

# Iniciação Científica

Programa de Educação Tutorial - PET  
Efeitos de Propagação e Cálculo de SINR

Emanuel Valério Pereira

Orientador : Prof. Dr. Francisco Rafael Marques Lima

[emanuelvalerio@alu.ufc.br](mailto:emanuelvalerio@alu.ufc.br)

Universidade Federal do Ceará

30 de maio de 2022

# Objetivos

- 1 O objetivo desta atividade é a construção de um programa em Matlab destinado ao estudo de técnicas de alocação de recursos de rádio em sistemas de comunicação sem fio com antenas distribuídas.

- └ 1
- └ 2. Posicionamento das estações rádio base e áreas de cobertura

## Posicionamento das estações rádio base

- 1 Seguindo as posições das ERBs sugeridas no enunciado, e posteriormente delimitando a área de cobertura de cada ERB.

- └ 1
- └ 2. Posicionamento das estações rádio base e áreas de cobertura

## Posicionamento das estações rádio base

- 1 Seguindo as posições das ERBs sugeridas no enunciado, e posteriormente delimitando a área de cobertura de cada ERB.
- 2 Posicionamento ERBs =  $(r, \theta)$ :

- └ 1
- └ 2. Posicionamento das estações rádio base e áreas de cobertura

## Posicionamento das estações rádio base

- 1 Seguindo as posições das ERBs sugeridas no enunciado, e posteriormente delimitando a área de cobertura de cada ERB.
- 2 Posicionamento ERBs =  $(r, \theta)$ :

### Definition

$$\begin{aligned}ERB_1 &= (0, 0) \\ERB_2 &= (500, \frac{2\pi}{3}) \\ERB_3 &= (500, 0) \\ERB_4 &= (500, \frac{-2\pi}{3})\end{aligned}$$

- └ 1
- └ 2. Posicionamento das estações rádio base e áreas de cobertura

## Nó central e Áreas de cobertura

- 1 O nó central na qual conecta todas as ERBs através de um enlace rápido que permite a transferência de dados e informação de controle do/para o nó central, está posicionado também em (0,0).

- └ 1
- └ 2. Posicionamento das estações rádio base e áreas de cobertura

## Nó central e Áreas de cobertura

- 1 O nó central na qual conecta todas as ERBs através de um enlace rápido que permite a transferência de dados e informação de controle do/para o nó central, está posicionado também em (0,0).
- 2 Para uma melhor análise das posições utilizou-se o plano polar para as plotagens.

- └ 1
- └ 2. Posicionamento das estações rádio base e áreas de cobertura

## Nó central e Áreas de cobertura

- 1 O nó central na qual conecta todas as ERBs através de um enlace rápido que permite a transferência de dados e informação de controle do/para o nó central, está posicionado também em (0,0).
- 2 Para uma melhor análise das posições utilizou-se o plano polar para as plotagens.
- 3 Portanto, para cada área de cobertura assim como para cada posicionamento de ERBs e TMs é necessário centra-los nos raios e ângulos definidos.

