PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

7
Desempenho dos Algoritmos de uma Classe de Usuários em Relação à Distribuição que Representa o Tempo de Permanência do Usuário na Célula

Neste capítulo os sete algoritmos de controle de admissão propostos para uma classe de usuários são testados e comparados. São verificados o comportamento em relação à taxa de mobilidade; aos requisitos de qualidade de serviço; e à distribuição que representa o tempo de permanência do usuário na célula.

Ao modelar o tempo de retenção do canal por um terminal que se encontra em determinada célula, a grande maioria dos trabalhos publicados utiliza uma distribuição exponencial. Na realidade, no caso das redes móveis, o tempo de retenção do canal *(channel holding time)* pode ser definido como no Apêndice A pelo menor valor entre a duração da chamada *(call duration)* e o tempo de permanência do usuário na célula *(dwell time)*.

Na referência [54] os autores consideram que o tempo de permanência do usuário na célula é dado por uma distribuição exponencial. Em [41] os autores citam o fato de que outras distribuições podem ser utilizadas para modelar o tempo de permanência sem no entanto experimentá-las. Neste capítulo estendemos o trabalho feito em [54], considerando além da distribuição exponencial, as distribuições constante, uniforme e Weibull para o tempo de permanência do usuário na célula. O tempo de duração da chamada é modelado por distribuição exponencial.

Os cálculos dos parâmetros da distribuição do tempo de permanência do usuário na célula e do tempo de retenção do canal constituem parte deste trabalho de tese e se encontram no Apêndice A.

O valor médio do tempo de retenção do canal, $E[t_{ch}]$, depende da razão entre valor médio do tempo de permanência do usuário na célula, $E[t_{dw}]$, e o valor médio do tempo de duração da chamada, $E[t_c]$. Esta razão é definida neste trabalho como $Y = \frac{E[t_{dw}]}{E[t_c]}$.

Para obter o valor de Y correspondente às quatro distribuições consideradas para o tempo de permanência, estendemos o desenvolvimento feito

na referência [54] que considera apenas a distribuição exponencial. Desta forma, as distribuições que modelam o tempo de permanência do usuário na célula têm os seus parâmetros relacionados ao parâmetro de mobilidade θ e com os valores de percentuais de bloqueio de novas chamadas e de falhas de *handoff*. Este desenvolvimento é apresentado no Apêndice A.

Este capítulo está dividido de acordo com os resultados de desempenho dos algoritmos para cada uma das distribuições que representam o tempo de permanência do usuário na célula. Na seção 7.1 são apresentados os parâmetros utilizados para comparar o desempenho dos algoritmos. Na seção 7.2 estão os resultados obtidos para a distribuição exponencial, que possui solução analítica para o caso de número fixo de canais de guarda. Nas seções 7.3; 7.4 e 7.5 são apresentados os resultados para as distribuições constante, uniforme e Weibull, respectivamente. São variados os requisitos de qualidade de serviço, testando pares diferentes para os valores aceitáveis de percentual de bloqueio de chamadas novas e percentual de falha de chamadas em *handoff* : $(Q_{BN}\%; Q_{FH}\%) \in \{(5;3);(3;1);(1;0,5);(4;0,4)\}$. E, finalmente, a taxa de mobilidade θ assume os valores $\{0,2; 0,5; 1; 2; 4; 6; 8\}$. As conclusões sobre os resultados estão na seção 7.6.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

7.1 Parâmetros de Desempenho

Com o intuito de comparar o desempenho dos algoritmos, três métricas foram definidas neste trabalho. As métricas são: a medida **M**, definida na equação (6-14), o parâmetro **I**, definido na equação (5-6) e o parâmetro **F**, definido neste capítulo pela função dada em (7-1).

O parâmetro **F** considera a proximidade entre cada requisito de QoS e a respectiva Probabilidade de Bloqueio medida. Os termos de proximidade de chamadas novas e de chamadas em *handoff* são somados, ponderando o termo das chamadas em *handoff* pela taxa de mobilidade θ. Para baixa intensidade de tráfego de entrada, $\rho < \rho_Q$, as probabilidades de bloqueio de chamadas novas e de *handoff* são baixos e o valor de **F** é máximo. À medida que as probabilidades alcançam seus limites de QoS, o parâmetro assume o valor nulo, $F(\rho > \rho_Q) = 0$. Quanto **maior F**, melhor, e quanto maior o valor de ρ antes de **F** chegar a zero, melhor.

$$F(\rho) = (Q_{BN} - P_{BN}) + \theta(Q_{FH} - P_{FH}), \rho < \rho_Q \tag{7-1}$$

Para que se possa distinguir qual requisito de QoS foi infringido, as equações (7-2), (7-3) e (7-4) apresentam valores diferentes e em torno de zero, para cada um dos requisitos de QoS que tenha sido ultrapassado.

$$F(\rho) = 0, (Q_{FH} - P_{FH}) < 0 \tag{7-2}$$

$$F(\rho) = -0.1, (Q_{BN} - P_{BN}) < 0 \tag{7-3}$$

$$F(\rho) = -0.2, ((Q_{BN} - P_{BN}) < 0) e ((Q_{FH} - P_{FH}) < 0) \tag{7-4}$$

A medida **M** representa o afastamento do número de canais de guarda utilizado pelo algoritmo em relação ao valor ideal, calculado analiticamente no caso exponencial. Quanto **menor M** melhor.

O parâmetro **I** é dado pela razão entre o valor máximo de intensidade de tráfego alcançado pelo algoritmo dentro dos requisitos de qualidade de serviço, considerando cada uma das distribuições propostas para o tempo de permanência e o valor ρ_Q^* ideal do caso da distribuição exponencial. É interessante observar que o parâmetro **I** possui como denominador o termo ρ_Q^* da distribuição exponencial; no entanto, seu valor serve para comparar o desempenho, dos algoritmos em qualquer distribuição, já que o denominador é o mesmo para todos os algoritmos. Portanto, **o maior valor de I** representa um melhor desempenho pois indica que o algoritmo alcança uma intensidade de tráfego maior dentro dos limites estabelecidos pelos requisitos de QoS.

Convém relembrar que os algoritmos apresentam objetivos diferentes. O algoritmo $CAC1$ visa favorecer as chamadas em *handoff* monitorando apenas as suas falhas individuais e não a medida de percentual de falhas de chamadas em *handoff*,B_{FH}. O algoritmo aumenta e diminui o número de recursos reservados no setor de acordo com as falhas de chamadas em *handoff* e com a medida de bloqueio de chamadas novas,B_{BN}.

O algoritmo $CAC2$ verifica ambas as medidas de percentual de falhas de chamadas em *handoff*, B_{FH}, e de bloqueio de chamadas novas, B_{BN}. O algoritmo aumenta e diminui o número de recursos reservados no setor de acordo com ambas as medidas.

O objetivo do algoritmo $CAC3$ é manter a medida instantânea de falha de *handoff* logo abaixo do seu requisito de QoS, Q_{FH}. Seu objetivo é atender o requisito Q_{FH} e aumentar a utilização dos recursos, admitindo até o valor máximo aceitável de falhas de chamadas em *handoff*.

A probabilidade de sobrecarga do sistema, P_0, e a estimativa da taxa de

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

mobilidade, θ, são introduzidos no quarto algoritmo proposto, $CAC4$, além das já conhecidas medidas B_{BN} e B_{FH}. Os acréscimos e decréscimos dos recursos reservados em cada setor são feitos periodicamente identificando as possibilidades de sobrecarga do sistema.

No quinto algoritmo, $CAC5$, não há a utilização explícita de reserva de recursos. Os usuários são aceitos, ou não, de acordo com uma probabilidade que é função das medidas θ, B_{BN} e B_{FH}. Em alguns casos o algoritmo é análogo à reserva de recursos para os usuários em *handoff* e em outros casos corresponde à reserva para usuários novos.

Na análise dos resultados observou-se que, para atender simultaneamente a dois requisitos de QoS, é necessário que ambos requisitos sejam atendidos até o mesmo valor de intensidade de tráfego de entrada máximo, ρ_Q. O algoritmo $CAC6$ foi definido utilizando a reserva de recursos cujo valor é alterado nas proximidades dos limites de QoS procurando manter ambas as medidas B_{BN} e B_{FH} abaixo dos requisitos Q_{BN} e Q_{FH}.

Através do cálculo analítico por cadeia de Markov, é possível calcular o valor ideal de recursos a ser reservado em cada condição de tráfego definida pelo par $(intensidade, mobilidade) = (\rho, \theta)$ se o tempo de permanência do usuário na célula é modelado por uma distribuição exponencial. No algoritmo $CAC7$, estes valores de número de canais de guarda são calculados e armazenados em uma tabela que é consultada pelo sistema. Há a estimativa dos valores de (ρ, θ) e, após a consulta a tabela, são definidos os valores a serem reservados em cada situação de perfil de tráfego.

Portanto, embora todos algoritmos sejam dinâmicos e trabalhem com o conceito de reserva de recursos, seus objetivos são diferentes. Nas seções seguintes os algoritmos são testados assumindo diferentes distribuições para o tempo de permanência do usuário na célula.

7.2 Distribuição Exponencial para o Tempo de Permanência na Célula

O primeiro caso a ser verificado é aquele em que o tempo de permanência do usuário na célula é dado por uma distribuição exponencial. Considerando o tempo de duração da chamada como uma distribuição exponencial, o tempo de retenção do canal também resulta em uma distribuição exponencial. Este caso é amplamente utilizado na bibliografia e possui solução analítica para o número fixo de canais de guarda.

O caso de distribuição exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula, requisitos de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1)$ e taxa de mobilidade

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

baixa ($\theta = 0,2$) tem seus resultados apresentados nas figuras 7.1, 7.2 e 7.3. Na figura 7.1 tem-se as curvas de número de canais de guarda versus intensidade de tráfego de entrada onde nota-se que a curva referente a $CAC7$, por característica de projeto, é a mais próxima a curva ideal N_R^-. O algoritmo $CAC4$ também apresenta um número de canais reservados próximo, por isso os algoritmos $CAC4$ e $CAC7$ apresentam os melhores resultados quanto à medida M, apresentados na figura 7.10.

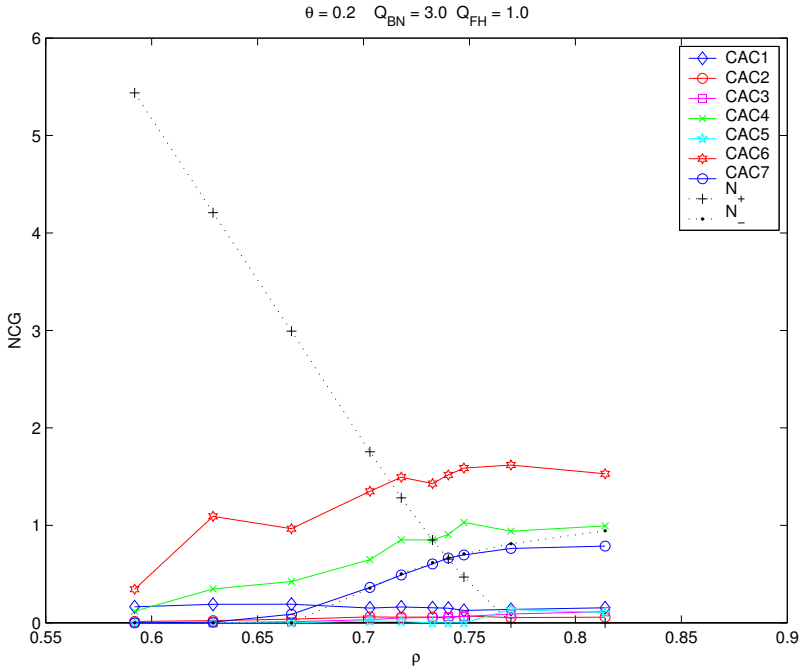

Figura 7.1: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0,2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (3;1)$, tempo de permanência exponencial.

As curvas de P_{BN} e P_{FH} dos algoritmos $CAC4$ e $CAC7$ passam próximas aos limites de QoS, conforme se observa nas figuras 7.2 e 7.3, onde são apresentadas as curvas de P_{BN} e P_{FH}, tanto dos valores analíticos apresentados pelos números fixos de canais de guarda (curvas pontilhadas), como também as curvas de desempenho apresentadas pelos algoritmos propostos. O objetivo é manter ambas as curvas de P_{BN} e P_{FH} abaixo dos requisitos de QoS, indicados na figura, para a maior intensidade de tráfego de entrada possível. Os limites são calculados analiticamente pelo ponto de cruzamento das linhas de N_R^+ e N_R^- da figura 7.1 e indicados pelas linhas verticais nas figuras 7.2 e 7.3. Os algoritmos $CAC4$ e $CAC7$ apresentam os maiores valores de intensidade de tráfego dentro dos limites de QoS: $\rho_Q^{CAC4} = 0.6825$ e $\rho_Q^{CAC7} = 0.6846$. Os parâmetros I são respectivamente

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

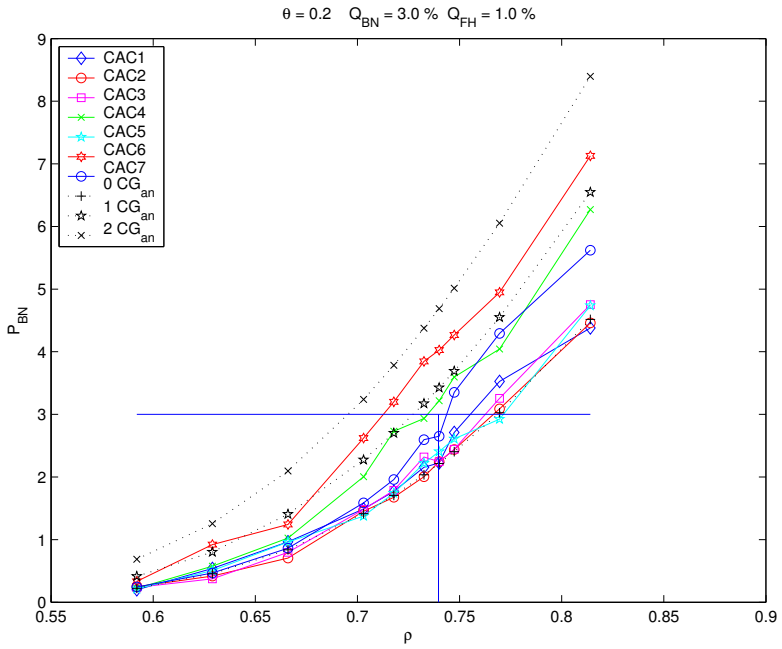

Figura 7.2: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0,2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (3;1)$, tempo de permanência exponencial.

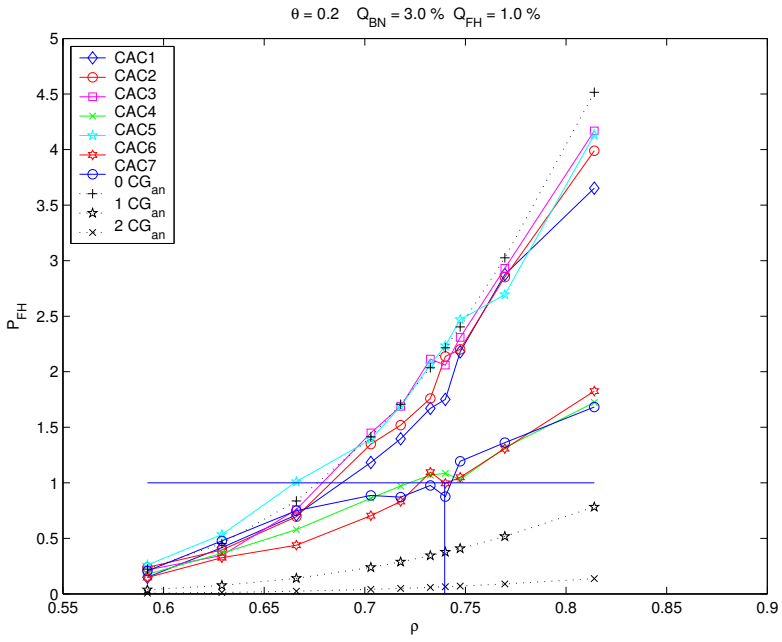

Figura 7.3: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0,2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (3;1)$, tempo de permanência exponencial.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

$I_{CAC4} = 92.2636$, $I_{CAC7} = 92.5491$, valores altos que representam o bom desempenho dos algoritmos.

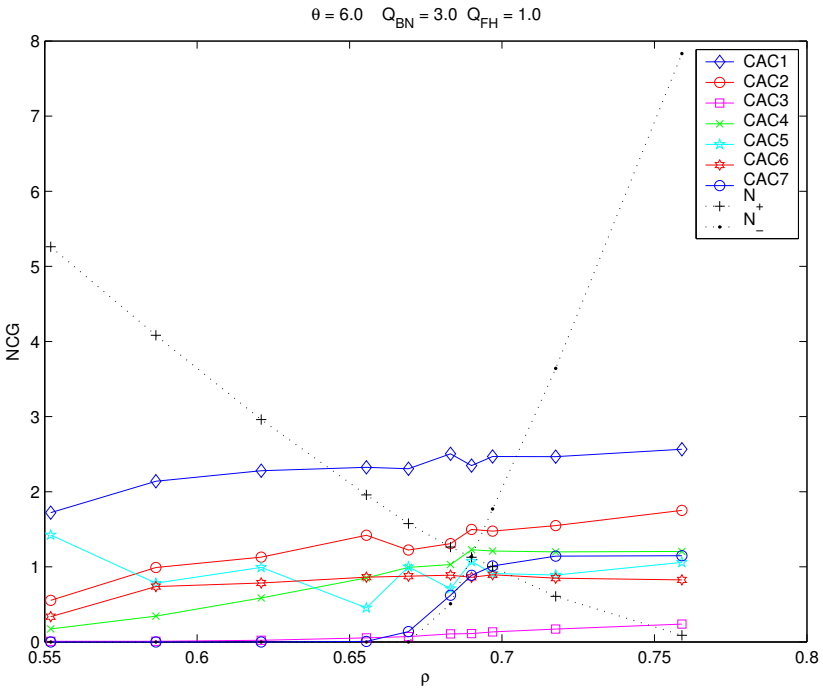

Figura 7.4: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1)$, tempo de permanência exponencial.

A figura 7.4 apresenta um caso semelhante ao anterior ($\theta = 0.2$), aumentando-se apenas a taxa de mobilidade para ($\theta = 6$). Mantém-se a distribuição exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula e requisitos de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1)$. Observa-se na figura 7.4 que os algoritmos $CAC2$, $CAC4$, $CAC5$, $CAC6$ e $CAC7$ apresentam número de canais de guarda próximo ao valor ideal no ponto ρ_Q, mas apenas o algoritmo $CAC7$ eleva o número de recursos reservados de acordo com a intensidade de tráfego, pois foi projetado para tal através da tabela que define o número de canais de guarda em cada situação. Os demais algoritmos foram projetados com o objetivo de atingir o limite ρ_q com o número de canais de guarda o mais próximo do ideal de uma forma menos exata, aumentando e diminuindo N de acordo com as falhas e sucessos de alocação.

Observa-se nas figuras 7.5, 7.6 e 7.7, que o comportamento dos algoritmos muda conforme o requisito de QoS. Os algoritmos $CAC7$ e $CAC6$ apresentam bons desempenhos nos três casos, elevando o número de recursos reservados nas regiões próximas a ρ_Q. No entanto, os algoritmos $CAC1$ e $CAC3$ não foram capazes de encontrar o valor adequado de recursos a

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

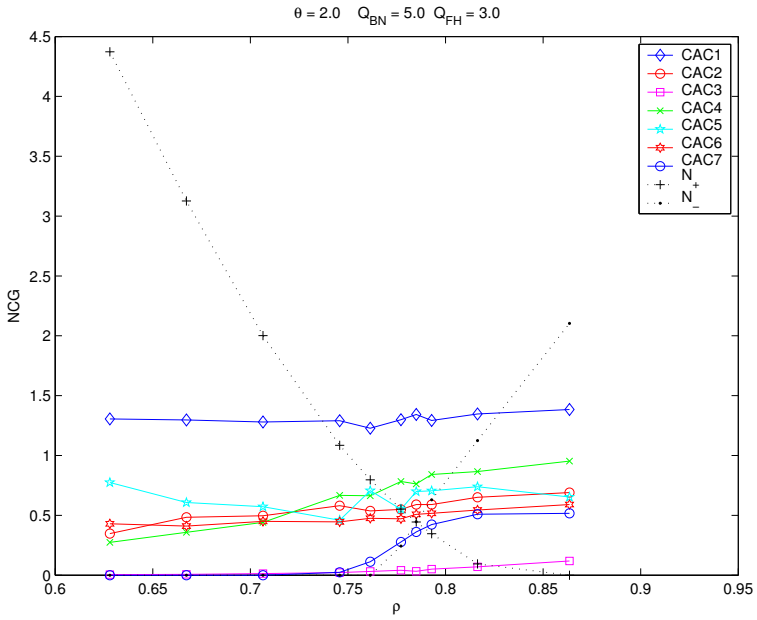

Figura 7.5: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência exponencial.

serem reservados. O algoritmo $CAC1$ reservou demais e o algoritmo $CAC3$ reservou de menos. Os algoritmos $CAC2$, $CAC4$ e $CAC5$ apresentaram um desempenho aceitável nos três casos testados. As figuras foram traçadas no caso de taxa de mobilidade ($\theta = 2$), tempo de permanência exponencial, e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, $\mathbf{Q}(\%) = (1; 0.5)$ e $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0.4)$, respectivamente.

As figuras 7.7, 7.8 e 7.9 apresentam as curvas de número de canais de guarda, percentual de bloqueio de chamadas novas e de percentual de falha de chamadas em *handoff* no caso de distribuição exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula, requisitos de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0, 4)$ e taxa de mobilidade $\theta = 2$.

Observa-se na figura 7.8 que a curva de $CAC7$ passa muito próximo do limite ρ_Q. No entanto, devido a uma subida da curva P_{FH} de $CAC7$ na figura 7.9, o valor de ρ_{CAC7} torna-se mais baixo. Este tipo de problema pode, em princípio, ser contornado com um sistema de estimativa de parâmetros do tráfego mais eficiente. No entanto, a estimativa do tráfego está fora do objetivo desta tese.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

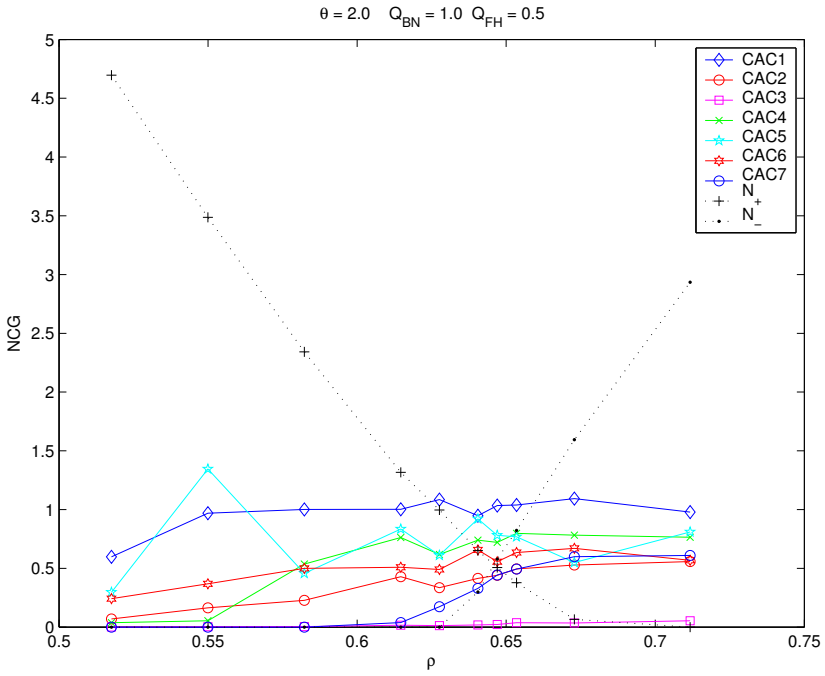

Figura 7.6: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (1; 0,5)$, tempo de permanência exponencial.

