

5

Estudo de Caso.

5.1

Introdução.

As previsões de utilização de banda larga móvel no mundo indicam que, nos próximos anos, haverá um predomínio das tecnologias HSPA/HSPA+ e LTE. O HSPA foi o primeiro passo na evolução da tecnologia WCDMA, com transmissão de dados que atinge, teoricamente, de 1.8 Mbit/s a 14.4 Mbit/s, que possibilita aplicações que demandam alta taxa de dados. O LTE introduz uma nova tecnologia de radiocomunicação que permite um ganho ainda maior na eficiência espectral, com acréscimo de 2 a 4 vezes na capacidade do sistema com relação ao HSPA.

O padrão LTE é o padrão de 4G predominante no Brasil sendo adotado por todas as operadoras. A Anatel realizou em 2012 uma licitação de frequências em 2500 MHz para a implantação de redes 4G. As empresas que adquiriram estas frequências foram: Vivo, Tim, Claro, Oi, Sky e *Sunrise*.

A melhor faixa de frequência para a implantação de 4G é a de 700 MHz, liberada com o fim da transição da TV Aberta analógica para a TV aberta digital. No Brasil isto deve ocorrer em 2016.

O Minicom publicou as diretrizes para a aceleração do processo de transição da TV Aberta analógica para a TV aberta digital no Brasil e determina que a Anatel inicie os estudos para disponibilizar a faixa de 698 MHz a 806 MHz para 4G.

A Anatel divulgou no dia 21/02/2013 um regulamento sobre nova destinação da faixa de 700 MHz, onde ela recomenda a adoção do plano de banda da APT que permite uso de 90 MHz de espectro.

Enquanto se espera pela liberação da faixa de 700 MHz, no Brasil, a Anatel destinou para o 4G a faixa de frequências de 2.500 MHz a 2.690 MHz. As faixas de frequências entre 2.500-2.570 MHz e 2.620-2.690 MHz

(P, W, V e X) foram destinadas para operação FDD (canais separados para transmissão e recepção) que está entre 2.570 e 2.620 MHz. Já as subfaixas T e U para operação TDD (transmissão e recepção no mesmo canal).

5.2

Cálculo das Perdas no Enlace.

5.2.1

Downlink.

Na tabela 5.1 encontramos os parâmetros necessários e os valores adotados para o cálculo de enlace *Downlink*, com exceção da sensibilidade requerida na recepção. A sensibilidade requerida na recepção para o LTE, segundo a 3GPP para o LTE, é mostrada na tabela 5.2, sendo que os valores variam de acordo com a largura de banda adotada e também com a faixa de frequência de operação do sistema. Cabe esclarecer, que a 3GPP ainda não tem uma especificação para o *LTE-Advanced*, então foi adotado para o cálculo de enlace de *Downlink* uma sensibilidade de -92 dBm para largura de banda de 20 MHz.

<i>Downlink</i>	
Potência de Transmissão	43 dBm
Ganho da Antena Transmissora	15 dBi
Perdas na Transmissão	2 dB
SNR	0 dB
Ganho da Antena Receptora	0 dBi
Perdas na Recepção	0 dB
Ganho de Diversidade	0 dB
Margem de Desvanecimento	4 dB

Tabela 5.1: Parâmetros para o Cálculo de Enlace de *Downlink*.

Sensibilidade Requerida na Recepção (dBm)	
20 MHz	-92
40 MHz	-88,98
60 MHz	-87,22
80 MHz	-85,97
100 MHz	-85

Tabela 5.2: Sensibilidade Requerida na Recepção para *LTE-Advanced*. [16]

Utilizando a equação (3-21) do capítulo 3 e os dados da tabela 5.1, podemos determinar o valor da perda de propagação máxima:

$$L_{P_{max}} = L_{MAX}[dB] - L_{Penetracao}[dB] - BL[dB] - M[dB]$$

onde:

- $L_{MAX} = P_T + G_T - L_T - SNR_{Requerida} - S_R + G_R - L_R$
- $L_{penetracao} = 0dB$
- BL (Perda devido ao bloqueio do corpo humano) = 4 dB.

Então:

$$L_{MAX} = 43dB + 15dBi - 2dB - (-85dBm) + 0dB - 0dB + 0dB = 141dB$$

Agora:

$$L_{P_{max}} = L_{MAX}[dB] - L_{Penetracao}[dB] - BL[dB] - M[dB]$$

$$L_{P_{max}} = 141dB - 0dB - 4dB - 4dB$$

$$L_{P_{max}} = 133dB$$

5.2.2

Uplink.

Na tabela 5.3 encontramos os parâmetros necessários e os valores adotados para o cálculo de enlace de *Uplink*.

<i>Uplink</i>	
Potência de Transmissão	23 dBm
Ganho da Antena Transmissora	0 dBi
Perdas na Transmissão	0 dB
SNR	0 dB
Sensibilidade Requerida na Recepção	101,5 dBm
Ganho da Antena Receptora	15 dBi
Perdas na Recepção	2 dB
Ganho de Diversidade	3 dB
Margem de Desvanecimento	4 dB

Tabela 5.3: Parâmetros para o Cálculo de Enlace de *Uplink*.

Utilizando a tabela 5.3, podemos determinar o valor da perda de propagação máxima:

$$L_{P_{max}} = L_{MAX}[dB] - L_{Penetracao}[dB] - BL[dB] - M[dB]$$

Onde:

- $L_{MAX} = P_T + G_T - L_T - SNR_{Requerida} - S_R + G_R - L_R$
- $L_{penetracao} = 0dB$

- BL (Perda devido ao bloqueio do corpo humano)= 4 dB.

Então:

$$L_{MAX} = 23 + 0 - 0 - (-101.5) + 15 - 2 + 3 = 140.5dB$$

Agora:

$$L_{P_{max}} = L_{MAX}[dB] - L_{Penetracao}[dB] - BL[dB] - M[dB]$$

$$L_{P_{max}} = 140.5dB - 0dB - 4dB - 4dB$$

$$L_{P_{max}} = 132.5dB$$

Comparando os resultados das perdas de propagação máxima de *down-link* e *uplink*, concluímos que a máxima perda de propagação permitida ocorre no cálculo do enlace de *Uplink*, conforme esperado, sendo este o valor que deverá ser adotado no cálculo do raio teórico da célula.

5.3

Cálculo do Raio Teórico.

No dimensionamento de sistemas de comunicações sem fio, necessitamos uma adequada escolha de modelos de propagação. De modo geral, os modelos de propagação provêm estimativas das perdas de propagação considerando, distância entre transmissor e receptor, fatores de terreno, altura das antenas transmissoras e receptoras e as frequências utilizadas.

No presente projeto foi, utilizado o modelo “IEEE 802.16j *Model*” para realizar o cálculo do raio. O modelo foi descrito no ponto 3.2.5 do capítulo 3.

Este modelo foi escolhido porque é o indicado para o planejamento de redes WiMAX segundo a 3GPP, e também porque cobre a necessidade das faixas de frequência em que trabalha o LTE. A equação básica da perda de percurso, com fatores de correção, é dada por:

$$PL = A + 10 * \gamma * \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + \Delta PL_f + \Delta PL_h + S$$

Onde:

- d_0 :100m.
- $d > d_0$.
- $A = 20\log(4\pi d_0/\lambda)$.

- $\gamma = (a - bh_b + c/h_b)$.
- λ é o comprimento de onda em metros.
- h_b é a altura da antena BS/RS (*Base Station/Relay Station*), o qual está entre 10 e 80 m.
- Os fatores de correção são:

$$\Delta PL_f = 6 \log\left(\frac{f}{2000}\right) dB$$

[f é a frequência de portadora em MHz]

$$\Delta PL_h = -10.8 \log\left(\frac{h}{2}\right) dB$$

[Para terrenos tipo A e B]

$$\Delta PL_h = -20 \log\left(\frac{h}{2}\right) dB$$

[Para terreno tipo C]

Onde h é a altura da antena receptora MS/RS (*Mobile Station/Relay Station*) entre 2 e 10 m.

- S: Fator de atenuação com distribuição log-normal, que toma em consideração sombreamento por árvores e estruturas em geral. O valor está na faixa de 8.2 a 10.6 dB, dependendo do tipo de terreno.
- Terreno tipo A: Terreno montanhoso com densidade moderado a forte de árvores.
- Terreno tipo B: Condição intermediária de perda de percurso.
- Terreno Tipo C: Terreno plano com densidade leve de árvores.

Parâmetro do Modelo	Terreno tipo A	Terreno tipo B	Terreno tipo C
a	4.6	4	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005
c	12.6	17.1	20

Tabela 5.4: Parâmetros do modelo para os diferentes tipos de terrenos.

Para o presente projeto, vamos fazer um ajuste na correção para a altura do móvel e uma modificação no cálculo da distância de referência, d_0 , que assume o valor d'_0 . Para os cálculos, se adotou a seguinte configuração:

Para Frequência de 2.6 GHz

- $f = 2.6$ GHz.
- $h_b = 30$ m.
- $h = 2$ m.

- $S = 9 \text{ dB}$.

então:

$$A = 20 * \log\left(\frac{4\pi d'_0}{\lambda}\right)$$

Onde:

- $d_0 = 100m$.
- $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{2600 \times 10^6} = 0.1154$
- $d'_0 = d_0 10^{-\left(\frac{\Delta PL_f + \Delta PL_h}{10\gamma}\right)} = 100 * 10^{-\left(\frac{0.6837 + 1.76}{10 * 4.375}\right)} = 87.93m$

Voltando:

$$A = 20 * \log\left(\frac{4\pi * 87.93}{0.1154}\right)$$

$$A = 79.62dB$$

- Cálculo do expoente de perda do percurso, em função da altura da ERB:

$$\gamma = a - b * h_b + \frac{c}{h_b}$$

Considerando um terreno do tipo B, temos:

$$\gamma = 4 - 0.0065 * 30 + \frac{17.1}{30}$$

$$\gamma = 4.375dB$$

- Cálculo dos fatores de correção:

$$\Delta PL_f = 6 \log\left(\frac{f}{2000}\right)dB$$

$$\Delta PL_f = 6 \log\left(\frac{2600}{2000}\right)dB$$

$$\Delta PL_f = 0.6837dB$$

$$\Delta PL_h = -10 \log\left(\frac{h}{3}\right)dB$$

$$\Delta PL_h = -10 \log\left(\frac{2}{3}\right)dB$$

$$\Delta PL_h = 1.76dB$$

- Por último, o cálculo da máxima distância de atenuação de uma célula:

$$PL = A + 10 * \gamma * \log_{10}\left(\frac{d}{d'_0}\right) + \Delta PL_f + \Delta PL_h + S$$

$$133 = 79.62 + 10 * 4.375 * \log_{10}\left(\frac{d}{87.93}\right) + 0.6837 + 1.76 + 9$$

$$d = 87.93 * 10^{\left(\frac{41.9363}{43.75}\right)}$$

$$d = 799.25m$$

$$R = d = 799.25m$$

Para Frequência de 700 MHz

- $f = 700 \text{ MHz}$.
- $h_b = 30m$.
- $h = 2m$.
- $S = 9 \text{ dB}$.