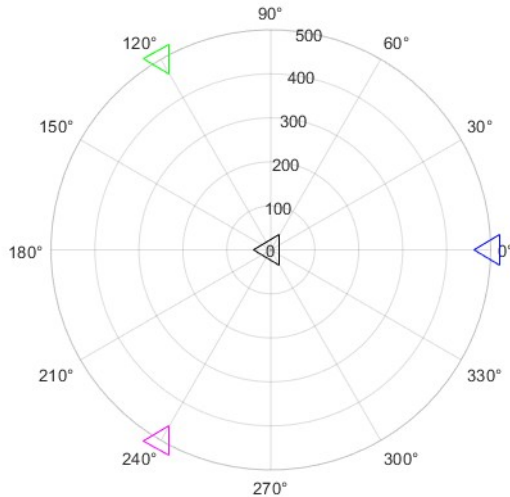


## Nó central e Áreas de cobertura

- 1 O nó central na qual conecta todas as ERBs através de um enlace rápido que permite a transferência de dados e informação de controle do/para o nó central, está posicionado também em  $(0,0)$ .
- 2 Para uma melhor análise das posições utilizou-se o plano polar para as plotagens.
- 3 Portanto, para cada área de cobertura assim como para cada posicionamento de ERBs e TMs é necessário centra-los nos raios e ângulos definidos.
- 4 Sabe-se que a coordenada  $(r, \theta)$  corresponde a um único ponto no plano polar, então, para delimitar-se uma circunferência no plano polar é necessário uma sequência contínua de pontos. Além disso, cada estação rádio base cobre uma área de 500m.

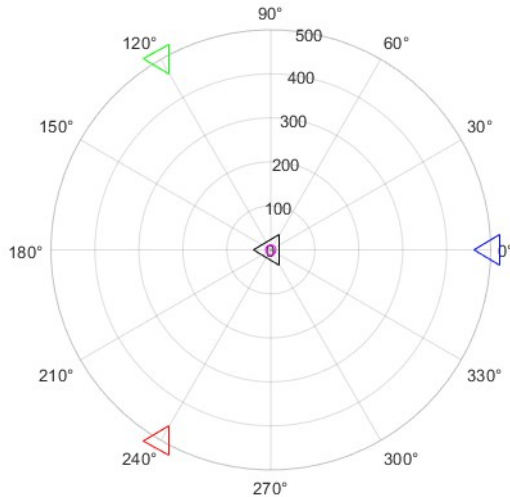
- 1
- 2. Posicionamento das estações rádio base e áreas de cobertura

## Posições ERBs



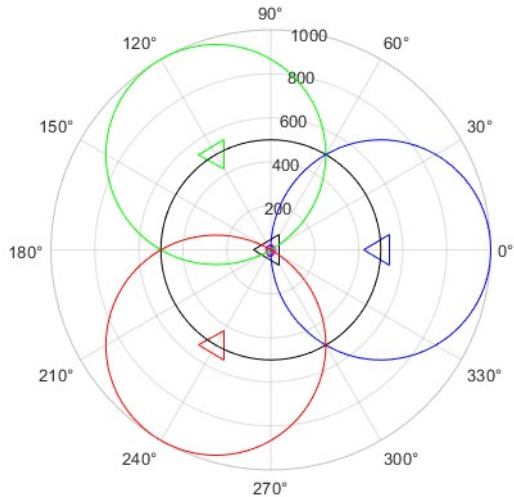
- 1
- 2. Posicionamento das estações rádio base e áreas de cobertura

## Posição nó central



- 1
- 2. Posicionamento das estações rádio base e áreas de cobertura

## Posições áreas de cobertura



## Posicionamento Terminais Móveis

- 1 Como cada ERB cobre um raio de 500m em torno de sua posição, qualquer terminal móvel nessas áreas pode se comunicar com essa ERB, diante disso a posição dos terminais móveis não podem ser controladas. De tal forma que na simulação a posição dos TMs devem ser modeladas por variáveis aleatórias uniformemente distribuídas dentro da área de cobertura de cada ERB.

## Posicionamento Terminais Móveis

- 1 Como cada ERB cobre um raio de 500m em torno de sua posição, qualquer terminal móvel nessas áreas pode se comunicar com essa ERB, diante disso a posição dos terminais móveis não podem ser controladas. De tal forma que na simulação a posição dos TMs devem ser modeladas por variáveis aleatórias uniformemente distribuídas dentro da área de cobertura de cada ERB.
- 2 A posição aleatória dos TMs se dá pela geração aleatória uniformemente distribuída de um raio  $r$  e de um ângulo  $\theta$ .