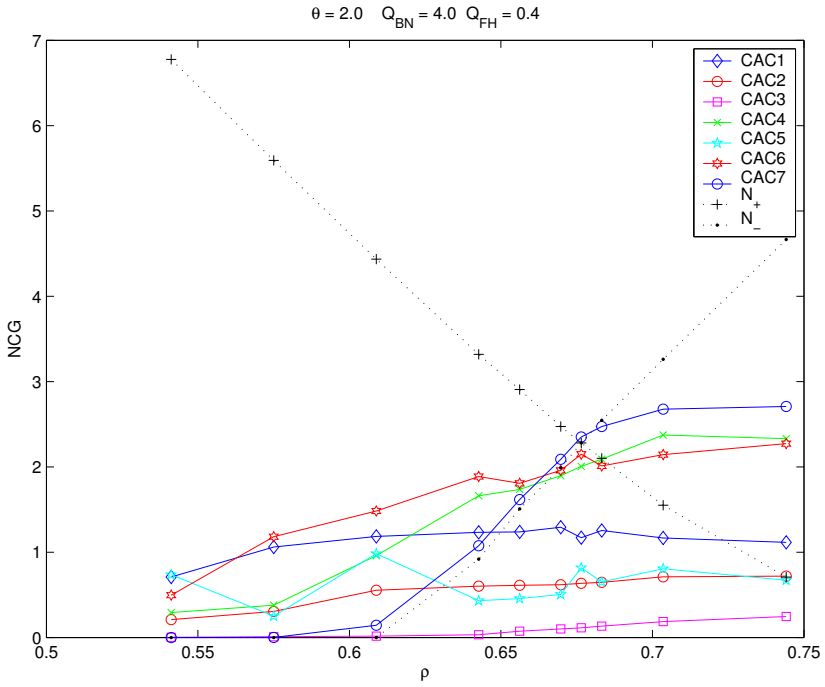

Figura 7.7: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0,4)$, tempo de permanência exponencial.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

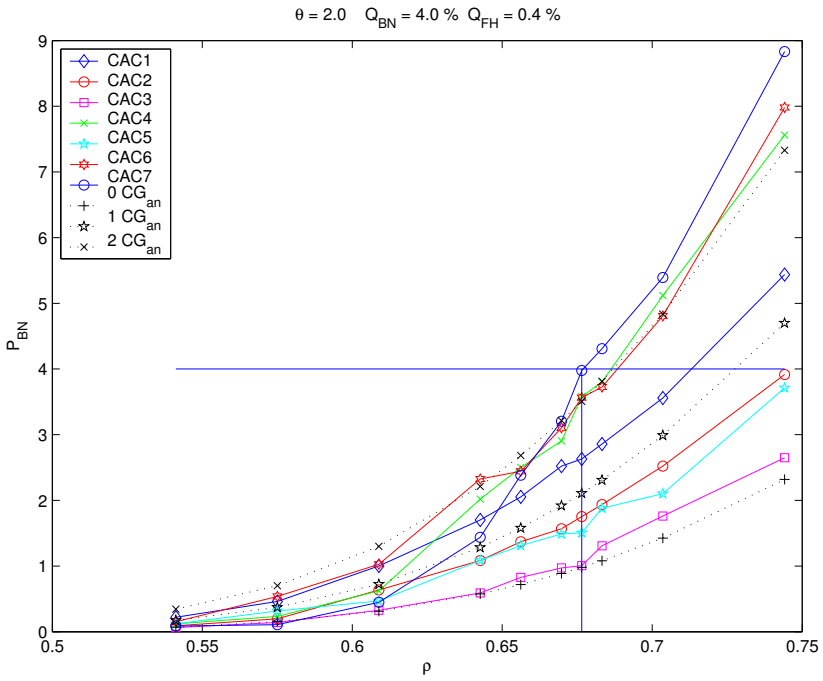

Figura 7.8: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0, 4)$, tempo de permanência exponencial.

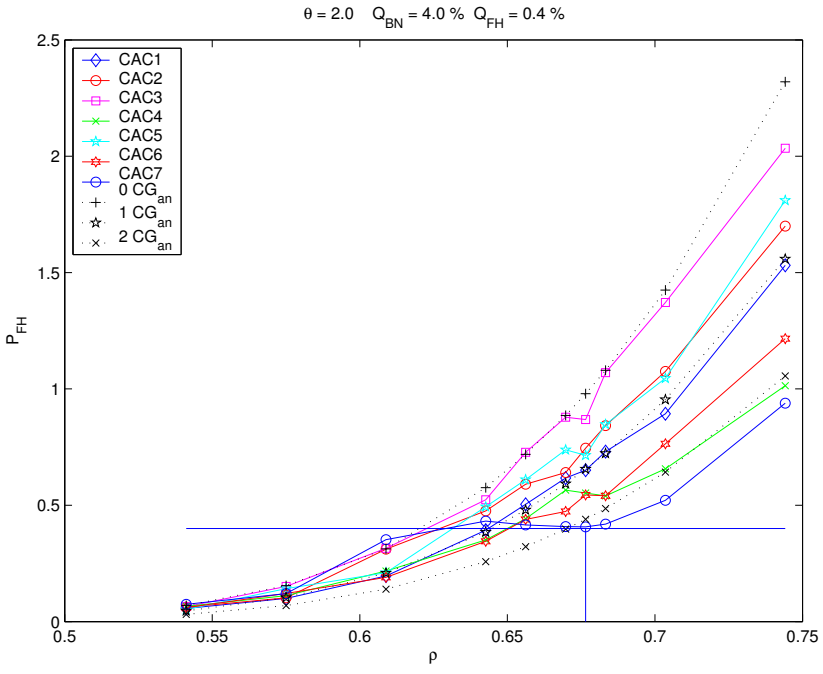

Figura 7.9: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0, 4)$, tempo de permanência exponencial.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

7.2.1
Medida M, Caso Distribuição Exponencial

A medida M, cujo valor é definido na equação (6-14), identifica o afastamento do valor ideal de recursos a serem reservados. Quanto menos afastado, melhor o desempenho.

Os valores de M são representados pelas barras das figuras 7.10, 7.11, 7.12 e 7.13, uma figura para cada par de requisitos de QoS, respectivamente: $\mathbf{Q}(\%) = (3;1)$, $\mathbf{Q}(\%) = (5;3)$, $\mathbf{Q}(\%) = (1;0,5)$ e $\mathbf{Q}(\%) = (4;0,4)$. Deve-se ressaltar que os valores de M apresentados são valores médios, em intensidade de tráfego e em taxa de mobilidade, $(\rho;\theta)$. Desta forma, pretende-se obter uma comparação geral do desempenho do algoritmo para os vários cenários simulados.

Na figura 7.10 observa-se que no caso $\mathbf{Q}(\%) = (3;1)$, o pior desempenho para M(maior valor) é dado pelo caso fixo de $2CG$, seguido do caso fixo de $0CG$. Os melhores desempenhos são dados por $CAC7$ e $CAC4$.

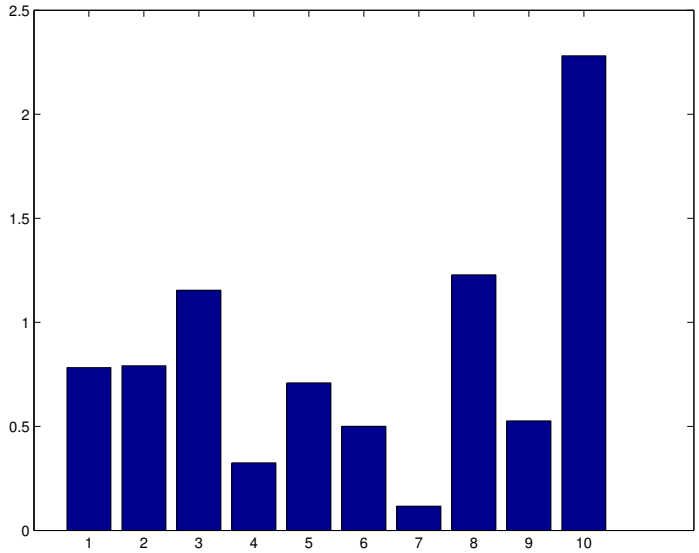

Figura 7.10: Comportamento de M médio de CAC1(1), CAC2(2), CAC3(3), CAC4(4), CAC5(5) CAC6(6), CAC7(7) e 0CG(8), 1CG(9) e 2CG(10) $\mathbf{Q}(\%) = (3;1)$, tempo de permanência exponencial.

Na figura 7.11 observa-se que no caso $\mathbf{Q}(\%) = (5;3)$, os melhores desempenhos para a medida M são dados pelos algoritmos dinâmicos $CAC7$ e $CAC3$, seguidos por $CAC6$, $0CG$, $CAC5$ e $CAC4$. O pior desempenho para M é dado pelo caso fixo de $2CG$, seguido pelo resultado de M apresentado pelo algoritmo $CAC1$. Resultado semelhante é observado na figura 7.12 para o caso $\mathbf{Q}(\%) = (1;0.5)$, que mantém aproximadamente a mesma proporção entre os valores de Q_{BN} e Q_{FH}.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

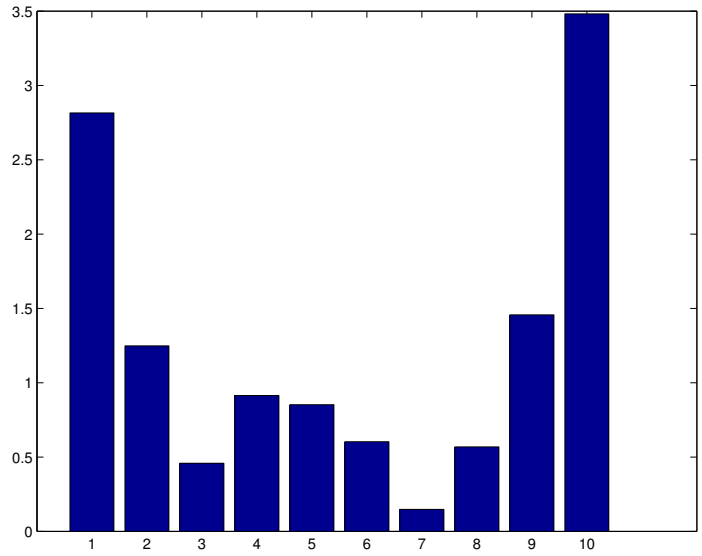

Figura 7.11: Comportamento de M médio de CAC1(1), CAC2(2), CAC3(3), CAC4(4), CAC5(5) CAC6(6), CAC7(7) e 0CG(8), 1CG(9) e 2CG(10) $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência exponencial.

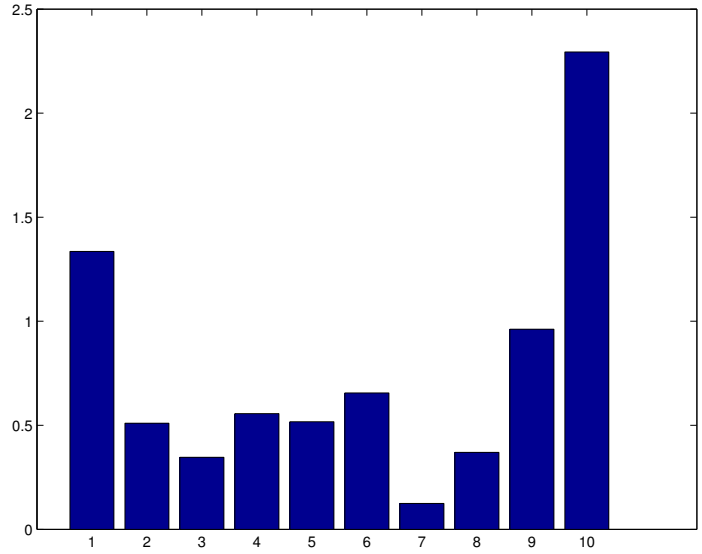

Figura 7.12: Comportamento de M médio de CAC1(1), CAC2(2), CAC3(3), CAC4(4), CAC5(5) CAC6(6), CAC7(7) e 0CG(8), 1CG(9) e 2CG(10) $\mathbf{Q}(\%) = (1; 0.5)$, tempo de permanência exponencial.

Já na figura 7.13 observa-se que no caso $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0.4)$, correspondendo a um valor de Q_{BN} bem maior que Q_{FH}, indicando a necessidade de um maior número de recursos reservados. Os melhores valores são dados por $CAC7$ e $CAC4$, seguidos por $2CG$. O pior valor para M é dado pelo caso fixo de $0CG$, seguido pelo resultado de M apresentado pelo algoritmo $CAC3$.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

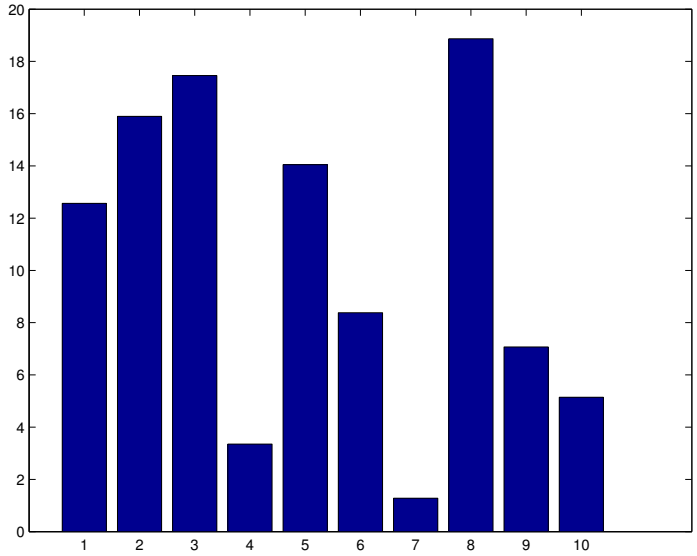

Figura 7.13: Comportamento de M médio de CAC1(1), CAC2(2), CAC3(3), CAC4(4), CAC5(5) CAC6(6), CAC7(7) e 0CG(8), 1CG(9) e 2CG(10) $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0.4)$, tempo de permanência exponencial.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

Observa-se que em todos os casos apresentados nas figuras 7.10, 7.11, 7.12 e 7.13 o melhor algoritmo (menor M) é o $CAC7$, que foi projetado para manter-se dentro do valor adequado definido por uma tabela pré-calculada. Os algoritmos fixos apresentam os piores resultados, um em cada caso de QoS. Os algoritmos dinâmicos se adaptam aos pares de QoS exigidos sem no entanto obterem resultados muito bons na medida M, pois foram projetados visando apenas a adaptação de acordo com o tráfego e com os valores de QoS.

7.2.2
Parâmetro da Intensidade de Tráfego I, Caso Distribuição Exponencial

Para cada algoritmo são apresentados os valores do parâmetro **I**, definido na equação (5-6) como a razão entre a intensidade de tráfego máxima dentro dos requisitos de QoS, ρ_Q e a intensidade de tráfego máxima correspondente ao valor analítico, $\frac{\rho_{CAC}}{\rho_Q}$.

Os resultados obtidos com os algoritmos dinâmicos são comparados entre si e aos resultados dos algoritmos com número de canais de guarda fixo nas tabelas 7.1 e 7.2.

O valor apresentado na tabela é o valor médio da razão dentre os vários valores de taxa de mobilidade θ. Observa-se na tabela 7.1 que o algoritmo $CAC6$ apresenta ótimos valores de medida I, de intensidade de

tráfego seguido de $CAC7$. Tal resultado é confirmado nas figuras 7.14 e 7.15 que apresentam o diagrama de barras com os valores de I.

Tabela 7.1: Razão $I = \rho_{CAC}/\rho_Q$ dos algoritmos de CAC, tempo de permanência exponencial.

	CAC1	CAC2	CAC3	CAC4	CAC5	CAC6	CAC7
$Q31$	0.924	0.934	0.921	0.955	0.929	0.957	0.950
$Q53$	0.919	0.947	0.959	0.967	0.955	0.974	0.969
$Q105$	0.939	0.964	0.959	0.970	0.975	0.962	0.975
$Q404$	0.871	0.857	0.848	0.885	0.857	0.895	0.881

.

Tabela 7.2: Razão $I = \rho_{CAC}/\rho_Q$ dos algoritmos estáticos, tempo de permanência exponencial.

	0_{CG}	1_{CG}	2_{CG}
$Q31$	0.919	0.965	0.913
$Q53$	0.957	0.941	0.945
$Q105$	0.969	0.954	0.905
$Q404$	–	0.904	0.923

.

As figuras 7.14, 7.15, 7.16 e 7.17 apresentam os diagramas de barras referentes aos resultados do parâmetro I apresentados nas tabelas 7.1 e 7.2.

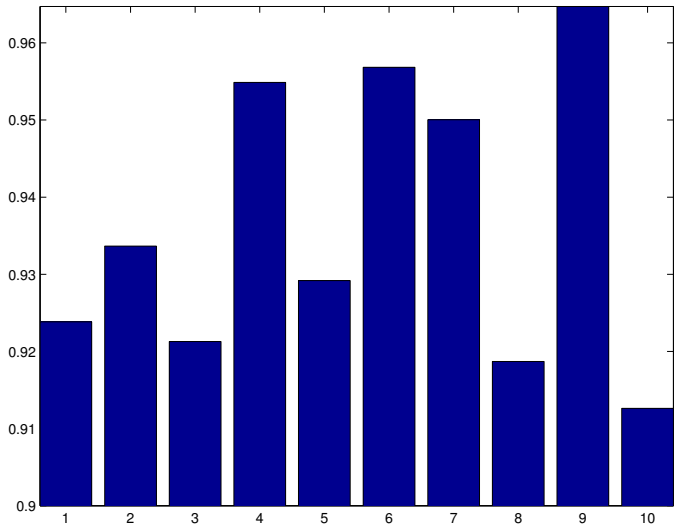

Figura 7.14: Comportamento de I médio de CAC1(1), CAC2(2), CAC3(3), CAC4(4), CAC5(5) CAC6(6), CAC7(7) e 0CG(8), 1CG(9) e 2CG(10) $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1)$, tempo de permanência exponencial.

Na tabela 7.1 e figura 7.14, observa-se que os algoritmos $CAC4$ e $CAC6$, apresentam os maiores valores de parâmetro I, muito próximos do

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

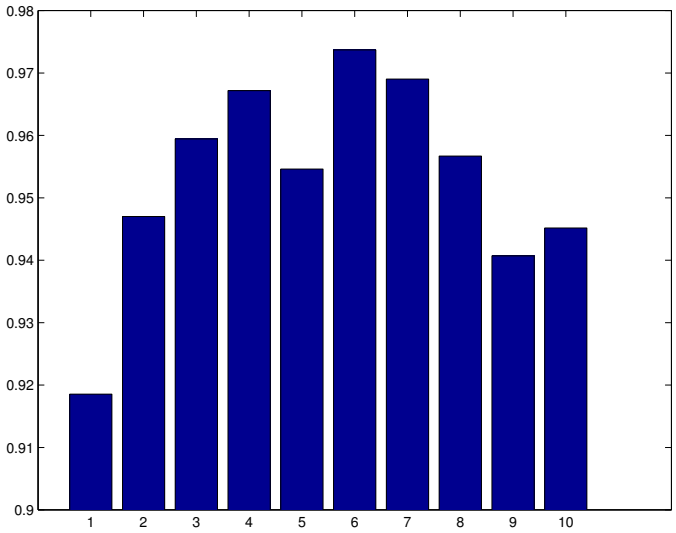

Figura 7.15: Comportamento de I médio de CAC1(1), CAC2(2), CAC3(3), CAC4(4), CAC5(5) CAC6(6), CAC7(7) e 0CG(8), 1CG(9) e 2CG(10) $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência exponencial.

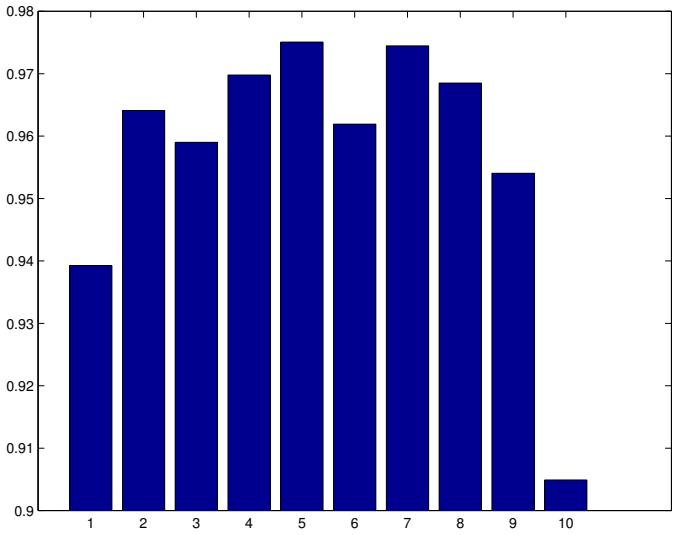

Figura 7.16: Comportamento de I médio de CAC1(1), CAC2(2), CAC3(3), CAC4(4), CAC5(5) CAC6(6), CAC7(7) e 0CG(8), 1CG(9) e 2CG(10) $\mathbf{Q}(\%) = (1; 0.5)$, tempo de permanência exponencial.

caso $1CG$ que é o melhor dentre todos no caso $(Q_{BN}; Q_{FH}) = (3\%; 1\%)$. Observa-se nas figuras 7.1 e 7.4 que o número de canais de guarda ideal no ponto ρ_Q é muito próximo de $1CG$, tanto no caso de baixa mobilidade, $\theta = 0.2$ figura 7.1, quanto no caso de alta mobilidade, $\theta = 6$ figura 7.4 para o par de requisitos de qualidade $(Q_{BN}; Q_{FH}) = (3\%; 1\%)$.

No caso $(Q_{BN}; Q_{FH}) = (5\%; 3\%)$, figura 7.15, o maior parâmetro I é obtido pelo algoritmo $CAC6$. O melhor valor de I dentre os fixos é $0CG$.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

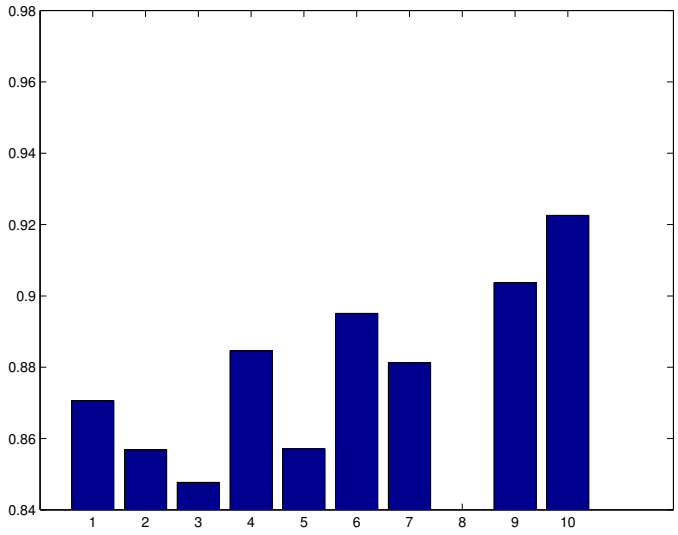

Figura 7.17: Comportamento de I médio de CAC1(1), CAC2(2), CAC3(3), CAC4(4), CAC5(5) CAC6(6), CAC7(7) e 0CG(8), 1CG(9) e 2CG(10) $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0.4)$, tempo de permanência exponencial.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

Este valor é superado pelos algoritmos $CAC3$, $CAC4$, $CAC6$ e $CAC7$.

A figura 7.16 apresenta o caso $(Q_{BN}; Q_{FH}) = (1\%; 0.5\%)$. O maior I é obtido pelos algoritmos $CAC5$ e $CAC7$. Dentre os algoritmos fixos, o melhor valor de I, é $0CG$, tal valor é superado pelos algoritmos dinâmicos $CAC4$, $CAC5$ e $CAC7$.

