

# Reuso de Frequências

CMS 60808 2016-1

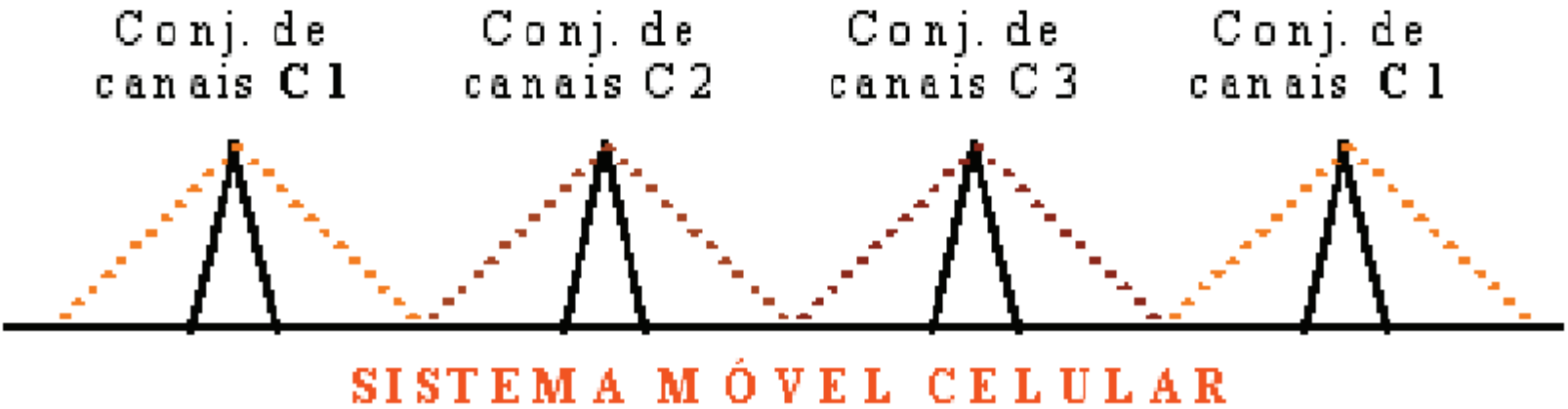
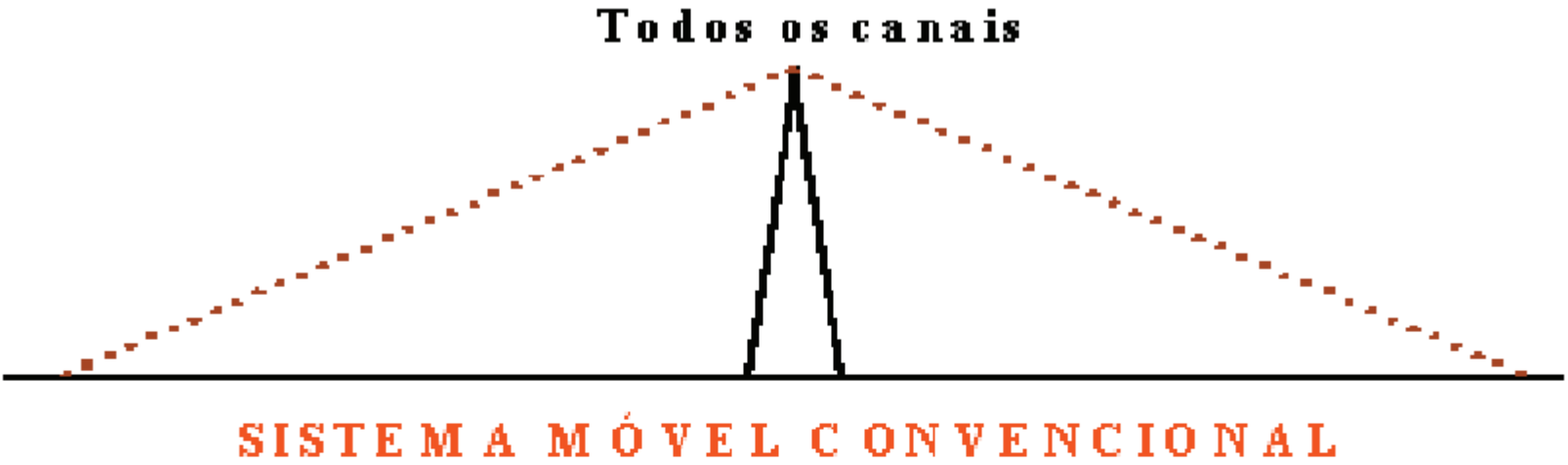
Bruno William Wisintainer

[bruno.wisintainer@ifsc.edu.br](mailto:bruno.wisintainer@ifsc.edu.br)

# Padrão de Reuso

- Define-se como padrão de reuso ao 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 será o número de canais por grupo, portanto mais canais por célula e maior a quantidade de tráfego oferecido por cada célula.

# Reuso de Frequência



# Reuso de Frequência

- Exemplo: Uma operadora possui licença junto a Anatel para operar na frequência de 800 a 900 MHz. Cada canal ocupa uma largura de banda de 100 kHz. Considerando uma banda de guarda nula, são possíveis operar até 1000 canais conjuntamente.