## Posicionamento Terminais Móveis

- 1 Como cada ERB cobre um raio de 500m em torno de sua posição, qualquer terminal móvel nessa áreas pode se comunicar com essa ERB, diante disso a posição dos terminais móveis não podem ser controladas. De tal forma que na simulação a posição dos TMs devem ser modeladas por variáveis aleatórias uniformemente distribuídas dentro da área de cobertura de cada ERB.
- 2 A posição aleatória dos TMs se dá pela geração aleatória uniformemente distribuída de um raio  $r$  e de um ângulo  $\theta$ .
- 3 Para a geração do ângulo  $\theta$  utilizou-se a função **rand()** que gera valores aleatórios com distribuição uniforme. Para a geração do raio uniformemente distribuído em uma circunferência observou-se uma problemática, uma vez que a probabilidade de um ponto estar a uma distância  $r$  do centro não depender exclusivamente de  $r$ . Uma análise simples é pelo fato da região de raio entre 1 e 10 tem a mesma probabilidade de uma região entre 490 e 500, entretanto a área dessas regiões são bastante diferentes, o que não reflete de fato uma distribuição desejada.

## Posicionamento Terminais Móveis

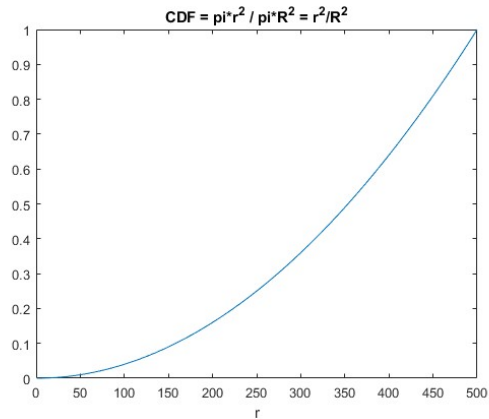
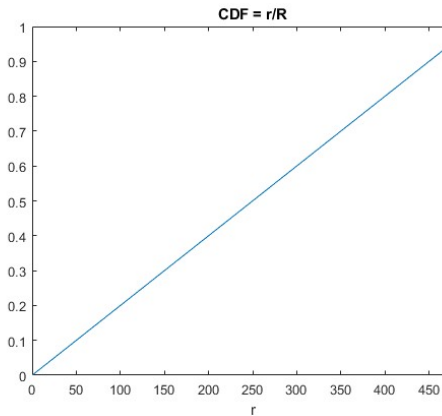
- 1 A probabilidade de se colocar um certo ponto a uma distância  $r$  deve crescer com  $r$ . Uma vez que o tamanho das circunferências cresce linearmente com o raio ( $= 2\pi r$ ), é de se esperar que essa probabilidade cresça também linearmente com  $r$ .



## Posicionamento Terminais Móveis

- 1 A probabilidade de se colocar um certo ponto a uma distância  $r$  deve crescer com  $r$ . Uma vez que o tamanho das circunferências cresce linearmente com o raio ( $= 2\pi r$ ), é de se esperar que essa probabilidade cresça também linearmente com  $r$ .
- 2 Uma maneira de gerar os valores de fato com distribuição uniforme é fazendo com que a probabilidade de um TM ser gerado em determinado ponto dependa da área relacionada ao raio gerado, com isso, desejamos que a probabilidade varie com o aumento da área.

# Posicionamento Terminais Móveis



# Posicionamento Terminais Móveis

- 1 Diante disso, modelando o valor aleatório de distribuição uniforme gerado pela função **rand()** tem-se que :

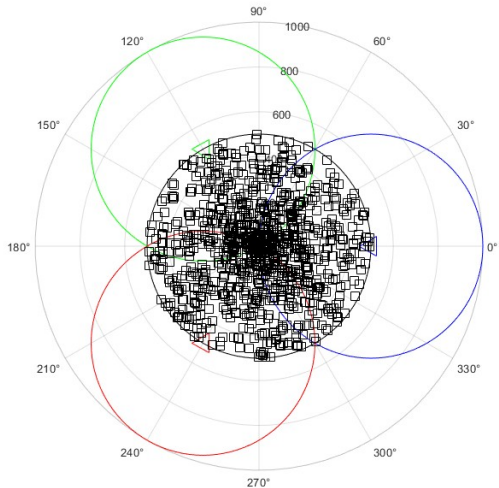
# Posicionamento Terminais Móveis

- 1 Diante disso, modelando o valor aleatório de distribuição uniforme gerado pela função **rand()** tem-se que :