No caso $(Q_{BN}; Q_{FH}) = (4\%; 0.4\%)$, de acordo com a figura 7.17, o maior I é obtido por por $2CG$. Como Q_{FH} é muito menor que Q_{BN}, são necessários mais recursos reservados para os usuários em *handoff* para atender tal par de requisitos de QoS.

Comparando os sete algoritmos propostos através do parâmetro I, que observa a máxima intensidade de tráfego dentro dos requisitos de QoS, tem-se que $CAC4$ e $CAC7$ apresentam desempenhos melhores. No entanto, $CAC3$, $CAC5$ e , $CAC6$ também apresentam bons desempenhos e possuem maior simplicidade na implementação e pelo baixo número de parâmetros a serem ajustados.

Os algoritmos propostos apresentam desempenhos bastante bons quanto à intensidade de tráfego máxima dentro dos requisitos de QoS. O parâmetro **I**, em geral, é acima de 90%.

7.2.3
Parâmetro F, Caso Distribuição Exponencial

Nesta seção são apresentados gráficos de F versus intensidade de tráfego, que representam o valor do parâmetro de desempenho F obtido por cada algoritmo.

O parâmetro F, definido em (7-1), considera a proximidade entre cada requisito de QoS e a respectiva Probabilidade de Bloqueio medida, quanto maior F, melhor o desempenho. Quando o parâmetro assume o valor nulo, significa que não é mais possível atender aos requisitos de QoS.

A figura 7.18 corresponde ao desempenho dos algoritmos segundo o parâmetro F, para o mesmo cenário apresentado nas figuras: 7.1, 7.2 e 7.3. Nestas figuras, os requisitos de QoS são dados pelo par $Q(\%) = (3; 1)$ e a taxa de mobilidade é baixa, $\theta = 0.2$.

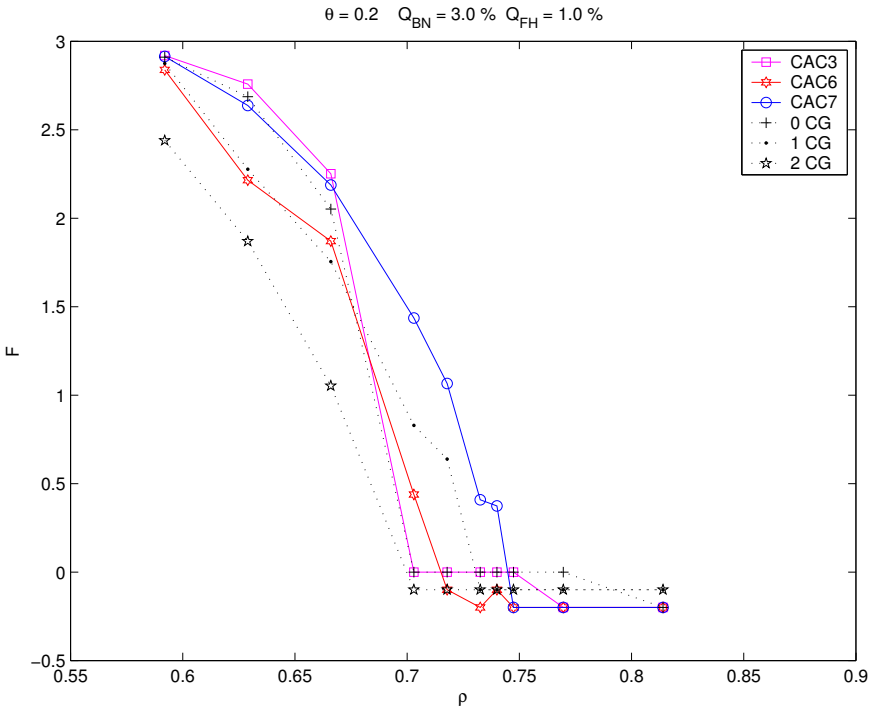

Figura 7.18: Comportamento do parâmetro F de CAC3, CAC6, CAC7 e 0CG, 1CG e 2CG $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1)$ e $\theta = 0.2$, tempo de permanência exponencial.

Observa-se na figura 7.18 que o melhor desempenho é dado pelo algoritmo $CAC7$, este algoritmo apresenta o maior valor de F e o maior valor de intensidade de tráfego dentro dos requisitos de QoS. Dentre os algoritmos fixos, o mais adequado seria $1CG$, porém $CAC7$ apresenta um comportamento ainda melhor que $1CG$.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

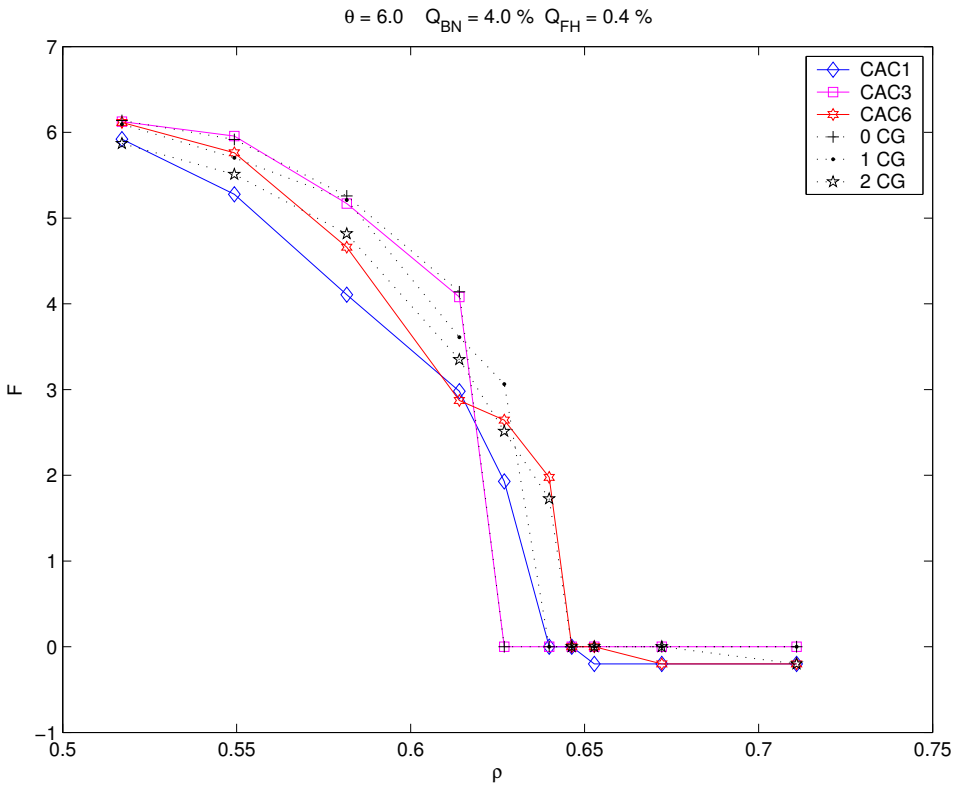

Figura 7.19: Comportamento do parâmetro F de CAC1, CAC3, CAC6 e 0CG, 1CG e 2CG $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0.4)$ e $\theta = 6$, tempo de permanência exponencial.

A figura 7.19 corresponde ao cenário de requisitos de QoS dados pelo par $Q(\%) = (4; 0.4)$ e taxa de mobilidade alta, $\theta = 6$. Neste caso, como o requisito de chamadas em *handoff* é mais exigente, o número de canais reservados deve ser maior. Apenas o algoritmo $CAC6$ apresenta valor elevado de intensidade de tráfego dentro dos requisitos de QoS. Para valores baixos de ρ, $CAC3$ apresenta um bom desempenho, mas não é capaz de mantê-lo dentro do Q necessário por uma intensidade de tráfego mais elevada. O algoritmo $CAC1$ apresenta um parâmetro F baixo em quase todos os casos testados, deve-se lembrar que ele se ajusta apenas pelo requisito Q_{BN} e pelas falhas das chamadas de *handoff*, o que se revelou uma estratégia pouco eficaz. Na figura 7.20, requisitos de QoS dados pelo par $Q(\%) = (5; 3)$ e taxa de mobilidade média, $\theta = 2$, observa-se que os algoritmos $CAC7$ e $CAC4$ apresentam os valores mais elevados de parâmetro F. Observa-se que, em geral, o algoritmo $CAC7$ apresenta um bom desempenho nos vários cenários testados.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

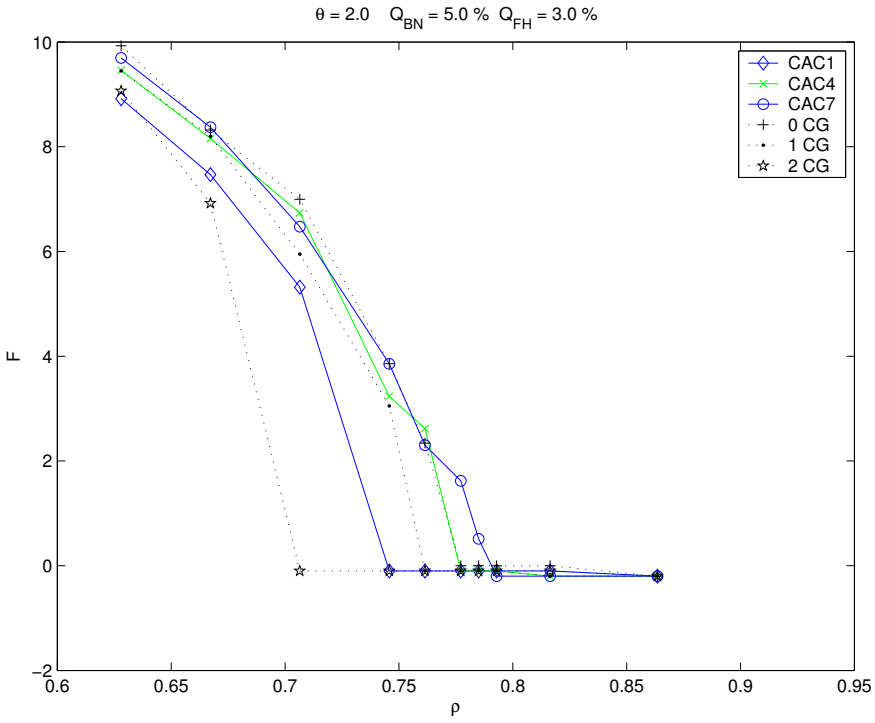

Figura 7.20: Comportamento do parâmetro F de CAC1, CAC4, CAC7 e 0CG, 1CG e 2CG $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$ e $\theta = 2$, tempo de permanência exponencial.

7.3 Distribuição Constante para o Tempo de Permanência na Célula

Nesta seção são apresentados os resultados de simulação dos algoritmos considerando que o tempo de permanência na célula é dado por uma distribuição constante, ou seja, por um valor determinístico. O modelo do tempo de duração da chamada é mantido como sendo dado pela distribuição exponencial. O tempo de retenção do canal é dado pelo mínimo entre o tempo de duração da chamada, dado pela distribuição exponencial, e o tempo de permanência do usuário na célula modelado pela distribuição constante. Os cálculos do valor médio, dos parâmetros que relacionam as distribuições dos tempos de permanência e do tempo de retenção do canal são apresentados no Apêndice A.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

7.3.1
Algoritmos Fixos Simulados com o Tempo de Permanência dado pela Distribuição Constante, Comparados aos Resultados Analíticos com o Tempo de Permanência dado pela Distribuição Exponencial.

Nesta seção são apresentados os resultados dos algoritmos fixos, em ambiente simulado com o tempo de permanência dado pela distribuição constante, comparados aos resultados analíticos que consideram o tempo de permanência como uma distribuição exponencial. Na seção seguinte é feita a verificação do comportamento dos algoritmos dinâmicos propostos, no mesmo ambiente de simulação, utilizando a distribuição constante para o tempo de permanência do usuário na célula.

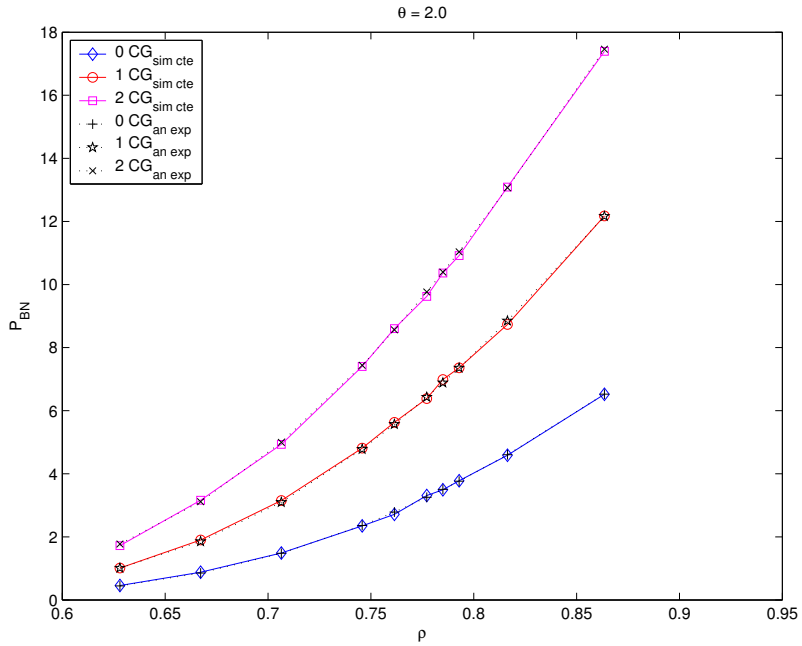

Figura 7.21: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, tempo de permanência simulado com distribuição constante e resultado analítico com distribuição exponencial.

Nas figuras 7.21 e 7.22 é possível observar que não há diferença de comportamento entre as curvas de percentual de bloqueio de chamadas novas e percentual de falha de *handoff* simuladas com distribuição constante (linhas contínuas) e as curvas analíticas com distribuição exponencial (linhas pontilhadas).

Para confirmar o resultado apresentado na figura7.21 para mobilidade média ($\theta = 2$); incluímos o caso de mobilidade baixa ($\theta = 0.2$), representado pelas figuras 7.23 e 7.24. É observado comportamento semelhante entre as curvas de P_{BN} e P_{FH} simuladas com distribuição constante e as curvas

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

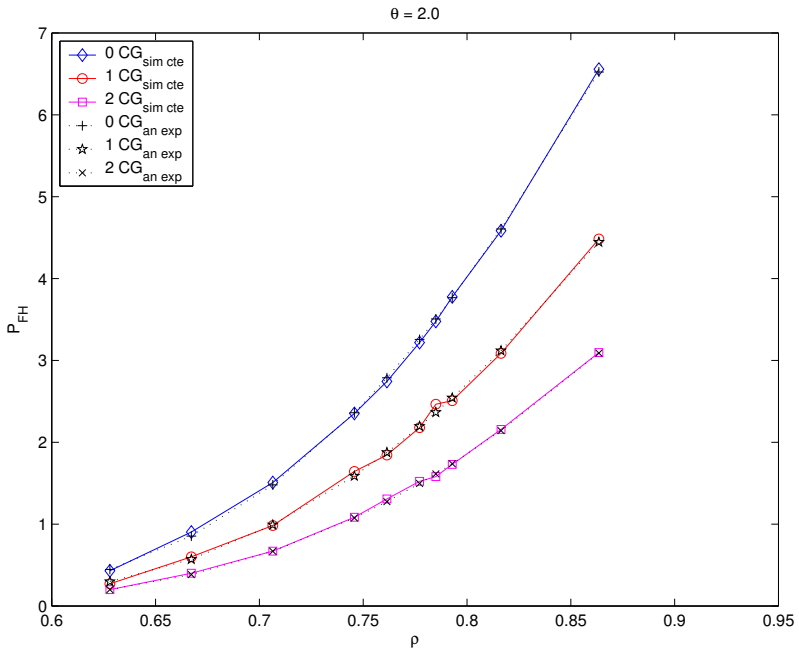

Figura 7.22: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, tempo de permanência simulado com distribuição constante e resultado analítico com distribuição exponencial.

analíticas com distribuição exponencial nas figuras 7.25 e 7.26, correspondentes ao caso de mobilidade alta ($\theta = 6$).

Nos três casos apresentados observa-se que não há diferença significativa entre o caso simulado com tempo de permanência dado pela distribuição constante e o caso analítico com o tempo de permanência do usuário na célula dado pela distribuição exponencial.

7.3.2 Algoritmos Propostos Simulados com o Tempo de Permanência na Célula dado pela Distribuição Constante

Podemos comparar os resultados apresentados para a distribuição exponencial, na figura 7.5, com os resultados da figura 7.27, onde o tempo de permanência do usuário é dado por uma distribuição constante. Observa-se que os algoritmos dinâmicos se adaptam ao ambiente com ambas as distribuições no que diz respeito ao número de recursos reservados para os usuários em *handoff*. O algoritmo que apresenta o menor número de recursos reservados no caso $\theta = 2$ é $CAC3$, e, por não conseguir atingir o valor adequado de recursos necessários, neste caso, apresenta uma P_{FH} mais elevada na figura 7.29.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

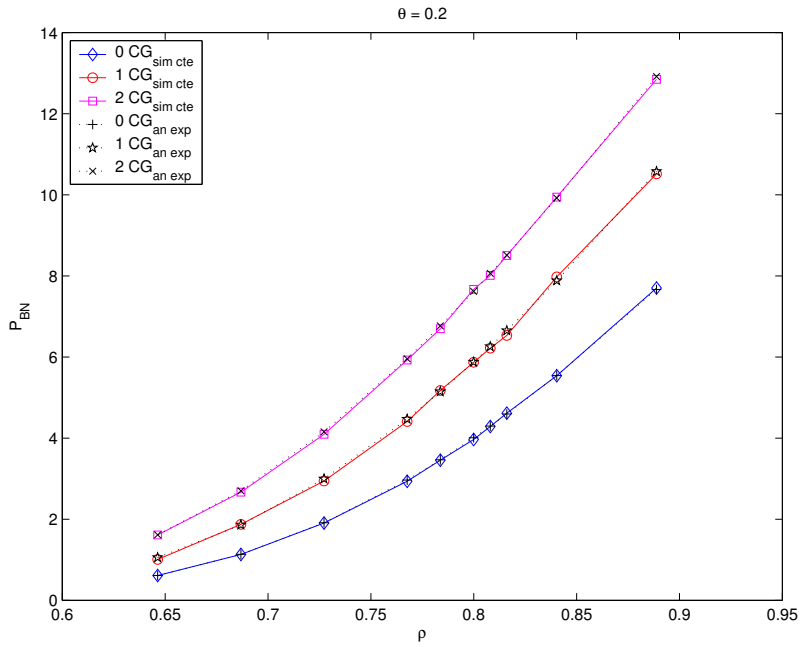

Figura 7.23: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0,2$, tempo de permanência simulado com distribuição constante e resultado analítico com distribuição exponencial.

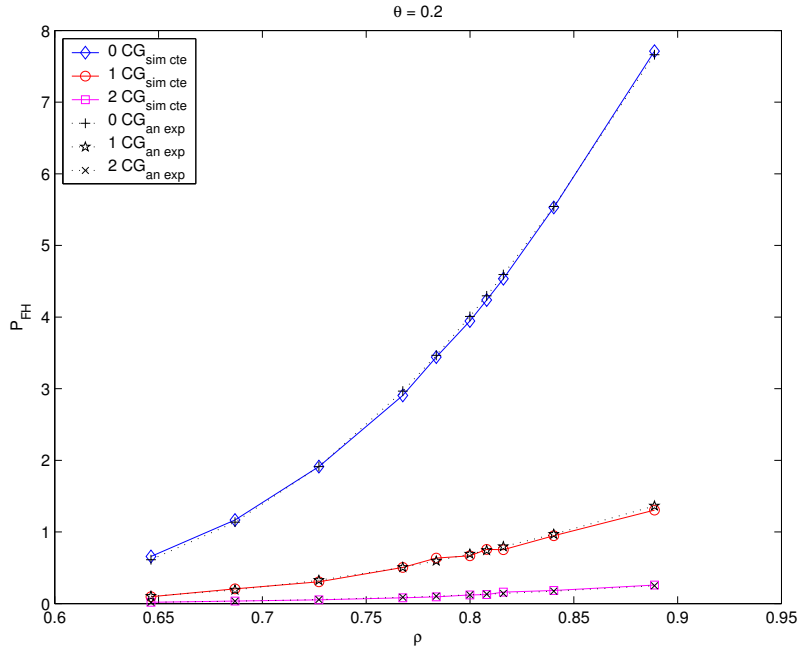

Figura 7.24: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0.2$, tempo de permanência simulado com distribuição constante e resultado analítico com distribuição exponencial.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

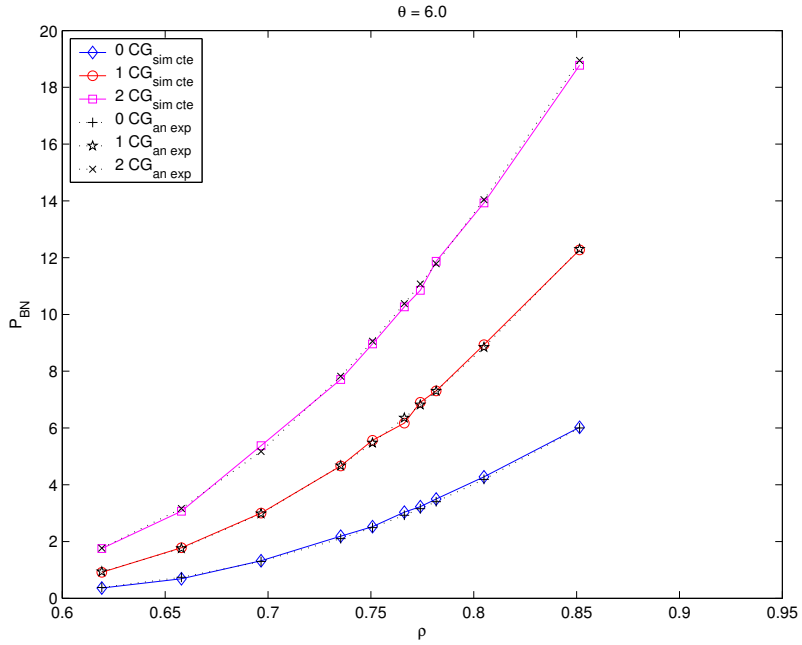

Figura 7.25: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$, tempo de permanência simulado com distribuição constante e resultado analítico com distribuição exponencial.