Então:

$$A = 20 * \log\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right)$$

Onde:

- $d_0 = 100m$.
- $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{700 \times 10^6} = 0.4286m$

Nesse caso:

$$A = 20 * \log\left(\frac{4\pi * 100}{0.4286}\right)$$

$$A = 69.34dB$$

- Cálculo do expoente de perda do percurso em função da altura da ERB:

$$\gamma = a - b * h_b + \frac{c}{h_b}$$

Considerando um terreno do tipo B, temos:

$$\gamma = 4 - 0.0065 * 30 + \frac{17.1}{30}$$

$$\gamma = 4.375dB$$

- Por último, para o cálculo da máxima distância de atenuação de uma célula, temos:

$$PL = A + 10 * \gamma * \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + \Delta PL_f + \Delta PL_h + S$$

$$133 = 69.34 + 10 * 4.375 * \log_{10}\left(\frac{d}{100}\right) + 9$$

$$d = 100 * 10^{\left(\frac{54.16}{43.75}\right)}$$

$$d = 1775.71m$$

$$R = d = 1.77km$$

5.4

Cálculo do Máximo Throughput Teórico.

O *throughput* do utilizador final depende de vários parâmetros, tais como: modulação, taxa de código do canal, configuração das antenas, quantidade de sobrecarga, incluindo se é utilizado prefixo cíclico curto ou longo e o número de *RB's* (*Resource Blocks*) atribuídos por largura de banda. Sabendo que o tamanho de um RB é igual para todas as larguras de banda, o número de *RB's* por cada largura de banda é apresentado na tabela 5.5, junto com o número de subportadoras para cada banda:

Largura de Banda	Subportadoras	Resource Blocks
20	1200	100
40	2400	200
60	3600	300
80	4800	400
100	6000	500

Tabela 5.5: Número de Subportadoras e *Resource Blocks*. [27]

A modulação QPSK transporta 2 bits por símbolo, a 16QAM transporta 4 bits por símbolo e a 64QAM 6 bits por símbolo. Uma configuração MIMO 2x2 (2 antenas de transmissão e 2 antenas de recepção) duplica o débito binário de pico, portanto, QPSK com uma taxa de código de $\frac{1}{2}$ transporta 1 bps/Hz e 64QAM com taxa de código de 1 e configuração MIMO 2x2 transporta 12 bps/Hz, enquanto cada largura de banda disponível corresponde a um certo número de sub-portadoras. No *Release* 8 do LTE o MIMO no DL pode chegar até 4x4 e no UL o SIMO até 1x4. Note-se que o MIMO UL ainda não está especificado pelo 3GPP para o LTE (*Release* 8). As especificações ainda são cautelosas acerca do MIMO num UE ou em múltiplos utilizadores, aproveitando a vantagem das diferentes antenas dos vários *UE's*.

O *throughput* no DL pode ser obtido através da seguinte equação [27]:

$$Throughput = \frac{N_{bs}}{Hz} \times N_S \times \frac{N_{SF}}{T_{SF}} \quad (5-1)$$

Onde:

- N_{bs} =Número de bits por símbolo transportados dentro de um esquema de modulação.
- N_s = Número de subportadoras.
- N_{SF} = Número de símbolos por subtramas (assumindo 13 símbolos).
- T_{SF} = Período da subtrama, 1ms.

A tabela 5.6 mostra os *throughput*, para diferentes larguras de banda.

Modulação	Taxa de Código	Bits/Símbolo	Configuração das Antenas	Larguras de Banda (MHz)					Throughput
				20	40	60	80	100	
QPSK	1/8	0,25	SISO	0,5	1,05	1,58	2,10	2,627	
QPSK	1/5	0,4	SISO	1,3	2,69	4,04	5,38	6,726	
QPSK	1/4	0,5	SISO	2,1	4,20	6,31	8,41	10,51	
QPSK	1/3	0,67	SISO	3,7	7,47	11,21	14,95	18,68	
QPSK	1/2	1	SISO	8,4	16,81	25,22	33,63	42,04	
QPSK	2/3	1,33	SISO	14,9	29,89	44,84	59,78	74,73	
QPSK	3/4	1,5	SISO	18,9	37,83	56,75	75,67	94,58	
QPSK	4/5	1,6	SISO	21,5	43,05	64,57	86,09	107,6	
16 QAM	1/2	2	SISO	16,8	33,6	50,4	67,3	84,1	
16 QAM	2/3	2,67	SISO	29,9	59,8	89,7	119,6	149,5	
16 QAM	3/4	3	SISO	37,8	75,7	113,5	151,3	189,2	
16 QAM	4/5	3,2	SISO	43,0	86,1	129,1	172,2	215,2	
64 QAM	1/2	3	SISO	25,2	50,4	75,7	100,9	126,1	
64 QAM	2/3	4	SISO	44,8	89,7	134,5	179,4	224,2	
64 QAM	3/4	4,5	SISO	56,7	113,5	170,2	227,0	283,7	
64 QAM	3/4	9	MIMO 2x2	113,5	227,0	340,5	454,0	567,5	
64 QAM	4/5	9,6	MIMO 2x2	129,1	258,3	387,4	516,5	645,7	

Tabela 5.6: *Throughput* para as larguras de banda de 20, 40, 60, 80 e 100 MHz.

As figuras 5.1, 5.2 e 5.3 mostram a diferença do *throughput* nas diferentes larguras de banda, levando em conta o tipo de modulação e a razão de código.

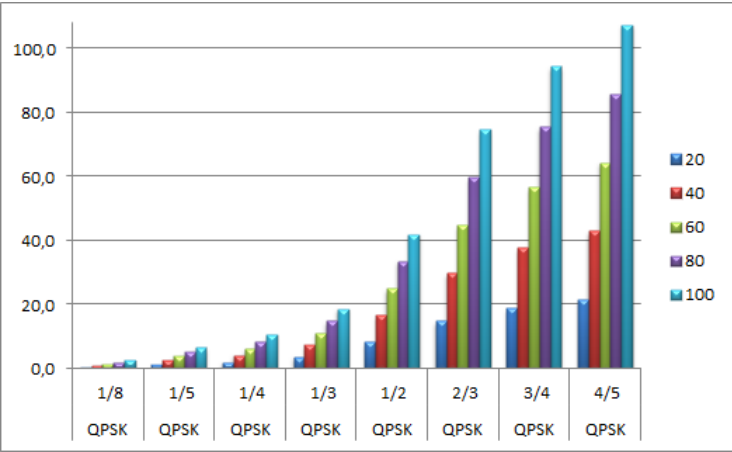


Figura 5.1: *Throughput* na camada física do LTE-A com modulação QPSK.

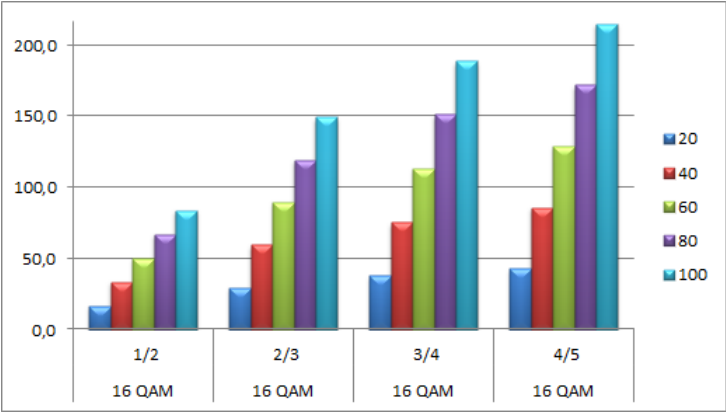


Figura 5.2: *Throughput* na camada física do LTE-A com modulação 16-QAM.

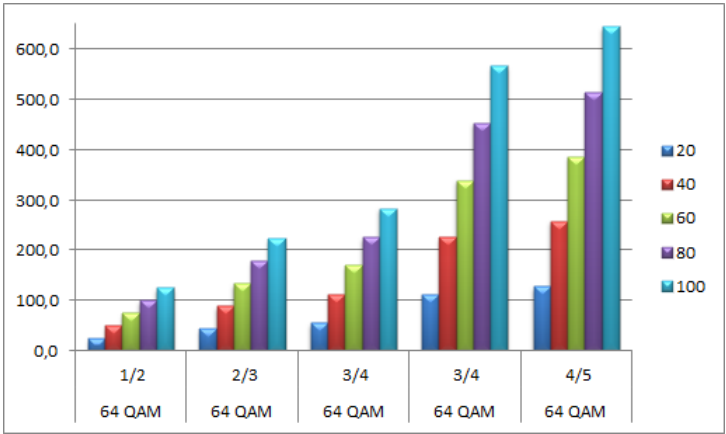


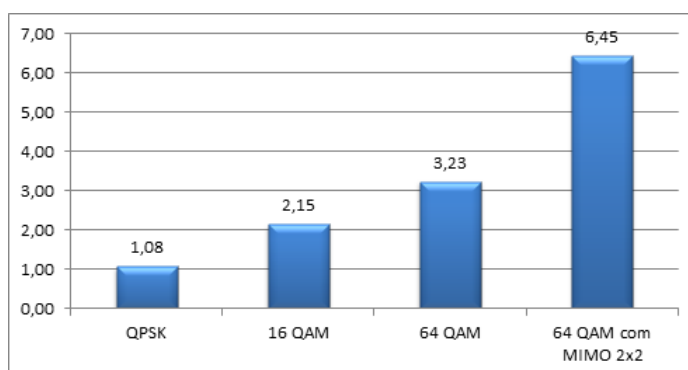
Figura 5.3: *Throughput* na camada física do LTE-A com modulação 64-QAM.

5.5

Cálculo da Máxima Eficiência Espectral.

A eficiência espectral para cada modulação pode ser calculada através da seguinte equação, para os resultados apresentados na figura 5.4.

$$Eficiencia Espectral = \frac{Throughput}{Largura de Banda}$$

Figura 5.4: Eficiência Espectral do *LTE-Advanced*.

5.6

Cálculo da Relação Sinal Ruído (SNR).

A tabela 5.7 mostra a Relação Sinal Ruído Requerida, para largura de banda de 20 MHz e para cada modulação e taxa de código.

