

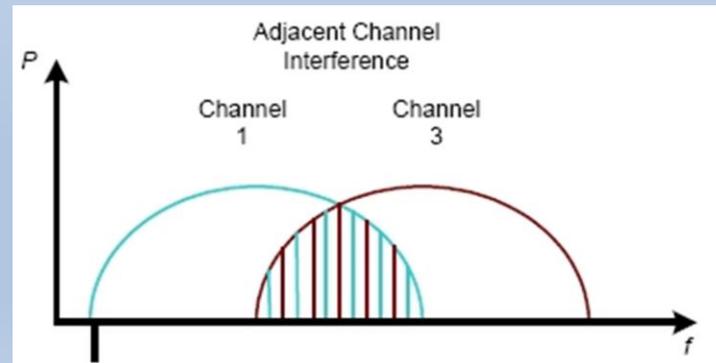
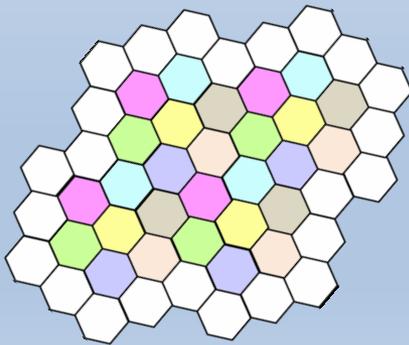
# Interferência e Capacidade do Sistema

A **interferência conduz à redução da qualidade do sinal**, a chamadas perdidas e a chamadas bloqueadas devido a erros no fluxo de sinais nos canais de controle, voz e dados.

A interferência é **mais severa em áreas urbanas**, devido à maior presença de ruído, e ao grande número de estações-base e estações móveis existentes.

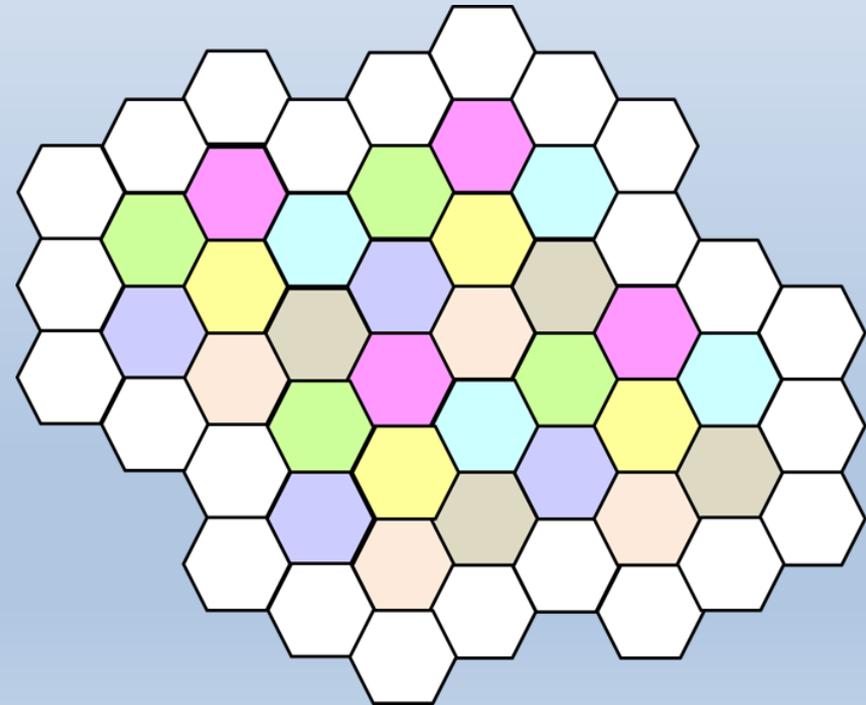
O próprio sistema celular é responsável por dois tipos de interferência:

- a interferência co-canal e
- a interferência por canal adjacente.