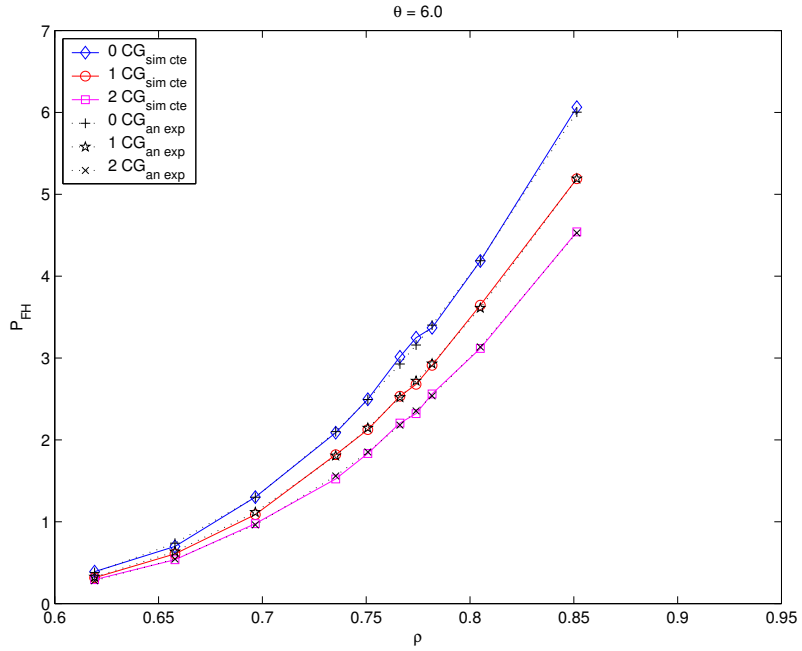

Figura 7.26: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$, tempo de permanência simulado com distribuição constante e resultado analítico com distribuição exponencial.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

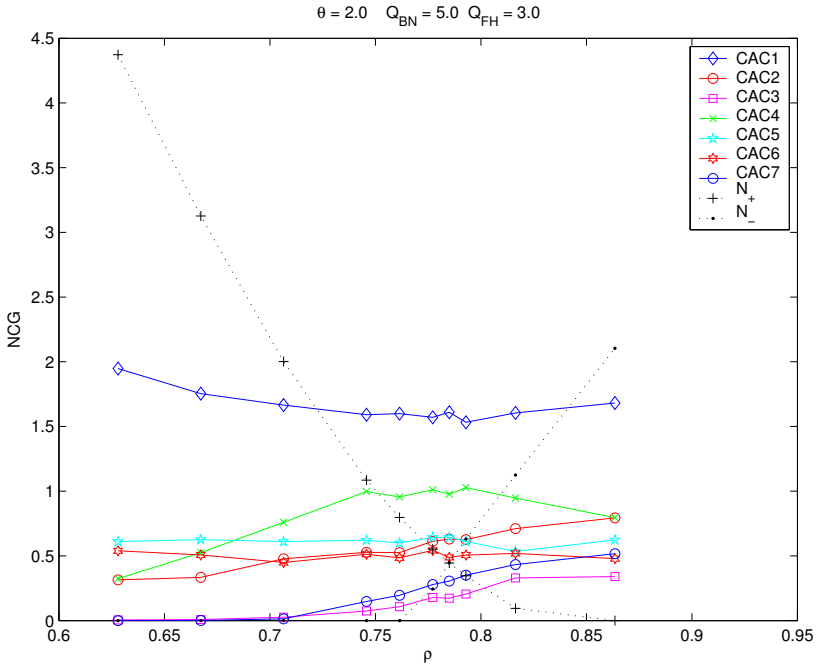

Figura 7.27: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência dado pela distribuição constante.

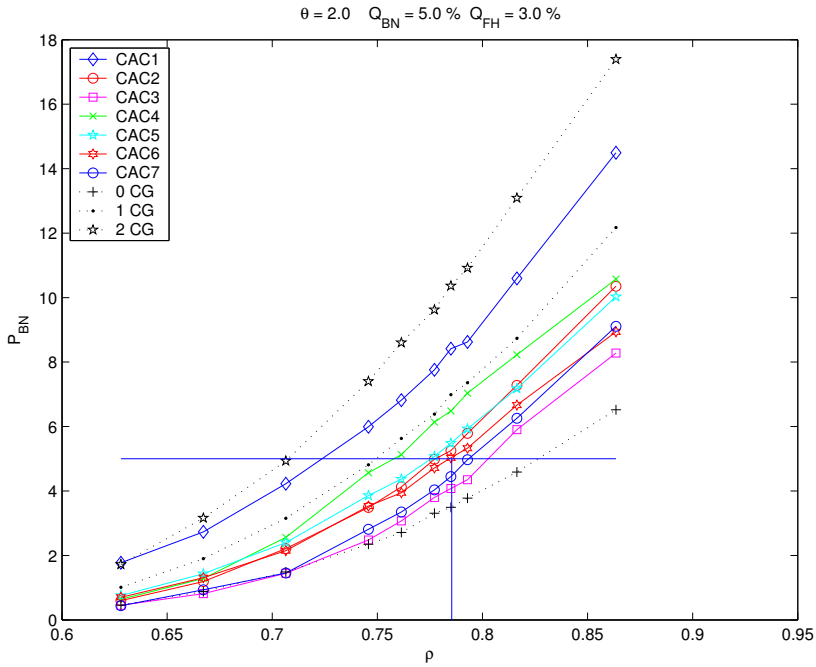

Figura 7.28: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição constante.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

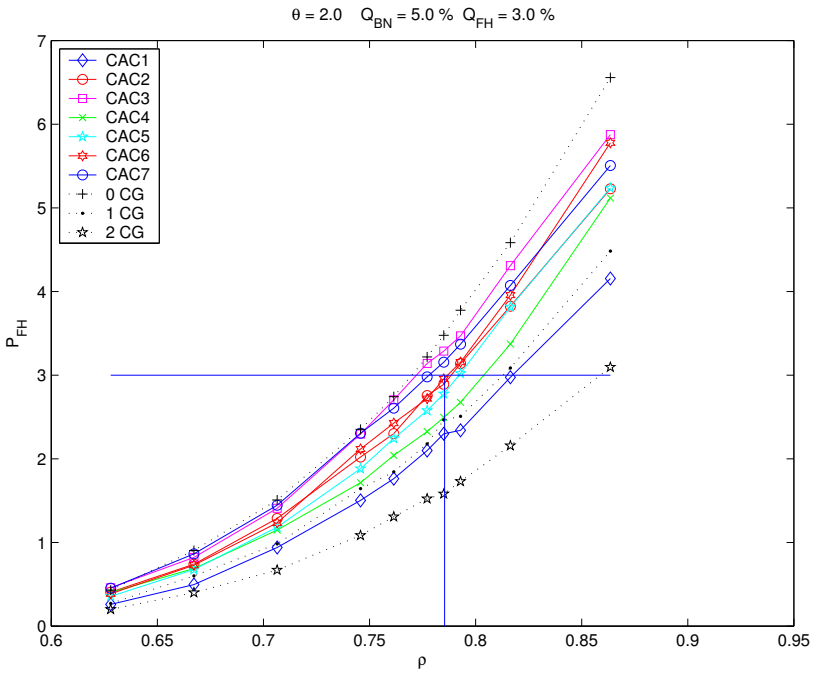

Figura 7.29: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição constante.

O algoritmo $CAC7$ apresenta a sua reserva de recursos conforme o projetado, seguindo o valor ideal de recursos para uma distribuição exponencial. A curva de recursos reservados correspondente à $CAC6$ passa exatamente pela intersecção entre as curvas N_- e N_+, conseqüentemente, apresenta uma intensidade de tráfego de entrada dentro dos requisitos de QoS bastante elevada.

As curvas de percentual de bloqueio de chamadas novas e de falha de *handoff* estão nas figuras 7.28 e 7.29, respectivamente. O cenário é definido por: taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisitos de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$ e tempo de permanência dado por uma distribuição constante. As curvas pontilhadas representam os algoritmos fixos simulados e as curvas em traço contínuo representam os algoritmos dinâmicos propostos. Observa-se que o algoritmo $CAC6$ apresenta uma intensidade de tráfego ρ_Q muito próxima do valor indicado pelos traços verticais, ρ_Q^*. O algoritmo $CAC7$ também apresenta um valor elevado de ρ_Q como já era esperado pelo seu comportamento na reserva de recursos indicado pela figura 7.27.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

7.3.3
Parâmetro da Intensidade de Tráfego I, Caso Distribuição Constante

A figura 7.30 apresenta o diagrama de barras relativo ao desempenho dos algoritmos segundo o parâmetro I, da intensidade de tráfego máxima. Observa-se que $CAC6$ apresenta o melhor resultado de I para o requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$. Observa-se que $CAC7$, $CAC3$ e $0CG$ também apresentam bons resultados. No entanto, $CAC1$ apresenta um resultado muito ruim para este cenário. É conveniente lembrar que o parâmetro I é dado pela média da razão entre as intensidades máximas obtidas com todos os valores de taxa de mobilidade testados, $\theta = \{0.2; 0.5; 1; 2; 4; 6; 8\}$. Portanto, o parâmetro I elevado apresentado pelo algoritmo $CAC6$ representa seu comportamento médio nas várias taxas de mobilidade, assim como o algoritmo $CAC7$ que, embora tenha sido projetado baseado na distribuição exponencial para o tempo de permanência, também apresenta um bom resultado no que diz respeito a intensidade de tráfego de entrada dentro dos requisitos de QoS.

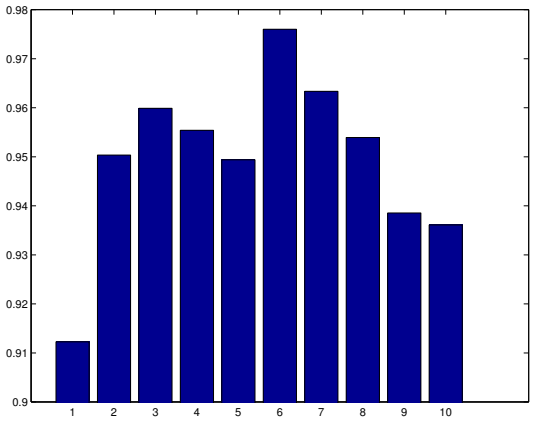

Figura 7.30: Comportamento de I médio de CAC1(1), CAC2(2), CAC3(3), CAC4(4), CAC5(5) CAC6(6), CAC7(7) e 0CG(8), 1CG(9) e 2CG(10) $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição constante.

7.3.4
Parâmetro F, Caso Distribuição Constante

A figura 7.31 corresponde ao cenário $Q(\%) = (5; 3)$, a taxa de mobilidade é dada por $\theta = 4$. Observa-se que CAC2 e CAC7 apresentam valores elevados para o parâmetro F, indicando que ambos apresentam um bom desempenho. No entanto, CAC1 não apresenta um desempenho tão bom para este cenário. Deve-se observar que apesar de CAC7 ter sido

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

projetado especificamente para o tempo de permanência exponencial, ele apresenta um bom desempenho também para o tempo de permanência dado pela distribuição constante. Modificando o cenário para uma taxa de mobilidade mais baixa, dado na figura 7.32 o desempenho de CAC1 tende a ser melhor no que diz respeito a manter os bloqueios dentro dos limites permitidos pelos requisitos de QoS.

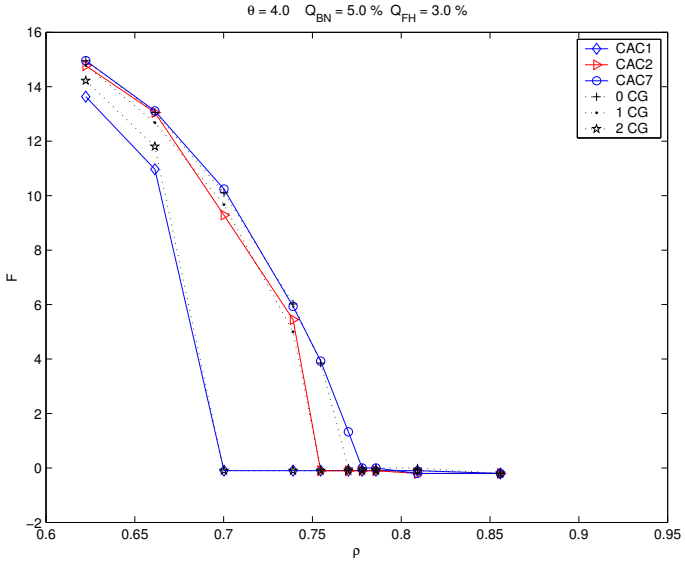

Figura 7.31: Comportamento do parâmetro F de CAC1, CAC2, CAC7 e 0CG, 1CG e 2CG $\mathbf{Q}(\%) = (5;3)$ e $\theta = 4$, tempo de permanência dado pela distribuição constante.

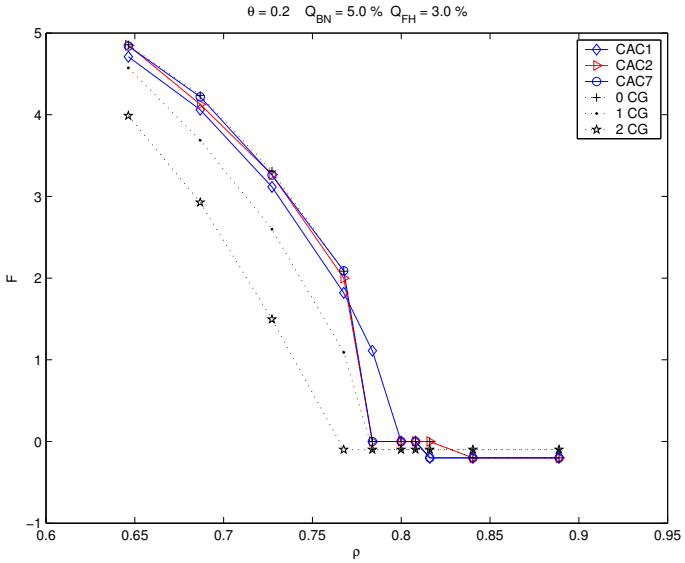

Figura 7.32: Comportamento do parâmetro F de CAC1, CAC2, CAC7 e 0CG, 1CG e 2CG $\mathbf{Q}(\%) = (5;3)$ e $\theta = 0.2$, tempo de permanência dado pela distribuição constante.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

7.4
Distribuição Uniforme para o Tempo de Permanência na Célula

Nesta seção é feita a análise do comportamento simulado dos algoritmos considerando que o tempo de permanência do usuário é dado pela distribuição uniforme. Inicialmente é verificado o comportamento dos algoritmos fixos que são comparados ao caso analítico que considera o tempo de permanência como uma distribuição exponencial, em seguida são apresentados os resultados relativos aos algoritmos propostos.

7.4.1
Algoritmos Fixos Simulados com o Tempo de Permanência dado pela Distribuição Uniforme, Comparados aos Resultados Analíticos com o Tempo de Permanência dado pela Distribuição Exponencial.

As figuras 7.33 e 7.34 apresentam as curvas de P_{BN} e P_{FH} relativas aos algoritmos de número fixo de canais de guarda com taxa de mobilidade $\theta = 2$. Observa-se que as curvas relativas aos casos o simulados com distribuição uniforme são representadas pelas linhas contínuas que apresentam comportamento bastante semelhante ao caso analítico com distribuição exponencial, representado pelas linhas pontilhadas e pretas.

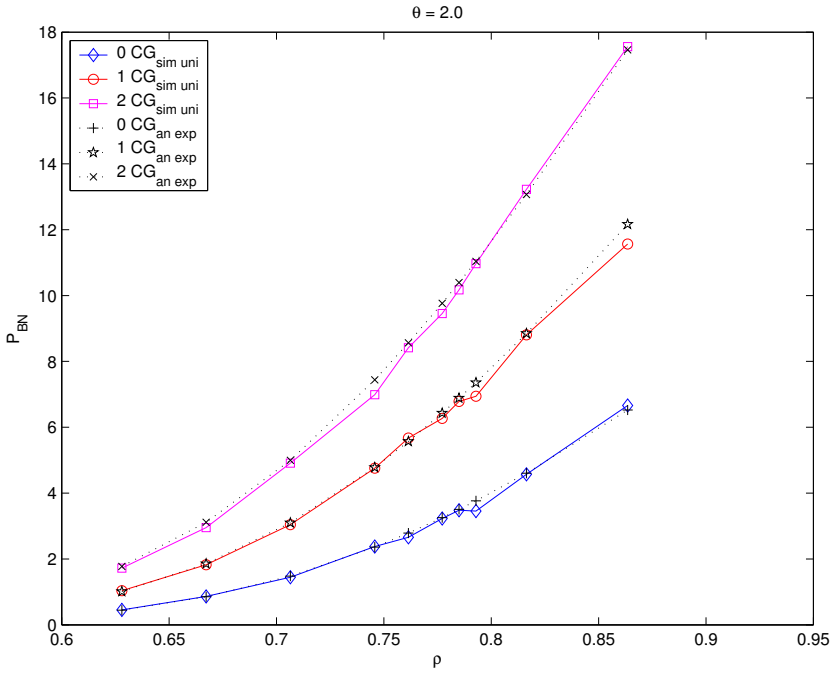

Figura 7.33: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, tempo de permanência uniforme simulado e tempo de permanência exponencial analítico.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

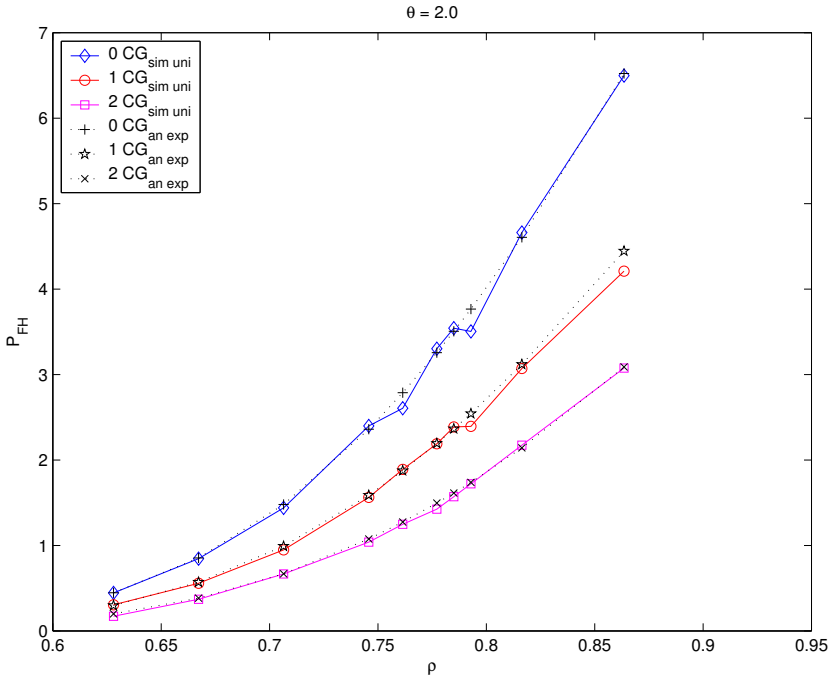

Figura 7.34: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, tempo de permanência uniforme simulado e tempo de permanência exponencial analítico.

Para verificar se comportamento dos algoritmos quando o tempo de permanência do usuário na célula é dado pela distribuição uniforme se mantém semelhante ao comportamento quando o tempo de permanência é dado pela distribuição exponencial, apresentamos as figuras 7.33 e 7.34 com curvas de P_{BN} e P_{FH} relativas aos algoritmos de número fixo de canais de guarda com taxa de mobilidade $\theta = 2$; e as figuras 7.35 e 7.36 relativas à taxa de mobilidade $\theta = 6$. Observamos que as curvas simuladas com o tempo de permanência dado pela distribuição uniforme são coincidentes com as curvas analíticas que consideram o tempo de permanência exponencial, mesmo neste caso de taxa de mobilidade mais elevada. Este mesmo comportamento já havia sido observado no caso anterior, que considerou a distribuição constante para o tempo de permanência do usuário na célula.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

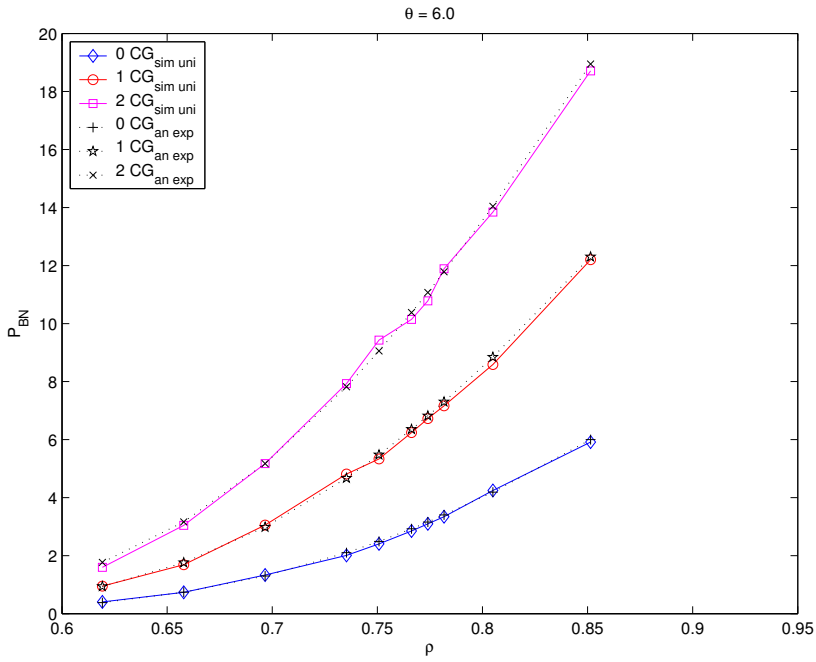

Figura 7.35: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$, tempo de permanência uniforme simulado e tempo de permanência exponencial analítico.

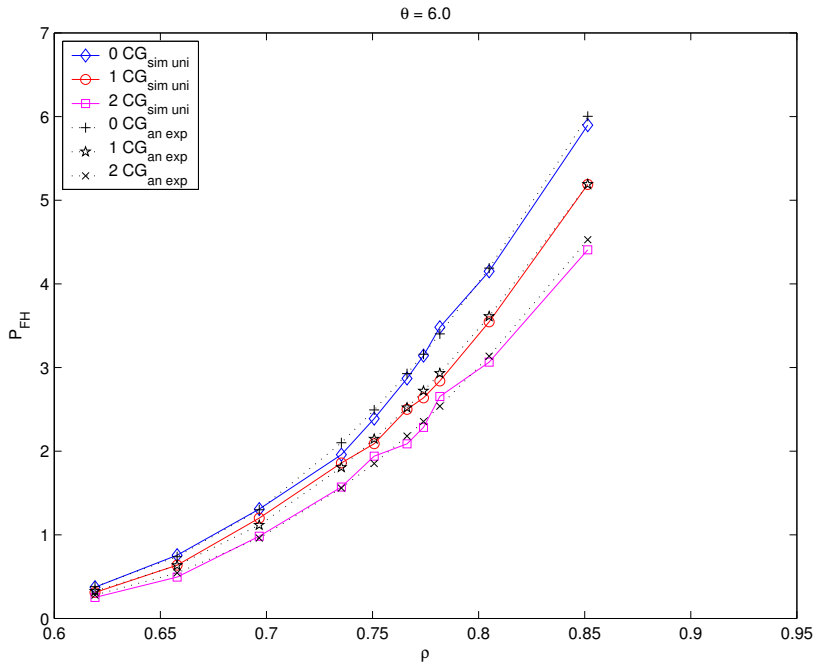

Figura 7.36: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$, tempo de permanência uniforme simulado e tempo de permanência exponencial analítico.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

7.4.2
Algoritmos Propostos Simulados com o Tempo de Permanência na Célula dado pela Distribuição Uniforme

Podemos comparar os resultados apresentados para as distribuições exponencial e constante, respectivamente nas figuras 7.5 e 7.27, com os resultados da figura 7.37, onde o tempo de permanência do usuário é dado por uma distribuição uniforme e taxa de mobilidade $\theta = 2$.

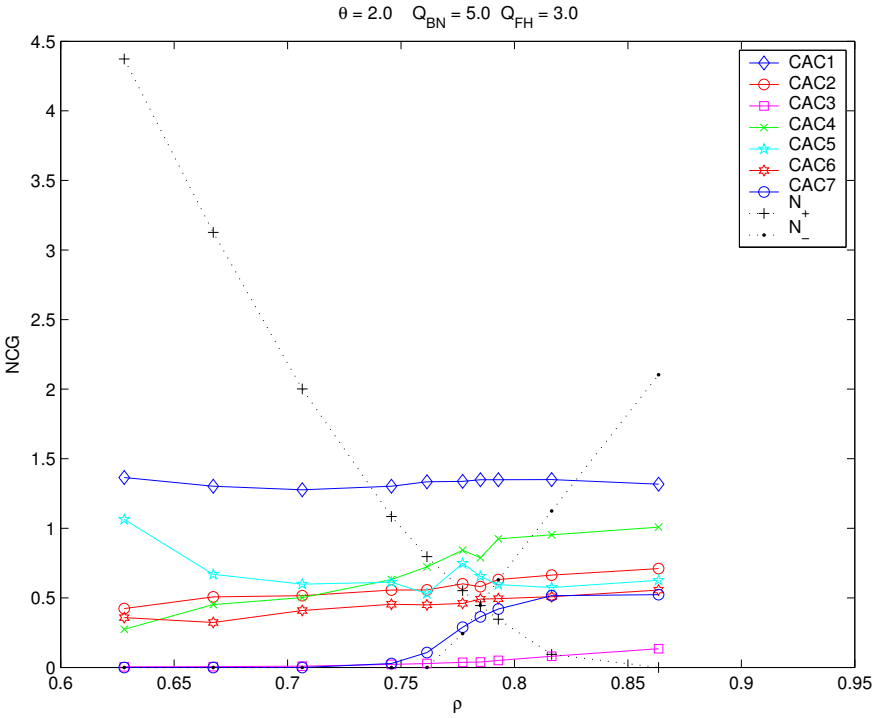

Figura 7.37: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência dado pela distribuição uniforme.

