

Generalização de Método para Dimensionamento de Canais de Softhandoff em Sistemas CDMA

Omar Carvalho Branquinho

Fundação Centro de Pesquisa – CPqD
Tel: 019 705 6736, omar@cpqd.com.br
Universidade São Francisco (USF) – Itatiba – SP

Michel Daoud Yacoub

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
Tel: 019 788 3812, michel@decom.fee.unicamp.br

Sumário

O planejamento de sistemas móveis celulares CDMA tem características que o distinguem do planejamento de outras técnicas de acesso. Em [1] foi proposto um método para dimensionamento de canais de softhandoff utilizando 2 células. Neste trabalho o método foi estendido para 3 células permitindo uma generalização da metodologia. As metodologias disponíveis atualmente para o planejamento ou são muito complexas e com considerações que se contrastam, com um nível de sofisticação que não condiz com o grau do empirismo dos parâmetros, ou são muito simples mas pouco rigorosas. Este artigo tem por objetivo a proposta de um metodologia, simples e de fácil aplicação, de dimensionamento de canais de softhandoff que leve em conta tanto a questão do bloqueio de softhandoff quanto a da influência destes canais na interferência.

1. INTRODUÇÃO

Um móvel na fronteira entre células poderá ser servido por duas ou mais células. Nos sistemas FDMA e TDMA este fenômeno determina a célula da qual o canal de comunicação será utilizado no cruzamento entre fronteiras, liberando-se assim o canal da célula de origem. Pode-se dizer que, em média, para cada canal capturado na outra célula libera-se um canal na célula de origem. Desta forma joga-se com a situação de equilíbrio para se dizer que o handoff nestas tecnologias pouco influi no dimensionamento do sistema. Já no sistema CDMA, um móvel na periferia da célula contribui com uma grande parcela de interferência na outra célula, o que proporciona uma diminuição da capacidade como um todo. O fato de este móvel poder se comunicar com mais de uma célula pode ser utilizado em benefício do sistema, diminuindo-se a potência do móvel e combinando-se os sinais neste móvel para se

obter um nível adequado de recepção. Neste sentido, mais do que uma prerrogativa ou uma regalia dos sistemas CDMA, o softhandoff é uma necessidade. Em teoria, o softhandoff não influencia no cálculo da capacidade do enlace reverso, já que os móveis nesta condição transmitem estando ou não em softhandoff. Já o mesmo não se pode dizer com relação ao enlace direto. Neste caso, como um móvel poderá ocupar canais tanto na célula de origem quanto nas demais com as quais a comunicação é adequada, um número adicional de canais deverá ser provido para acomodar esta condição.

Algumas metodologias foram propostas para a determinação da capacidade do sistema CDMA. Uma mais complexas dizem respeito à capacidade de Erlang [2]. Em particular, nestas metodologias as considerações se contrastam, com um nível de sofisticação na obtenção das fórmulas que não condiz com o grau do empirismo dos parâmetros utilizados nelas. Considera-se ainda uma aproximação Gaussiana em uma somatória em que o próprio limite desta somatória é uma variável aleatória, o que no mínimo é facilmente contestável. Além disto, as fórmulas são deduzidas para a condição de tráfego uniforme, situação pouco encontrada na prática. A dificuldade de manipulação destas fórmulas torna inviável a sua aplicação no dimensionamento de sistemas práticos.

De fato, na prática uma outra metodologia é utilizada [3]. Nesta metodologia, introduzem-se os conceitos de tráfego aparente e tráfego real. O tráfego aparente é aquele pelo qual o sistema pode cobrar do usuário. O tráfego real é aquele efetivamente tratado pelo sistema. Um usuário na condição de softhandoff utiliza mais recursos do que um mínimo necessário. Por outro lado, ele não poderá pagar por se encontrar na condição de softhandoff. Para o dimensionamento de canais para satisfazer a condição de softhandoff, utiliza-se o fator de carga dado pela razão entre a carga real e a carga aparente. A carga real é então determinada multiplicando-se o fator de carga pela carga aparente [1].

A carga aparente é obtida pela fórmula de Erlang, para um dado grau de serviço e um número de canais para o qual o nível de interferência encontra-se em patamares aceitáveis.

