

## 6

# Reserva de Recursos em Sistemas Móveis de Uma Classe de Usuários com Duas Restrições de QoS

### 6.1

#### Introdução

Este capítulo considera o problema da reserva de recursos no controle de admissão em sistemas sem fio com duas restrições de qualidade de serviço. A classe de algoritmos considerada é a de reserva de recursos fracionados e limitados (*Limited Fractional Reserved Resources-LFGC*). Inicialmente é determinado o lugar geométrico das soluções para o problema de controle de acesso com duas restrições de qualidade de serviço (QoS). As restrições de QoS consideradas são os percentuais aceitáveis para o bloqueio de chamadas novas e de chamadas em *handoff*, dados pelo par  $(Q_{BN}; Q_{FH})$ .

A partir desse desenvolvimento são determinados o nível máximo de intensidade de tráfego em que é possível obter a solução e a quantidade de recursos a ser reservada em cada situação de mobilidade e de intensidade de tráfego de forma a maximizar a utilização do sistema. Essas considerações teóricas permitiram a proposta de um algoritmo de controle de admissão, *CAC7* (ou *CAC<sub>TB</sub>*), cuja operação, assim como os algoritmos já apresentados no capítulo anterior, se baseia em medidas em tempo real das condições de mobilidade e de tráfego.

O algoritmo proposto *CAC7* emprega uma tabela para determinar o número ideal de recursos a ser reservado dada a intensidade de solicitação de recursos e a taxa de mobilidade representados pelo par  $(\rho; \theta)$ . O desempenho do novo procedimento foi avaliado através de simulação e para que fosse possível comparar o seu comportamento com o de outras soluções existentes. Tal trabalho foi publicado na referência [66].

É comum encontrar na literatura procedimentos que asseguram maiores prioridades aos usuários em *handoff* em relação aos usuários que iniciam chamadas novas. No entanto, a reserva de recursos para *handoff* deve ser a menor possível para que se tenha uma máxima utilização dos re-

ursos. Uma implementação usual é o princípio da antecipação do bloqueio (*Early Blocking*) [20] através da adoção de banda de guarda ou canais de guarda. Essa técnica mantém uma dada quantidade de banda para o uso exclusivo das chamadas em *handoff*, enquanto os outros recursos são compartilhados entre as chamadas novas e as chamadas em *handoff*. Uma vez que é dado prioridade às sessões de *handoff* em relação às chamadas novas, a redução da probabilidade de falha em tentativas de *handoff*,  $P_{FH}$ , causa o aumento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas,  $P_{BN}$ .

Neste capítulo, consideramos o compromisso entre  $P_{FH}$  e  $P_{BN}$ . Parece claro que estes dois requisitos de qualidade de serviço (QoS) devem ser controlados pelo operador. Os resultados desenvolvidos neste trabalho utilizam algoritmos de canais de guarda fracionários (*Limited Fractional Guard Channel* - LFGC) que foram demonstrados como ótimos sob determinadas circunstâncias [81],[67].

O problema do controle de admissão com dois requisitos simultâneos de QoS, um para  $P_{BN}$  e outro separado para  $P_{FH}$ , pode ser representado pelo lugar geométrico das soluções para o número de recursos a serem reservados para o *handoff*. Esta solução é apresentada neste capítulo. Este desenvolvimento permite determinar o nível máximo de intensidade de tráfego em que é possível obter a solução e a quantidade de recursos a ser reservada, em cada situação de mobilidade e de intensidade de tráfego, de forma a maximizar a utilização do sistema. A partir destes resultados, algumas considerações gerais são feitas sobre o desempenho de algoritmos adaptativos versus aquele de procedimentos fixos. A seguir é proposto um algoritmo dinâmico de controle de acesso baseado em uma tabela pré-calculada que mostrou ter um desempenho muito bom. A análise do comportamento do algoritmo é complementada com um estudo comparativo com o desempenho de outros procedimentos existentes a partir da definição de uma nova medida de qualidade.

A organização deste capítulo é a seguinte: na seção 6.2 o modelo geral de Markov para políticas de controle de admissão é rapidamente revisto e a solução analítica para reserva fracionária é exemplificada. A seção 6.3 apresenta os conceitos e alguns resultados teóricos para o problema de controle de admissão com duas restrições de QoS. Na seção 6.4 um novo algoritmo dinâmico e distribuído para o problema de controle de admissão e seu desempenho é avaliado e comparado com outros procedimentos existentes. Na seção 6.5 é desenvolvida uma medida de desempenho com a qual são comparados os sete algoritmos de uma classe de usuários propostos neste trabalho. Finalmente, os comentários e as conclusões sobre

os resultados obtidos estão na Seção 6.6.

## 6.2

### Modelo Geral de Controle de Admissão

O tempo de retenção do canal (*Channel Holding Time - CHT*) é definido como o intervalo de tempo entre o instante em que o recurso da célula é alocado ao usuário, sendo ele um usuário novo ou um usuário que chega através de *handoff*, e o instante em que a chamada é terminada ou ocorre um *handoff* da sessão para outra célula vizinha.

