

3 Planejamento de rádiofreqüência e capacidade em sistemas UMTS/WCDMA

O presente capítulo tem como objetivo apresentar os principais tópicos envolvidos no planejamento de enlaces de rádio para os sistemas UMTS/WCDMA.

Inicialmente faz-se a apresentação da teoria envolvida no dimensionamento dos enlaces de rádio direto e reverso através de uma abordagem matemática, visando-se consolidar os conceitos envolvidos.

Em seguida apresenta-se uma tabela com os principais parâmetros para cálculo de enlace, para então abordar os conceitos mais relevantes envolvidos na obtenção dos mesmos.

Embora a modelagem matemática seja apresentada para auxílio na compreensão dos conceitos, não é objetivo deste estudo a análise formal sobre as estratégias e/ou preceitos teóricos envolvidos.

No capítulo 3.1 será feita uma abordagem direcionada à análise de UL e em seguida, no capítulo 3.2, uma análise direcionada ao DL. No capítulo 3.3 será abordada uma metodologia de comparação dos resultados obtidos nos cálculos de enlace.

3.1. Enlace Reverso – UpLink(UL)

A rádiobase recebe no enlace reverso acessos de diversos usuários. Há, todavia, um compromisso entre a capacidade atendida e o raio de cobertura de um determinado setor: quanto maior a capacidade, maior a margem de interferência a ser considerada no dimensionamento. O Raio de cobertura da célula decai, ao menos que haja um aumento na potência de transmissão das estações móveis.

A margem de interferência traz consigo o significado do incremento do piso de ruído fixo do sistema (*noise-floor*) tendo em conta o aumento de carga.

Em um primeiro instante, o dimensionamento de enlace reverso pode ser considerado como função direta da carga nominal planejada.

Com a adição da margem de interferência, a metodologia de cálculo para o enlace reverso não difere significativamente das abordagens tradicionais.

De forma simplificada:

A margem de potência por degradação pelos interferentes é função direta da carga da célula. Quanto maior for a carga admitida para o sistema, maior a margem de interferência a ser considerada no UL e, portanto menor a área de cobertura para um mesmo setor.

3.1.1.Carga em Uplink

Como visto acima, a estimativa da carga esperada do sistema é um processo simplificado e que induz a um razoável grau de imprecisão. Com efeito, trata-se de uma abordagem válida, porém com limitações quanto à sua aplicabilidade.

Por outro lado, existem ainda as simulações por *software* que tendem a ser bastante mais precisas, pois consideram morfologia, topografia, modelo de propagação, além de processos iterativos que levam a melhores aproximações.

Visando viabilizar um estudo em etapa posterior, e considerando o escopo analítico desse estudo, neste caso a análise de carga será feita considerando-se uma abordagem simplificada encontrada nas práticas mais comuns de planejamento [3]. Será feita uma análise de carga em UL em função da energia de bit (de símbolo) pelo ruído total requeridos para uma determinada aplicação (3.1). Este ponto pode ser encontrado com maiores detalhes no item a.5.

$$\left(\frac{E_b}{N_o} \right)_j = PG_j \cdot \frac{S_j}{R_{oth}} \quad (3.1)$$

Onde:

PG_j é o ganho de processamento do usuário “j”

S_j é o sinal recebido proveniente do usuário “j”

R_{oth} é o sinal total recebido (que não do usuário “j”)

A equação pode ser reescrita como:

$$\left(\frac{E_b}{N_o} \right)_j = \frac{W}{v_j R_j} \cdot \frac{P_j}{I_{total} - P_j} \quad (3.2)$$

Onde:

W é a taxa de *chip*

P_j é a potência recebida referente ao usuário “j”

v_j é o fator de atividade de transmissão do usuário “j”

R_j é a taxa de serviço do usuário “j”

I_{total} é a potência total recebida (sinal + ruído térmico)

Resolvendo-se para P_j :

$$P_j = \frac{1}{1 + \frac{\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_j \cdot R_j \cdot v_j}{W}} \cdot I_{total} \quad (3.3)$$

Outro artifício válido é fazer-se:

$$P_j = L_j \cdot I_{total} \quad (3.4)$$

e obter-se o fator L_j por conexão, que é :

$$L_j = \frac{1}{1 + \frac{\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_j \cdot R_j \cdot v_j}{W}} \quad (3.5)$$

A potência interferente recebida (excluindo-se ruído térmico) P_N pode então ser modelada como a soma de todas as potências dos N usuários em uma mesma célula:

$$I_{total} - P_N = \sum_{j=1}^N P_j = \sum_{j=1}^N L_j \cdot I_{total} \quad (3.6)$$

O incremento total de ruído (NR) é definido como a relação entre a potência total recebida e o ruído térmico:

$$NR = \frac{I_{total}}{P_N} \quad (3.7)$$

Assim, o NR (piso de ruído, *noise rise*) também pode ser expresso como:

$$NR = \frac{I_{total}}{P_N} = \frac{1}{1 - \sum_{j=1}^N L_j} = \frac{1}{1 - \eta_{UL}} \quad (3.8)$$

Então, o fator de carga (η_{UL}) pode ser descrito como:

$$\eta_{UL} = \sum_{j=1}^N L_j \quad (3.9)$$

Quando o fator de carga se aproxima de 1, o incremento de ruído equivalente se aproxima do infinito e o sistema atingiu a dita “pole capacity”.