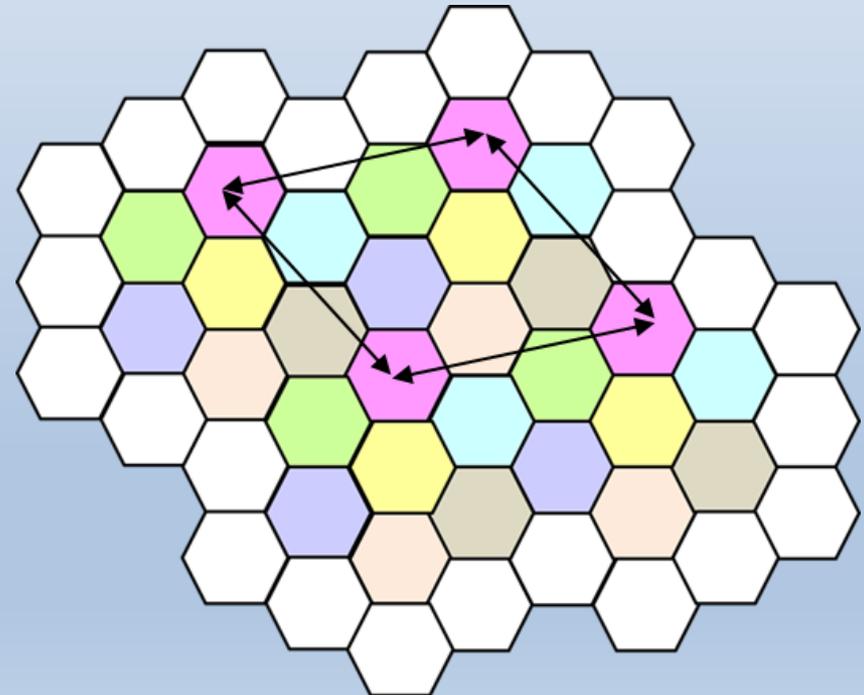
# Interferência Co-canal

- O **reuso de frequências** implica que, em uma dada área de cobertura, haja **várias células utilizando o mesmo conjunto de frequências**.
- Estas células são chamadas **células co-canal** e a interferência entre sinais associados a estas células é chamada **interferência co-canal**.
- A figura ao lado apresenta **clusters de  $N=7$  células**, em que células co-canais são representadas com a mesma cor.



# Interferência Co-canal

- O **reuso de frequências** implica que, em uma dada área de cobertura, haja **várias células utilizando o mesmo conjunto de frequências**.
- Estas células são chamadas **células co-canal** e a interferência entre sinais associados a estas células é chamada **interferência co-canal**.
- A figura ao lado apresenta **clusters de  $N=7$  células**, em que células co-canais são representadas com a **mesma cor**.
- Para **reduzir a interferência co-canal**, as células co-canal devem estar **fisicamente separadas** por uma distância mínima, de forma que seja garantido um isolamento adequado entre elas.



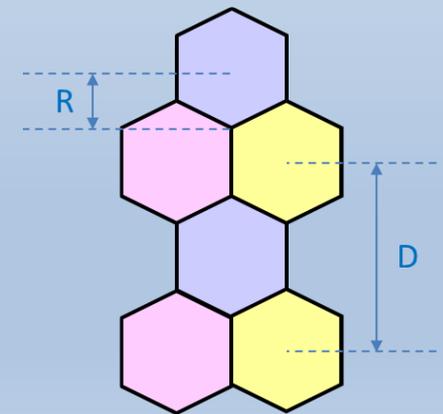
# Interferência Co-canal

O cálculo da interferência co-canal é feito através da determinação da **relação entre o sinal desejado e os sinais interferentes,  $S/I$** .

Para um dado sistema celular, quando o **tamanho** de cada célula é aproximadamente **o mesmo** e as estações-base transmitem com a **mesma potência**, então a razão interferência co-canal é independente da potência transmitida e se torna uma função do:

- raio da célula ( $R$ ) e
- da distância entre centros das células co-canais mais próximas ( $D$ ).