Modulação	Taxa de Código	Bits/Símbolo	Configuração das Antenas	SNR (dB)
QPSK	1/8	0,25	SISO	-5,1
QPSK	1/5	0,4	SISO	-2,9
QPSK	1/4	0,5	SISO	-1,7
QPSK	1/3	0,67	SISO	-1,0
QPSK	1/2	1	SISO	2,0
QPSK	2/3	1,33	SISO	4,3
QPSK	3/4	1,5	SISO	5,5
QPSK	4/5	1,6	SISO	6,2
16 QAM	1/2	2	SISO	7,9
16 QAM	2/3	2,67	SISO	11,3
16 QAM	3/4	3	SISO	12,2
16 QAM	4/5	3,2	SISO	12,8
64 QAM	1/2	4	SISO	19,3
64 QAM	2/3	4,5	SISO	21,5
64 QAM	3/4	4,8	SISO	22,6
64 QAM	3/4	9	MIMO 2x2	50,1
64 QAM	4/5	9,6	MIMO 2x2	86,8

Tabela 5.7: SNR requerida para respectivas modulações e taxa de códigos.

5.7

Cálculo do Raio em Função da Modulação e SNR.

Na seção 5.3, calculamos o raio máximo teórico da célula adotando valores nulos para a SNR requerida no sistema. O valor encontrado naquela seção é importante quando desejamos determinar a quantidade de estações rádio base necessárias para cobrir a área na qual se pretende oferecer o serviço celular, mas não deve ser levada em consideração na

determinação do número de estações necessárias para um determinado tipo de serviço considerando a taxa de transferência (bps).

Nesta seção, iremos repetir o que foi realizado na seção 3 levando-se em consideração os valores de $SNR_{Requeridos}$ para cada taxa de modulação, ou ainda, para cada MCS (*Modulation and Coding Schemes*), a fim de determinar os raios máximos de modulação e respectivo *throughput*. No LTE, o principal indicador relacionado à capacidade de transferência de dados é a distribuição do SNR ao longo da célula. Conforme verificado anteriormente, a máxima perda permitida no sistema ($L_{P_{MAX}}$) ocorre no *downlink*. Sendo assim, nesta seção realizaremos os cálculos somente para o cálculo de enlace do *Downlink*, substituindo os valores de $SNR_{Requeridos}$ para cada MCS.

As tabelas 5.8 e 5.9 mostram os valores dos raios calculados para as modulações e respectivas taxas de códigos, mas levando em conta o SNR.

Modulação	Taxa de Código	Bits/Símbolo	Configuração das Antenas	SNR (dB)	20 MHz	40 MHz	60 MHz	80 MHz	100 MHz	Faixa de 2.6 GHz									
										Perda Máxima	Raio (m)	Perda Máxima	Raio (m)	Perda Máxima	Raio (m)	Perda Máxima	Raio (m)	Perda Máxima	Raio (m)
QPSK	1/8	0,25	SISO	-5,1	-97,1	-94,1	-92,3	-91,1	-90,1	145,10	1510,96	142,08	1288,91	140,32	1174,88	139,07	1100,08	138,10	1045,33
QPSK	1/5	0,4	SISO	-2,9	-94,9	-91,9	-90,1	-88,9	-87,9	142,90	1345,76	139,88	1147,99	138,12	1046,43	136,87	979,80	135,90	931,04
QPSK	1/4	0,5	SISO	-1,7	-93,7	-90,7	-88,9	-87,7	-86,7	141,70	1263,39	138,68	1077,73	136,92	982,38	135,67	919,83	134,70	874,05
QPSK	1/3	0,67	SISO	-1,0	-93,0	-90,0	-88,2	-87,0	-86,0	141,00	1217,69	137,98	1038,75	136,22	946,85	134,97	886,56	134,00	842,44
QPSK	1/2	1	SISO	2,0	-90,0	-87,0	-85,2	-84,0	-83,0	138,00	1039,84	134,98	887,03	133,22	808,56	131,97	757,07	131,00	719,39
QPSK	2/3	1,33	SISO	4,3	-87,7	-84,7	-82,9	-81,7	-80,7	135,70	921,29	132,68	785,90	130,92	716,37	129,67	670,76	128,70	637,38
QPSK	3/4	1,5	SISO	5,5	-86,5	-83,5	-81,7	-80,5	-79,5	134,50	864,90	131,48	737,80	129,72	672,53	128,47	629,71	127,50	598,37
QPSK	4/5	1,6	SISO	6,2	-85,8	-82,8	-81,0	-79,8	-78,8	133,80	833,62	130,78	711,11	129,02	648,20	127,77	606,93	126,80	576,72
16 QAM	1/2	2	SISO	7,9	-84,1	-81,1	-79,3	-78,1	-77,1	132,10	762,27	129,08	650,25	127,32	592,72	126,07	554,98	125,10	527,36
16 QAM	2/3	2,67	SISO	11,3	-80,7	-77,7	-75,9	-74,7	-73,7	128,70	637,38	125,68	543,71	123,92	495,61	122,67	464,05	121,70	440,96
16 QAM	3/4	3	SISO	12,2	-79,8	-76,8	-75,0	-73,8	-72,8	127,80	607,89	124,78	518,56	123,02	472,68	121,77	442,58	120,80	420,56
16 QAM	4/5	3,2	SISO	12,8	-79,2	-76,2	-74,4	-73,2	-72,2	127,20	588,99	124,18	502,44	122,42	457,99	121,17	428,83	120,20	407,48
64 QAM	1/2	4	SISO	19,3	-72,7	-69,7	-67,9	-66,7	-65,7	120,70	418,35	117,68	356,87	115,92	325,30	114,67	304,59	113,70	289,43
64 QAM	2/3	4,5	SISO	21,5	-70,5	-67,5	-65,7	-64,5	-63,5	118,50	372,61	115,48	317,85	113,72	289,73	112,47	271,28	111,50	257,78
64 QAM	3/4	4,8	SISO	22,6	-69,4	-66,4	-64,6	-63,4	-62,4	117,40	351,65	114,38	299,97	112,62	273,43	111,37	256,02	110,40	243,28
64 QAM	3/4	9	MIMO 2x2	50,1	-41,9	-38,9	-37,1	-35,9	-34,9	89,90	82,71	86,88	70,55	85,12	64,31	83,87	60,22	82,90	57,22
64 QAM	4/5	9,6	MIMO 2x2	86,8	-5,2	-2,2	-0,4	0,8	1,8	53,20	11,99	50,18	10,22	48,42	9,32	47,17	8,73	46,20	8,29

Tabela 5.8: Raio da célula considerando o SNR na faixa de 2.6 GHz.

Faixa de 700 MHz														
Modulação	Taxa de Código	Bits/Símbolo	Configuração das Antenas	SNR (dB)	20 MHz	40 MHz	60 MHz	80 MHz	100 MHz	Perda Máxima	Raio (m)	Perda Máxima	Raio (m)	Perda Máxima
QPSK	1/8	0,25	SISO	-5,1	-97,1	-94,1	-92,3	-91,1	-90,1	145,10	3356,93	142,08	2863,61	140,32
QPSK	1/5	0,4	SISO	-2,9	-94,9	-91,9	-90,1	-88,9	-87,9	142,90	2989,90	139,88	2550,52	138,12
QPSK	1/4	0,5	SISO	-1,7	-93,7	-90,7	-88,9	-87,7	-86,7	141,70	2806,91	138,68	2394,42	136,92
QPSK	1/3	0,67	SISO	-1,0	-93,0	-90,0	-88,2	-87,0	-86,0	141,00	2705,38	137,98	2307,81	136,22
QPSK	1/2	1	SISO	2,0	-90,0	-87,0	-85,2	-84,0	-83,0	138,00	2310,24	134,98	1970,74	133,22
QPSK	2/3	1,33	SISO	4,3	-87,7	-84,7	-82,9	-81,7	-80,7	135,70	2046,85	132,68	1746,05	130,92
QPSK	3/4	1,5	SISO	5,5	-86,5	-83,5	-81,7	-80,5	-79,5	134,50	1921,57	131,48	1639,19	129,72
QPSK	4/5	1,6	SISO	6,2	-85,8	-82,8	-81,0	-79,8	-78,8	133,80	1852,07	130,78	1579,90	129,02
16 QAM	1/2	2	SISO	7,9	-84,1	-81,1	-79,3	-78,1	-77,1	132,10	1693,56	129,08	1444,68	127,32
16 QAM	2/3	2,67	SISO	11,3	-80,7	-77,7	-75,9	-74,7	-73,7	128,70	1416,07	125,68	1207,97	123,92
16 QAM	3/4	3	SISO	12,2	-79,8	-76,8	-75,0	-73,8	-72,8	127,80	1350,56	124,78	1152,09	123,02
16 QAM	4/5	3,2	SISO	12,8	-79,2	-76,2	-74,4	-73,2	-72,2	127,20	1308,58	124,18	1116,28	122,42
64 QAM	1/2	4	SISO	19,3	-72,7	-69,7	-67,9	-66,7	-65,7	120,70	929,46	117,68	792,87	115,92
64 QAM	2/3	4,5	SISO	21,5	-70,5	-67,5	-65,7	-64,5	-63,5	118,50	827,83	115,48	706,18	113,72
64 QAM	3/4	4,8	SISO	22,6	-69,4	-66,4	-64,6	-63,4	-62,4	117,40	781,27	114,38	666,46	112,62
64 QAM	3/4	9	MIMO 2x2	50,1	-41,9	-38,9	-37,1	-35,9	-34,9	89,90	183,75	86,88	156,75	85,12
64 QAM	4/5	9,6	MIMO 2x2	86,8	-5,2	-2,2	-0,4	0,8	1,8	53,20	26,63	50,18	22,72	48,42
										60MHz			80MHz	
										Perda Máxima	Raio (m)	Perda Máxima	Raio (m)	Perda Máxima
										140,32	2610,27	139,07	2444,07	138,10
										138,12	2324,88	136,87	2176,85	135,90
										136,92	2182,59	135,67	2043,62	134,70
										136,22	2103,64	134,97	1969,70	134,00
										133,22	1796,39	131,97	1682,01	131,00
										130,92	1591,58	129,67	1490,24	128,70
										129,72	1494,17	128,47	1399,03	127,50
										129,02	1440,12	127,77	1348,43	126,80
										127,32	1316,87	126,07	1233,02	125,10
										123,92	1101,10	122,67	1031,00	121,70
										123,02	1050,16	121,77	983,30	120,80
										122,42	1017,52	121,17	952,73	120,20
										115,92	722,72	114,67	676,71	113,70
										113,72	643,70	112,47	602,72	111,50
										112,62	607,50	111,37	568,82	110,40
										85,12	142,88	83,87	133,78	82,90
										48,42	20,71	47,17	19,39	46,20
										100MHz				
										Perda Máxima	Raio (m)	Perda Máxima	Raio (m)	Perda Máxima
										138,10	2322,43	136,87	2176,85	135,90
										135,90	2068,51	134,70	1941,91	134,00
										134,00	1871,67	131,00	1598,30	128,70

Tabela 5.9: Raio da célula considerando o SNR na faixa de 700 MHz.

