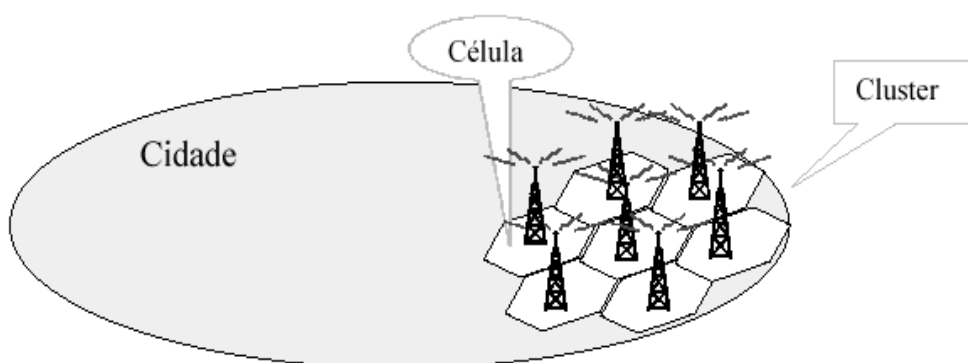


# CAPÍTULO 1 – Introdução ao Sistema Celular

## 1.1 - INTRODUÇÃO

Os primeiros sistemas rádio móveis terrestres eram compostos basicamente de um único transmissor com alta potência e com uma antena situada em um local alto da cidade para garantir uma grande área de cobertura contendo todo o espectro de frequência. Como o número de canais disponíveis já era limitado pelo espectro de frequência alocado para o serviço, os sistemas operavam com elevados graus de bloqueio. Essa situação só foi resolvida mais tarde com a introdução do conceito de células, que deu nome à telefonia celular [1][5][6].

No sistema celular essa grande região passa a ser dividida em áreas menores, chamadas de *clusters*, que por sua vez são subdivididas em unidades menores ainda, as células, como indica a figura 1.1 [1][5][6].

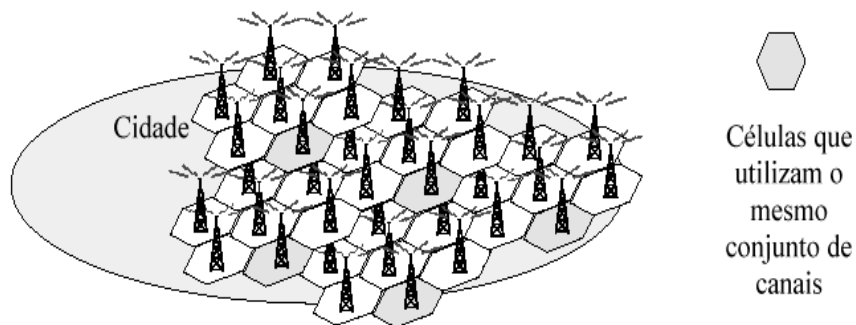


**Figura 1.1 – Sistema Celular**

Dentro do *cluster* todo o espectro disponível pode ser utilizado, sendo os canais disponíveis divididos entre as células de tal maneira que um determinado canal só estará presente em uma única célula do *cluster* [1].

O tamanho do *cluster* pode ser dimensionado para que o número de canais disponíveis seja suficiente ao atendimento dos usuários locais com o grau de serviço (GOS) desejado. Como um só *cluster* não cobre toda a cidade sem recair no problema

original, é necessário atentar para um novo fator, a distância de reuso. Colocando um *cluster* ao lado do outro, como mostra a figura 1.2, verifica-se que existe um espaçamento mínimo entre células que usam o mesmo conjunto de canais (mesmas freqüências) que limita a interferência entre esses a níveis aceitáveis, viabilizando assim o reuso de freqüências entre *cluster* adjacentes [1][5][6].