Tanto nesta metodologia quanto nas anteriores, nada se diz a respeito do bloqueio de softhandoff. Note ainda, nesta última metodologia, que nada se conjectura a respeito da interferência causada pela utilização dos canais de softhandoff. Por outro lado, este esquema é extremamente simples de ser utilizado, o que o torna muito popular em planejamentos práticos.

Este artigo tem por objetivo a proposta de uma generalização do método apresentado em [1] que apresenta um metodologia, simples e de fácil aplicação, de dimensionamento de canais de softhandoff que leve em conta tanto a questão do bloqueio de softhandoff quanto a da influência destes canais na interferência

2. METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO DE CANAIS DE SOFTHANDOFF

Em comum com a metodologia mais simples e descrita no item anterior, o método proposto faz uso do tráfego aparente para se determinar o tráfego real. Em comum com as metodologias mais complexas, o método proposto se preocupa com a questão da interferência. Em adição a ambas leva-se em consideração o bloqueio de softhandoff. A determinação do tráfego real na metodologia proposta, por outro lado, será consequência tanto do bloqueio de softhandoff quanto da interferência.

Dado um número nominal para o qual o nível de interferência encontra-se em patamares aceitáveis, determina-se o tráfego aparente através da fórmula de Erlang em função do grau de serviço especificado. Para um fator de sobreposição entre células, adicionam-se ou subtraem-se canais para atender aos requisitos de probabilidade de bloqueio de softhandoff e de interferência. Note que apenas acrescentando-se canais aos canais nominais diminui-se a probabilidade de bloqueio de softhandoff mas, por outro lado, aumenta-se a probabilidade de interferência. No outro extremo, apenas subtraindo-se canais dos canais nominais a interferência não ultrapassará aquela obtida com o uso de canais nominais, mas a capacidade final do sistema diminuirá para se atingir a probabilidade de bloqueio de softhandoff desejada. Um compromisso entre se adicionar e se subtrair uma quantidade adequada de canais em torno dos canais nominais poderá ser atingida para se atender os critérios de projeto de sistema

no que diz respeito à questão da interferência e do bloqueio de softhandoff.

O modelo proposto se presta a este objetivo, é de fácil utilização e se aplica a qualquer distribuição de tráfego.

3. CANAIS ATIVOS NA REGIÃO DE SOBREPOSIÇÃO

Para três células existem regiões de sobreposição entre duas células e entre três células. A figura 1 mostra esta condição.

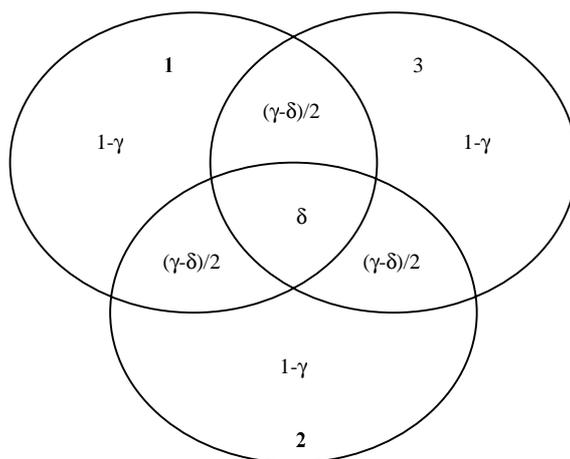


Figura 1 – Três células

Trabalha-se com a condição onde existe a geração de tráfego nas regiões de sobreposição e este tráfego deve ser cursado por uma célula alvo. Portanto em relação a célula alvo as outras duas células apresentam regiões de sobreposição entre duas e três células. Deve-se determinar a probabilidade de canais ativos nestas regiões considerando a proporção mostrada na figura 1.

A análise é feita considerando uma célula com área normalizada 1, ou seja:

$$1 - \gamma + \frac{\gamma - \delta}{2} + \frac{\gamma - \delta}{2} + \delta = 1 \quad (1)$$

A região de sobreposição de uma célula com duas células tem uma área proporcional a:

$$\gamma - \delta \quad (2)$$

A região de acesso a três células é proporcional a δ . Esta região pode ser aproximada à região de duas células pela seguinte expressão [4,5]:

$$\delta \cong \gamma^2 \quad (3)$$

Esta aproximação permite utilizar somente γ como variável de proporção de área para o cálculo das probabilidades envolvidas.

