

EFEITOS DA MOBILIDADE E DO TRÁFEGO NO DESEMPENHO DA RAZÃO C/I EM SISTEMAS MICROCELULARES

Paula Renata Cerdeira Gomez e Michel Daoud Yacoub

Departamento de Comunicações –FEEC - UNICAMP

Caixa Postal 6101, CEP 13081-970

Campinas-SP-Brazil

Telefone: (19)788 3812

fax: (19)289 1395

e-mail: paulac@decom.fee.unicamp.br, michel@decom.fee.unicamp.br

SUMÁRIO

Este trabalho apresenta um estudo de interferência em sistemas microcelulares com padrões de reuso baseados em células quadradas. O desempenho do sistema é avaliado através da razão portadora/interferência para os usuários posicionados aleatoriamente e para a atividade de canal variando de acordo com uma dada intensidade de tráfego. Resultados são apresentados para clusters de 5, 8, 9, 10 e 13 microcélulas. Estes mostram uma significativa melhora de desempenho quando comparados aqueles para a situação de pior caso obtidos em trabalhos anteriores dos mesmos autores.

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento no número de usuários de sistemas sem fio, e com o conceito de uma comunicação pessoal transformando-se em realidade, a necessidade de uma rede microcelular ampla torna-se clara. Um sistema microcelular deve prover uma alta eficiência espectral para contrabalançar seus altos custos devido ao grande número de estações rádio base necessárias, e aos rigorosos requisitos de controle e handoff. Esta eficiência espectral, ou eficiência de reuso, depende do ambiente interferente da rede e da capacidade da tecnologia envolvida em lidar com as fontes de interferência.

Uma rede microcelular urbana caracteriza-se pelas pequenas áreas de cobertura e por estações rádio base de baixa potência posicionadas ao nível da rua[1-7]. Neste caso, a propagação de rádio se dá em dois modos: no modo de linha de visada (LOS: line-of-sight), com um forte sinal na recepção, e no modo obstruído (NLOS: non-line-of-sight), com um sinal bem mais atenuado na recepção. Assim, torna-se evidente a assimetria da propagação em redes microcelulares e, portanto, o padrão hexagonal usado na modelagem de redes macrocelulares não se aplica. Outros padrões de reuso, baseados em células retangulares, foram propostos e analisados em [1,2].

O parâmetro de desempenho utilizado em [1,2] foi a relação portadora/interferência (C/I – carrier-to-interference ratio), analisado para a situação de pior caso, ou seja, para os móveis posicionados na situação de maior interferência, e para o sistema funcionando à plena carga. Os resultados mostram que, mesmo para esta condição tão desfavorável, alguns dos padrões de reuso propostos, como os de 5 microcélulas por cluster, mostram um desempenho promissor.

Em [3] foi mostrado que o cálculo da interferência para o pior caso pode ser muito simplificado, comparando-se duas situações: um sistema microcelular com um número infinito de células, e um sistema com uma única camada de células interferentes. Neste trabalho, a investigação foi aprofundada analisando-se uma situação mais realista. Esta situação caracteriza-se por considerar o interferente móvel posicionado aleatoriamente dentro da microcélula, e o canal ativo de acordo com uma dada intensidade de tráfego. No cálculo da interferência total, considera-se somente o interferente na condição de linha de visada. A contribuição de interferentes obstruídos na interferência total será considerada em trabalhos futuros. Mostra-se que, neste caso, não é possível fazer a simplificação sugerida em [3], e logo evidenciam-se as condições que levam a resultados estatísticos confiáveis.

Os resultados obtidos podem então ser considerados como limitantes superiores de desempenho para os parâmetros dados, enquanto os resultados obtidos em [1,2] podem ser considerados como limitantes inferiores.

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A análise feita neste trabalho considera padrões de reuso microcelulares baseados em células quadradas, com as estações rádio base centradas e posicionadas a cada duas esquinas. Assim, as estações rádio base são colineares e cada microcélula cobre quatro setores, sendo cada setor definido por metade de uma quadra, dividida em sua diagonal. As Figuras 1 e 2 ilustram essa disposição de células. As linhas verticais e horizontais representam as ruas, e as linhas diagonais, representam os limites das células.