As figuras 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9 mostram a comparação dos raios das células para as larguras de banda de 20, 40, 60, 80 e 100 MHz nas duas faixas.

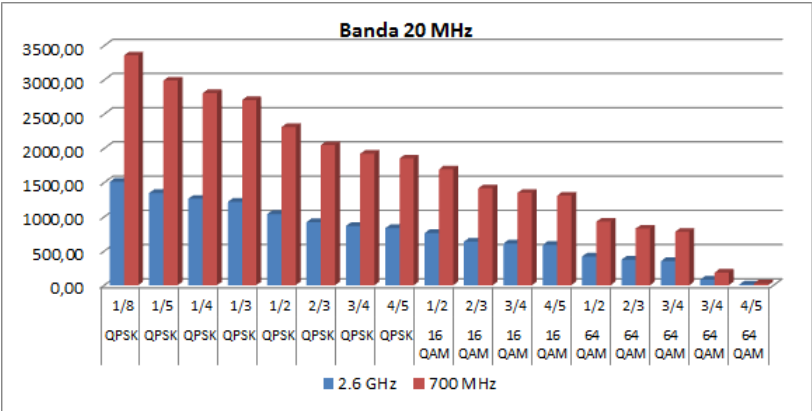


Figura 5.5: Comparação da cobertura LTE-A em 2.6 GHz e 700 MHz - Largura de Banda 20 MHz.

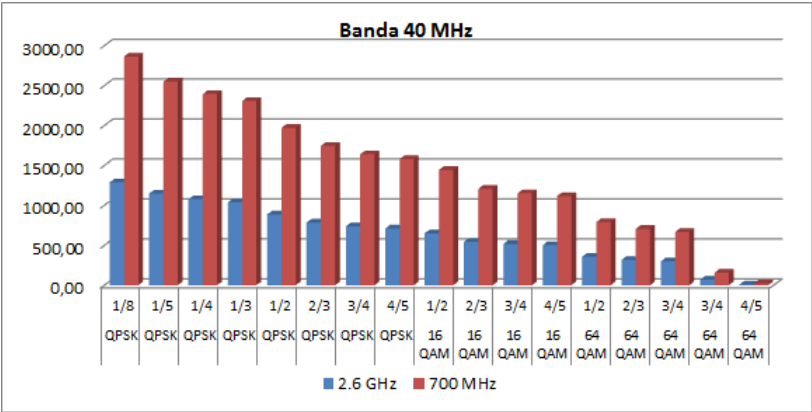


Figura 5.6: Comparação da cobertura LTE-A em 2.6 GHz e 700 MHz - Largura de Banda 40 MHz.

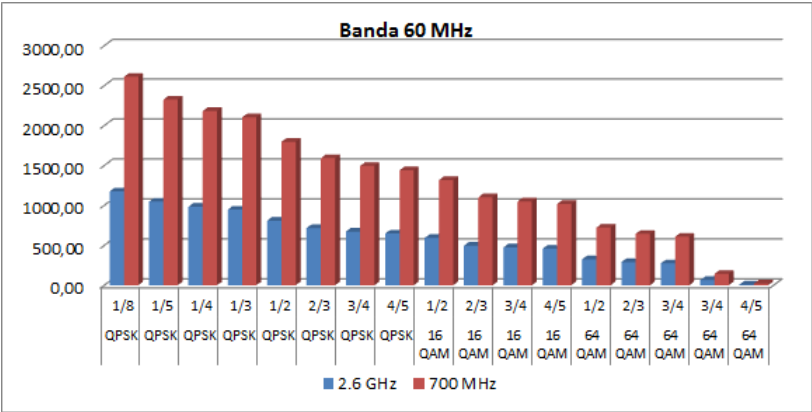


Figura 5.7: Comparação da cobertura LTE-A em 2.6 GHz e 700 MHz - Largura de Banda 60 MHz.

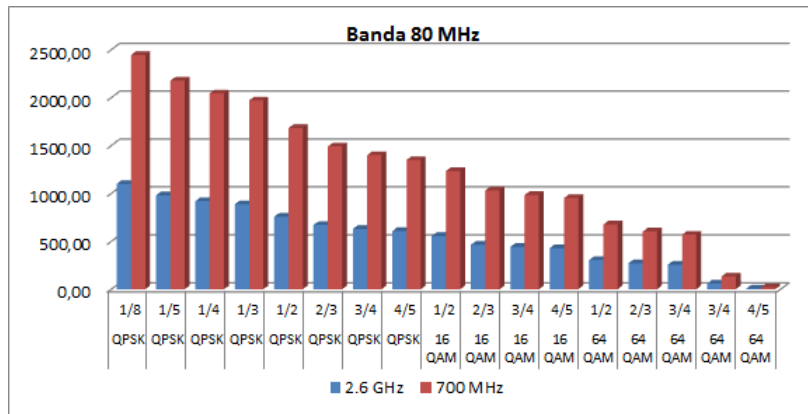


Figura 5.8: Comparação da cobertura LTE-A em 2.6 GHz e 700 MHz - Largura de Banda 80 MHz.

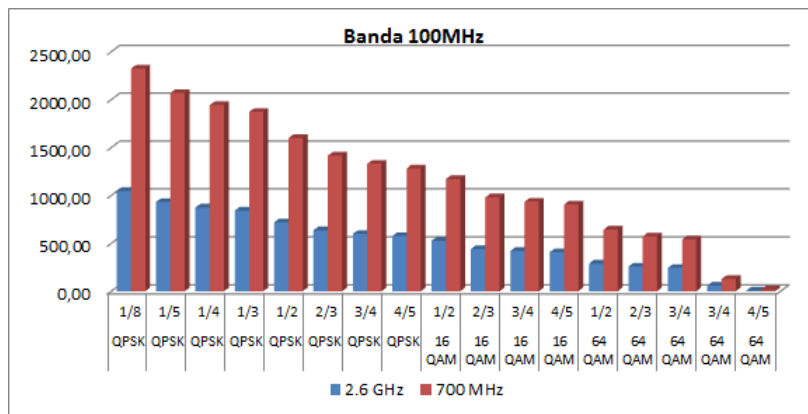


Figura 5.9: Comparação da cobertura LTE-A em 2.6 GHz e 700 MHz - Largura de Banda 100 MHz.

As figuras 5.10, 5.11, 5.12, 5.13 e 5.14 fazem a comparação para variação do *throughput* conforme a distância para as larguras de banda de 20, 40, 60, 80 e 100 MHz nas faixas de 2.56 GHz e 700 MHz. Conforme a distância entre o transmissor e o receptor vai crescendo, os valores do SNR vão sendo menores devido ao aumento das perdas de propagação.

É claro que o esquema de modulação mais robusto com larguras de banda pequenas podem atingir maiores distâncias de comunicação, mas a desvantagem é um *throughput* menor. Uma modulação mais eficiente e sistemas de codificação com larguras de banda maiores podem obter um *throughput* muito maior mas terão uma distância de comunicação muito mais curta. Para uma distância específica, a otimização do perfil de modulação, taxa de codificação e largura de banda do canal podem ser identificadas selecionando uma configuração que satisfaça os requisitos necessários para comunicação.

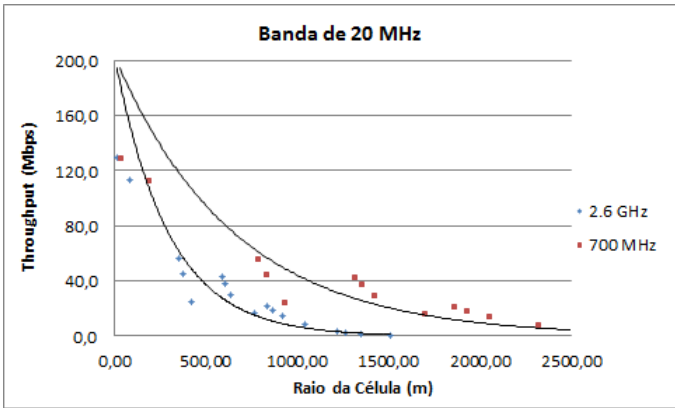


Figura 5.10: Variação do *Throughput* conforme a distância para largura de banda de 20 MHz.

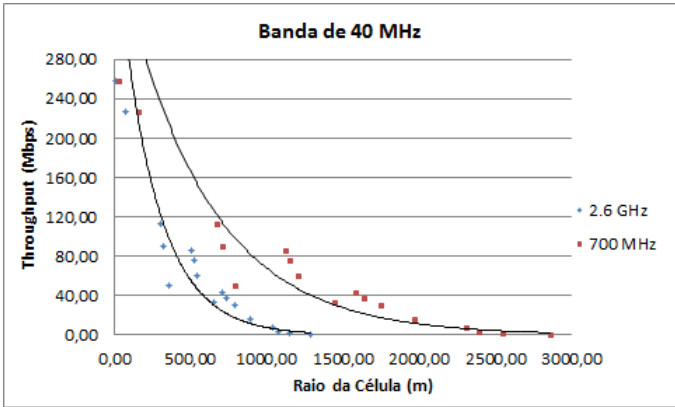


Figura 5.11: Variação do *Throughput* conforme a distância para largura de banda de 40 MHz.

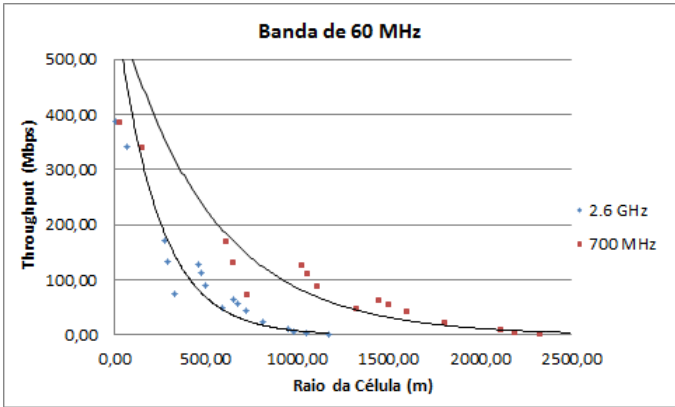


Figura 5.12: Variação do *Throughput* conforme a distância para largura de banda de 60 MHz.