# Reuso de Frequência

- Suponha que a região de cobertura de uma ERB seja de  $X$  km de raio.
- É desejado que em nenhum momento todos os canais sejam utilizados simultaneamente.
- Caso o número de canais não seja suficiente, a região deve ser atendida por mais de uma célula.
- Conforme o número de usuários cresce, um maior número de células deve ser utilizado para atender a demanda de usuários.

# Reuso de Frequência

- Para uma região com baixa densidade de usuários – Poucas células de grande cobertura;
- Para uma região com alta densidade de usuários – muitas células de pequena cobertura;

# Reuso de Frequência

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

# Padrões regulares

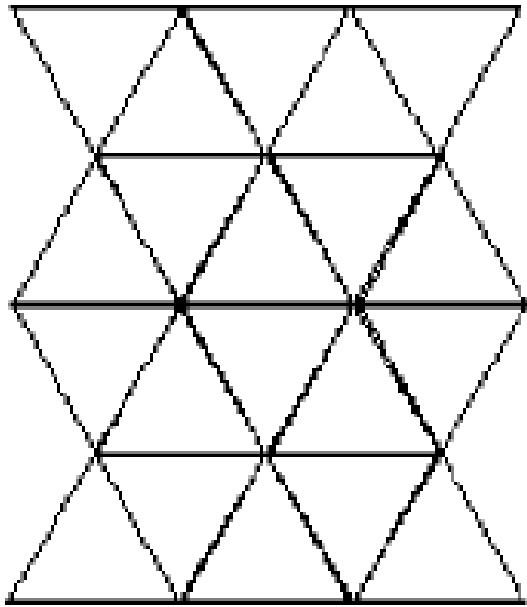
- As figuras que se agrupam (em uma região bidimensional) de maneira eficiente para ocupar toda sua área são os quadrados, triângulos equiláteros e hexágonos regulares.



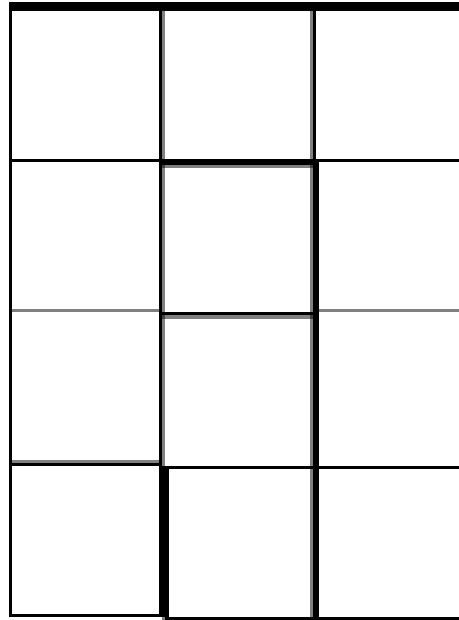


# Padrões regulares

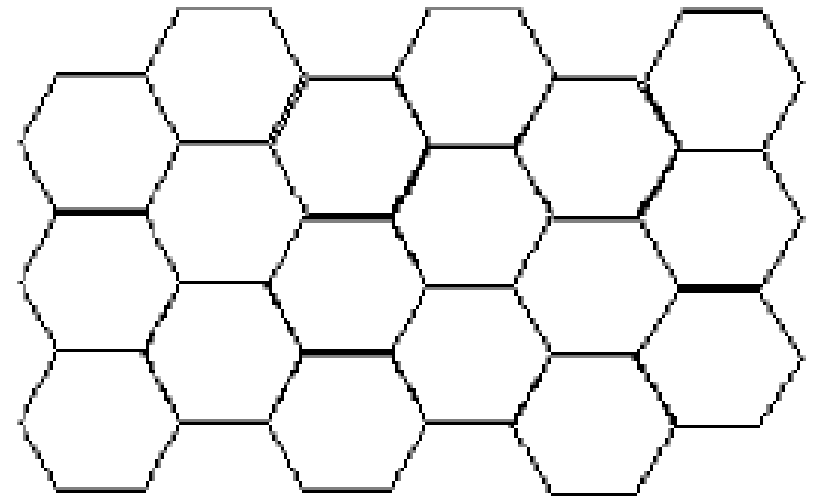
- Possíveis padrões



Padrão Triangular



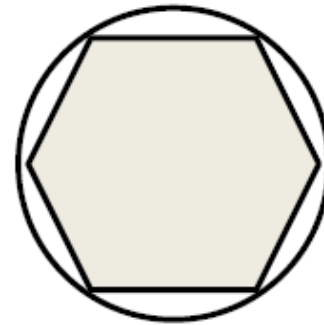
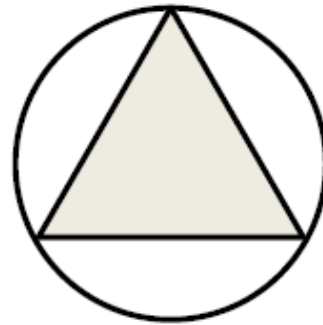
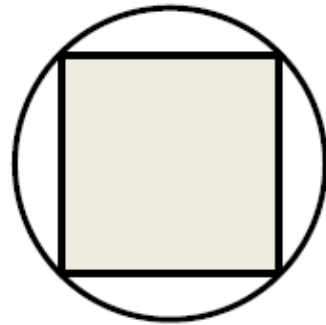
Padrão Quadrado