**Aumentando a razão  $D/R$** , a separação espacial entre células co-canais relativa à distância de cobertura de uma célula é aumentada, permitindo a **redução da interferência co-canal**.



# Interferência Co-canal

- Para uma geometria celular hexagonal, a **razão de reuso co-canal** é dada por

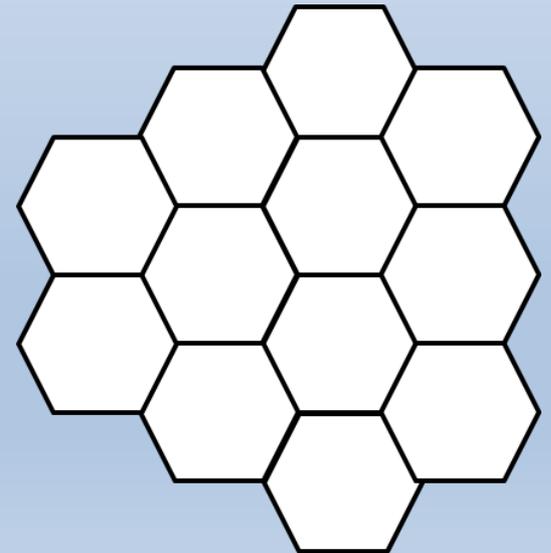
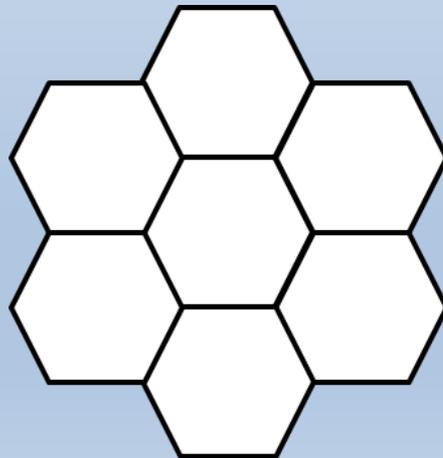
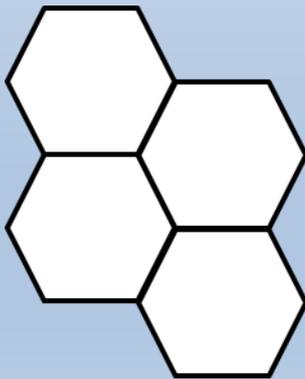
$$q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

- Assim, para clusters de 4, 7 e 12 células, por exemplo, temos que:

$$q = \sqrt{12} = 3.464$$

$$q = \sqrt{21} = 4.583$$

$$q = \sqrt{36} = 6$$



# Interferência Co-canal

$$q = \sqrt{3N}$$

No projeto de um sistema celular existe um compromisso a ser obedecido na escolha dos parâmetros  $q$  e  $N$ .



Um pequeno valor para  $q$  implica em uma maior capacidade para o sistema.

Quanto menor for  $N$ , maior será a razão de reutilização de frequências, pois a cada célula será atribuído um número maior de canais do total de canais disponível.