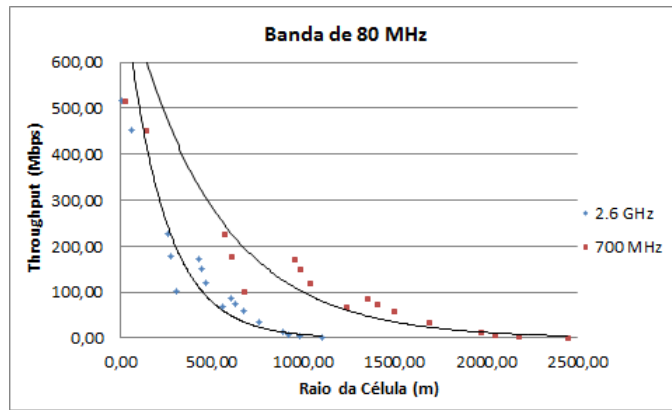


Figura 5.13: Variação do *Throughput* conforme a distância para largura de banda de 80 MHz.

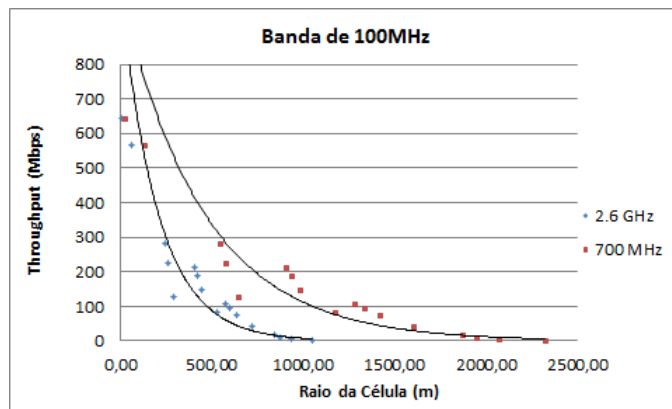


Figura 5.14: Variação do *Throughput* conforme a distância para largura de banda de 100 MHz.

Observando as figuras, pode-se notar que a máxima distância de cobertura das modulações se altera dependendo da largura de banda, devido ao fato de que a sensibilidade requerida na recepção da UE varia para as cinco larguras de banda utilizadas no cálculo.

O máximo *throughput* atingido com 100 MHz de banda é de 322.8 Mbps sem a utilização da configuração das antenas MIMO 2x2, mas utilizando uma configuração de antenas MIMO 2x2 com (taxa de código 4/5) se consegue atingir o *throughput* máximo do sistema, que é de 645.7 Mbps com 9.6 bits por símbolo.

5.8

Cálculo da Interferência Co-Canal com Setorização Tripla.

A interferência co-canál é um efeito inerente dos sistemas celulares, que operam com base no reuso de frequência. A degradação causada por esta

interferência é o principal fator limitante do aumento de capacidade destes sistemas. O controle adequado dos níveis de interferência é essencial para a obtenção de um sistema de alta capacidade, caracterizado pela utilização de um baixo fator de reuso.

A setorização ajuda a reduzir a interferência utilizando antenas diretivas. A técnica consiste em dividir cada célula em setores iluminados utilizando-se antenas diretivas e designar, para cada setor, um subconjunto de frequências. A setorização tripla consiste na divisão em setores de 120° . Para poder compreender melhor a setorização e o benefício dela, observa-se na figura 5.15, que tem duas células que possuem setores voltados para a célula interferida e possuem o mesmo subconjunto de frequências.

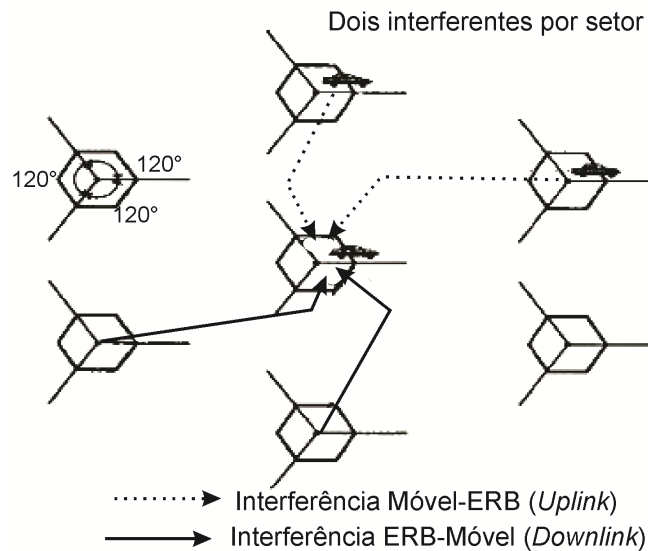


Figura 5.15: Interferência com setorização tripla.

Para o cálculo da relação SIR considerando setorização tripla e fatores de reuso de 1, 3, 4, 7, 9, 12 e 13, se utiliza a seguinte fórmula:

$$SIR(dB) = 5\gamma \log 3N - 7.8 + 10 \log N_s$$

onde:

- γ = Fator de Urbanização.
- N = Fator de reuso.
- N_s = Número de Setores.

Considerando $N_s = 3$ (setorização tripla) e $\gamma = 4.375dB$, calculado no item 5.3, temos a tabela 5.10 com os valores SIR.

Setorização Tripla	
Fator de Reuso	SIR (dB)
N=1	7,41
N=3	17,85
N=4	20,58
N=7	25,89
N=9	28,28
N=12	31,02
N=13	31,78

Tabela 5.10: Relação SIR com setorização tripla.

Considerando o fator de reuso $N=7$ e o terreno tipo B, temos um SIR de 25.89 dB, o que é suficiente para que os usuários da borda das células sejam atendidos com todas as modulações, com exceção da modulação 64-QAM 4/5.

5.9

Cálculo da quantidade de ERBs necessárias para cobertura.

Com os cálculos do raio máximo obtido no item 5.3 e a área para a qual se pretende dar serviço celular é o bairro de Ipanema, localizado na zona sul do Rio de Janeiro, com uma área de 5.68 km^2 , para o cálculo da área de cobertura para cada estação base, temos:

Para Faixa de 2.6 GHz

$$a = \frac{3 * \sqrt{3} * R^2}{2}$$

onde:

- a = Área de cobertura para cada estação base.
- R = Raio máximo de uma célula ($R = 799.25 \text{ m}$).

Então:

$$a = \frac{3 * \sqrt{3} * 0.79925^2}{2}$$

$$a = 1.66 \text{ km}^2$$

Sabendo que a região a ser atendida tem uma área de, aproximadamente, 5.68 km^2 e a área de cobertura de cada estação base, segundo o cálculo, é igual a 1.57 km^2 e com a seguinte equação, podemos encontrar o número

de estações necessárias para poder dar cobertura na região:

$$\text{Número de Estacoes Base Cobertura} = \frac{\text{Área de Cobertura}}{\text{Área da Celula}}$$

$$\text{Número de Estacoes Base Cobertura} = \frac{5.68 \text{ km}^2}{1.66 \text{ km}^2}$$

$$\text{Número de Estacoes Base Cobertura} = 3.42 \approx 4$$

Para Faixa de 700 MHz

– R= Raio máximo de uma célula (R= 1.77 km).

$$a = \frac{3 * \sqrt{3} * 1.77^2}{2}$$

$$a = 8.14 \text{ km}^2$$

$$\text{Número de Estacoes Base Cobertura} = \frac{5.68 \text{ km}^2}{8.14 \text{ km}^2}$$

$$\text{Número de Estacoes Base Cobertura} = 0.70 \approx 1$$

5.10

Cálculo da quantidade de ERBs necessárias para capacidade.

Para dimensionamento da quantidade de estações base necessárias para capacidade deve ser levado em consideração qual é o *throughput* médio que se quer oferecer na rede. A limitação da capacidade esta limitada pelo *throughput* no *downlink*, que se tem calculado na tabela 5.6. Desta maneira, no projeto se quer garantir, pelo menos, 40 Mbps em cada célula, utilizando uma largura de banda de 100 MHz para a faixa de 2.6 GHz e, no caso da faixa de 700 MHz, se pretende garantir, pelo menos, 100 Mbps utilizando uma largura de banda de 100 MHz.

Para Faixa de 2.6 GHz

Utilizando a tabela 5.8, chegamos à conclusão de que o SNR a ser garantido é de 2 dB e que a modulação e taxa de código que tem que ser utilizada é QPSK 1/2, então primeiro devemos determinar a área de cobertura das células limitadas por um raio de 719.39 m. Utilizando a mesma fórmula que no ponto anterior, temos:

$$a = \frac{3 * \sqrt{3} * R^2}{2}$$

Onde:

- a= Área de cobertura para cada estação base.
- R= Raio máximo de uma célula (R= 719.39 m).

Então:

$$a = \frac{3 * \sqrt{3} * 0.71939^2}{2}$$

$$a = 1.34 km^2$$

Sabendo que a região a ser atendida tem uma área de, aproximadamente, $5.68 km^2$ e a área de cobertura de cada estação base segundo o cálculo é de $1.34 km^2$, com a seguinte equação podemos encontrar o número de estações necessárias para poder dar cobertura na região:

$$Número\ de\ Estacoes\ Base\ Capacidade = \frac{Área\ de\ Cobertura}{Área\ da\ Celula}$$

$$Número\ de\ Estacoes\ Base\ Capacidade = \frac{5.68 Km^2}{1.34 Km^2}$$

$$Número\ de\ Estacoes\ Base\ Capacidade = 4.24 \approx 5$$

Para Faixa de 700 MHz

Utilizando a tabela 5.9, chegamos à conclusão de que o SNR a ser garantido é de 19.3 dB e que a modulação e taxa de código que tem que ser utilizada é QAM 1/2.

Então primeiro devemos determinar a área de cobertura das células limitadas por um raio de 643.03 m.

- R= Raio máximo de uma célula (R= 643.03 m).

$$a = \frac{3 * \sqrt{3} * 0.64303^2}{2}$$

$$a = 1.07 km^2$$

$$Número\ de\ Estacoes\ Base\ Capacidade = \frac{5.68 km^2}{1.07 km^2}$$

$$Número\ de\ Estacoes\ Base\ Capacidade = 5.31 \approx 5$$

5.11

Projeto da Rede.