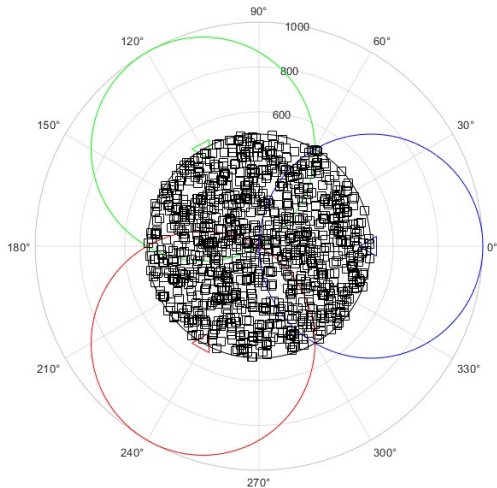
## Definition

$$\begin{aligned} \text{rand}() &= \frac{r^2}{R^2} \\ \sqrt{\text{rand}()} &= \sqrt{\frac{r^2}{R^2}} = \frac{r}{R} \\ r &= R\sqrt{\text{rand}()} \end{aligned}$$

# Posicionamento Terminais Móveis

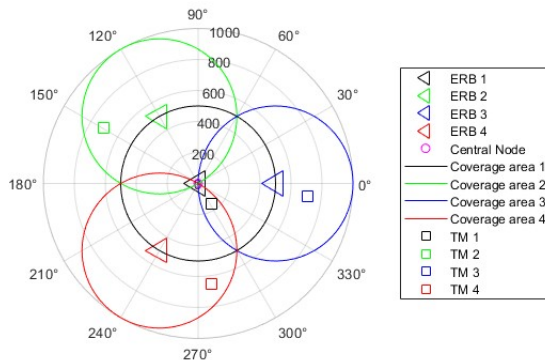


# Posicionamento Terminais Móveis



## Posicionamento Terminais Móveis

- 1 Por fim, com todas as correções realizadas, foram gerados um Terminal Móvel em cada região de cobertura de cada estação rádio base conforme é apresentado na Figura abaixo.



## Perda de Percurso

- 1 A comunicação rádio-móvel é afetada por diferentes fenômenos de propagação. Os principais fenômenos modelados são a perda de percurso média em função da distância em km entre o TM e ERB, o sombreamento devido a obstáculos e o desvanecimento rápido devido a interferência construtivas e destrutivas de réplicas do sinal transmitido.



## Perda de Percurso

- 1 A comunicação rádio-móvel é afetada por diferentes fenômenos de propagação. Os principais fenômenos modelados são a perda de percurso média em função da distância em km entre o TM e ERB, o sombreamento devido a obstáculos e o desvanecimento rápido devido a interferência construtivas e destrutivas de réplicas do sinal transmitido.
- 2 Para cada tipo de ganho, foi criado uma função em Matlab.

## Perda de Percurso

- 1 A comunicação rádio-móvel é afetada por diferentes fenômenos de propagação. Os principais fenômenos modelados são a perda de percurso média em função da distância em km entre o TM e ERB, o sombreamento devido a obstáculos e o desvanecimento rápido devido a interferência construtivas e destrutivas de réplicas do sinal transmitido.
- 2 Para cada tipo de ganho, foi criado uma função em Matlab.
- 3 A perda de percurso média pode ser calculada como

## Perda de Percurso

- 1 A comunicação rádio-móvel é afetada por diferentes fenômenos de propagação. Os principais fenômenos modelados são a perda de percurso média em função da distância em km entre o TM e ERB, o sombreamento devido a obstáculos e o desvanecimento rápido devido a interferência construtivas e destrutivas de réplicas do sinal transmitido.
- 2 Para cada tipo de ganho, foi criado uma função em Matlab.
- 3 A perda de percurso média pode ser calculada como

