

Cláudia Quevedo Lodi

**Controle de Admissão e
Reserva de Recursos em
Redes Móveis Celulares**

TESE DE DOUTORADO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
Programa de Pós-graduação em
Engenharia Elétrica

Rio de Janeiro
Junho de 2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Cláudia Quevedo Lodi

**Controle de Admissão e Reserva de
Recursos em Redes Móveis Celulares**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC - Rio como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. José Roberto Boisson de Marca

Rio de Janeiro
Junho de 2008

Cláudia Quevedo Lodi

Controle de Admissão e Reserva de Recursos em Redes Móveis Celulares

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC - Rio como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. José Roberto Boisson de Marca

Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica — PUC - Rio

Prof. Paulo Roberto Freire Cunha

Centro de Informática - UFPe

Prof. Rosa Maria Meri Leão

COPPE - UFRJ

Prof. Glaucio Lima Siqueira

PUC - Rio

Prof. Marco Antonio Grivet Mattoso Maia

PUC - Rio

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico —

PUC - Rio

Rio de Janeiro, 27 de Junho de 2008

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Cláudia Quevedo Lodi

Graduou-se em Engenharia Elétrica, ênfase em Telecomunicações, pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) em 1986. Trabalhou como engenheira. Obteve o grau de Mestre em Ciências de Engenharia Elétrica, área de Eletromagnetismo Aplicado pela PUC-Rio em 1991. Leciona em cursos de graduação em engenharia desde 1987. É Professora Adjunta do curso de graduação de oficiais da Marinha do Brasil, Escola Naval desde 1988.

Ficha Catalográfica

Quevedo-Lodi, Cláudia

Controle de Admissão e Reserva de Recursos em Redes Móveis Celulares/ Cláudia Quevedo Lodi; orientador: José Roberto Boisson de Marca. — Rio de Janeiro : PUC - Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2008.

v., 380 f: il. ; 30 cm

Tese (doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia – Teses. 2. Sistemas de comunicação. 3. Redes de Comunicações Móveis. 4. Sistemas Celulares. 5. *Handoff*. 6. Controle de Admissão de Chamadas. 7. Canais de Guarda. 8. Reserva de Recursos. I. de Marca, José Roberto Boisson. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Ao meu marido, amigo e companheiro, Gerson

e

à minha filha querida, Ursulla.

Agradecimentos

O trabalho de doutorado requer a concentração da atividade mental e um constante estado de vigília e de tensão que forma a base da percepção, do pensamento e da ação. Tal tarefa já é não é fácil para aqueles que se dedicam a ela integralmente. No meu caso, conciliar a vida familiar, o trabalho como professora e o doutorado em uma área de evolução tecnológica intensa, foi uma tarefa árdua. Várias pessoas me acompanharam nesta etapa de meu aprimoramento profissional, aqui deixo registrada a minha sincera gratidão:

ao Gerson, meu marido, pelo apoio e percepção da importância deste passo;

à Ursulla, minha filha, que acompanhou a realização desse trabalho durante os anos que foram de sua infância à adolescência;

aos meus pais, Carlos e Rosemary, pelo seu apoio incondicional, pela dedicação à minha formação acadêmica e moral, pela amizade e, principalmente, pelo seu exemplo;

à Renata, minha irmã, e a todos os meus familiares que me incentivaram;

à Mônica Chefer, minha amiga de infância, e aos amigos queridos que me encorajaram a começar ou a terminar este trabalho;

aos amigos do CETUC, pelo companheirismo que tornou o trabalho muito mais agradável; em especial, quero registrar meu agradecimento ao Tiago Vinhoza pelas discussões profícuas;

aos alunos de Iniciação Científica que trabalharam comigo na simulação;

à minha amiga Yvonne Petit, pela atenção e carinho;

ao Professor José Roberto Boisson de Marca, pelos ensinamentos e orientação;

à PUC-Rio, pela Bolsa de isenção durante os quatro anos iniciais do curso;

à ESCOLA NAVAL, Marinha do Brasil, pelos dois anos de licença.

Resumo

Quevedo-Lodi, Cláudia; de Marca, José Roberto Boisson. **Controle de Admissão e Reserva de Recursos em Redes Móveis Celulares**. Rio de Janeiro, 2008. 380p. Tese de Doutorado — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta tese apresenta novos algoritmos para controle de admissão de usuários em redes móveis celulares. É utilizada a técnica de reserva de recursos, também conhecida por uso de canais de guarda, para atingir os graus de qualidade de serviço desejados para cada tipo de usuário. São propostos algoritmos dinâmicos, capazes de se adaptar ao perfil de tráfego presente na rede e que possuem diferentes filosofias de projeto. Inicialmente, foi considerado o caso de uma classe que resulta em dois tipos de usuários: chamadas novas e chamadas em *handoff*. Os algoritmos propostos são testados em condições de tráfego representadas por diversas distribuições para o tempo de permanência do usuário na célula. Foi desenvolvido um novo simulador em linguagem C que é capaz de verificar o desempenho dos algoritmos propostos. Resultados analíticos para desempenho dos algoritmos de uma classe e um número fixo de recursos reservados são apresentados empregando uma modelagem por Cadeia de Markov. Foi desenvolvido um método que permite calcular a intensidade de tráfego máxima a qual o sistema pode ser submetido, e a quantidade de recursos a ser reservada assumindo que o objetivo é maximizar a utilização do sistema atendendo os valores de qualidade de serviço estabelecidos, no caso de tempo de retenção do recurso de rádio modelado por uma chamada com distribuição exponencial. Foi proposto um algoritmo simples, dinâmico e distribuído, baseado em medidas em tempo real, cuja meta é acompanhar a curva ótima de número de recursos reservados. Posteriormente, os resultados analíticos empregando Cadeia de Markov são generalizados para M classes. Alguns dos algoritmos definidos para o caso de uma classe são estendidos para o caso de duas classes e seu desempenho é avaliado, utilizando o simulador desenvolvido neste trabalho. O método para calcular a intensidade máxima de recursos que o sistema comporta, sem violar os requisitos de qualidade de serviço, é estendido para o caso de duas classes. Finalmente, são definidos parâmetros que permitem comparar o desempenho dos algoritmos com 2M classes, considerando uma distribuição genérica para o tempo de permanência do usuário na célula.

Palavras-chave

Redes Móveis Celulares, Controle de Admissão de Chamadas, Reserva de Recursos, *Handoff*, Canais de Guarda.

Abstract

Quevedo-Lodi, Cláudia; de Marca, José Roberto Boisson. **Admission Control and Resource Reservation in Mobile Cellular Networks**. Rio de Janeiro, 2008. 380p. PhD. Thesis — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This thesis presents new algorithms for Channel Admission Control in wireless communications systems. We investigate techniques based in resource reservation, also known as guard channel, to achieve the quality of service desired for each class of users. We propose dynamic schemes based in the cell traffic. Each algorithm has a different goal, some try to minimize the probability of *handoff* fail, others try to maximize the traffic intensity when the limit imposed by QoS is being approached. First, we considered one class ($M = 1$) divided in two classes: new users and *handoff* users. In order to test the new schemes we developed a simulator in C that uses different distributions for the dwell-time. During the simulation, the measures of channel solicitations and the result of their allocation are used to decide whether new calls will be admitted. We also obtained analytic results using a Markov Chain model. We developed a method to calculate the maximum traffic intensity that the system supports without violating the established quality of service constraints, assuming one class of users and the dwell-time modelled by a exponential distribution. This method allows to identify the maximum traffic intensity supported by the system and also the exact number of resources to be reserved for each value of traffic intensity. We proposed a new, dynamic and distributed algorithm based on real time measures which targets to follow the optimum number of reserved curve obtained from our procedure. We generalized the analytic results using M-dimensional Markov Chains to 2M classes of users. Some of the algorithms defined to two classes ($M = 1$) were extended to the case of four classes ($M = 2$) and their performances are evaluated using the simulator developed in this work. The method to evaluate the maximum intensity of traffic within the limits of QoS is also extended to the case of four classes. Finally we define new parameters that allow the performance comparison among 2M class algorithms, considering any dwell-time distribution.

Keywords

Mobile Network, Channel Admission Control, Resource Reservation, *Handoff*, Guard Channel.

Conteúdo

1	Introdução	33
1.1	Motivação	33
1.2	Identificação do Problema	35
1.3	Objetivos	35
1.4	Contribuições da Tese	36
1.5	Organização da Tese	38
2	Trabalhos Relacionados	40
2.1	Alocação de Canais	41
2.2	Controle de Potência	42
2.3	Células Hierarquizadas	42
2.4	Controle de Admissão de Chamadas	44
2.5	Conclusão Sobre os Trabalhos Relacionados	57
3	Modelo Analítico para Sistemas Móveis com uma Classe de Usuários	58
3.1	Canais de Guarda	59
3.2	Modelo para Usuários de uma Classe	62
3.3	Modelo Geral para o Problema de Controle de Admissão por Canais de Guarda e Uma Classe de Usuários	68
3.4	Parâmetro de Mobilidade dos Usuários	70
3.5	Utilização	72
3.6	Resultados Analíticos para Sistemas de Uma Classe	74
3.7	Conclusão sobre os Sistemas com Uma Classe de Usuários	94
4	Simulador	95
4.1	Descrição dos Módulos do Simulador	95
4.2	Registro do Desempenho do Sistema	100
4.3	Conclusão e Validação do Simulador	104
5	Algoritmos de Controle de Admissão de Chamadas para Sistemas de Uma Classe de Usuários	106
5.1	Definição das Características de Simulação e dos Parâmetros Comuns aos Algoritmos	108
5.2	Algoritmo CAC1	111
5.3	Algoritmo CAC2	114
5.4	Algoritmo CAC3	118
5.5	Algoritmo CAC4	121
5.6	Algoritmo CAC5	124
5.7	Algoritmo CAC6	134
5.8	Conclusão	138
6	Reserva de Recursos em Sistemas Móveis de Uma Classe de Usuários com Duas Restrições de QoS	140
6.1	Introdução	140

6.2	Modelo Geral de Controle de Admissão	142
6.3	Abordagem Conceitual para o Problema de Reserva de Recursos com Duas Restrições de Qualidade de Serviço	144
6.4	Algoritmo Dinâmico para Controle de Admissão com Duas Restrições de Qualidade de Serviço, CAC7	147
6.5	Medida	151
6.6	Conclusão	152
7	Desempenho dos Algoritmos de uma Classe de Usuários em Relação à Distribuição que Representa o Tempo de Permanência do Usuário na Célula	154
7.1	Parâmetros de Desempenho	155
7.2	Distribuição Exponencial para o Tempo de Permanência na Célula	157
7.3	Distribuição Constante para o Tempo de Permanência na Célula	172
7.4	Distribuição Uniforme para o Tempo de Permanência na Célula	181
7.5	Distribuição Weibull para o Tempo de Permanência na Célula	190
7.6	Conclusão	200
8	Solução Analítica para Múltiplas Classes de Usuários	215
8.1	Introdução ao Modelo para Sistemas com Usuários de Múltiplas Classes	216
8.2	Modelo para Cálculo da Probabilidade Estacionária dos Estados da Cadeia de Markov de Dimensão M	219
8.3	Probabilidade de Bloqueio de Chamadas Novas e de Falhas de Chamadas em Handoff para Sistemas de M Classes	223
8.4	Modelo Geral	229
8.5	Utilização	234
8.6	Validação dos Resultados Analíticos para Sistemas de Múltiplas Classes de Usuários	234
8.7	Resultados Analíticos para Sistemas de Múltiplas Classes de Usuários com Restrições Múltiplas	238
9	Algoritmos de Controle de Admissão de Usuários para Sistemas de Múltiplas Classes	257
9.1	Algoritmo CAC1M	259
9.2	Algoritmo CAC2M	265
9.3	Algoritmo CAC6M	271
9.4	Algoritmo CAC7M	276
9.5	Comparação do Desempenho dos Algoritmos	289
9.6	Conclusão	344
10	Conclusões e Trabalhos futuros	346
10.1	Conclusões	346
10.2	Trabalhos Futuros	350
10.3	Publicações	351
	Referências Bibliográficas	352
A	Modelo de Tráfego	360

A.1	Tempo de Retenção do Canal	360
A.2	Relação entre o Parâmetro de Mobilidade e o Valor Esperado do Tempo de Permanência do Usuário na Célula	368
A.3	Gráficos das Distribuições	377

Lista de Figuras

3.1	Canais de Guarda e Canais Ordinários.	60
3.2	Número de Recursos de Guarda fracionário, N .	61
3.3	Cadeia de Markov 1D.	62
3.4	Sistema de uma classe sem canais de guarda.	63
3.5	Sistema de uma classe com N canais de guarda.	65
3.6	Cadeia de Markov com número fracionário de canais de guarda.	67
3.7	Estados i e $i + 1$ da cadeia de Markov.	67
3.8	Percentual de Bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego para 30 canais, 3 CG.	76
3.9	Percentual de Falha de <i>Handoff</i> versus intensidade de tráfego para 30 canais, 3CG.	76
3.10	Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, 3CG.	77
3.11	Percentual de Bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego para 30 canais, 1 CG.	78
3.12	Percentual de Falha de <i>Handoff</i> versus intensidade de tráfego para 30 canais, 1CG.	78
3.13	Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, 1CG.	79
3.14	Percentual de Bloqueio de Novas chamadas versus intensidade de tráfego para 30 canais, $0.5CG$.	80
3.15	Percentual de Falha de <i>Handoff</i> versus intensidade de tráfego para 30 canais, $0.5CG$.	80
3.16	Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $0.5CG$.	81
3.17	Percentual de Bloqueio de chamadas, Novas e em <i>Handoff</i> , versus intensidade de tráfego para 30 canais, $0CG$.	82
3.18	Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $0CG$.	83
3.19	Percentual de Bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 5$.	84
3.20	Percentual de Falha de <i>Handoff</i> versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 5$.	84
3.21	Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 5$.	85
3.22	Percentual de Bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 1$.	86
3.23	Percentual de Falha de <i>Handoff</i> versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 1$.	86
3.24	Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 1$.	87
3.25	Percentual de Bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 0.2$.	88
3.26	Percentual de Falha de <i>Handoff</i> versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 0.2$.	88
3.27	Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 0.2$.	89
3.28	Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 0.2$.	90
3.29	Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 1.0$.	91
3.30	Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 5.0$.	91

3.31	Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 10.0$.	92
3.32	Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $1CG$.	92
3.33	Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $2CG$.	93
3.34	Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $5CG$.	93
3.35	Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $10CG$.	94
4.1	Fluxograma do Simulador.	96
4.2	Célula hexagonal setorizada.	97
4.3	Usuários na Célula setorizada.	99
4.4	Janela de Medidas.	101
4.5	Comparação de resultados simulados e analíticos de Percentual de Bloqueio de Chamadas Novas versus Intensidade de Tráfego normalizada para $\theta=5$.	105
4.6	Comparação de resultados simulados e analíticos de Percentual de Falha de Chamadas em <i>Handoff</i> versus Intensidade de Tráfego normalizada para $\theta=5$.	105
5.1	Utilização no ponto ρ_Q .	110
5.2	Diagrama de blocos do algoritmo CAC1.	113
5.3	Diagrama de blocos do algoritmo CAC2.	116
5.4	Diagrama de blocos de CAC3.	120
5.5	Diagrama de blocos de CAC4.	122
5.6	Diagrama de blocos de CAC5.	125
5.7	Percentual de Bloqueio de Novas chamadas CAC5 $Q3e1$, $\theta = 2.0$.	129
5.8	Percentual de Falha de <i>Handoff</i> CAC5 $Q3e1$, $\theta = 2.0$.	129
5.9	Percentual de Bloqueio de Novas chamadas CAC5 $Q3e5$, $\theta = 0.5$.	130
5.10	Percentual de Falha de <i>Handoff</i> CAC5 $Q3e5$, $\theta = 0.5$.	130
5.11	Percentual de Bloqueio de Novas Chamadas CAC5 $Q5e3$ e $Q3e1$, $\theta = 2.0$.	131
5.12	Percentual de Falha de <i>Handoff</i> CAC5 $Q5e3$ e $Q3e1$, $\theta = 2.0$.	132
5.13	Percentual de Bloqueio de Novas chamadas CAC5 $Q5e3$, $\theta = 0.2$; $\theta = 2.0$; e $\theta = 6.0$.	133
5.14	Percentual de Falha de <i>Handoff</i> CAC5 $Q5e3$, $\theta = 0.2$; $\theta = 2.0$; e $\theta = 6.0$.	133
5.15	Utilização maior com a aproximação de ρ_{BN} e ρ_{FH} .	135
5.16	Diagrama de blocos do algoritmo CAC6.	138
6.1	Cadeia de Markov	142
6.2	Comportamento de N_R^+ e N_R^- com ρ para $\theta = 1$ e $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1)$	145
6.3	Comportamento de N_R^+ e N_R^- com ρ para $\theta = 2$ e $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1)$.	148
6.4	Comportamento de N_R^+ e N_R^- com ρ para $\theta = 0, 2$ e $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$.	149
6.5	Comportamento de N_R^+ e N_R^- com ρ para $\theta = 8$ e $\mathbf{Q}(\%) = (1; 0, 5)$.	150
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.	158

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.	159
7.3	Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em <i>handoff</i> versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0, 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1)$, tempo de permanência exponencial.	159
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.	160
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.	161
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.	162
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.	162
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.	163
7.9	Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em <i>handoff</i> versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0, 4)$, tempo de permanência exponencial.	163
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.	164
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.	165
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.	165
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.	166
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.	167
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.	168
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.	168
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.	169

7.18	Comportamento do parâmetro F de CAC3, CAC6, CAC7 e 0CG, 1CG e 2CG $Q(\%) = (3; 1)$ e $\theta = 0.2$, tempo de permanência exponencial.	170
7.19	Comportamento do parâmetro F de CAC1, CAC3, CAC6 e 0CG, 1CG e 2CG $Q(\%) = (4; 0.4)$ e $\theta = 6$, tempo de permanência exponencial.	171
7.20	Comportamento do parâmetro F de CAC1, CAC4, CAC7 e 0CG, 1CG e 2CG $Q(\%) = (5; 3)$ e $\theta = 2$, tempo de permanência exponencial.	172
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.	173
7.22	Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em <i>handoff</i> versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, tempo de permanência simulado com distribuição constante e resultado analítico com distribuição exponencial.	174
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.	175
7.24	Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em <i>handoff</i> versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0.2$, tempo de permanência simulado com distribuição constante e resultado analítico com distribuição exponencial.	175
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.	176
7.26	Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em <i>handoff</i> versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$, tempo de permanência simulado com distribuição constante e resultado analítico com distribuição exponencial.	176
7.27	Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência dado pela distribuição constante.	177
7.28	Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição constante.	177
7.29	Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em <i>handoff</i> versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição constante.	178
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) $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição constante.	179
7.31	Comportamento do parâmetro F de CAC1, CAC2, CAC7 e 0CG, 1CG e 2CG $Q(\%) = (5; 3)$ e $\theta = 4$, tempo de permanência dado pela distribuição constante.	180
7.32	Comportamento do parâmetro F de CAC1, CAC2, CAC7 e 0CG, 1CG e 2CG $Q(\%) = (5; 3)$ e $\theta = 0.2$, tempo de permanência dado pela distribuição constante.	180

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.	181
7.34	Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em <i>handoff</i> versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, tempo de permanência uniforme simulado e tempo de permanência exponencial analítico.	182
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.	183
7.36	Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em <i>handoff</i> versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$, tempo de permanência uniforme simulado e tempo de permanência exponencial analítico.	183
7.37	Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência dado pela distribuição uniforme.	184
7.38	Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência dado pela distribuição uniforme.	185
7.39	Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição uniforme.	186
7.40	Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em <i>handoff</i> versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição uniforme.	186
7.41	Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência dado pela distribuição uniforme.	187
7.42	Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição uniforme.	187
7.43	Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em <i>handoff</i> versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição uniforme.	188
7.44	Comportamento de I médio de CAC1(1), CAC2(2), CAC3(3), CAC4(4), CAC5(5) CAC6(6), CAC7(7) e OCG(8), 1CG(9) e 2CG(10) $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição uniforme.	188
7.45	Comportamento do parâmetro F de CAC3 e CAC7 e OCG, 1CG e 2CG $Q(\%) = (5; 3)$ e $\theta = 4$, tempo de permanência dado pela distribuição uniforme.	189
7.46	Comportamento do parâmetro F de CAC1 e CAC2 e OCG, 1CG e 2CG $Q(\%) = (5; 3)$ e $\theta = 4$, tempo de permanência dado pela distribuição uniforme.	189

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.	191
7.48	Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em <i>handoff</i> versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, tempo de permanência Weibull simulado e tempo de permanência exponencial analítico.	191
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.	192
7.50	Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em <i>handoff</i> versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$, tempo de permanência Weibull simulado e tempo de permanência exponencial analítico.	192
7.51	Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência dado pela distribuição Weibull.	193
7.52	Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência dado pela distribuição Weibull.	194
7.53	Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição Weibull.	194
7.54	Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em <i>handoff</i> versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição Weibull.	195
7.55	Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 4$ e requisito de QoS $Q(\%) = (4; 0.4)$, tempo de permanência dado pela distribuição Weibull.	196
7.56	Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 4$ e requisito de QoS $Q(\%) = (4; 0.4)$, tempo de permanência distribuição Weibull.	196
7.57	Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em <i>handoff</i> versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 4$ e requisito de QoS $Q(\%) = (4; 0.4)$, tempo de permanência distribuição Weibull.	197
7.58	Comportamento de I médio de CAC1(1), CAC2(2), CAC3(3), CAC4(4), CAC5(5) CAC6(6), CAC7(7) e OCG(8), 1CG(9) e 2CG(10) $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência Weibull.	198
7.59	Comportamento do parâmetro F de CAC6, CAC7 e OCG, 1CG e 2CG $Q(\%) = (5; 3)$ e $\theta = 2$, tempo de permanência dado pela distribuição Weibull.	199
7.60	Comportamento do parâmetro F de CAC6, CAC7 e OCG, 1CG e 2CG $Q(\%) = (5; 3)$ e $\theta = 1$, tempo de permanência dado pela distribuição Weibull.	199
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 $\theta = 1$.	201

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 <i>handoff</i> versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$.	201
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 $\theta = 1$.	202
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 $\theta = 0.2$.	203
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 $\theta = 4$.	203
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 $\theta = 6$.	204
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.	204
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 <i>handoff</i> versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 8$ e 5CG.	205
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.	207
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.	207
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.	208
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.	208
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.	209
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.	209
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.	210

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.	210
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.	211
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.	211
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.	212
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.	213
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.	213
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.	214
8.1	Dimensões γ , ε e τ da Cadeia de Markov de dimensão M , correspondentes às classes γ , ε e τ .	217
8.2	Cadeia de Markov de um sistema de duas classes de usuários, dimensão $M = 2$, e cinco unidades de banda, $N_c = 5$.	219
8.3	Estado Central da Cadeia de Markov de dimensão M .	220
8.4	Dimensão γ da Cadeia de Markov de dimensão M , com número fracionário de canais de guarda.	226
8.5	Cadeia 2D com restrições $R_{N1} = 1.2; R_{H1} = 0.7; R_{N2} = 0.4; R_{H2} = 0$ e classes $B_1 = 1UB, B_2 = 2UB$.	228
8.6	Estado genérico $(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)$ da cadeia de Markov e suas taxas de chegada de usuários.	231
8.7	Percentual de bloqueio de chamadas novas da classe 1 versus intensidade de tráfego total normalizada, $\theta = 2, B_1 = 1UB; B_2 = 2UB$.	236
8.8	Percentual de falha de chamadas em <i>handoff</i> da classe 1 versus intensidade de tráfego total normalizada, $\theta = 2, B_1 = 1UB; B_2 = 2UB$.	236
8.9	Percentual de bloqueio de chamadas novas da classe 2 versus intensidade de tráfego total normalizada, $\theta = 2, B_1 = 1UB; B_2 = 2UB$.	237
8.10	Percentual de falha de chamadas em <i>handoff</i> da classe 2 versus intensidade de tráfego total normalizada, $\theta = 2, B_1 = 1UB; B_2 = 2UB$.	237
8.11	Percentual de bloqueio versus intensidade de tráfego total normalizada, $\theta = 2, B_1 = 1UB; B_2 = 2UB$, para vetor restrição $R = (0.7, 1, 0.3, 0)$.	240
8.12	Percentual de bloqueio de chamadas novas das classes 1 e 2 versus intensidade de tráfego total normalizada, $B_1 = 1; B_2 = 2$, para restrições $R = (R_{N1}, 1, 0.3, 0)$ e $R_{N1} = 0.7, 1$ e 1.3 .	240