A região a ser atendida pela rede celular é de, aproximadamente, 5.68 km^2 , e a área de cobertura é mostrada na figura 5.16:

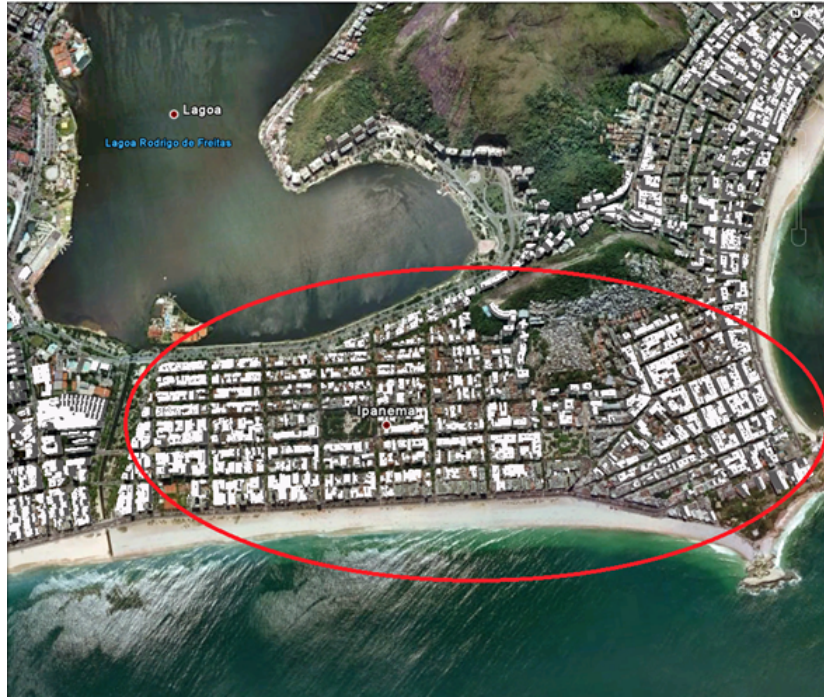


Figura 5.16: Área de cobertura, Ipanema, Rio de Janeiro.

Em projetos reais deve-se considerar o reuso das estações existentes (utilizada por outras tecnologias) de maneira que no projeto se possa reduzir os custos de investimento em novas estações. No presente projeto, se fez uma, nova distribuição das eNodeB, tendo em consideração que a área onde se está trabalhando tem muitas edificações. Na figura 5.17, se mostra a localização das ERBs, e na tabela 5.11 mostram-se as latitudes e longitudes exatas das mesmas.



Figura 5.17: Localização das ERBs.

eNodeB	Latitude	Longitude
1	22°59'1,08" S	43°12'41,85" O
2	22°59'4,31" S	43°12'20,40" O
3	22°59'2,99" S	43°11'32,27" O
4	22°59'0,56" S	43°12'6,08" O
5	22°59'6,42" S	43°11'48,19" O

Tabela 5.11: Latitudes e Longitudes dos eNodeB.

As alturas dos eNodeB são diferentes, dependendo da localização e das estruturas existentes no ponto. Devido à concentração de edificações, os eNodeB foram localizadas no alto de edifícios. A tabela 5.12 mostra as alturas dos 5 eNodeBs.

eNode B	Altura (m)
1	80
2	70
3	56
4	45
5	38

Tabela 5.12: Alturas dos eNodeBs utilizados para o projeto.

Depois de ter localizado as estações base, temos que determinar as características do equipamento a ser instalado, tendo em conta que

ele satisfaça as necessidades do projeto, atenda os serviços que serão oferecidos e leve em conta o crescimento do mercado.

O equipamento utilizado para este projeto é o *Multiradio Flexi BTS* [32], da empresa *Nokia Siemens Networks*. A tabela 5.13 mostra as características do equipamento proposto.

Technical data	
Installation options	Modular base station for indoor and outdoor installation; floor, wall, pole, mast mountable; supports distributed and feeder-less site setups
Frequency bands	Flexi Multiradio BTS is geared to support multiple paired and unpaired bands: 700, 800, 850, 900, 1800, 1900, 1700/2100, 2100, 2300 and 2600 MHz. Availability depends on market and operator requirements.
Maximum capacity	Up to 6+6+6 GSM or 4+4+4 WCDMA or 1+1+1 LTE at 20 MHz or flexible combination of the above technologies in concurrent mode. For higher capacity several modules can be deployed on a single site.
Multi-radio configuration	1 Flexi 3-sector RF module + 1 system module for GSM/EDGE + 1 system module for WCDMA/HSPA and LTE. Remote Radio Head (RRH) solution also supported.
RF power amplifier technology	Multicarrier power amplifier (multi-standard)
Height x width x depth	133 x 447 x 560 mm per module, indoors and outdoors. Fits in any 19" rack.
Volume net	25 liters per module
Weight	25 kg per module
Operating temperature range	-35 °C to +55 °C
Power supply	40.5 – 57 VDC, 184 – 276 VAC with power module
Typical power consumption	790W for combined GSM and WCDMA site
Output power	240W per RF module or 40W + 40W per Remote Radio Head (RRH)

Tabela 5.13: Equipamento *Multiradio Flexi BTS* - *Nokia Siemens*. [33]

As bandas de operação para o *LTE-Advanced* são mostradas na tabela 5.14.

Banda LTE	Uplink (MHz)		Downlink (MHz)		Modo Duplex
1	1920	1980	2110	2170	FDD
2	1850	1910	1930	1990	FDD
3	1710	1785	1805	1880	FDD
4	1710	1755	2110	2155	FDD
5	824	849	869	894	FDD
6	830	840	875	885	FDD
7	2500	2570	2620	2690	FDD
8	880	915	925	960	FDD
9	1749,9	1784,9	1844,9	1879,9	FDD
10	1710	1770	2110	2170	FDD
11	1427,9	1452,9	1475,9	1500,9	FDD
12	698	716	728	746	FDD
13	777	787	746	756	FDD
14	788	798	758	768	FDD
17	704	716	734	746	FDD
18	815	830	860	875	FDD
19	830	845	875	890	FDD
33	1900	1920	1900	1920	TDD
34	2010	2025	2010	2025	TDD
35	1850	1910	1850	1910	TDD
36	1930	1990	1930	1990	TDD
37	1910	1930	1910	1930	TDD
38	2570	2620	2570	2620	TDD
39	1880	1920	1880	1920	TDD
40	2300	2400	2300	2400	TDD

Tabela 5.14: Faixas de *Uplink* e *Downlink* para o LTE. [52]

Como se pode ver, o equipamento proposto funciona na banda 7 e 12, que são as bandas para as quais se fez os cálculos (2.600 GHz e 700 MHz). O equipamento proposto tem uma compatibilidade entre as tecnologias, mais especificamente com o GSM / EDGE, WCDMA / HSPA e LTE. Ele também tem certas características na rádio frequência (RF) e na banda base (BB), incluindo:

- A multibanda está habilitada e pronta para o processamento da tecnologia LTE (a banda base é uma solução multimodo que se encarrega do GSM/EDGE, HSPA e do LTE).
- O módulo RF de múltiplas portadoras, amplificadores de potência multiformato permite ao equipamento construir BTS a menor custo e tomar um caminho evolutivo para a alta capacidade.
- Tem 3 módulos de RF que se encarregam das 3 tecnologias, simultaneamente, com uma potência de saída de 3x60W.

A padronização da *3GPP Release 8* vai definir taxas mais elevadas de dados a 173 Mbps, com uma configuração de antenas MIMO 2x2. O equipamento também está projetado para ter diferentes larguras de banda de 1.4 a 20 MHz. As especificações para a *LTE-Advanced (Release*

10) sobre a sensibilidade requerida para diferentes larguras de banda (20, 40, 60, 80 ou 100 MHz) não estão ainda nas recomendações da 3GPP. É importante notar que nessas recomendações são definidas taxas de dados maiores que 1Gbps para o *LTE-Advanced (Release 10)*, isso é possível no caso de uma configuração MIMO 8x8.

Nesta parte do capítulo foi feita uma pequena prática para ver o que é esperado da rede *LTE-Advanced*, usando os mesmos dados mostrados nos item anteriores. Considerou-se a sensibilidade de -92, -88.98, -87.22, -85.97 e -85 dBm, para representar a perda máxima possível na propagação do *downlink*. Com esses valores, podemos garantir que o nível de cobertura será aceitável para os serviços oferecidos ao usuário.

As figuras 5.18, 5.19, 5.20, 5.21 e 5.22 mostram os níveis do sinal na área de cobertura onde se pretende dar o serviço móvel, para diferentes larguras de banda. Observamos que se têm diferentes intensidades do sinal dependendo do tipo modulação.

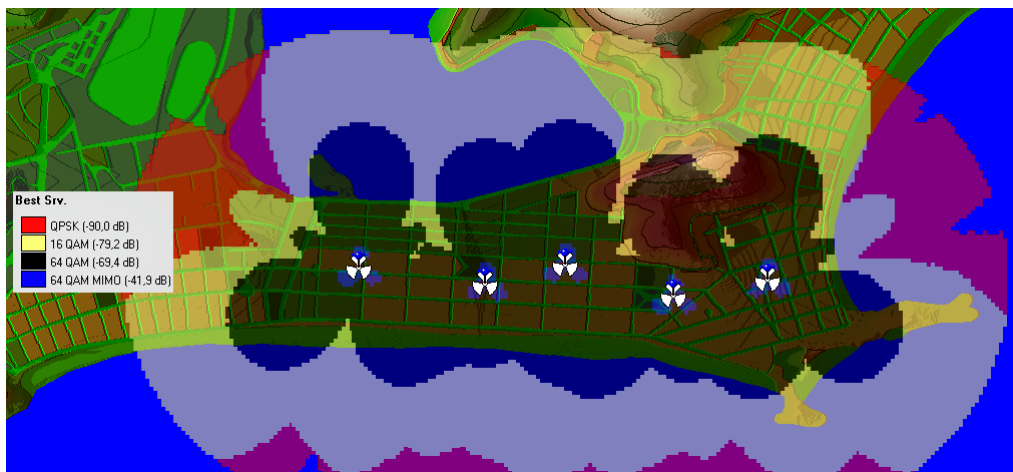


Figura 5.18: Intensidade do sinal na área de cobertura, para 20 MHz.



Figura 5.19: Intensidade do sinal na área de cobertura, para 40 MHz.



Figura 5.20: Intensidade do sinal na área de cobertura, para 60 MHz.

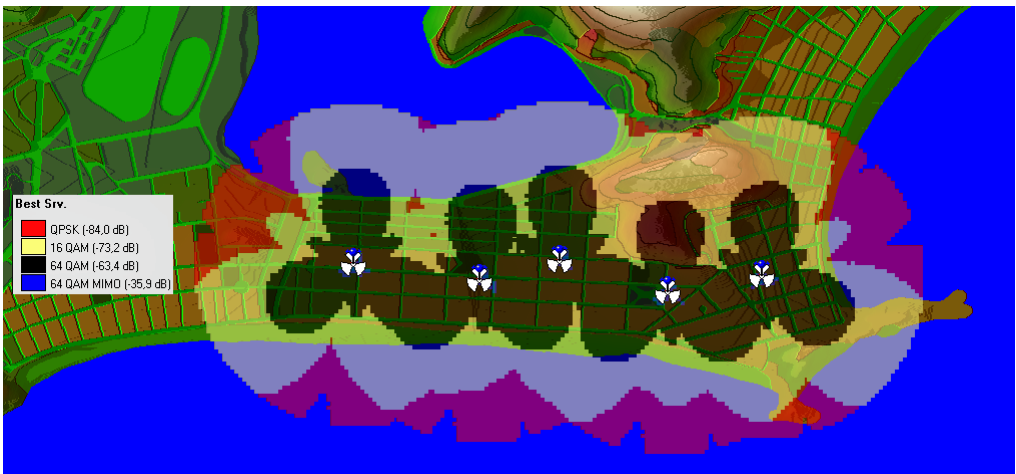


Figura 5.21: Intensidade do sinal na área de cobertura, para 80 MHz.