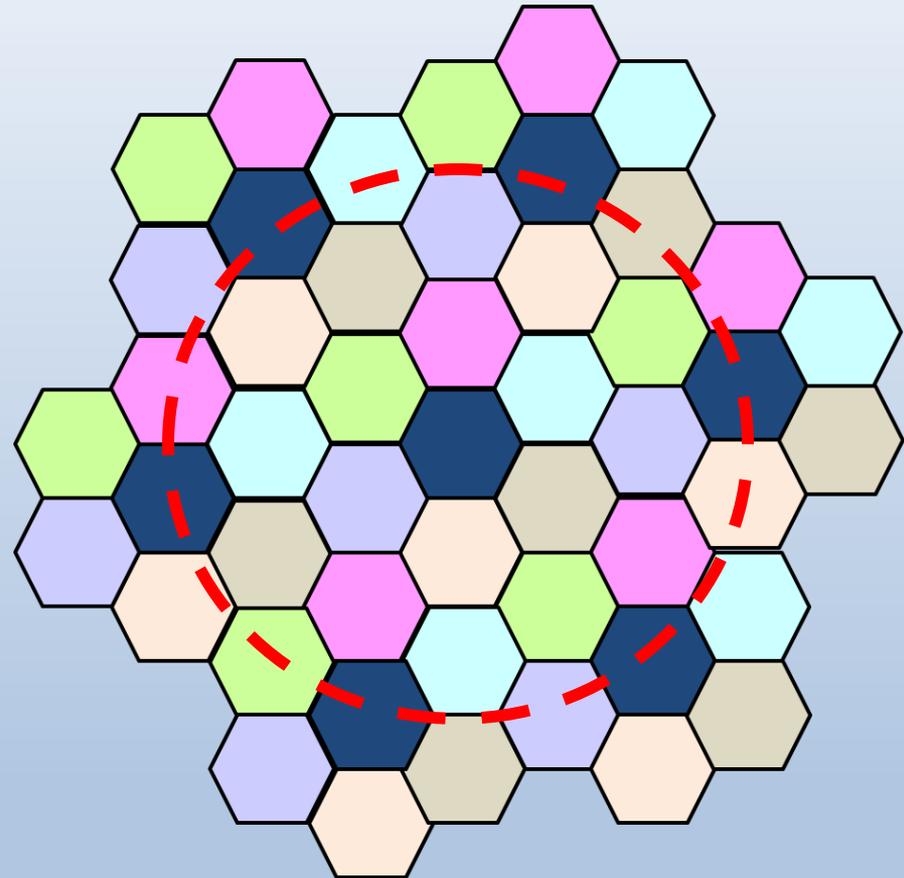
Por outro lado, quanto maior for  $q$ , melhor será a qualidade da transmissão, devido a um menor nível de interferência co-canal.

# Cálculo da Razão S/I

A figura ao lado destaca em azul escuro, um conjunto de células co-canais.

A célula central representa a célula que sofre interferência causada pelas seis células co-canais dispostas ao seu redor, em anel.

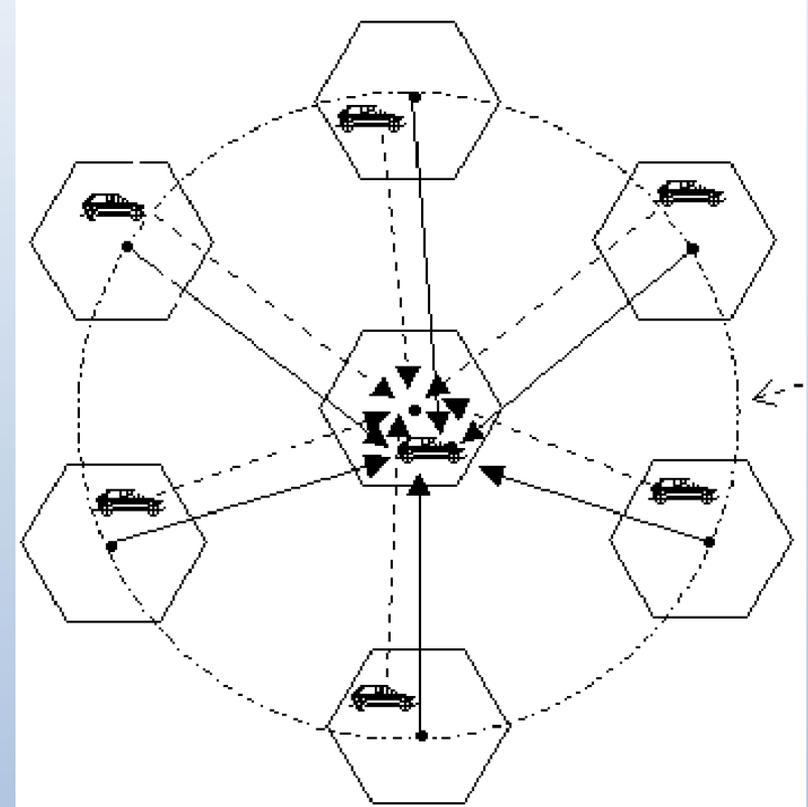
As células dispostas ao redor da célula central são pertencentes aos seis clusters vizinhos ao cluster central.