- 8.13 Percentual de falha de chamadas em *handoff* das classes 1 e 2 versus intensidade de tráfego total normalizada, $B_1 = 1; B_2$, para restrições $R = (R_{N1}, 1, 0.3, 0)$ e $R_{N1} = 0.7, 1$ e 1.3 . 241
- 8.14 Percentual de bloqueio versus intensidade de tráfego total normalizada, $\theta = 2, N_c = 30, B_1 = 1, B_2 = 2$, para restrição $R = (0.9, 0.7, 0.5, 0)$. 242
- 8.15 Percentual de bloqueio de chamadas novas das classes 1 e 2 versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 30, B_1 = 1, B_2$, para valores de restrição $(0.9, R_{N2}, 0.5, 0)$ onde $R_{N2} = 0.7, 1$ e 1.3 243
- 8.16 Percentual de falha de *handoff* das classes 1 e 2 versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 30, B_1 = 1, B_2$, para valores de restrição $(0.9, R_{N2}, 0.5, 0)$ onde $R_{N2} = 0.7, 1$ e 1.3 243
- 8.17 Percentual de bloqueio de chamadas novas das classes 1 e 2 versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 30, B_1 = 1, B_2 = 2$, para $R = (0.7, 1, R_{H1}, 0)$ onde R_{H1} é igual a $0; 0.3$ e 0.6 . 244
- 8.18 Percentual de falha de chamadas em *handoff* das classes 1 e 2 versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 30, B_1 = 1, B_2 = 2$, para $R = (0.7, 1, R_{H1}, 0)$ onde R_{H1} é igual a $0; 0.3$ e 0.6 . 245
- 8.19 Percentual de bloqueio versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 30, \theta = 2, B_1 = B_2 = 1, R = (1, 0.5, 0.3, 0)$. 246
- 8.20 Percentual de bloqueio versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 30, \theta = 2, B_1 = B_2 = 1, R = (1, 0.5, 0.5, 0)$. 247
- 8.21 Percentual de bloqueio versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 30, \theta = 2, B_1 = B_2 = 1, R = (1, 0.5, 0.7, 0)$. 247
- 8.22 Percentual de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 30, \theta = 2, B_1 = 1, B_2 = 2, B_3 = 3, R = (0.5, 1, R_{N3}, 0.2, 0.5, 0)$ onde $R_{N3} = 1.5$ e 3 . 248
- 8.23 Percentual de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 30, \theta = 2, B_1 = 1, B_2 = 2, B_3 = 3, R = (0.5, 1, R_{N3}, 0.2, 0.5, 0)$ onde $R_{N3} = 1.5$ e 3 . 249
- 8.24 Utilização total versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 30, \theta = 2, B_1 = 1, B_2 = 2, B_3 = 3, R = (0.5, 1, R_{N3}, 0.2, 0.5, 0)$ onde $R_{N3} = 1.5$ e 3 . 250
- 8.25 Percentual de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 15UB, \theta = 2, B_1 = 1, B_2 = 2, B_3 = 3, B_4 = 4, R = (0.7, 1, R_{N4}, 0.2, 0.5, 1.2, 0)$, para $R_{N4} = 1.3$ e $R_{N4} = 3$. 251
- 8.26 Percentual de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 15UB, \theta = 2, B_1 = 1, B_2 = 2, B_3 = 3, B_4 = 4, R = (0.7, 1, R_{N4}, 0.2, 0.5, 1.2, 0)$, para $R_{N4} = 1.3$ e $R_{N4} = 3$. 252
- 8.27 Utilização total versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 15UB, \theta = 2, B_1 = 1, B_2 = 2, B_3 = 3, B_4 = 4, R = (0.7, 1, R_{N4}, 0.2, 0.5, 1.2, 0)$, para $R_{N4} = 1.3$ e $R_{N4} = 3$. 252

8.28	Percentual de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego total normalizada, $\theta = 2, N_c = 15UB, B_1 = 1, B_2 = 2, B_3 = 3, B_4 = 4, R = (0.7, 1, 3.5, 1.5, 0.2, 0.5, 1.2, 0)$, para proporções entre as classes iguais no primeiro caso e de 70% da classe 4 no segundo caso.	254
8.29	Percentual de falha de chamadas em <i>handoff</i> versus intensidade de tráfego total normalizada, $\theta = 2, N_c = 15UB, B_1 = 1, B_2 = 2, B_3 = 3, B_4 = 4, R = (0.7, 1, 3.5, 1.5, 0.2, 0.5, 1.2, 0)$, para proporções entre as classes iguais no primeiro caso e de 70% da classe 4 no segundo caso.	254
8.30	Utilização total versus intensidade de tráfego total normalizada, $\theta = 2, N_c = 15UB, B_1 = 1, B_2 = 2, B_3 = 3, B_4 = 4, R = (0.7, 1, 3.5, 1.5, 0.2, 0.5, 1.2, 0)$, para proporções entre as classes iguais no primeiro caso e de 70% da classe 4 no segundo caso.	255
9.1	Diagrama de blocos do algoritmo CAC1M.	260
9.2	Número médio de canais de guarda para a classe 1 versus intensidade total de tráfego de entrada do algoritmo CAC1M para vários valores do decremento δ ; $\beta_1 = 1$; $\beta_2 = 1$; e $(Q_{BN1}; Q_{FH1}) = (Q_{BN2}; Q_{FH2}) = (5\%; 3\%)$.	262
9.3	Número médio de canais de guarda para a classe 2 versus intensidade total de tráfego de entrada do algoritmo CAC1M para vários valores do decremento δ ; $\beta_1 = 1$; $\beta_2 = 1$; e $(Q_{BN1}; Q_{FH1}) = (Q_{BN2}; Q_{FH2}) = (5\%; 3\%)$.	262
9.4	Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 1 do algoritmo CAC1M.	263
9.5	Percentual de Falha de chamadas em <i>handoff</i> da classe 1 do algoritmo CAC1M.	264
9.6	Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 2 do algoritmo CAC1M.	264
9.7	Percentual de Falha de chamadas em <i>handoff</i> da classe 2 do algoritmo CAC1M.	265
9.8	Número de Recursos reservados pelo algoritmo CAC1M.	266
9.9	Diagrama de blocos do algoritmo CAC2M.	267
9.10	Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 1 do algoritmo CAC2M.	268
9.11	Percentual de Falha de chamadas em <i>handoff</i> da classe 1 do algoritmo CAC2M.	269
9.12	Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 1 do algoritmo CAC2M.	269
9.13	Percentual de Falha de chamadas em <i>handoff</i> da classe 1 do algoritmo CAC2M.	270
9.14	Número de Recursos reservados pelo algoritmo CAC2M.	270
9.15	Número de Recursos reservados pelo algoritmo CAC6M.	272
9.16	Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 1 do algoritmo CAC6M.	273
9.17	Percentual de Falha de chamadas em <i>handoff</i> da classe 1 do algoritmo CAC6M.	274

9.18	Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 1 do algoritmo CAC6M.	274
9.19	Percentual de Falha de chamadas em <i>handoff</i> da classe 1 do algoritmo CAC6M.	275
9.20	Número de Recursos reservados pelo algoritmo CAC6M.	275
9.21	Resultados da Reserva de Recursos ótima para os usuários em <i>handoff</i> da classe 1, H_1 , em <i>handoff</i> da classe 2, H_2 , e novos da classe 2, N_2 , versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0, 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1; 5; 3)$, tempo de permanência exponencial.	279
9.22	Resultados da Reserva de Recursos ótima para os usuários H_1 , H_2 e N_2 , versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1; 5; 3)$, tempo de permanência exponencial.	280
9.23	Resultados da Reserva de Recursos ótima para os usuários H_1 , H_2 e N_2 , versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1; 5; 3)$, tempo de permanência exponencial.	280
9.24	Resultados da Reserva de Recursos ótima para os usuários em <i>handoff</i> da classe 1, H_1 , em <i>handoff</i> da classe 2, H_2 , e novos da classe 2, N_2 , versus taxa de mobilidade, para intensidade de tráfego $\rho = 0, 625$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1; 5; 3)$, tempo de permanência exponencial.	281
9.25	Resultados da Reserva de Recursos ótima para os usuários em <i>handoff</i> da classe 1, H_1 , em <i>handoff</i> da classe 2, H_2 , e novos da classe 2, N_2 , versus taxa de mobilidade, para intensidade de tráfego $\rho = 0, 645$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1; 5; 3)$, tempo de permanência exponencial.	281
9.26	Resultados da Reserva de Recursos ótima para os usuários em <i>handoff</i> da classe 1, H_1 , em <i>handoff</i> da classe 2, H_2 , e novos da classe 2, N_2 , versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0, 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0.4; 5; 3)$, tempo de permanência exponencial.	282
9.27	Resultados da Reserva de Recursos ótima para os usuários H_1 , H_2 e N_2 , versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0.5$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0.4; 5; 3)$, tempo de permanência exponencial.	283
9.28	Resultados da Reserva de Recursos ótima para os usuários H_1 , H_2 e N_2 , versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0.4; 5; 3)$, tempo de permanência exponencial.	284
9.29	Resultados da Reserva de Recursos ótima para os usuários H_1 , H_2 e N_2 , versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0.4; 5; 3)$, tempo de permanência exponencial.	284
9.30	Resultados da Reserva de Recursos ótima para os usuários H_1 , H_2 e N_2 , versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0.4; 5; 3)$, tempo de permanência exponencial.	285
9.31	Número de Recursos reservados pelo algoritmo CAC7M, $\theta = 2$ e $\mathbf{Q}\% = (3, 1, 5, 3)$.	287
9.32	Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 1 do algoritmo CAC7M, $\theta = 2$ e $\mathbf{Q}\% = (3, 1, 5, 3)$.	287
9.33	Percentual de Falha de chamadas em <i>handoff</i> da classe 1 do algoritmo CAC7M, $\theta = 2$ e $\mathbf{Q}\% = (3, 1, 5, 3)$.	288
9.34	Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 2 do algoritmo CAC7M, $\theta = 2$ e $\mathbf{Q}\% = (3, 1, 5, 3)$.	288

9.35	Percentual de Falha de chamadas em <i>handoff</i> da classe 2 do algoritmo CAC7M, $\theta = 2$ e $Q\%(3, 1, 5, 3)$.	289
9.36	Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 1 do algoritmo de 1CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$.	292
9.37	Percentual de Falha de chamadas em <i>handoff</i> da classe 1 do algoritmo de 1CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$.	292
9.38	Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 2 do algoritmo de 1CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$.	293
9.39	Percentual de Falha de chamadas em <i>handoff</i> da classe 2 do algoritmo de 1CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$.	293
9.40	Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo fixo 1CG.	294
9.41	Parâmetro I para usuários da classe 1, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo fixo 1CG.	294
9.42	Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo fixo 1CG.	295
9.43	Parâmetro I para usuários da classe 2, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo fixo 1CG.	295
9.44	Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 1 do algoritmo de 1CG, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$.	296
9.45	Percentual de Falha de chamadas em <i>handoff</i> da classe 1 do algoritmo de 1CG, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$.	297
9.46	Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 2 do algoritmo de 1CG, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$.	297
9.47	Percentual de Falha de chamadas em <i>handoff</i> da classe 2 do algoritmo de 1CG, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$.	298
9.48	Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo fixo 1CG.	298
9.49	Parâmetro I para usuários da classe 1, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo fixo 1CG.	299
9.50	Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo fixo 1CG.	299
9.51	Parâmetro I para usuários da classe 2, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo fixo 1CG.	300

- 9.52 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência. 301
- 9.53 Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência. 302
- 9.54 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência. 302
- 9.55 Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência. 303
- 9.56 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência. 304
- 9.57 Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência. 304
- 9.58 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência. 305
- 9.59 Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência. 305
- 9.60 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência. 306
- 9.61 Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência. 306
- 9.62 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência. 307
- 9.63 Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência. 307

- 9.64 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência. 308
- 9.65 Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência. 308
- 9.66 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência. 309
- 9.67 Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência. 309
- 9.68 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(4, 0.4, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência. 310
- 9.69 Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(4, 0.4, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência. 310
- 9.70 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(4, 0.4, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência. 311
- 9.71 Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(4, 0.4, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência. 311
- 9.72 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição constante para o tempo de permanência. 312
- 9.73 Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição constante para o tempo de permanência. 312
- 9.74 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição constante para o tempo de permanência. 313
- 9.75 Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição constante para o tempo de permanência. 313

- 9.76 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição constante para o tempo de permanência. 314
- 9.77 Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição constante para o tempo de permanência. 314
- 9.78 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição constante para o tempo de permanência. 315
- 9.79 Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição constante para o tempo de permanência. 315
- 9.80 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência. 316
- 9.81 Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência. 316
- 9.82 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência. 317
- 9.83 Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência. 317
- 9.84 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência. 318
- 9.85 Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência. 318
- 9.86 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência. 319
- 9.87 Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência. 319

- 9.88 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência. 320
- 9.89 Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência. 320
- 9.90 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência. 321
- 9.91 Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência. 321
- 9.92 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência. 322
- 9.93 Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência. 322
- 9.94 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência. 323
- 9.95 Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência. 323
- 9.96 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência. 324
- 9.97 Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência. 324
- 9.98 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência. 325
- 9.99 Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência. 325

- 9.100 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência. 326
- 9.101 Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência. 326
- 9.102 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência. 327
- 9.103 Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência. 327
- 9.104 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC1M. 328
- 9.105 Parâmetro I para usuários da classe 1, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC1M. 328
- 9.106 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC1M. 329
- 9.107 Parâmetro I para usuários da classe 2, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC1M. 329
- 9.108 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC1M. 330
- 9.109 Parâmetro I para usuários da classe 1, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC1M. 330
- 9.110 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC1M. 331
- 9.111 Parâmetro I para usuários da classe 2, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC1M. 331
- 9.112 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC2M. 332

- 9.113 Parâmetro I para usuários da classe 1, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1) Constante, (2) Uniforme, (3) Exponencial, (4) Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC2M. 332
- 9.114 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC2M. 333
- 9.115 Parâmetro I para usuários da classe 2, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1) Constante, (2) Uniforme, (3) Exponencial, (4) Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC2M. 333
- 9.116 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC2M. 334
- 9.117 Parâmetro I para usuários da classe 1, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1) Constante, (2) Uniforme, (3) Exponencial, (4) Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC2M. 334
- 9.118 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC2M. 335
- 9.119 Parâmetro I para usuários da classe 2, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1) Constante, (2) Uniforme, (3) Exponencial, (4) Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC2M. 335
- 9.120 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC6M. 336
- 9.121 Parâmetro I para usuários da classe 1, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1) Constante, (2) Uniforme, (3) Exponencial, (4) Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC6M. 336
- 9.122 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC6M. 337
- 9.123 Parâmetro I para usuários da classe 2, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1) Constante, (2) Uniforme, (3) Exponencial, (4) Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC6M. 337
- 9.124 Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC6M. 338
- 9.125 Parâmetro I para usuários da classe 1, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1) Constante, (2) Uniforme, (3) Exponencial, (4) Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC6M. 338

9.126	Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC6M.	339
9.127	Parâmetro I para usuários da classe 2, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC6M.	339
9.128	Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC7M.	340
9.129	Parâmetro I para usuários da classe 1, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC7M.	340
9.130	Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC7M.	341
9.131	Parâmetro I para usuários da classe 2, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC7M.	341
9.132	Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC7M.	342
9.133	Parâmetro I para usuários da classe 1, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC7M.	342
9.134	Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC7M.	343
9.135	Parâmetro I para usuários da classe 2, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC7M.	343
A.1	Weibull.	366
A.2	Weibull.	367
A.3	Histogramas da distribuição exponencial do tempo de duração da chamada , distribuição exponencial do tempo de permanência na célula e distribuição exponencial do tempo de retenção do canal, para $\theta = 2$.	378
A.4	Histogramas da distribuição exponencial do tempo de duração da chamada , distribuição constante do tempo de permanência na célula e distribuição do tempo de retenção do canal, para $\theta = 2$.	378
A.5	Histogramas da distribuição exponencial do tempo de duração da chamada , distribuição uniforme do tempo de permanência na célula e distribuição do tempo de retenção do canal, para $\theta = 2$.	379

A.6 Histogramas da distribuição exponencial do tempo de duração da chamada , distribuição Weibull do tempo de permanência na célula e distribuição do tempo de retenção do canal, para $\theta = 2$.

Lista de Tabelas

2.1	Aspectos de classificação para os algoritmos de CAC.	45
2.2	Abordagens para os algoritmos de CAC que visam controlar a P_{FH} .	47
4.1	Tamanhos de janelas adotados para cada valor de Q.	103
5.1	Incrementos e decrementos dos algoritmos $CAC1_{Int}$ e $CAC1_{Frac}$.	112
5.2	Comparação do parâmetro I, razão de intensidade de tráfego máxima dentro dos requisitos de QoS de CAC1, com taxa de mobilidade $\theta = 0.2$.	114
5.3	Comparação da razão de intensidade de tráfego máxima dentro dos requisitos de QoS de CAC1, com taxa de mobilidade $\theta = 6.0$.	114
5.4	Incrementos e decrementos dos algoritmos $CAC2_{Int}$ e $CAC2_{Frac}$.	117
5.5	Comparação da razão de intensidade de tráfego máxima dentro dos requisitos de QoS de CAC2, com taxa de mobilidade $\theta = 0.2$.	118
5.6	Comparação da razão de intensidade de tráfego máxima dentro dos requisitos de QoS de CAC2, com taxa de mobilidade $\theta = 6.0$.	118
5.7	Comparação da razão de intensidade de tráfego máxima dentro dos requisitos de QoS de CAC3, com taxa de mobilidade $\theta = 0.2$ e $\theta = 6$.	121
5.8	Comparação da razão de intensidade de tráfego máxima dentro dos requisitos de QoS de CAC4, com taxa de mobilidade $\theta = 0.2$.	123
5.9	Comparação da razão de intensidade de tráfego máxima dentro dos requisitos de QoS de CAC4, com taxa de mobilidade $\theta = 6.0$.	124
5.10	Comparação da razão de intensidade de tráfego máxima dentro dos requisitos de QoS de CAC5, com taxa de mobilidade $\theta = 0.2$ e $\theta = 6$.	134
5.11	Comparação da razão de intensidade de tráfego máxima dentro dos requisitos de QoS de CAC6, com taxa de mobilidade $\theta = 0.2$ e $\theta = 6$.	137
6.1	Valores de ρ_Q e N_Q para três conjuntos de requisitos de qualidade Q (expressos em percentagem) e parâmetro de mobilidade θ variando de 0,2 a 10.	147
6.2	Comportamento de M para $Q(\%) = (3; 1)$.	152
6.3	Comportamento de M para $Q(\%) = (5; 3)$.	152
6.4	Comportamento de M para $Q(\%) = (1; 0, 5)$.	153
7.1	Razão $I = \rho_{CAC}/\rho_Q$ dos algoritmos de CAC, tempo de permanência exponencial.	167
7.2	Razão $I = \rho_{CAC}/\rho_Q$ dos algoritmos estáticos, tempo de permanência exponencial.	167
9.1	Incrementos e decrementos do algoritmo $CAC1M$.	261
9.2	Incrementos e decrementos do algoritmo $CAC2M$.	268
A.1	Valores de Y para permanência exponencial.	370
A.2	Valores de Y para permanência constante.	373
A.3	Valores de Y para permanência uniforme.	374

A.4	Valores de Y para permanência Weibull.	376
A.5	Valores de Y médio para cada tipo de distribuição de permanência.	377

1 Introdução

1.1 Motivação

A expansão de serviços de comunicações sem fio de voz para dados, multimídia e internet modificou o conceito de telecomunicações na sociedade. Surgiu a necessidade de se manter uma conexão permanente a qualquer hora, em qualquer lugar. A cada dia surgem novos serviços a serem prestados que demandam cada vez mais recursos do sistema. Como o espectro de frequências é limitado, é necessário zelar pela eficiência da utilização dos recursos rádio [79]. Este objetivo pode ser alcançado de diversas formas que vem sendo desenvolvidas nas duas últimas décadas. Tal área de pesquisa é conhecida como Gerência de Recursos Rádio.

Uma solução é planejar o sistema celular com células menores, chamadas de micro e pico células, com o intuito de ampliar a re utilização das frequências e, conseqüentemente, a capacidade do sistema. No entanto, esta solução aumenta a quantidade de *handoffs* no sistema, sobretudo para os usuários em alta velocidade.

O *handoff* é o procedimento de transferência de comunicação de uma Estação Rádio Base (ERB) à outra ERB de uma célula vizinha [25]. Para que a chamada em *handoff* não seja perdida, o sistema deve fazer distinção ao lidar com esta chamada em relação à solicitação de uma chamada que será iniciada.

Como solução de compromisso, foram desenvolvidos os sistemas multicamadas, onde macro-células são superpostas a micro-células. O objetivo é alocar os usuários em baixa velocidade nas micro-células e os usuários em alta velocidade nas macro-células, reduzindo o número de *handoffs*, conforme a referência [71].

O controle de potência mais eficiente pode diminuir a interferência causada nos usuários co-canais e aumentar a capacidade do sistema. Outra

abordagem é através da alocação dos canais através de técnicas mais eficientes conhecidas como alocação dinâmica de canais [40].

Além dos métodos tradicionais da Gerência de Recursos Rádio,[78], outra linha de pesquisa que vem sendo intensamente desenvolvida é a de algoritmos de Controle de Admissão de Chamadas, onde se mantém o foco desta tese [4], [20].

O Controle de Admissão pode considerar vários aspectos da chamada e do usuário tais como: sua demanda de recursos; sua classe de tarifação, seus requisitos de qualidade de serviço (QoS) e se o usuário é um usuário novo tentando ser aceito no sistema, ou se está em procedimento de *handoff*, proveniente de outra célula.

Além dos aspectos relacionados à chamada, o Controle de Admissão pode considerar aspectos relacionados ao sistema, como o tráfego em andamento na célula-alvo e nas suas vizinhas, verificando os recursos do sistema em relação à demanda gerada pelos usuários, de modo a melhorar o desempenho do sistema.

Com a evolução da tecnologia, as taxas de transmissão aumentam, possibilitando atender melhor à demanda. Por outro lado, surgem novas possibilidades de utilização da rede e a diversificação dos serviços oferecidos. Os sistemas já existentes devem se adaptar à nova demanda de serviço com a introdução de dados na rede móvel, que originalmente era utilizada apenas para voz.

Nos sistemas atuais esta demanda vem sendo atendida através da reserva de recursos exclusiva para dados. No entanto, devido à escassez de recursos rádio, é importante aumentar a sua utilização de forma a atender, com qualidade, o maior número de usuários possível.

Considerando os parâmetros de Qualidade de Serviço (QoS), devemos obter probabilidades mínimas de bloqueio de novas chamadas e probabilidades mínimas de queda de chamadas em *handoff*. A concretização desses objetivos de QoS para os usuários de chamadas de voz deve ser estendida às novas classes de usuários que estão surgindo. Usuários de serviços diferentes possuem necessidades diversas de recursos, de espera no atendimento e requisitos de QoS. As características de aplicações de dados e multimídia são muito diferentes das de voz. O tráfego de dados normalmente consome mais banda que o de voz, mas pode ser adaptativo, [46], por ser menos restrito quanto aos requisitos de qualidade de serviço.

A presença de usuários de múltiplos serviços na rede de comunicações móveis, a limitação de espectro e o tráfego heterogêneo motivaram o estudo realizado nesta tese.

1.2

Identificação do Problema

Na observação da evolução das aplicações da telefonia móvel, nota-se que no passado o uso era exclusivo para usuários de voz e hoje temos diversos outros serviços, tais como: mensagens, vídeo e internet. Para prover esses novos serviços de forma adequada e, simultaneamente, aumentar a utilização dos recursos do sistema, vários aspectos novos devem ser analisados.

O problema a resolver é a escassez de recursos rádio para atender a usuários com necessidades de banda e de qualidade de serviço que não são uniformes, além de dar prioridade a usuários em *handoff*.

