

## 4 Planejamento de Rede

Neste capítulo é apresentado o planejamento da rede do sistema WCDMA, incluindo dimensionamento, planejamento de capacidade e cobertura e otimização da rede [4].

O planejamento visa à alocação de recursos de forma a atender à demanda de comunicação por parte dos usuários. Deve-se primeiro pesquisar o raio das células, pois este tem relação direta com os custos de implantação e operação do sistema.

No sistema WCDMA há diferentes requisitos de qualidade de comunicação, tendo em vista que aplicações distintas são suportadas pelo sistema; isto pode ser traduzido por diferentes valores de  $E_b/N_0$  para cada usuário do sistema. Isso também se traduz por diferentes taxas de transmissão coexistindo simultaneamente no sistema, acarretando com que a comunicação de diferentes usuários apresente diferentes ganhos de processamento.

### 4.1. Dimensionamento

O dimensionamento é um processo onde possíveis configurações e alguns equipamentos de rede são estimados baseados nos requisitos do operador detalhados abaixo [4]:

*Cobertura:*

- Regiões de cobertura
- Informações do tipo de área
- Condições de propagação

*Capacidade:*

- Espectro disponível
- Informações de densidade de tráfego

*Qualidade de Serviço:*

- Probabilidade de localização no espaço
- Probabilidade de bloqueio
- Taxa de saída

## 4.2. Link Budget

Nesta seção é apresentado o link budget. Alguns parâmetros importantes estão especificados a seguir [4]:

- Margem de Interferência

A margem de interferência é necessária no link budget devido ao tráfego na célula. O fator de tráfego afeta a cobertura, pois, quanto maior o tráfego, maior é a margem de interferência necessária no uplink e menor a área de cobertura.

- Fast Fading Margin (= power control headroom)

Alguma margem é necessária na potência de transmissão da estação móvel com o objetivo de manter um controle rápido de potência em loops fechados. Essa margem é importante principalmente para pedestres com velocidade baixa, pois, neste caso o controle rápido de potência é capaz de compensar o fast fading.

- Ganho de Soft handover

Handover – soft ou hard – proporciona um ganho contra desvanecimento lento, pois reduz a margem de desvanecimento requerida. Havendo desvanecimento lento descorrelatado entre as estações base e fazendo handover, a estação móvel pode escolher uma estação base melhor.

Soft handover proporciona um ganho adicional de diversidade contra fast fading, reduzindo a taxa de Eb/No requerida relativa a um único link rádio.

#### 4.2.1. Fator de Tráfego do Uplink

A degradação da margem de interferência é uma função do tráfego da célula. Quanto mais tráfego é permitido no sistema, uma maior margem de interferência se faz necessária no uplink e a área de cobertura diminui. O tráfego do uplink pode ser determinado como demonstrado a seguir.

Para determinar a potência do sinal transmitido e recebido para uma estação móvel (MS)  $k$ , ligada a uma estação base (BS)  $n$ , a equação básica para o cálculo de Eb/No para CDMA (equação 4.1) é utilizada. Assume-se que  $I_{oth}$  é a potência recebida pelas estações móveis conectadas a outras células e  $I_{own}$  é a potência recebida por estações móveis conectadas à mesma estação base  $n$ , assim como a estação base desejada. A potência  $I_{oth}$  é diretamente proporcional a potência  $I_{own}$  por um fator  $i$ . Considera-se que MS  $k$  utiliza taxa de bit  $R_k$ , sua taxa de Eb/No requerida é  $\rho_k$  e sua taxa de chip é de  $W$ . Assim, a potência recebida da  $k$ th estação móvel na estação base na qual ela está ligada deve ser de :

$$\frac{W}{R_k} \cdot \left( \frac{p_k}{I_{own} - p_k + I_{oth} + N} \right) = \frac{W}{R_k} \cdot \left( \frac{p_k}{I_{own} - p_k + i I_{own} + N} \right) \geq \rho_k, \quad k=1, \dots, K_n \quad (4.1)$$

onde  $K_n$  é o número de estações móveis conectadas a estação base  $n$ ,

$$N = N_0 \cdot W = N_f \cdot k \cdot T_0 \cdot W \quad (4.2)$$

é a potência de ruído para uma célula vazia,  $N_f$  é a figura de ruído de receptor,  $k$  é a constante de Boltzmann e  $T_0$  é a temperatura absoluta. Para  $T_0 = 293$  K (20 °C) e  $N_f = 1$ , isto resulta em  $N_0 = -174.0$  dBm/Hz e  $N = -108.1$  dBm.