Padrão Hexagonal

# Padrões regulares

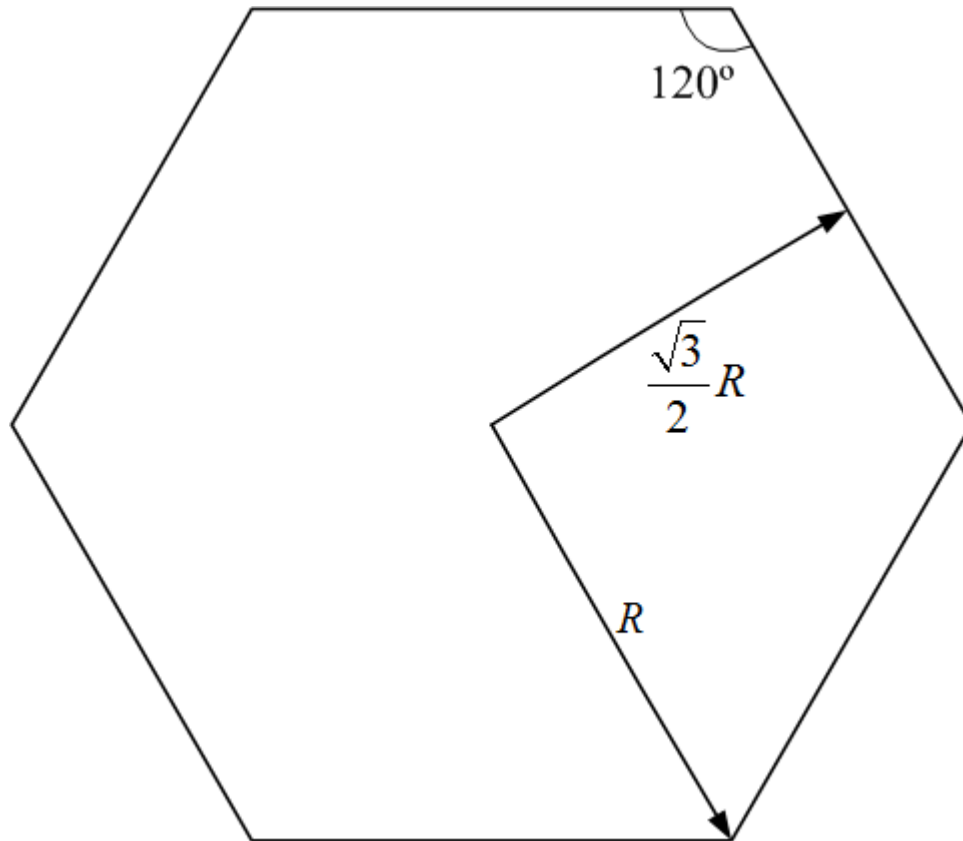
- Maior área;
- Permite o menor número possível de células para cobrir uma determinada região;
- Mais próximo ao sistema omnidirecional.



# Padrão Hexagonal

- O reuso de frequências em um padrão hexagonal segue três regras básicas:
  - Cada célula possui 6 co-células equidistantes;
  - O reuso de frequências deve ser isotrópico; e
  - Um *Cluster* deve ser formado por um conjunto de células