Uma solução possível para este problema é um algoritmo de controle de admissão que atenda adequadamente às necessidades de banda dos usuários, oferecendo os recursos rádio disponíveis e procurando simultaneamente atender seus respectivos parâmetros de QoS estabelecidos para cada classe de usuário.

O Controle de Admissão de Chamadas (CAC) é de suma importância para o bom desempenho da rede. Ao trabalhar com usuários que possuem características diferentes, o controle torna-se mais difícil e prioritário, aumentando o número de variáveis do algoritmo que deve ser ajustado para se adaptar às diversas características do sistema. O CAC deve considerar a mobilidade dos usuários e os parâmetros de desempenho instantâneos do sistema para alocar, ou não, os recursos disponíveis aos usuários de múltiplas classes de serviço.

1.3

Objetivos

O objetivo desta tese é melhorar a eficiência do atendimento aos usuários da rede de comunicações móveis através da apresentação de novos Algoritmos de Controle de Admissão de Chamadas (CAC) que são capazes de se adaptar às diversas características do tráfego em andamento no sistema.

Os algoritmos de CAC consideram usuários de uma ou mais classes. Entende-se por classe o tipo de serviço que é prestado ao usuário tais como serviços de voz, dados e vídeo. Cada serviço possui diversas características de tráfego, demanda de recursos rádio e requisitos de QoS. Os requisitos de QoS considerados neste trabalho são o percentual de bloqueio de chamadas novas e o percentual de falha de chamadas em *handoff*. Ao receber uma

solicitação de recurso, o CAC considera se o usuário é novo ou em *handoff* e sua classe de usuário, procurando alcançar valores elevados de utilização dos recursos e manter os parâmetros de desempenho dentro dos requisitos de QoS.

1.4

Contribuições da Tese

Na etapa inicial de identificação do problema foi feita uma pesquisa extensa sobre a bibliografia de Gerência de Recursos Rádio e Controle de Admissão de Chamadas, cujo resumo é apresentado neste trabalho.

Ao longo da pesquisa que resultou nesta tese foram desenvolvidos algoritmos de Controle de Admissão de Chamadas (CAC) que são adaptativos ao tráfego em andamento no sistema. Cada Estação Rádio Base (ERB) controla de forma dinâmica a entrada de chamadas ao seu sistema, de acordo com as características do tráfego e do desempenho do sistema na sua tentativa de atendê-las. Além de serem dinâmicos, os algoritmos propostos são distribuídos, apresentando um controle local em cada Base. Não há a necessidade de troca de informação entre as Bases para a tomada de decisão da solicitação de recurso rádio, diminuindo o volume de informações de controle na rede.

Os recursos a serem distribuídos entre os usuários são definidos como unidades de banda (UB) e podem representar os recursos dos vários sistemas existentes. Os recursos nos sistemas FDMA são canais ou frequências, nos sistemas TDMA são divisões de tempo, nos sistemas CDMA são códigos e níveis de potência e nos sistemas OFDMA são frequências e divisões de tempo. Portanto, o estudo apresentado neste trabalho pode ser aplicado em diversos sistemas. Os trabalhos recentes [36], [70] e [6] apresentam algoritmos de controle de admissão dos sistemas adotados nos padrões OFDMA que utilizam os *slots* de tempo das subportadoras como recursos a serem alocados, tais como neste trabalho de tese.

Os primeiros algoritmos propostos consideram apenas uma classe de usuários. O objetivo é fazer um vasto estudo sobre as possibilidades de se atender os requisitos de qualidade de serviço nos diversos cenários que envolvem a mobilidade dos usuários e a intensidade de tráfego de entrada, considerando diferentes distribuições para o tempo de permanência do usuário na célula.

Na etapa seguinte são considerados usuários de múltiplas classes, ou seja, os usuários podem entrar no sistema solicitando quantidades diferentes

de recursos ou com diferentes requisitos de qualidade de serviço. Os recursos limitados da rede sem fio são alocados pelo CAC aos usuários que solicitam recursos do sistema considerando suas características: sua classe de usuário; se o solicitante é um usuário em *handoff* ou se é um usuário novo; e o desempenho instantâneo do sistema para cada tipo de usuário. O objetivo é atender, de forma eficiente, os diferentes tipos de tráfego, respeitando seus requisitos de QoS em relação aos percentuais de bloqueio de chamadas novas e de falha de chamadas em *handoff*. Assim como no caso de uma classe de usuários, foi feito o estudo do número ideal de recursos a serem reservados no caso de duas classes de usuários.

Também é parte integrante deste trabalho o desenvolvimento de um simulador de um sistema de comunicações móveis, em linguagem C, para verificar o desempenho dos algoritmos aqui propostos. O simulador comporta uma ou mais classes de usuário com valores diferentes de demanda de recursos do sistema e requisitos de qualidade de serviço individualizados para cada classe. Além disto, o desenvolvimento do simulador possibilitou introduzir diversos modelos de tráfego para o tempo de permanência do usuário na célula.

Para testar a capacidade de resposta e o desempenho dos algoritmos propostos, o tráfego de entrada é variado em relação à razão entre usuários em *handoff* e usuários novos. Foram também testadas várias distribuições estatísticas na modelagem do tráfego.

Os resultados obtidos pelo simulador de redes, desenvolvido neste trabalho, são confirmados com resultados analíticos da probabilidade de falha de chamadas em *handoff*, da probabilidade de bloqueio de chamadas novas e da utilização dos recursos rádio para sistemas cujo controle de admissão é estático e cujo modelo de tráfego utiliza distribuições exponenciais para o tempo de retenção do recurso. São definidos como estáticos os sistemas que utilizam um número fixo de recursos reservados. O cálculo foi feito inicialmente no capítulo 3 para sistemas de uma classe de usuários e posteriormente expandido para sistemas de M classes de usuários no capítulo 8. Suas expressões foram implementadas através do desenvolvimento de um programa em MATLAB[®] que gera os resultados analíticos, recolhe os resultados simulados em linguagem C, introduzidos por arquivos numéricos, e calcula as médias das diversas simulações e traça todos os gráficos apresentados neste trabalho.

Após a validação dos resultados obtidos pelo simulador, o mesmo é considerado apto a testar os algoritmos propostos neste trabalho. É bom lembrar que estes algoritmos não possuem solução analítica por variarem

a quantidade de recursos reservados de uma forma dinâmica, ao longo do tempo, e nos casos em que se utiliza distribuições diferentes da exponencial para o modelo de tráfego.

Alguns dos resultados apresentados neste trabalho de tese resultaram em publicações que constam das referências [63], [64], [65], [66].

1.5

Organização da Tese

Neste trabalho foram desenvolvidos algoritmos de Controle de Admissão de Chamadas adaptativos e distribuídos, que são apresentados e testados em diversas condições de tráfego e de QoS.

O Capítulo 2 descreve os trabalhos anteriores na área de gerência de recursos rádio e controle de admissão de chamadas para sistemas de uma ou mais classes usuários. Também é apresentada uma classificação para os diversos tipos de algoritmos de controle de admissão de chamadas.

No Capítulo 3 são apresentados os modelos analíticos, baseados em cadeias de Markov unidimensionais, para o cálculo das probabilidades de bloqueio de chamadas novas e de falha de *handoff* para sistemas de uma classe de usuários que utilizam a reserva de canais para atender aos requisitos de qualidade de serviço.

O Capítulo 4 apresenta a ferramenta de simulação desenvolvida neste trabalho de tese para avaliar o desempenho dos algoritmos de controle de admissão propostos para sistemas com usuários de múltiplas classes.

O Capítulo 5 propõe algoritmos dinâmicos de Controle de Admissão de Chamadas para usuários de uma classe que se adaptam às características de tráfego.

O Capítulo 6 aborda o problema de atender simultaneamente a duas restrições de QoS e propõe um algoritmo de Controle de Admissão de Chamadas para usuários de uma classe.

O Capítulo 7 compara os resultados apresentados pelos algoritmos propostos através de duas métricas e compara o comportamento dos algoritmos dinâmicos para várias distribuições propostas para o tempo de permanência do usuário na célula.

O modelo para sistemas de múltiplas classes de usuários por cadeias de Markov de dimensão M é desenvolvido no Capítulo 8.

O Capítulo 9 apresenta os Algoritmos propostos de Controle de Admissão de Chamadas para usuários de múltiplas classes. Alguns dos algoritmos introduzidos no capítulo 5 são estendidos para sistemas de

dimensão M e são propostas novas técnicas adaptativas ao tráfego em andamento.

O Capítulo 10 apresenta as conclusões da tese, sugere e discute questões para trabalhos futuros.

O Apêndice A aborda o modelo de tráfego utilizado neste trabalho. A maioria dos trabalhos encontrados na bibliografia utiliza a distribuição exponencial para a permanência do usuário na célula. Neste trabalho, além da permanência do usuário na célula ser tratada como uma distribuição exponencial, consideramos também outras distribuições apresentando o desenvolvimento analítico e o comportamento simulado da rede.

2

Trabalhos Relacionados

O problema do controle de admissão de usuários em redes sem fio possui múltiplas facetas. Enquanto que em uma rede fixa o controle de admissão se resume ao tempo de duração da chamada, na rede móvel o problema se estende devido à mobilidade do usuário que necessita trocar seu ponto de acesso à rede. A mobilidade e o tempo de retenção do canal provocam alto impacto no desempenho do sistema e devem ser considerados pelo algoritmo de controle de admissão. Desta forma, dentro da Gerência dos Recursos Rádio, o Controle de Admissão de Chamadas (CAC) é um dos fatores principais para o bom desempenho do sistema.

O número de usuários de celulares continua aumentando, fazendo com que as operadoras trabalhem com células cada vez menores para aumentar a capacidade do sistema. Por outro lado, células menores aumentam o número de *handoffs*, gerando a necessidade de algoritmos de controle de admissão cada vez melhores. Além disso, as técnicas de CAC constituem um dos fatores que permite ao operador garantir a qualidade de serviço (QoS) desejada e obter recursos adicionais através da diferenciação entre os serviços e o aumento de tráfego.

A reserva de recursos e, em particular, o controle de admissão de chamadas são temas importantes para a operação eficiente de redes sem fio. Este problema tem sido estudado por duas décadas [31], porém o tema continua relevante, conforme demonstrado em dois artigos recentes que apresentam tutoriais extensos sobre o tema [4], [20].

Com a evolução das redes móveis e a oferta de serviços diferentes dentro da mesma rede, o Controle de Admissão de Chamadas (CAC) passou a ter uma importância ainda mais elevada dentro da Gerência de Recursos Rádio.

O problema geral da gerência de recursos é tratado nas referências [77] e [78]. Estes trabalhos apresentam a escolha da forma de onda da seguinte forma: os sistemas FDMA e TDMA utilizam sinais ortogonais, possibilitando a canalização do espectro e os sistemas CDMA utilizam sinais

não ortogonais. Esta divisão dos sistemas em FDMA/TDMA e CDMA torna suas abordagens bem distintas. Os sistemas que trabalham com o espectro canalizado podem ser mais eficientes quanto à alocação dos canais.

Em [37] são apresentados diversos aspectos quanto à gerência de recursos em sistemas CDMA de terceira geração. O trabalho também trata da solução híbrida TD/CDMA onde, para cada slot de tempo, são associados vários usuários, cada um com um código. Devido à flexibilidade do sistema de divisão por tempo, o sistema pode ser empregado em vários ambientes e adicionando o código, é possível aumentar a capacidade do sistema.

Nas sessões seguintes deste capítulo são abordados trabalhos sobre as subdivisões da Gerência de Recursos Rádio. Inicialmente são abordados a Alocação de Canais, o Controle de Potência e as Células Hierarquizadas. Por último, o capítulo apresenta uma abordagem mais detalhada do Controle de Admissão de Chamadas, tema desta tese.

2.1

Alocação de Canais

Nos primeiros sistemas celulares, FDMA, a alocação de canais era fixa, FCA - *Fixed Channel Allocation*, determinados canais poderiam ser utilizados apenas em determinadas células. No entanto, esses sistemas necessitam de um planejamento inicial que não deve ser modificado. Com o aumento da demanda por comunicações móveis, houve necessidade de aumentar a capacidade dos sistemas. Os sistemas fixos eram muito rígidos para aceitar as modificações que eram constantemente requeridas.

Como uma evolução, surgiram os sistemas de alocação dinâmica de canais, DCA - *Dynamic Channel Allocation*. Nesses sistemas dinâmicos, qualquer canal pode ser utilizado em qualquer célula, necessitando apenas de um teste inicial, respeitando algum critério para a escolha do canal. Um bom resumo das técnicas de alocação de canais pode ser encontrado em [40].

Em [58] são apresentadas diversas técnicas de alocação dinâmica de canais. São técnicas válidas para sistemas FDMA/ TDMA, onde os canais são ortogonais, ou seja, utilizam frequências diferentes e os *slots* de tempo são independentes. Como nos sistemas de alocação dinâmica todas as bases podem utilizar qualquer canal, as questões que surgem são: Existe um canal melhor? Como otimizar esta alocação? Há um compromisso na escolha do canal: para maximizar a qualidade os canais em reuso devem estar longe, porém, para aumentar a eficiência espectral os canais devem estar o mais

perto possível. Em [58] são apresentadas três técnicas de alocação dinâmica que são comparadas entre si e em relação à alocação fixa.

Os sistemas híbridos se apresentam como uma solução para o aumento de capacidade do sistema TDMA, associando códigos que permitem que mais de um usuário utilize o mesmo *slot* de tempo dentro da mesma frequência. Simultaneamente apresenta ortogonalidade entre os *slots*, permitindo um tratamento de canalização dos recursos. Em [61] é apresentado um sistema dinâmico de alocação de recursos para o sistema Híbrido TDMA/CDMA.

2.2

Controle de Potência

Outro aspecto importante da gerência de recursos é o controle de potência [77][78]. Controlando as potências com que os móveis e as bases irradiam é possível melhorar a qualidade de serviço e aumentar a capacidade, suprimindo a interferência do canal adjacente (correlação cruzada) em esquemas não-ortogonais e controlando a interferência co-canal nos esquemas ortogonais. Além disso, o controle de potência minimiza o consumo, aumentando o tempo de vida da bateria.

2.3

Células Hierarquizadas

A superposição de sistemas que utilizam células de tamanhos diferentes é uma abordagem da gerência de recursos para aumentar a utilização. Os sistemas mais comuns são micro-células superpostas por macro-células.

O objetivo dessa estratégia é obter simultaneamente as vantagens dos sistemas micro e macro, dependendo da velocidade do usuário. Nos sistemas micro-celulares, como a distância de reutilização é menor, a capacidade do sistema é maior. No entanto, neste tipo de sistema micro-celular, a movimentação dos usuários através de células menores aumenta a quantidade de *handoffs* solicitados. Daí a necessidade da superposição das macro-células, para que os veículos sejam alocados nas macro-células e os pedestres nas micro-células.

Em [45] é apresentada uma revisão sobre os trabalhos na área. São apresentadas duas classes de sistemas hierárquicos: reversíveis e não-reversíveis. Os reversíveis supõem que possa ocorrer *handoff* de volta à camada mais baixa e nos não-reversíveis este retorno não é possível.

Embora o objetivo inicial seja a alocação dos usuários de alta velocidade na camada superior, esta camada também pode servir como reserva de recursos. Ou seja, se as micro-células estiverem lotadas o usuário, sendo pedestre ou veículo, será alocado na macro-célula correspondente. Mais tarde, vagando canal na micro-célula, no caso dos sistemas reversíveis, o usuário poderá retornar a camada inferior. Os sistemas reversíveis necessitam de um maior processamento para lembrar qual usuário pedestre está alocado na macro-célula e fazê-lo retornar assim que possível.

A pergunta inicial para esta estratégia de *handoffs* entre camadas é como saber se o usuário é de alta velocidade ou não. Esta é respondida pela observação do tempo de residência na célula (*dwell-time*). Todos os usuários podem ser inicialmente alocados em micro-células e se o intervalo de solicitação entre um *handoff* e outro for muito pequeno, presume-se que o usuário é de alta velocidade e deve ser repassado para a camada superior.

A referência [60] discute como distribuir o espectro entre as camadas definindo qual percentual dos canais deve estar em cada camada, de forma a obter um rendimento máximo. O artigo apresenta um desenvolvimento analítico baseado em processos de nascimento e morte multidimensionais. O cálculo assume a alocação perfeita dos móveis em suas camadas de acordo com as suas velocidades: pedestres são alocados nas micro-células e veículos são alocados direto nas macro-células. A partição do espectro é calculada baseada na probabilidade de bloqueio em cada camada.

Posteriormente, em [50] é feita uma revisão dos trabalhos publicados em arquiteturas de múltiplas camadas. Apresenta também um resumo sobre *handoff*. O trabalho comenta sistemas de três camadas com macro, micro e pico células, mas trabalha com duas camadas. O principal objetivo é obter um equilíbrio entre maximizar o número de usuários por área e diminuir o controle da rede, principalmente quanto ao número de *handoffs*. São apresentados dois algoritmos de controle de admissão da chamada: um que considera a possibilidade de transbordar usuários de uma camada inferior para a superior e outro que considera, além da mobilidade do usuário, diversas classes de usuários e suas taxas de transmissão.

Em [51], os mesmos autores voltam a abordar a alocação de usuários de classes diferentes em sistemas de duas camadas. O objetivo é fazer a alocação dos usuários, não só de acordo com sua velocidade, mas também de acordo com a prioridade de sua classe. As chamadas são enfileiradas pela prioridade e são então encaminhadas à alocação. Tal algoritmo é comparado ao algoritmo que não atribui prioridades, atende por ordem de chegada, FIFO. A comparação é feita através de resultados numéricos provenientes

de solução analítica por cadeia de Markov bi-dimensional.

A referência [71] apresenta estratégias de alocação em micro e macro-células, simuladas em MATLAB[®], de sistema celular bi dimensional para usuários pedestres e carros com uma só classe de serviço.

2.4

Controle de Admissão de Chamadas

O controle de admissão de chamadas consiste em escolher qual tipo de usuário terá preferência na disputa dos recursos do sistema. Os recursos são escassos e a demanda aumenta cada vez mais com as novas aplicações para as redes móveis celulares. O controle de admissão define as prioridades que serão dadas aos usuários diante de determinados critérios.

Os algoritmos de controle de admissão podem ser classificados de acordo com seus objetivos de projeto, segundo a referência [4]. Uma das características principais dos algoritmos é a localização do comando da rede. Quando o comando da rede é local situando-se em cada base, diz-se que o CAC é **distribuído**. Se a rede possui uma central que comanda várias bases, o controle é **centralizado**.

Outra característica importante é se o algoritmo atende apenas a uma classe de usuários, como nos sistemas 1G e 2G, ou a mais classes de usuários, sistemas 3G e 4G. Estas e outras características estão apresentadas na tabela 2.1, que resume a Classificação dos Algoritmos de Controle de Admissão de Chamadas.

Tabela 2.1: Aspectos de classificação para os algoritmos de CAC.

Escolha de projeto	Opção	Vantagens	Desvantagens	Comentários
Centralização	Central	Mais eficiente	Complexo	Não realista
	Distribuído	Simples	Pouco eficiente	Normalmente usado
Escala de informação	Global	Mais eficiente	Mais Complexo	troca de informação
	Semi-local	Eficiente, menos complexo	Complexidade Moderada	menor troca de informação
	Local	Simples	Menos eficiente	Não precisa de troca de informação
Dimensão dos Serviços	Uma classe	-	-	Redes 1G e 2G
	Múltiplas classes	-	-	Redes 2.5G, 3G e 4G
Otimização	Ótima	Mais eficiente	Difícil de implementar, assume muitas simplificações	Desejável
	Sub-ótima	Mais realista	Menos eficiente	técnicas heurísticas e inteligentes
Tempo de decisão	Pro-ativo	Rápido	Mais erros, necessita de informação anterior	Baseada em parâmetros
	Reativo	Menos erros, não necessita de informação anterior	Lenta	Baseada em Medidas
Tipo de informação	Ocupação da célula	Não necessita estimar a mobilidade	Necessita modelo de ocupação da célula	-
	Mobilidade	Não necessita de modelo de ocupação da célula	Necessita estimar a mobilidade	-
Granularidade da informação	células uniformes	Simples	Granularidade simplista	-
Enlace Considerado	Uplink	-	-	Transmissão limitada
	Downlink	-	-	Necessita de retorno do móvel para a base

2.4.1

Sistemas de Uma Classe de Usuários

Em um sistema de uma única classe de usuários, o critério mais comum é o de dar prioridade aos usuários em *handoff*. Um fato amplamente reconhecido na literatura, tal como na referência [31], é o de que é preferível bloquear uma chamada nova a perder uma outra que já está em andamento e que necessita de um *handoff*.

Um dos compromissos na alocação de usuários em uma rede celular móvel é garantir requisitos de QoS diferentes para o bloqueio de chamadas novas e para as falhas de chamadas em *handoff* e, ao mesmo tempo, aumentar a eficiência da utilização da banda diante de um tráfego não uniforme no tempo e no espaço.

CAC para Controlar a Probabilidade de Falha de Handoff

Como foi dito acima, a manutenção de um serviço a um usuário com atendimento em curso é mais importante que iniciar o atendimento a um novo usuário. Sendo assim, deve-se dar atenção especial às chamadas em *handoff*. Foram desenvolvidos vários algoritmos que procuram dar prioridade às chamadas em *handoff* [31] [33] [19] [22] [47] [48].

Uma das principais linhas é a reserva ou guarda de canais exclusivos para o *handoff*, Canais de Guarda (*Guard Channel- GC*). Outros trabalhos colocam as solicitações de *handoff* em fila até que um canal seja liberado na célula-alvo, Fila de *Handoff* (*Handoff Queue- HQ*). Em [19] é apresentada uma comparação entre as estratégias de canais de guarda e filas, considerando alocação fixa e dinâmica dos canais. Os canais de guarda são compartilhados pelas células através da alocação dinâmica. Os dois métodos são comparados por solução analítica, envolvendo a teoria das filas e também por simulação.

Há ainda alguns algoritmos que monitoram o deslocamento do usuário, identificando qual a provável célula para aonde ele vai. Se a nova célula estiver com alta intensidade de tráfego, os recursos disponíveis podem não ser suficientes para garantir a qualidade do serviço, QoS, e a chamada pode ser interrompida.

As principais características dos algoritmos que controlam a probabilidade de falha de *handoff* estão apresentadas na tabela 2.2.

Tabela 2.2: Abordagens para os algoritmos de CAC que visam controlar a P_{FH} .

Abordagem	Explicação	Trabalhos	Comentários
Banda de Guarda	Recursos reservados exclusivamente para H	[68],[31]	P_{BN} alto
Carregamento na célula mãe e nas vizinhas	Chamada nova é admitida se o carregamento é inferior a um determinado valor.	[2],[55],[57]	Necessita de troca de informação
P_{FH} estimado	P_{FH} estimado é usado como critério de admissão	[22], [47], [48]	Necessita de troca de informação
CAC ótimo com restrição P_{FH}	Política de admissão determinada pela otimização de uma função de P_{FH}	[59]	Normalmente resolvida por Processo de Markov
Nível de interferência baixo para chamadas novas	Chamadas N e H são admitidas baseadas no nível de interferência	[7],[10]	Usada para controlar a qualidade do sinal em redes CDMA

Guarda de Recursos para Chamadas em Handoff

Um dos primeiros trabalhos a apresentar a idéia da reserva de recursos para o *handoff* foi feito por Hong em [31]. O trabalho tem sido um dos mais citados desde então e foi posteriormente aperfeiçoado pelos seus autores em [33]. O objetivo da guarda de canais para o *handoff* é priorizar o *handoff* de uma maneira simples e eficaz reservando recursos que podem ser usados apenas pelos usuários em *handoff*. No entanto, há uma certa tendência a aumentar a probabilidade de bloqueio das novas chamadas o que é aceitável dentro das convenções de qualidade de serviço.

Em [56] é proposto um modelo analítico para calcular os recursos de banda necessários para atender às chamadas em *handoff*. O modelo apresentado supõe tráfego uniforme de usuários de uma mesma classe, a princípio, trata-se de usuários de voz.

Inicialmente utilizava-se um número inteiro de canais de guarda, posteriormente surgem trabalhos com a preocupação de descobrir a quantidade de canais a ser reservada [59] e [18].