Observa-se na figura 7.37 que os algoritmos dinâmicos se adaptam bem ao ambiente, apresentando comportamentos semelhantes, com qualquer das três distribuições no que diz respeito ao número de recursos reservados para os usuários em *handoff*. Apenas os algoritmos $CAC1$ e $CAC3$ apresentaram desempenhos fracos neste cenário. O algoritmo $CAC3$ apresenta o menor valor de recursos reservados e $CAC1$ reserva demais. Os algoritmos $CAC2$, $CAC4$ e $CAC5$ apresentam um desempenho bom pois suas curvas passam próximas ao ponto de intersecção de N_- e N_+. Novamente $CAC7$ apresenta o comportamento esperado seguindo as curvas de N_- e N_+ calculadas para o caso de permanência dada pela distribuição exponencial, conforme seu objetivo. Da mesma forma, o algoritmo $CAC6$ também alcança seu objetivo

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

pois a sua curva de reserva de recursos de $CAC6$ passa exatamente na intersecção de N_- e N_+.

As curvas de número de canais de guarda, percentual de bloqueio de chamadas novas e de falha de *handoff* estão nas figuras 7.38, 7.39 e 7.40, respectivamente. O cenário é definido por: taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisitos de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$ e tempo de permanência dado pela distribuição uniforme.

Na figura 7.38 observa-se que o algoritmo $CAC3$ apresenta um valor baixo de recursos reservados e $CAC1$ tende a reservar demais, conseqüentemente seus valores de ρ_Q são baixos.

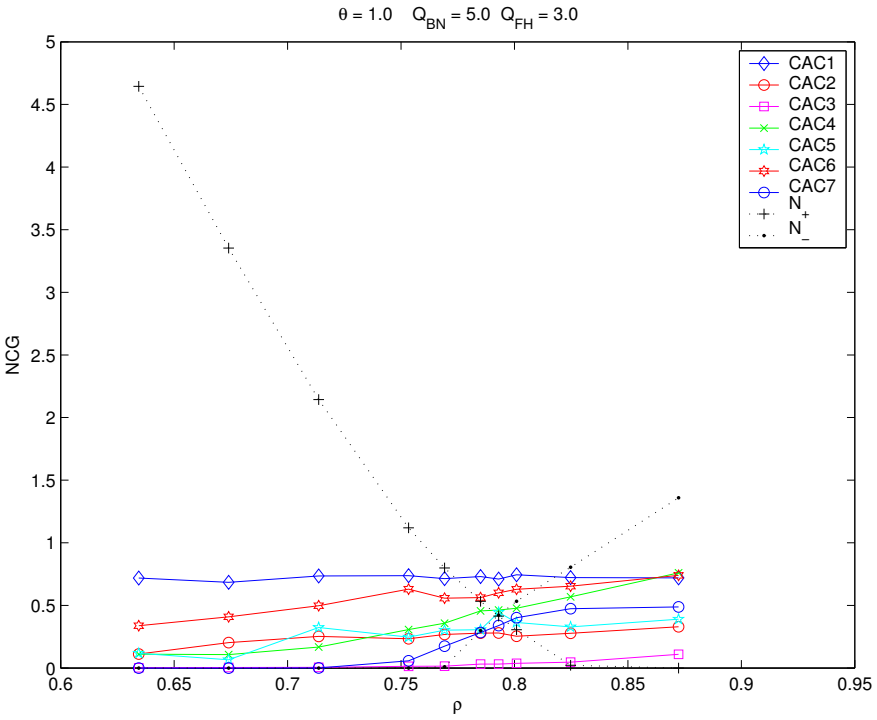

Figura 7.38: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência dado pela distribuição uniforme.

Nas figuras 7.39 e 7.40, as curvas pontilhadas representam os algoritmos fixos simulados e as curvas em traço contínuo representam os algoritmos dinâmicos propostos. Observa-se que, neste caso de taxa de mobilidade $\theta = 1$, os algoritmos $CAC2$, $CAC4$, $CAC5$, $CAC6$ e $CAC7$ apresentam intensidade de tráfego ρ_Q muito próxima do valor ideal indicado pelos traços verticais, ρ_Q^*. Apenas $CAC1$ e $CAC3$ não apresentam bons resultados neste cenário. Modificando o cenário aumentando a taxa de mobilidade para $\theta = 6$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

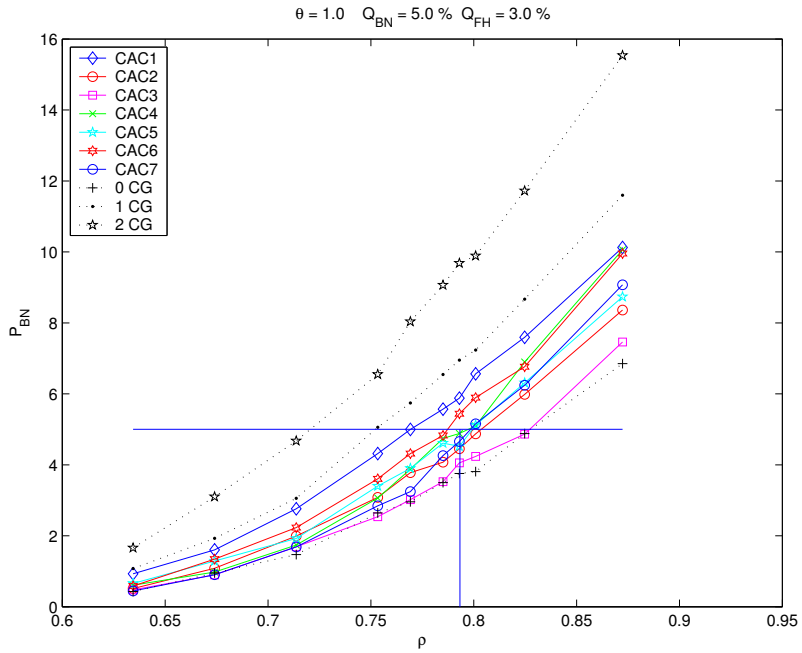

Figura 7.39: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição uniforme.

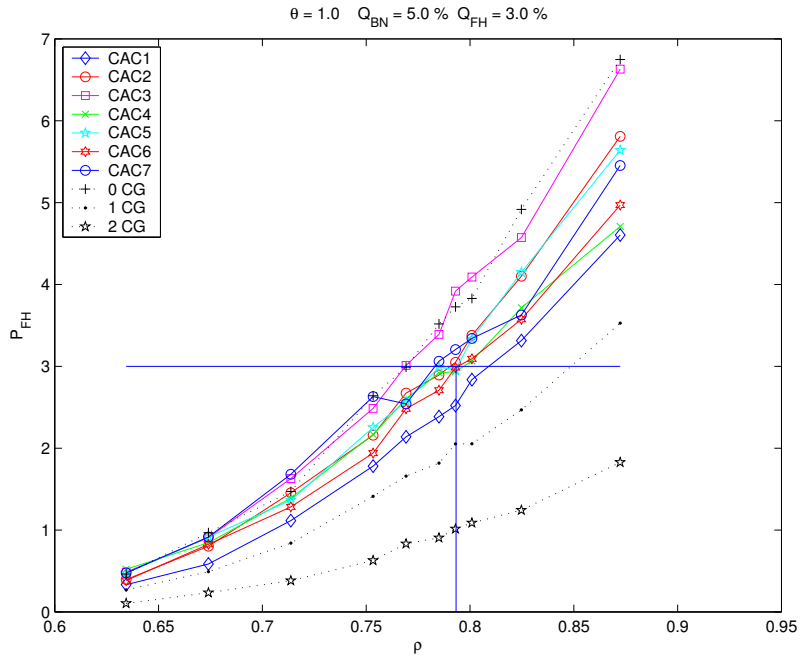

Figura 7.40: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição uniforme.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

obtém-se resultados semelhantes ao caso $\theta = 1$. Os resultados estão nas figuras 7.41, 7.42 e 7.43.

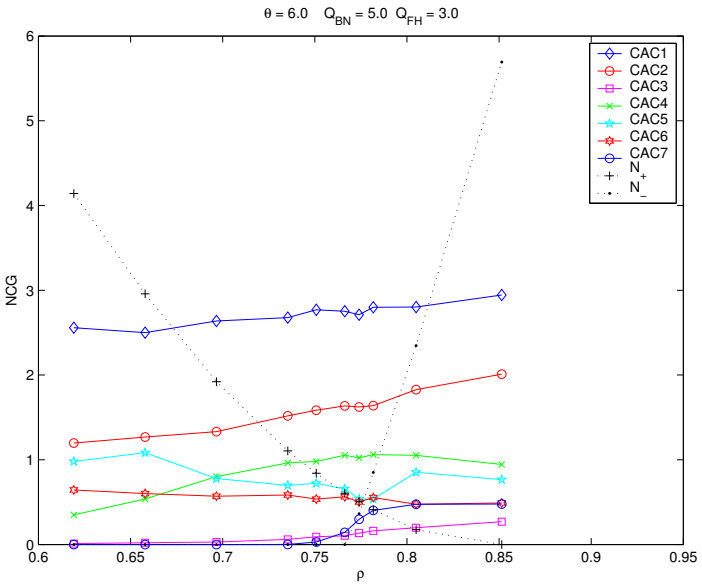

Figura 7.41: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência dado pela distribuição uniforme.

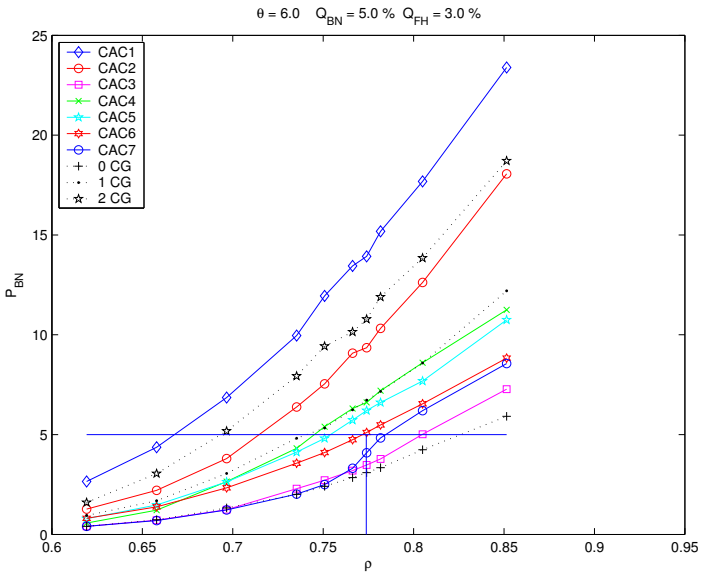

Figura 7.42: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição uniforme.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

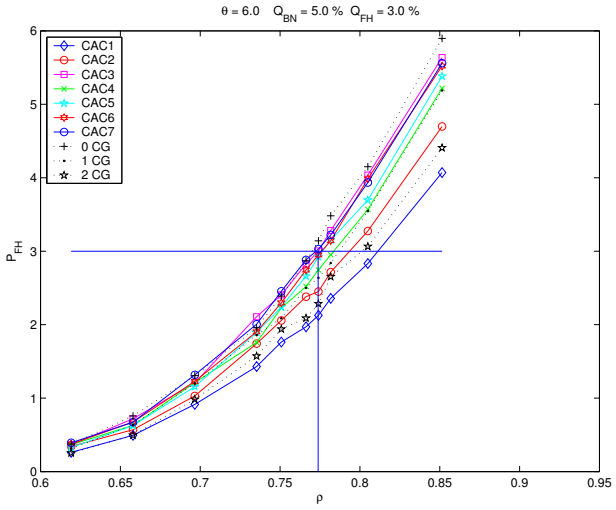

Figura 7.43: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5;3)$, tempo de permanência distribuição uniforme.

7.4.3
Parâmetro de Intensidade de Tráfego I, Caso Distribuição Uniforme

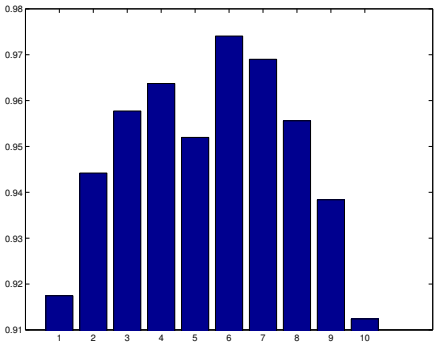

Figura 7.44: Comportamento de I médio de CAC1(1), CAC2(2), CAC3(3), CAC4(4), CAC5(5) CAC6(6), CAC7(7) e 0CG(8), 1CG(9) e 2CG(10) $\mathbf{Q}(\%) = (5;3)$, tempo de permanência distribuição uniforme.

O resultado dos algoritmos quanto ao parâmetro I de máxima intensidade de tráfego dentro dos requisitos de QoS é apresentado na figura 7.44. Observa-se que os melhores resultados são obtidos por $CAC6$ e $CAC7$. O algoritmo $CAC6$ tende a apresentar bons resultados neste parâmetro, pois seu objetivo é exatamente conseguir um maior valor de ρ_Q monitorando os valores de percentual de bloqueio e de falhas de *handoff* e comparando-os aos requisitos de QoS. O algoritmo $CAC7$ também apresenta bom desempenho no parâmetro I, já que foi projetado para apresentar os valores ideais a serem reservados no caso de distribuição exponencial e o comportamento

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

dos algoritmos diante da distribuição uniforme é semelhante ao da exponencial.

7.4.4
Parâmetro F, Caso Distribuição Uniforme

As curvas do parâmetro F correspondentes ao cenário $Q(\%) = (5;3)$ e taxa de mobilidade $\theta = 4$ estão representadas nas figuras 7.45 e 7.46. O algoritmos CAC3 e CAC7 apresentam valores elevados de parâmetro F na figura 7.45. Já os algoritmos CAC1 e CAC2 apresentam um desempenho fraco para a situação apresentada na figura 7.46.

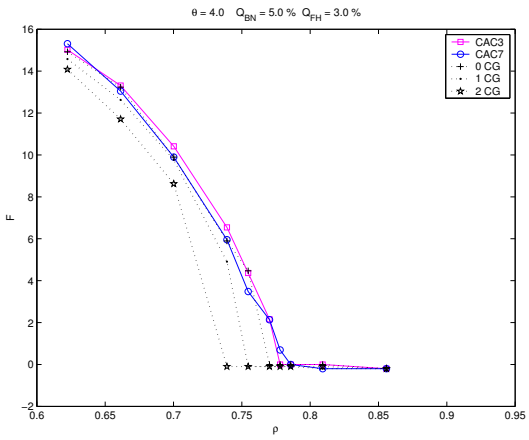

Figura 7.45: Comportamento do parâmetro F de CAC3 e CAC7 e 0CG, 1CG e 2CG $\mathbf{Q}(\%) = (5;3)$ e $\theta = 4$, tempo de permanência dado pela distribuição uniforme.

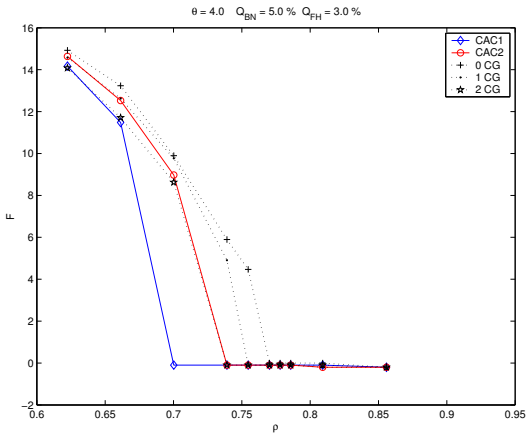

Figura 7.46: Comportamento do parâmetro F de CAC1 e CAC2 e 0CG, 1CG e 2CG $\mathbf{Q}(\%) = (5;3)$ e $\theta = 4$, tempo de permanência dado pela distribuição uniforme.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

7.5
Distribuição Weibull para o Tempo de Permanência na Célula

Nesta seção, a simulação de redes é feita com o tempo de permanência do usuário na célula representado pela distribuição Weibull, seus resultados são comparados ao caso analítico que considera o tempo de permanência como uma distribuição exponencial.

No caso em que o modelo adotado para o tempo de permanência do usuário na célula é a distribuição Weibull, sua função densidade de probabilidade é dada pela equação (A-33). Os parâmetros λ e K definem a forma e a escala da distribuição Weibull de acordo com o comportamento apresentado na figura A.1. A definição dos parâmetros da distribuição é feita no Apêndice A.

Na seção 7.5.1 são analisados os casos com número fixo de canais de guarda e na seção 7.5.2 são apresentados os resultados dos algoritmos propostos.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

7.5.1
Algoritmos Fixos Simulados com o Tempo de Permanência dado pela Distribuição Weibull, Comparados aos Resultados Analíticos com o Tempo de Permanência dado pela Distribuição Exponencial.

As figuras 7.47, 7.48 apresentam as curvas de P_{BN} e P_{FH}, relativas aos algoritmos de número fixo de canais de guarda com taxa de mobilidade $\theta = 2$. As curvas relativas aos casos o simulados com distribuição Weibull são representadas pelas linhas contínuas que se situam próximas das curvas do caso analítico com distribuição exponencial, representado pelas linhas pontilhadas.

Não são encontradas variações significativas no caso de se aumentar a taxa de mobilidade para $\theta = 6$, cujos resultados estão nas figuras 7.49 e 7.50.

O comportamento para a distribuição Weibull é semelhante ao que foi observado nos casos anteriores que consideraram a distribuição constante e a distribuição uniforme.

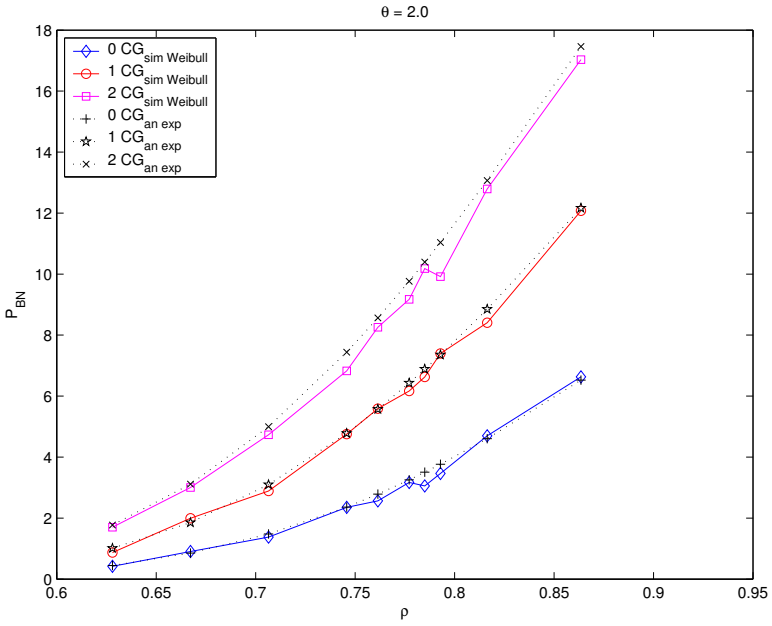

Figura 7.47: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, tempo de permanência Weibull simulado e tempo de permanência exponencial analítico.

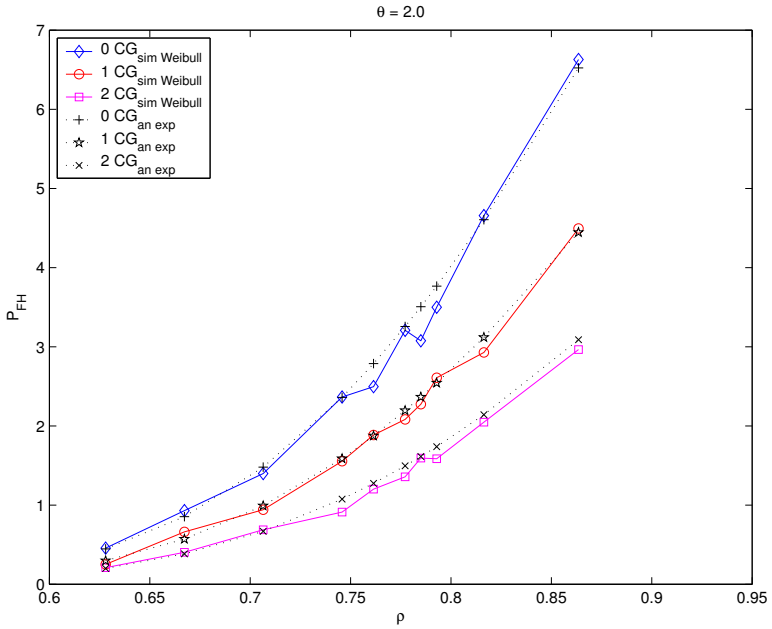

Figura 7.48: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, tempo de permanência Weibull simulado e tempo de permanência exponencial analítico.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

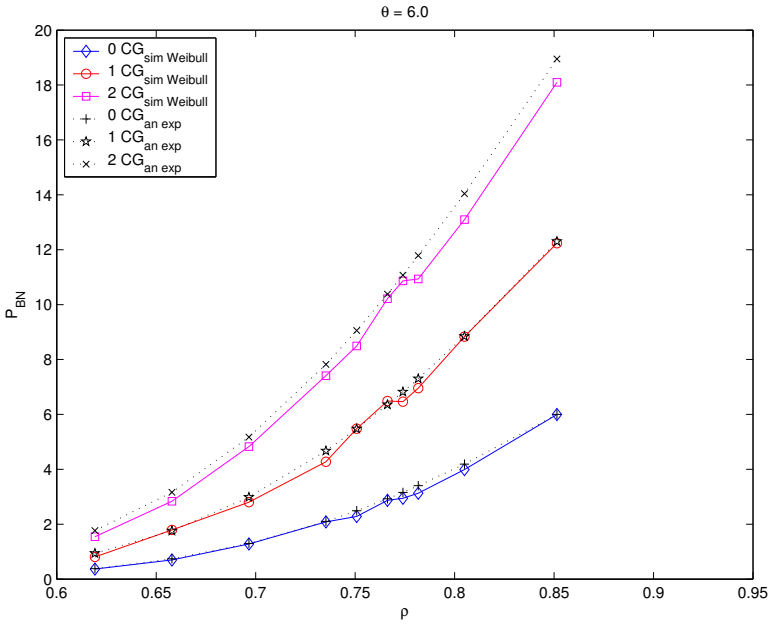

Figura 7.49: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$, tempo de permanência Weibull simulado e tempo de permanência exponencial analítico.