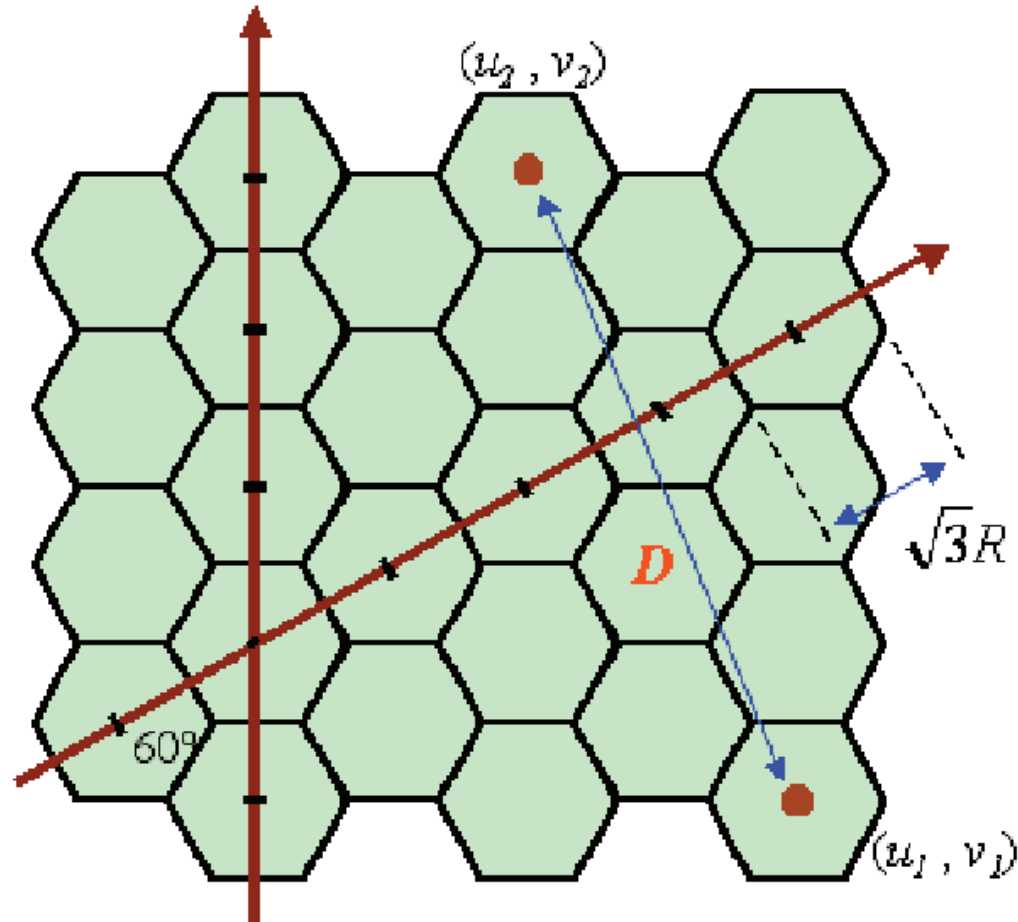
# Padrão Hexagonal



$$d = \sqrt{3}R \text{ (diâmetro da célula)}$$

$$a = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 \text{ (área da célula)}$$