Em [81] foi demonstrado que o tempo de retenção do canal pode ser modelado por uma variável aleatória exponencial mesmo quando o tempo de residência na célula segue uma distribuição Gamma. Neste capítulo, assumimos inicialmente que o tempo de retenção do canal é dado por uma distribuição exponencial decorrente de um tempo de permanência na célula também modelado por uma distribuição exponencial. Posteriormente são simuladas outras distribuições para o tempo de permanência do usuário na célula. Os cálculos referentes ao tempo de retenção do canal estão detalhados no apêndice A.

A chegada de chamadas novas e de chamadas em *handoff* são consideradas como Processos de Poisson com taxas médias  $\lambda_N$  e  $\lambda_H$ , respectivamente. A evolução do número de recursos ocupados em uma célula (ou setor) pode ser modelada por uma cadeia de Markov [67]. O espaço de estados é representado por  $S = \{0, 1, \dots, i, \dots, N_c\}$ , onde  $i$  é o número total de recursos na célula(ou setor), como mostrado na Figura 6.1.

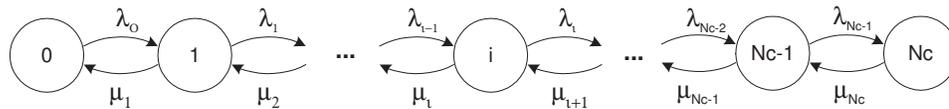


Figura 6.1: Cadeia de Markov

Uma estratégia geral para o controle de admissão é definida pelo conjunto de probabilidades  $a_{Ni}$  e  $a_{Hi}$  da aceitação de chamadas novas e de chamadas em *handoff*, respectivamente, quando o sistema está no estado  $i \in S$ . Portanto, a taxa média de chegada quando o sistema está no estado  $i$  é dada por:

$$\lambda_i = a_{Ni}\lambda_N + a_{Hi}\lambda_H \tag{6-1}$$

A mobilidade dos usuários está relacionada com o parâmetro  $\theta$  definido como:

$$\theta = \frac{\lambda_H}{\lambda_N} \quad (6-2)$$

Um valor maior  $\theta$  indica que, em média, o usuário faz muitos *handoffs* durante uma sessão de comunicação. A taxa de chegada no estado  $i$  pode ser expressa em termos de  $\theta$  como:

$$\lambda_i = \frac{\lambda}{1 + \theta} (a_{Ni} + \theta a_{Hi}) = \lambda \alpha_i(\theta) \quad (6-3)$$

A intensidade total de tráfego pode ser escrita como:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu N_c} = \frac{\lambda_N + \lambda_H}{\mu N_c} \quad (6-4)$$

O tempo médio de serviço em uma dada célula (ou setor) é assumido como sendo uma distribuição exponencial cujo parâmetro é  $\mu$ . No modelo da Figura 6.1 é assumido que:

$$\mu_i = i\mu, i = 1, 2, \dots, N_c \quad (6-5)$$

Por exemplo, um sistema de controle de admissão do tipo LFGC, definido em [15]-[67], pode ser representado por essa formulação atribuindo os seguintes valores para as probabilidades  $a_{Hi}$  e  $a_{Ni}$ :

$$a_{Hi} = 1, 0 \leq i \leq (N_c - 1) \quad (6-6)$$

$$a_{Ni} = \begin{cases} 1 & , 0 \leq i \leq (T - 2) \\ \beta & , i = (T - 1) \\ 0 & , T \leq i \leq (N_c - 1) \end{cases}$$

Essa estratégia pode ser otimizada para valores específicos de  $N_c$ ,  $\theta$  e  $\lambda$  através da escolha apropriada de  $T$  e  $\beta$ ,  $\beta \in [0, 1]$ , ou equivalentemente  $N_R = N_c - T + (1 - \beta)$ . As expressões para a probabilidade de bloqueio de chamadas novas ( $P_{BN}$ ) e da probabilidade de falha de *handoff* ( $P_{FH}$ ) para a estratégia *LFGC* são:

$$P_{FH}(\rho, \theta, T, \beta) = P_{FH}(\rho, \theta, N_R) = P_{N_c} \quad (6-7)$$

e

$$P_{BN}(\rho, \theta, T, \beta) = P_{BN}(\rho, \theta, N_R) = (1 - \beta)P_{T-1} + \sum_{j=T}^{N_c} P_j \quad (6-8)$$

Onde as probabilidades de estado  $P_j$  são dadas por:

$$P_j = \frac{\frac{\rho^j}{j!} \prod_{i=0}^{j-1} \alpha_i(\theta)}{\sum_{k=0}^{N_c} \frac{\rho^k}{k!} \prod_{i=0}^{k-1} \alpha_i(\theta)}, j = 1, 2, \dots, N_c \quad (6-9)$$

e  $\alpha_i(\theta)$  é definido na equação (6-3). Usando as equações (6-2) e (6-4) a utilização do sistema (célula ou setor) pode ser escrita como:

$$U(\rho, \theta, T, \beta) = \rho \left[ 1 - \frac{(P_{BN} + \theta P_{FH})}{(1 + \theta)} \right] \quad (6-10)$$

### 6.3

#### Abordagem Conceitual para o Problema de Reserva de Recursos com Duas Restrições de Qualidade de Serviço

Nas formulações usuais para o controle de admissão é assumido o desejo de minimizar  $P_{BN}$  ou  $P_{FH}$  em relação a uma restrição de qualidade de outro parâmetro. Neste trabalho assumimos que o objetivo é aumentar a qualidade de serviço atendendo simultaneamente a restrições de QoS tanto para as chamadas em *handoff*, quanto para as chamadas novas. Portanto, nosso objetivo é garantir que:  $P_{FH} \leq Q_{FH}$  e  $P_{BN} \leq Q_{BN}$ ; onde  $Q_{FH}$  e  $Q_{BN}$  são os valores máximos aceitáveis, definidos pela operadora, para as falhas de *handoff* e para o bloqueio de novas chamadas, respectivamente. A quantidade a ser maximizada pode ser, por exemplo, a utilização média  $U$  da célula ou sistema.