**Figura 1.2 – Reuso de Frequência**

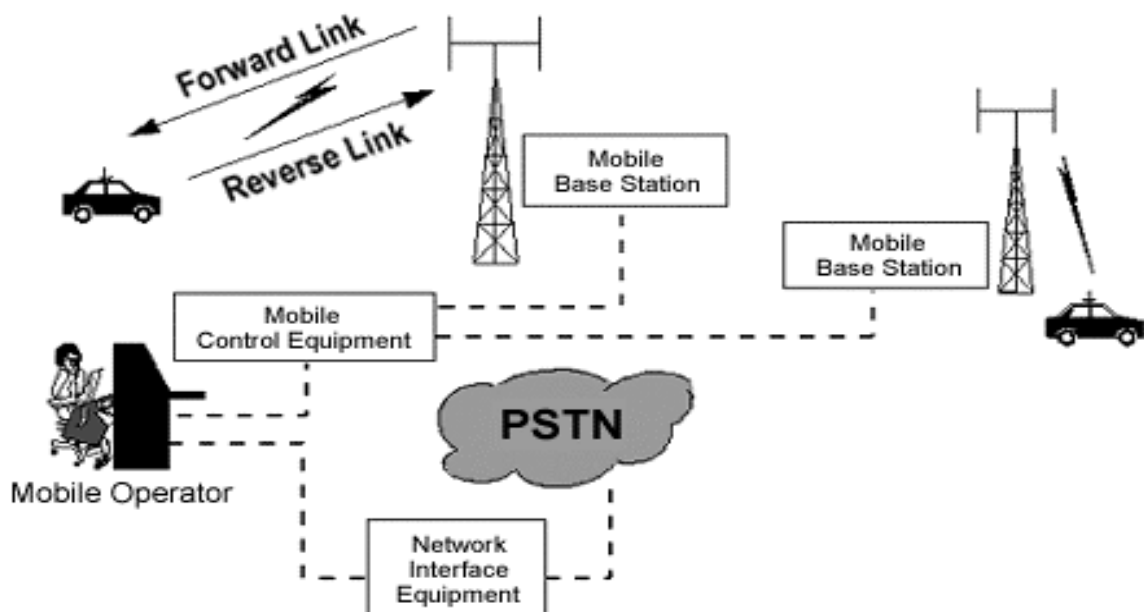
Para cobrir toda a cidade basta então repetir o *cluster* de células quantas vezes for necessário, formando um sistema celular. Utilizando-se então um sistema celular com reuso de freqüência, pode-se ter cobertura teoricamente ilimitada [1].

## **1.2 - COMPONENTES BÁSICOS DE UM SISTEMA CELULAR**

Todo sistema de telefonia celular seja ele, AMPS, TDMA, CDMA ou GSM, é formado basicamente por três componentes [1][5][6]:

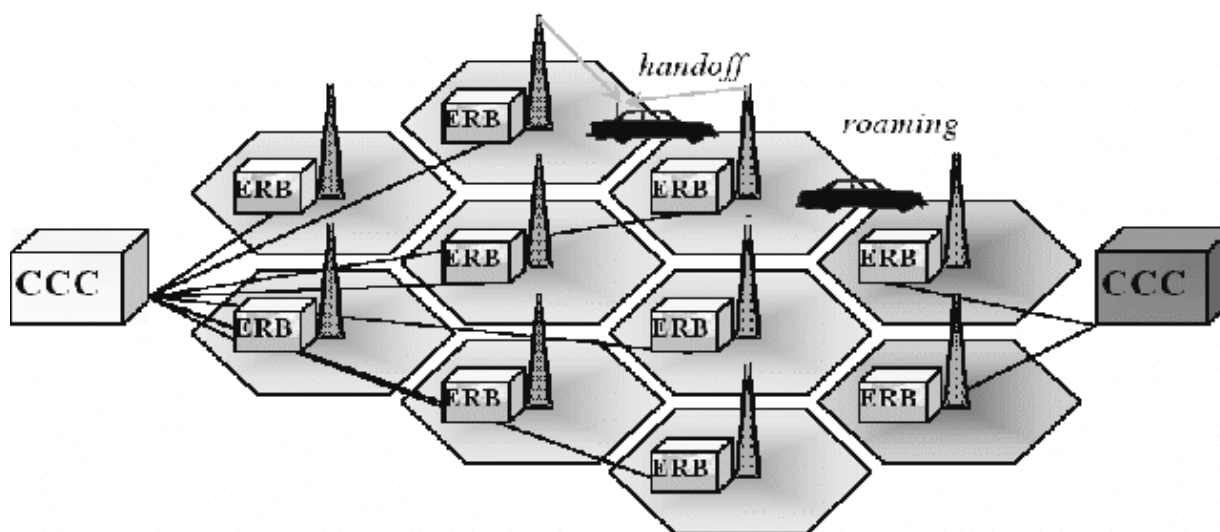
- Unidade Móvel (UM) - tem como principais funções: prover a interface entre usuário e o sistema; converter sinais de áudio em sinais de RF e vice-versa; responder a comandos enviados pelo sistema; alertar usuário sobre chamadas recebidas e alertar o sistema sobre tentativas de originar chamadas. Essa UM junto com uma antena e um transceptor pode se apresentar nas configurações veicular, transportável ou portátil, sendo essa muito utilizada [1][6].