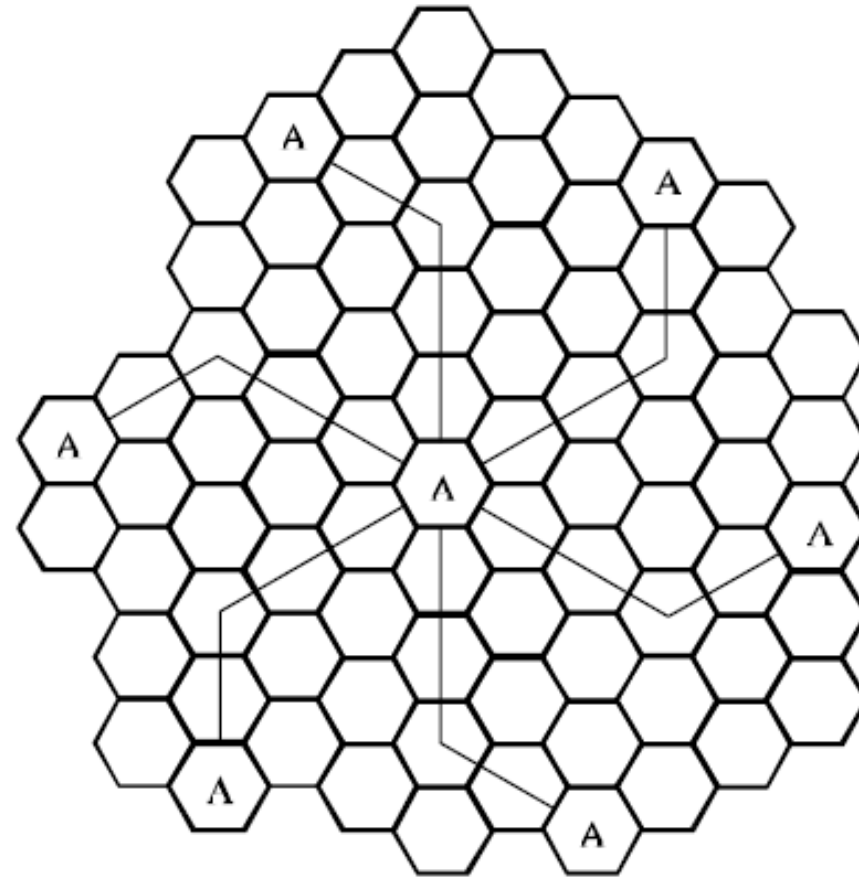
# Distância entre Células Co-canalais



$$D = \sqrt{i^2 + ij + j^2}$$

$$i = (u_2 - u_1) \text{ e } j = (v_2 - v_1)$$

# Reuso de Frequências

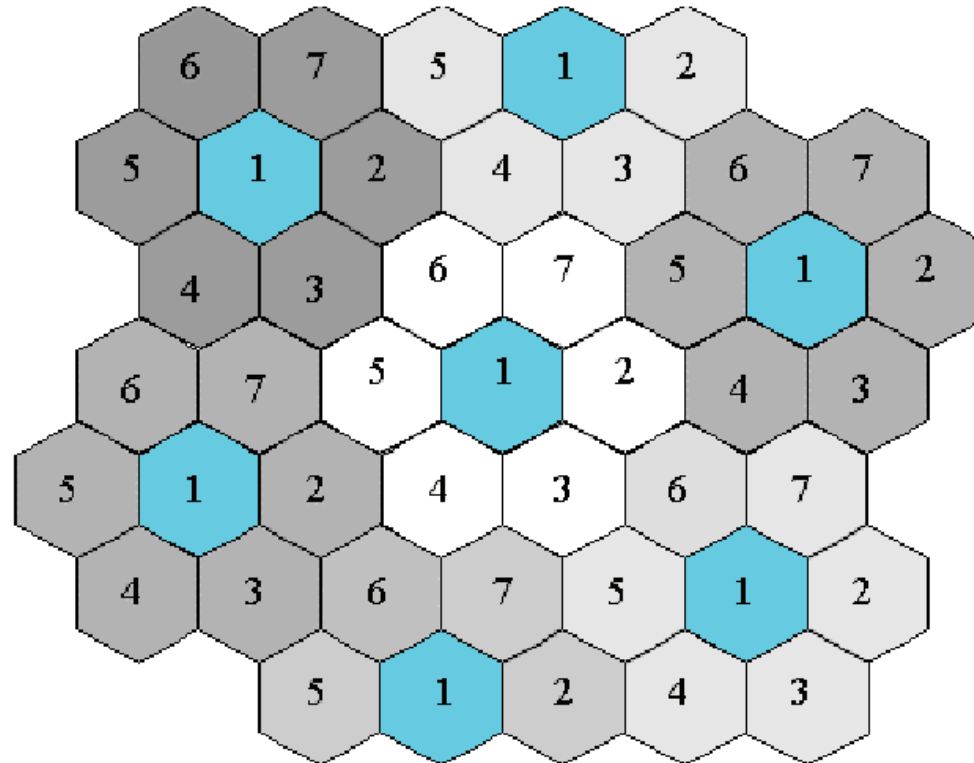


# *Clusters*

- Para que ocorra a reutilização de uma frequência em outra área é necessário garantir que o sinal transmitido pela segunda ERB não interfira na área celular coberta pela primeira. Para isto, a área de serviço é dividida em *clusters* contendo todo espectro disponível.
- Em termos de projeto é desejável o menor valor de  $N$  (tamanho do *cluster*) possível para maximizar a capacidade do sistema sobre uma dada área de cobertura.

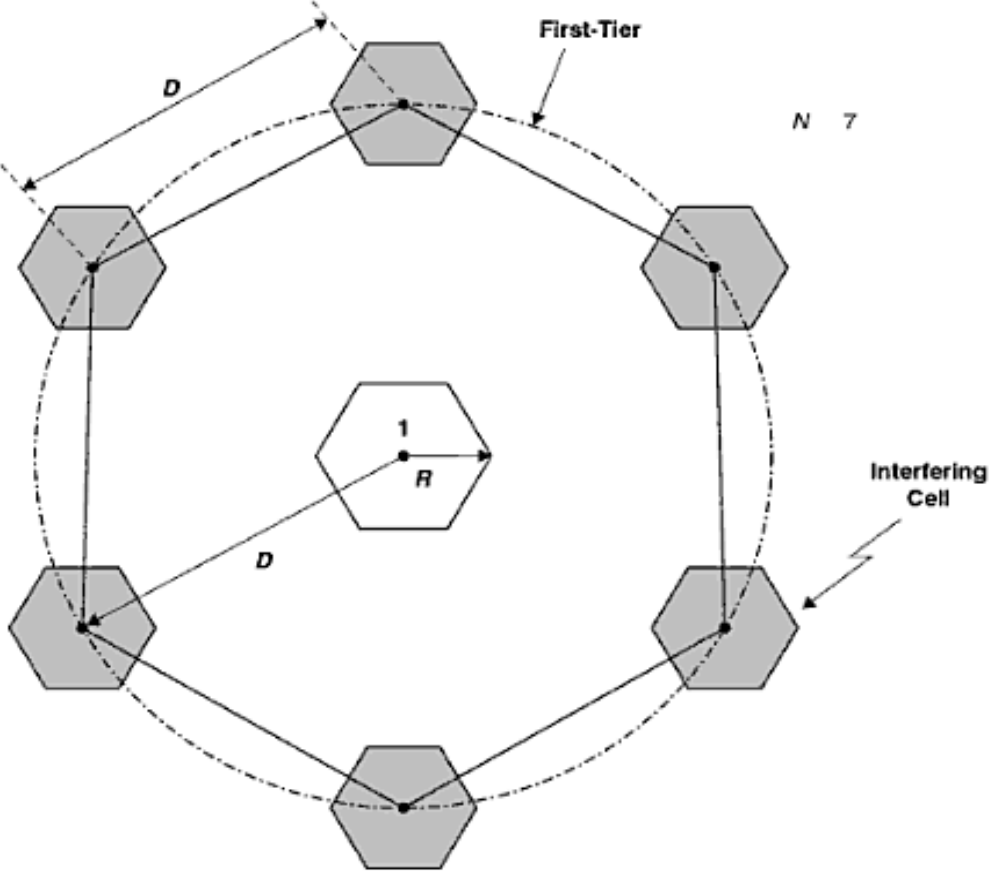
# Clusters

- Células com o mesmo número (dentro) usam o mesmo conjunto de frequências. Neste exemplo o  $N$  é igual a 7 e o fator de reuso de frequências é  $1/7$ .