### Definition

$$P_{L_{i,j}} = 128.1 + 36.7 \log_{10}(d_{i,j}) [dB]$$

## Perda de Percurso

- 1 A comunicação rádio-móvel é afetada por diferentes fenômenos de propagação. Os principais fenômenos modelados são a perda de percurso média em função da distância em km entre o TM e ERB, o sombreamento devido a obstáculos e o desvanecimento rápido devido a interferência construtivas e destrutivas de réplicas do sinal transmitido.
- 2 Para cada tipo de ganho, foi criado uma função em Matlab.
- 3 A perda de percurso média pode ser calculada como

### Definition

$$P_{L_{i,j}} = 128.1 + 36.7 \log_{10}(d_{i,j}) [dB]$$

- 4 Sabendo que a perda está em dB e que o ganho é o inverso da perda em escala linear, utilizou-se as funções disponibilizadas na atividade computacional, convertendo valores em dB para escala linear e vice-versa.

## Sombreamento e desvanecimento rápido

- 1 O sombreamento  $\chi_{i,j}$  que afeta o enlace entre a  $ERB_i$  com o  $TM_j$  é normalmente modelado utilizando uma variável aleatória com distribuição log-normal (normal em dB). Portanto utilizou-se a função  $randn()$  que por padrão possui média 0 e desvio padrão 1, como o desvio padrão solicitado foi de  $\sigma_\chi = 8dB$ , manteve-se a média  $\mu = 0$  e após gerar o valor aleatório em dB, o resultado foi convertido para escala linear.

## Sombreamento e desvanecimento rápido

- 1 O sombreamento  $\chi_{i,j}$  que afeta o enlace entre a  $ERB_i$  com o  $TM_j$  é normalmente modelado utilizando uma variável aleatória com distribuição log-normal (normal em dB). Portanto utilizou-se a função  $randn()$  que por padrão possui média 0 e desvio padrão 1, como o desvio padrão solicitado foi de  $\sigma_\chi = 8dB$ , manteve-se a média  $\mu = 0$  e após gerar o valor aleatório em dB, o resultado foi convertido para escala linear.

### Definition

$$\begin{aligned}\chi_{i,j} &= \mu + \sigma_\chi * randn() \\ &= 8 * randn()[dB]\end{aligned}$$

## Sombreamento e desvanecimento rápido

- 1 O sombreamento  $\chi_{i,j}$  que afeta o enlace entre a  $ERB_i$  com o  $TM_j$  é normalmente modelado utilizando uma variável aleatória com distribuição log-normal (normal em dB). Portanto utilizou-se a função  $randn()$  que por padrão possui média 0 e desvio padrão 1, como o desvio padrão solicitado foi de  $\sigma_\chi = 8dB$ , manteve-se a média  $\mu = 0$  e após gerar o valor aleatório em dB, o resultado foi convertido para escala linear.

### Definition

$$\begin{aligned}\chi_{i,j} &= \mu + \sigma_\chi * randn() \\ &= 8 * randn()[dB]\end{aligned}$$

- 2 O desvanecimento rápido normalmente é modelado utilizando uma variável aleatória com distribuição de Rayleigh. Sendo  $h_{i,j} = x_{i,j} + j * y_{i,j}$  representa o desvanecimento Rayleigh se  $x_{i,j}$  e  $y_{i,j}$  são variáveis aleatórias com distribuição normal e desvio padrão  $\sigma = \frac{1}{\sqrt{2}}$ .