- Estação Rádio Base (ERB) - fornece a interface entre a CCC e as UMs, ela contém uma unidade de controle de transceptores rádio, antenas, plantas de alimentação e terminais de dados; além de transmitir e receber sinais de controle para o estabelecimento e supervisão das chamadas, ela ainda transmite e recebe sinais de voz e de várias UMs dentro de sua área de cobertura [5][6].
- Central de Comutação e Controle (CCC) - é o elemento de coordenação central de toda a rede celular pois administra todas as ERBs dentro de sua área de controle, ou seja, comuta e controla um aglomerado celular; estabelece a interface com a rede de comutação pública; comuta chamadas originadas ou terminadas na UM. Permite que a estação móvel tenha à sua disposição os mesmos serviços e facilidades fornecidos pela rede pública aos assinantes fixos, além de comandar e controlar o *handoff* [1][6]. Todas essas funções são possíveis graças a uma base de dados do sistema contendo todas as informações necessárias para o funcionamento de forma adequada de todo o Sistema de Telefonia Móvel Celular. As conexões entre ERB e CCC são feitas normalmente por troncos de linhas físicas, sendo também possíveis conexões por rádio e fibras óticas. Dessa forma, as CCCs são conectadas às centrais de rede fixa.



**Figura 1.3 – Componentes de um Sistema Celular**

A figura 1.3 ilustra os componentes básicos de um sistema móvel celular. E a figura 1.4, acrescenta ainda os conceitos de *handoff*, que é uma função que permite manter a continuidade de uma conversação quando o usuário passa de uma célula para outra, e de *roaming*, que permite o acesso ao sistema em outra área de controle que não àquela em que o assinante mantém seu registro [1][5][6].



**Figura 1.4 – Funções de Handoff e Roaming**

### **1.3 – FATORES QUE LIMITAM A EXPANSÃO DO SISTEMA**

#### **1.3.1 - Interferência co-canal**

O grande problema encontrado na distribuição de canais de radio sob uma determinada área geográfica limitando a expansão do sistema é a interferência, que tende a minimizar a relação sinal interferência (RSI). A interferência em um ambiente rádio móvel se apresenta de várias formas para o sistema. A interferência co-canal é a mais expressiva, pois ela é causada por múltiplos usos da mesma frequência no sistema [5][6].

### 1.3.2 - Interferência de Canal Adjacente

A interferência de canal adjacente é um outro tipo de interferência muito comum no sistema, que ocorre ao se tentar obter uma máxima eficiência espectral, colocando-se os canais muito próximos um dos outros no espectro de frequência [7]. As situações mais comuns de ocorrência dessa interferência são: quando os canais adjacentes são colocados na mesma célula, onde se tem a interferência de canal adjacente intracelular; e quando um móvel está próximo a fronteira entre uma ou mais células, onde se tem a interferência de canal adjacente entre células. Para resolver esses problemas, normalmente é recomendado se evitar utilizar canais adjacentes em uma mesma célula, ou em células adjacentes, respectivamente [5][7].