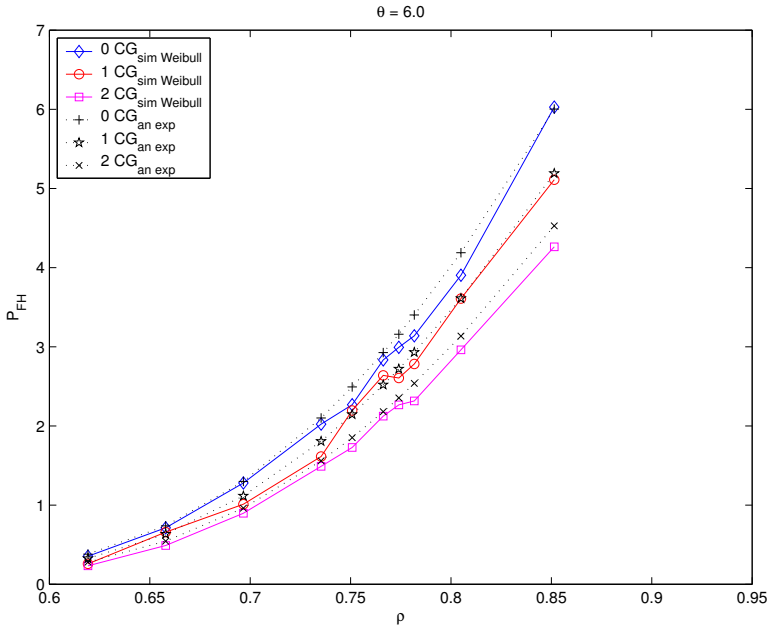

Figura 7.50: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$, tempo de permanência Weibull simulado e tempo de permanência exponencial analítico.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

7.5.2
Algoritmos Propostos Simulados com o Tempo de Permanência na Célula dado pela Distribuição Weibull

Podemos comparar os resultados apresentados para as distribuições exponencial e constante, respectivamente nas figuras 7.5, 7.27 e 7.37 com os resultados da figura 7.51, onde o tempo de permanência do usuário é dado por uma distribuição Weibull. Observa-se que os algoritmos dinâmicos se adaptam bem ao ambiente com qualquer das três distribuições no que diz respeito ao número de recursos reservados para os usuários em *handoff* .

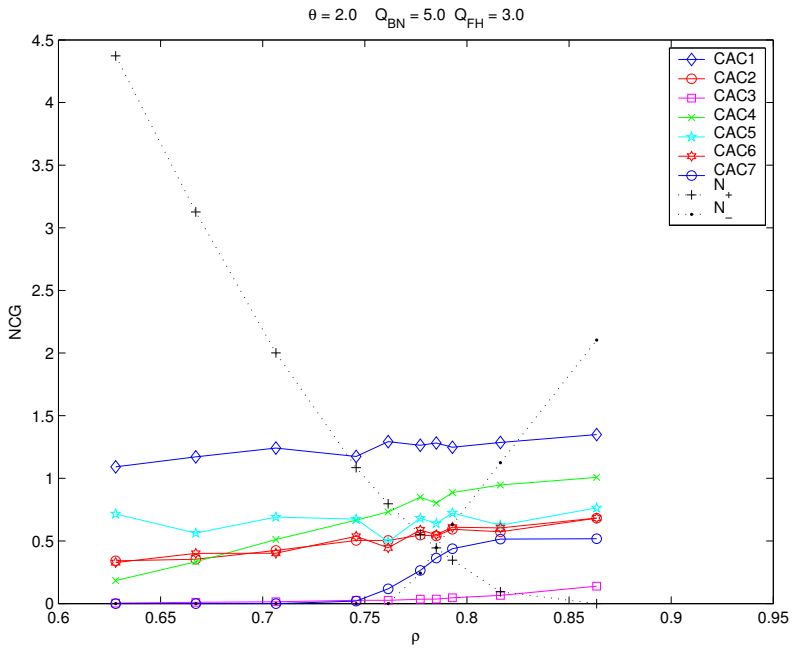

Figura 7.51: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência dado pela distribuição Weibull.

O cenário referente às figuras 7.52, 7.53 e 7.54 é definido por: taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisitos de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$ e tempo de permanência dado pela distribuição Weibull. Os gráficos de percentual de bloqueio de chamadas novas e de falha de *handoff* estão nas figuras 7.53 e 7.54, respectivamente. As curvas pontilhadas na cor preta representam os algoritmos fixos simulados e as curvas em traço contínuo e colorido representam os algoritmos dinâmicos propostos. Neste caso $\theta = 1$ e os algoritmos $CAC2$, $CAC4$, $CAC5$ e $CAC7$ apresentam intensidade de tráfego ρ_Q muito próxima do valor ideal indicado pelos traços verticais, ρ_Q^*. Apenas $CAC1$, $CAC6$ e $CAC3$ não apresentam resultados muito bons neste cenário. Na figura 7.52, observa-se que o algoritmo $CAC3$ apresenta um

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

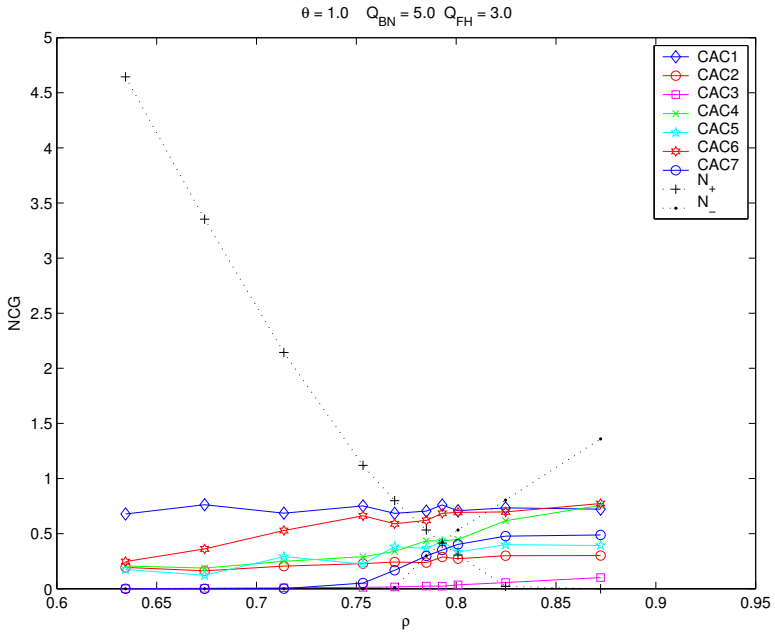

Figura 7.52: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência dado pela distribuição Weibull.

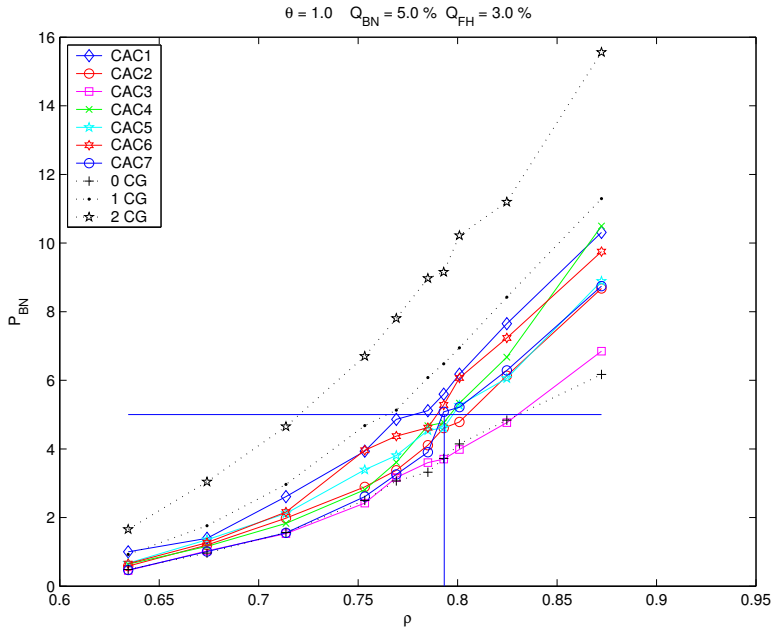

Figura 7.53: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição Weibull.

valor baixo de recursos reservados e os algoritmos $CAC1$ e $CAC6$ tendem a reservar um pouco a mais que o necessário.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

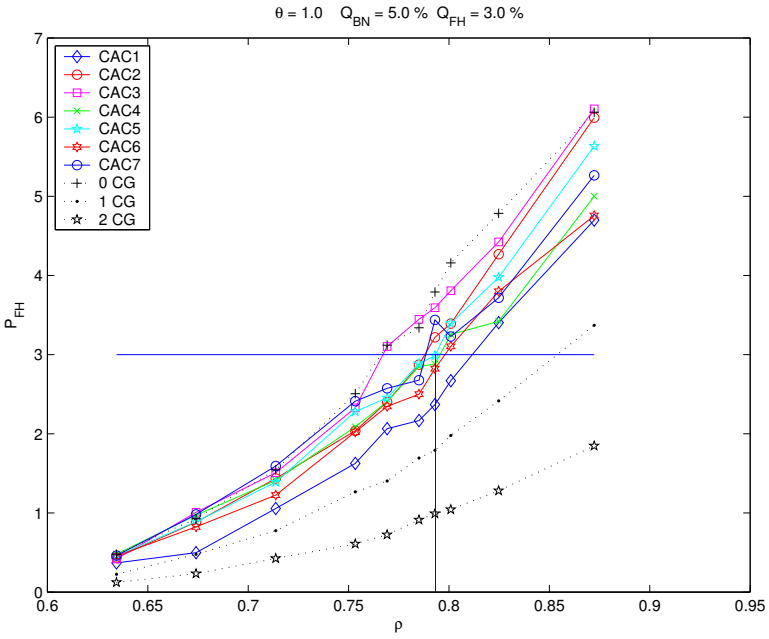

Figura 7.54: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição Weibull.

Nas figuras 7.55, 7.56 e 7.57 o cenário é modificado para taxa de mobilidade $\theta = 4$,o par de requisitos de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0.4)$ e o tempo de permanência é dado pela distribuição Weibull. Neste caso é necessário proteger bem as chamadas em *handoff*, exigindo um número maior de recursos a serem reservados na região próxima a ρ_Q^*. Na figura 7.55 observa-se que o único algoritmo capaz de provocar a elevação acentuada da curva de número de canais de guarda é o $CAC7$ que foi projetado para tal, baseado na tabela calculada no caso de tempo de permanência exponencial. Os algoritmos $CAC1$, $CAC4$, $CAC5$ e $CAC6$ também alcançam o ponto ρ_Q^* com um número de canais de guarda próximo ao ideal, embora não se preocupem com o número ideal de recursos a serem reservados antes deste ponto.

Considerando as figuras 7.56 e 7.57, tem-se que os algoritmos $CAC1$, $CAC4$, $CAC6$ e $CAC7$ são capazes de conseguir se manter obedientes aos dois requisitos de QoS por uma intensidade ρ_Q muito próxima. Neste cenário as curvas de P_{FH} são muito próximas entre si e tendem a definir o valor de ρ_Q.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

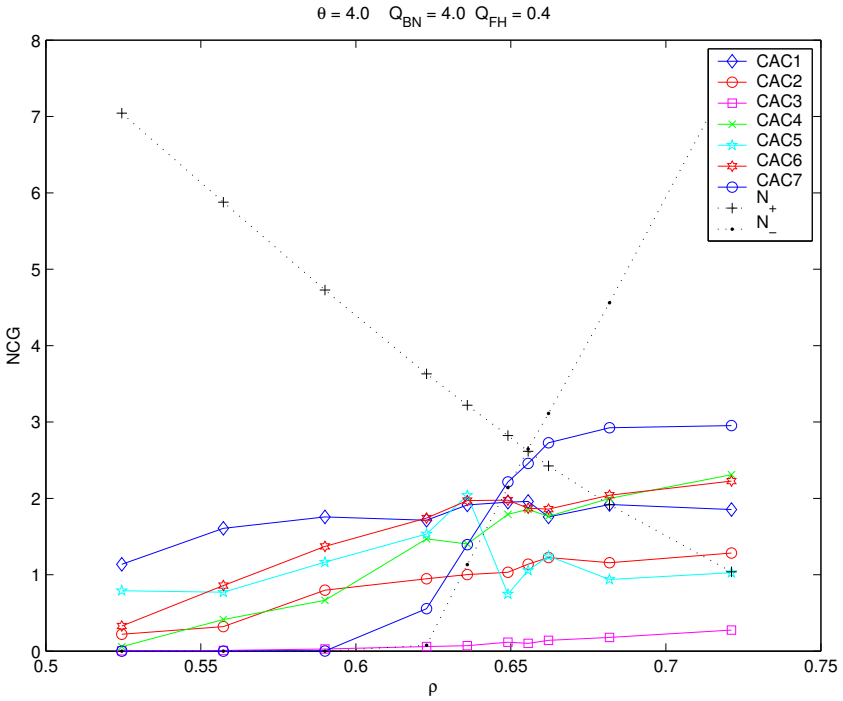

Figura 7.55: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 4$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0.4)$, tempo de permanência dado pela distribuição Weibull.

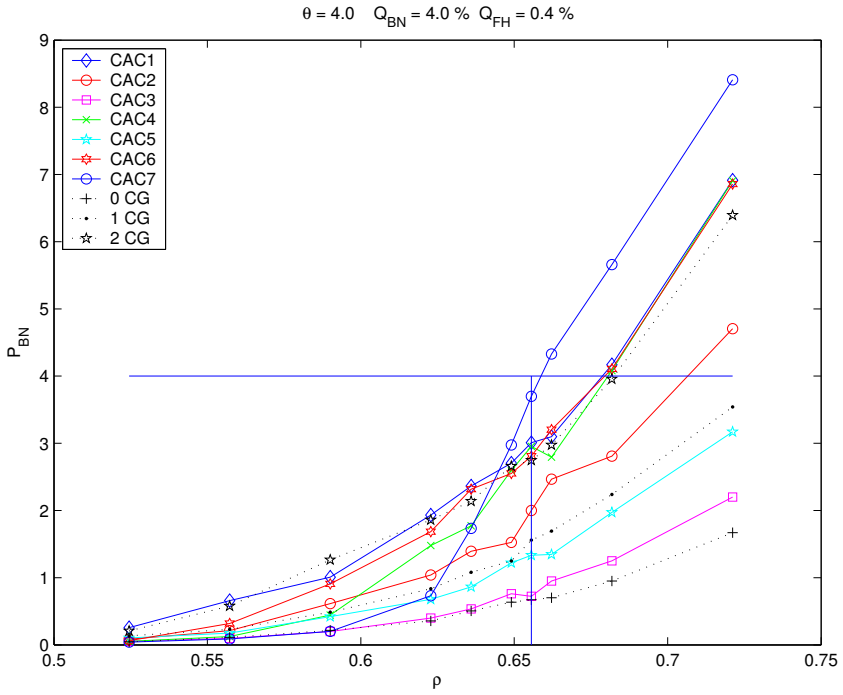

Figura 7.56: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 4$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0.4)$, tempo de permanência distribuição Weibull.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

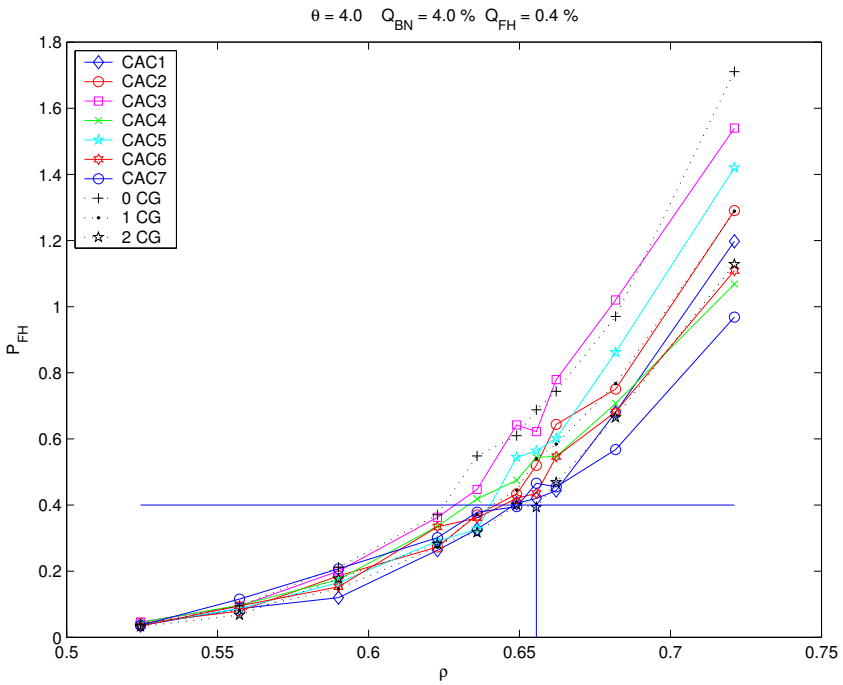

Figura 7.57: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 4$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0.4)$, tempo de permanência distribuição Weibull.

7.5.3
Parâmetro I, Intensidade de Tráfego, Caso Distribuição Weibull

A figura 7.58 apresenta o valor médio do parâmetro I, razão da intensidade de tráfego de entrada para o par de requisitos de QoS: $\mathbf{Q}(\%) = (5;3)$. Nota-se que os algoritmos $CAC7$ e $CAC6$ apresentam os maiores valores de intensidade de tráfego de entrada dentro dos limites estabelecidos pelo QoS.

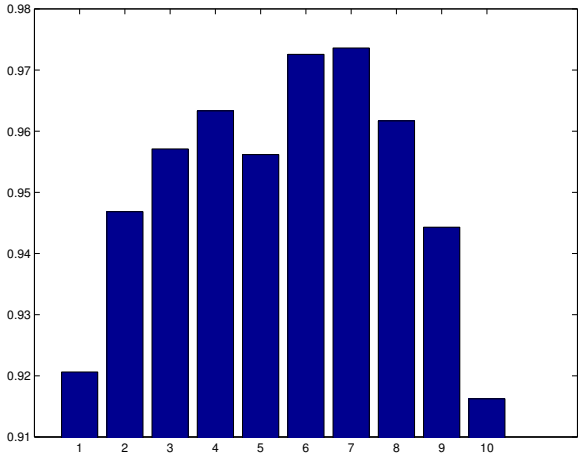

Figura 7.58: Comportamento de I médio de CAC1(1), CAC2(2), CAC3(3), CAC4(4), CAC5(5) CAC6(6), CAC7(7) e 0CG(8), 1CG(9) e 2CG(10) $\mathbf{Q}(\%) = (5;3)$, tempo de permanência Weibull.

7.5.4
Parâmetro F, Caso Distribuição Weibull

As figuras 7.59 e 7.60 apresentam os resultados do parâmetro F dos algoritmos CAC6 e CAC7 correspondente ao cenário $Q(\%) = (5;3)$ e taxas de mobilidade: $\theta = 2$ e $\theta = 1$, respectivamente. Observa-se que, nos dois casos, o algoritmo CAC7 apresenta um excelente desempenho quanto ao parâmetro F, permanecendo superior ao valor alcançado pelos algoritmos fixos e apresentando um valor alto de intensidade de tráfego dentro dos requisitos de QoS. O algoritmo CAC6 apresenta um desempenho um pouco inferior, embora seja melhor em torno da região onde está prestes a ultrapassar as restrições de QoS, obtendo uma intensidade de tráfego também elevada até o valor em que é possível atender aos requisitos de QoS.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

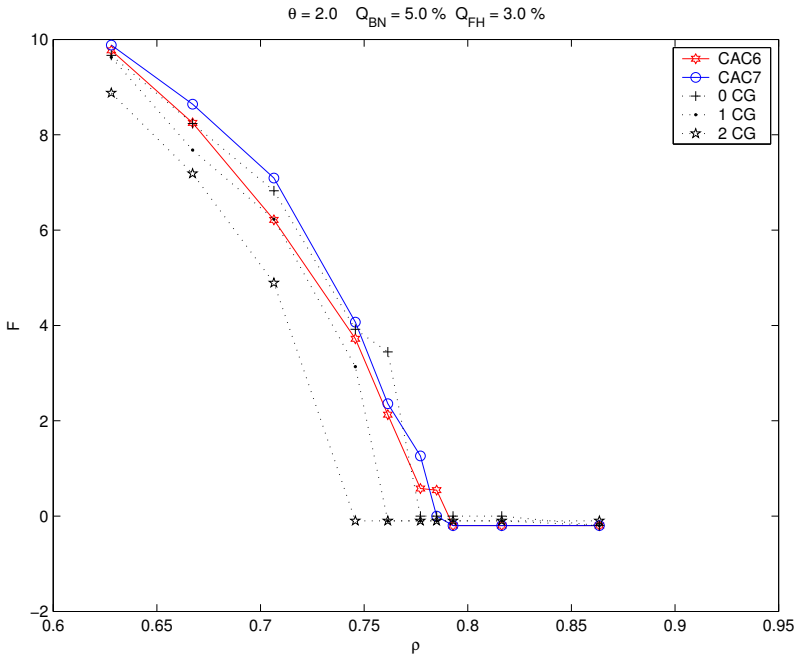

Figura 7.59: Comportamento do parâmetro F de CAC6, CAC7 e 0CG, 1CG e 2CG $\mathbf{Q}(\%) = (5;3)$ e $\theta = 2$, tempo de permanência dado pela distribuição Weibull.

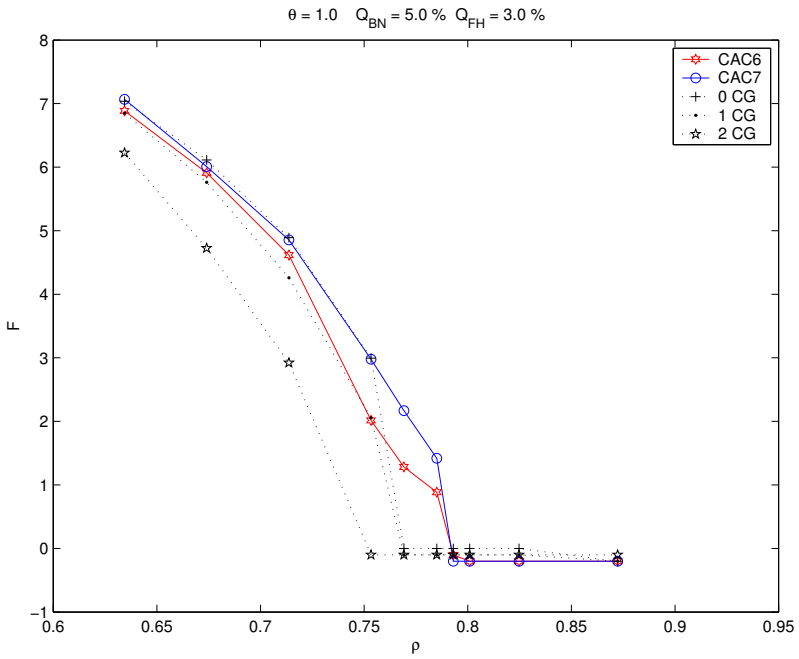

Figura 7.60: Comportamento do parâmetro F de CAC6, CAC7 e 0CG, 1CG e 2CG $\mathbf{Q}(\%) = (5;3)$ e $\theta = 1$, tempo de permanência dado pela distribuição Weibull.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

7.6 Conclusão

Neste capítulo foi verificado o desempenho dos algoritmos fixos e dos algoritmos propostos no caso em que o tempo de permanência do usuário na célula é dado por outras distribuições além da exponencial. Tal procedimento foi induzido pela referência [41] aonde os autores apenas citam o fato de que outras distribuições podem ser utilizadas para o tempo de permanência.

No artigo referido como [54] é apresentada uma equação que relaciona o tempo médio de permanência do usuário na célula com a taxa de mobilidade; os percentuais de bloqueio e a distribuição estatística que modela o tempo de permanência. No referido trabalho os autores consideram apenas a distribuição exponencial.

Nesta tese, estendemos o trabalho feito em [54], considerando além da distribuição exponencial, as distribuições constante, uniforme e Weibull para o tempo de permanência do usuário na célula citadas em [41].

Os parâmetros das distribuições são relacionados à taxa de mobilidade e ao tipo de distribuição. Os cálculos necessários estão apresentados no Apêndice A.

A conclusão deste capítulo é apresentada em duas etapas. Primeiro, o comportamento de algoritmo com número fixo de canais de guarda é analisado em relação às quatro distribuições testadas. Segundo é analisado o comportamento dos sete algoritmos propostos comparando-os entre si e em relação às distribuições propostas para o tempo de permanência do usuário na célula.