A inequação em 4.1 é otimista, pois assume que não existe interferência do próprio sinal, o que não é realmente verdade nas condições normais de propagação por multipercurso. Resolver a inequação como uma equação significa determinar o mínimo de potência requerida,  $p_k$ :

$$\begin{aligned}
 p_K \cdot \left(1 + \frac{\rho_K \cdot R_K}{W}\right) &= \frac{\rho_K \cdot R_K}{W} \cdot (1+i) I_{own} + \frac{\rho_K \cdot R_K}{W} \cdot N \\
 \Rightarrow p_K &= \frac{1}{1 + \frac{\rho_K \cdot R_K}{W}} \cdot (1+i) I_{own} + \frac{1}{1 + \frac{\rho_K \cdot R_K}{W}} \cdot N, k=1, \dots, K
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

Se as equações (4.3) são verdadeiras para as estações móveis conectadas a BS  $n$ , então:

$$\begin{aligned}
 \sum_{K=1}^{k_N} P_k &= \left[ \sum_{K=1}^{k_N} \frac{1}{1 + \frac{\rho_K \cdot R_K}{W}} \cdot (1+i) \right] \cdot \sum_{K=1}^{k_N} P_k + \left[ \sum_{K=1}^{k_N} \frac{1}{1 + \frac{\rho_K \cdot R_K}{W}} \right] \cdot N \\
 \Rightarrow \sum_{K=1}^{k_N} P_k \cdot (1+i) &= \frac{N \cdot \left[ \sum_{K=1}^{k_N} \frac{1}{1 + \frac{\rho_K \cdot R_K}{W}} \cdot (1+i) \right]}{1 - \left[ \sum_{K=1}^{k_N} \frac{1}{1 + \frac{\rho_K \cdot R_K}{W}} \cdot (1+i) \right]}
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

$$\text{desde que } I_{own} = \sum_{K=1}^{k_N} P_k$$

Se definirmos o fator de tráfego de uplink como sendo:

$$\eta_{UL} = \sum_{K=1}^{k_N} \frac{1}{1 + \frac{\rho_K \cdot R_K}{W}} \cdot (1+i) \tag{4.5}$$

podemos modificar a equação (4.5) de modo a incluir o efeito da setorização (ganho de setorização  $\zeta$  e número de setores  $N_s$ ) e da taxa de atividade do serviço  $v$ .

$$\eta_{UL} = \sum_{K=1}^{k_N} \frac{1}{1 + \frac{\rho_K \cdot R_K}{W}} \cdot v_k \cdot (1+i) \cdot \frac{N_s}{\zeta} \tag{4.6}$$

#### 4.2.2. Fator de tráfego do Downlink

O dimensionamento do downlink segue o mesmo raciocínio que o do uplink. Para um determinado raio de célula, a potência total transmitida pela estação base precisa ser estimada. Para realizar este cálculo, é necessário incluir as conexões de soft handover. No caso de a potência ser ultrapassada, o tamanho da célula deve ser limitado ou o número de usuários por célula deve ser diminuído. O fator de tráfego do downlink é estimado por:

$$\eta_{DL} = \sum_{i=1}^I \left[ \frac{\rho_i \cdot R_i \cdot \nu_i}{W} \left( (1 - \alpha_i) + \sum_{n=1, n \neq m}^N \frac{Lp_{mi}}{Lp_{ni}} \right) \right] \quad (4.7)$$

onde  $Lp_{mi}$  é a perda no link entre a estação base  $m$  e a estação móvel  $i$ ,  $Lp_{ni}$  é a perda no link entre a estação base  $n$  e a estação móvel  $i$  e  $\rho_i$  é a taxa de Eb/No requerida para a estação móvel  $i$ , incluindo o ganho de soft handover e a potência média causada pelo controle rápido de potência.  $N$  é o número total de estações base,  $I$  é o número de conexões por setor e  $\alpha_i$  é o fator de ortogonalidade que varia de 0 até 1, dependendo nas condições de multipercurso. Quando  $\alpha = 1$ , totalmente ortogonal.