Margem de Interferência de Guarda

Um algoritmo baseado no conceito dos canais de guarda para sistemas TDMA/FDMA é proposto em [10], para sistemas CDMA. A idéia central consiste em reservar recursos para as chamadas em *handoff* como nos canais de guarda. Como o fator limitante da capacidade do sistema CDMA é a interferência, a reserva de recursos é feita através da reserva de uma

margem de interferência chamada de Margem de Interferência de Guarda, (*Interference Guard Margin* - IGM). O algoritmo proposto trabalha com diferentes taxas que podem ser adaptativas ou não. Dependendo do tipo de chamada, ela será aceita ou não de acordo com o nível de interferência que esta chamada causa. Esta reserva de margem de interferência é baseada no tráfego nas células vizinhas. O algoritmo proposto é simulado com os parâmetros de WCDMA em *OPNET*[®], *Optimized Network Engineering Tool*.

Disponibilidade de Recursos

Em [62] é apresentado um esquema que combina a iniciação do *handoff* com a disponibilidade de canal na célula-alvo, tal esquema proposto é testado por simulação.

Na referência [1], os autores apresentam o conceito de árvore de conexão virtual, que é um conjunto de bases e rede fixa que controla o móvel. A cada móvel é associada uma coleção de números que define o caminho de conexão entre o móvel e a parte fixa da rede. À medida que o móvel se desloca, o controle é passado de uma base à outra, através da árvore, sem que o sistema central precise interferir. O sistema central só detém o controle do *handoff* quando este é feito de uma árvore para outra. Este método permite auferir as vantagens de aumento de capacidade de micro e pico-células sem ocupar muito o processador com *handoffs*. Em [2], os mesmos autores estudam e propõem métodos de controle distribuído para redes micro celulares de alta velocidade, utilizando o conceito de árvore de conexão virtual.

CAC Ótimo com Restrições de Probabilidade de Falha de Chamadas em Handoff

No processo de admissão de chamadas, a probabilidade de falha de chamadas em *handoff* (P_{FH}) é controlada com o objetivo de mantê-la abaixo de certos valores aceitáveis e maximizar a utilização dos recursos ou uma função de custo normalmente definida em cada trabalho.

Normalmente, a política de admissão ótima é modelada por um Processo de Decisão Markoviano (MDP). Então, utiliza-se a programação linear para encontrar a melhor política de admissão em cada estado, conforme exposto nas referências [11],[42],[67],[44],[30],[72].

Em [30] foi demonstrado que a política de otimização ótima para o CAC que maximiza a função de custo e atende as restrições de QoS relacionadas a Probabilidade de Falha de Chamadas em *Handoff* (P_{FH}) é a utilização de Canais de Guarda Fracionários. No entanto, se o número de células e usuários é muito grande o uso de MDP torna-se impraticável. Então, algoritmos genéticos foram propostos como uma alternativa para encontrar políticas de CAC sub-ótimas, porém com menor esforço computacional. Um algoritmo genético foi usado em [75] para encontrar o CAC quase-ótimo baseado em algoritmos genéticos, minimizando uma combinação linear de P_{BN} e P_{FH} . Similarmente, um algoritmo genético é utilizado em [73] para maximizar a utilização dos recursos, enquanto mantém a restrição de P_{FH} . Embora a utilização dos recursos, obtida pelo algoritmo, seja menor que o valor ótimo de MDP (menos de 10%), o autor afirma que esta redução é satisfatória devido a redução do esforço computacional.

2.4.2

Sistemas de M Classes de Usuários

A evolução natural da utilização das redes de comunicações móveis de serviços de voz para incluir serviços de dados, tais como transferência de arquivos, mensagens curtas e vídeo, forçou os sistemas a se adaptarem às novas demandas.

Para oferecer serviços diversos, com requisitos de qualidade diferentes, uma solução natural seria a reserva de recursos. Inspirados na reserva de recursos para os usuários em *handoff*, já bem conhecida e aplicada, passou-se a reservar recursos para os usuários de diferentes classes. No entanto, como o espectro é limitado, não se admite a possibilidade de reservar em excesso, uma vez que a reserva de recursos diminui a sua utilização.

O principal objetivo dos últimos trabalhos na área é a flexibilidade das redes para se adaptar às novas demandas e o aumento da utilização da banda mantendo os requisitos de QoS.

O problema do controle de admissão de usuários de múltiplas classes em redes móveis pode ser visto como uma extensão de múltiplas classes em redes fixas, tais como [34], [38], [39] ou como redes sem fio com algoritmos de uma classe [40], [32] para múltiplas classes de usuários.

Esquemas com Qualidade Adaptativa devido aos Recursos que variam durante a Chamada

Em [69] é apresentado um modelo de alocação de canal com prioridade chamado de *Priority Based Channel Allocation* (PCA). O objetivo é atender a duas classes de usuários com diferentes níveis de qualidade. Os canais são divididos em canais de alta prioridade e canais de baixa prioridade. O esquema é baseado em dois conjuntos de informação que são armazenados em dois vetores. O primeiro vetor é NCS - *Next cell State*, que é um vetor de M componentes, onde cada componente armazena uma possível célula-alvo e o segundo vetor é chamado de TP - *Transition Probability*, um vetor de N elementos com probabilidade de transição para cada uma das N células vizinhas. Existem dois vetores TP, um para alta prioridade e outro para baixa.

Na referência [80] é descrito um esquema de prioridade de *handoff* com QoS para sistemas micro e pico-celulares. O esquema proposto é adaptativo e trabalha com dois tipos de classes de usuários: classe I, banda larga, é suposta como adaptativa em QoS, aceitando canais com taxas baixas; e a classe II, banda estreita, não aceita degradação de QoS. As novas chamadas de ambas as classes são aceitas, se for possível assegurar seus requisitos de banda. Quanto ao *handoff*, a chamada será aceita na nova célula, se esta for capaz de proporcionar a banda total requerida ou uma banda menor, diminuindo a qualidade do serviço prestado, desde que respeite o limite de QoS. A nova célula pode obter a banda necessária para a chamada em *handoff* diminuindo os níveis de QoS de uma ou mais chamadas adaptativas em andamento. Se a chamada em *handoff* é não adaptativa, então o *handoff* só terá êxito se a nova célula puder prover a banda requisitada. Neste mesmo trabalho, é proposta uma outra versão do algoritmo que é mais flexível. A modificação consiste na definição de frações para a aceitação das chamadas em *handoff* e das novas chamadas, o restante é perdido. Esta flexibilidade alivia o sistema do *handoff* banda larga e faz com que as chamadas em andamento recebam mais do que seus requisitos mínimos de banda. Os esquemas propostos são comparados por simulação com os esquemas tradicionais de canais de guarda, (*Guard Channel - GC*), e enfileiramento de *handoff* (HQ) apresentando bons resultados.

Em [27] são estudadas estratégias de alocação flexíveis (*Flexible or Adaptive Resource Allocation - FRA*), que podem ou não ter esquemas que usam degradação/compensação de sessões em progresso. A degradação de uma sessão (chamada de voz ou transferência de dados) consiste na redução gradual dos recursos alocados para uma sessão em progresso. A

compensação é o processo reverso, há o aumento dos recursos para a sessão. No caso de compensação ou de degradação, ocorre a variação da banda alocada ao usuário ao longo do tempo da sessão. O artigo também analisa o desempenho de Estratégias de Alocação de Recursos Adaptativas e as compara com estratégias de alocação anteriormente propostas, [35], [46] e [18]. Em [27] é também proposto um algoritmo novo para analisar o desempenho das estratégias de alocação flexíveis com QoS uniforme. A análise é baseada no fato de que nas estratégias flexíveis que promovem QoS uniforme, todas as sessões ativas de cada tipo de serviço compartilham igualmente seus recursos e tendem a utilizar uma banda média. A referência [35] propõe uma estratégia chamada Alocação de Recursos Igualmente Compartilhados (ERSA), onde este compartilhamento é feito de forma uniforme dentre as chamadas novas, baseado no número de chamadas em andamento. Em [46] é apresentado um esquema de alocação de recursos adaptativo (AREAS) que reduz a realocação de recursos através da introdução de um limiar para decidir quando a realocação é necessária. Esta estratégia é generalizada em [18] para múltiplos serviços.

No artigo [74], os autores propõem uma abordagem integrada de gerência de recursos que combinam o uso de monitoramento por posição (*position-assisted*) e predição da mobilidade para fazer reserva de banda com um controle de admissão e estratégia de reconfiguração de banda para gerenciar uma QoS flexível. Introduz uma estrutura baseada em agentes móveis que pode ser usada para executar as funções de geolocalização e gerência dos recursos da rede. Também é desenvolvido um modelo para obter o intervalo ótimo de atualização de informação, visando minimizar o custo de operação do sistema. A comparação dos resultados do esquema proposto com os resultados correspondentes de um sistema convencional, que garante apenas a reserva de banda como meio de se manter os requisitos de QoS, demonstra que o sistema integrado proposto pode minorar o problema de reservar em excesso e aumentar significativamente a capacidade do sistema.

Reserva de Recursos por Classe de Usuário

Em [21] são comparados métodos de alocação de recursos e suas características de desempenho no que se refere a sistemas que partilham e sistemas que reservam recursos. Nesta referência os recursos reservados são estáticos, não variam com o tráfego.

Posteriormente, em [22] os mesmos autores descrevem dois algoritmos distribuídos e preditivos para o controle de admissão de chamadas. Os

algoritmos fornecem probabilidades de bloqueio separadas para cada tipo de classe de usuário do sistema, baseadas no tráfego das bases vizinhas e diferem na admissão de chamadas em *handoff*: o primeiro compartilha a banda e é chamado CS(*completely shares*); e o segundo faz a reserva de recursos, chamado RES.

Em [23] são apresentados algoritmos de controle de admissão para usuários de múltiplas classes, incluindo uma família de algoritmos preditivos que fazem a reserva de recursos de acordo com o tráfego nas células vizinhas. Os recursos rádio são definidos como unidades de banda que são alocadas aos usuários de acordo com as suas necessidades e apresenta a comparação da reserva estática, reserva dinâmica e compartilhamento de recursos. A comparação das estratégias de gerência de recursos é feita analiticamente e por simulação de um sistema celular para uma rede unidimensional, como uma estrada com duas classes de usuários: voz e banda larga. A simulação é feita com alocação fixa de unidades de banda e sem a movimentação dos usuários. A necessidade de *handoff* é definida por uma variável aleatória que calcula o tempo de permanência do usuário na célula.

A referência [49] tem como objetivo a comparação entre duas técnicas para lidar com a banda: Compartilhamento Total (CS - *Complete Sharing*) e Partição Dinâmica (DP - *Dynamic Partition*). A comparação entre as duas técnicas é feita através de análise e simulação. O artigo demonstra que ambos os esquemas apresentam desempenho semelhante através da manipulação apropriada dos parâmetros de controle. O desafio é que a Partição Dinâmica (DP) pode atingir os requisitos de QoS mais facilmente, ao custo de reservar demais e diminuir a eficiência de utilização da banda, quando comparada com a política de Compartilhamento Total (CS).

Em [26] há a proposta de uma fronteira móvel para a partição dos canais. Isso facilita prover os diferentes requisitos de QoS e é adaptável ao tráfego não uniforme, variável no tempo. Suas limitações são que, tanto voz quanto dados requerem a mesma banda e não há diferença de tratamento para as chamadas de voz novas e para as chamadas em *handoff*.

No desenvolvimento analítico, o esquema de Partição Dinâmica (DP) e o esquema de Reserva de Banda por Limiar Duplo (DTBR - *Dual Threshold Bandwidth Reservation*) são modelados como cadeias de Markov tri e bidimensionais, respectivamente. Tanto a chegada do tráfego de voz quanto do tráfego de dados são assumidas como sendo distribuições de Poisson, num sistema homogêneo. São escritas as equações de balanceamento que podem ser resolvidas pela técnica desenvolvida por [29], que é baseada no desenvolvimento típico das equações de Champan-Kolmogoroff, onde

existe um subconjunto de probabilidades de estado chamado fronteira e todos os estados podem ser expressos como uma função dos estados de fronteira. A idéia básica dessa técnica é escolher as fronteiras primeiro e depois derivar as expressões para todas as probabilidades de estado remanescentes como funções dos valores das fronteiras e então, resolver um sistema de equações para essas fronteiras. Depois disso, determinar todas as probabilidades de estado através das fronteiras. Os dois esquemas são comparados e apresentam as seguintes características: 1) o esquema DP sempre tem a menor probabilidade de falha por *handoff* de voz; 2) o esquema DTBR com um limiar pode atingir a maior utilização de canal e a menor probabilidade de bloqueio de dados; e 3) o esquema DTBR com dois limiares pode atingir a menor probabilidade de bloqueio de novas chamadas de voz.

Em [3], os autores propõem e comparam esquemas de alocação dinâmicos para múltiplas classes. O controle de admissão proposto é a aceitação da chamada se houver banda suficiente para tal classe acrescida de um limiar de margem, que varia por classe e também considera se a chamada é nova ou *handoff*. O cálculo do número de canais de guarda é feito segundo o método proposto, que espera o maior caso, *ExpectedMax*, segundo a referência [76], para fins de comparação. O objetivo do algoritmo proposto em [3] é evitar o bloqueio em massa das classes que demandam maior quantidade de recursos.

Os algoritmos são comparados através de simulação em uma rede de 18 células, sem movimentação. O tempo de residência na célula é sorteado simulando uma distribuição exponencial. A taxa de chegada de novas chamadas varia ao longo da simulação: aumenta na primeira metade da simulação e diminui na segunda metade. A Probabilidade de *handoff* de uma célula para outra é variável, com o intuito de simular o tráfego em uma cidade nos horários de tráfego intenso.

Na referência [9] os autores propõem um controle de admissão cujo limiar de acesso é baseado no número de solicitações das diferentes classes de QoS. A política é semelhante ao esquema de canais de guarda dinâmico, onde a estimativa dos recursos necessários para atender as chamadas de alta prioridade é baseada na razão sinal/ruído do móvel (*SNR*) e na informação do perfil de tráfego dos usuários das células vizinhas. O algoritmo proposto é simulado em *OPNET*®.

Controle de Admissão de Chamadas com Qualidade Adaptativa na Entrada

Em [52] é apresentado o esquema de alocação de chamadas em um sistema integrado de voz e dados chamado de Ajuste Gradual Preditivo (*Predictive Gradual Adjustment - PGA*), que é comparado com dois outros esquemas anteriores para sistemas *High Speed Circuit Switched Data* (GSM-HSCSD). O primeiro esquema de alocação é o de Capacidade Máxima, onde o usuário é alocado com a taxa desejada ou é bloqueado, ou terminado no caso de solicitação de *handoff*. O segundo esquema para comparação é o de Alocação Flexível, onde o usuário define sua taxa ideal e também sua taxa mínima de aceitação. Porém, uma vez alocado, não há mudança depois de iniciada a chamada.

No esquema proposto em [52], de Ajuste Gradual Preditivo, o usuário define sua taxa ideal e a taxa mínima aceitável. Considerando o número de canais disponíveis, o sistema definirá a taxa com a qual o usuário poderá entrar. Os três esquemas são comparados através de uma ferramenta de simulação com mobilidade dos usuários em um sistema que utiliza células em uma região urbana. O esquema proposto apresenta bons resultados.

Em [16], [17] e [28], os autores apresentam uma seqüência de artigos sobre alocação flexível de recursos em sistemas integrados de voz e dados.

2.4.3

Controle de Admissão Considerando o Tráfego em Andamento

Em [56], é apresentado um algoritmo de controle de admissão distribuído que considera a própria célula e o número de chamadas das células vizinhas. Com o objetivo de atender prontamente o tráfego em tempo real, a condição de aceitação da chamada é simples: basta que a probabilidade de queda seja menor que um determinado limiar. É apresentado um modelo analítico para um sistema unidimensional com extensão para o bi dimensional.

Em [13], é proposto um esquema preditivo e adaptativo que reserva frações da banda, dependendo do tráfego das células vizinhas. A localização do móvel é feita contando com as informações do sistema *GPS*. Os autores analisam o controle da janela de tempo para o processamento dos dados dos diferentes tipos de tráfego.

2.4.4

Reserva de Recursos Baseada no Comportamento Estatístico da Mobilidade do Usuário

Em [8], é apresentado um esquema de reserva de recursos com agrupamento dinâmico para prover os requisitos de QoS nas redes sem fio da próxima geração. O esquema proposto é baseado na estimativa estatística de recursos para prover QoS para o tráfego multimídia nas redes celulares. São estabelecidas várias reservas de divisões no tempo de acordo com a informação de mobilidade de cada base. A quantidade de banda reservada para cada base é ajustada dinamicamente para cada grupo de reserva.

Reserva de banda melhora o QoS das chamadas em andamento, porém aumenta a taxa de bloqueio de novas chamadas e reduz a utilização do espectro. Então, tem-se um compromisso entre a utilização e a reserva de banda.

O esquema proposto em [8] é baseado na estimativa probabilística de recursos. É assumido que quando o móvel solicita uma nova conexão ou se move para uma nova célula ele fornece as informações: (1) tempo estimado do móvel na célula; (2) tempo de residência na célula vizinha; (3) probabilidades de *handoff* para as células vizinhas e (4) a banda requerida pelo móvel, incluindo a soma de todos os fluxos desse móvel. Os tempos (1) e (2) são estimados pela velocidade atual do móvel e pelo histórico de tráfego gravado na célula. Neste artigo, as estimativas de tempo acima são usadas no método proposto de estabelecimento de grupos de reservas, onde a quantidade de banda reservada é dinamicamente ajustada para cada grupo. O esquema proposto é simulado e o tempo de duração de cada chamada é uma distribuição exponencial.

Em [48] é apresentado um algoritmo que utiliza o conceito de *shadow cluster* aonde a aceitação da chamada depende do tráfego nas células vizinhas. As bases compartilham a informação sobre seus móveis. O algoritmo de admissão da chamada é baseado no comportamento estatístico de cada usuário. A probabilidade de movimentação do móvel é calculada de acordo com a função densidade de probabilidade do tempo de residência e do vetor de probabilidade de *handoff*. O modelo é equacionado para sistemas uni e bidimensionais e simulado para um sistema unidimensional.

Na referência [12] é sugerido um algoritmo de reserva de banda adaptativo de acordo com o perfil de movimentação do usuário. Para cada usuário são monitorados: índice da célula atual; índice da célula anterior; índice da célula seguinte (de acordo com movimentações anteriores) e o número de vezes que o usuário se moveu desta para cada uma das vizinhas.

De acordo com o percurso que o usuário está acostumado a fazer, a reserva de recursos é feita para esperar o *handoff* na provável célula seguinte. Esta reserva é baseada na probabilidade de movimentação do usuário que é calculada através dos parâmetros monitorados. Com o objetivo de não reservar continuamente recursos para usuários que estejam parados, as células são divididas em duas regiões: central e próxima à borda. Se o usuário está próximo à borda e é do tipo sensível a atraso em tempo real, serão reservados recursos. Outra medida proposta para evitar desperdício de recursos é que a reserva seja calculada individualmente, mas os recursos reservados são compartilhados. Assim, se for feita a previsão de reserva para um usuário que acaba não executando o *handoff*, os recursos reservados, e não utilizados por este, poderão ser utilizados por outro.

2.4.5 Outras Técnicas

Em [24] é proposto um algoritmo para garantir a probabilidade de queda mínima para serviços múltiplos e maximizar a aceitação de novas chamadas, sem fazer reserva de recursos.

Em [43] é apresentado um modelo analítico para análise do *handoff* no tráfego. O modelo assume tráfego uniformemente distribuído e, conseqüentemente, assume que o *handoff* para dentro da célula seja o mesmo que o *handoff* para fora da célula. A mesma equipe apresenta em [11] um algoritmo de controle de admissão baseado em limiar de aceitação e utiliza um modelo com programação não-linear.

Em [11] é apresentado um algoritmo que procura solução que maximiza o rendimento por programação linear e simultaneamente atende os requisitos de QoS.

Na tese de doutorado em [5], é desenvolvido um simulador (*MACSIM*) para permitir a análise de comportamento de dois componentes básicos da pilha de protocolos: o protocolo *MAC*, *Medium Access Control*, e o algoritmo *SAC*, *Service Admission Control*. O algoritmo de controle de admissão de serviços (*SAC*) é o componente do sistema de comunicação responsável por definir se uma requisição de uma unidade móvel para ter acesso ao protocolo *MAC* deve ser aceita ou não.

2.5 Conclusão Sobre os Trabalhos Relacionados

Com a tendência da elevação da demanda por redes móveis, sendo o espectro limitado, deve haver sempre preocupação em aumentar a utilização dos recursos rádio. Embora o tema Controle de Admissão de Chamadas tenha sido objeto de estudos nas duas últimas décadas, ainda há pontos a se explorar.

Os algoritmos de controle de admissão dinâmicos são capazes de rastrear as mudanças de tráfego e adaptar a aceitação de usuários de forma a atender aos requisitos de qualidade de serviço.

Este trabalho propõe vários algoritmos dinâmicos, tanto para uma classe, quanto para várias classes de usuários, sempre com o objetivo de atender aos requisitos de qualidade de serviço e simultaneamente manter a maior utilização possível dos recursos. Uma das características que diferem o trabalho realizado nesta tese dos trabalhos relacionados apresentados neste capítulo, é a preocupação simultânea com cada uma das restrições de qualidade de serviço, no que se refere as probabilidades de bloqueio de chamadas novas e de falha de chamadas em *handoff* de cada uma das classes individualmente.

O estudo detalhado e a determinação dos limites de intensidade de tráfego de entrada para os quais é possível atender aos requisitos de qualidade de serviço é parte integrante deste trabalho. A determinação dos limites foi feita tanto para uma classe, com as suas duas restrições, quanto para duas classes incluindo suas quatro restrições.

Encontra-se na literatura muitos trabalhos que consideram o tempo de permanência do usuário na célula como uma distribuição exponencial. Este trabalho considera o tempo de permanência do usuário na célula sendo modelado pela distribuição exponencial e também por outras distribuições adequadas. São apresentados o desenvolvimento analítico e o comportamento dos algoritmos propostos simulados nestes cenários.

3

Modelo Analítico para Sistemas Móveis com uma Classe de Usuários

Neste capítulo é apresentado o modelo utilizado para o Controle de Admissão de Chamadas oriundas de usuários pertencentes a uma classe. Todos usuários requisitam a mesma quantidade de recursos e possuem os mesmos parâmetros de qualidade de serviço que são seus percentuais de bloqueio de chamadas novas (P_{BN}) e de falha de chamadas em *handoff* (P_{FH}).

Ao receber uma solicitação de canal, o Controle de Admissão de Chamada, CAC, verifica se a solicitação provém de um usuário novo tentando iniciar sua chamada ou de um usuário que já iniciou sua chamada em outra célula tentando fazer *handoff* para a célula em questão.

Sabendo que é preferível bloquear uma chamada nova a perder uma chamada em andamento, é aceitável que a taxa de bloqueio de novas chamadas P_{BN} , seja superior à taxa de terminação forçada por falha de *handoff* P_{FH} , equação (3-1).

$$P_{BN} \geq P_{FH} \quad (3-1)$$

A técnica conhecida como Canais de Guarda, inicialmente proposta por Hong, [31], [33], tem sido bastante utilizada em algoritmos de Controle de Admissão de Chamadas por ser simples de implementar e apresentar bons resultados na prioridade de admissão aos usuários de *handoff* em detrimento dos usuários que iniciam sua chamada. O esquema de Canais de Guarda é apresentado na Seção 3.1.

Neste capítulo é feito o desenvolvimento analítico para o cálculo da probabilidade de bloqueio de novas chamadas P_{BN} , da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* P_{FH} , e utilização dos recursos U , de um sistema móvel celular. São considerados os casos de sistemas com e sem canais de guarda.

Na Seção 3.2 são feitas análises separadas para os casos de valores inteiros e fracionários para o número de canais de guarda N . O Modelo Geral é desenvolvido na Seção 3.3, onde são calculados P_{BN} e P_{FH} de um

sistema móvel celular com N canais de guarda. Neste caso, N pode assumir qualquer valor, inteiro ou fracionário.

O parâmetro de mobilidade dos usuários θ é definido na Seção 3.4. A utilização dos recursos do sistema é calculada na Seção 3.5.