O número de células por cluster é dado por $N = i^2 + j^2$ [1], resultando em clusters acomodando 1, 2, 4, 5, 8, 9, 10, 13, 16, células. Para ilustrar melhor como são feitos os cálculos de desempenho, as Figuras 1 e 2 trazem a tesselação para clusters de 5 e 10 células. Nelas, o cluster destacado contém a microcélula alvo, e as outras células em negrito correspondem às co-microcélulas que em algum momento podem interferir com o sinal da estação rádio base ou com o do móvel de interesse. Deve-se levar em conta a assimetria dos interferentes para o móvel e para a estação rádio base na análise do desempenho dos enlaces direto e reverso. Nas Figuras 1 e 2, as estrelas indicam as estações rádio base influenciando na relação C/I do enlace direto, enquanto os círculos indicam o posicionamento de pior caso das estações móveis que influenciam no enlace reverso.

Deve-se notar que alguns dos padrões propostos tessalam em configurações tortuosas fazendo com que os interferentes mais próximos sejam bloqueados completamente ou por uma boa proporção da rua, com um interferente na linha de visada aparecendo a muitas quadras de distância. Também vale enfatizar que para o caso de clusters com um número primo de células, como é o caso do cluster de 5 células mostrado na Figura 1, o conjunto de estações rádio base que interferem na relação C/I do enlace direto é distinto de acordo com o posicionamento do móvel alvo.

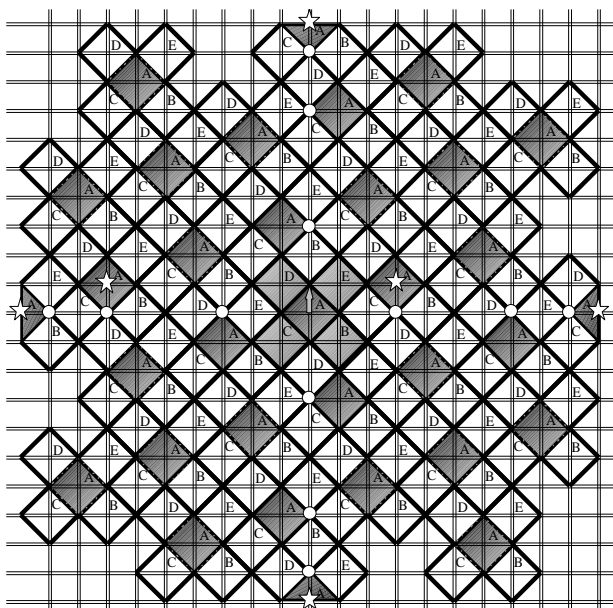


Figura 1 – Tesselação de cluster de 5 microcélulas

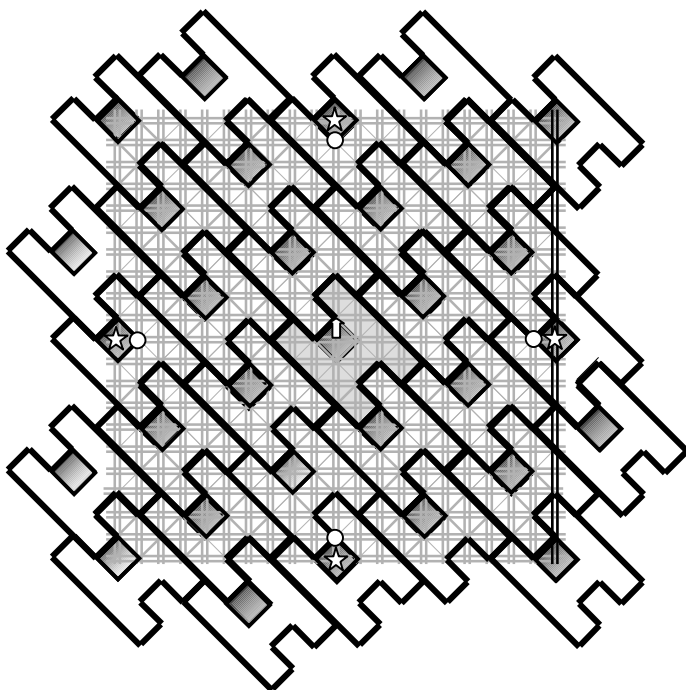


Figura 2 – Tesselação de cluster de 10 microcélulas

3. RAZÃO PORTADORA/INTERFERÊNCIA

Estudos anteriores [1-3] mostram fórmulas fechadas para a razão portadora interferência para móveis posicionados na situação de pior caso e com o sistema operando em carga plena. Estas são reproduzidas aqui para um maior esclarecimento dos resultados deste trabalho.