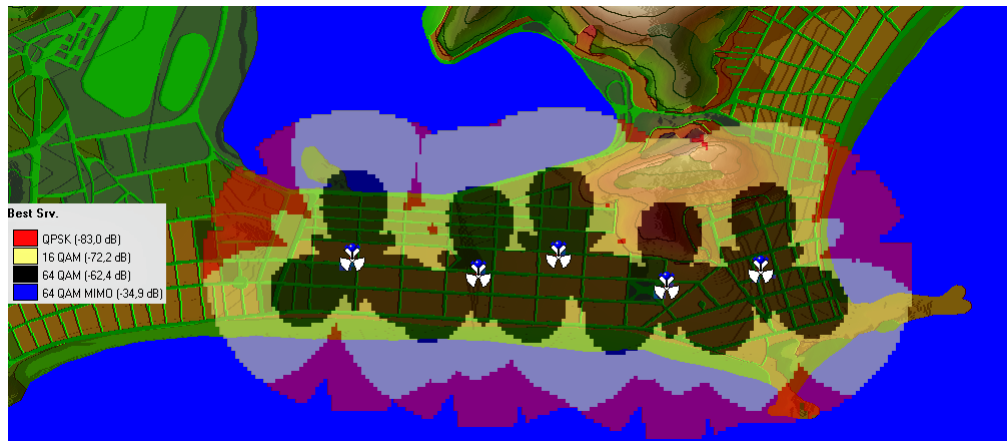


Figura 5.22: Intensidade do sinal na área de cobertura, para 100 MHz.

Nas figuras 5.23, 5.24, 5.25, 5.26 e 5.27, é mostrada a cobertura *Best Server* para as diferentes larguras de banda. Isso significa qual setor tem melhores condições para atender o usuário num determinado ponto da área de cobertura. Quando falamos de melhores condições, nos referimos a determinadas características, como o nível da relação sinal a ruído e interferência, entre outros, que juntos determinam a capacidade do canal utilizado para transmitir dados ao usuário. Realizamos o cálculo das estações de base requeridas pela capacidade, chegando ao resultado de 5 eNodeBs para cobrir a área de 5.68 km^2 com um *throughput* médio de 40 Mbps, assumindo uma largura de banda de 100 MHz, utilizando modulação QPSK com taxa de código 1/2.

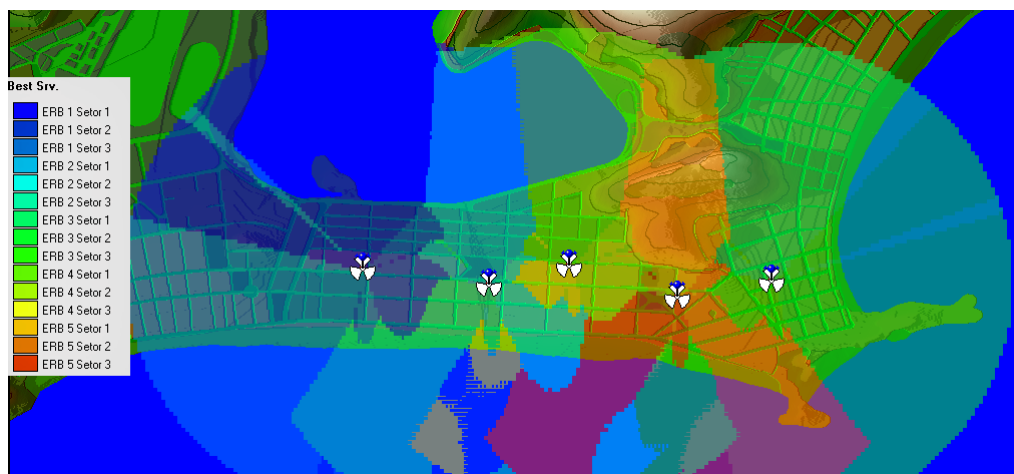


Figura 5.23: Cobertura *Best Server*, para 20 MHz.

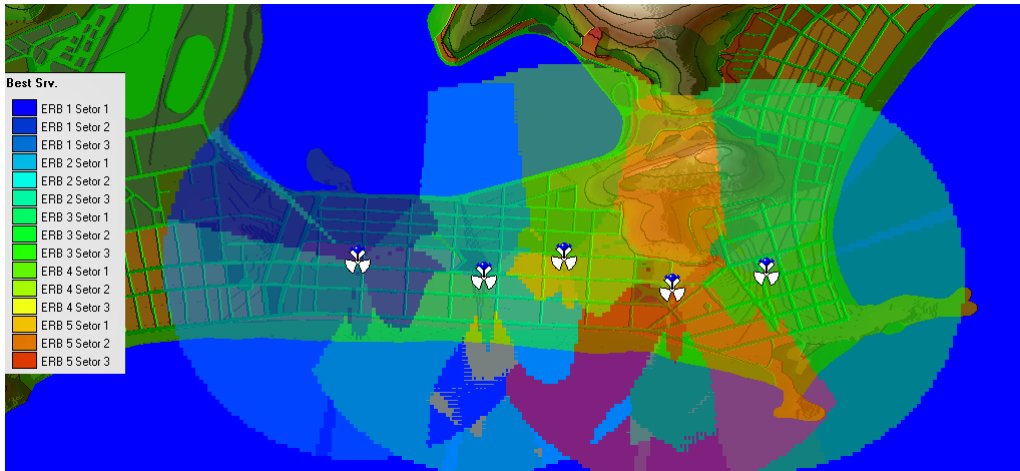


Figura 5.24: Cobertura *Best Server*, para 40 MHz.

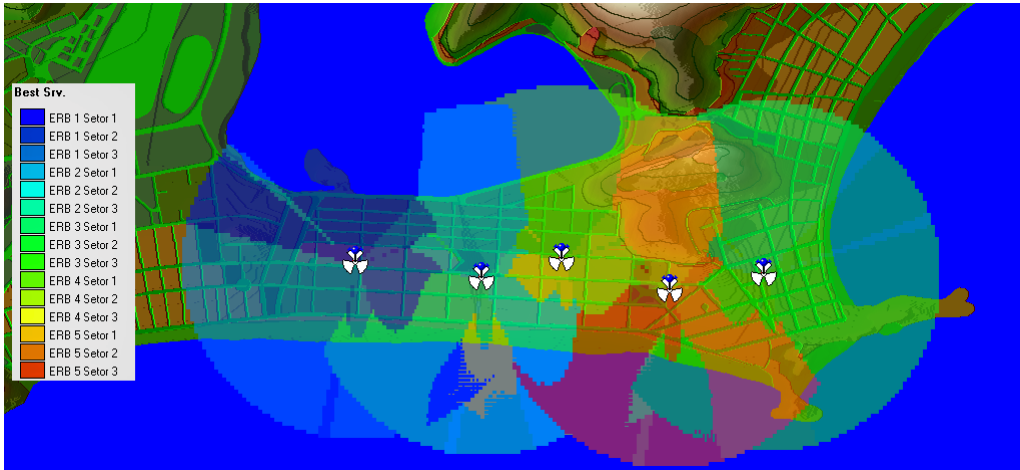


Figura 5.25: Cobertura *Best Server*, para 60 MHz.

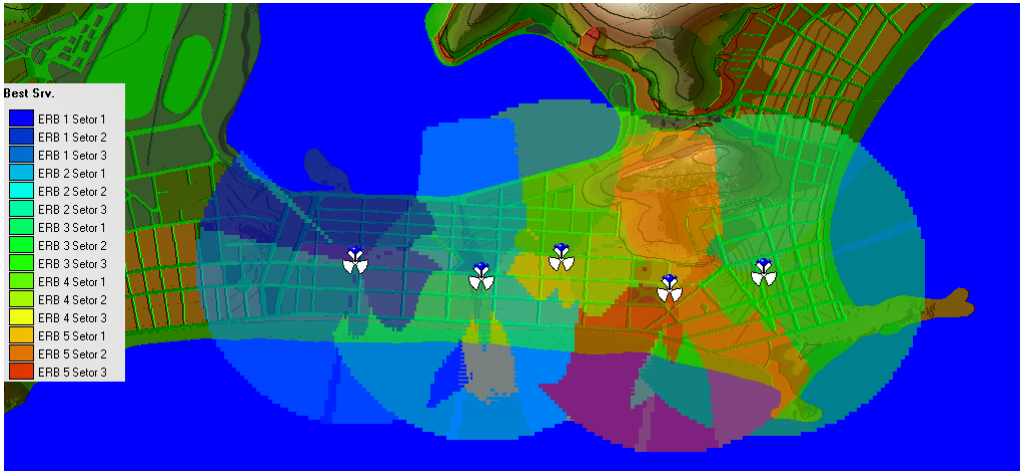


Figura 5.26: Cobertura *Best Server*, para 80 MHz.

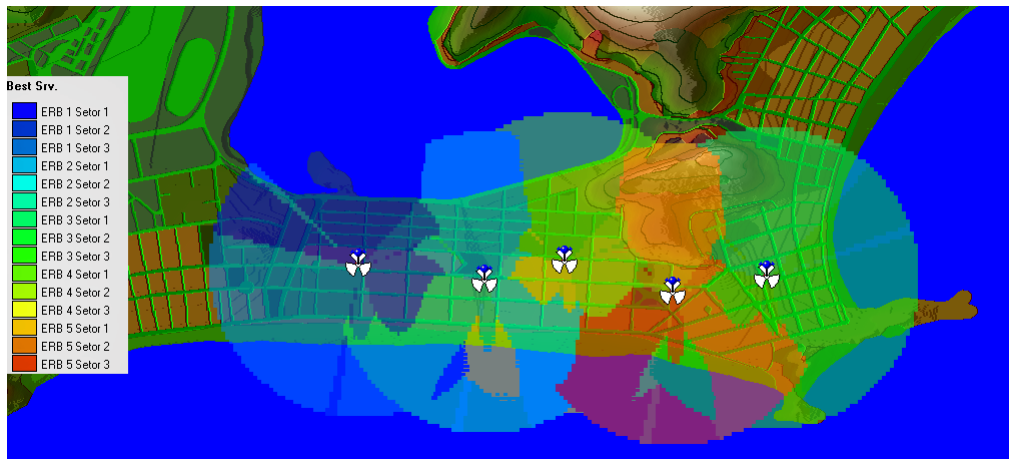


Figura 5.27: Cobertura *Best Server*, para 100 MHz.