## Sombreamento e desvanecimento rápido

- 1 Logo como a distribuição das VAs é normal, utilizou-se a função *randn()* mantendo a média padrão ou seja,  $\mu = 0$  e alterando o desvio padrão, temos que o ganho proveniente do desvanecimento rápido foi calculado por



## Sombreamento e desvanecimento rápido

- 1 Logo como a distribuição das VAs é normal, utilizou-se a função *randn()* matendo a média padrão ou seja,  $\mu = 0$  e alterando o desvio padrão, temos que o ganho proveniente do desvanecimento rápido foi calculado por

### Definition

$$g_{H_{i,j}} = 10\log_{10}((\text{abs}(h_{i,j}))^2)$$

$$x_{i,j} = \mu + \sigma * \text{randn}()$$

$$y_{i,j} = \mu + \sigma * \text{randn}()$$

$$h_{i,j} = x_{i,j} + j * y_{i,j}$$

Logo,

$$g_{H_{i,j}} = 10\log_{10}((\text{abs}(x_{i,j} + j * y_{i,j}))^2)[dB]$$

## Sombreamento e desvanecimento rápido

- 1 Logo como a distribuição das VAs é normal, utilizou-se a função *randn()* matendo a média padrão ou seja,  $\mu = 0$  e alterando o desvio padrão, temos que o ganho proveniente do desvanecimento rápido foi calculado por

### Definition

$$\begin{aligned}g_{H_{i,j}} &= 10\log_{10}((abs(h_{i,j}))^2) \\x_{i,j} &= \mu + \sigma * randn() \\y_{i,j} &= \mu + \sigma * randn() \\h_{i,j} &= x_{i,j} + j * y_{i,j} \\&\text{Logo,} \\g_{H_{i,j}} &= 10\log_{10}((abs(x_{i,j} + j * y_{i,j}))^2)[dB]\end{aligned}$$

- 2 Os ganhos para cada tipo de fenômeno envolvendo cada  $ERB_i$  com  $TM_j$  são armazenados em uma matriz.

## Potência Recebida

- 1 Dados os efeitos de propagação trabalhados, todos os valores de ganhos foram armazenados em escala linear, para então realizar o cálculo da potência recebida pelo  $TM_j$  devido a uma  $ERB_i$ , considerando uma potência de transmissão da  $ERB_i$  sendo  $P_{T_{i,j}} = 43dBm$ .

## Potência Recebida

- 1 Dados os efeitos de propagação trabalhados, todos os valores de ganhos foram armazenados em escala linear, para então realizar o cálculo da potência recebida pelo  $TM_j$  devido a uma  $ERB_i$ , considerando uma potência de transmissão da  $ERB_i$  sendo  $P_{T_{i,j}} = 43dBm$ .

### Definition

$$p_{R_{i,j}} = p_{T_{i,j}} * g_{i,j} * g_{\chi_{i,j}} * g_{h_{i,j}}$$

## Potência Recebida

- 1 Dados os efeitos de propagação trabalhados, todos os valores de ganhos foram armazenados em escala linear, para então realizar o cálculo da potência recebida pelo  $TM_j$  devido a uma  $ERB_i$ , considerando uma potência de transmissão da  $ERB_i$  sendo  $P_{T_{i,j}} = 43dBm$ .

### Definition

$$p_{R_{i,j}} = p_{T_{i,j}} * g_{i,j} * g_{\chi_{i,j}} * g_{h_{i,j}}$$

- 2 Para todos os enlaces entre uma  $ERB_i$  e seu  $TM_j$  a potência recebida foi armazenada em uma matriz.

## Cálculo SINR

- 1 Como é sabido, em cada área de cobertura de uma  $ERB_i$  existe um  $TM_i$  servido por ela, entretanto nessa área de cobertura pode existir terminais móveis  $TM_j$  onde  $i \neq j$  servidos por outras ERBs, logo como todas as ERBs utilizam o mesmo canal ao mesmo tempo, o sinal transmitido pela  $ERB_i$  sofrerá interferência do sinal transmitido pela  $ERB_k, \forall k \neq i$ .