A relação portadora interferência para o enlace reverso para a condição de pior caso é dada por

$$\frac{C}{I} = \frac{[1 + (rk)^2]^{-1}}{4r^2 \sum_{i=1}^{\infty} n_i^{-2} [1 + (n_i k)^2]^{-1}} \quad (1)$$

onde r é a distância entre a estação rádio base servidora e a estação móvel normalizada em relação ao raio da célula ($0 < r \leq 1$), k é a razão entre o raio da célula e a distância de *breakpoint*, e $n_i = 1, 2, 3, \dots$ é a distância entre os interferentes na i -ésima camada e a estação rádio base da célula alvo, dado em número de unidades de raio de célula.

Do mesmo modo, pode ser encontrada uma relação C/I para o enlace direto. No entanto, esta depende do posicionamento do móvel em relação à sua estação rádio base, pois, à medida que o móvel se distancia do centro da célula em direção radial, ou seja, para uma outra esquina, ele adquire uma nova linha de visada, sendo possível encontrar novas estações rádio base interferentes. Portanto, para o caso em que o móvel se encontra próximo à sua estação rádio base servidora, mais especificamente, dentro do espaço pertencente ao cruzamento de duas ruas perpendiculares ($r \leq$ distância normalizada da estação rádio base ao começo da rua) a relação C/I para a condição de pior caso é dada por

$$\frac{C}{I} = \frac{[1 + (rk)^2]^{-1}}{r^2 \sum_{i=1}^{\infty} \left\{ (n_i + r)^{-2} [1 + (n_i + r)^2 k^2]^{-1} + (n_i - r)^{-2} [1 + (n_i - r)^2 k^2]^{-1} \right\} \left[1 + 2(n_i^2 + r^2)^{-1} [1 + (n_i^2 + r^2) k^2]^{-1} \right]} \quad (2)$$

Para o caso em que o móvel se encontra longe da vizinhança da sua estação rádio base servidora, a relação C/I para a condição de pior caso é dada por

$$\frac{C}{I} = \frac{[1 + (rk)^2]^{-1}}{r^2 \sum_{i=1}^{\infty} \left\{ (n_i + r)^{-2} [1 + (n_i + r)^2 k^2]^{-1} + (n_i - r)^{-2} [1 + (n_i - r)^2 k^2]^{-1} \right\}} \quad (3)$$

Existe mais um caso de posicionamento da estação rádio móvel que pode ter distintos interferentes. Trata-se do momento em que o móvel chega à esquina oposta à da sua estação rádio base servidora, e, alcançando uma nova linha de visada, encontra novos interferentes. No entanto, isso não ocorre para todos os padrões de reuso. As únicas tesselações nas quais ocorre esse fato são as de clusters de número primo de células. Portanto, para clusters de número primo de células e ($1 - r \leq$ distância normalizada da estação rádio base ao começo da rua) a relação C/I para a condição de pior caso é dada por

$$\frac{C}{I} = \frac{[1+(rk)^2]^{-1}}{\left[\sum_{i=1}^{\infty} \left\{ (n_i+r)^{-2} [1+(n_i+r)^2 k^2]^{-1} + (n_i-r)^{-2} [1+(n_i-r)^2 k^2]^{-1} \right\} + \sum_{j=1}^{\infty} \left\{ (n_j^2+\bar{r}^2)^{-1} [1+(n_j^2+\bar{r}^2)k^2]^{-1} \right\} \right]} \quad (4)$$

No caso das macrocélulas, que utilizam mosaicos de células hexagonais, a distância entre uma célula e sua interferente é ditada diretamente pelo número de células no cluster e pelo raio da célula. Já no caso das microcélulas, como a radiação das antenas não se dá por igual em todas as direções, as distâncias variam de acordo com o tipo de tesselação. Portanto, é preciso definir os valores de n_i para cada situação. A formulação geral para a determinação dos n_i 's pode ser encontrada em [3].