Para três células é necessário utilizar a generalização de Bernoulli. Na generalização de Bernoulli tem-se um conjunto de r eventos onde cada evento ocorrerá $\{k_1, k_2, \dots, k_r\}$ vezes com suas respectivas probabilidades p_1, p_2, \dots, p_r . Logicamente deve-se ter:

$$p_1 + p_2 + \dots + p_r = 1 \quad (4)$$

A soma de todos os eventos deve ser igual a:

$$k_1 + k_2 + \dots + k_r = n \quad (5)$$

A generalização de Bernoulli fica como a expressão abaixo:

$$p_n(k_1, k_2, \dots, k_r) = \frac{n!}{k_1! k_2! \dots k_r!} p_1^{k_1} p_2^{k_2} \dots p_r^{k_r} \quad (6)$$

Na generalização de Bernoulli são consideradas as condições para diversas ocorrências de eventos. Para três células isto será necessário uma vez que deverá ser avaliada as condições de canais ativos em regiões de sobreposição de duas células e três células. Será utilizado somente k_1 e k_2 , que são as condições de análise para as duas regiões de sobreposição de acesso a duas e três células. Isto se deve ao fato de existirem somente duas áreas distintas de sobreposição entre a célula alvo e as outras células. Com estas considerações a generalização de Bernoulli para três células fica como abaixo:

$$p_{k_1, k_2 | n} = \frac{n!}{k_1! k_2! (n - k_1 - k_2)!} p_1^{k_1} p_2^{k_2} (1 - p_1 - p_2)^{n - k_1 - k_2} \quad (7)$$

Utilizando (7) e (3) chegasse à probabilidade condicional:

$$p_{k_1, k_2 | n} = \frac{n!}{k_1! k_2! (n - k_1 - k_2)!} \left(\frac{\gamma - \gamma^2}{2} \right)^{k_1} \times \gamma^{2k_2} \left(\frac{2 - \gamma - \gamma^2}{2} \right)^{n - k_1 - k_2} \quad (8)$$

Supondo N canais na célula, a probabilidade incondicional P_{k_1, k_2} é, portanto, dada por

$$P_{k_1, k_2} = \sum_{n=k_1+k_2}^N P_{k_1, k_2 | n} P_n \quad (9)$$

Para três células P_{k_1, k_2} é a probabilidade de se terem k_1 assinantes na condição de softhandoff na região de sobreposição entre duas células e k_2 assinantes na condição de softhandoff na região de sobreposição entre três células.

3.1. Canais Ativos e Distribuição de Erlang

Para N canais e um tráfego A a distribuição de Erlang é dada por

$$P_n = \frac{A^n / n!}{\sum_{i=0}^N A^i / i!} \quad (10)$$

Utilizando (8), (9) e (10) chegasse na probabilidade de canais ativos nas regiões de sobreposição entre duas e três células, dada por:

$$P_{k_1, k_2} = \sum_{n=k_1+k_2}^N \frac{n!}{k_1! k_2! (n - k_1 - k_2)!} \left(\frac{\gamma - \gamma^2}{2} \right)^{k_1} \times \gamma^{2k_2} \left(\frac{2 - \gamma - \gamma^2}{2} \right)^{n - k_1 - k_2} \frac{A^n / n!}{\sum_{i=0}^N A^i / i!} \quad (11)$$

3.2 Canais Ativos e Distribuição de Bernoulli

Supondo que os canais tenham uma atividade p e todos os canais sejam equiprováveis, a probabilidade de se terem n canais ativos em N é dada pela distribuição de Bernoulli, tal que

$$P_n = \binom{N}{n} p^n (1 - p)^{N - n} \quad (12)$$

Com a hipótese de canais equiprováveis a atividade p pode ser determinada como a razão entre o tráfego escoado e o número de canais. Assim,

$$p = \frac{A(1 - B)}{N} \quad (13)$$

onde B é a probabilidade de bloqueio.