A interferência de canal adjacente é dada por [1]:

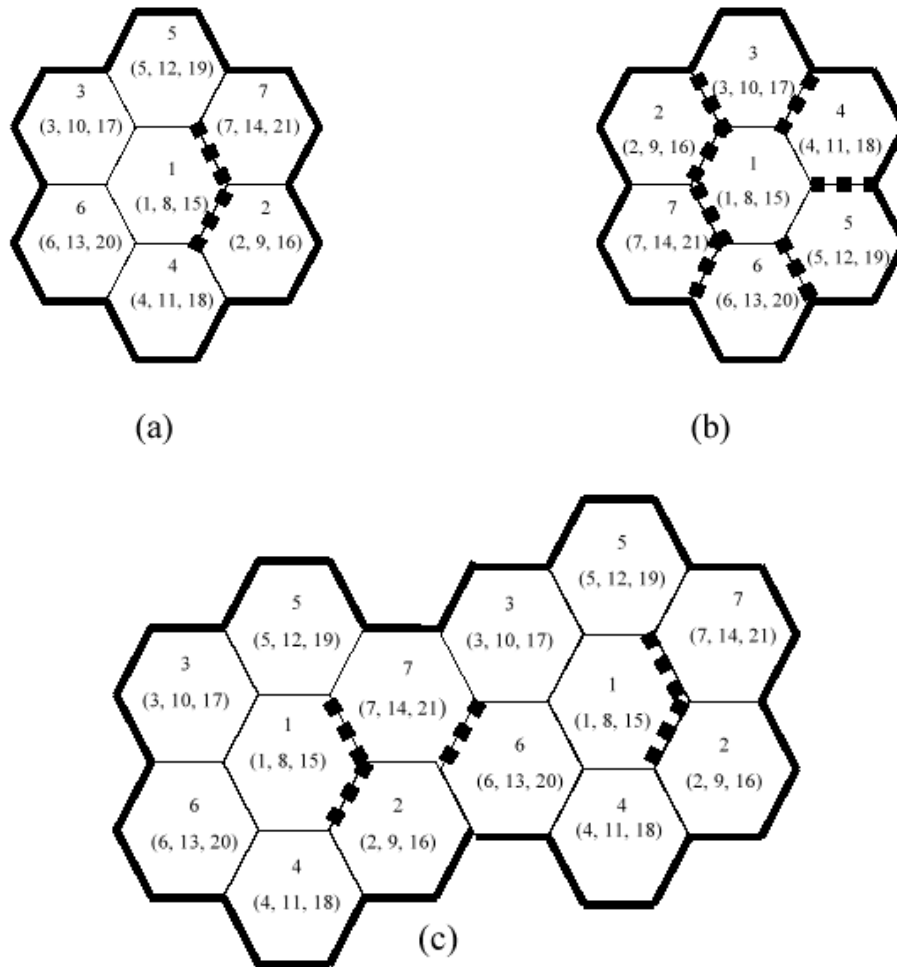
$$ICA = -10\log\left[\left(\frac{d_I}{d_C}\right)^\gamma\right] - IC \quad (1.1)$$

onde:  $d_I$  = Distância entre a ERB que contem o canal adjacente interferente e o móvel.

$d_C$  = Distância entre a ERB que possui o canal desejado e o móvel.

$IC$  = Isolamento de canal adjacente, dependente da filtragem (valor típico 26 dB)

A figura 1.5a mostra a versão otimizada do plano de reuso de frequência  $N = 7$  do ponto de vista da interferência de canal adjacente, que só é significativo entre duas duplas de células: 1-2 e 1-7. No caso não otimizado da figura 1.5b, têm-se 7 duplas de células com interferência de canal adjacente. Essas duplas são: 1-2, 1-7, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6 e 6-7. O reuso de frequência produz um aumento das duplas de células com interferência de canal adjacente, como ilustra a figura 1.5c [1].



**Figura 1.5 – Influência de Canal Adjacente devido ao Reuso de Frequência**

Assim, para a utilização eficiente do limitado espectro de frequência disponível, e ainda minimizar os efeitos das interferências, maximizando a RSI do sinal recebido, são propostas as técnicas de alocação de canais [7].