Observe que, para cada valor de  $\theta$  e  $\rho$ , há um valor mínimo de  $N_R$ ,  $N_R^-$ , tal que a restrição da probabilidade de falha de *handoff* é satisfeita, isto é,

$$N_R \geq N_R^-(\rho, \theta, N_c) \Rightarrow P_{FH}(\rho, \theta, N_R) \leq Q_{FH} \quad (6-11)$$

Da mesma forma, há um valor máximo para o número de recursos reservados para as chamadas em *handoff*,  $N_R^+$ , que garante que o requisito do bloqueio de chamadas novas é atendido:

$$N_R \leq N_R^+(\rho, \theta, N_c) \Rightarrow P_{BN}(\rho, \theta, N_R) \leq Q_{BN} \quad (6-12)$$

Considerando a definição de  $N_R^-$  e  $N_R^+$  conforme as equações (6-11) e (6-12), respectivamente, o conjunto de soluções para o problema de encontrar o número de recursos a serem reservados que atendem ambas as restrições de QoS é:  $N_R \in [N_R^-, N_R^+]$  onde  $N_R$ ,  $N_R^-$  e  $N_R^+$  são números reais. Deve ficar claro que o valor de  $N_R^-$  é uma função de  $Q_{FH}$ , e que o valor de  $N_R^+$  é determinado por  $Q_{BN}$ . Além disso, para  $\theta = 0$ , não existem solicitações de *handoff*, então  $P_{FH} = 0$  e a solução trivial  $N_R = N_R^- = N_R^+ = 0$  é única para todo  $\rho$  tal que  $P_{BN} = P_{N_c} \leq Q_{BN}$ .

É importante estabelecer algumas relações antes de prosseguir com esta análise. Em primeiro lugar, é fácil observar que  $P_{BN}$  e  $P_{FH}$  são funções crescentes de  $\rho$ ; uma vez que serão necessários mais canais exclusivos ao *handoff* para assegurar o mesmo valor  $P_{FH}$ , quando  $\rho$  cresce. Razões similares indicam que um número menor de recursos reservados pode ser tolerado para garantir que o requisito de bloqueio de usuários novos ainda seja atendido com o aumento de  $\rho$ . Destas observações deve ser registrado que  $N_R^-$  é uma função monótona e crescente enquanto que  $N_R^+$  é uma função monótona e decrescente com a intensidade de tráfego,  $\rho$ .

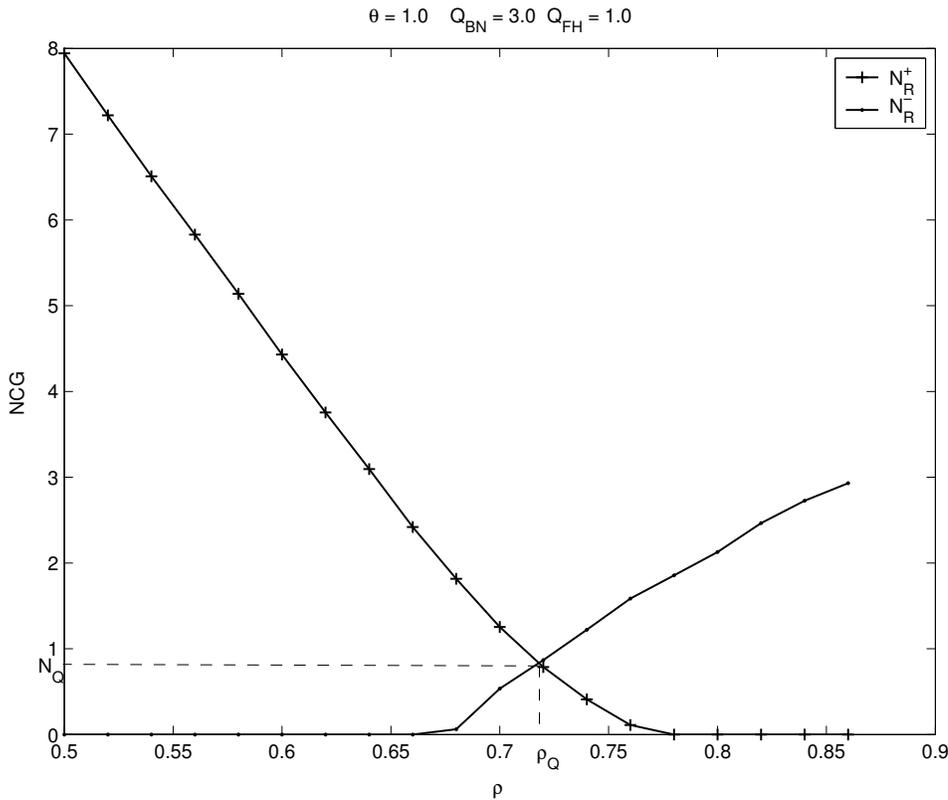


Figura 6.2: Comportamento de  $N_R^+$  e  $N_R^-$  com  $\rho$  para  $\theta = 1$  e  $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1)$