Este artigo considera o interferente posicionado aleatoriamente dentro da microcélula e o canal ativo de acordo com uma dada intensidade de tráfego. A seguir, apresenta-se a formulação para este caso, que usa parcialmente as equações mostradas acima, dependendo do número de interferentes ativos e em condição de visada, e de seus posicionamentos no momento em questão.

Considere uma distribuição de probabilidade uniforme para a localização do móvel dentro da célula. Seja i o número total de interferentes e $i_{ACT\&LOS}$ ($0 \leq i_{ACT\&LOS} \leq i$) o subconjunto desses interferentes que estão simultaneamente ativos e em linha de visada. Seja p_{LOS} a probabilidade de um móvel estar na condição de linha de visada, p_{ACT} a probabilidade de um canal estar ativo e $p_{ACT\&LOS}$ a probabilidade de ter $i_{ACT\&LOS}$ interferentes simultaneamente ativos e em linha de visada.

Seja $E[C/I|i_{ACT\&LOS}]$ a razão portadora/interferência estimada neste caso. Portanto, a razão portadora/interferência média total é dada por

$$E[C/I] = \sum_{i_{ACT\&LOS}=0}^i E[C/I|i_{ACT\&LOS}] p_{ACT\&LOS} \quad (5)$$

onde $p_{ACT\&LOS}$ pode ser dado por (6) ou (7) dependendo do padrão de reuso utilizado.

$$p_{ACT\&LOS} =$$

$$\binom{i}{i_{ACT\&LOS}} \left(p_{LOS} \times p_{ACT} \right)^{i_{ACT\&LOS}} \left(1 - p_{LOS} \times p_{ACT} \right)^{i - i_{ACT\&LOS}} \quad (6)$$

ou

$$p_{ACT\&LOS} =$$

$$= \binom{i^{(1)}}{i_{ACT\&LOS}^{(1)}} \left(p_{LOS}^{(1)} \times p_{ACT} \right)^{i_{ACT\&LOS}^{(1)}} \left(1 - p_{LOS}^{(1)} \times p_{ACT} \right)^{i - i_{ACT\&LOS}^{(1)}} \times$$

$$\times \binom{i^{(2)}}{i_{ACT\&LOS}^{(2)}} \left(p_{LOS}^{(2)} \times p_{ACT} \right)^{i_{ACT\&LOS}^{(2)}} \left(1 - p_{LOS}^{(2)} \times p_{ACT} \right)^{i - i_{ACT\&LOS}^{(2)}} \quad (7)$$

e

$$i^{(1)} + i^{(2)} = i \quad (8)$$

$$i_{ACT\&LOS}^{(1)} + i_{ACT\&LOS}^{(2)} = i_{ACT\&LOS} \quad (9)$$

Para clusters com número não-primo de microcélulas, existe um único valor de p_{LOS} para todos os interferentes, pois todas as co-microcélulas que em algum momento estão em linha de visada possuem toda uma rua nesta condição. Portanto, nestes casos, utiliza-se a Equação (6) para $p_{ACT\&LOS}$. Já no caso de clusters com número primo de microcélulas, existem microcélulas com valores diferentes de p_{LOS} . Pode-se observar, pela Figura 1, que os interferentes das duas primeiras camadas que influenciam no enlace reverso (círculos) estarão em linha de visada somente se posicionados em uma determinada esquina. No entanto, as co-microcélulas interferentes da terceira camada possuem toda uma rua em condição de visada. Isto ocorre para todos os casos de clusters de número primo de células. Assim, o cálculo do enlace reverso em clusters com número primo de células utiliza-se da Equação (7) como valor de $p_{ACT\&LOS}$.