#### 1.4 – PLANEJAMENTO SEGUNDO O PADRÃO DE REUSO

A distância de reuso co-canal está intimamente relacionada à capacidade de escoar tráfego e a qualidade de transmissão do sistema celular [7]. Particularmente, ela é expressa em termos da relação de reuso co-canal  $D/R$ , que é a relação entre a distância entre as co-células (células que usam o mesmo canal) e o raio da célula  $R$ .

Assim, quanto menor for o número de células por *cluster* menor é a relação D/R e maior é a capacidade de escoar tráfego do sistema, pois maior é o número de canais por célula [7]. Do ponto de vista da transmissão, a relação D/R indica a qualidade do sinal [7]. Assim, quanto menor é a relação D/R menor é a distância entre as co-células e maior é a interferência entre os co-canais em uso [7]. A tabela 1.1, mostra os valores típicos da relação D/R. Pode-se observar nessa tabela que a qualidade do sinal e a capacidade de escoar tráfego trafegam em sentidos opostos. Dessa forma, é necessário se utilizar um valor de D/R que expresse um bom compromisso entre qualidade e desempenho do sistema. O valor normalmente utilizado no planejamento do sistema celular da relação D/R é 4,58, que representa um *cluster* de 7 células [5][7].

**Tabela. 1.1- Capacidade de tráfego e qualidade de transmissão**

Tamanho do cluster	D/R	Capacidade de tráfego	Qualidade de transmissão
1	1.73	Alta	Baixa
3	3.00	↑	↓
4	3.46		
7	4.58		
12	6.00	Baixa	Alta

Uma célula local, irradiando em todas as direções (omnidirecional), é representada pela RSI como segue [5]:

$$RSI = 10 \log \left[ \left( \frac{1}{j} \right) \left( \frac{D}{R} \right)^\gamma \right] \quad (1.2)$$

onde :  $j$  = número de interferências co-canais.

$\gamma$  = constante de propagação

$D$  = distância de reuso da frequência

$R$  = raio da célula

**Tabela 1.2 – Desempenho da Capacidade em função da relação  $D/R$**

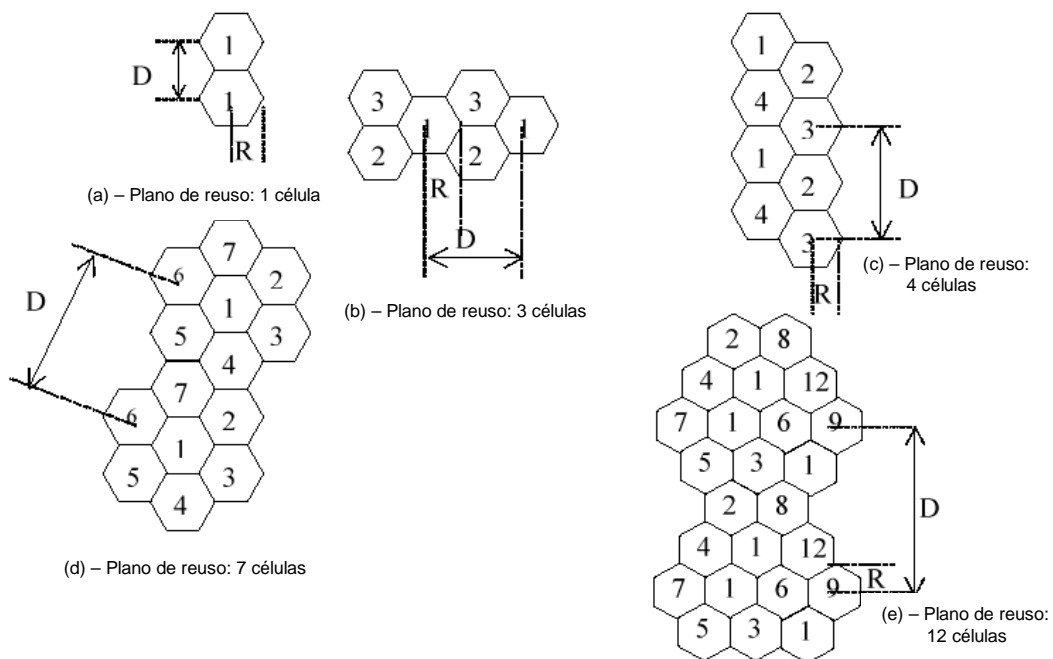
N	$\frac{D}{R} = \sqrt{\frac{3}{N}}$	$RSI = 10\log\left[\left(\frac{1}{j}\right)\left(\frac{D}{R}\right)^\gamma\right]$	Capacidade de Canal por célula $\left(\frac{416}{N}\right)$
3	3,00	-11	138
4	3,46	-13	104
7	4,58	-18	59
9	5,19	-20	46
12	6,00	-23	34