Vamos agora considerar a mobilidade  $\theta > 0$ . Pode-se notar facilmente

que para tráfegos muito pequenos não há necessidade de recursos reservados para o *handoff*, e a demanda de chamadas novas pode ser atendida com um número baixo de canais, ou:  $\lim_{\rho \rightarrow 0} N_R^+ = N_c$  e  $\lim_{\rho \rightarrow 0} N_R^- = 0$ . Também é possível perceber que  $\lim_{\rho \rightarrow \infty} N_R^+ = 0$  e  $\lim_{\rho \rightarrow \infty} N_R^- = N_c$ , isto é, ambas as classes de usuários necessitam de todos os recursos disponíveis para lidar com a alta demanda de tráfego. Então, à medida que  $\rho$  cresce,  $N_R^+$  diminui de  $N_c$  para 0 enquanto que  $N_R^-$  aumenta de 0 para  $N_c$ . Este comportamento implica que para um dado  $\theta > 0$  e um valor desejado para  $\mathbf{Q}$ , há um valor de  $\rho$ ,  $0 < \rho < \infty$ , tal que  $N_R^+ = N_R^-$ . Este valor único, aqui chamado de  $\rho_Q$ , é a maior intensidade de tráfego a qual o sistema pode ser submetido sem que nenhuma das duas condições de qualidade de serviço seja violada. Note que o problema do controle de admissão não possui solução para  $\rho \rightarrow \infty$  a menos que  $\mathbf{Q}(\%) = (Q_{BN}; Q_{FH}) = (1; 1)$ . O valor ótimo de número de recursos reservados é  $N_Q = N_R^+ = N_R^-$  que pode ser calculado computacionalmente por:

$$\frac{P_{FH}(\theta, \rho_Q, N_Q)}{Q_{FH}} = \frac{P_{BN}(\theta, \rho_Q, N_Q)}{Q_{BN}} = 1 \quad (6-13)$$

A figura 6.2 ilustra o comportamento de  $N_R^+$  e  $N_R^-$  como uma função de  $\rho$  para  $\theta = 1$ ,  $\mu = 120s$ , e  $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1)$ .

A tabela 6.1 apresenta valores de  $\mathbf{Q}$  e  $N_Q$  quando o parâmetro de mobilidade  $\theta$  varia de 0,2 a 10 para três pares de requisitos de qualidade, mantendo os mesmos valores de  $N$  e  $\mu$ . Deve ser observado que para os três valores de  $\mathbf{Q}$ , a máxima intensidade de tráfego que o sistema suporta sem violar os requisitos de QoS diminui com o aumento da mobilidade. Da mesma forma, o número de recursos reservados aumenta quando o parâmetro de mobilidade aumenta. Este comportamento é esperado uma vez que, para atender o aumento de solicitações de *handoff*, no cenário em que  $Q_{FH} < Q_{BN}$ , há necessidade de reservar mais canais para o uso exclusivo das chamadas que estão fazendo o *handoff*, portanto reduzindo a utilização média do sistema.

A linha horizontal na figura 6.2 exemplifica o comportamento de uma estratégia de controle de admissão fixa onde o número de recursos reservados é  $N_R = 0,834$ , ou seja o valor ótimo para os parâmetros  $\theta = 1$ ,  $N_c = 30$  e  $\rho = \rho_Q$ . No entanto, a Tabela 6.1 mostra que para outros valores do par  $(\rho, \theta)$  o valor de  $N_R = N_Q$ , que permite que o sistema atenda à maior demanda de tráfego sem que os objetivos de qualidade de serviço sejam excedidos, varia bastante. Este comportamento sugere que seja buscado um procedimento de controle de admissão dinâmico que permita ajustar  $N_R$  em função de valores medidos ou estimados de  $\theta$  e  $\rho$ , já que durante a operação de um

Tabela 6.1: Valores de  $\rho_Q$  e  $N_Q$  para três conjuntos de requisitos de qualidade  $Q$  (expressos em porcentagem) e parâmetro de mobilidade  $\theta$  variando de 0,2 a 10.

$\theta$	$\rho_{Q(5;3)}$	$N_{Q(5;3)}$	$\rho_{Q(3;1)}$	$N_{Q(3;1)}$	$\rho_{Q(1;0,5)}$	$N_{Q(1;0,5)}$
0,2	0,808	0,370	0,740	0,662	0,661	0,426
1	0,793	0,417	0,718	0,834	0,652	0,489
2	0,785	0,445	0,705	0,972	0,647	0,532
4	0,778	0,480	0,695	1,086	0,642	0,571
6	0,774	0,514	0,690	1,130	0,639	0,603
8	0,771	0,535	0,687	1,158	0,636	0,659
10	0,769	0,551	0,686	1,175	0,634	0,700