## Cálculo SINR

- 1 Como é sabido, em cada área de cobertura de uma  $ERB_i$  existe um  $TM_i$  servido por ela, entretanto nessa área de cobertura pode existir terminais móveis  $TM_j$  onde  $i \neq j$  servidos por outras ERBs, logo como todas as ERBs utilizam o mesmo canal ao mesmo tempo, o sinal transmitido pela  $ERB_i$  sofrerá interferência do sinal transmitido pela  $ERB_k, \forall k \neq i$ .
- 2 Seja  $P_N = -116dBm$  a potência de ruído média em dBm. Considerando que cada  $ERB_i$  serve um  $TM_i$  a relação sinal interferência-mais-ruído  $\gamma_{i,i}$  é dada por:

## Cálculo SINR

- 1 Como é sabido, em cada área de cobertura de uma  $ERB_i$  existe um  $TM_i$  servido por ela, entretanto nessa área de cobertura pode existir terminais móveis  $TM_j$  onde  $i \neq j$  servidos por outras ERBs, logo como todas as ERBs utilizam o mesmo canal ao mesmo tempo, o sinal transmitido pela  $ERB_i$  sofrerá interferência do sinal transmitido pela  $ERB_k, \forall k \neq i$ .
- 2 Seja  $P_N = -116dBm$  a potência de ruído média em dBm. Considerando que cada  $ERB_i$  serve um  $TM_i$  a relação sinal interferência-mais-ruído  $\gamma_{i,i}$  é dada por:

### Definition

$$\gamma_{i,i} = \frac{P_{R_{i,i}}}{\sum_{i \neq j} P_{R_{i,j}} + P_N}$$



## Cálculo SINR

- 1 Como é sabido, em cada área de cobertura de uma  $ERB_i$  existe um  $TM_i$  servido por ela, entretanto nessa área de cobertura pode existir terminais móveis  $TM_j$  onde  $i \neq j$  servidos por outras ERBs, logo como todas as ERBs utilizam o mesmo canal ao mesmo tempo, o sinal transmitido pela  $ERB_i$  sofrerá interferência do sinal transmitido pela  $ERB_k, \forall k \neq i$ .
- 2 Seja  $P_N = -116dBm$  a potência de ruído média em dBm. Considerando que cada  $ERB_i$  serve um  $TM_i$  a relação sinal interferência-mais-ruído  $\gamma_{i,i}$  é dada por:

### Definition

$$\gamma_{i,i} = \frac{P_{R_{i,i}}}{\sum_{i \neq j} P_{R_{i,j}} + P_N}$$

- 3 Para todos os enlaces entre uma  $ERB_i$  e seu  $TM_i$  a relação SINR foi armazenada nas colunas de uma matriz.

# Análise da simulação

- 1 A fim de caracterizar estatisticamente a qualidade média dos enlaces, é necessário medir os valores de SINR associados a diversas posições de usuários que também dependem de características aleatórias do canal.

## Análise da simulação

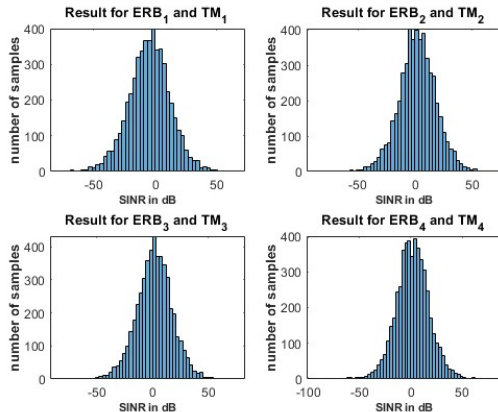
- 1 A fim de caracterizar estatisticamente a qualidade média dos enlaces, é necessário medir os valores de SINR associados a diversas posições de usuários que também dependem de características aleatórias do canal.
- 2 Para isso realizou-se uma repetição de 5000 vezes, em cada laço a posição dos TMs e todos os cálculos dos fenômenos aleatórios são novamente calculados, esses valores de SINR são armazenados em uma matriz de tamanho 5000x4 para posterior plotagem da CDF.