Então o termo:

$$i_{DL} = \sum_{n=1, n \neq m}^N \frac{Lp_{mi}}{Lp_{ni}} \quad (4.8)$$

define a interferência de outras células a célula em questão no downlink.

A saída direta de um link budget de downlink é a potência requerida por um usuário na célula de um único link. A estimativa da potência total a ser transmitida pela estação base deve considerar múltiplos links de comunicação com distância média de  $(\overline{Lp_{mi}})$  das estações base servidoras.

O ambiente multicelular com ortogonalidades  $\alpha_i$  deve ser incluído no modelamento. No link budget do uplink, o fator limitante é a potência de transmissão da estação móvel; no link budget do downlink, o fator limitante é o total de potência transmitida pela estação base. Ambos os link budgets devem ser considerados no RLB.

A margem de interferência de degradação a ser considerada no link budget devido a um fator de tráfego  $\eta$  tanto no uplink como no downlink é de :

$$L = 10 \cdot \log_{10}(1 - \eta) \quad (4.9)$$

A margem de desvanecimento rápido é outro item importante no RLB. Algumas margens são necessárias, na potência transmitida na estação móvel, para manter um controle adequado de closed-loop fast power control em condições desvantajosas de propagação, como perto da borda da célula.

### 4.2.3.

#### Margem de sombreamento e estimativa do Ganho de Soft Handover

O próximo passo é estimar o raio máximo da célula e a cobertura da célula em diferentes regiões e ambientes. No RLB a máxima perda isotrópica por percurso é calculada e, deste valor, uma margem de desvanecimento lenta, relacionada com a probabilidade de cobertura, deve ser subtraída. Quando determinada a probabilidade de cobertura, deve-se calcular o expoente do modelo de propagação e o desvio padrão do desvanecimento log-normal. No caso de se estar considerando um ambiente indoor, valores típicos para perda podem variar de 15 dB até 20 dB e o desvio padrão da margem de desvanecimento log-normal varia de 10 dB até 12 dB. A equação 4.11 estima a probabilidade de cobertura para o caso de uma única célula :

$$F_u = \frac{1}{2} \cdot \left[ 1 - \operatorname{erf}(a) + \exp\left(\frac{1 - 2 \cdot a \cdot b}{b^2}\right) \cdot \left(1 - \operatorname{erf}\frac{1 - a \cdot b}{b}\right) \right] \quad (4.11)$$

onde

$$a = \frac{x_0 - P_r}{\sigma \cdot \sqrt{2}} \quad e \quad b = \frac{10 \cdot n \cdot \log_{10} e}{\sigma \cdot \sqrt{2}}$$

onde  $P_r$  é o nível recebido na borda da célula,  $n$  é a constante de propagação,  $x_0$  é a força média do sinal, e  $\sigma$  é o desvio padrão da força do campo e  $\operatorname{erf}$  é a função erro.

Nas redes de celular WCDMA, as áreas de cobertura das células se sobrepõem e a estação móvel é capaz de se conectar a mais de uma célula servidora. Se mais de uma célula é detectada, a probabilidade de localização aumenta e é maior do que quando determinada por uma única célula isolada.

Em [7], a teoria de casos por multiserviços com sinais correlatados é introduzida:

$$P_{out} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} \left[ Q\left(\frac{\gamma_{SHO} - a \cdot \sigma \cdot xx}{b \cdot \sigma}\right) \right]^2 dx \quad (4.12)$$

onde  $P_{out}$  é a potência na borda da célula,  $\gamma_{SHO}$  é a margem de desvanecimento com soft handover,  $\sigma$  é o desvio padrão da força do campo para um desvanecimento log-normal de 50% de correlação entre as estações móveis e duas estações base,  $a = b = \sqrt{2}$ .