sistema celular espera-se que estes parâmetros variem consideravelmente ao longo do dia. Um algoritmo dinâmico para este problema irá determinar um valor de  $N_R(t) \in [N_R^+, N_R^-]$  para  $0 \leq \rho \leq \rho^*$ , onde  $\rho^* \leq \rho_Q$  é o maior valor de intensidade de tráfego  $\rho$  que permite que as condições desejadas  $Q$  de qualidade de serviço sejam atendidas. Vale ainda ressaltar que, se for assumido como objetivo a maximização da utilização do sistema, respeitando as restrições  $Q$ , então o algoritmo de admissão deve manter  $N_R(t) = N_R^-(\theta, \rho, N_c)$  à medida em que  $\rho$  e  $\theta$  variam com o tempo. Esta afirmativa é verdadeira, pois ao utilizar o menor número possível de recursos reservados para *handoff* que permita satisfazer  $Q$  deixará disponível a maior quantidade possível de canais livres que podem ser alocados pela totalidade do tráfego de entrada. Esta política permite a maior utilização dos recursos de acordo com as restrições impostas. Deve-se notar que a solução fixa da figura 6.2 não atenderia este princípio para situações de  $\rho$  variável já que se afasta em muito da curva correspondente a  $N_R^-$ .

A próxima Seção apresenta um algoritmo baseado em tabelas cujo objetivo é que o número de recursos reservados  $N_R(t)$  seja o mais próximo possível de  $N_R^-(\theta, \rho, N_c)$  para uma ampla gama de valores de  $\rho$ .

## 6.4

### Algoritmo Dinâmico para Controle de Admissão com Duas Restrições de Qualidade de Serviço, CAC7

O algoritmo de controle de admissão de chamadas *CAC7* ou *CAC<sub>TB</sub>*, proposto neste capítulo, é baseado no conceito do número ótimo de recursos a serem reservados,  $N_R$ , para cada cenário. O par de requisitos de QoS ( $Q_{BN}; Q_{FH}$ ) e as condições de tráfego ( $\rho; \theta$ ) definem o cenário. Neste algoritmo, os requisitos de QoS,  $Q$ , determinam uma tabela com os valores ótimos de  $N_R$  para cada par  $(\rho_i; \theta_j)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n_t$  e  $j = 1, 2, \dots, n_m$ . Os

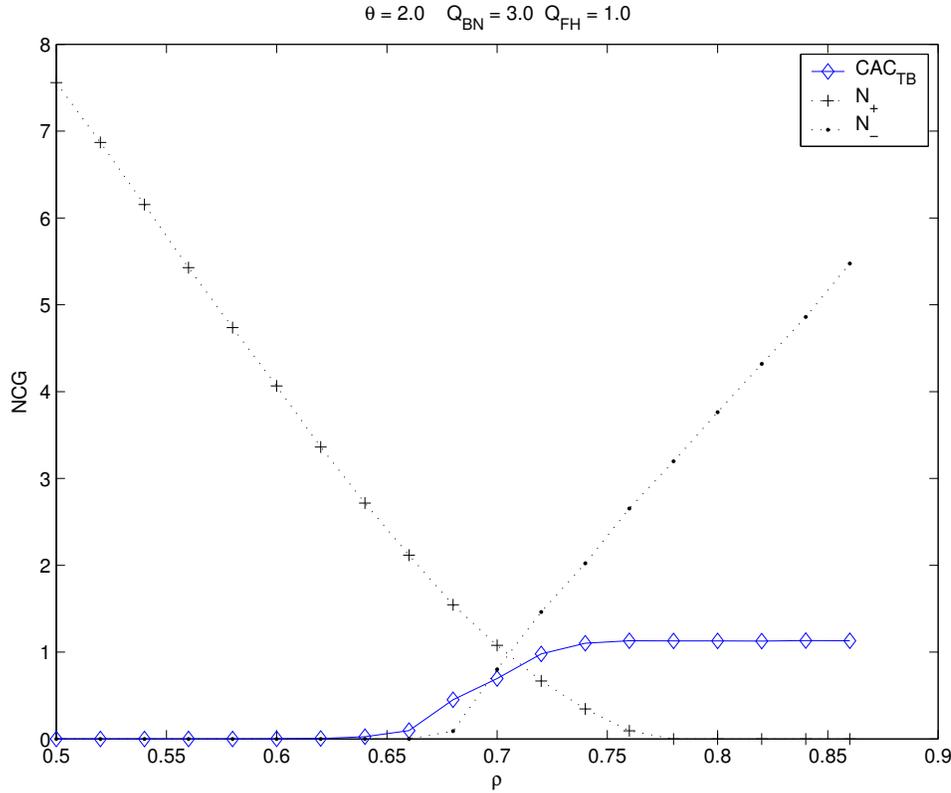


Figura 6.3: Comportamento de  $N_R^+$  e  $N_R^-$  com  $\rho$  para  $\theta = 2$  e  $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1)$ .

valores de  $n_t$  e  $n_m$  bem como da gama de variação dos valores de  $\rho$  e  $\theta$  dependem da variação esperada destes parâmetros na operação real do sistema. A tabela utilizada possui  $n_t = 201$  colunas com os valores de  $\theta_i$  variando igualmente espaçados no intervalo  $[0; 10]$  e  $n_m = 201$  linhas aonde os valores de  $\rho_i$  satisfizeram a regra de formação  $\rho_i = \rho_{min} + i\Delta$ ,  $i = 1, 2, \dots, n_m$  com  $\rho_{min} = 0,5$  e  $\Delta = 0,005$ , para que seja possível observar no gráfico a necessidade de subida do valor de N. O cálculo da tabela é feito antes de ser iniciada a operação do sistema. Com isso os cálculos dos valores ótimos instantâneos de  $N_R(t)$  podem ser feitos de forma rápida e também reduzindo a demanda sobre a capacidade de processamento da ERB.