## Análise da simulação

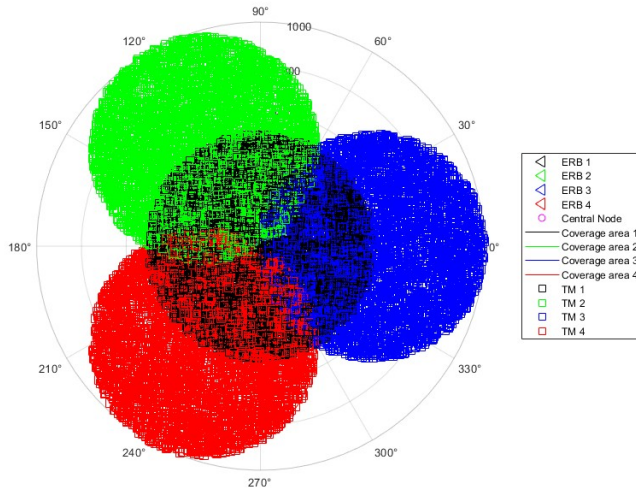
- 1 A fim de caracterizar estatisticamente a qualidade média dos enlaces, é necessário medir os valores de SINR associados a diversas posições de usuários que também dependem de características aleatórias do canal.
- 2 Para isso realizou-se uma repetição de 5000 vezes, em cada laço a posição dos TMs e todos os cálculos dos fenômenos aleatórios são novamente calculados, esses valores de SINR são armazenados em uma matriz de tamanho 5000x4 para posterior plotagem da CDF.
- 3 Alguns outros tipos de gráficos também são plotados para um melhor entendimento do comportamento dos enlaces.

# Histogramas

- 1 Os histogramas abaixo mostram as quantidades de amostras distribuídas de acordo com o valor da relação sinal interferência mais ruído **SINR**.



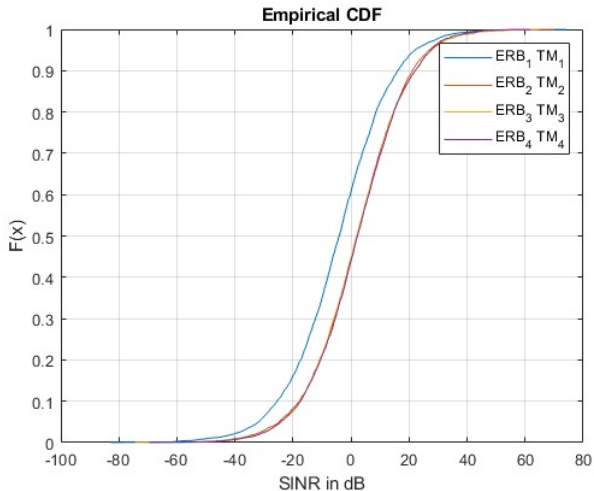
# Geração 5000 TMs



## Plotagem da Função Distribuição de Probabilidade Acumulada (CDF)

- 1 Conforme pode-se analisar nos gráficos, a  $ERB_1$  possui sua área de cobertura interseccionada com a área de cobertura das demais ERBs, isso significa que os TM's atendidos por outras TMs poderão causar maior interferência no sinal emitido pela  $ERB_1$  por conta de toda sua área está passível desse tipo de interferência, as demais ERBs apenas uma pequena parte da área está passível de sofrer deste tipo de interferência.
- 2 Com isso, espera-se que a CDF do enlace  $ERB_1 TM_1$  sofra mais com interferência possuindo uma menor SINR, isso pode ser analisado no gráfico da CDF, como a probabilidade acumulada de baixos valores de SINR tende a ser maior no enlace  $ERB_1 TM_1$ , espera-se que a CDF esteja mais a esquerda, enquanto a CDF dos demais enlaces estejam bem próximos, dado que suas áreas de intersecções passíveis de interferência serem aproximadamente as mesmas.

# Plotagem da Função Distribuição de Probabilidade Acumulada (CDF)





# Referências Bibliográficas I



Rappaport, Theodore S.

*Wireless communications: principles and practice..*

2th edition , New Jersey: prentice hall PTR , 1996.



Saunders, Simon R., and Alejandro Aragón-Zavala.

*Antennas and propagation for wireless communication systems..*

2th edition , John Wiley & Sons, 2007.