O modelo analítico foi implementado em *MATLAB*® para o cálculo das probabilidades de bloqueio de novas chamadas e de falha de *handoff* em um sistema genérico. No programa em *MATLAB*® é possível definir o número de canais que o sistema possui, N_c , as taxas de chegada de usuários novos e de *handoff* λ_N e λ_H , e o número de canais de guarda. O programa calcula as probabilidades de bloqueio e a utilização do sistema. Seus resultados são apresentados na Seção 3.6.

3.1

Canais de Guarda

O procedimento de Canais de Guarda consiste em reservar alguns recursos exclusivamente para usuários em *handoff*. O objetivo dessa guarda de canais é garantir que, no caso do sistema estar quase lotado, os usuários em *handoff* tenham prioridade sobre os usuários que iniciam sua chamada. Como consequência, a taxa de bloqueio de novas chamadas, P_{BN} , se torna superior à taxa de terminação forçada por falha de *handoff*, P_{FH} , conforme indicado na equação (3-1).

3.1.1

Número Inteiro de Canais de Guarda

No sistema (célula ou setor) há uma quantidade total de recursos dada por N_c , que pode ser constituída por canais ou unidades de banda (UB). Dentre esses recursos, N são os recursos de guarda para os usuários em *handoff* e os demais T são ditos recursos ordinários, equação (3-2).

$$T = N_c - N \quad (3-2)$$

Ao receber uma solicitação de canal, no caso de usuário novo, os recursos necessários são buscados no grupo ordinário. No caso de um usuário em *handoff*, a busca de recursos também é feita no grupo ordinário, na hipótese de todos os canais ordinários estarem alocados, recorre-se ao grupo de canais de guarda, N . Tal procedimento é representado na figura 3.1.

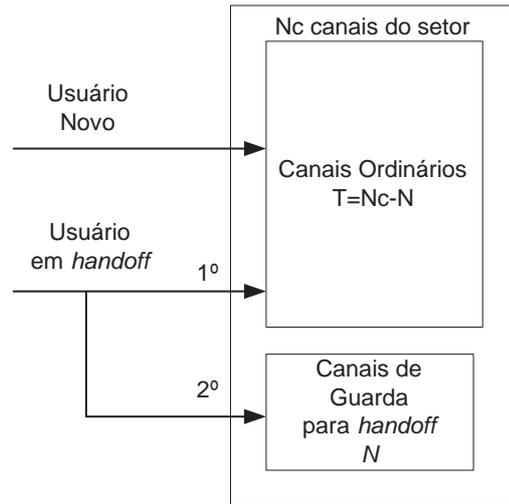


Figura 3.1: Canais de Guarda e Canais Ordinários.

A quantidade de canais de guarda pode ser fixa ou variar de forma dinâmica de acordo com as condições do tráfego em andamento.

Os trabalhos iniciais propõem a guarda de um número inteiro de canais de guarda por setor (ou célula), [31]. Posteriormente, surgiram outros que advogam um número fracionário para a reserva de recursos, [67][14]. Esta classe de algoritmos é conhecida como reserva de recursos fracionados e limitados (*Limited Fractional Reserved Resources-LFGC*).

3.1.2 Número Fracionário ou Probabilístico de Canais de Guarda

No caso de número de canais de guarda fracionário, N é um número real cuja parte inteira $\lfloor N \rfloor$ é maior ou igual a zero e cuja parte decimal é p , representado em (3-3).

$$N = \lfloor N \rfloor + p \quad (3-3)$$

Um número N de recursos de guarda fracionário, ou probabilístico, chamado de $P(N)$, é obtido com a utilização de $\lfloor N \rfloor$ canais de guarda com probabilidade $(1 - p)$ e de $(\lfloor N \rfloor + 1)$ canais de guarda com probabilidade p , conforme a equação (3-4).

$$P(N) = \lfloor N \rfloor(1 - p) + (\lfloor N \rfloor + 1)p \quad (3-4)$$

Se houver $(\lfloor N \rfloor + 1)$ recursos disponíveis, um eventual usuário novo que necessite do recurso reservado terá uma probabilidade $(1 - p)$ de

consegui-lo. Ou seja, o recurso é reservado com probabilidade p .

O algoritmo de número fracionário igual a N canais de guarda é descrito a seguir e representado na figura 3.2.

– **Algoritmo N Fracionário**

– Se o usuário é de *handoff*, sempre que houver recursos disponíveis ele é alocado.

– Se o usuário é novo e houver $(\lfloor N \rfloor + 1)$ recursos disponíveis, é feito o sorteio de um número aleatório X no intervalo $[0, 1]$. O resultado do sorteio X é comparado a $(N - \lfloor N \rfloor) = p$.

Se $X < p$ a chamada nova é bloqueada.

Se $X > p$ a chamada nova é alocada.

– Se o usuário é novo e houver menos que $(\lfloor N \rfloor + 1)$ recursos disponíveis, a chamada nova é bloqueada.

– Se o usuário é novo e houver mais que $(\lfloor N \rfloor + 1)$ recursos disponíveis, a chamada é alocada.

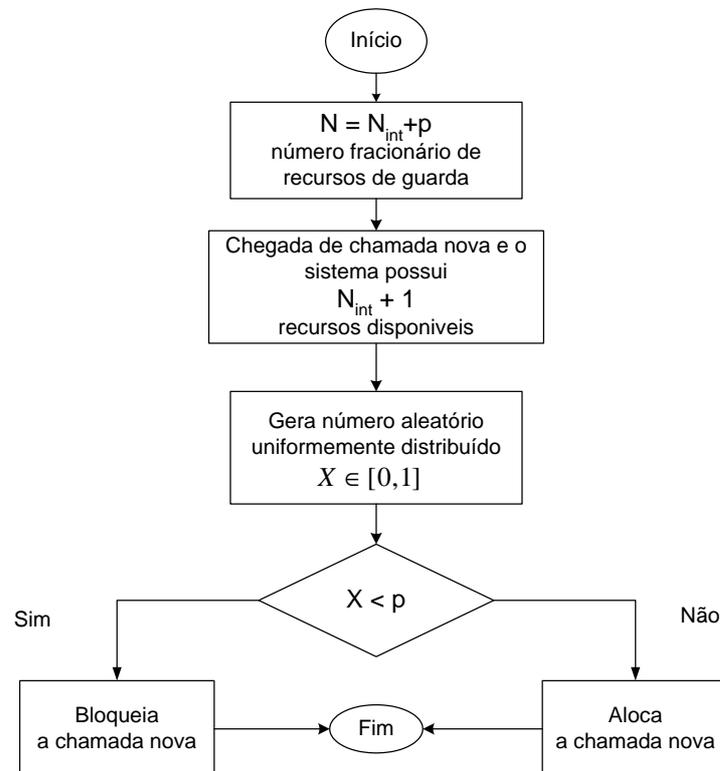


Figura 3.2: Número de Recursos de Guarda fracionário, N .

3.2 Modelo para Usuários de uma Classe

A probabilidade de bloqueio de uma chamada nova, P_{BN} , e a probabilidade de falha de uma chamada em *handoff*, P_{FH} , são calculadas modelando o número de usuários ativos no sistema como estados de uma Cadeia de Markov.

O sistema possui um total de N_c canais que atuam como servidores. Os usuários chegam ao sistema através das taxas de chegada de usuários novos e de *handoff*; e saem do sistema com o fim do serviço que é o término da chamada.

No caso em que todos os usuários pertencem a uma só classe, cada usuário solicita a mesma quantidade de recursos do sistema para iniciar sua chamada. Esta situação equivale a um canal por chamada. Este sistema é modelado por uma cadeia de Markov onde a cada estado i corresponde igual número i de usuários ativos. No estado i chegam usuários com taxa de chegada λ_{i-1} e os usuários terminam a chamada com taxa μ_i , conforme a figura 3.3. A cadeia possui um total de $N_c + 1$ estados onde, cada estado corresponde ao número de canais que estão em uso, ou ao número de usuários em atividade no sistema. O primeiro estado, estado 0, corresponde ao sistema vazio e o último estado, estado N_c , corresponde ao sistema lotado.

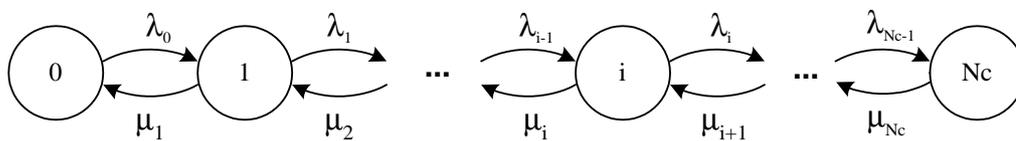


Figura 3.3: Cadeia de Markov 1D.

O problema é modelado segundo um sistema em regime permanente no qual a chegada de chamadas novas e em *handoff* se dá segundo duas distribuições de Poisson independentes com taxas λ_N e λ_H , respectivamente.

O tempo de retenção do recurso será aqui considerado segundo uma distribuição exponencial de média $1/\mu$.

O problema é modelado por um sistema de fila $M/M/N/N$, onde não há fila de espera. Como este é um processo de Nascimento e Morte, a razão entre a probabilidade estacionária do estado n e do estado zero é dada pela

equação (3-5).

$$\frac{P_n}{P_0} = \frac{\prod_{i=0}^{n-1} \lambda_i}{\prod_{j=1}^n \mu_j} \quad (3-5)$$

O sistema de uma classe de usuários pode operar sem canais de guarda, com um número inteiro ou com um número fracionário de canais de guarda. Os três casos são desenvolvidos nos itens a seguir.

3.2.1 Sistema de Uma Classe de Usuários sem Canais de Guarda

No sistema que opera sem canais de guarda, todos usuários tem acesso a todos canais. Esta é a situação que conduz a maior utilização do sistema.

A taxa de chegada de cada estado i é dada pela soma das taxas de chamadas novas, λ_N , e de chamadas em *handoff*, λ_H . A saída do estado i para o estado anterior $i - 1$ se dá cada vez que um usuário termina sua chamada. Tal sistema é representado pela cadeia de Markov da figura 3.4.

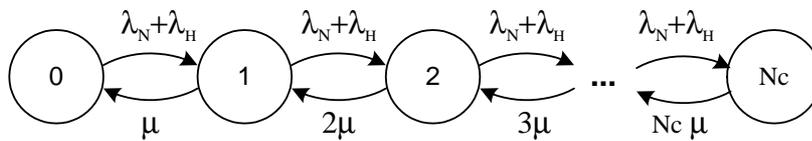


Figura 3.4: Sistema de uma classe sem canais de guarda.

As taxas de nascimento e morte de cada estado são dadas pelas equações (3-6) e (3-7), respectivamente.

$$\lambda_i = \lambda_N + \lambda_H, \quad i = 0, 1, 2, \dots, N_c - 1 \quad (3-6)$$

$$\mu_i = i\mu, \quad i = 1, 2, \dots, N_c \quad (3-7)$$

A razão entre as probabilidades de cada estado é dada pela equação (3-8), desenvolvendo chega-se a (3-9).

$$\frac{P_n}{P_0} = \frac{\prod_{i=0}^{n-1} (\lambda_N + \lambda_H)}{\prod_{j=1}^n j\mu} \quad (3-8)$$

$$\frac{P_n}{P_0} = \left(\frac{\lambda_N + \lambda_H}{\mu} \right)^n \frac{1}{n!} \quad (3-9)$$

A carga total do sistema, A , é definida na equação (3-10).

$$A = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{\lambda_N + \lambda_H}{\mu} \quad (3-10)$$

A intensidade de tráfego por canal, é dada por ρ em (3-11).

$$\rho = \frac{\lambda}{N_c \mu} = \frac{A}{N_c} \quad (3-11)$$

A probabilidade de bloqueio de uma chamada nova, P_{BN} , é dada pela probabilidade de se encontrar o sistema cheio, P_{N_c} , dada pela fórmula Erlang B.

$$P_{BN} = P_{N_c} = \frac{A^{N_c}}{N_c! \left[\sum_{j=0}^{N_c} \frac{A^j}{j!} \right]} \quad (3-12)$$

Neste caso, como não há canal de guarda para o *handoff*, a probabilidade de falha de uma chamada em *handoff*, P_{FH} , é igual a probabilidade de bloqueio de uma chamada nova, P_{BN} , conforme as equações (3-12) e (3-13). Ambos os tipos de chamadas são bloqueados quando o sistema se encontra lotado.

$$P_{FH} = P_{BN} = P_{N_c} \quad (3-13)$$

A utilização deste caso e dos demais casos abordados neste Capítulo, estão calculados na Seção 3.5.

3.2.2

Sistema de Uma Classe com Número Inteiro de Canais de Guarda

Em um sistema que possui um total de N_c canais, N canais são reservados apenas para os usuários em *handoff*, são os chamados canais de guarda. Os outros T canais, dados pela equação (3-14), são os canais ordinários. A figura 3.5 apresenta a cadeia de Markov unidimensional que modela este sistema.

$$T = N_c - N \quad (3-14)$$

Tanto as chamadas novas quanto as chamadas em *handoff* têm acesso aos canais ordinários. Nos estados da cadeia de Markov que representam

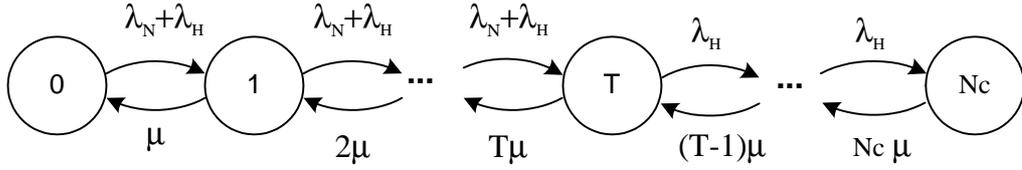


Figura 3.5: Sistema de uma classe com \$N\$ canais de guarda.

os canais ordinários, a taxa de chegada, λ_i , é a soma da taxa de novas chamadas, λ_N , e da taxa de chamadas em *handoff*, λ_H , representados na equação (3-15).

$$\lambda_i = \lambda_N + \lambda_H, \quad 0 \leq i \leq (T - 1) \quad (3-15)$$

Apenas os usuários em *handoff* possuem acesso aos recursos de guarda.

A taxa de chegada dos estados $i \geq T$ é dada pela taxa de chegada de chamadas em *handoff* conforme a equação (3-16).

$$\lambda_i = \lambda_H, \quad T \leq i \leq (N_c - 1) \quad (3-16)$$

A taxa de saída do estado i é dada por $i\mu$ para todos os estados, conforme a equação (3-17).

$$\mu_i = i\mu, \quad i = 1, 2, \dots, N_c \quad (3-17)$$

Para os estados correspondentes aos canais ordinários, $n \leq T$

$$\frac{P_n}{P_0} = \frac{\prod_{i=0}^{n-1} \lambda_i}{\prod_{j=1}^n \mu_j} = \quad (3-18)$$

$$= \left(\frac{\lambda_N + \lambda_H}{\mu} \right)^n \frac{1}{n!} \quad (3-19)$$

Para os estados correspondentes aos canais de guarda, $(T + 1) \leq n \leq N_c$

$$\frac{P_n}{P_0} = \frac{\prod_{i=0}^{n-1} \lambda_i}{\prod_{j=1}^n \mu_j} = \frac{(\lambda_N + \lambda_H)^T \lambda_H^{n-T}}{\mu^n n!} \quad (3-20)$$

As equações (3-19) e (3-20) definem a razão entre as probabilidades estacionárias de cada estado e a probabilidade estacionária do sistema se encontrar vazio, P_0 . A razão depende do estado ser correspondente aos

canais ordinários ou aos canais de guarda.

Utilizando a condição de normalização e as probabilidades estacionárias dos estados ordinários dada por (3-19) e dos estados de guarda dada por (3-20), tem-se a equação (3-21).

$$1 = \sum_{n=0}^{N_c} P_n = \sum_{n=0}^{T-1} \left(\frac{\lambda_N + \lambda_H}{\mu} \right)^n \frac{1}{n!} P_0 + \sum_{n=T}^{N_c} \frac{(\lambda_N + \lambda_H)^T \lambda_H^{n-T}}{\mu^n n!} P_0 \quad (3-21)$$

De (3-21) obtém-se o valor da probabilidade do sistema estar vazio, P_0 , dada por (3-22).

$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{T-1} \left(\frac{\lambda_N + \lambda_H}{\mu} \right)^n \frac{1}{n!} + \sum_{n=T}^{N_c} \frac{(\lambda_N + \lambda_H)^T \lambda_H^{n-T}}{\mu^n n!} \right]^{-1} \quad (3-22)$$

Utilizando o valor de P_0 obtido em (3-22) nas equações (3-20) e (3-19), determina-se a probabilidade estacionária de qualquer estado, P_n .

A probabilidade de falha de uma chamada em *handoff*, P_{FH} , é a probabilidade do sistema estar completamente lotado, P_{N_c} , correspondendo ao último estado do diagrama de estados da figura 3.5, cujo valor é dado pela equação (3-23).

$$P_{FH} = P_{N_c} = \frac{(\lambda_N + \lambda_H)^T \lambda_H^{N_c - T}}{\mu^{N_c} N_c!} P_0 \quad (3-23)$$

A probabilidade de bloqueio de uma chamada nova, P_{BN} , é dada pelo somatório das probabilidades do sistema se encontrar em qualquer dos estados correspondentes aos canais de guarda, $n \geq T$, conforme os estados $i \geq T$ da figura 3.5, cujo valor é dado pela equação (3-24).

$$P_{BN} = \sum_{n=T}^{N_c} P_n \quad (3-24)$$

3.2.3

Sistema de Uma Classe com Número Fracionário de Canais de Guarda

Para o caso em que o número de canais de guarda é fracionário, o desenvolvimento analítico é semelhante ao desenvolvimento feito para o número inteiro. Porém, deve-se considerar a probabilidade do estado limite, T , ser ou não alcançado por um usuário novo.

O número de canais de guarda N é um número real. Considera-se $\lfloor N \rfloor$ como a parte inteira de N e p a parte fracionária de N , (3-25).

$$p = N - \lfloor N \rfloor \tag{3-25}$$

O estado T representa o último estado ao qual os usuários novos tem acesso. O valor de T é definido pela equação (3-26).

$$T = N_c - \lfloor N \rfloor \tag{3-26}$$

No caso de guarda fracionária, o acesso de usuários novos ao estado T é permitido apenas parcialmente. Somente os usuários em *handoff* podem alcançar os estados a partir de $T + 1$ inclusive. Esses estados são correspondentes à parte inteira do número de canais de guarda e são exclusivos para os usuários em *handoff*.

O estado T corresponde ao recurso de guarda reservado com probabilidade p . Conseqüentemente, se o sistema está no estado $(T - 1)$, a admissão de um usuário novo se dá com probabilidade β definida em (3-27). Em outras palavras, o recurso é guardado para um eventual usuário de *handoff* com probabilidade p .

$$\beta = 1 - p \tag{3-27}$$

O sistema com número fracionário de canais de guarda é representado na figura 3.6, incluindo o estado T com acesso com probabilidade β aos usuários novos.

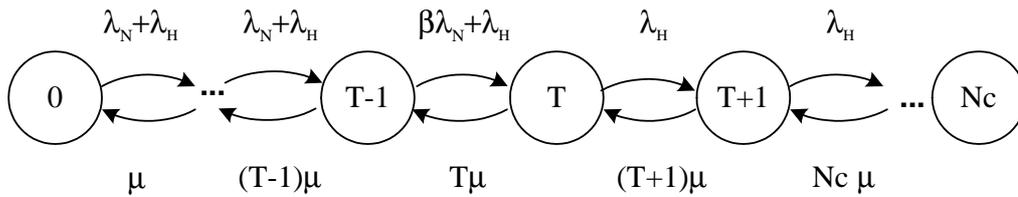


Figura 3.6: Cadeia de Markov com número fracionário de canais de guarda.

Na figura 3.7 tem-se dois estados genéricos consecutivos, i e $i + 1$ da cadeia de Markov.

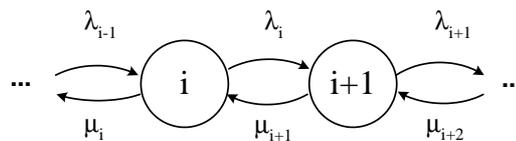


Figura 3.7: Estados i e $i + 1$ da cadeia de Markov.

Na notação utilizada, cada estado i corresponde a igual número i de usuários ativos sua taxa de chegada λ_i leva o sistema do estado i ao estado $i + 1$. A taxa de saída do estado i é μ_i . A taxa de chegada de usuários λ_i é dada pela soma das taxas de novos e de *handoff*, se o estado $i+1$ corresponde aos canais ordinários. A taxa de chegada λ_{T-1} , é a soma da taxa de *handoff* e da taxa de novos multiplicada pela probabilidade do usuário novo ser alocado, β . Se, no entanto, o estado $i + 1$ corresponde aos canais de guarda, a taxa λ_i é dada apenas pela taxa de *handoff*.

$$\lambda_i = \begin{cases} \lambda_N + \lambda_H & , 0 \leq i \leq (T - 2) \\ \lambda_H + \beta\lambda_N & , i = T - 1 \\ \lambda_H & , T \leq i \leq N_c \end{cases}$$

Neste ponto, é interessante desenvolver um modelo geral para o problema dos canais de guarda em sistemas de uma classe de usuários. O modelo apresentado a seguir inclui os casos sem guarda, com número inteiro e fracionário de canais de guarda.

3.3

Modelo Geral para o Problema de Controle de Admissão por Canais de Guarda e Uma Classe de Usuários

No sistema com uma classe de usuários, cada usuário utiliza uma unidade de banda, $1UB$. O estado i corresponde à existência de i de usuários ativos e utiliza um total de iUB de recursos do sistema. A taxa de chegada é dada por λ_i e a taxa de saída é dada por μ_i , de acordo com a figura 3.3.

Para implementar o modelo geral, que inclui os casos de uma classe de usuários, com qualquer número real de canais de guarda, a taxa de chegada λ_i , é definida na equação (3-28) pela soma das taxas de chegada de usuários de *handoff* e novos multiplicadas, respectivamente, pelas probabilidades a_{Hi} e a_{Ni} .

$$\lambda_i = a_{Ni}\lambda_N + a_{Hi}\lambda_H \quad (3-28)$$

Os coeficientes a_{Hi} e a_{Ni} , apresentados neste trabalho, indicam o peso dado às taxas de chegada de usuários novos e de *handoff* para cada estado. Esta notação inclui todos os casos abordados para uma classe de usuários, inclusive o caso de número fracionário de canais de guarda, descritos na seção anterior.

$$a_{Hi} = \begin{cases} 1 & , 0 \leq i \leq (N_c - 1) \\ 0 & , i = N_c \end{cases}$$

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

A taxa de saída μ_i é dada por (3-29).

$$\mu_i = i\mu \quad (3-29)$$

Para um sistema de nascimento e morte, em que não há fila de espera, as probabilidades estacionárias são determinadas através das equações (3-30) e (3-31).

$$\frac{P_n}{P_0} = \frac{\prod_{i=0}^{n-1} \lambda_i}{\prod_{j=1}^n \mu_j} = \frac{\prod_{i=0}^{n-1} (a_{Ni}\lambda_N + a_{Hi}\lambda_H)}{\mu^n} \frac{1}{n!} \quad (3-30)$$

$$\sum_{n=0}^{N_c} P_n = 1 \quad (3-31)$$

A probabilidade do sistema possuir n canais em uso, $n \neq 0$, é dada por a P_n na equação (3-32).

$$P_n = P_0 \frac{\prod_{i=0}^{n-1} (a_{Ni}\lambda_N + a_{Hi}\lambda_H)}{\mu^n n!} \quad (3-32)$$

Substituindo o valor de P_n obtido em (3-32) na equação (3-31) obtém-se (3-33).

$$\sum_{n=0}^{N_c} P_n = \sum_{n=0}^{N_c} \left(P_0 \frac{\prod_{i=0}^{n-1} (a_{Ni}\lambda_N + a_{Hi}\lambda_H)}{\mu^n n!} \right) = 1 \quad (3-33)$$

De (3-33) obtém-se o valor de P_0 em (3-34).