O desempenho apresentado neste trabalho foi avaliado para o móvel partindo do centro da célula alvo em direção à sua borda, considerando microcélulas de raio igual a 100m, largura de rua de 15m, frequência de operação de 890MHz, altura das antenas transmissoras e receptoras de 4m e 1,5m respectivamente, e razão k entre o raio da célula e a distância de breakpoint de 1,405. Para este sistema foram considerados 8 canais por microcélula e uma probabilidade de bloqueio de 2%.

Os cálculos da relação C/I para este sistema foram realizados para clusters de 5, 8, 9, 10 e 13 células. A probabilidade p_{LOS} é diferente para cada padrão de reuso, pois, em alguns casos, existem co-microcélulas com toda uma rua em condição de visada, enquanto em outros, algumas co-microcélulas tem apenas uma esquina na mesma condição.

O sistema considerado aqui leva em conta um número infinito de interferentes. Deve-se notar que os cálculos da Equação (5) para um número infinito de interferentes tornam o problema inviável. Limitar o número de interferentes, no entanto, pode comprometer os resultados. Então, os interferentes foram divididos em dois grupos: aqueles pertencentes às camadas mais próximas da célula alvo (camadas internas), e aqueles pertencentes às outras camadas (camadas externas). Por motivos de praticidade, somente aos interferentes do primeiro grupo foram atribuídas propriedades aleatórias. Os outros interferentes foram mantidos na condição de pior caso. O propósito, então, é determinar o número necessário de camadas no grupo de camadas internas para chegar a resultados estatisticamente confiáveis.

4. RESULTADOS

4.1 – Limitante Superior de Desempenho

Os cálculos foram realizados para 600 camadas de microcélulas interferentes. O número de camadas internas foi variado progressivamente de um a um número para o qual os resultados se mostraram estatisticamente estáveis.

As Figuras 3 e 4 mostram a diferença entre o cálculo do desempenho para clusters de 5 células feito utilizando-se um número x ou $x-1$ de camadas internas, no gráfico mostrado pelo par de números entre colchetes, para os enlaces direto e reverso respectivamente. Por exemplo, um dos resultados mostrados é a diferença entre o cálculo do desempenho utilizando-se duas camadas de interferentes com características aleatórias (e o restante na situação de pior caso) e o resultado do cálculo utilizando-se uma única camada interna. As Figuras 5 e 6

mostram resultados análogos para um sistema com padrão de reuso de 10 células por cluster. Os resultados para clusters de 8 e 9 células são análogos aos de 10 células, e os resultados para clusters de 13 células são análogos aos de 5 células. Pode-se notar pelos gráficos que a diferença entre os cálculos torna-se cada vez menor à medida que aumenta o número de camadas no grupo de camadas internas. Deve-se, agora, estabelecer qual é um bom limite de erro para propósitos práticos. Sabe-se que existe um próprio erro intrínseco de modelagem, que torna sem sentido uma extrema precisão de cálculos matemáticos.

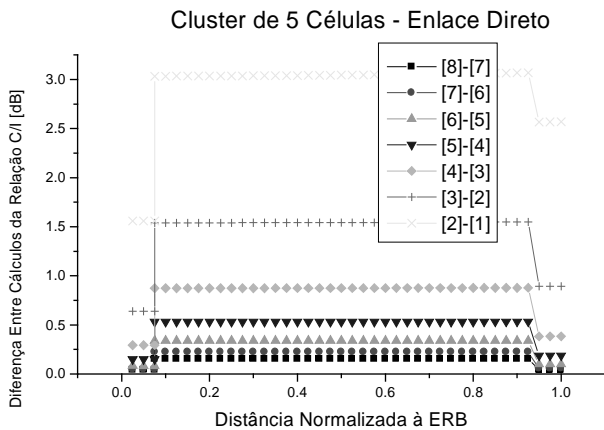


Figura 3 – Diferença da relação C/I calculada para distintas condições em função da distância para o enlace direto e clusters de 5 células