Para que o algoritmo possa ter bom desempenho é necessário fazer medidas dos valores de  $\theta$  e  $\rho$  durante a operação da rede. Nos resultados de simulação aqui apresentados as medidas dos valores de  $\theta$  e  $\rho$  são feitas através do registro das tentativas de alocação dos usuários novos e de *handoff* em janelas deslizantes no decorrer de toda a operação do sistema. A medida de  $\theta$  é feita pela razão da contagem de usuários em *handoff* e de usuários novos nas respectivas janelas que são preenchidas em um mesmo intervalo de tempo. A medida da intensidade de tráfego é feita pela contagem total dos

usuários no mesmo intervalo de tempo. O intervalo de tempo necessário para que tais medidas fossem confiáveis foi ajustado pelo conhecimento do valor real introduzido na simulação. No entanto, procedimentos mais sofisticados para a medida de  $(\rho; \theta)$  podem ser empregados inclusive com informações obtidas através de técnicas de previsão de movimento.

Cada sistema (célula ou setor) realiza individualmente suas próprias medidas. Periodicamente as medidas são atualizadas e o valor ótimo de  $N_R$  é consultado na tabela para o par  $(\rho, \theta)$  instantâneo obtido das janelas de registros dos usuários. Portanto, o controle de admissão é distribuído, isto é, cada sistema define qual a quantidade de recursos a ser reservada de acordo com as suas próprias medidas de intensidade de tráfego,  $\rho$ , e de mobilidade de seus usuários,  $\theta$ .

O desempenho de  $CAC_{TB}$  (ou  $CAC7$ ) é ilustrado nas Figuras 6.3 a 6.5 para três diferentes valores de  $\theta$  e de pares de restrições  $\mathbf{Q}$ . Para obtenção destes resultados a simulação utiliza uma célula que contém três setores que são sistemas independentes, cada setor possui um total de  $N_c = 30$  canais. As chamadas possuem duração média de  $\mu = 120s$ . As figuras também incluem as curvas para os limitantes  $N_R^-$  e  $N_R^+$ .

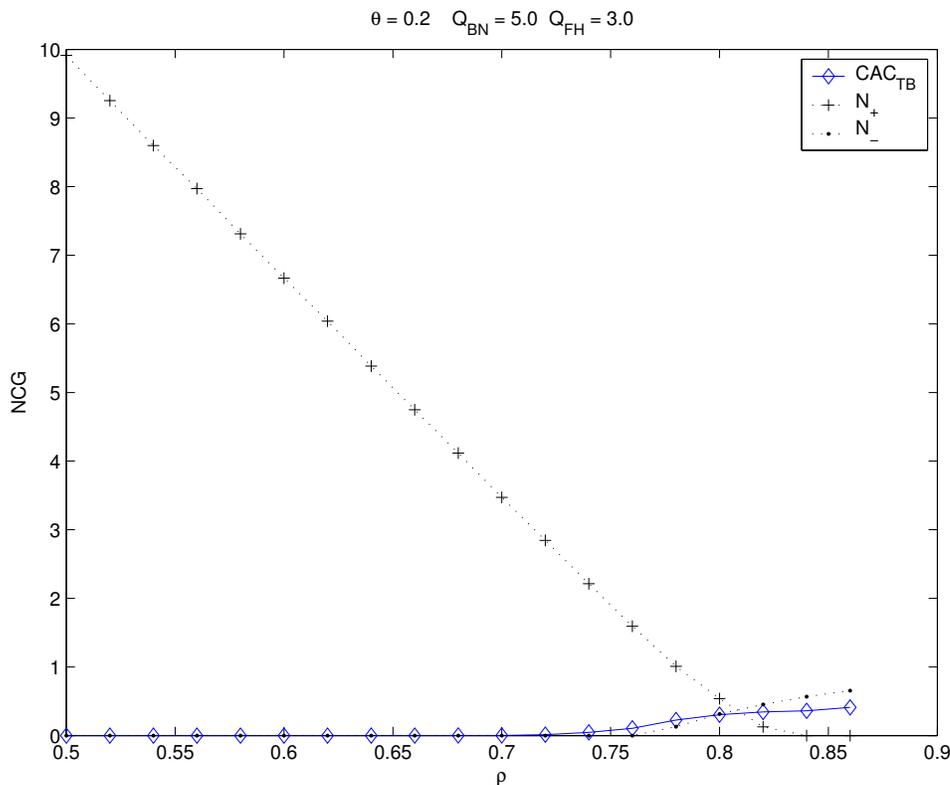


Figura 6.4: Comportamento de  $N_R^+$  e  $N_R^-$  com  $\rho$  para  $\theta = 0,2$  e  $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$ .