No link budget do sistema WCDMA, o ganho de soft handover é necessário. O ganho consiste em duas partes, combinando o ganho contra desvanecimento rápido e o ganho contra desvanecimento lento.

$$G = \gamma_{sin\ gte} - \gamma_{SHO} \quad (4.13)$$

Se assumirmos uma probabilidade de cobertura de 95%, um expoente de perda por percurso  $n = 3.5$  e um desvio padrão do desvanecimento lento de 7 dB, o ganho vai ser de  $7.3 \text{ dB} - 4.0 \text{ dB} = 3.3 \text{ dB}$ . Se o desvio padrão for maior e a probabilidade requerida for maior, o ganho também será maior.

Na figura 4.1 tem-se um exemplo de link budget tanto para uplink como para downlink.

	Uplink		Downlink	
Potência de Transmissão	125.00	a	1372.97	mW
	<b>20.97</b>	b = 10log(a)	<b>31.38</b>	dBm
Tx Ganho de Antena	0.00	c	18.00	dBi
Perda de cabo/Body Loss	2.00	d	2.00	dB
Transmitter EIRP	18.97	e = b+c-d	47.38	dBm
Densidade de Ruído Térmico	-174.00	f	-174.00	dBm/Hz
Figura de Ruído do Receptor	5.00	g	8.00	dB
Densidade de Ruído no Receptor	-169.00	h = f+g	-166.00	dBm/Hz
Potência de Ruído no Receptor	-103.13	l = 10log(W)+h	-100.13	dBm
Margem de Interferência	-3.01	j	-10.09	dB
Ec/Io Requerida	-17.12	k = 10log[Eb/N0(W/R)]-j	-7.71	dB
Potência de Sinal Requerida [S]	-120.25	l = j+k	-107.84	dBm
Rx Ganho de Antena	18.00	m	0.00	dBi
Perda de cabo/Body Loss	2.00	n	2.00	dB
Probabilidade de Cobertura Outdoor (requerida)	95.00		95.00	%
Probabilidade de Cobertura Indoor (requerida)	0.00		0.00	%
Probabilidade de Localização Outdoor (calculada)	85.62		85.62	%
Probabilidade de Localização Indoor (calculada)	32.33		32.33	%
Ambiente Limitante	Outdoor		Outdoor	
Constante de desvanecimento lento, outdoor	7.00		7.00	dB
Constante de desvanecimento lento, indoor	12.00		12.00	dB
Expoente do Modelo de Propagação	3.50		3.50	
Margem de Desvanecimento Lento	-7.27	o	-7.27	dB
Ganho de HO	0.00	p	2.00	dB
Margem de Desvanecimento Lento + Ganho de HO	-7.27	q = o+p	-5.27	dB
Perda de Indoor	0.00	r	0.00	dB
Margem de desvanecimento Rápido	0.00	s	0.00	dB
Perda de Propagação Permitida	<b>147.96</b>	t = e-l+m-n+q+r-s	<b>147.96</b>	dB

Figura 4.1 - Exemplo de RLB

#### 4.2.4.

#### Raio da Célula e Estimativa da Área de cobertura da Célula

Assim que a perda máxima por propagação é determinada, é fácil aplicar qualquer um dos modelos de propagação para estimativa do raio da célula. Alguns desses modelos foram apresentados no capítulo 3. Depois de determinado o raio da célula, a área de cobertura de uma célula hexagonal pode ser estimada por:

$$S = K.r^2 \quad (4.14)$$

onde  $S$  é a área de cobertura,  $r$  é o raio máximo da célula e  $K$  é uma constante. Até seis setores são razoáveis para o sistema WCDMA, mas, com seis setores, a estimativa do raio da célula se torna problemática, pois um site com seis setores

não necessariamente é um hexágono. Quanto mais setores são utilizados, mais cuidado se deve tomar com o soft handover overhead para se obter uma estimativa segura. Na tabela 4.1 alguns valores de  $K$  são apresentados.