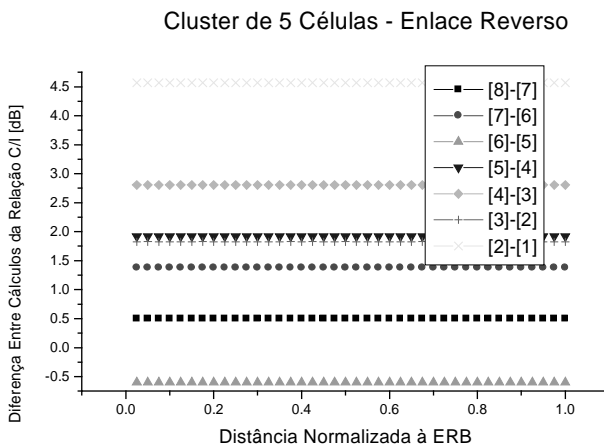


Figura 4 – Diferença da relação C/I calculada para distintas condições em função da distância para o enlace reverso e clusters de 5 células

É interessante notar que o tempo de processamento do cálculo do desempenho aumenta muito com o aumento do número de camadas no grupo de camadas internas. Isto deve-se ao fato de o número de combinações de possibilidades de posicionamento dos interferentes aumentar demasiado. Portanto, encontrar um bom número de camadas de interferentes aos quais será atribuído caráter aleatório para o cálculo de desempenho do sistema deve levar em conta também o tempo de processamento. Por exemplo,

os cálculos utilizando-se 9 camadas internas levam aproximadamente uma semana para um único enlace e para um único padrão de reuso, em um Pentium II, 300 MHz, com 168Mbytes de RAM. Já os cálculos utilizando-se 6 ou menos camadas internas são processados em poucos minutos, para as mesmas condições.

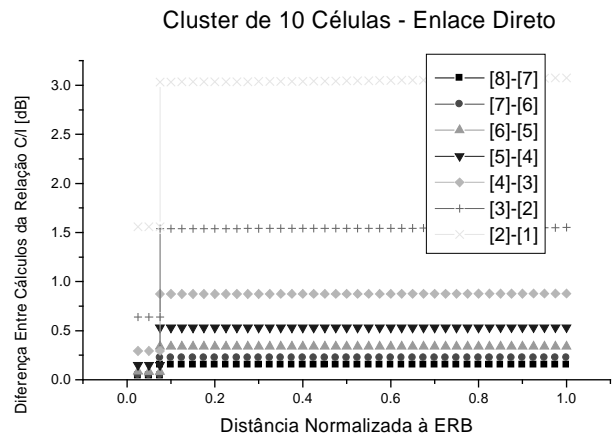


Figura 5 – Diferença da relação C/I calculada para distintas condições em função da distância para o enlace direto e clusters de 10 células

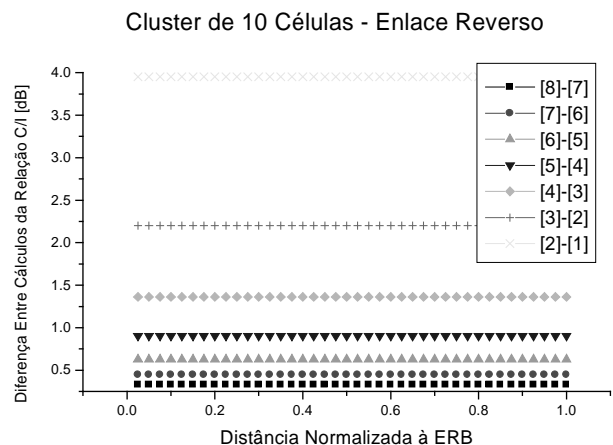


Figura 6 – Diferença da relação C/I calculada para distintas condições em função da distância para o enlace reverso e clusters de 10 células

A título de argumentação, explicita-se na Tabela 1 alguns resultados dos gráficos anteriores, para o único valor de distância normalizada à ERB de 0,5 e para clusters de 10 células. Verifica-se que a diferença entre os valores da relação portadora/interferência obtidos para 5 e 4 camadas de interferentes no grupo de camadas internas já é menor do que 1dB, e entre 6 e 5 camadas é menor ainda. Este valor é aceitável para aplicações em comunicações móveis. Chega-se à mesma conclusão quando analisando os resultados para outras distâncias e para outros padrões de reuso.

Assim, serão utilizadas 6 camadas de interferentes no grupo de camadas internas para o cálculo dos resultados apresentados na próxima seção. Este número mostrou levar a resultados confiáveis num bom tempo de processamento. É bom notar também que é um número bem realista, já que não existem muitos sistemas com um número maior de células.