Uma sofisticação do modelo prevê a definição do parâmetro “i”, que é obtido pela relação entre a potência de ruído das demais células com referência ao ruído originado na própria célula:

$$i = \frac{\text{Interferência_Externa}}{\text{Interferência_Interna}} \quad (3.10)$$

Então, fator de carga pode ser expresso como:

$$\eta_{UL} = (1 + i) \cdot \sum_{j=1}^N L_j = (1 + i) \cdot \sum_{j=1}^N \left(\frac{1}{1 + \frac{1}{\left(\frac{E_b}{N_o} \right)_j \cdot R_j \cdot v_j}} \right) \quad (3.11)$$

E o incremento de ruído (NR) pode ser finalmente escrito como:

$$NR = -10 \cdot \log_{10}(1 - \eta_{UL}) \quad (3.12)$$

Para casos de células onde todos os N usuários têm uma baixa taxa de serviço (R_j), podemos notar que :

$$\frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_o}\right) \cdot R \cdot v} \gg 1 \quad (3.13)$$

O que permite reescrever a equação final como:

$$\eta_{UL} = \frac{\left(\frac{E_b}{N_o}\right)}{W/R} \cdot N \cdot v \cdot (1 + i) \quad (3.14)$$

Se $R_j=R$, $v_j=v$ e $(E_b/N_o)_j = (E_b/N_o)$ para qualquer valor de j .

Tem-se como valor de referência para projetos de enlaces em WCDMA o valor de carga de 50% (η_{UL}), otimista para um cenário futuro de demanda, porém bastante conservador tendo como referência as cargas usuais experimentadas em lançamentos comerciais (até no máximo 20%).

Estes valores (η_{UL}) são de difícil obtenção teórica, podendo ser encontrados em ferramentas especializadas de planejamento que se utilizam de técnicas de simulação. Contudo, há um consenso de que os valores 50% e 20% podem ser utilizados para uma análise inicial[3].

As grandezas R, v, e E_b/N_0 são, conforme menção anterior (item 3.1.1), dependentes dos serviços utilizados pelos usuários. R é a taxa de serviço (64kbps, 384kbps, etc...), v é o fator de atividade do serviço (geralmente igual a 1 para aplicações de dados e 0.5 para voz) e E_b/N_0 é a energia por bit requerida. A grandeza W é a taxa de *chip* do UMTS e é igual a 3840Mcps.

3.1.2. Planilha Exemplo para enlace reverso

Segue abaixo, na tabela 3.1, uma planilha ilustrativa considerando-se carga de enlace reverso (UL) igual a 50%

TABELA 3.1 – Balanço de Potência para enlace reverso (usuário veicular)

UPLINK - Enlace Reverso - Carga de UL : 50%		
Serviço : 12.2 [kbps]		
Transmissor (UE)		
Potência máxima de transmissão	21	dBm
Ganho da antena de TX	0	dBi
Atenuação do corpo humano	3	dB
EIRP	18	dBm
Receptor (BS)		
Densidade de ruído térmico	-174	dBm/Hz
Figura de ruído da NB	5	dB
Piso de ruído	-169	dBm/Hz
Potência de ruído do receptor (integração em banda)	-103.16	dBm
Margem de Interferência	3	dB
Ruído efetivo total (incluindo interferência)	-100.16	dBm
Ganho de processamento	25	dB
Eb/No requerido	4	dB
Sensibilidade do receptor	-121.16	dBm
Ganho de sistema irradiante da NB	18.5	dBi
Atenuação por cabos na NB	2	dB
Margem de desvanecimento rápido	3	dB
Perda máxima admissível :	152.66	dB
Margem de desvanecimento log-normal	7.3	dB
Ganho de Soft Handover	2	dB
Atenuação "IN-CAR"	8	dB
Atenuação máxima admissível (para raio de cobertura)	139.36	dB
Raio de Cobertura para Área Urbana (COST-231)	1.14	Km

Na tabela 3.2 segue uma extensão da planilha 3.1, considerando-se diversas possibilidades de serviços a serem ofertados com taxas distintas.

TABELA 3.2 – Balanço de Potência (serviços)

UPLINK - Enlace Reverso - Carga de UL : 50%					
Transmissor (UE)					
Serviço :	12.2	64	128	384	[kbps]
Potência máxima de transmissão	21	21	21	21	[dBm]
Ganho da antena de TX	0	0	2	2	[dBi]
Atenuação do corpo humano	3	0	0	0	[dB]
EIRP	18	21	23	23	[dBm]
Receptor (BS)					
Densidade de ruído térmico	-174	-174	-174	-174	[dBm/Hz]
Figura de ruído da BTS	5	5	5	5	[dB]
Piso de ruído	-169	-169	-169	-169	[dBm/Hz]
Potência de ruído do receptor (integração em banda)	-103.16	-103.16	-103.16	-103.16	[dBm]
Margem de Interferência	3	3	3	3	[dB]
Ruído efetivo total (incluindo interferência)	-100.16	-100.16	-100.16	-100.16	[dBm]
Ganho de processamento	25	17.8	14.8	10	[dB]
Eb/No requerido	4	2	1.5	1	[dB]
Sensibilidade do receptor	-121.16	-115.96	-113.46	-109.16	[dBm]
Ganho de sistema irradiante da BTS	18.5	18.5	18.5	18.5	[dBi]
Atenuação por cabos na BTS	2	2	2	2	[dB]
Margem de desvanecimento rápido	3	3	3	3	[dB]
Perda máxima admissível :	152.66	150.46	149.96	145.66	[dB]
Margem de desvanecimento log-normal	7.3	7.3	7.3	7.3	[dB]
Ganho de Soft Handover	2	2	2	2	[dB]
Atenuação "IN-CAR"	8	8	8	8	[dB]
Atenuação máxima admissível (para raio de cobertura)	139.36	137.16	136.66	132.36	[dB]
Raio de Cobertura para Área Urbana [4]	1.14	0.98	0.95	0.72	[Km]

Para o exemplo acima, considerou-se o mesmo canal móvel, margens de HO e demais parâmetros que poderiam causar comprometimento da referência de perda máxima admissível.