Configuração do site	Omni	2 setores	3 setores	6 setores
Valores de $K$	2.6	1.3	1.95	2.6

Tabela 4.1 - Valores de  $K$  para determinação da área do site

#### 4.2.5. Eficiência Espectral

A eficiência espectral no sistema WCDMA pode ser definida pelo número de chamadas simultâneas com mesma taxa de bit ou pela taxa de saída da camada física, suportada em cada célula por 5 Mhz de frequência, medido em Kbps/célula/frequência. A eficiência espectral é função de diversos fatores: ambiente rádio, mobilidade do usuário, localização do usuário, serviços e qualidade de serviço, condições de propagação. A variação pode ser muito grande, de 50-100%, mas a maioria das simulações dos sistemas que oferecem indicações da eficiência espectral média reflete apenas os resultados para algumas condições predefinidas da célula e para certos comportamentos do usuário.

#### 4.2.6. Cálculo de Capacidade

A densidade de tráfego pode ser medida em Erlang e é definida por [4]:

$$\text{densidade de tráfego (erlang)} = \frac{\text{taxa de chegada de chamadas (chamadas/s)}}{\text{taxa de saída de chamadas (chamadas/s)}} \quad (4.15)$$

Se a capacidade é bloqueada por razão de hardware, a capacidade por Erlang pode ser obtida pelo modelo de Erlang B.

Para um sistema com capacidade levemente limitado, a capacidade por Erlang não pode ser calculada pela fórmula de Erlang, uma vez que ela apresentará resultados pessimistas. A soft capacity pode ser explicada do seguinte modo: quanto menos interferência está chegando das células vizinhas, mais canais estão disponíveis no

centro da célula. Com um número pequeno de canais por célula, ou seja, para usuários de dados em tempo real com alta taxa de bit, o tráfego médio deve ser bem baixo para garantir baixa probabilidade de bloqueio.

Como o tráfego médio é baixo, tipicamente se tem capacidade extra disponível nas células vizinhas. Essa capacidade pode ser emprestada pelas células adjacentes. Por essa razão a divisão da interferência produz uma soft capacity.

Para o cálculo de soft capacity demonstrado abaixo, é assumido que o número de usuários inscritos é o mesmo em todas as células, entretanto as conexões começam e terminam independentemente. Além disso, é assumida uma distribuição de Poisson para os intervalos de chegada de chamada.

A WCDMA soft capacity pode ser definida como o aumento da capacidade em Erlang com soft blocking comparado com a própria capacidade em Erlang com hard blocking, com o mesmo número máximo de canais por célula:

$$\text{soft capacity} = \frac{\text{Erlang capacity com soft blocking}}{\text{Erlang capacity com hard blocking}} - 1 \quad (4.16)$$

### 4.3. Detalhes do Dimensionamento

Neste tópico, alguns aspectos de um planejamento de rede detalhado são apresentados com a ajuda de um simulador estatístico que acompanha o livro [6]. Ele utiliza como entrada um mapa digital, um layout da rede e a distribuição de tráfego na forma de um mapa. Em um simulador estatístico cada usuário pode ter diferentes velocidades, apesar de eles não estarem realmente andando. A velocidade e o serviço utilizado juntos definem a taxa de  $E_b/N_0$  requerida, margens e ganhos importados das simulações de link.

O simulador consiste basicamente em três partes, inicialização, combinação da análise de uplink e downlink e a fase pós-processamento. Na inicialização, tanto o uplink e o downlink para todas as estações móveis são analisados repetidamente. No passo final, após as iterações terem preenchido algum critério de convergência, os resultados das análises de uplink e de downlink são apresentadas em formas gráficas e numéricas.

### 4.3.1. Dados de entrada

#### *Mapa Digital:*

O dado mais importante para qualquer planejamento de Rede é um mapa geográfico da área onde será feito o planejamento. O mapa é necessário para predições de cobertura. Para o planejamento de rede, um mapa digital deve conter ao menos os dados topográficos, os dados morfológicos e a localização dos prédios, assim como suas alturas. Quando disponíveis, informações sobre as estradas e ruas podem ser utilizadas em algumas operações como modelamento de tráfego e predições de cobertura. A resolução do mapa depende do tipo de região em questão. Quanto mais urbana, menor deve ser a resolução do mapa.