# Hexágono Formado pelas Co-células



# Células por *Cluster*

- Para determinar uma expressão do número de células por *cluster* que relacione  $i$  e  $j$  obtém-se a razão entre a área do hexágono formado pelas células co-canais e a área de uma única célula.

$$A = \frac{3\sqrt{3}}{2} D^2 \text{ (área do maior hexágono)}$$

$$a = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 \text{ (área da célula)}$$

$$\frac{A}{a} = \frac{D^2}{R^2} = 3(i^2 + i \cdot j + j^2)$$

# Células por *Cluster*

- Considerando que o *cluster* é formado por  $N$  células, através da figura anterior pode-se perceber que  $3N$  células compõem o hexágono formado pelas células co-canais.

# Células por *Cluster*

- Desta maneira, a área do hexágono maior pode ser representada como

$$A = 3Na$$

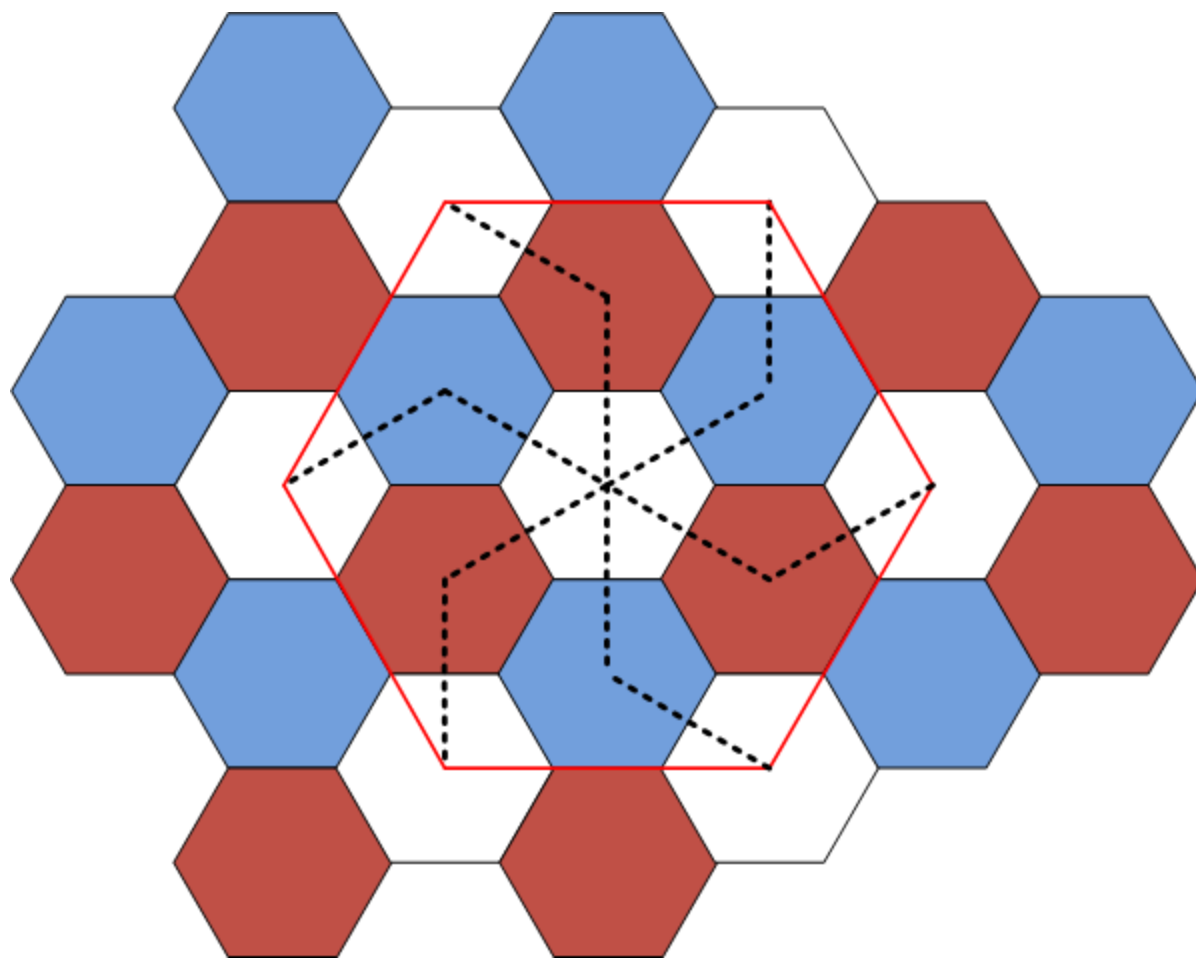
o que leva à seguinte razão

$$\frac{A}{a} = 3N = 3(i^2 + i \cdot j + j^2)$$

e finalmente o número de células por *cluster* pode ser obtido diretamente pelo padrão de orientação  $i, j$