	Cluster de 10 células Enlace Direto	Cluster de 10 células Enlace Reverso
[2]-[1]	3.0446	3.9522
[3]-[2]	1.5424	2.2030
[4]-[3]	0.8748	1.3624
[5]-[4]	0.5314	0.9028
[6]-[5]	0.3392	0.6260
[7]-[6]	0.2248	0.4482
[8]-[7]	0.1537	0.3292

Tabela 1 – Valores da diferença da relação C/I calculada para distintos números de camadas de interferentes no grupo de camadas internas, para o móvel alvo localizado a uma distância normalizada da ERB igual a 0,5

Como no cálculo da interferência total leva-se em conta somente os interferentes na linha de visada, pode-se considerar os resultados obtidos por estes métodos como uma previsão otimista, apesar de mais realista do que a situação de pior caso. Assim, estes resultados podem ser considerados como limitantes superiores de desempenho do sistema, enquanto que resultados de pior caso podem ser considerados como limitantes inferiores de desempenho.

Finalmente, vale observar a diferença dos resultados para o enlace reverso de clusters com número primo de células (Fig 4) e clusters com número não-primo de células (Figura 6). No segundo caso (Figura 2), todas as co-microcélulas possuem a mesma proporção em condição de visada. Já no primeiro (Fig 1), isto não é verdade. Algumas camadas de interferentes têm apenas uma esquina em condição de visada, enquanto outras possuem a rua inteira em condição de visada. Assim, a diferença entre os resultados considerando-se número diferente de camadas no grupo de camadas interiores não sempre diminui. Quando uma camada com interferentes em maior condição de visada é adicionada, essa diferença pode aumentar. No entanto, a tendência geral dessa diferença continua sendo de diminuir, e, portanto, vale o mesmo resultado mencionado acima.

4.2 – Limitante Inferior de Desempenho

Encontradas as condições para o cálculo de desempenho considerando-se posicionamento aleatório dos móveis e atividade de canal de acordo com uma dada atividade de voz, comparem-se, nesta seção do trabalho, os resultados obtidos com aqueles obtidos em [1,2] para a situação de pior caso.

As Figuras 7 e 8 mostram o desempenho para os enlaces direto e reverso em função da distância normalizada da estação rádio base para a condição de pior caso com um número infinito de interferentes e considerando a variação da atividade do canal e do posicionamento dos interferentes, para cluster de 5 e 10 células, respectivamente.

Os gráficos mostram uma melhora significativa no desempenho dos enlaces direto e reverso quando comparado à condição de pior caso. O comportamento do desempenho para

clusters de 8 e 9 células é similar ao de 10 células, e o comportamento do desempenho para o cluster de 13 células é similar ao de 5 células. Vale notar que a melhora do desempenho no enlace reverso é mais acentuada para os casos de 5 e 13 células. A razão para isto é que, nestes casos, a maior parte das co-microcélulas possui apenas uma esquina na condição de visada, enquanto que as co-microcélulas dos outros casos estudados são colineares à microcélula alvo, e, portanto, possuem toda uma rua em condição de visada. É interessante notar, também, o grande aumento no desempenho do enlace direto na esquina oposta à da estação rádio base alvo para o caso dos clusters com número primo de células (Figura 7). Estes mostravam uma relação C/I insatisfatória na condição de pior caso, e agora, numa situação mais realista, a relação mostra valores bem mais aprazíveis.

Cluster de 5 Células

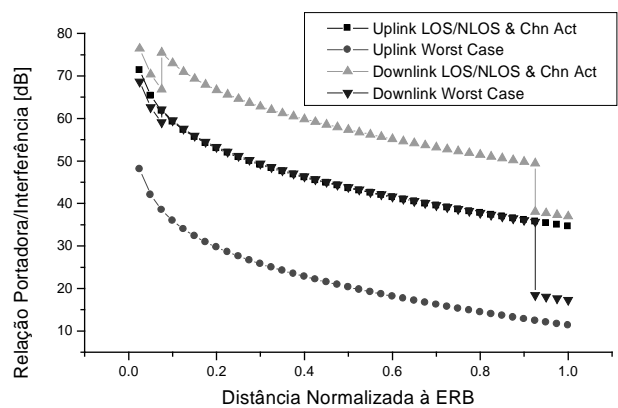


Figura 7 – C/I em função da distância normalizada à ERB para os enlaces direto e reverso, para móveis aleatoriamente posicionados e com atividade de canal de acordo com um dado tráfego em comparação com o pior caso, para clusters de 5 células