$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{N_c} \left(\frac{\prod_{i=0}^{n-1} (a_{Ni}\lambda_N + a_{Hi}\lambda_H)}{\mu^n n!} \right) \right]^{-1} \quad (3-34)$$

Levando o valor de P_0 , dado por (3-34), à equação (3-32) temos o valor

da probabilidade estacionária de qualquer estado P_n em (3-35).

$$P_n = \left[\sum_{j=0}^{N_c} \left(\frac{\prod_{i=0}^{j-1} (a_{N_i} \lambda_N + a_{H_i} \lambda_H)}{\mu^j j!} \right) \right]^{-1} \left(\frac{\prod_{i=0}^{n-1} (a_{N_i} \lambda_N + a_{H_i} \lambda_H)}{\mu^n n!} \right) \quad (3-35)$$

$$P_{BN} = \sum_{i=T}^{N_c} P_i + (p)P_{T-1} \quad (3-36)$$

A probabilidade de bloqueio de uma chamada nova se dá pela soma das probabilidades estacionárias de todos os estados que bloqueiam o usuário novo. No caso fracionário, de acordo com a equação (3-36), a probabilidade estacionária do estado $(T - 1)$ é multiplicada por p para incluir a reserva probabilística que corresponde à parte fracionária do número de canais de guarda. Se o sistema se encontra no estado $(T - 1)$, o usuário novo pode ser bloqueado com probabilidade p .

Utilizando a notação definida neste trabalho, a probabilidade de bloqueio de novas chamadas e probabilidade de falha de *handoff* são dadas pelas equações (3-37) e (3-38), válidas para qualquer valor real de número de canais de guarda.

$$P_{BN} = \sum_{i=0}^{N_c} (1 - a_{N_i}) P_i \quad (3-37)$$

$$P_{FH} = \sum_{i=0}^{N_c} (1 - a_{H_i}) P_i \quad (3-38)$$

Através dos coeficientes a_{H_i} e a_{N_i} , que ponderam as taxas de chegada de usuários novos e de *handoff*, definidos nesta seção, foi possível obter expressões gerais para P_n , P_{BN} e P_{FH} . As expressões são válidas para todos os casos de canais de guarda abordados neste trabalho, utilizando números inteiros ou fracionários de canais de guarda.

3.4

Parâmetro de Mobilidade dos Usuários

Em uma rede de comunicações móveis, o perfil de tráfego não é constante. A proporção entre a taxa de chegada de usuários de *handoff* e de usuários novos é variável.

Para identificar a dependência da probabilidade de bloqueio de chamadas novas e de falhas de *handoff* com a variação da mobilidade dos usuários, definiu-se a variável θ como sendo a razão entre a taxa de chamadas em *handoff* e a taxa de chegada de chamadas novas, de acordo com a equação (3-39).

$$\theta = \frac{\lambda_H}{\lambda_N} \quad (3-39)$$

A variável θ está relacionada à mobilidade média dos usuários da rede. Usuários de maior mobilidade solicitam um número maior de *handoffs*. Portanto, em um sistema de alta mobilidade, o parâmetro de mobilidade θ também é elevado.

De acordo com a referência [54], o parâmetro de mobilidade θ pode ser escrito como (3-40), onde: $P_{out} = P[t_c > t_{dw}]$ é a probabilidade do usuário sair da célula; P_{cross} é a probabilidade de que o tempo residual de uma chamada em *handoff* exceda o tempo de permanência na célula; e π_{out} é a percentagem de estações que se movem para um destino fora da célula.

$$\theta = \frac{\pi_{out} P_{out} [1 - P_{BN}]}{1 - \pi_{out} P_{cross} [1 - P_{FH}]} \quad (3-40)$$

Esta expressão considera uma distribuição exponencial para o tempo de retenção do canal. No Apêndice A retornaremos a esta expressão, desenvolvendo-a, considerando várias distribuições diferentes para o tempo de permanência do usuário na célula. Neste capítulo o tempo de permanência e a duração da chamada são distribuições exponenciais. Isto leva a um tempo de retenção do canal também exponencial.

Utilizando a equação (3-39), a taxa total de chegada de chamadas em cada setor de uma célula é dada por (3-41).

$$\lambda = \lambda_H + \lambda_N = (1 + \theta)\lambda_N \quad (3-41)$$

A taxa chegada de chamadas novas e a taxa de chegada de chamadas em *handoff*, em função de θ , são dadas por:

$$\lambda_N(\theta) = \frac{\lambda}{1 + \theta} \quad (3-42)$$

$$\lambda_H(\theta) = \theta\lambda_N = \frac{\theta}{1 + \theta}\lambda \quad (3-43)$$

Utilizando as expressões das taxas de chegada de chamadas novas e de *handoff*, dadas por (3-42) e (3-43), no cálculo das probabilidades de bloqueio

de chamadas novas e de falha de *handoff* obtém-se $P_{BN}(\theta)$ e $P_{FH}(\theta)$.

3.5 Utilização

Um dos objetivos do Algoritmo de Controle de Admissão de Chamadas é fazer com que os recursos rádio do sistema sejam utilizados ao máximo, evitando o desperdício. O ideal é que o algoritmo possa fazer a maior acomodação da solicitação de recursos do tráfego de entrada e, simultaneamente, atender aos requisitos de qualidade de serviço.

A expressão da utilização pode ser obtida através da intensidade de tráfego e da probabilidade de sobrecarga do sistema.

Seja ρ a intensidade de solicitação de recursos normalizada definida pela equação (3-44), onde λ é a taxa de chegada de chamadas, μ é a taxa de conclusão de chamadas naquela célula e C o número de servidores que, neste caso, é igual a N_c , número de canais do sistema.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu C} = \frac{\lambda}{\mu N_c} \quad (3-44)$$

A utilização dos recursos do sistema pode ser definida pelo produto entre a intensidade de solicitação de recursos, ρ , e a probabilidade da chamada solicitante conseguir ser alocada, dada pela equação (3-45).

$$U = \frac{(\lambda_N(1 - P_{BN}) + \lambda_H(1 - P_{FH}))}{\mu N_c} \quad (3-45)$$

Se a chamada for de um usuário novo, pode ser bloqueada com probabilidade P_{BN} ou, se for uma chamada em andamento tentando fazer um *handoff*, pode falhar com probabilidade P_{FH} .

Escrevendo a equação (3-45) em função da taxa de chegada de novas chamadas, λ_N , dada por (3-42) obtém-se a equação (3-46).

$$U = \frac{\lambda_N((1 - P_{BN}) + \theta(1 - P_{FH}))}{\mu N_c} \quad (3-46)$$

Representando agora (3-46) em termos da taxa total de chegada de chamadas, λ , definida em (3-41) tem-se a equação (3-47).

$$U = \frac{\lambda}{\mu N_c(1 + \theta)} [(1 + \theta) - (P_{BN} + \theta P_{FH})] \quad (3-47)$$

Rearrumando a equação (3-47) chega-se a (3-48).

$$U = \frac{\lambda}{\mu N_c} \left[1 - \frac{(P_{BN} + \theta P_{FH})}{(1 + \theta)} \right] \quad (3-48)$$

Reconhecendo em (3-48) a intensidade de solicitação de recursos, ρ , definida em (3-44) e, lembrando que as probabilidades de bloqueio de chamadas novas, $P_{BN}(\theta)$, e de falha de *handoff*, $P_{FH}(\theta)$ também estão condicionadas a θ ; tem-se $U(\theta)$ na equação (3-49) que define a utilização do sistema, condicionada à taxa de mobilidade θ .

$$U(\theta) = \rho \left[1 - \frac{[P_{BN}(\theta) + \theta P_{FH}(\theta)]}{(1 + \theta)} \right] \quad (3-49)$$

A seguir são feitas algumas observações pertinentes à expressão da utilização dada pela equação (3-49).

3.5.1

Utilização Sem Canal de Guarda

A probabilidade de bloqueio de uma chamada nova, P_{BN} , e a probabilidade de falha de *handoff*, P_{FH} , são iguais no caso em que não há canais de guarda para o *handoff*.

Se não há distinção entre usuários novos e em *handoff*, qualquer usuário será bloqueado apenas quando o sistema estiver lotado. Portanto, a probabilidade de bloqueio de chamadas novas e a probabilidade de falha de chamada em *handoff* são iguais à probabilidade estacionária do estado em que há N_c usuários no sistema, indicando que todos recursos do sistema estão em uso.

$$P_{FH} = P_{BN} = P_{N_c} \quad (3-50)$$

Substituindo esses valores em (3-49), resulta em:

$$U = \rho [1 - P_{N_c}] \quad (3-51)$$

E a utilização **independe da variação no tempo determinada pela variável θ** . Este fato é facilmente explicado, pois, se não há distinção entre usuários novos e em *handoff*, a expressão da utilização não depende do perfil de tráfego que indica se há mais ou menos usuários novos ou em *handoff* no sistema, $\theta = \lambda_H/\lambda_N$. Além disto, observa-se que a utilização dada por (3-51) é a maior possível, pois os usuários são alocados sempre que há recursos disponíveis.

3.5.2 Probabilidade de Sobrecarga

A razão entre a Utilização, U , e a intensidade de solicitação de recursos, ρ , é o percentual do tráfego de entrada que consegue ser alocado. Rearrmando a equação (3-49), tem-se:

$$\frac{U}{\rho} = \left[1 - \frac{(P_{BN} + \theta P_{FH})}{(1 + \theta)} \right] \quad (3-52)$$

e definindo P_0 :

$$P_0(\theta) = \frac{(P_{BN}(\theta) + \theta P_{FH}(\theta))}{(1 + \theta)} \quad (3-53)$$

que pode ser definido como a Probabilidade de Sobrecarga do sistema, P_0 , conforme a referência [53].

Para cada valor θ_i , assumido pela variável aleatória θ , há um perfil de tráfego que define valores diferentes para a probabilidade de bloqueio de chamadas novas, $P_{BN}(\theta)$, e para a probabilidade de falha de chamadas em *handoff*, $P_{FH}(\theta)$, e conseqüentemente para a probabilidade de sobrecarga $P_0(\theta)$.

3.6 Resultados Analíticos para Sistemas de Uma Classe

Baseado no desenvolvimento analítico apresentado neste capítulo, este trabalho de tese inclui o desenvolvimento de um programa em *MATLAB*® para calcular a utilização dos recursos do sistema, U ; a probabilidade de bloqueio de novas chamadas, P_{BN} ; e a probabilidade de falha de *handoff*, P_{FH} ; conforme as equações (3-49), (3-36) e (3-38) em função da intensidade de tráfego normalizada, ρ , e da taxa de mobilidade θ .

São apresentados os gráficos para o comportamento do sistema de uma só classe, para alguns valores do número de canais de guarda, N . Em cada gráfico há uma família de curvas de probabilidade de bloqueio e U versus ρ para diferentes valores de θ . São calculados P_{BN} , P_{FH} e U de um sistema que possui um total de 30 canais, ou seja $N_c = 30$.

Estes resultados possibilitam a para análise do comportamento do sistema de acordo com o número de canais de guarda, a intensidade de tráfego e a mobilidade. Além disto, os resultados possibilitam a validação do simulador apresentado no capítulo 4 nos casos em que o número de canais de guarda é fixo. O simulador foi desenvolvido neste trabalho para a avaliação do desempenho dos algoritmos propostos nesta tese.

A taxa total de chegada de chamadas é definida na equação (3-41) como a soma da taxa de chegada de novas chamadas e de chamadas em *handoff*, considerando θ definido em (3-39).

$$\lambda = \lambda_H + \lambda_N = (1 + \theta)\lambda_N$$

$$\theta = \frac{\lambda_H}{\lambda_N}$$

O tempo de retenção médio do canal é de $120s$, $\frac{1}{\mu} = 120s$.

A intensidade de solicitação de recursos normalizada, ρ , definida na equação (3-11), varia de 0.5 a 0,9.

3.6.1

Resultados Analíticos para Número de Canais de Guarda Igual a três, um, meio e zero, Uma Classe de Usuários

Seja o sistema com um valor de N_c igual a 30 canais. Tem-se que N canais são definidos como canais de guarda a serem utilizados apenas pelos usuários em *handoff*. Os outros $N_c - N$ são os canais ordinários que podem ser utilizados tanto pelas chamadas novas quanto pelas chamadas em *handoff*.

Nas seções a seguir são apresentados os conjuntos de gráficos para os casos de três, um, meio e zero canais de guarda, uma classe de usuários. Cada figura apresenta uma família de curvas, uma curva para cada valor de θ que varia no intervalo $[0.2; 5]$.

Resultados analíticos para três canais de guarda e uma classe de usuários

Nas figuras 3.8, 3.9 e 3.10 são apresentados o conjunto de gráficos de resultados obtidos em *MATLAB*[®] relativos a três Canais de Guarda, 3CG.

O percentual de bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego encontra-se na figura 3.8; o percentual de falha de *handoff* versus intensidade de tráfego na figura 3.9; e Utilização versus intensidade de tráfego na figura 3.10.

Observando a figura 3.8 e a figura 3.9, nota-se que, quanto maior o valor de θ , ou seja, maior mobilidade, maior a P_{BN} e também maior a P_{FH} . As curvas que apresentam os maiores percentuais de bloqueio são as curvas correspondentes ao maior valor de θ que, nessas figuras, é igual a 5. O aumento dos percentuais de bloqueio com θ se dá porque, havendo uma

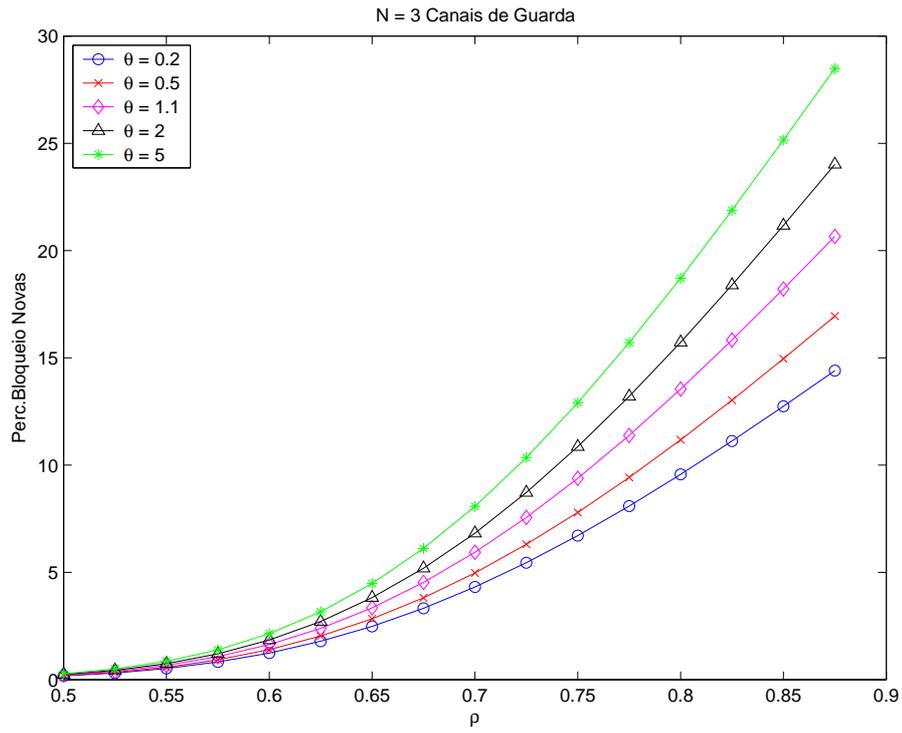


Figura 3.8: Percentual de Bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego para 30 canais, 3 CG.

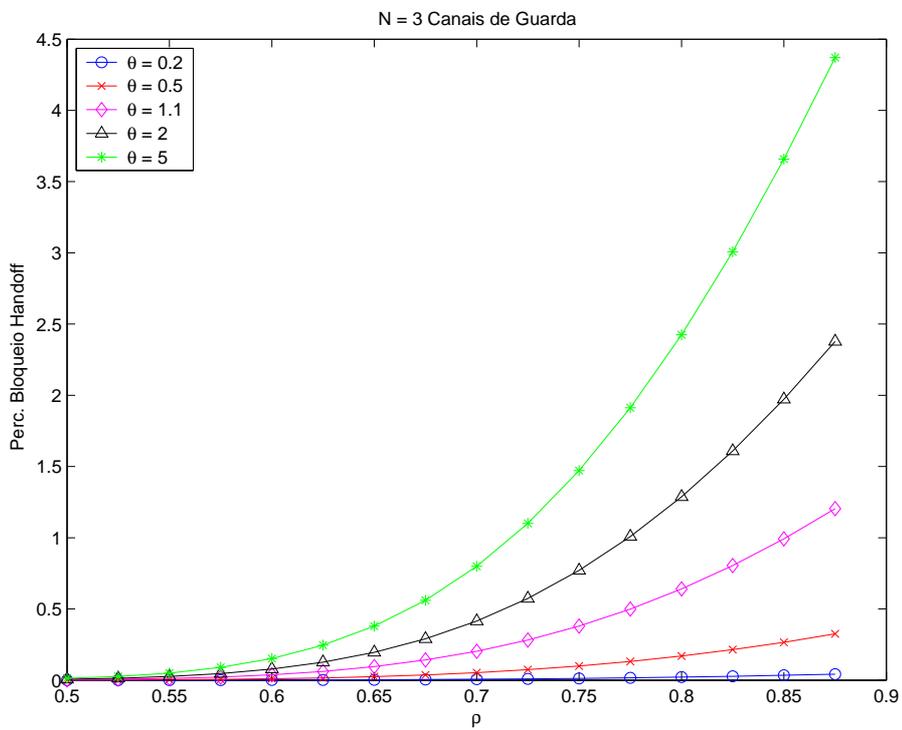


Figura 3.9: Percentual de Falha de *Handoff* versus intensidade de tráfego para 30 canais, 3CG.

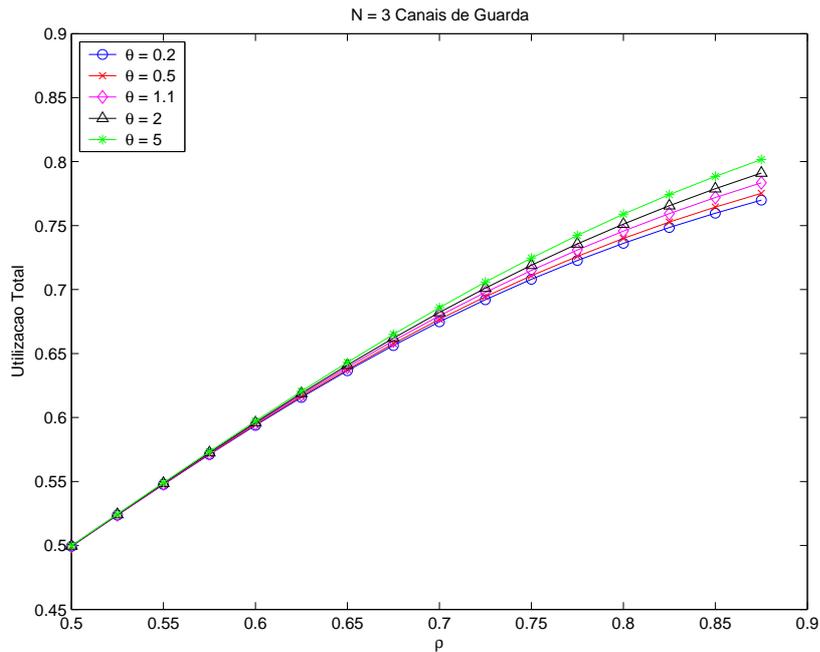


Figura 3.10: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, 3CG.

maior densidade de usuários em *handoff*, mais chamadas disputam o mesmo canal de guarda.

Na figura 3.10 observa-se que a utilização dos canais varia pouco em relação a variação da mobilidade θ .

Resultados Analíticos para Um Canal de Guarda e Uma Classe de Usuários

Nas figuras 3.11, 3.12 e 3.13 são apresentados o conjunto de gráficos de resultados obtidos em *MATLAB*[®] relativos a um Canal de Guarda, 1CG.

O percentual de bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego encontra-se na figura 3.11; o percentual de falha de *handoff* versus intensidade de tráfego na figura 3.12; e Utilização versus intensidade de tráfego na figura 3.13.

Observando o conjunto de gráficos relativos a 3CG, figuras 3.8, 3.9 e 3.10, e o conjunto de gráficos relativos a 1CG, figuras 3.11, 3.12 e 3.13, nota-se o comportamento semelhante entre os conjuntos de gráficos.

Em ambos os casos, 3CG e 1CG, as curvas de maior bloqueio de chamadas novas e de chamadas em *handoff*, correspondem às curvas de maior densidade de usuários em *handoff*, $\theta = 5$.

Além disso, observa-se que a família de curvas para P_{BN} , relativas ao caso de 3CG, apresenta curvas mais afastadas entre si do que as curvas

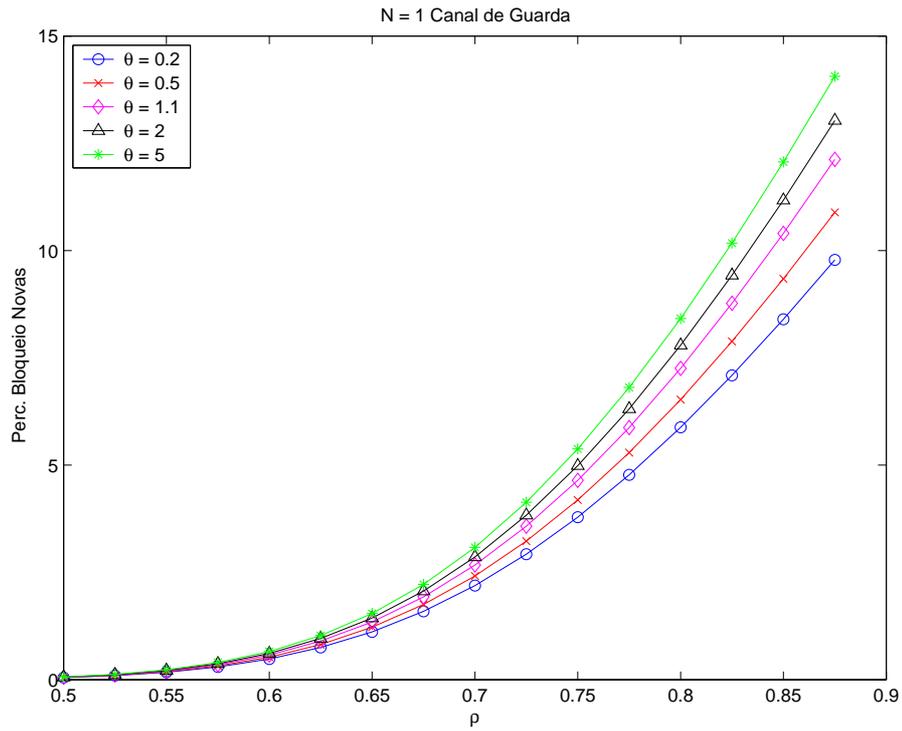


Figura 3.11: Percentual de Bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego para 30 canais, 1 CG.

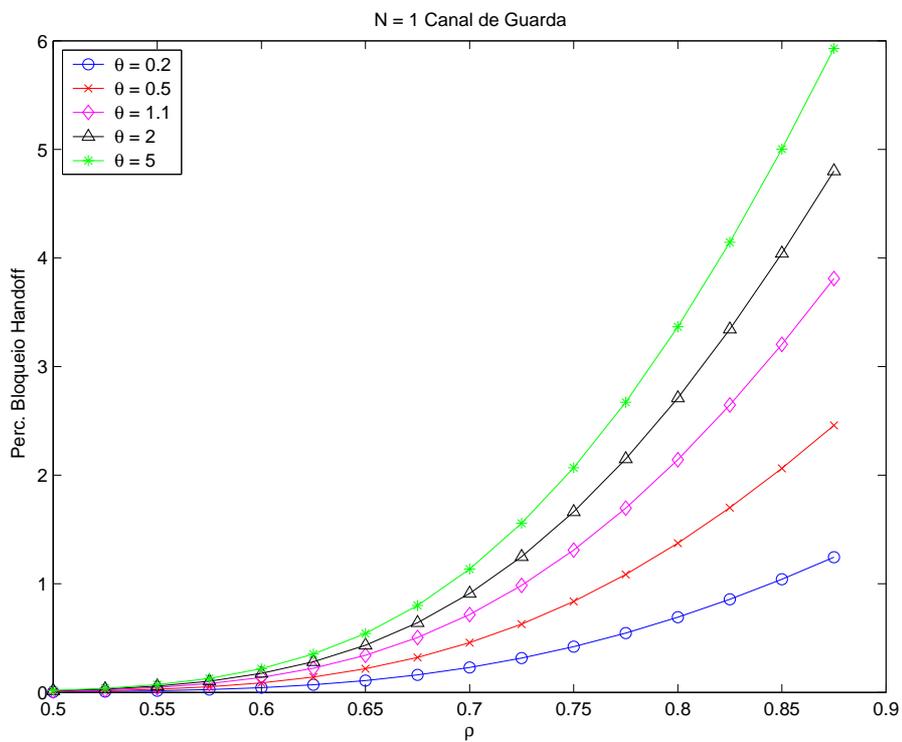


Figura 3.12: Percentual de Falha de *Handoff* versus intensidade de tráfego para 30 canais, 1CG.