Percebe-se que existe uma dependência acentuada da área de cobertura quando são feitas comparações de distintas taxas de serviço demandadas.

a) Considerações sobre os parâmetros envolvidos nos cálculos

a.1. Figura de Ruído

A figura de ruído de um receptor é definida como a degradação introduzida na relação sinal-ruído entre saída/entrada do sistema amplificador, como segue:

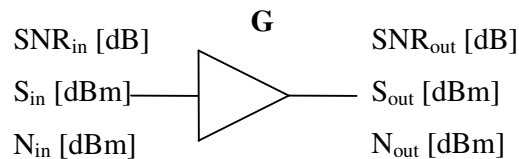


Figura 3.1 – Parâmetros para Figura de Ruído

Da relação sinal-ruído ($SNR = S/N$) podemos obter um outro parâmetro muito importante, denominado figura de ruído, que pode ser expresso como a degradação das SNR de entrada(*in*) e saída(*out*) : $NF = SNR_{out} - SNR_{in}$

Para amplificadores em cascata, conforme a figura 3.2, a formulação é dada em 3.15.

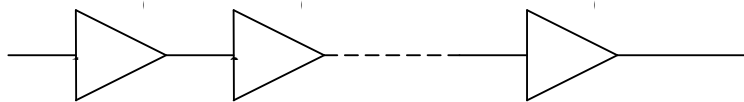


Figura 3.2 – Amplificadores em Cascata

$$NF_{eq} = NF_1 + \frac{NF_2 - 1}{G_1} + \frac{NF_3 - 1}{G_1 \cdot G_2} + \dots + \frac{NF_n - 1}{\prod_1^n G_n} \quad (3.15)$$

Vale a ressaltar, dada a expressão 3.15, que para ganho $G_1 \gg 1$, o NF_{eq} é muito mais fortemente influenciado pelo NF do primeiro elemento da cascata.

Este comentário se faz pertinente pela possibilidade da inclusão de elementos amplificadores ao enlace reverso para compensação dos efeitos de perda nos cabos alimentadores.

De forma típica, as figuras de ruído dos terminais móveis são muito piores que as das NBs. Este fato pode ser explicado, por dentre outros, pela melhor qualidade do amplificador de baixo ruído presente no estágio de recepção das NBs.

a.2. Sensibilidade Efetiva do receptor

A sensibilidade efetiva do receptor pode ser calculada como a integração do ruído térmico presente na banda de 3.84 MHz adicionada à figura de ruído do receptor e à diferença entre o E_b/N_0 requerido (já descontando o ganho de processamento) :

$$E_{ffR_xSens} = -174\text{dBm/Hz} + 10 \cdot \text{LOG}(3840000) + \text{NF} + (E_b/N_{0req} - \text{GP}) \quad (3.16)$$

onde o ganho de processamento é dado por :

$$\text{GP} = 10 \cdot \text{LOG}(3840000/\text{taxa_líquida}) \quad (3.17)$$

E_b/N_0 é referente ao serviço requerido (a.5)

a.3. Margem de Interferência (*Noise Rise* – NR)

Assim como visto na planilha 3.1, a margem de interferência deve ser considerada nos cálculos de dimensionamento como compensação à redução de cobertura do sistema com o aumento da carga/interferência.

Sistemas WCDMA cursando os serviços mais elementares são geralmente limitados por carga em UL, de forma que para cálculo do enlace de rádio é suficiente sua determinação.

A carga experimentada pode ser calculada pela expressão 3.14 e a margem de potência a ser reservada no cálculo de enlace pode ser dada por :

$$NoiseRise = 10 * LOG\left(\frac{1}{1 - \eta_{UL}}\right) = -10 \cdot LOG(1 - \eta_{UL}) \quad (3.18)$$

Que já foi apresentada como 3.12.

Para uma carga de UL de 50% encontra-se um valor de margem de interferência em torno de 3dB.

Segue nas figuras 3.3 e 3.4 uma ilustração de como a carga de UL afeta sobremaneira a cobertura para um determinado serviço. Quanto maior a carga (e consequentemente a maior interferência por múltiplos acessos), menor a cobertura, que pode ser dada pelo Eb/No atingido em UL. Pode-se visualizar que muito embora o gráfico de RSCP (*received signal code power*, potência de recepção do canal piloto UMTS) permaneça o mesmo, o Ec/Io é fortemente impactado pela carga.

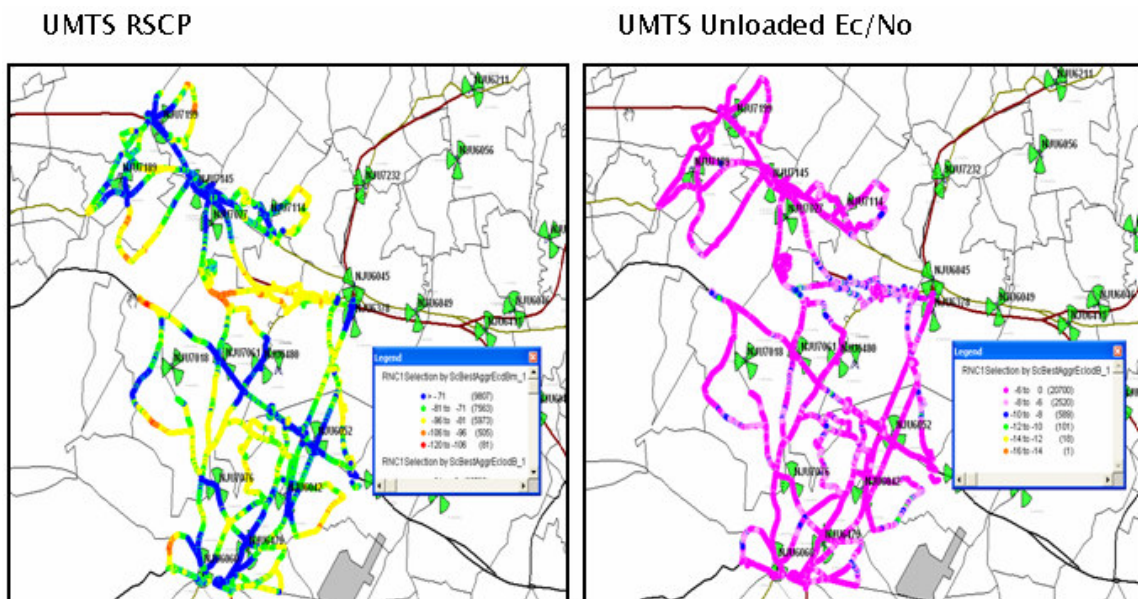


Figura 3.3 – RSCP versus Carga (1)