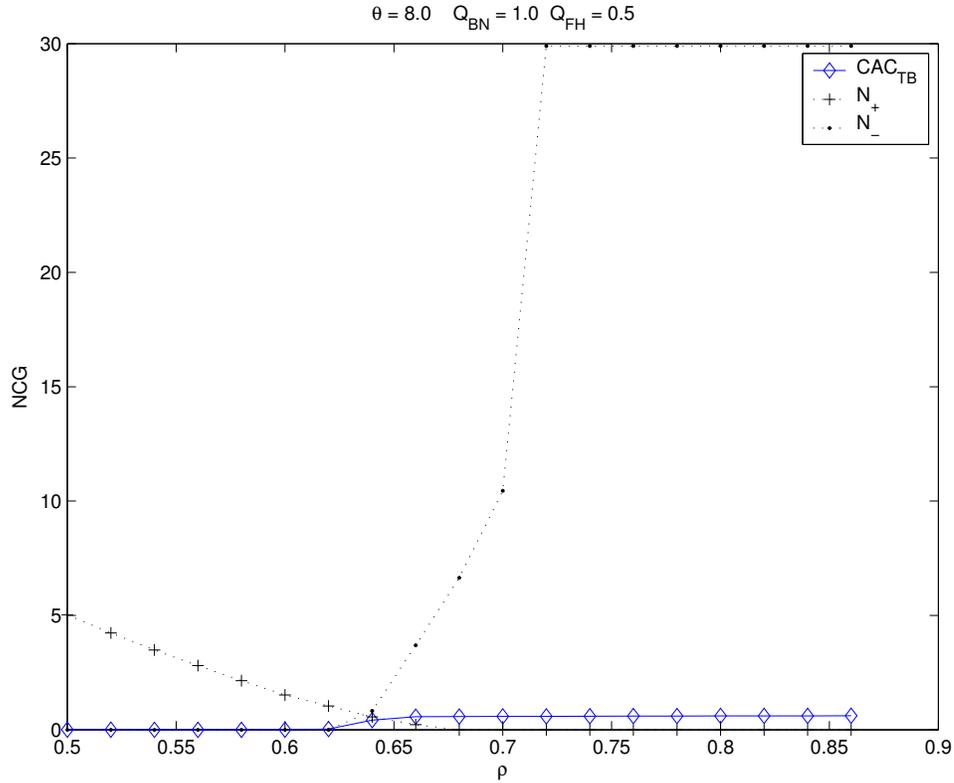


Figura 6.5: Comportamento de  $N_R^+$  e  $N_R^-$  com  $\rho$  para  $\theta = 8$  e  $\mathbf{Q}(\%) = (1; 0, 5)$ .

Como pode ser visto, para as três situações ilustradas o algoritmo baseado em uma tabela pré-calculada consegue acompanhar a curva ótima representada por  $N_R^-$  para grande faixa de valores de  $\rho$ . Apenas na região onde a curva se afasta de zero, erros mais perceptíveis ocorrem. Mesmo assim, essa é uma região bastante pequena. A quantificação deste erro é feita na equação (6-14) pela definição do parâmetro M.

Note-se ainda que o ponto  $\rho^*$  onde a curva correspondente ao  $CAC_{TB}$  cruza a curva  $N_R^-$ , ou seja deixa de satisfazer as duas restrições de QoS é muito próximo da intensidade de tráfego máxima  $\rho_Q$  em todos os três casos. Resultados semelhantes foram obtidos para outros valores de  $\theta$  para cada um dos valores de  $\mathbf{Q}$  considerados. Espera-se encontrar resultados ainda melhores se métodos mais sofisticados para estimar  $\theta$  e  $\rho$  forem empregados.

A seguir, uma nova medida é proposta para um cenário aonde se busca simultaneamente maximizar a utilização ( $U$ ) e atender as restrições de qualidade de serviço especificadas.

## 6.5 Medida

Para manter o sistema dentro dos limites de QoS e simultaneamente obter a maior utilização, o objetivo é manter o número de recursos reservados,  $N_R(t)$ , o mais próximo possível do valor ótimo,  $N_R^-$ , enquanto houver solução possível, ou seja:  $\rho < \rho_Q$ . Nesta seção pretende-se definir uma medida capaz de avaliar a proximidade entre o valor de recursos definido pelo algoritmo  $N_R$  e o valor ótimo definido por  $N_R^-$ .

A medida  $M$  aqui proposta é expressa por:

$$M = \frac{|N_R - N_R^-|}{|N_R^+ - N_R^-|} \quad (6-14)$$

Note-se que na definição da medida em (6-14), foi incluído o denominador de  $M$  como um parâmetro de normalização correspondente à distância entre  $N_R^-$  e  $N_R^+$  determinada para cada valor de intensidade de tráfego e de mobilidade dos usuários ( $\rho; \theta$ ) pelos requisitos de QoS,  $Q_{FH}$  e  $Q_{BN}$ , respectivamente. Ou seja, o parâmetro de normalização corresponde à distância entre os limitantes inferior e superior do lugar geométrico das soluções viáveis. Desta forma, se  $N_R$  estiver dentro da região adequada no intervalo  $[N_R^-; N_R^+]$  o valor de  $M$  estará no intervalo  $[0, 1]$ , sendo que quanto **menor** o seu valor **melhor** é o desempenho.