7.6.1 Desempenho dos Algoritmos com Número Fixo de Canais de Guarda

Inicialmente foi testado o desempenho dos algoritmos com número fixo de canais de guarda e verificou-se que o desempenho diante da distribuição exponencial é semelhante ao desempenho utilizando no modelo que utiliza as distribuições constante, uniforme e Weibull. Tal resultado é observado nas figuras 7.61 e 7.62 que apresentam as curvas de percentual de bloqueio de chamadas novas e de falha de *handoff*, no caso em que a taxa de mobilidade $\theta = 1$, os algoritmos são fixos com: $0CG$, $1CG$ e $2CG$.

A figura 7.63, referente ao caso $\theta = 1$, demonstra que o comportamento das quatro distribuições é semelhante. No entanto, observa-se que a utilização não é um bom parâmetro para se comparar os algoritmos pois

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

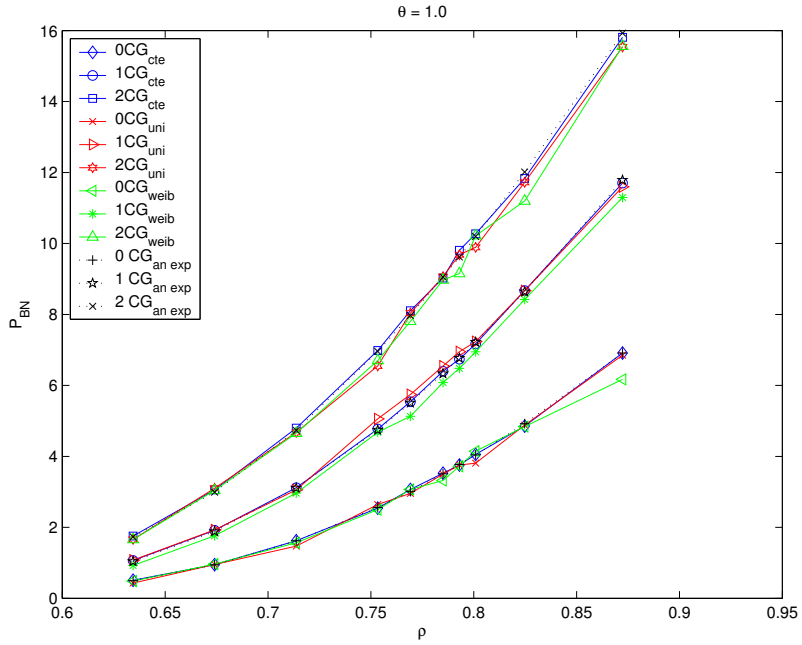

Figura 7.61: Comparação das distribuições constante, uniforme, Weibull e exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula; percentual de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$.

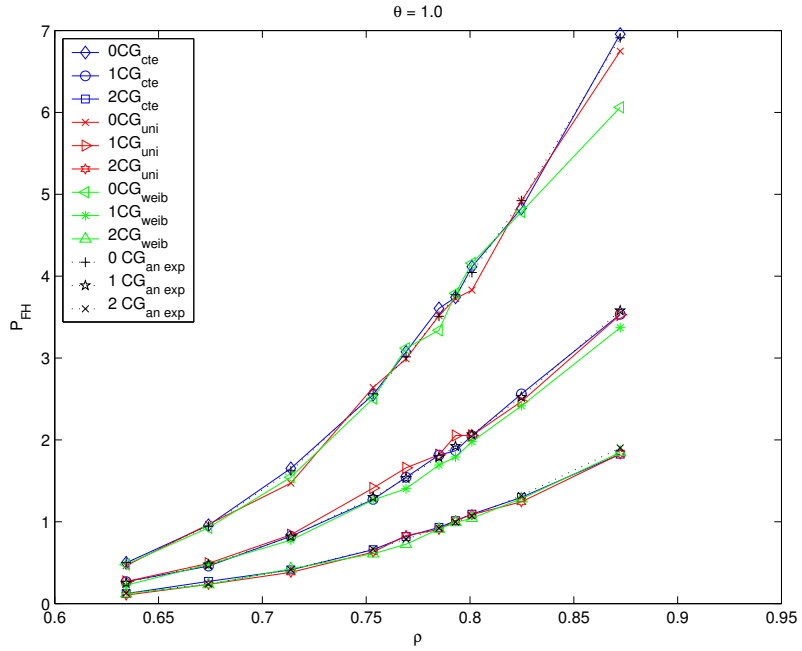

Figura 7.62: Comparação das distribuições constante, uniforme, Weibull e exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula; percentual de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

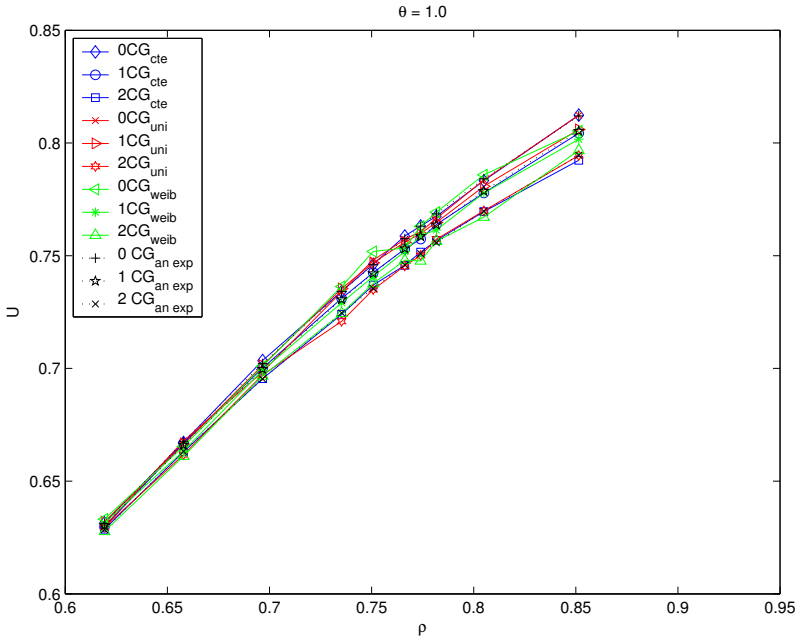

Figura 7.63: Comparação das distribuições constante, uniforme, Weibull e exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula; utilização versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$.

suas curvas são muito próximas entre si. Os pequenos ganhos que um algoritmo possa ter em relação ao outro podem se confundir com as variações estatísticas. Em todos os casos testados, as curvas de utilização são sempre muito próximas, por mais que se tente obter ganhos na utilização dos recursos, foi quase impossível concretizar este objetivo ao observar as curvas de utilização. Daí a necessidade de se definir novos parâmetros para comparar o desempenho obtido com os algoritmos propostos.

O mesmo resultado de proximidade entre as curvas das diferentes distribuições é observado nas figuras 7.64, 7.65 e 7.66 que apresentam as curvas de percentual de bloqueio de chamadas novas no caso em que a taxa de mobilidade é dada por $\theta = 0.2$, 4 e 6, respectivamente.

Nos três casos, a taxa de mobilidade varia de um valor muito baixo, $\theta = 0.2$ na figura 7.64, até um valor alto, $\theta = 6$ na figura 7.66. O comportamento simulado com as distribuições constante, uniforme e Weibull se mantém semelhante ao comportamento analítico calculado utilizando a distribuição exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula.

Para promover um cenário mais afastado das configurações anteriores, nas figuras 7.67 e 7.68 são apresentadas as curvas referentes às distribuições constante, uniforme exponencial e Weibull para o caso da taxa de mobilidade $\theta = 8$ e 5 canais de guarda. Observa-se que, mesmo neste caso de elevada

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

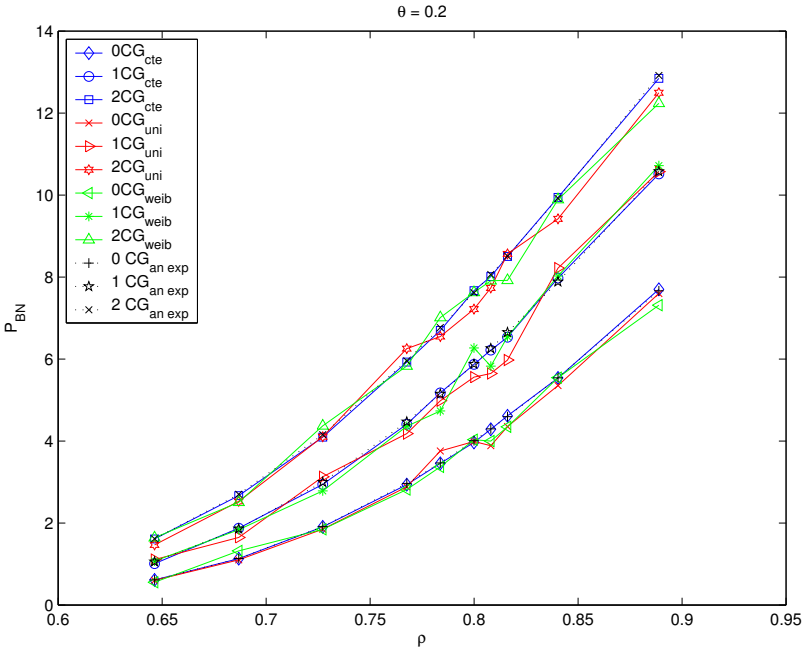

Figura 7.64: Comparação das distribuições constante, uniforme, Weibull e exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula; percentual de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0.2$.

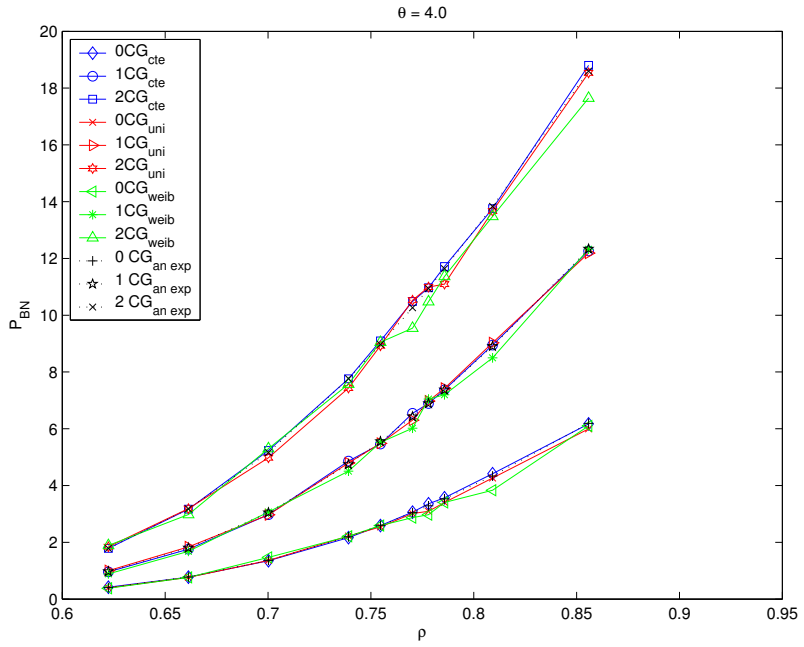

Figura 7.65: Comparação das distribuições constante, uniforme, Weibull e exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula; percentual de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 4$.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

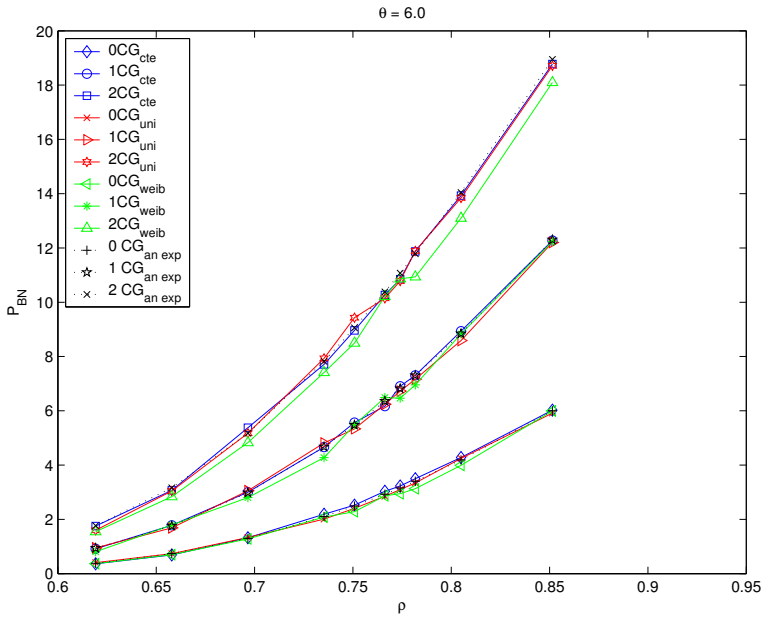

Figura 7.66: Comparação das distribuições constante, uniforme, Weibull e exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula; percentual de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$.

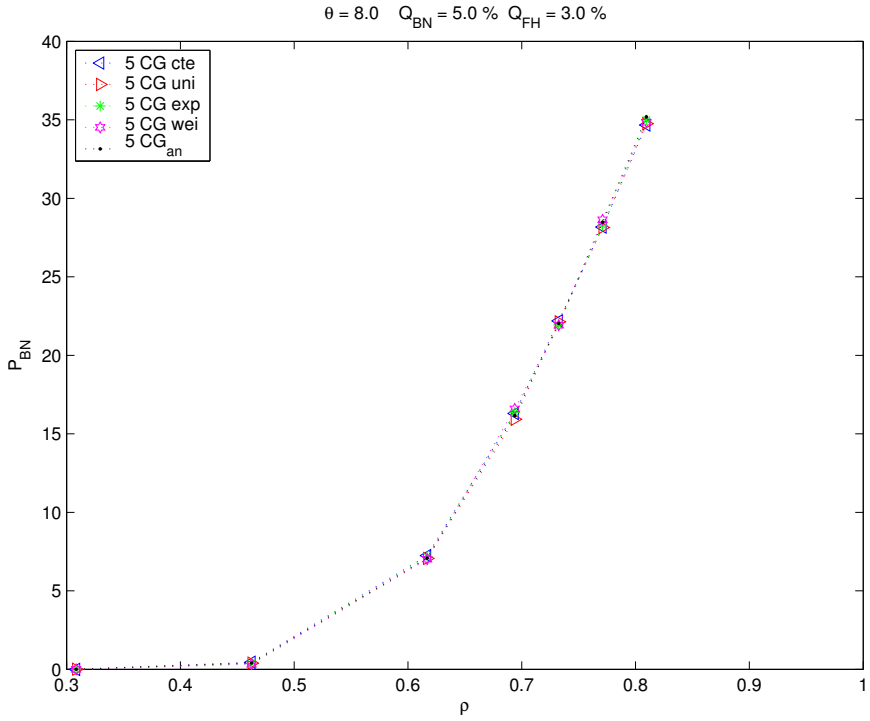

Figura 7.67: Comparação das distribuições constante, uniforme, Weibull e exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula; percentual de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 8$ e 5CG.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

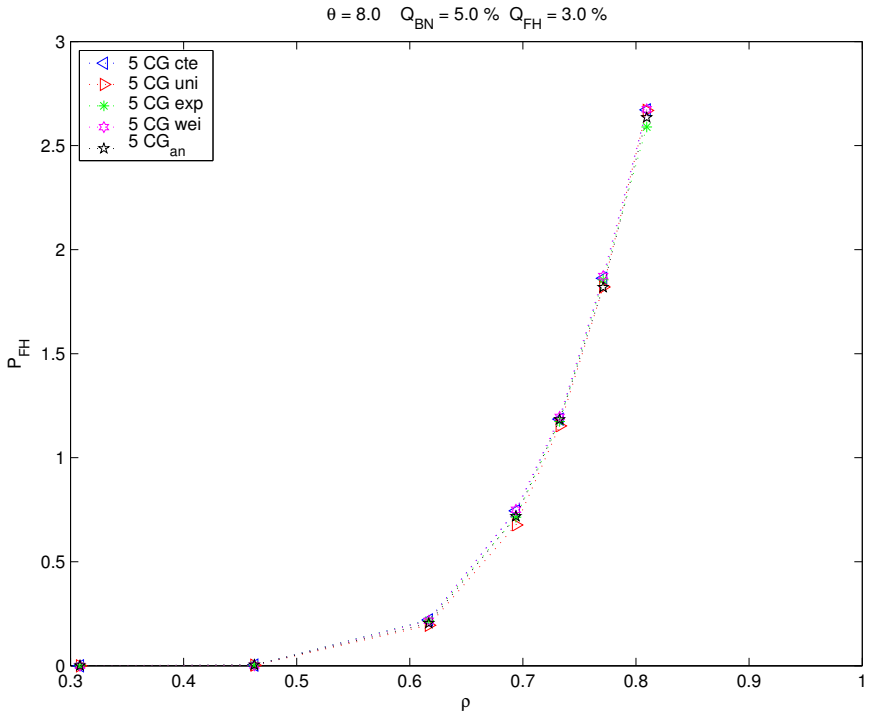

Figura 7.68: Comparação das distribuições constante, uniforme, Weibull e exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula; percentual de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 8$ e 5CG.

taxa de mobilidade e de um número maior de canais de guarda, as curvas são coincidentes.

Observou-se que o desempenho dos algoritmos depende da média da distribuição que está sendo utilizada para o tempo de permanência, e da taxa de mobilidade. Além disto, o desempenho quase não depende da forma da distribuição do tempo de permanência do usuário na célula. Convém lembrar que o tempo de retenção do canal é dado pelo menor valor entre o tempo de permanência da célula representado pelas distribuições exponencial, uniforme, constante e Weibull; e o tempo de duração da chamada, sempre representado pela distribuição exponencial.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

7.6.2 Desempenho dos Algoritmos Dinâmicos Propostos

Para melhor comparar o desempenho dos algoritmos propostos, aqui estão apresentados os resultados dos sete algoritmos para cada uma das quatro distribuições que modelam o tempo de permanência do usuário na célula. Verificou-se que estes apresentam melhores resultados que os algoritmos fixos pois são capazes de se adaptar às condições de tráfego em andamento e aos requisitos de qualidade de serviço impostos pelo sistema.

Estendemos a aplicação do parâmetro I, definido para a distribuição exponencial, na análise do comportamento dos algoritmos. Observa-se que o parâmetro também serve para comparar o desempenho dos algoritmos diante de outras distribuições para o tempo de permanência na célula, já que se trata de uma razão entre duas intensidades de tráfego máximas dentro dos requisitos de QoS.

O parâmetro F, definido neste capítulo, foi utilizado para comparar o desempenho dos algoritmos. Este parâmetro traz a informação simultânea das probabilidades de bloqueio de chamadas novas e de chamadas em *handoff* e o valor máximo de intensidade de tráfego dentro dos requisitos de QoS.

As figuras 7.69 e 7.70 apresentam o diagrama de barras do parâmetro I e as curvas do parâmetro F para o algoritmo $CAC1$, caso $Q\% = (5;3)$ e $\theta = 2$. O algoritmo $CAC1$ visa favorecer as chamadas em *handoff* monitorando apenas as suas falhas individuais e não a medida de percentual de falhas de chamadas em *handoff*, B_{FH}.

As figuras 7.71 e 7.72 apresentam o diagrama de barras do parâmetro I e as curvas do parâmetro F para o algoritmo $CAC2$, caso $Q\% = (5;3)$ e $\theta = 2$. O algoritmo $CAC2$ aumenta e diminui o número de recursos reservados no setor de acordo ambas as medidas B_{FH} e B_{BN}.

As figuras 7.73 e 7.74 apresentam o diagrama de barras do parâmetro I e as curvas do parâmetro F para o algoritmo $CAC3$, caso $Q\% = (5;3)$ e $\theta = 2$. O objetivo do algoritmo $CAC3$ é manter a medida instantânea de falha de *handoff* logo abaixo do seu requisito de QoS, Q_{FH}. Seu objetivo é atender o requisito Q_{FH} e aumentar a utilização dos recursos, admitindo até o valor máximo aceitável de falhas de chamadas em *handoff*.

As figuras 7.75 e 7.76 apresentam o diagrama de barras do parâmetro I e as curvas do parâmetro F para o algoritmo $CAC4$, caso $Q\% = (5;3)$ e $\theta = 2$. Neste algoritmo, $CAC4$, além das já conhecidas medidas B_{BN} e B_{FH}. Os recursos reservados são controlados de acordo com as possibilidades de sobrecarga do sistema.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

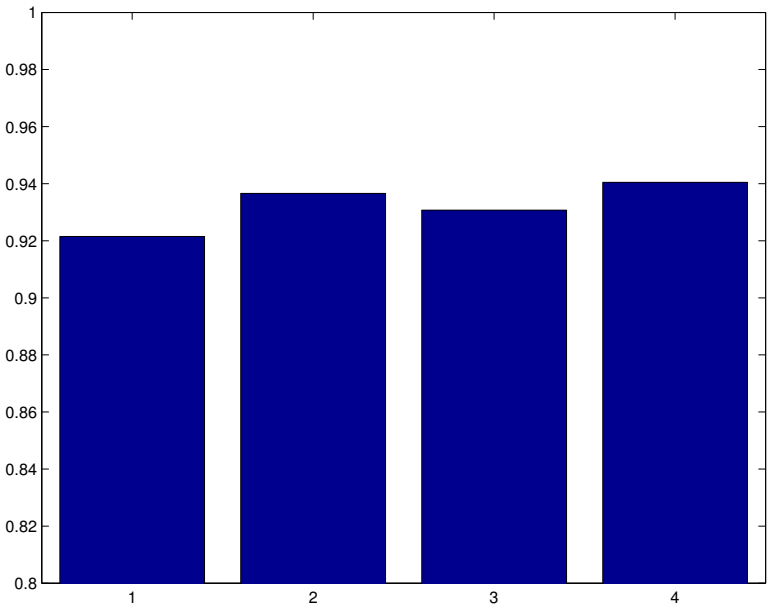

Figura 7.69: Comparação das distribuições constante(1), uniforme(2), exponencial(3) e Weibull(4) para o tempo de permanência do usuário na célula; diagrama de barras do Parâmetro I, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC1.