Para três células utilizando Bernoulli para representar o comportamento de tráfego na célula chegasse a seguinte expressão

$$P_{k_1, k_2} = \sum_{n=k_1+k_2}^N \frac{n!}{k_1!k_2!(n-k_1-k_2)!} \left(\frac{\gamma-\gamma^2}{2}\right)^{k_1} \gamma^{2k_2} \times \left(\frac{2-\gamma-\gamma^2}{2}\right)^{n-k_1-k_2} \binom{N}{n} p^n (1-p)^{N-n} \quad (14)$$

Manipulando-se esta expressão chegasse a seguinte expressão

$$P_{k_1, k_2} = \frac{n!}{k_1!k_2!(n-k_1-k_2)!} \left[\frac{\gamma-\gamma^2}{2} \frac{A(1-B)}{N}\right]^{k_1} \times \left[\gamma^2 \frac{A(1-B)}{N}\right]^{k_2} \left[1 - \frac{A}{2N} (1-B)(\gamma + \gamma^2)\right]^{n-k_1-k_2} \quad (15)$$

A expressão (15) apresenta uma complexidade computacional bem menor que (14) otimizando o tempo de cálculo.

3.3. Comparação entre as Duas Abordagens

Como visto no item anterior, o uso da distribuição de Bernoulli simplifica de forma substancial a equação para o cálculo da probabilidade de assinantes em condições de soft handoff. Para o caso de duas células a comparação dos resultados está apresentado em [1]. Para três células esta verificação é mais complexa pois é necessário fixar o número de um dos valores, k_1 ou k_2 . A figura 2 apresenta os resultados para $k_2=0$ e variando k_1 .

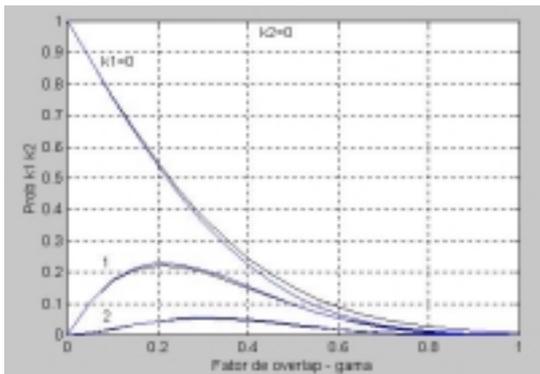


Figura 2 – Comparação Erlang versus Bernoulli

Pela figura 2 é possível verificar que a utilização de Bernoulli leva a resultados bastante próximos daqueles obtidos por Erlang.

4. PROBABILIDADE DE BLOQUEIO DE SOFTHANDOFF

O bloqueio de soft handoff diz respeito à chance de se estar em condição de soft handoff e não se encontrar canais disponíveis na outra célula para a realização do handoff. A probabilidade de bloqueio de handoff é calculada para três células considerando o caso onde o número de canais ocupados na célula alvo encontram-se em bloqueio. Esta é a condição em que dada uma célula alvo com um número total de canais N_T , onde N_T é a soma dos canais designados para tráfego interno, N , mais canais designados para atender tráfego de soft handoff, N_{HO} . Serão analisadas as condições em que o número de canais internos da célula alvo é excedido. O número de canais pode ser excedido seja para atendimento de tráfego da própria da célula alvo ou para atendimento de tráfego de soft handoff gerado pelas outras células. O cálculo da probabilidade de bloqueio de soft handoff é derivada da seguinte expressão:

$$prob = \sum_{q=1}^{N_T} \sum_{k_1^1=0}^{N_T} \sum_{k_2^1=0}^{N_T-k_1^1} \sum_{k_1^2=0}^{N_T} \sum_{k_2^2=0}^{N_T-k_1^2} P_{k_1^1, k_2^1} P_{k_1^2, k_2^2} P_{n=N_T-q+1} \quad (16)$$

onde k_x^y indica célula y e região x . As regiões são para sobreposição de 2 e 3 células.

Observar que esta expressão deve ser calculada desconsiderando as condições onde não existe bloqueio. Assim as parcelas com esta condição não devem ser consideradas. No cálculo esta condição de descartar se segue a regra:

$$\text{Se } k_1^1 + k_2^1 + k_1^2 + k_2^2 + n \leq N_T \text{ a parcela deve ser descartada}$$

Pelas expressões acima é possível observar que o cálculo da probabilidade de bloqueio de soft handoff é a somatória da multiplicação das probabilidades de canais ativos nas regiões de sobreposição e na célula alvo. Para as regiões de sobreposição é atendida exigência da soma de canais nas regiões de sobreposição devido a célula 1 ou 2 não ultrapassar N_T . Esta condição é conseguida fazendo as somatórias referentes as regiões de sobreposição de cada célula 1 ou 2 variarem de:

$$k_1^1 \text{ variando de } 0 \text{ a } N_T \text{ e } k_2^1 \text{ variando de } 0 \text{ a } N_T - k_1^1$$

$$k_1^2 \text{ variando de } 0 \text{ a } N_T \text{ e } k_2^2 \text{ variando de } 0 \text{ a } N_T - k_1^2$$

Com estas condições calcula-se a probabilidade de bloqueio de soft handoff. Observar que a

probabilidade de canais ativos na célula alvo pode ser determinado utilizando a distribuição de Erlang ou Bernoulli.