# Cálculo da Razão S/I

A relação entre o sinal desejado e os sinais interferentes é chamada razão sinal/interferência (S/I).

A razão S/I é relativa à interferência que as estações rádio-base vizinhas ocasionam em uma estação móvel que se comunica na mesma frequência com a estação rádio-base de sua célula central.



# Cálculo da Razão S/I

A Razão Sinal/Interferência é expressa por

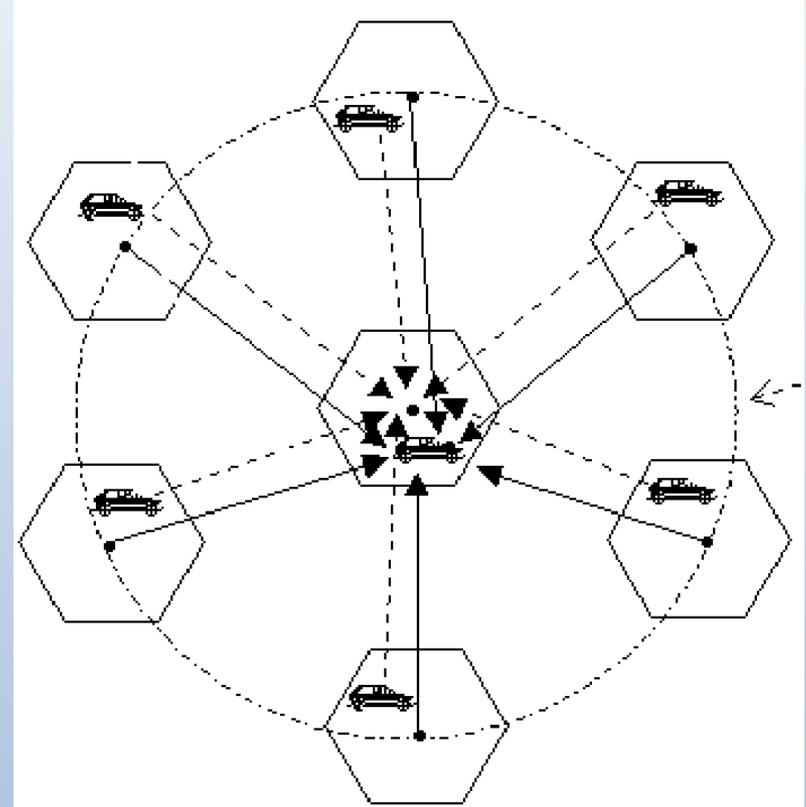
$$\frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_{i=1}^{i_0} I_i}$$

onde:

$i_0$  expressa o número de células que ocasionam interferência co-canal

$S$  é a potência do sinal desejado e

$I_i$  é a potência de interferência causada pelo  $i^{\text{ésimo}}$  co-canal interferente ( $i^{\text{ésima}}$  fonte de interferência).



O primeiro anel de células co-canal é composto por  $i_0 = 6$  células.

# Cálculo da Razão S/I

- A intensidade média do sinal recebido em qualquer ponto decai de acordo com a distância de separação entre o transmissor e o receptor.
- A **potência média recebida  $P_r$**  a **uma distância  $d$**  a partir da antena transmissora é aproximada por

$$P_r = P_0 \left( \frac{d_0}{d} \right)^n = P_0 \left( \frac{d}{d_0} \right)^{-n}$$

onde:

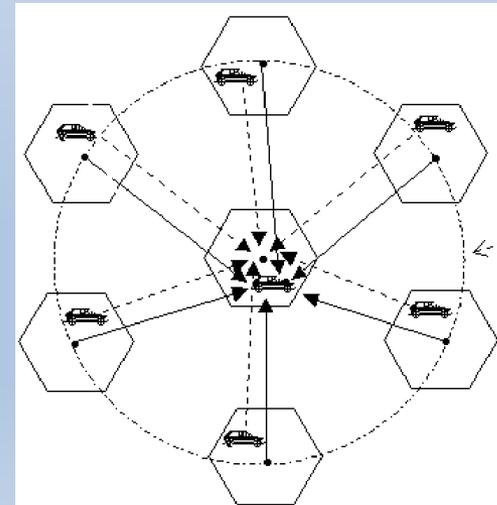
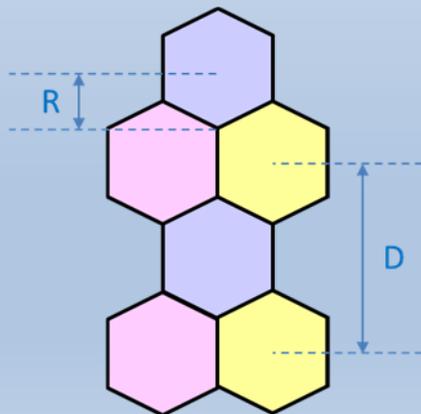
- $P_0$  é a potência recebida em um **ponto de referência** a uma distância  $d_0$  da antena transmissora, situado em sua Região de Campo Distante ( $d_0 > 10\lambda$ ) e
- $n$  é o **expoente de perdas** no trajeto de propagação. (Para o espaço livre  $n = 2$ ).

# Cálculo da Razão S/I

Consideremos uma estação rádio-móvel que monitora o link direto da estação rádio-base que está lhe possibilitando a comunicação:

- o **sinal desejado  $S$**  é, então, o sinal da estação base em serviço e
- a **interferência  $I$**  sofrida é devida a estações rádio-base co-canais.

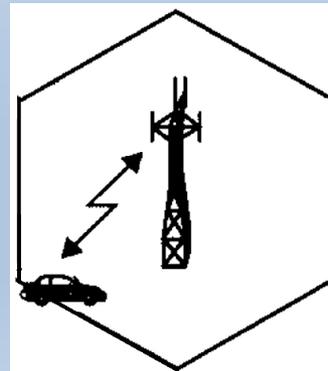
Se  $D_i$  é a distância da  $i^{\text{ésima}}$  ERB interferente, medida a partir da estação móvel, a potência recebida pela estação móvel, devida à  $i^{\text{ésima}}$  célula interferente será proporcional a  $(D_i)^{-n}$ .



# Cálculo da Razão S/I

- Vamos considerar o **pior caso teórico** em termos de recepção de sinal desejado. Neste caso, o **usuário móvel** se encontra no **extremo da célula**, onde a **distância  $d$**  (distância entre a ERB desejada e o usuário móvel) pode ser aproximada ao **raio da célula  $R$** .
- A **distância  $D_i$**  (distância entre a ERB interferente e o usuário móvel) pode ser aproximada por  **$D$  (distância entre células co-canais)**, se considerarmos todas as estações base interferentes equidistantes da estação base desejada.
- Assim, podemos definir a relação entre potências como

$$SR^n = I_i D^n$$



# Cálculo da Razão S/I

Se as **potências** dos transmissores de todas as estações rádio-base interferentes são **iguais** e o **expoente de perdas** no trajeto de propagação é o **mesmo em toda a área** de cobertura, a razão S/I para o usuário móvel pode ser aproximada através de

$$\frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_{i=1}^{i_0} I_i} = \frac{S}{\sum_{i=1}^{i_0} \frac{SR^n}{D^n}} = \frac{S}{i_0 \frac{SR^n}{D^n}} = \frac{1}{i_0 R^n D^{-n}} = \frac{D^n}{i_0 R^n} = \frac{1}{i_0} \left(\frac{D}{R}\right)^n = \frac{q^n}{i_0}$$

$SR^n = I_i D^n \Rightarrow I_i = \frac{SR^n}{D^n}$        $\frac{S}{I} = \frac{q^n}{i_0}$        $q = \sqrt{3N} \Rightarrow \frac{S}{I} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0}$

$$\frac{S}{I} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0}$$

$$\left. \frac{S}{I} \right|_{dB} = 10 \log \left( \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0} \right)$$

Observe que a S/I está diretamente relacionada ao tamanho do *cluster*, que por sua vez determina a capacidade total do sistema  $C_{Total} = MCN$ .