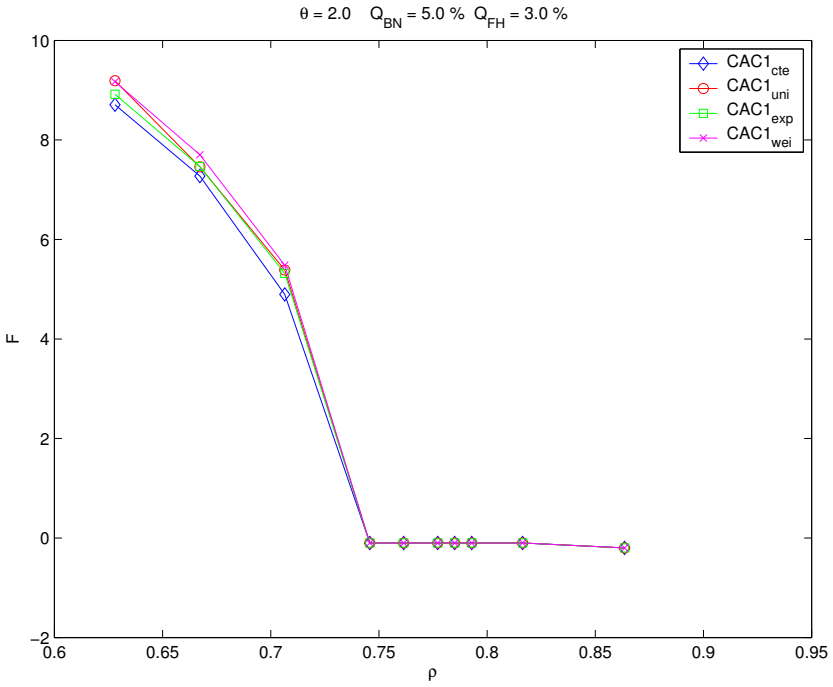

Figura 7.70: Comparação das distribuições constante, uniforme, exponencial e Weibull para o tempo de permanência do usuário na célula; parâmetro F versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC1.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

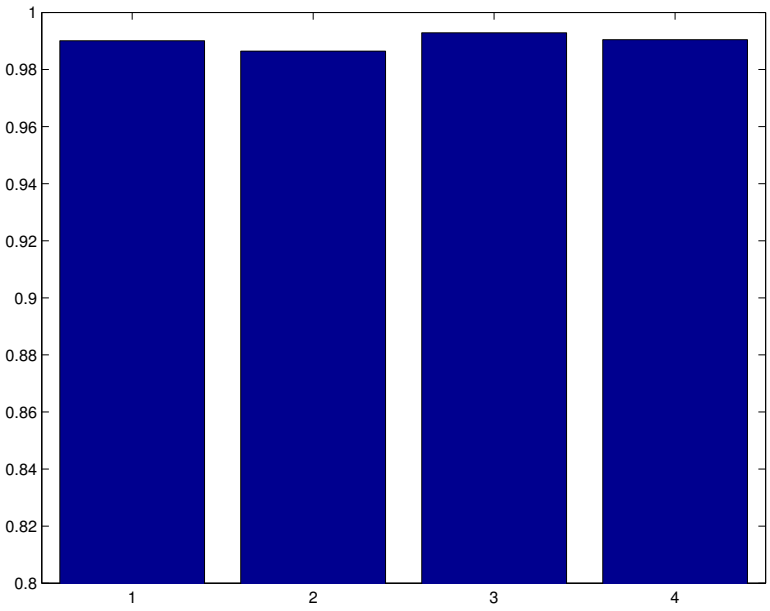

Figura 7.71: Comparação das distribuições constante(1), uniforme(2), exponencial(3) e Weibull(4) para o tempo de permanência do usuário na célula; diagrama de barras do Parâmetro I, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC2.

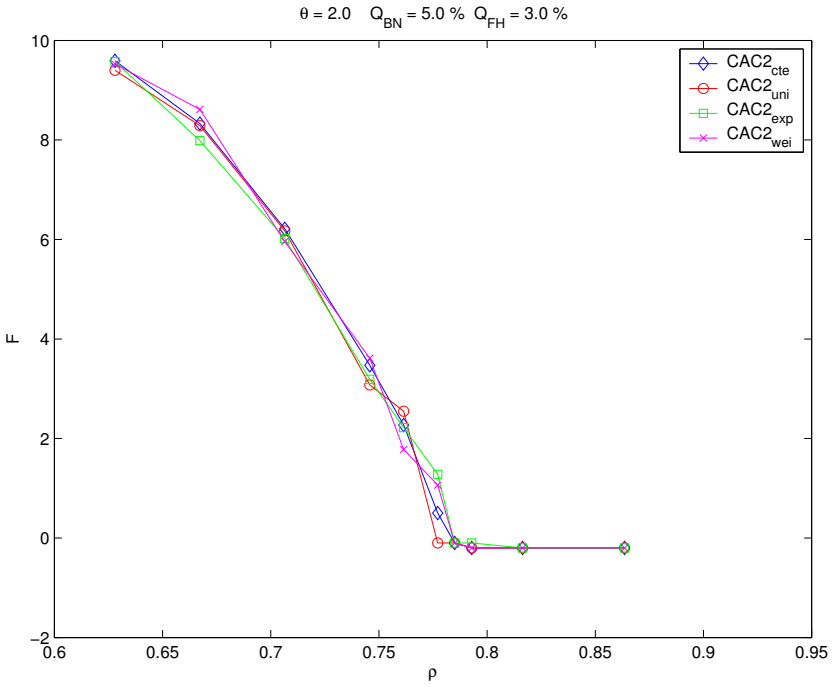

Figura 7.72: Comparação das distribuições constante, uniforme, exponencial e Weibull para o tempo de permanência do usuário na célula; parâmetro F versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC2.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

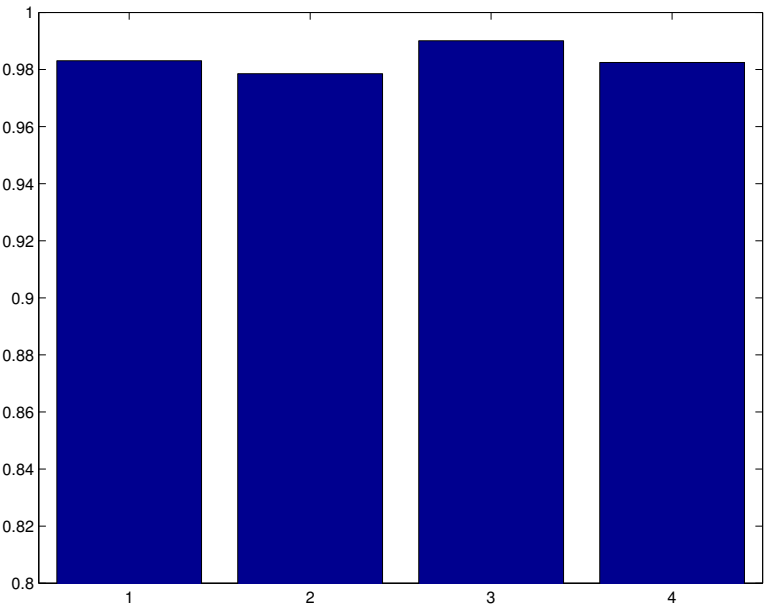

Figura 7.73: Comparação das distribuições constante(1), uniforme(2), exponencial(3) e Weibull(4) para o tempo de permanência do usuário na célula; diagrama de barras do Parâmetro I, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC3.

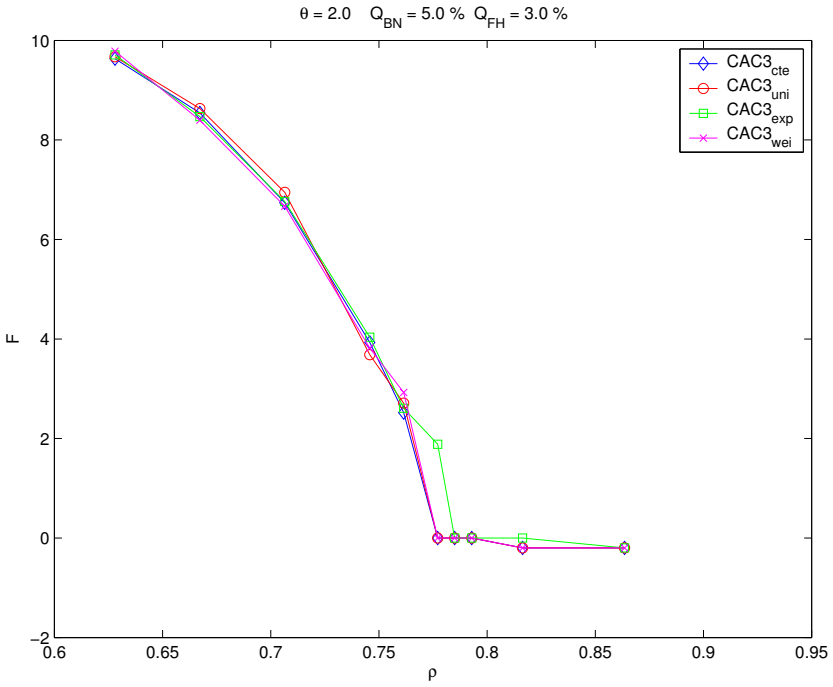

Figura 7.74: Comparação das distribuições constante, uniforme, exponencial e Weibull para o tempo de permanência do usuário na célula; parâmetro F versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC3.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

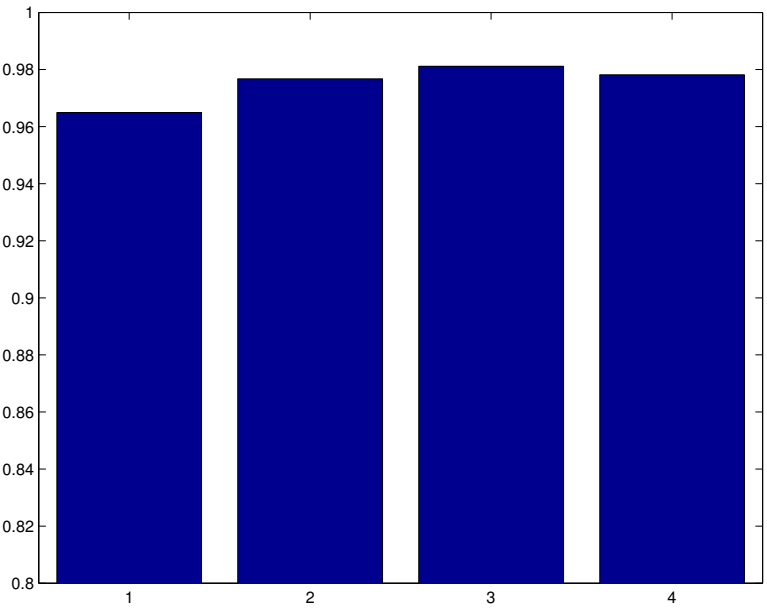

Figura 7.75: Comparação das distribuições constante(1), uniforme(2), exponencial(3) e Weibull(4) para o tempo de permanência do usuário na célula; diagrama de barras do Parâmetro I, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC4.

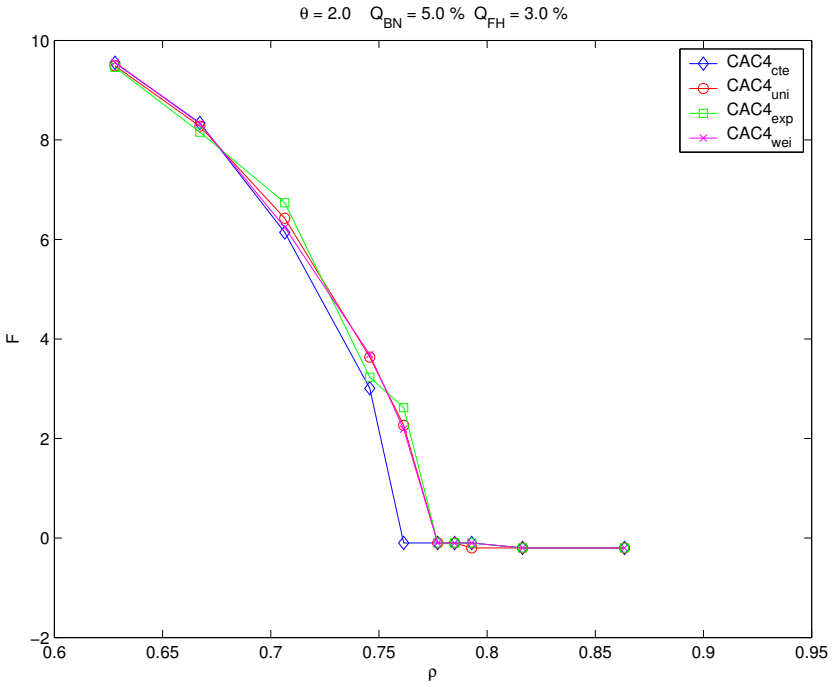

Figura 7.76: Comparação das distribuições constante, uniforme, exponencial e Weibull para o tempo de permanência do usuário na célula; parâmetro F versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC4.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

As figuras 7.77 e 7.78 apresentam o diagrama de barras do parâmetro I e as curvas do parâmetro F para o algoritmo $CAC5$, caso $Q\% = (5;3)$ e $\theta = 2$. No algoritmo $CAC5$ não há a utilização explícita de reserva de recursos. Os usuários são aceitos, ou não, de acordo com uma probabilidade que é função das medidas θ, B_{BN} e B_{FH}.

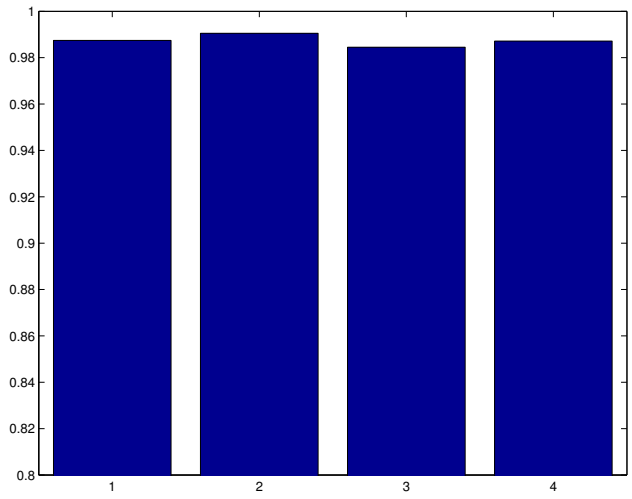

Figura 7.77: Comparação das distribuições constante(1), uniforme(2), exponencial(3) e Weibull(4) para o tempo de permanência do usuário na célula; diagrama de barras do Parâmetro I, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC5.

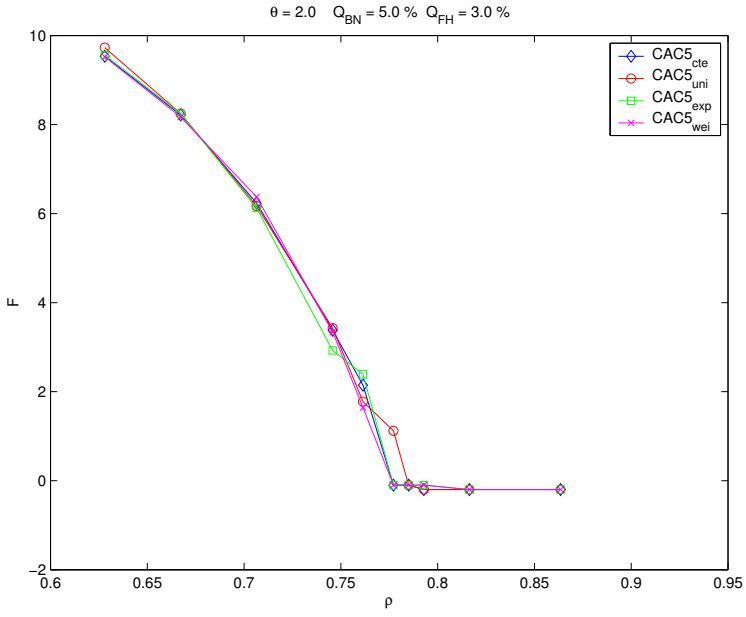

Figura 7.78: Comparação das distribuições constante, uniforme, exponencial e Weibull para o tempo de permanência do usuário na célula; parâmetro F versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC5.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

O algoritmo $CAC6$, de projeto muito simples, apresentou um desempenho excelente diante das diversas condições que foram testadas. O algoritmo procura apenas variar o número de recursos reservados de forma a chegar ao ponto ρ_Q rompendo simultaneamente as duas condições estabelecidas pelo QoS. Isto se mostrou eficiente, levando a valores elevados do parâmetro I nos vários casos testados, conforme a figura 7.79 que apresenta o diagrama de barras do caso $Q\% = (5;3)$ e $\theta = 2$. A figura 7.80 apresenta os valores do parâmetro F obtidos pelo algoritmo $CAC6$ para o mesmo cenário.

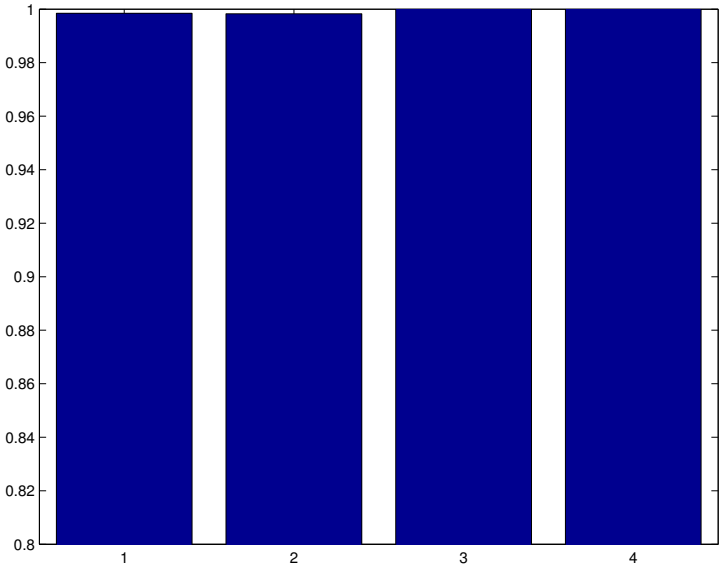

Figura 7.79: Comparação das distribuições constante(1), uniforme(2), exponencial(3) e Weibull(4) para o tempo de permanência do usuário na célula; diagrama de barras do Parâmetro I, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC6.

No algoritmo $CAC7$, os valores de número de canais de guarda são calculados e armazenados em uma tabela que é consultada pelo sistema, supondo que o tempo de permanência é dado pela distribuição exponencial. Há a estimativa dos valores de (ρ, θ) e, após a consulta a tabela, são definidos os valores a serem reservados em cada situação de perfil de tráfego. O algoritmo $CAC7$ foi testado segundo as quatro distribuições testadas para o tempo de permanência do usuário na célula. As figuras 7.81 e 7.82 apresentam os valores dos parâmetros I e F, quase iguais, obtidos pelo algoritmo $CAC7$, apenas a distribuição que descreve o tempo de permanência do usuário na célula varia. Nota-se que o algoritmo $CAC7$, embora tenha sido definido para um ambiente modelado pela distribuição exponencial, apresentou um excelente desempenho diante das outras três distribuições

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

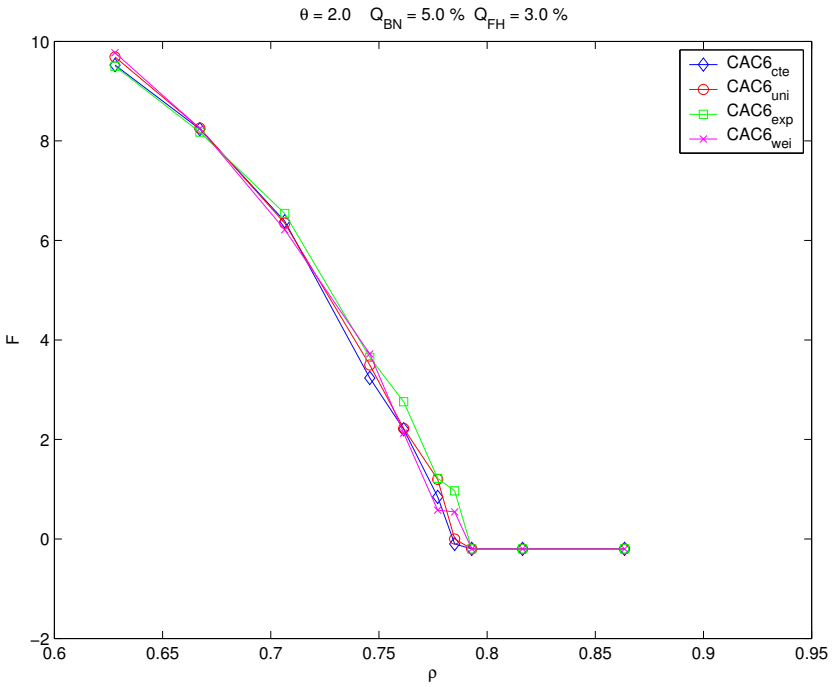

Figura 7.80: Comparação das distribuições constante, uniforme, exponencial e Weibull para o tempo de permanência do usuário na célula; parâmetro F versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC6.

testadas. Isto se deve ao fato observado de que o comportamento geral não difere muito com qualquer uma das quatro distribuições.

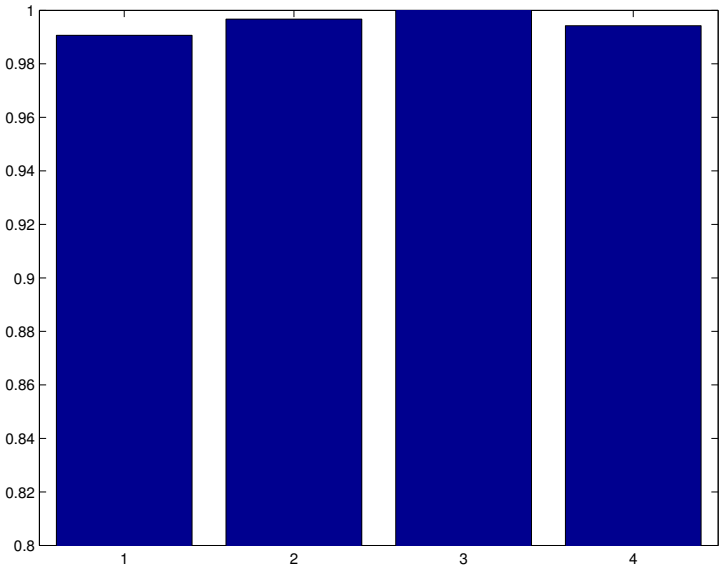

Figura 7.81: Comparação das distribuições constante(1), uniforme(2), exponencial(3) e Weibull(4) para o tempo de permanência do usuário na célula; diagrama de barras do Parâmetro I, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC7.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA

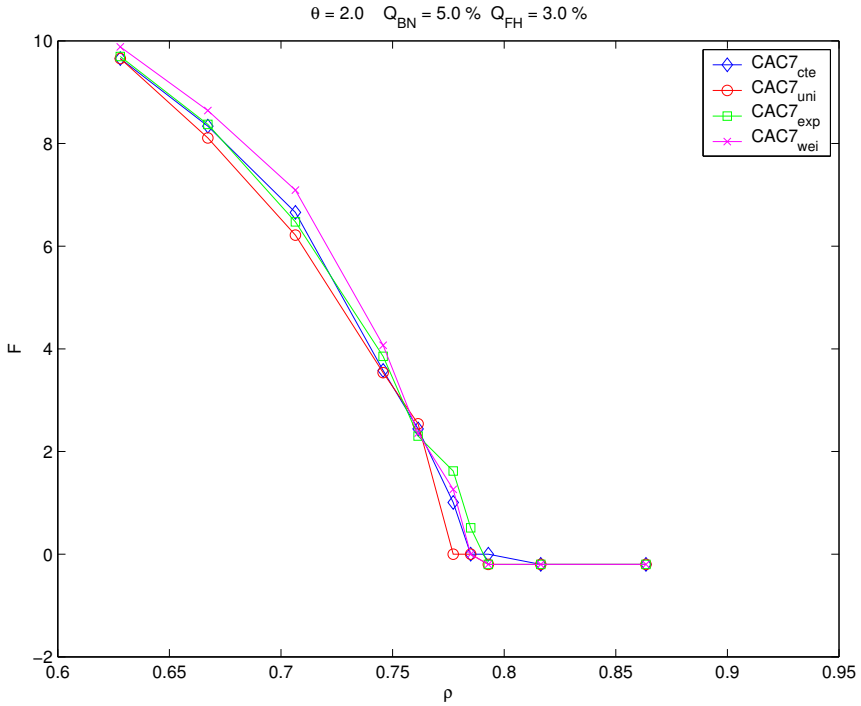

Figura 7.82: Comparação das distribuições constante, uniforme, exponencial e Weibull para o tempo de permanência do usuário na célula; parâmetro F versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC7.

Para todos os algoritmos, observa-se que o desempenho, tanto do parâmetro I quanto do parâmetro F, é bastante próximo quando se varia a distribuição que descreve o tempo de permanência.

De uma maneira geral, o algoritmo dinâmico sempre procura adaptar-se às condições oferecidas pelo cenário. Tal resultado se reflete numa maior utilização dos recursos rádio sem a necessidade de troca de informação entre as Estações Rádio Base. Todos os algoritmos de Controle de Admissão propostos são dinâmicos e distribuídos e procuram se adaptar aos requisitos de qualidade de serviço impostos ao sistema e às demandas de tráfego.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0024874/CA