5. PROBABILIDADE DE OUTAGE

Ao se adicionarem canais aos canais nominais para fins de softhandoff, a ocupação destes canais pode levar a um aumento de interferência. A probabilidade de *outage* diz respeito à chance de o número de canais nominais serem excedidos. Seja N_T o número total de canais tal que $N_T - N$ corresponde ao número de canais acrescentados aos nominais. Supondo que as chamadas em condições de softhandoff permaneçam ativas mesmo na ausência de canais livres na outra célula, a probabilidade de outage é dada por

$$P_{out} = P_{BHO} + \sum_{q=N+1}^{N_T} \sum_{k_1^1=0}^q \sum_{k_2^1=0}^{q-k_1^1} \sum_{k_1^2=0}^{q-k_1^1-k_2^1} \sum_{k_2^2=0}^{q-k_1^1-k_2^1-k_1^2} P_{k_1^1, k_2^1} (17) \\ \times P_{k_1^2, k_2^2} P_{n=q-k_1^1-k_2^1-k_1^2-k_2^2}$$

6. RESULTADOS

Para demonstração do método foi considerada como condição nominal $N = 10$, $B = 2\%$ e, portanto, $A = 5.08\text{erl.}$, o último constituindo o tráfego aparente. Admitindo-se como primeira condição de apenas se acrescentarem canais aos canais nominais, os resultados são aqueles mostrados nas figuras 3 e 4, para a probabilidade de outage, e probabilidade de bloqueio de softhandoff respectivamente. Nesta condição variou-se o número de canais N_T de 11 a 14. Note que a probabilidade de outage é praticamente a mesma para os diversos valores de N_T . A probabilidade de bloqueio de softhandoff, no entanto, cai substancialmente à medida em que se acrescentam canais aos canais nominais. Para um fator de sobreposição de $\gamma = 40\%$ e $N_T = 14$ a probabilidade de outage é de 17% e a de bloqueio de softhandoff de 2%.

Se se deseja diminuir a probabilidade de outage deve-se diminuir o tráfego aparente. Esta é a segunda condição. Seja por exemplo, fixar-se N_T em 12. As figura 5 e 6 apresentam os resultados para a probabilidade de outage e bloqueio de softhandoff respectivamente. O novo tráfego aparente é calculado de acordo com o número de canais nominais desejados e a probabilidade de bloqueio de softhandoff requerida. Esta situação foi exercitada para $N = 10, 9, 8, 7$ e 6. Note agora que para o mesmo fator de sobreposição de 40% uma boa solução de compromisso seria $N = 9$ para o qual a

probabilidade de outage é de 8% e a de bloqueio de softhandoff é de 2%. O tráfego aparente neste caso é de 4,34 erl, que corresponde ao o tráfego efetivamente utilizado para o projeto de cobertura celular. Este procedimento pode ser seguido até que os requisitos de projeto de sistemas sejam satisfeitos.

7. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou uma nova metodologia para planejamento de sistemas CDMA. Nesta metodologia são consideradas as probabilidades de outage e de bloqueio de softhandoff na determinação do número de canais da célula. Em contraste com as metodologias existentes, esta proposta é simples, de fácil aplicação e pode ser utilizada para distribuições diversas de tráfego. Ela leva em consideração a probabilidade de outage e a probabilidade de bloqueio de softhandoff para se dimensionar o número de canais em uma dada célula, conhecendo-se a proporção de sobreposição entre células.