Com  $\gamma = 4$ ,  $D/R = 4,58$  e  $j = 6$ , a interferência co-canal se torna [5]:

$$RSI = 18,6 \text{ dB}$$

Seis interferências (pior caso) (1.3)

A coluna 3 da tabela 1.2 resume os resultados para outros planos de freqüências [5]. A separação de células co-canalais para diversos padrões de *clusters* é mostrado na figura 1.6 [1].



**Figura 1.6 - Separação de células co-canalais para diversos padrões de reuso**



## **1.5 – ALOCAÇÃO DE CANAL**

Existem basicamente três diferentes técnicas de alocação de canais, são elas: alocação de canal fixa (FCA), alocação de canal dinâmica (DCA) e alocação de canal híbrida (HCA) [7][8]. Essas técnicas podem ser implementadas considerando a área de cobertura da célula e das células adjacentes, de tal forma que a RSI seja mantida em um nível prescrito com uma alta probabilidade [7]. Os canais podem ainda ser atribuídos considerando uma medida local da RSI, ou seja, ao invés de alocar o canal baseado no pior caso atribui-se o canal baseado em uma medida local da RSI [7][8].

A alocação de canal pode ser feita de forma centralizada ou distribuída. Na primeira forma, todo o controle da alocação do canal para uma determinada chamada é feito por uma central controladora, enquanto na forma distribuída a decisão de atribuir um determinado canal a uma chamada é feita pela própria ERB da célula na qual a chamada foi iniciada [7][8]. Tanto o esquema FCA quanto o esquema DCA podem implementar essas formas das técnicas de alocação de canais [7][8].

### **1.5.1 – ALOCAÇÃO DE CANAL FIXA**

Nessa técnica, a área geográfica a ser atendida é dividida em células e um conjunto de canais é atribuído permanentemente a cada célula de acordo com um padrão de reuso [7]-[9]. Dessa forma, obtém-se uma eficiência espacial máxima, pois os canais são sempre atribuídos na mínima distância de reuso [7]. O principal problema dessa técnica é justamente a incapacidade de negociar com alterações no perfil de tráfego. Assim, em células onde o tráfego é baixo alguns canais ficam ociosos, por outro lado, em outras células onde o tráfego é alto, há o aumento da probabilidade de bloqueio, pois os canais nominais dessa célula não são suficientes para escoar todo o tráfego oferecido [7][9].

Existem várias formas de implementar uma FCA, a mais comum é a distribuição uniforme de canais entre as células, ou seja, a utilização da técnica de alocação de canal fixa uniforme (FUCA) [7]-[9], que aloca o número de canais em cada célula de acordo com a célula que possui a maior demanda de tráfego no sistema. Essa estratégia é eficiente em situações onde a distribuição do tráfego oferecido também é

uniforme. Assim, a probabilidade global de bloqueio do sistema é a mesma probabilidade de bloqueio de uma chamada em uma célula. Contudo, o tráfego no sistema celular sofre variações temporais e espaciais. Assim, a alocação uniforme de canais pode resultar em uma pobre utilização do canal, pois em algumas células os canais são subutilizados, e em outras eles não são suficientes para escoar as chamadas oferecidas. Para resolver esse problema, utilizam-se algoritmos de alocação não uniforme de canais, ou seja, utiliza-se a técnica de alocação de canal fixa não uniforme (FNCA) [7]-[9], onde os canais são distribuídos nas células de acordo com a demanda de tráfego de cada célula [7][8].