As Tabelas 6.2 a 6.4 apresentam os valores de  $M$  obtidos para o desempenho do  $CAC7$  ou ( $CAC_{TB}$ ) para três diferentes pares de restrições de QoS. Para comparação e balizamento, as tabelas também incluem os valores de  $M$  para soluções do problema de controle de admissão com um número fixo de recursos reservados. Duas situações foram consideradas  $N_R(t) = 1$  e  $N_R(t) = 0,5$ . Finalmente são ainda apresentados resultados de desempenho para o algoritmo  $CAC3$  (ou  $CAC_{DF}$  Controle de Admissão de Chamadas Dinâmico e Fracionário) que foi proposto no capítulo anterior e publicado na referência [64].

Como pode ser visto nas tabelas 6.2 a 6.4, o  $CAC_{TB}(CAC7)$  apresenta o menor valor médio,  $\bar{M}$ , para todos os três casos de  $\mathbf{Q}$  considerados. O seu desempenho é bastante superior ao dos procedimentos fixos. O comportamento do  $CAC_{DF}(CAC3)$  também é muito bom embora inferior ao do  $CAC_{TB}(CAC7)$ . O desempenho do  $CAC_{DF}(CAC3)$  é ainda mais significativo, pois o mesmo não foi concebido explicitamente para acompanhar a curva de  $N_R^-$ .

Tabela 6.2: Comportamento de M para  $Q(\%) = (3; 1)$ .

$\theta$	$CAC_{TB}$	$CAC_{DF}$	$0,5CG$	$1,0CG$
0,2	0,018	0,024	0,099	0,268
1	0,023	0,040	0,119	0,290
2	0,063	0,148	0,226	0,324
4	0,031	0,029	0,149	0,309
6	0,036	0,031	0,150	0,320
8	0,030	0,035	0,149	0,325
10	0,030	0,043	0,146	0,327
$\bar{M}$	0,033	0,050	0,148	0,309

Tabela 6.3: Comportamento de M para  $Q(\%) = (5; 3)$ .

$\theta$	$CAC_{TB}$	$CAC_{DF}$	$0,5CG$	$1,0CG$
0,2	0,015	0,051	0,181	0,457
1	0,012	0,036	0,196	0,428
2	0,026	0,056	0,233	0,578
4	0,016	0,063	0,204	0,407
6	0,014	0,081	0,212	0,425
8	0,014	0,092	0,217	0,434
10	0,009	0,112	0,220	0,440
$\bar{M}$	0,015	0,070	0,209	0,453

## 6.6 Conclusão

Este capítulo abordou o problema de controle de admissão com duas restrições de qualidade de serviço e tempo de retenção do recurso de rádio por uma chamada com distribuição exponencial. Foi apresentado um método que permite calcular, para um determinado perfil de mobilidade, a intensidade de tráfego máxima à qual o sistema pode ser submetido sem violar os valores de qualidade de serviço estabelecidos. Este método permite não só identificar o número de recursos de rádio que deve ser reservado para garantir a operação no ponto de tráfego máximo,  $(N_Q, \rho_Q)$ , mas também a quantidade de recursos a ser reservada para diferentes valores de intensidade de tráfego, se o objetivo almejado é maximizar a utilização do sistema. Foi então proposto um algoritmo,  $CAC_{TB}$ , dinâmico e distribuído, baseado em medidas em tempo real, cujo objetivo é acompanhar essa curva ótima de valores de número de recursos reservados,  $(N_R^-, \rho)$ , quando a intensidade de tráfego na rede e demanda por *handoff* variam. O desempenho deste novo procedimento foi avaliado por simulação, tendo sido verificado que o mesmo tem excelente desempenho para diversos valores do parâmetro de mobilidade e pares de restrições de qualidade de serviço, de acordo com a

Tabela 6.4: Comportamento de  $M$  para  $Q(\%) = (1; 0, 5)$ .

$\theta$	$CAC_{TB}$	$CAC_{DF}$	$0,5CG$	$1,0CG$
0,2	0,246	0,745	0,431	2,207
1	0,025	0,025	0,227	0,493
2	0,035	0,048	0,248	0,584
4	0,078	0,266	0,226	0,857
6	0,008	0,023	0,222	0,445
8	0,005	0,033	0,226	0,452
10	0,005	0,040	0,228	0,456
$\bar{M}$	0,058	0,168	0,258	0,785

medida  $M$ . O comportamento do novo algoritmo foi também comparado com aquele de algoritmos fixos e com o de outro procedimento dinâmico proposto anteriormente pelos autores,  $CAC_{DF}$ . Essa comparação foi feita através da definição de uma nova métrica  $M$  que reflete a distância entre o resultado apresentado por um particular algoritmo e a curva ótima de desempenho. Foi mostrado que o desempenho do novo procedimento é superior ao das outras opções. No entanto, o comportamento do algoritmo dinâmico  $CAC_{DF}$  é também bastante bom. Tais resultados foram publicados na referência [66].

No capítulo seguinte são comparados os desempenhos dos sete algoritmos propostos para uma classe de usuários quando se considera o tempo de permanência do usuário na célula como sendo uma exponencial. Além disto, também é avaliado o desempenho dos algoritmos propostos para outras distribuições de tempo de permanência do usuário na célula.