#### *Plano:*

Um plano é sempre criado e definido antes de as atividades atuais de uma rede serem iniciadas. Ele contém todas as configurações necessárias e valores dos parâmetros para os elementos da rede. Na prática, o plano apresenta todos os dados das estações base e das células a serem utilizadas na rede real. Um software de planejamento de rede deve ser capaz de criar, definir e salvar diversos planos. Assim, várias versões podem ser comparadas em termos de qualidade, capacidade e cobertura, com o objetivo de escolher o plano que melhor atende ao objetivado.

#### *Editor de Antena:*

O conceito de antena inclui o diagrama de radiação e alguns parâmetros como o ganho de antena e a banda de frequência. Uma vez que a antena é definida, ela pode ser utilizada em células selecionadas e em predições de cobertura. Modernas ferramentas de planejamento de rede permitem a visualização do diagrama de radiação da antena. Tipicamente dois tipos de modelos de antenas são suportados, os globais e as de plano específico. Modelos de antenas globais estão disponíveis em todos os planos, quantos modelos de antenas de plano específico pertencem a planos individuais, cujas variações não afetam os modelos globais.

### *Estações Base e Modelos de Células e Sites:*

Ferramentas de planejamento devem possuir a funcionalidade de definir e utilizar configurações de hardware gerais, configurações e parâmetros de elementos como sites e células.

#### **4.4. Simulando a Performance do Link**

A simulação de performance do link forma o coração da ferramenta de planejamento de rede. Ela deve prover suporte tanto para 2G quanto para 3G. Para 2G só é necessária a previsão de cobertura, a estimativa da interferência mútua entre células e a performance de alocação de frequência.

No sistema WCDMA, a análise é mais complexa. Devem ser feitas diversas iterações de uplink e downlink com o objetivo de encontrar as potências de transmissão para a estação móvel e a estação base. Ao estimar a interferência na rede WCDMA, modernas ferramentas de planejamento também consideram a interferência de canal adjacente. Esse é um requisito básico quando mais de uma faixa de frequências é utilizada, como ocorre em microcélulas.

Nas técnicas modernas de planejamento de rede, deve-se realizar a análise de um único snapshot de dois modos. No primeiro método, apenas poucas iterações são realizadas para o uplink e o downlink para determinar mais rapidamente as áreas que estão insuficientemente cobertas e as que possuem altos níveis de interferência. Assim, pode-se fazer as modificações necessárias no planejamento de rede rapidamente, antes de se iniciarem cálculos mais detalhados que utilizam mais tempo e esforço computacional.

O segundo método de análise considera um número muito maior de informações durante as iterações, o que leva a um tempo de processamento maior do que no primeiro caso.

Quando os cálculos e as simulações estão feitos em uma ferramenta de planejamento de rede, o passo seguinte é verificar e analisar se os resultados obtidos são aceitáveis. A ferramenta de planejamento de rede deve prover suporte para pós-processamento, análise e visualização dos resultados de diversos modos.

Naturalmente, se a cobertura, a qualidade e os objetivos de QoS não são alcançados, as atividades do planejamento de rede devem continuar até todas as características chegarem a níveis aceitáveis. Uma ferramenta moderna de planejamento pode apresentar os resultados em diversas formas: mapas, tabelas e histogramas – cabendo ao planejador realizar as modificações necessárias.

#### 4.4.1. Cobertura

A cobertura é importante quando a rede não é limitada pela capacidade, tipicamente em áreas rurais. Mesmo em áreas urbanas, a rede pode ser limitada pela cobertura, se a cobertura indoor é oferecida para serviços com altas taxas de bit, usando estações base outdoor. Os requisitos para boa cobertura indoor geram um tamanho de célula pequena, o que pode acarretar mais capacidade por Km quadrado do que necessária [4].

A potência de saída de uma estação móvel é tipicamente de 21 dBm (125 mW) e as estações base de células macro de 40 – 46 dBm (10-40 W) por setor.