Neste trabalho é usado o esquema FCA, utilizando-se tanto algoritmos FUCA como algoritmos FNCA.

### **1.5.2 – ALOCAÇÃO DE CANAL DINÂMICA**

Enquanto na FCA os canais são alocados permanentemente nas células, na DCA todos os canais estão disponíveis para todas as células [7]. Assim, os canais são atribuídos às novas chamadas considerando apenas que a RSI mínima seja satisfeita [7]-[9]. A DCA fornece uma maior flexibilidade para negociar com as variações espaciais e temporais de tráfego, a custo de uma grande quantidade de dados trocados entre as ERBs, CCCs e UMs, resultando no aumento da complexidade do algoritmo de alocação [7]-[9].

Em uma DCA, todos os canais são concentrados em uma central e são atribuídos a uma chamada de acordo com a sua chegada no sistema. Após o término da chamada, o canal retorna para a central [7]-[9].

Nessa técnica, um canal é candidato para a atribuição de uma chamada em qualquer célula se ele satisfizer as condições de interferência. Assim, vários canais na central podem ser candidatos à atribuição. Dessa forma, o que diferencia os algoritmos de DCA é justamente o critério de escolha do canal candidato. A idéia principal dos algoritmos DCA é calcular o custo de uso de cada canal e selecionar o que tiver menor custo, satisfazendo-se as condições de interferência.

### **1.5.3 – ALOCAÇÃO DE CANAL HÍBRIDA**

Essa técnica é uma combinação da FCA e da DCA. Nela uma porção de canais são atribuídos fixamente, enquanto uma outra porção é atribuída dinamicamente sempre que uma chamada é solicitada [7][8]. A relação entre o número de canais fixos e dinâmicos é um importante parâmetro pelo qual se define o desempenho do sistema. Essa relação é determinada de acordo com as características do perfil de tráfego.

### **1.5.4 – ESCOLHA DA TÉCNICA DE ALOCAÇÃO DE CANAL ADEQUADA**

Um dos parâmetros determinantes na escolha da técnica de alocação de canal a ser usada é o tráfego. O desempenho de cada técnica de alocação de canal depende de características como variação espacial e temporal. Assim, em situações de tráfego suave e moderado o desempenho dos esquemas DCA são melhores que dos esquemas FCA. Contudo, sob altas razões de tráfego oferecido, especialmente no caso de tráfego uniforme, o desempenho dos esquemas FCA é superior ao dos esquemas DCA [7]-[9]. Isso acontece porque em situações de tráfego suave e moderado os esquemas DCA usam o espectro de frequência com mais eficiência que os esquemas FCA, justamente porque todos os canais estão disponíveis para qualquer célula. Nos esquemas FCA, quando uma célula apresenta todos os seus canais ocupados, as chamadas que chegam são bloqueadas, mesmo tendo canais disponíveis nas células adjacentes. Porém, em se tratando de alto tráfego, o efeito determinante para a máxima eficiência espectral é a máxima eficiência espacial, o que justamente é feito nos esquemas FCA.

Em relação à complexidade do sistema, nos esquemas FCA o controle de atribuição de um canal é feito independentemente em cada célula pela seleção de um canal desocupado entre os que estão livres. Porém, nos esquemas DCA o conhecimento dos canais ocupados em outras células, tão bem quanto, os na célula em questão são necessários, aumentando a quantidade de dados de controle e processamento na rede [7][8]. Dessa forma, a complexidade de implementação dos esquemas DCA é maior que dos esquemas FCA [7][8]. A implementação física dos

esquemas DCA, exige um grande processamento dos níveis de RSI para determinar a alocação ótima, além de uma pesada carga de sinalização devido ao que foi mencionado anteriormente. Por outro lado, os esquemas FCA exigem um ótimo planejamento em frequência, o que não acontece nos esquemas DCA [7][8].