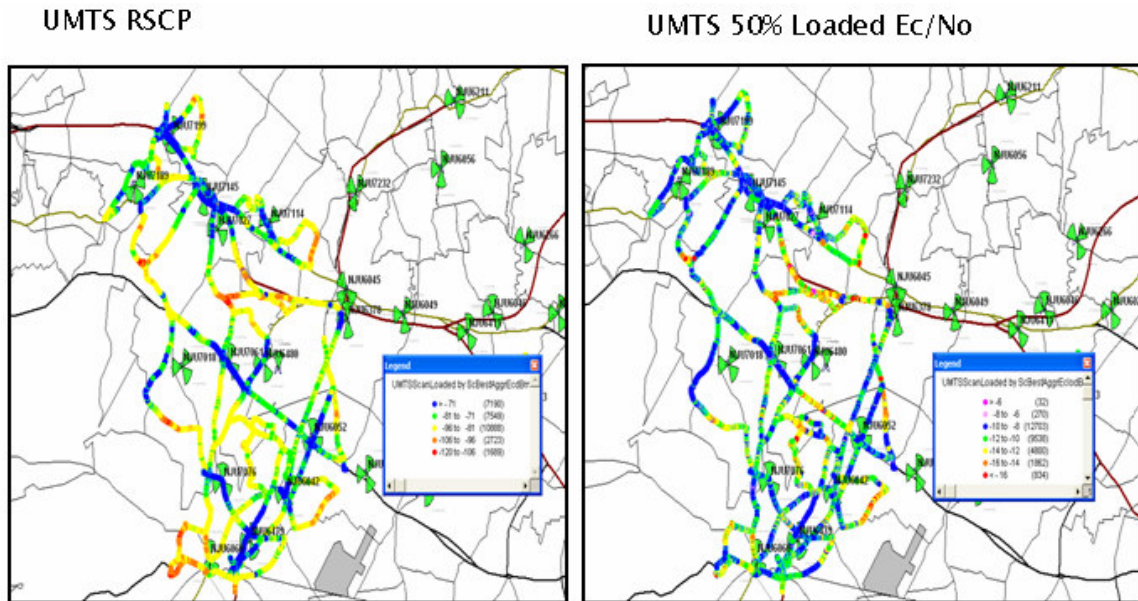


Figura 3.4 – RSCP versus Carga (2)

a.4. Ganho de Processamento

O Ganho de processamento é definido como a relação entre a taxa de *chips* e a efetiva utilizada pelos serviços do UE.

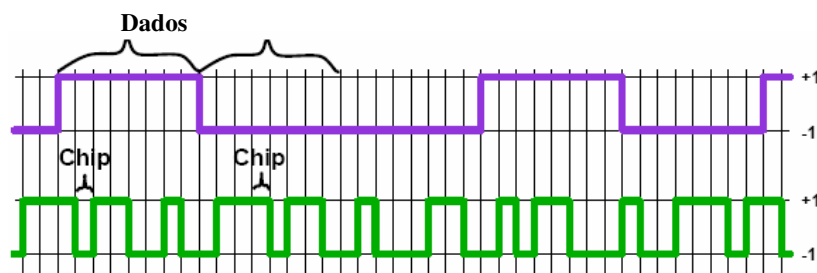


Figura 3.5 – Relação *Chip*/Informação

Para o exemplo acima, um *timeslot* de dados equivale a 8 *chips*, e, portanto :

$$GP = 8 \text{ [adimensional]}, \text{ ou ainda:}$$

$$GP = 10 * \text{LOG}(8) = 9 \text{ dB}$$

a.5. Eb/No Requerido

Considera-se para efeito de avaliação de desempenho em sistemas WCDMA a grandeza BLER (*Block Error Rate*)

Para o enlace reverso pode-se estabelecer uma relação direta entre a taxa de erro de bloco e a razão Eb/No. Quanto maior a relação, melhor a qualidade do enlace.

O valor requerido de Eb/No para um determinado serviço depende, dentre outros fatores de:

- Canal de Rádio (perfil de multipercursos)
- Velocidade do Móvel
- Erros do controle de potência
- Estimação de canal
- Codificação
- Diversidade de Recepção

Seguem abaixo na tabela 3.3 alguns valores típicos de Eb/No requerido tendo como referência o tipo de canal (velocidade de deslocamento do UE) e a taxa de serviço requerida.

TABELA 3.3 – Eb/No requerido por serviço

	Pedestres	Veicular
Voz	5.00 dB	6.51 dB
32k PS	2.80 dB	3.75 dB
64k PS	2.04 dB	3.37 dB
128k PS	1.59 dB	3.11 dB
256k PS	1.35 dB	2.78 dB
384k PS	1.54 dB	3.75 dB
64k CS	3.82 dB	4.10 dB

O Eb/No dependerá, dentre outros fatores também da geometria do terminal. A definição de geometria é: razão entre a potência recebida da célula servidora com relação à potência interferente total proveniente das demais células

a.6. Desvanecimentos Rápidos (*fast-fadings*) e Lentos (*slow-fadings*)

No que concerne à variabilidade do sinal recebido pela NB, pode-se assumir que existem 2 tipos predominantes de fenômeno induzidos pela mobilidade do terminal e por variações do canal de rádio propagação :

Desvanecimentos Lentos: Variações de sinal causadas pelo deslocamento do UE para áreas de sombras

O desvanecimento em larga escala [15] (ou lento) está relacionado a características de propagação que manifestam seus efeitos no sinal ao longo de médias e grandes distâncias, comparadas com o comprimento de onda. Mesmo sem movimentação do receptor, o desvanecimento em larga escala pode ocorrer devido a alterações significativas no ambiente como, por exemplo, variações temporais no índice de refração da atmosfera.