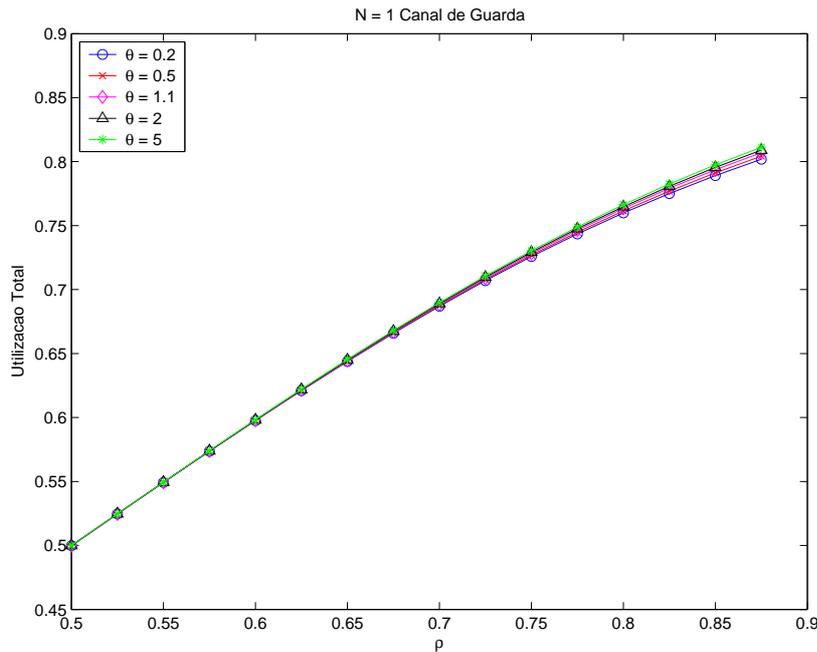


Figura 3.13: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, 1CG.

referentes ao caso de 1CG. A mudança no perfil de tráfego causa maiores alterações quando se utiliza um número maior de canais de guarda, tal comportamento é confirmado no caso seguinte quando apresentamos o conjunto de gráficos relativo a 0.5CG.

Este comportamento do agrupamento das curvas para um número menor de canais de guarda também é apresentado no caso das curvas de utilização. Na figura 3.13 observa-se que a utilização dos canais varia muito pouco em relação a variação da mobilidade θ .

Resultados Analíticos para meio Canal de Guarda

Os gráficos relativos a 0.5CG são Percentual de Bloqueio de Novas chamadas versus intensidade de tráfego, figura 3.14; Percentual de Falha de *Handoff* versus intensidade de tráfego, figura 3.15; e Utilização versus intensidade de tráfego, figura 3.16. Estes resultados foram obtidos nas mesmas condições dos resultados apresentados para o caso N inteiro. Observe que utilizar 0.5CG significa que, sempre que o sistema estiver com 29 usuários ativos, ao chegar um usuário novo, o canal de número 30 será reservado com probabilidade igual a 0.5.

Comparando o conjunto de gráficos relativos a 3CG, figuras 3.8, 3.9 e 3.10, com o conjunto de gráficos relativos a 1CG, figuras 3.11, 3.12 e 3.13 e ainda com o conjunto de gráficos relativos a 0.5CG, figuras 3.14, 3.15 e

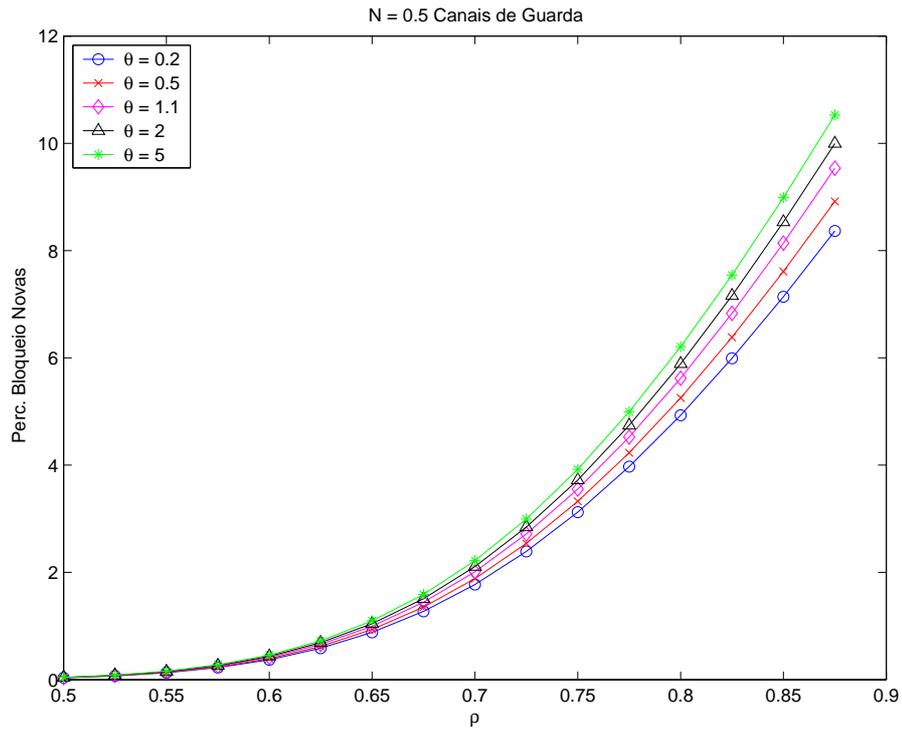


Figura 3.14: Percentual de Bloqueio de Novas chamadas versus intensidade de tráfego para 30 canais, 0.5CG.

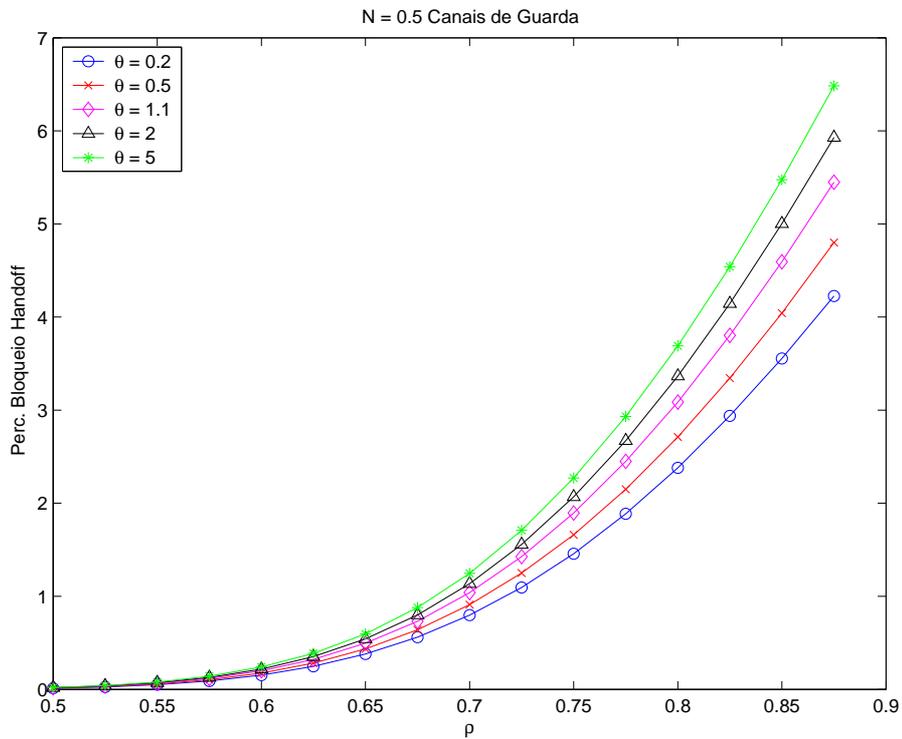


Figura 3.15: Percentual de Falha de *Handoff* versus intensidade de tráfego para 30 canais, 0.5CG.

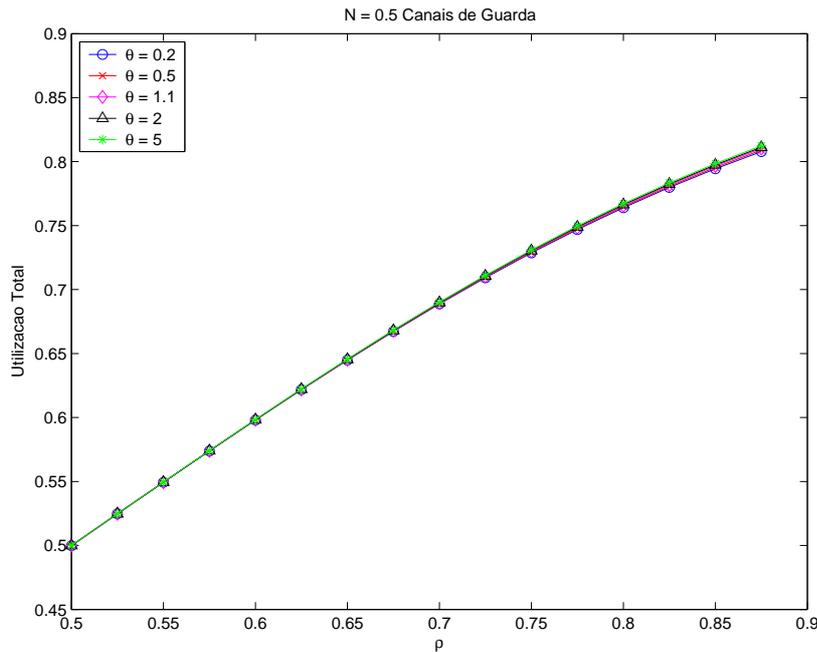


Figura 3.16: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, 0.5CG.

3.16, observa-se o comportamento semelhante entre os conjuntos. As curvas de maior bloqueio, em todos os casos, correspondem às de maior densidade de usuários em *handoff*, $\theta = 5$.

Observa-se que a família de curvas relativas ao caso de 3CG apresenta o maior afastamento entre si. Tal afastamento é menor entre as curvas referentes ao caso de 1CG e menor ainda no conjunto de curvas referentes ao caso de 0.5CG. Ou seja, a mudança no perfil de tráfego causa maiores alterações quando se utiliza um número maior de canais de guarda.

Comparando as curvas da utilização dos recursos do sistema apresentadas nas figuras 3.10, 3.13 e 3.16, observa-se que a maior utilização corresponde ao maior valor de θ . Há uma pequena variação entre as curvas quando se modifica o número de canais de guarda. Na realidade, todas as curvas de utilização são muito próximas entre si.

Resultados Analíticos Sem Canal de Guarda, Uma Classe de Usuários

Os resultados de 0CG são obtidos para o mesmo sistema de N_c igual a 30 canais. Utilizar 0CG significa que não há diferença entre um usuário novo e um usuário de *handoff*.

É importante observar que, para o sistema sem canais de guarda, 0CG, não há variação de comportamento de P_{BN} e P_{FH} com a variável aleatória θ conforme a equação (3-50). Sempre que não há canais de guarda e os

usuários novos e de *handoff* são tratados sem distinção, P_{BN} e P_{FH} são iguais e não dependem da taxa de mobilidade θ .

Os gráficos relativos a $0CG$ são Percentual de Bloqueio de chamadas versus intensidade de tráfego, figura 3.17; e Utilização versus intensidade de tráfego, figura 3.18.

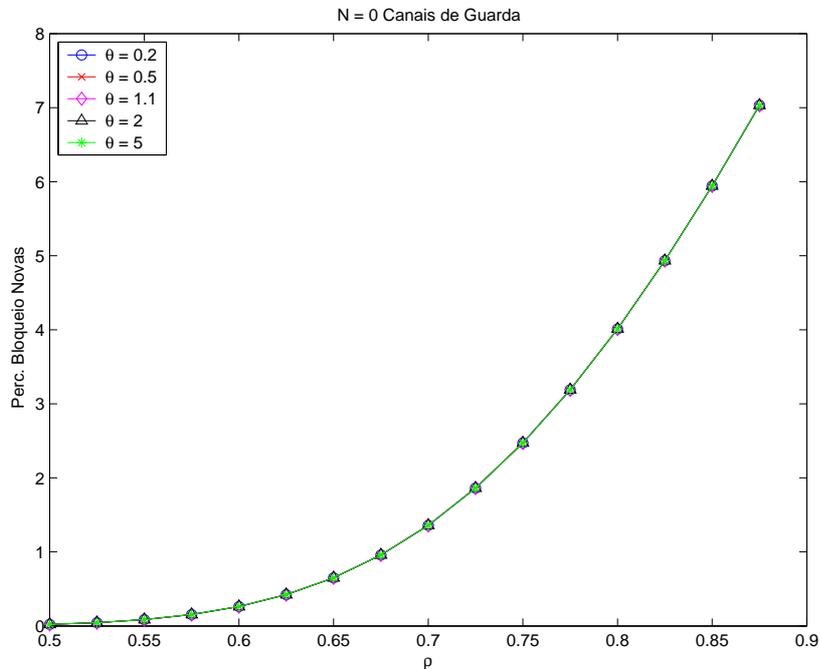


Figura 3.17: Percentual de Bloqueio de chamadas, Novas e em *Handoff*, versus intensidade de tráfego para 30 canais, $0CG$.

O comportamento de convergência entre as curvas, quando se diminui o número de canais de guarda de $3CG$ para $1CG$, e depois para $0.5CG$, é coerente com o caso de $0CG$ onde a família de curvas converge para uma única curva. Isso confirma o resultado esperado sobre a independência de P_{BN} e P_{FH} com θ para o caso sem canais de guarda, $0CG$, conforme a equação (3-51).

3.6.2

Resultados Analíticos para Diversos Valores de Taxa de Mobilidade θ , uma Classe de Usuários

Considera-se o mesmo sistema de N_c igual a 30 canais, onde N são os canais de guarda, apenas para os usuários em *handoff*, e os outros $N_c - N$ são os canais ordinários que podem ser utilizados tanto pelas chamadas novas quanto pelas chamadas em *handoff*.

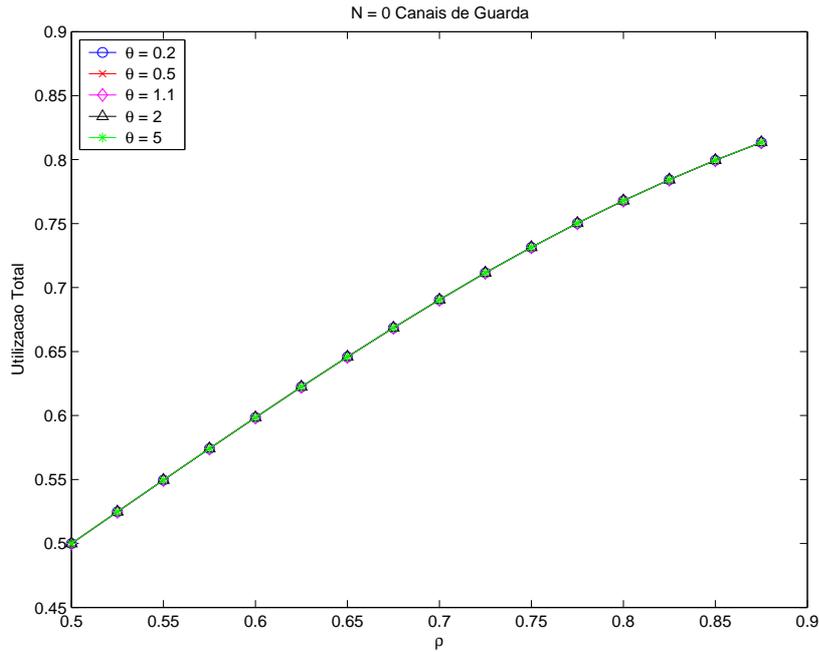


Figura 3.18: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, 0CG.

Nas seções a seguir são apresentados os conjuntos de gráficos para os casos em que a taxa de mobilidade dos usuários da rede θ vale 5, 1 e 0.2, com apenas uma classe de usuários. Cada figura apresenta uma família de curvas onde há uma curva para cada valor de número de canais de guarda, N , que varia no intervalo $[0; 3]$.

Resultados Analíticos para Taxa de Mobilidade, $\theta = 5$, uma Classe de Usuários

Nas figuras 3.19, 3.20 e 3.21 são apresentados o conjunto de gráficos de resultados obtidos em *MATLAB*[®] relativos a taxa de mobilidade $\theta = 5$ e uma classe de usuários. O percentual de bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego encontra-se na figura 3.19; o percentual de falha de *handoff* versus intensidade de tráfego na figura 3.20; e Utilização versus intensidade de tráfego na figura 3.21.

Observando a figura 3.19 e a figura 3.20, nota-se que, conforme esperado, quanto maior o número de canais de guarda N , maior a P_{BN} , e menor a P_{FH} . A curva que apresenta os maiores percentuais de bloqueio de usuários novos é a curva correspondente ao maior valor de N que é igual a 3.

O aumento dos percentuais de bloqueio de usuários novos com N se dá porque se há mais canais reservados para o *handoff* restam menos canais

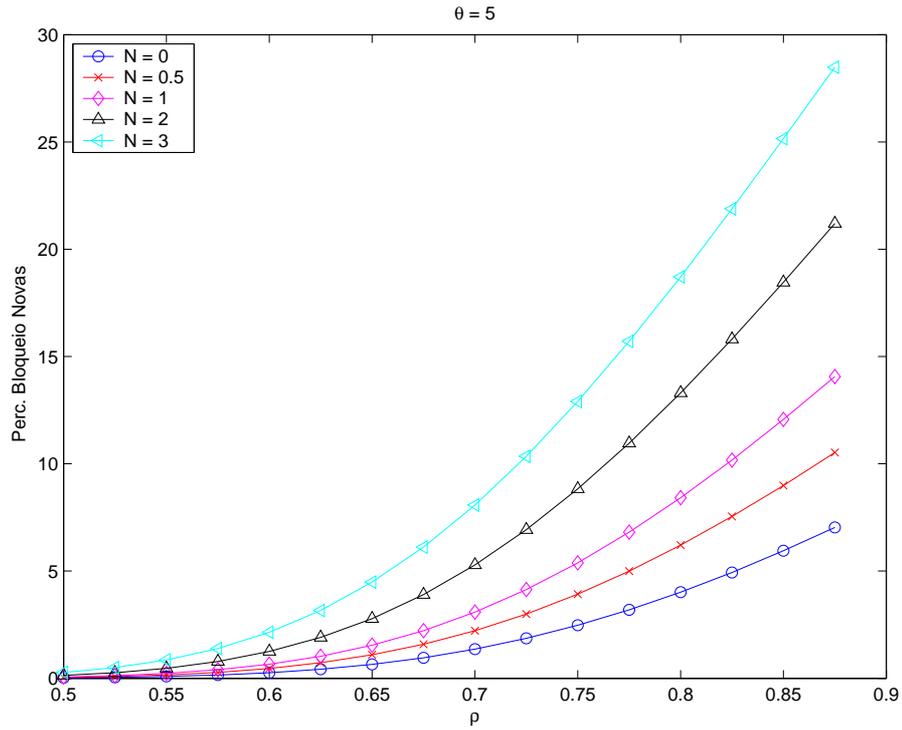


Figura 3.19: Percentual de Bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 5$.

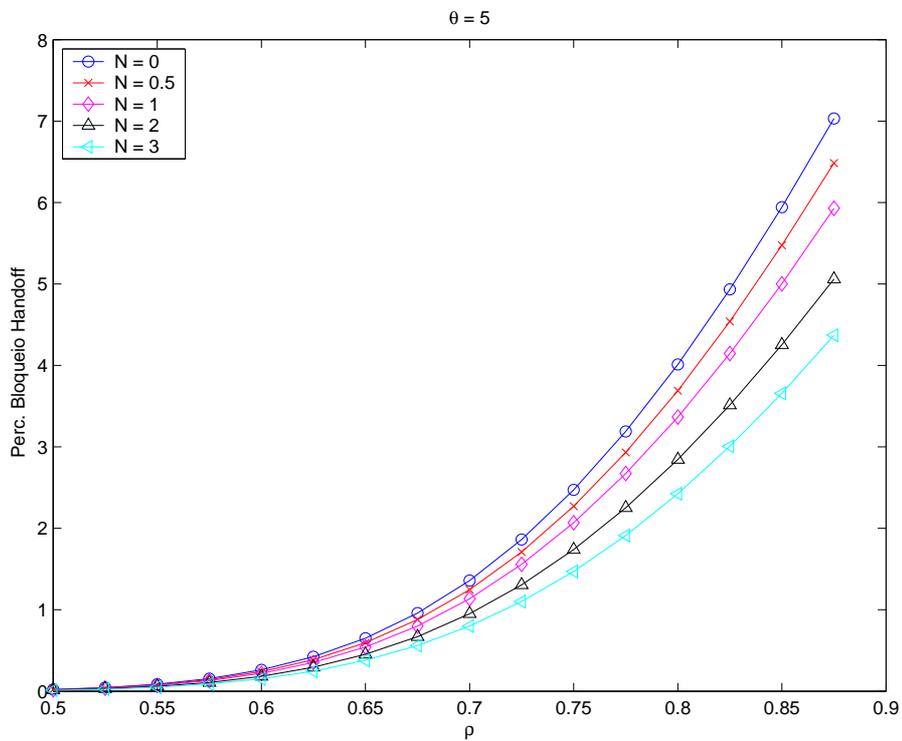


Figura 3.20: Percentual de Falha de *Handoff* versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 5$.

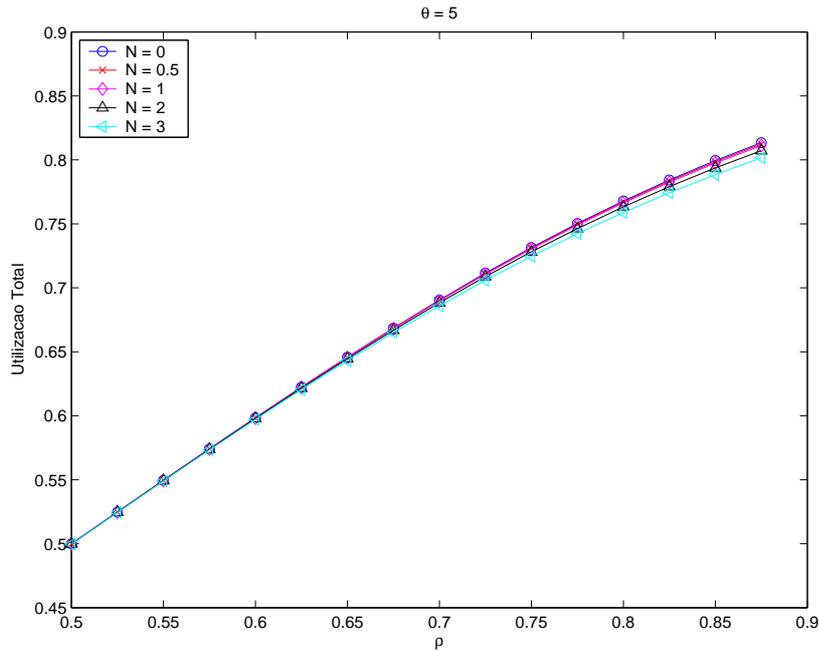


Figura 3.21: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 5$.

ordinários, $N_c - N$. Conseqüentemente, mais chamadas novas disputam os canais ordinários restantes. Por outro lado, quanto maior o número de canais de guarda, menor é a probabilidade de falha de *handoff*, P_{FH} .

Na figura 3.21 nota-se que a maior utilização é obtida com o menor número de canais de guarda.