# Cálculo da Razão S/I

Se as **potências** dos transmissores de todas as estações rádio-base interferentes são **iguais** e o **expoente de perdas** no trajeto de propagação é o **mesmo em toda a área** de cobertura, a razão S/I para o usuário móvel pode ser aproximada através de

$$\frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_{i=1}^{i_0} I_i} = \frac{S}{\sum_{i=1}^{i_0} \frac{SR^n}{D^n}} = \frac{S}{i_0 \frac{SR^n}{D^n}} = \frac{1}{i_0 R^n D^{-n}} = \frac{D^n}{i_0 R^n} = \frac{1}{i_0} \left(\frac{D}{R}\right)^n = \frac{q^n}{i_0}$$

$SR^n = I_i D^n \Rightarrow I_i = \frac{SR^n}{D^n}$

$\frac{S}{I} = \frac{q^n}{i_0}$

$q = \sqrt{3N} \Rightarrow \frac{S}{I} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0}$

Interferência sofrida pelo primeiro anel de células interferentes.

$$\frac{S}{I} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0}$$

$$\left. \frac{S}{I} \right|_{dB} = 10 \log \left( \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0} \right)$$

Observe que a S/I está diretamente relacionada ao tamanho do *cluster*, que por sua vez determina a capacidade total do sistema  $C_{Total} = MCN$ .

# Cálculo da Razão S/I

- Observe que, **quanto mais urbanizada** for uma região (o que conduz a maiores valores para o coeficiente de atenuação com a distância - valores maiores para  $n$ ), **maior será a relação S/I**.

$$\frac{S}{I} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0}$$

- Ou seja, **regiões altamente urbanizadas contribuem para o isolamento do sinal entre células co-canal**.
- Embora as células do primeiro anel sejam as que mais contribuam para a interferência, se é desejado um cálculo de S/I mais fiel a uma situação real, as contribuições dos demais anéis devem ser computadas.
- A equação a seguir permite determinar a S/I para qualquer número desejado de anéis interferentes,

$$\frac{S}{I} = \frac{q^n}{6} \frac{1}{\sum_{k=1}^K k^{1-n}}$$

onde  $K$  é o número de anéis interferentes considerados.

# Cálculo da Razão S/I - Exemplo

Assuma que 6 células mais próximas sejam:

- próximas o suficiente para criar interferência significativa e
- estejam todas aproximadamente equidistantes a partir da ERB desejada.

Assuma ainda :

Um sistema celular que usa modulação GMSK e canais simplex de 30 kHz, testes subjetivos indicam que a qualidade de voz adequada é provida quando a S/I é maior ou igual a 18dB.

O expoente de perdas no trajeto é  $n = 4$ .

**Solução:**

$$\left. \frac{S}{I} \right|_{dB} = 10 \log \left( \frac{S}{I} \right) \quad 18dB = 10 \log \left( \frac{S}{I} \right) \quad \frac{S}{I} = 10^{1.8} = 63.1$$

$$\frac{S}{I} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0} \quad 63.1 = \frac{(\sqrt{3N})^4}{6} \quad N = 6.5 \quad \Rightarrow \quad \boxed{N = 7}$$

# Cálculo da Razão S/I - Exemplo

Assim, um **tamanho mínimo de *cluster* de 7** é requerido para atingir ao requerimento de S/I de 18dB.