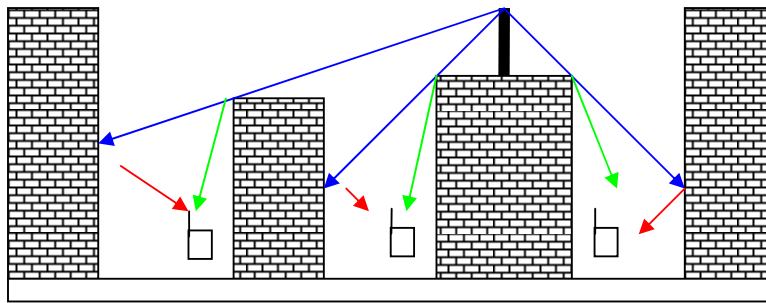


Figura 3.6 – Desvanecimentos lentos

Esse tipo de desvanecimento é também conhecido por sombreamento, pois ele está mais relacionado a obstruções naturais (relevo e vegetação) e a construções, como casas e edifícios, que fazem com que o móvel fique em uma região de sombra eletromagnética (ou de nível de sinal bastante reduzido) quando há obstrução.

Quando é obstruído, o sinal chega ao receptor basicamente através de difração e espalhamento, e a amplitude do sinal assim recebido segue uma função de densidade de probabilidade (fdp) Normal (ou log-normal, em dB), ou Gaussiana. A distribuição normal é da seguinte forma

$$p_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.19)$$

Onde :

x é a variável aleatória (neste caso o desvanecimento lento)

μ é o valor médio de x

σ é o desvio padrão de x (influenciado fortemente pelo cenário próximo ao usuário)

Valores típicos de margem de desvanecimento lento vão de 3 a 10 dB e são estreitamente dependentes da velocidade do terminal.

Velocidades maiores implicam em margens maiores.

Desvanecimentos Rápidos

Variações severas de sinal recebido causadas pelo ambiente próximo ao receptor e seus multipercursos associados. A modelagem por espalhamento (*scattering*) [2] considera a aproximação do sinal recebido pela composição de diversas componentes de sinal com fase variável, e que leva a uma função densidade de probabilidade de Rayleigh para a envoltória do sinal.

Para que seja possível ao controle dinâmico de potência uma margem de segurança para eventuais compensações, sugere-se uma margem entre 2 e 5 dB para os terminais com baixa velocidade. Para velocidades mais altas, esta componente pode até mesmo ser desconsiderada.

Segue abaixo um gráfico obtido da referência [2], que contempla o registro da envoltória de um sinal recebido em ambiente urbano.

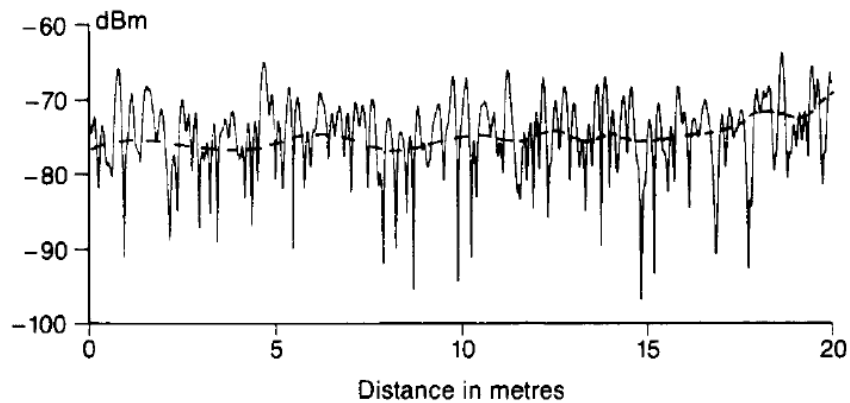


Figura 3.7 - Variabilidade da envoltória de um sinal recebido[7]

a.7. Ganho por MDC *Soft-Handoff* (MDC – *Macro Diversity Combining*)

O Ganho de MDC equivale à redução do E_b/N_0 requerido por conexão quando em processo de *soft* ou *softer* HO comparado à mesma conexão caso existisse apenas 1 NB servidora.

Devido à estratégia de controle dinâmico de potência esse ganho é pouco significativo em termos de análise média, porém traz uma grande influência na análise com base nos valores de potência de pico (como por exemplo em bordas de célula).

Sob a ótica do dimensionamento da interface rádio, esse ganho pode ser compreendido como uma redução na margem de potência reservada para processos de controle dinâmico de P_{tx} .

O Ganho de MDC, contudo, não deve ser confundido com o ganho de *soft handoff*, que é devido à possibilidade do UE manter sempre dentre sua lista de vizinhos ativos a célula melhor servidora [4].

Ganho de *Soft handoff*

Geralmente definido como ganho equivalente de perda de propagação na borda de células devido tanto à redução de margem de *slow-fading* por diversidade como redução do Eb/No requerido para um dado serviço.

Para quantificar-se o ganho por *Soft Handoff* faz-se o cálculo da margem requerida cobertura na borda da célula sem HO e depois uma outra avaliação similar, porém considerando a possibilidade de HO para um segundo *site*.

À diferença entre as margens denominamos ganho por *soft handoff*.

Quando a perda de propagação mediana obtida extrapola o máximo admissível calculado, então a probabilidade de cobertura é de 50%, e, portanto, uma margem extra é requerida para garantirmos uma melhoria prevista de serviço.