O efeito dos melhoramentos no link budget,  $\Delta L$ , nos raios relativos  $\Delta R$ , podem ser calculados assumindo um modelo de propagação, como o modelo de Okumura-Hata. Neste exemplo a perda de propagação pode ser de:

$$\Delta L = -35,2 \log_{10}(\Delta R) \quad (4.17)$$

A área relativa pode ser calculada por:

$$\Delta A = (\Delta R)^2 = \left( 10^{\frac{-\Delta L}{35,2}} \right)^2 \quad (4.18)$$

Os fatores que afetam a máxima perda por propagação podem ser vistos pela tabela do link budget. Os efeitos das soluções das estações base e da taxa de bit vai ser descrita nas próximas seções.

#### 4.4.2. Cobertura no Uplink

Nesta seção são analisados os efeitos dos parâmetros da camada física e das soluções das estações base na cobertura uplink do sistema WCDMA.

A cobertura de diferentes taxas de bit é afetada pelos seguintes parâmetros [4]:

- Para altas taxas de bit, o ganho de processamento é baixo e a cobertura é menor (ver o link budget, linha 1).
- Para altas taxas de bit, a taxa de  $E_b/N_0$  requerida tende a ser menor, compensando a redução de cobertura devidos às altas taxas de bit. Quanto mais baixa a taxa de erro requerida, menos potência é necessária para a mesma performance e maior vai ser o raio da célula obtido.

#### **4.4.2.1. Cobertura no Downlink**

No downlink mais potência pode ser alocada para uma conexão quando comparado com o uplink, porque a potência de saída da estação base pode ser maior do que a potência de saída de uma estação móvel. Assim, uma melhor cobertura pode ser proporcionada para serviços com altas taxas de bits no downlink do que no uplink [4].

Será apresentada uma comparação de cobertura para uma taxa de bit de 12,2 kbps para voz e 1 Mbps para dados. Assume-se nesta comparação que:

- O tamanho da célula é definido pela cobertura de uplink para voz.
- A recepção do uplink na estação base possui 6 dB de sensibilidade do que a recepção no downlink, principalmente devido à figura de ruído mais baixa e a diversidade de antena.
- 1 Mbps de dados possui uma taxa de erro  $E_b/N_0$  3 dB menor do que nos casos de voz.
- O terminal de voz possui uma body loss 3 dB maior do o terminal de dados de 1 Mbps.
- A potência de transmissão do terminal de voz é de 21 dBm.
- A quantidade de interferência causada por outras células é a mesma para voz e para 1 Mbps.

Se o tamanho da célula é planejado de acordo com a voz no uplink, a potência média necessária para transmissão de voz no downlink é calculada para ser de 27 dBm e, para conexão de 1 Mbps, deve ser de aproximadamente de 40 dBm (=10 W), a fim de obter a cobertura completa no downlink. O cálculo é apresentado na tabela 4.2.

Transmissão de Potência da estação móvel no uplink	21dBm
Potência de transmissão Estimada para voz no downlink	21 dBm + 6 dBm = 27 dBm
Diferença no ganho de processamento entre 12,2 kbps e 1 Mbps	$10 \cdot \log(1000/12,2) = 19,1$ dB
Eb/No mais baixa para terminal de dados	3dB
body loss	terminal de voz : 3 dB terminal de dados : 0 dB
Potência de transmissão necessária para cobertura completa em 1 Mbps	27 dBm + 19,1 dB -3dB -3dB = 40 dBm

Tabela 4.2 – Potência de Transmissão requerida para 1 Mbps com cobertura Completa

Na prática, a cobertura para taxa de bits altas no downlink depende de:

- Dimensionamento do uplink, sendo a taxa de bit calculada para cada alcance de célula no uplink.
- Taxa de amplificação da potência no uplink.
- Tráfego nas células adjacentes.

Se o planejamento é feito de forma modo a prover altas taxas de bit, tanto no uplink como no downlink, a célula vai ser menor e a cobertura de downlink vai ser melhor. O tráfego das células adjacentes afeta a possibilidade de conexões com alta taxa de bit na borda da célula.

#### 4.4.2. Capacidade

A capacidade de interface aérea no downlink é menor do que a capacidade de interface aérea do uplink. A razão principal é que, na estação base, podem ser utilizadas melhores técnicas de recebimento do que na estação móvel. Essas

técnicas incluem diversidade de receptores nas antenas e detecção de multiusuários.