Deve-se notar que a equação utilizada é baseada na geometria celular hexagonal, onde considerou-se que todas as **células interferentes estão equidistantes a partir da estação base receptora**, o que de fato não ocorre na prática.

Para definição da S/I com maior precisão, é necessário considerar a **distância real** entre o usuário móvel e as estações radio base das células interferentes.

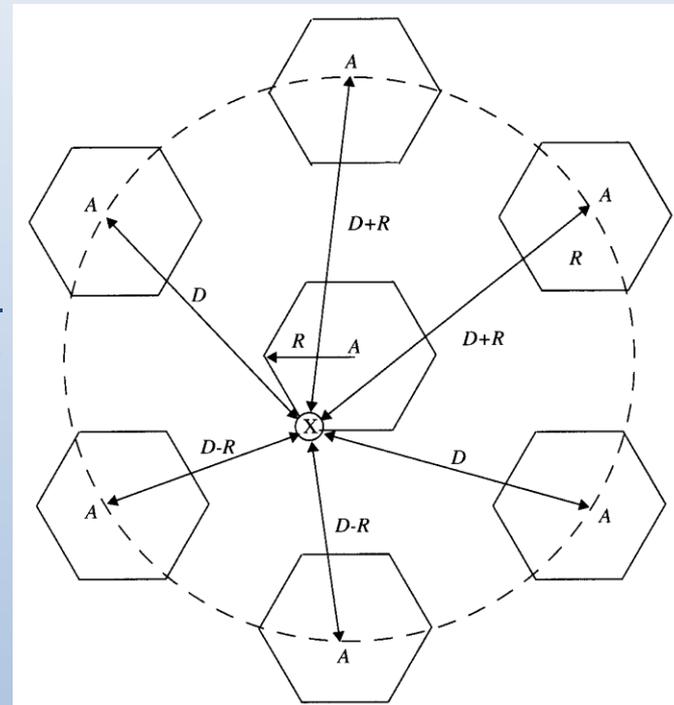
# Cálculo da Razão S/I - Exemplo

Para o caso onde o usuário móvel está na extremidade da célula, as distâncias das células interferentes são dadas por

$D + R, D$  e  $D - R$

$$\frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_{i=1}^{i_0} I_i} = \frac{S}{\sum_{i=1}^{i_0} \frac{SR^n}{D_i^n}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{i_0} \frac{R^n}{D_i^n}} = \frac{R^{-n}}{\sum_{i=1}^{i_0} D_i^{-n}}$$

$$\frac{S}{I} = \frac{R^{-n}}{2(D - R)^{-n} + 2(D + R)^{-n} + 2D^{-n}}$$



A interferência co-canal determina o desempenho do *link*, que, por sua vez, dita o plano de reuso de frequências e a capacidade global dos sistemas celulares.

# Interferência entre Canais Adjacentes

- Ocorre devido à **imperfeição dos filtros** presentes nos receptores, os quais permitem que frequências próximas se espalhem para a banda passante do canal adjacente, que está em serviço.
- Pode ser minimizada através de criteriosos **processos de filtragem e de atribuição de canais**.
- Como **cada célula recebe apenas uma fração dos canais disponíveis**, não é necessário que a uma célula sejam atribuídos canais que são adjacentes em frequência.
- Para reduzir a interferência é necessário manter uma **separação tão grande quanto** possível entre as frequências dos canais em uma dada célula.
- Assim, ao invés de atribuir canais que constituam uma banda contínua de frequências dentro de uma particular célula, a atribuição de canais em uma mesma célula deve ser tal que a **separação entre frequências seja maximizada**.

# Controle de Potência para Redução de Interferência

- Em sistemas práticos de comunicação celular, os **níveis de potência transmitidos por cada usuário estão sob constante controle** por parte das estações base em serviço.
- Isto é feito para garantir que cada **estação móvel transmita com a menor potência** necessária para manter um link de boa qualidade no canal reverso.
- O controle da potência ajuda a **prolongar a vida útil da bateria** para a unidade do usuário.
- E **reduz drasticamente a S/I** no sistema.