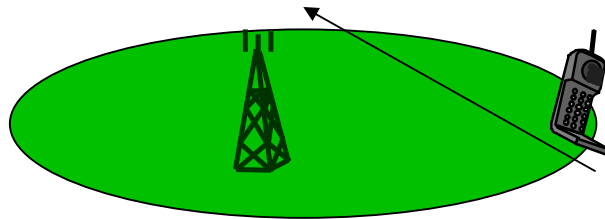


Figura 3.8 – Ilustração de probabilidade de cobertura

A probabilidade de cobertura na borda da célula ilustrada em 3.8 pode ser dada por

$$P_{borda} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left(\frac{M}{\sqrt{2}\sigma} \right) \quad (3.20)$$

Onde σ é o desvio padrão da f.d.p. normal, e erf é a função erro.

Se considerarmos então uma margem M e a viabilidade do processo de HO, na borda teremos a probabilidade de cobertura definida como:

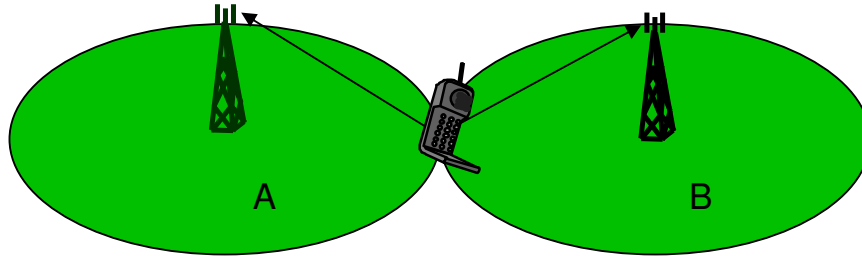


Figura 3.9 – Processo de *handoff*

$$P_{borda} = 1 - \Pr\{\min(L_{S_1}, L_{S_2}) > M\} \quad (3.21)$$

Onde L_{S_1} e L_{S_2} são as perdas de propagação entre o UE e os servidores A e B respectivamente..

Pode-se, de forma mais intuitiva visualizar a figura 3.10 abaixo como representação do ganho de cobertura na borda com a consideração de mais de um servidor:

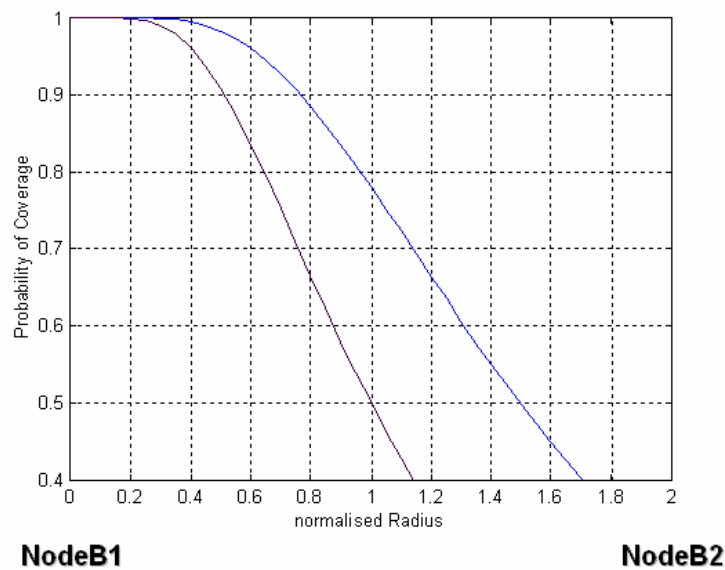


Figura 3.10 – Raio normalizado de cobertura

3.2. Enlace Direto – DownLink (DL)

3.2.1. Carga em DownLink

A carga em DL (η_{DL}), também conhecido com enlace direto, pode ser definida de maneira similar ao que foi realizado para enlace reverso, muito embora os parâmetros sejam ligeiramente diferentes.

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^N \left\{ v_j \cdot \frac{(E_b / N_o) \cdot j}{W / R_j} \cdot [(1 + \alpha_j) + i_j] \right\} \quad (3.22)$$

Onde $-10\text{LOG}_{10}(1 - \eta_{DL})$ é denominado incremento de ruído (*noise rise*) com relação ao ruído térmico do sistema por múltiplos acessos.

Os demais parâmetros encontram-se descritos abaixo, na tabela 3.4:

TABELA 3.4 – Parâmetros para modelagem da carga em DL

Parâmetro	Definição	Valor Recomendado para Dimensionamento
N	Número de usuários por célula	
v_j	Fator de atividade do usuário j na camada física	0.58 para voz, assumindo fator de atividade de voz de 50%
E_b/N_o	Energia por bit dividida pela densidade espectral de energia, requerida para atingir uma determinada BER. Entende-se como ruído a soma ruído térmico e interferência	Depende do serviço, taxa de bit, perfil do canal móvel, diversidade de transmissão, velocidade do UE.
W	Taxa de <i>chip</i> do WCDMA	3.84 Mcps
R_j	Taxa de bit do usuário j	Dependente do Serviço
α_j	Fator de ortogonalidade do canal do usuário j	1 - Ortogonalidade total 0 - Sem ortogonalidade
i_j	Razão entre potências recebida da própria célula pelas interferentes, recebida pelo usuário j	
$\bar{\alpha}$	Fator de ortogonalidade médio da célula	Canal ITU Veicular : 50% Canal ITU Pedestre : 90%
\bar{I}	Razão média entre potências recebida da própria célula pelas interferentes, recebida pelo usuário j	Célula macro com antena omnidirecional : 55% Célula macro com 3 setores : 65%

Quando comparando com a modelagem de UL, o parâmetro novo mais importante é o α_j , que representa o fator de ortogonalidade em DL[3]. Como visto anteriormente, o WCDMA utiliza códigos ortogonais em DL para dissociar usuários (mesmo que após a recepção em canal não-ideal, a ortogonalidade não seja mais perfeita). Contudo, considerando-se que a recepção geralmente é realizada em presença de multipercursos, a ortogonalidade é imperfeita na recepção em DL (e por isso o α_j só é considerado em DL) e deve ser levada em consideração. O fator de ortogonalidade com valor 1 representa recepção perfeita, como se não houvesse multipercursos. Tipicamente, esse valor se situa entre 0.4 e 0.9 e traz consigo uma grande importância para a estimativa de cobertura inicial. Se o responsável pelo planejamento for demais conservador (utilizando valores baixos) o número de *sites* necessários é aumentado significativamente. Por outro lado, se o valor for muito arrojado, pode-se chegar a um número inferior de *sites* necessários, com comprometimento do posterior desempenho.