Na figura 5.28 é mostrada a relação sinal-ruído para a área de cobertura, que é a informação da taxa de *chip* em relação à interferência do sistema. Esta relação é uma medida utilizada para medir o desempenho do canal rádio.

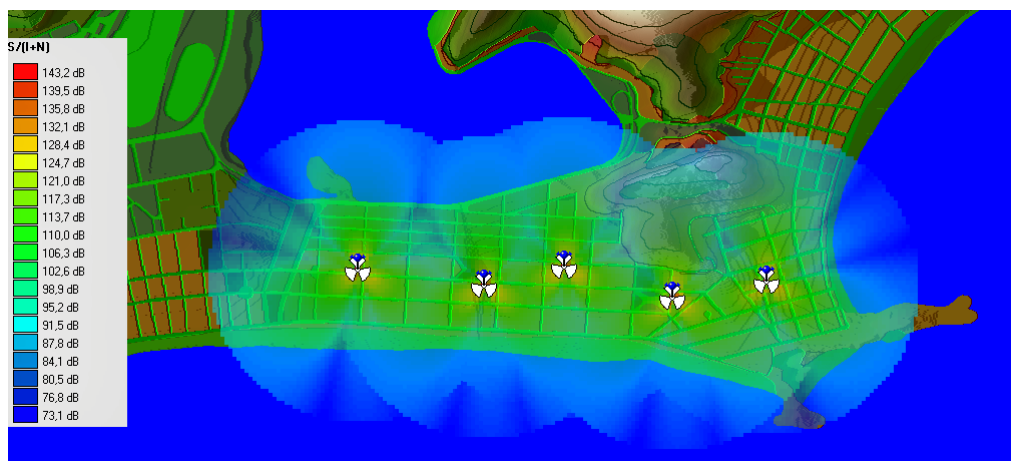


Figura 5.28: Relação Sinal-Ruído.

A relação Sinal-Ruído varia de acordo com a quantidade de usuários presentes no sistema em um determinado momento, com a taxa de dados que está sendo requerida por cada usuário e também conforme sua localização ao longo da área de cobertura. Variando-se os fatores citados, a interferência no sistema irá se alterar, diminuindo ou aumentando, fazendo com que os resultados de $S/(I+N)$ também venham a variar.

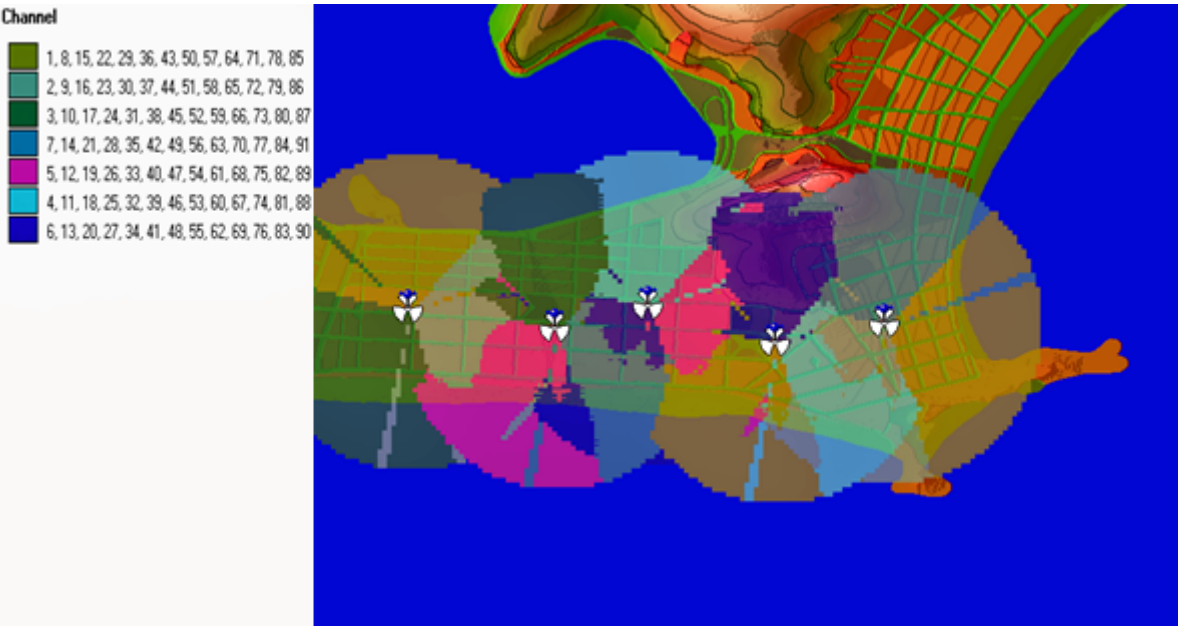


Figura 5.29: Planejamento das Frequências.

A figura 5.29 mostra a distribuição de canais, onde o plano de frequência será de 1/7. Desta forma teremos 7 grupos de frequências divididos pelas 5 células, resultando em 3 grupos de frequências por célula. Como o sistema terá suas células setorizadas com 3 setores, colocou-se um grupo de frequências para cada setor. O sistema terá a seguinte configuração:

Frequency Planning	
Groups: 7	
Channels/Group: 13	
Cell	Channels
ERB 1 Setor 1	1, 8, 15, 22, 29, 36, 43, 50, 57, 64, 71, 78, 85
ERB 1 Setor 2	2, 9, 16, 23, 30, 37, 44, 51, 58, 65, 72, 79, 86
ERB 1 Setor 3	3, 10, 17, 24, 31, 38, 45, 52, 59, 66, 73, 80, 87
ERB 2 Setor 1	3, 10, 17, 24, 31, 38, 45, 52, 59, 66, 73, 80, 87
ERB 2 Setor 2	7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70, 77, 84, 91
ERB 2 Setor 3	5, 12, 19, 26, 33, 40, 47, 54, 61, 68, 75, 82, 89
ERB 3 Setor 1	7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70, 77, 84, 91
ERB 3 Setor 2	1, 8, 15, 22, 29, 36, 43, 50, 57, 64, 71, 78, 85
ERB 3 Setor 3	2, 9, 16, 23, 30, 37, 44, 51, 58, 65, 72, 79, 86
ERB 4 Setor 1	4, 11, 18, 25, 32, 39, 46, 53, 60, 67, 74, 81, 88
ERB 4 Setor 2	5, 12, 19, 26, 33, 40, 47, 54, 61, 68, 75, 82, 89
ERB 4 Setor 3	6, 13, 20, 27, 34, 41, 48, 55, 62, 69, 76, 83, 90
ERB 5 Setor 1	6, 13, 20, 27, 34, 41, 48, 55, 62, 69, 76, 83, 90
ERB 5 Setor 2	4, 11, 18, 25, 32, 39, 46, 53, 60, 67, 74, 81, 88
ERB 5 Setor 3	1, 8, 15, 22, 29, 36, 43, 50, 57, 64, 71, 78, 85

Figura 5.30: Relatório de planejamento de Frequências.

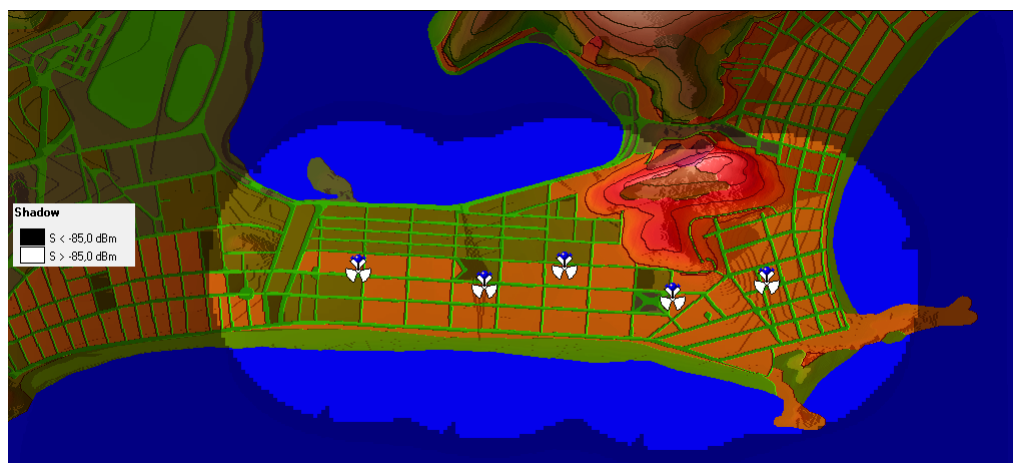


Figura 5.31: Análise das áreas com sombra.

A análise de áreas de sombra foi feita com uma sensibilidade na recepção de -85 dBm e, como podemos ver na figura 5.31, não existem áreas com sombra e o sinal é percebido pelo receptor em toda a área. Nesse caso, não se considerou a difração para fazer a simulação.

A figura 5.32 mostra a área de sombra considerando uma difração simples e, para poder resolver esse problema, os cálculos são realizados novamente, mas desta vez levando em considerando a difração, e deveremos colocar um número maior de eNodeB para poder dar cobertura total para área em estudo.

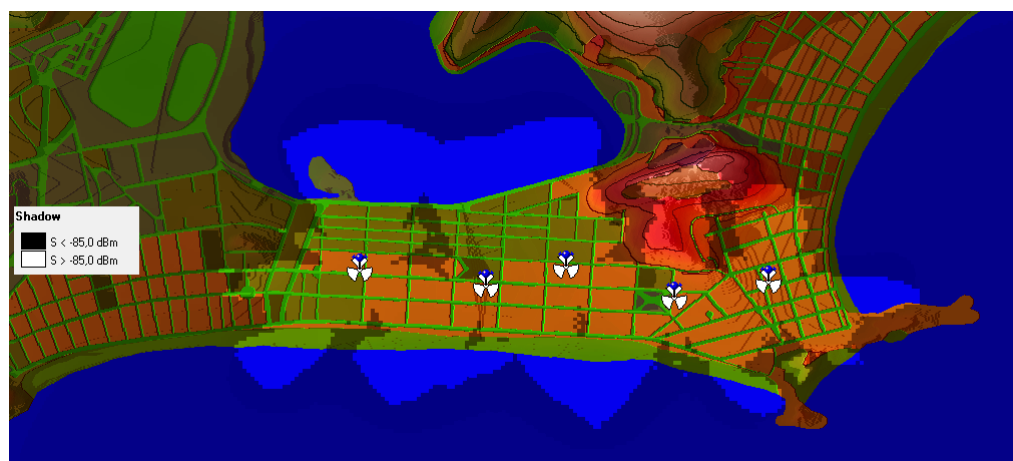


Figura 5.32: Análise das áreas com sombra, considerando a Difração.