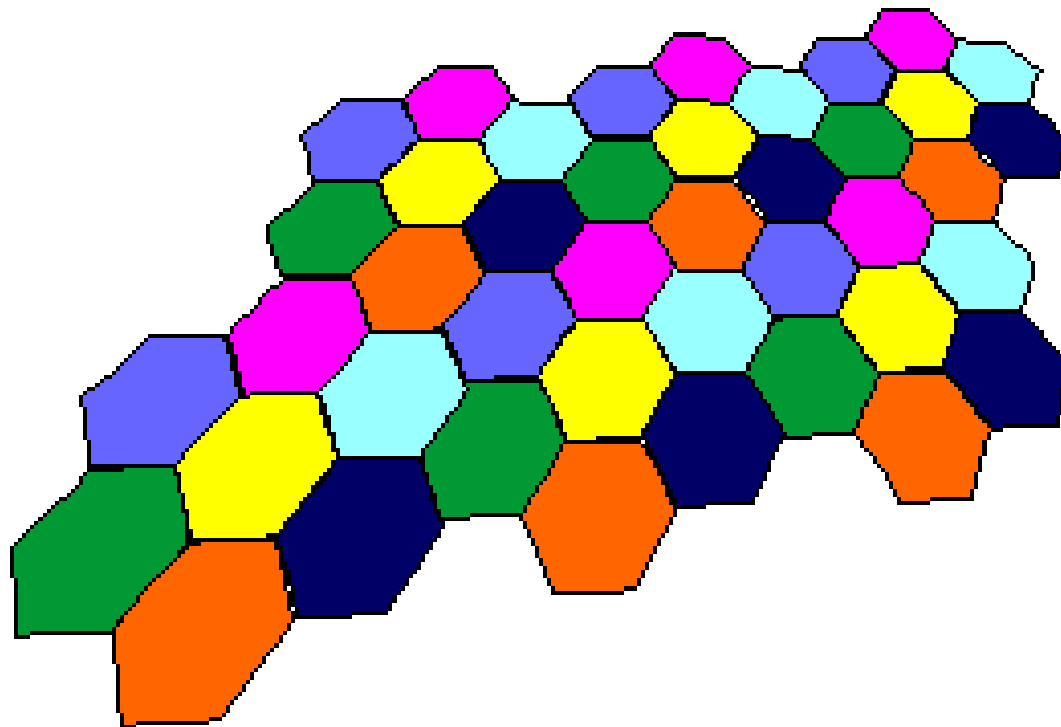
$$N = i^2 + i \cdot j + j^2$$

$N=3, i=1$  e  $j=1$



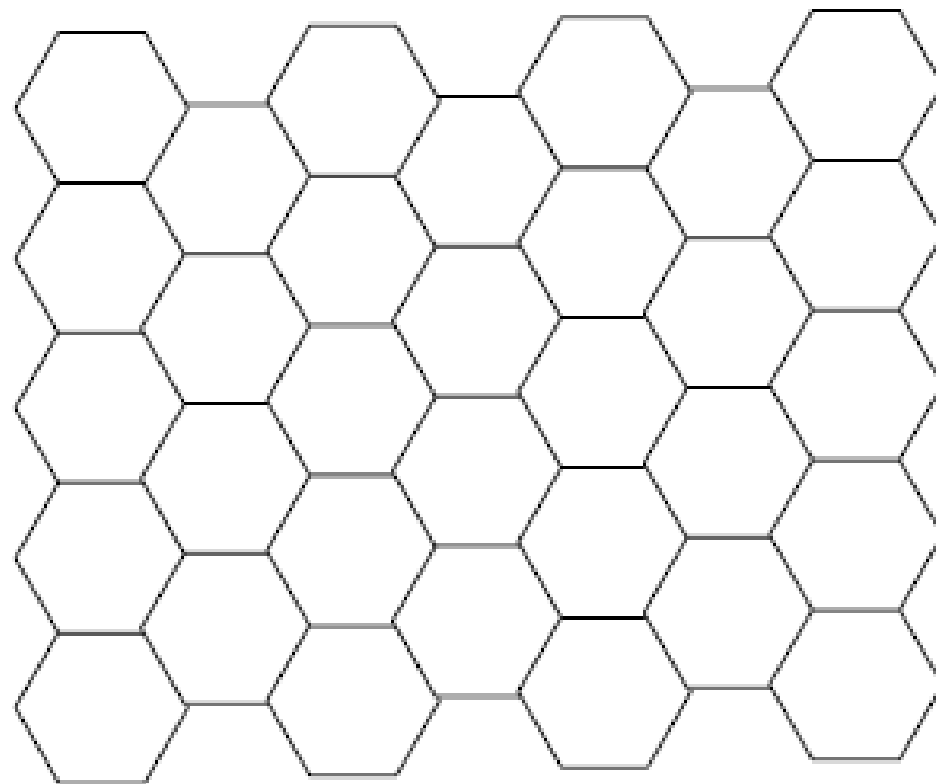
# Exercício

Qual o valor de  $N$ ,  $i$  e  $j$  para a figura a seguir?