Em DL, a razão entre a potência recebida pelo usuário relativamente à transmissão da própria célula com relação às demais “i”, depende do usuário e por isso deve ser avaliada separadamente de acordo com a distribuição censitária (caso disponível). Assim, a carga média de uma determinada célula pode ser obtida pela aproximação abaixo :

$$\overline{\eta}_{DL} = \sum_{j=1}^N \left\{ v_j \cdot \frac{(E_b / N_o) \cdot j}{W / R_j} \cdot \left[(1 + \overline{\alpha}) + \overline{i} \right] \right\} \quad (3.23)$$

Caso o ganho por soft *handoff* por enlace é considerado como 3dB, então o E_b/N_o combinado será o mesmo com e sem o soft *handoff*. Nesse caso, não é necessário considerarmos o efeito do soft *handoff* para dimensionamento da interface aérea.

O comportamento da carga de DL aproxima-se da carga de UL no que toca ao fato de que a carga máxima do sistema é atingida com $\eta = 1$ e que o incremento de ruído tende ao infinito.

Para dimensionamento de DL, torna-se importante avaliar quanta potência será necessária para cobertura (definida como RSCP). Para isso, não deve-se considerar que todos os terminais encontram-se na borda da célula, uma vez que a potência máxima do transmissor será dividida entre usuários na borda e usuários muito próximos.

As recomendações de mercado (fabricantes, pesquisadores) consideram que a diferença típica entre perda de propagação média e máxima se situa na faixa de 6 dB para células macro (como ilustrado na figura 3.12).

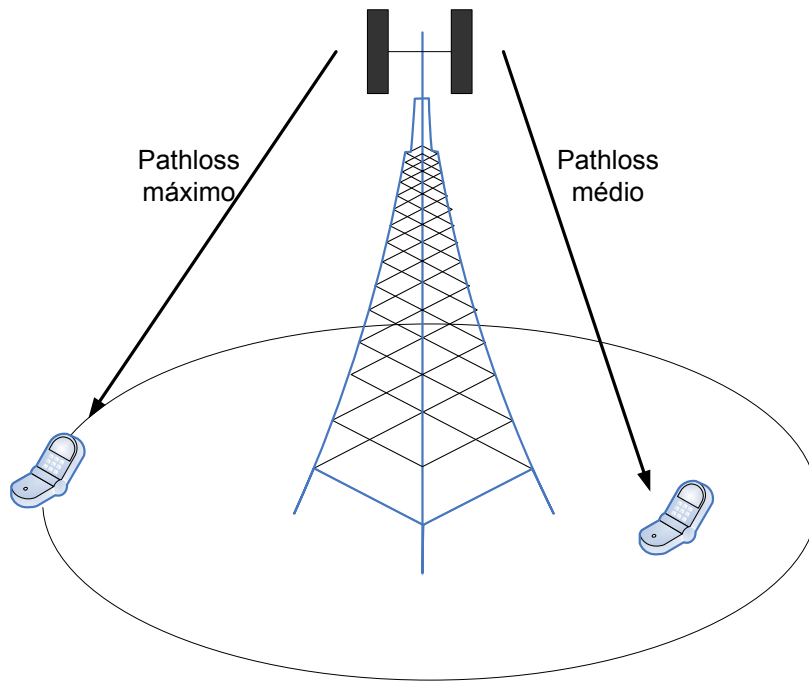


Figura 3.11 – Margem de perda de propagação

A potência de transmissão mínima requerida para cada usuário é determinada pela atenuação média entre a NB e o usuário em um determinado período de tempo e da sensibilidade do terminal (em ausência de ruído).

Matematicamente, a potência de transmissão da célula pode ser descrita como :

$$BS_TxP = \frac{N_{rf} \cdot W \cdot \bar{L} \cdot \left(\sum_{j=1}^N v_j \frac{Eb/No}{W/R_j} \right)}{1 - \eta_{DL}} \quad (3.24)$$

Onde N_{rf} é a densidade espectral de potência de ruído do receptor. Este valor pode ser obtido pela equação

$$N_{rf} = kT + NF = -174.0dBm + NF \quad (3.25)$$

K é constante de Boltzmann, e NF a figura de ruído do receptor (tipicamente entre 5 e 9 dB).

Parte da potência de DL tem que ser alocada para os canais comuns e deve ser calculada a parte da potência utilizada pelos canais de tráfego. A quantidade de potência nos canais comuns afeta diretamente o tempo para sincronismo, confiabilidade da estimativa do canal móvel, e a qualidade da troca de sinalização nas mensagens de difusão dos parâmetros globais (*broadcast*). Por outro lado, os canais comuns consomem uma parcela importante da potência total disponibilizada pelo transmissor. Segue na tabela abaixo um exemplo típico de estratégia de alocação de potência entre os canais em DL :

TABELA 3.5 – Estratégia de Alocação de Potência

Canal Comum em DL	Relativo ao CPICH	Atividade	Potência real alocada
CPICH	0 dB	100%	2W
Canal primário SCH	- 3dB	10%	0.1W
Canal Secundário SCH	- 3dB	10%	0.1W
Canal P-CCPCH	- 5dB	90%	0.6W
Canal S-CCPCH	0dB	10%	0.2W
PICH	- 8dB	100%(1)	0.3W
AICH	- 8dB	100%(1)	0.3W
Potência total			3.6W