Cluster de 10 Células

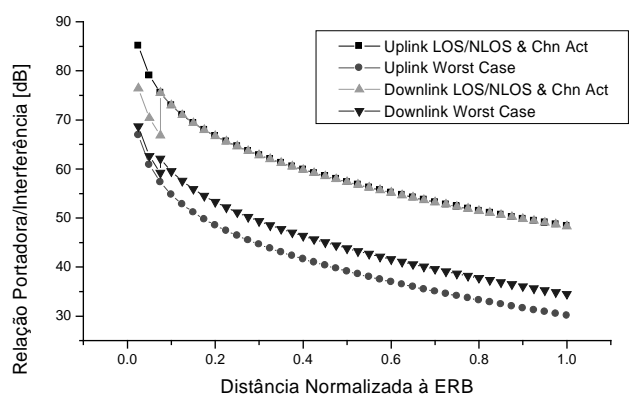


Figura 8 – C/I em função da distância normalizada à ERB para os enlaces direto e reverso, para móveis aleatoriamente posicionados e com atividade de canal de acordo com um dado tráfego em comparação com o pior caso, para clusters de 10 células

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo de interferência em uma rede microcelular com padrões de reuso baseados em células quadradas. Foram analisados resultados para clusters com 5, 8, 9, 10 e 13 microcélulas. O parâmetro de desempenho utilizado foi a relação portadora/interferência, e os resultados obtidos foram comparados com aqueles da condição de pior caso, obtidos em [1,2]. Este artigo considerou condições mais realistas, que consistem em atribuir caráter aleatório ao posicionamento do móvel e à atividade do canal. Somente os interferentes em condição de visada foram considerados como contribuintes no cálculo da interferência. Os resultados mostram que a aproximação utilizada em trabalhos anteriores [3] não pode ser utilizada na situação mais realista considerada neste trabalho. Assim, foram encontradas as condições que levam a resultados estatisticamente confiáveis. Mostrou-se que uma boa convergência é encontrada com um número de camadas próximo a 6. Finalmente, vale enfatizar que os resultados para todos os padrões de reuso estudados mostram um aumento substancial de desempenho quando comparados à situação de pior caso

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Yacoub, M. D., Toledo, A. F., Gomez, P. R. C., Jeszensky, P. J. E., Féris, E. B. R., "Reuse Pattern for Microcellular Networks", *International Journal of Wireless Information*, Vol. 6, No 1, 1999.
- [2] Yacoub, M. D., Toledo, A. F., Gomez, P. R. C., Jeszensky, P. J. E., Féris, E. B. R., "Microcellular Reuse Pattern in an Urban Environment", *The Ninth IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications*, 1998.
- [3] Gomez, P. R. C., Yacoub, M. D., Toledo, A. F., "Interferência em Redes Microcelulares com um Novo Padrão de Reuso", *Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, SBT99*, 1999.
- [4] J. H. Whitteker, "Measurements of path loss at 910 MHz for proposed microcell urban mobile systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 37, pp. 125-129, Aug. 1988.
- [5] A. Goldsmith and L. J. Greenstein, "A measurement-based model for predicting coverage areas of urban microcells," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 11, pp. 1013-1022, Sept. 1993.
- [6] V. Erceg, A. J. Rustako, Jr., and R. S. Roman, "Diffraction around corners and its effects of the microcell coverage area in urban and suburban environments at 900 MHz, 2 GHz, and 6 GHz," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 43, pp. 762-766, Aug. 1994.
- [7] M. V. Clark, V. Erceg, and L. J. Greenstein, "Reuse efficiency in urban microcellular networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 46, pp. 279-288, May 1994.
- [8] M. D. Yacoub, *Foundations of mobile radio engineering*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1993.