# Exercício

Para  $N=4$ , determine uma combinação possível para a figura a seguir?  
Existe outra?



# Razão D/R

- O fator de reuso em uma comunicação móvel celular é definido por  $N$  (em algumas literaturas o fator de reuso é a razão D/R). Conforme visto anteriormente sabe-se que

$$\frac{D^2}{R^2} = 3(i^2 + i \cdot j + j^2) \rightarrow \frac{D}{R} = \sqrt{3(i^2 + i \cdot j + j^2)}$$

e ainda aplicando  $N = i^2 + i \cdot j + j^2$  chega-se à expressão que relaciona  $N$  e D/R

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$



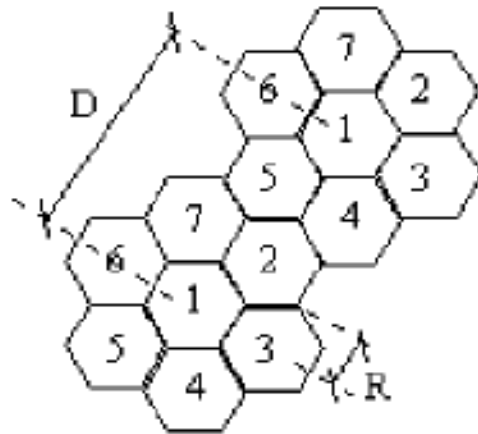
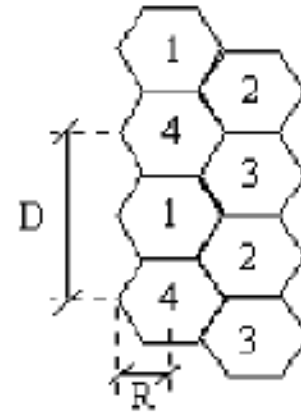
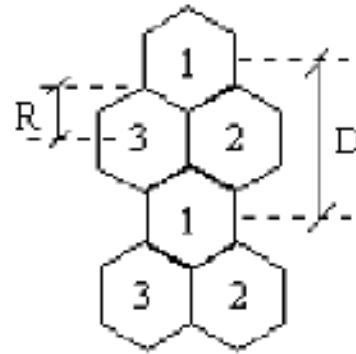
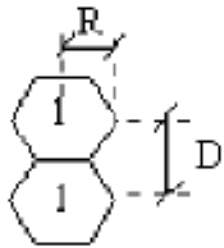
# Análise do Fator de Reuso

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

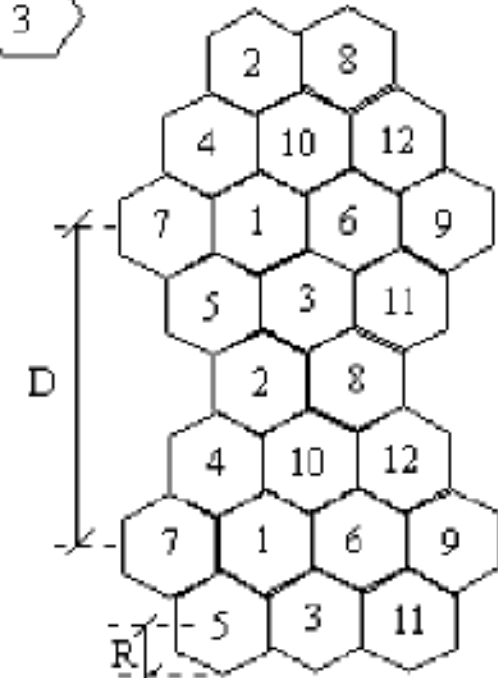
# Análise do Fator de Reuso

- Se agora diminuirmos o fator de reuso, estaremos aumentando tráfego nas células pelo maior número de canais. A contraposição se dá na diminuição da razão  $D/R$  implicando em menor qualidade do sinal recebido.

# Análise do Fator de Reuso



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



# Capacidade vs Qualidade

N	D/R	Canais/célula	Capacidade de tráfego	Qualidade na recepção
1	1,73	360	Alta	Baixa
3	3,00	120		
4	3,46	90		
7	4,58	51		
12	6,00	30	Baixa	Alta

# Reuso em um Sistema Celular

- Sistema celular com  $S$  canais *duplex*;
- Se cada célula é alocada um grupo de  $k$  canais ( $k < S$ );
- Se os  $S$  canais estão divididos entre  $N$  células, cada um com o mesmo número de canais:

$$S = kN$$

# Reuso em um Sistema Celular

- Se um *cluster* é replicado  $M$  vezes dentro de um sistema, o número total de canais *duplex*  $C$ , que pode ser usado como uma medida de capacidade do sistema é dado por:

$$C = MkN = MS$$

- Se o tamanho  $N$  do *cluster* é reduzido, enquanto o tamanho da célula se mantém constante, mais *clusters* serão necessários para cobrir a área, aumentando o valor de  $M$ , aumentando a capacidade do sistema.

# Exercício

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

- a) Reuso de 4 células;
- b) Reuso de 7 células;
- c) Reuso de 12 células.

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.