8. REFERÊNCIAS

- [1] Branquinho, Omar C., Yacoub M. D., Dimensionamento de Canais de Softhandoff em Sistemas CDMA, SBT - 1999, Vila Velha ES.
- [2] Viterbi, Adrew J. Principles of Spread Spectrum Communication, Addison-Wesley Publishing Company, 1995.
- [3] Yang, Samuel C., CDMA RF System Engineering, Artech House, 1998.
- [4] Guedes, L. G. R., Yacoub M. D., "Sobreposição entre células com restrição de cobertura", Journal of Microwaves Optoelectronics, vol. 1, nº 1, pp. 10-29, Maio 1997.
- [5] ----, "Boundaries between cells in Nakagami fading conditions", SBT/IEEE International Telecommunications Symposium, ITS94, Rio de Janeiro, August 94.

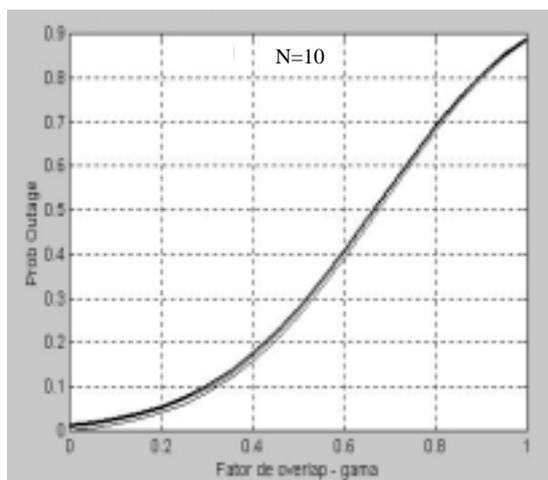


Figura 3 – Probabilidade de outage – primeira condição

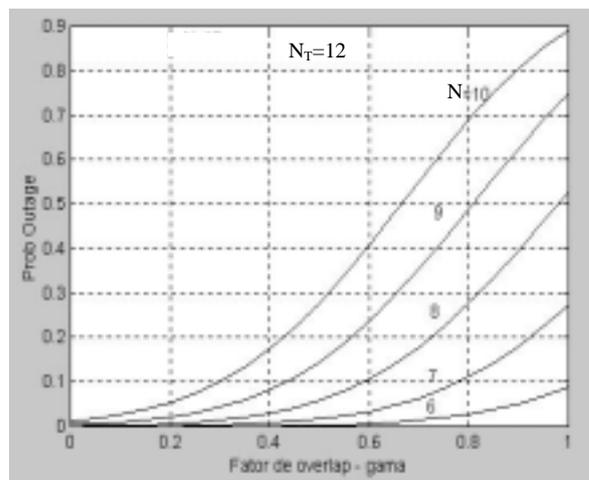


Figura 5 – Probabilidade de outage – segunda condição

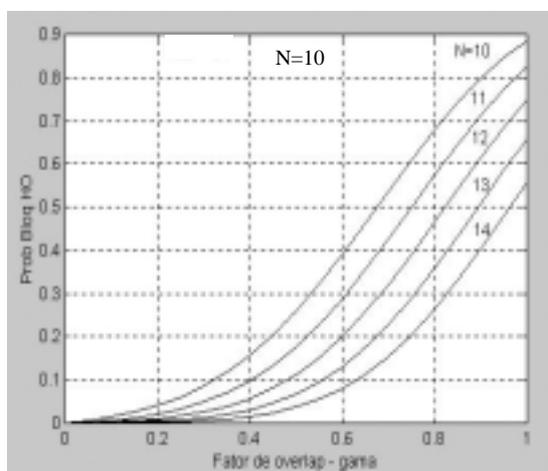


Figura 4 – Probabilidade de bloqueio de softhandoff – primeira condição

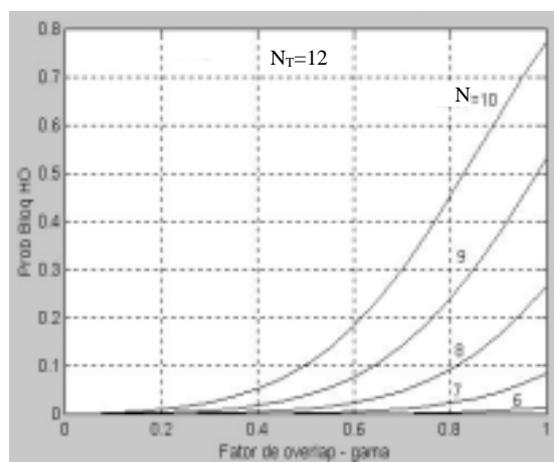


Figura 6 – Probabilidade de bloqueio de softhandoff - segunda condição