3.2.2. Planilha exemplo para o enlace direto

TABELA 3.6 – Parâmetros para avaliação de carga em DL

Parâmetro	Dados	Voz
Fator de Atividade (ν)	1	0.58
E_b/N_0 (dB)	5	7
BLER (%)	10	1
R_j (kbps)	64	12.2
Ganho da antena do UE (dBi)	2	0
WCDMA Chip Rate (Mcps)	3.84	
Ortogonalidade Média	0.5	
i	0.65	
Potência de transmissão (W)	20	
Alocação de potência para canais comuns (%)	15	
Perda dos cabos do NodeB (dB)	3	
N_{rf}	7	
Fator de compensação de perda de propagação	6	

TABELA 3.7 – Taxa vs. Carga vs. Perda de propagação

Taxa = $NR(1-BLER)$	Carga DL	Perda de propagação Média	Perda de propagação Máxima
100kbps	12%	170.7	176.7
200kbps	25%	167.1	173.1
300kbps	37%	164.5	170.5
400kbps	50%	162.3	168.3
500kbps	62%	160.1	166.1
600kbps	74%	157.7	163.7
700kbps	87%	154.1	160.1
800kbps	99%	142.1	148.1
808kbps	100% (pole capacity)	-	-

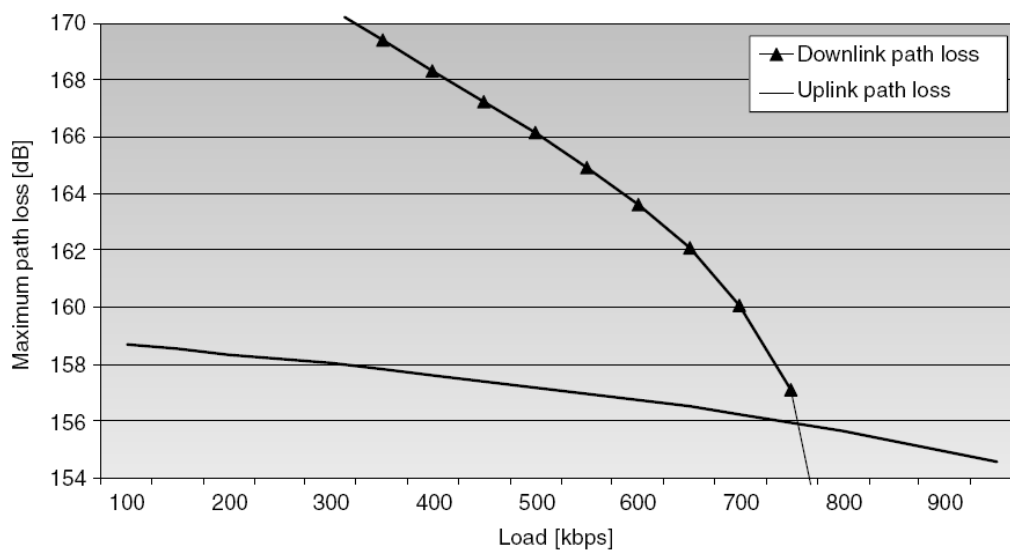


Figura 3.12 – UL vs DL Perda de propagação

Como resultado, podemos ver na figura 3.13 que a carga afeta sobremaneira tanto a cobertura em DL quanto em UL, porém o efeito não é o mesmo.

Em DL a cobertura depende muito mais da carga do que em UL. A razão para isso é que a potência é dividida entre os usuários em DL : quanto mais usuários menor a potência por usuário. Portanto, em DL mesmo com uma carga baixa a cobertura decai em função do número de usuários.

Notamos portanto que a cobertura é claramente limitada pelo UL para taxas inferiores a 760kbps, quando a carga passa a ser limitada em DL. Assim, como veremos no estudo de caso, as discussões de cobertura se baseiam em análises de UL enquanto as de capacidade se baseiam em DL.

O gráfico abaixo (figura 3.13) ilustra a perda de propagação máxima admissível em função do número de usuários de voz 12.2kbps em uma determinada área de cobertura. Com isso pode-se visualizar que com o aumento do número de usuários simultâneos a perda máxima admitida (*Maximum Allowed Pathloss – MAPL*) reduz, mostrando claramente a diminuição da área de cobertura.

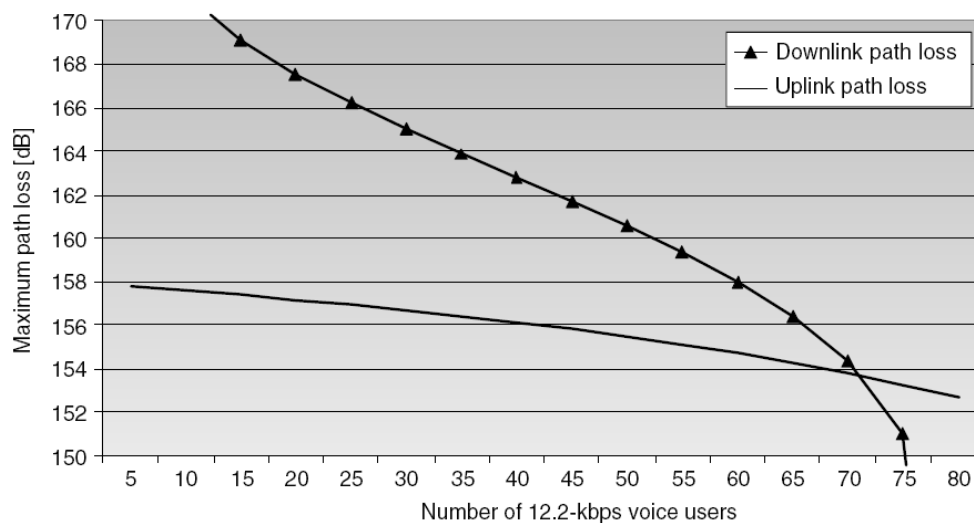


Figura 3.13 – Perda de propagação Máxima vs. Número de Usuários