Resultados Analíticos para Taxa de Mobilidade, θ , Igual a um, uma Classe de Usuários

Nas figuras 3.22, 3.23 e 3.24 são apresentados o conjunto de gráficos de resultados obtidos em *MATLAB*[®] relativos a taxa de mobilidade $\theta = 1$, uma classe de usuários. O percentual de bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego encontra-se na figura 3.22; o percentual de falha de *handoff* versus intensidade de tráfego na figura 3.23; e a utilização versus intensidade de tráfego na figura 3.24.

Uma boa referência é o fato de que as curvas de P_{BN} e P_{FH} são idênticas para $N = 0$ e $\theta = 1$.

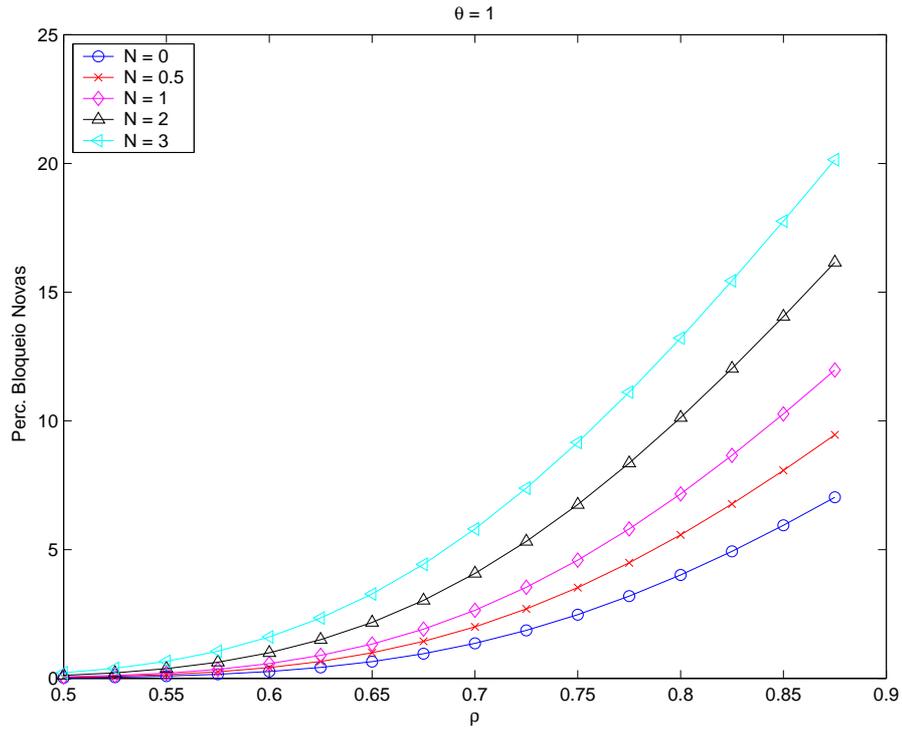


Figura 3.22: Percentual de Bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 1$.

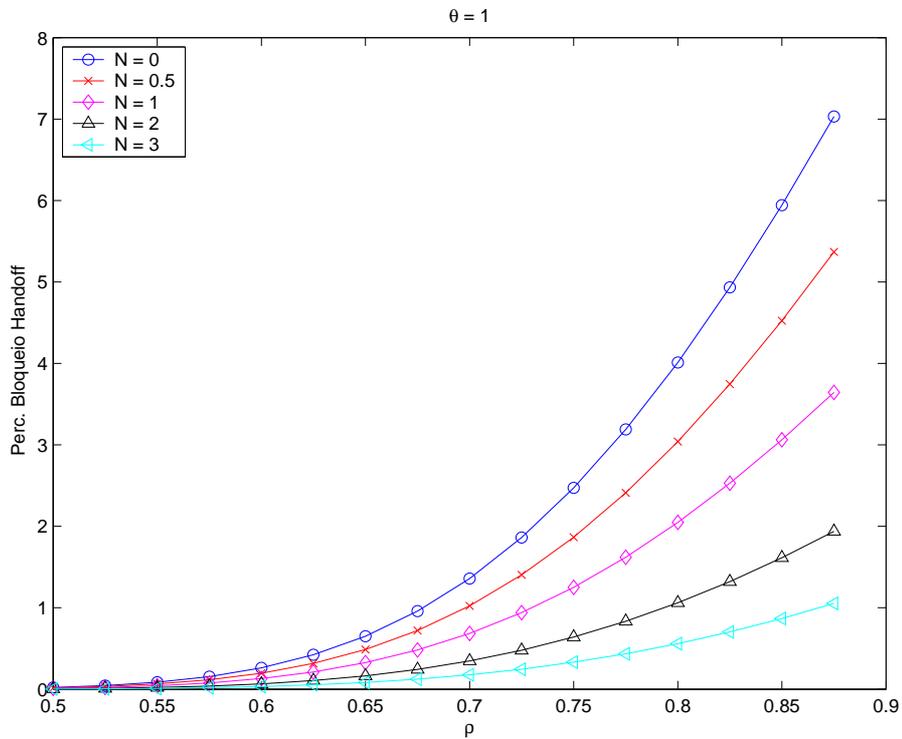


Figura 3.23: Percentual de Falha de *Handoff* versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 1$.

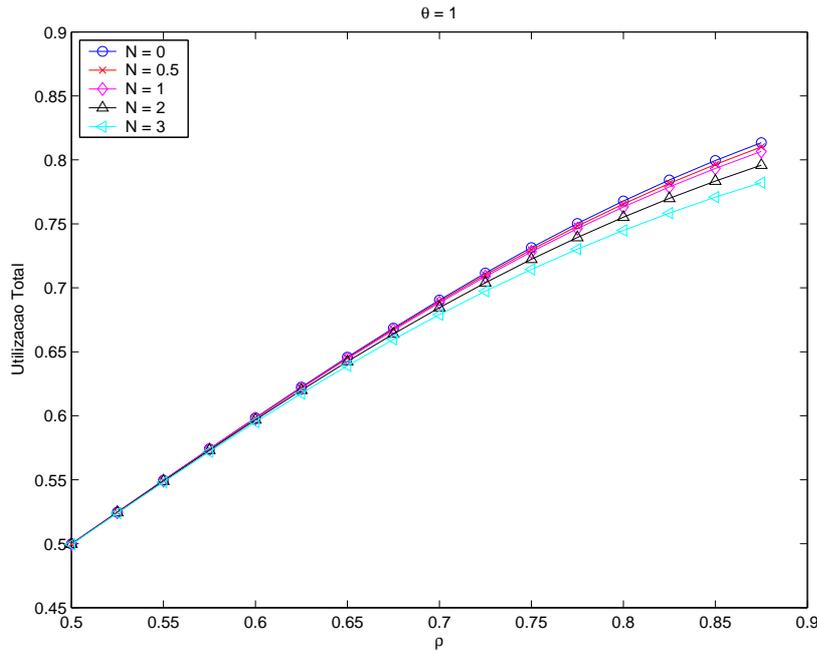


Figura 3.24: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 1$.

Resultados Analíticos para Taxa de Mobilidade, $\theta = 0.2$, uma Classe de Usuários

Nas figuras 3.25, 3.26 e 3.27 são apresentados o conjunto de gráficos de resultados obtidos em *MATLAB*[®] relativos a taxa de mobilidade $\theta = 0.2$, uma classe de usuários. O percentual de bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego encontra-se na figura 3.25; o percentual de falha de *handoff* versus intensidade de tráfego, figura 3.26; e a utilização versus intensidade de tráfego, figura 3.27.

Nas figuras 3.23 e 3.26, referente aos casos $\theta = 1$ e $\theta = 0.2$, observa-se que há uma diferença grande entre as curvas P_{FH} para $N = 0$ e $N = 1$. A utilização do número fracionário de canais de guarda possibilita obter valores intermediários de falha de *handoff*.

Nas figuras 3.21, 3.24 e 3.27 nota-se que a maior utilização é obtida com o menor número de canais de guarda. Reservar canais diminui a utilização dos recursos. Este é um dos aspectos que se pretende melhorar, neste trabalho de tese, com a proposta de algoritmos variação dinâmica do número de canais de guarda de acordo com a variação da mobilidade θ e do perfil de tráfego ρ . Dessa forma, o número de canais de guarda deve ser variado continuamente, utilizando valores fracionários e inteiros para obter percentuais de bloqueio de novos e de *handoff* de acordo com os perfis de tráfego.

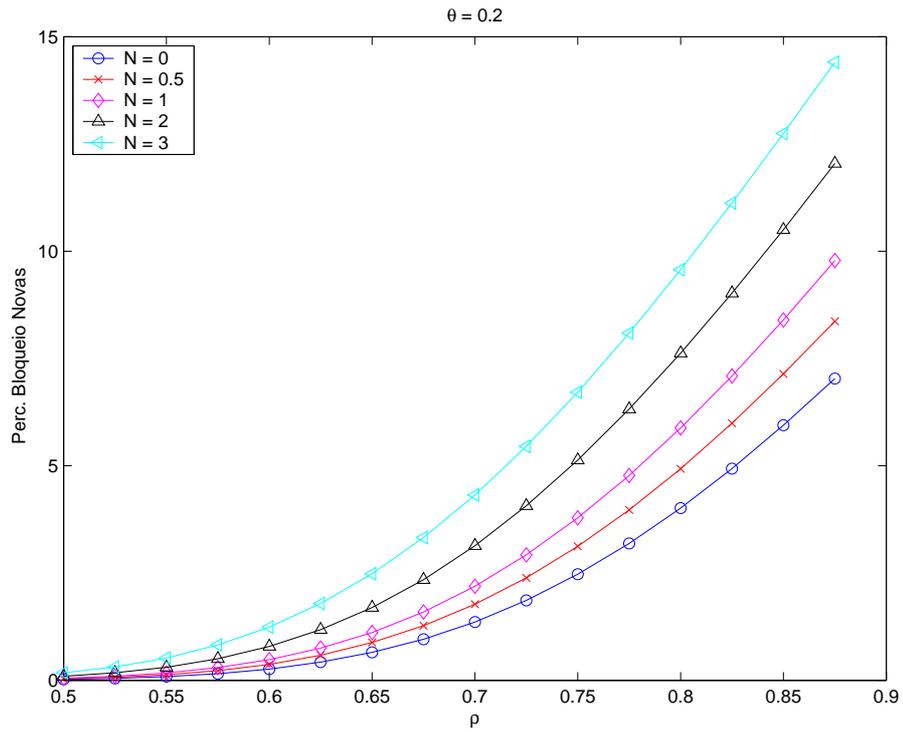


Figura 3.25: Percentual de Bloqueio de novas chamadas versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 0.2$.

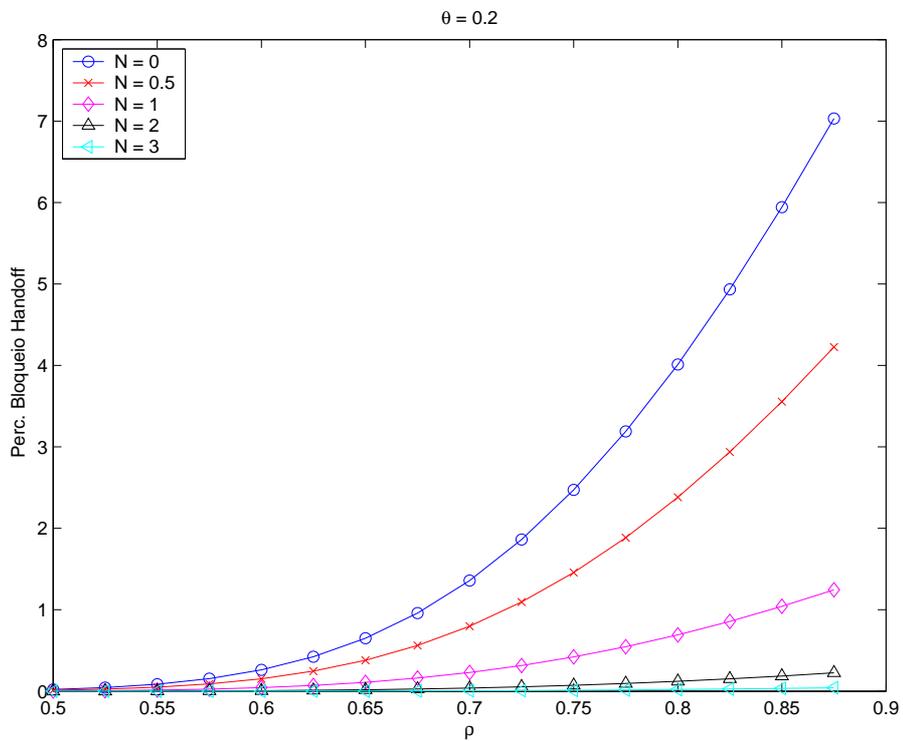


Figura 3.26: Percentual de Falha de *Handoff* versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 0.2$.

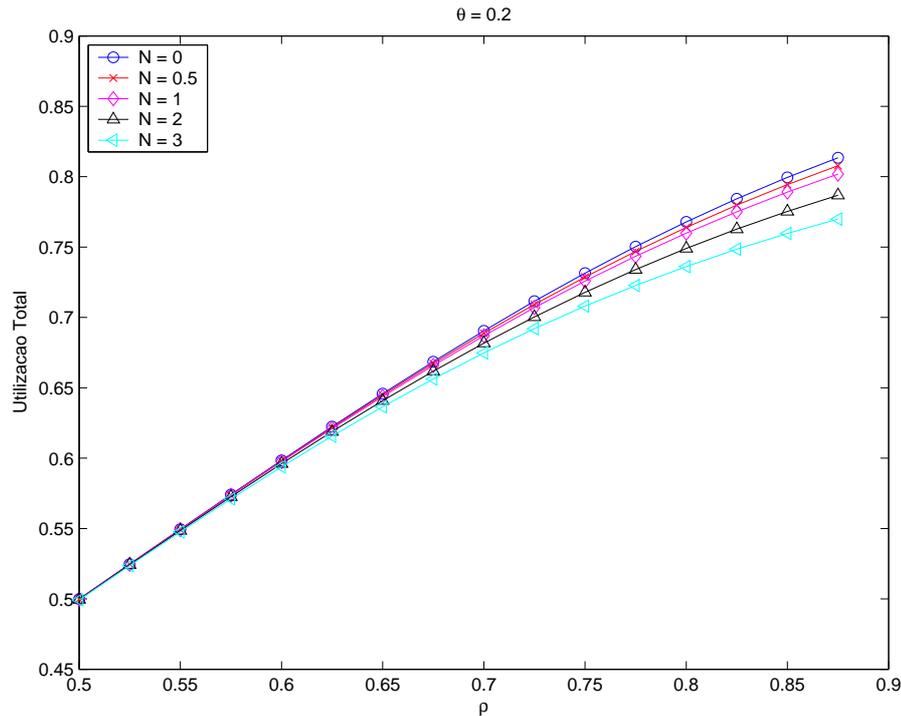


Figura 3.27: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 0.2$.

Comparando as figuras 3.21, 3.24 e 3.27, observa-se que no sistema de menor mobilidade, $\theta = 0.2$, figura 3.27, há uma diferença maior na utilização dos recursos, quando o número de canais de guarda N é variado. Em um sistema de alta mobilidade, $\theta = 5$, figura 3.21, as curvas de utilização são todas muito próximas.

Observa-se nas figuras 3.20, 3.23 e 3.26 que, quanto menor o valor de θ , menor o valor de P_{FH} , para o mesmo N . Na figura 3.26, a curva $N = 3$ é quase horizontal, significando valores de percentual de falha de *handoff* muito próximos de zero. Lembrando que o caso sem canais de guarda, $N = 0$, não depende da taxa de mobilidade dada por θ , conclui-se que as curvas de P_{FH} se afastam com a diminuição da taxa de mobilidade dos usuários da rede. Este resultado é coerente com a realidade física, onde espera-se um baixo percentual de falhas de *handoff* em um sistema de muitos canais de guarda e pouca mobilidade.

3.6.3

Resultados Analíticos para a Utilização, uma Classe de Usuários

Neste item pretende-se observar o comportamento da utilização dos recursos do sistema de acordo com variações maiores da taxa de mobilidade e do número de canais de guarda.

Nas figuras 3.28, 3.29, 3.30, 3.31, são apresentadas as curvas de utilização versus intensidade de tráfego ρ , para os casos de taxa de mobilidade θ iguais a 0.2, 1.0, 5.0 e 10.0, respectivamente. Observa-se que quase não há variação da utilização se o número de canais de guarda varia entre 0CG e 1CG, as duas curvas são muito próximas para qualquer valor de taxa de mobilidade, θ . Nota-se ainda que as curvas tendem a se aproximar com o aumento da taxa de mobilidade.

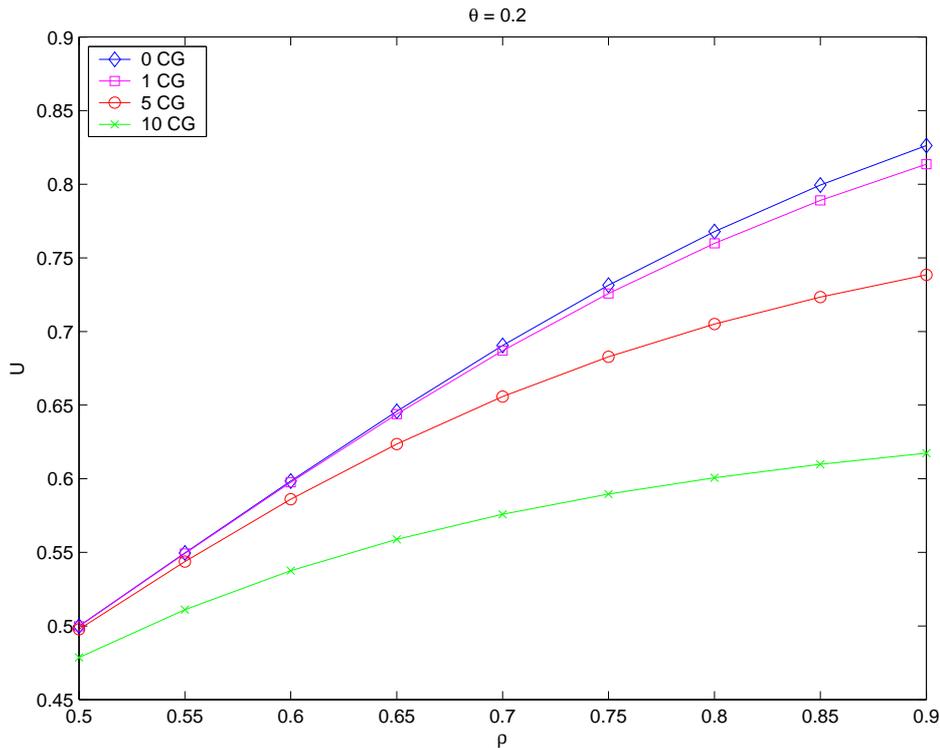


Figura 3.28: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 0.2$.

Nas figuras 3.32, 3.33, 3.34, 3.35, são apresentadas as curvas de utilização versus intensidade de tráfego ρ , para os casos de número de canais de guarda N iguais a 1CG, 2CG, 5CG e 10CG, respectivamente. Já observamos que no caso de 0CG as curvas são coincidentes. Observa-se que as curvas são muito próximas no caso 1CG, para qualquer taxa de mobilidade. Da mesma forma, as curvas tendem a ser mais afastadas entre si, quando se utiliza um número maior de canais de guarda, por exemplo $N = 10$ na figura 3.35. Portanto, concluímos que deve-se esperar uma pequena variação da utilização nos algoritmos dinâmicos propostos neste trabalho que apresentam variações do número de canais de guarda de acordo com as variações da taxa de mobilidade e do perfil de tráfego ρ .

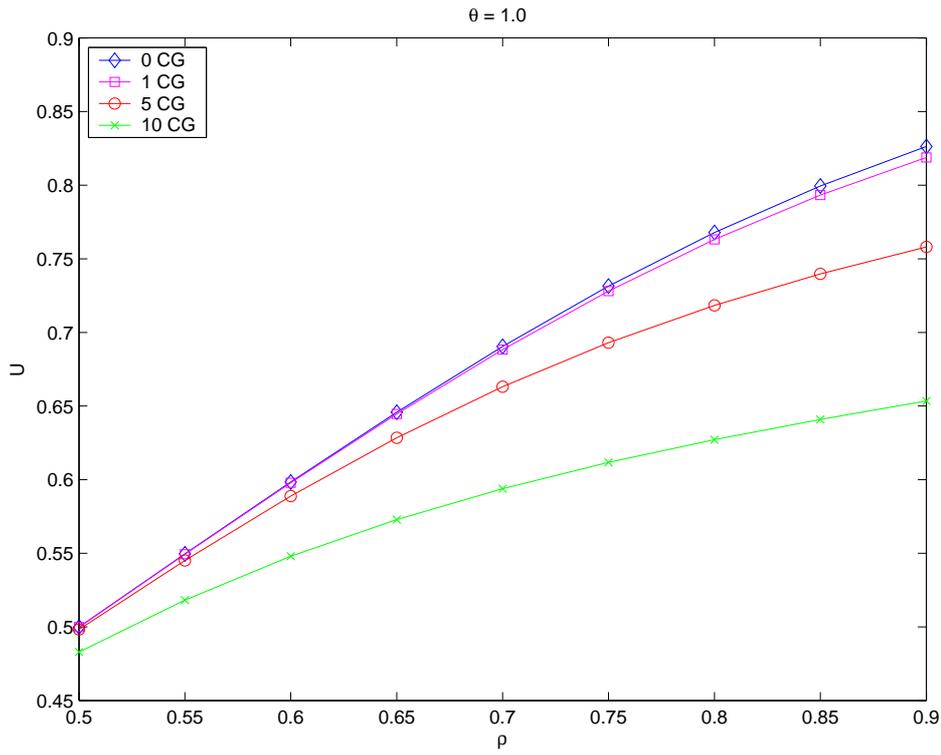


Figura 3.29: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 1.0$.

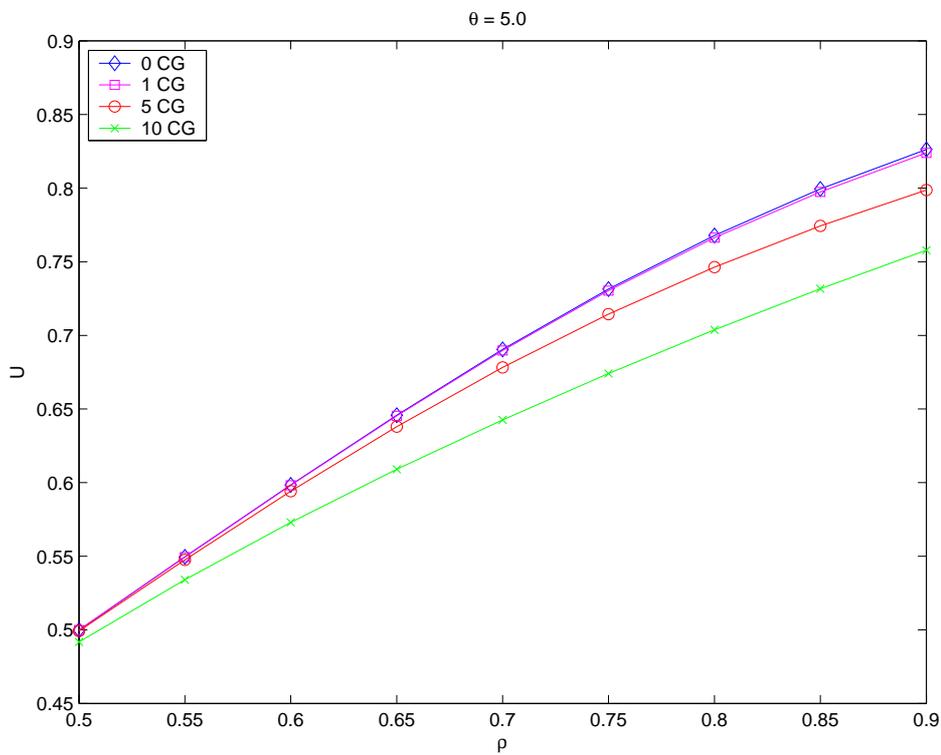


Figura 3.30: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 5.0$.

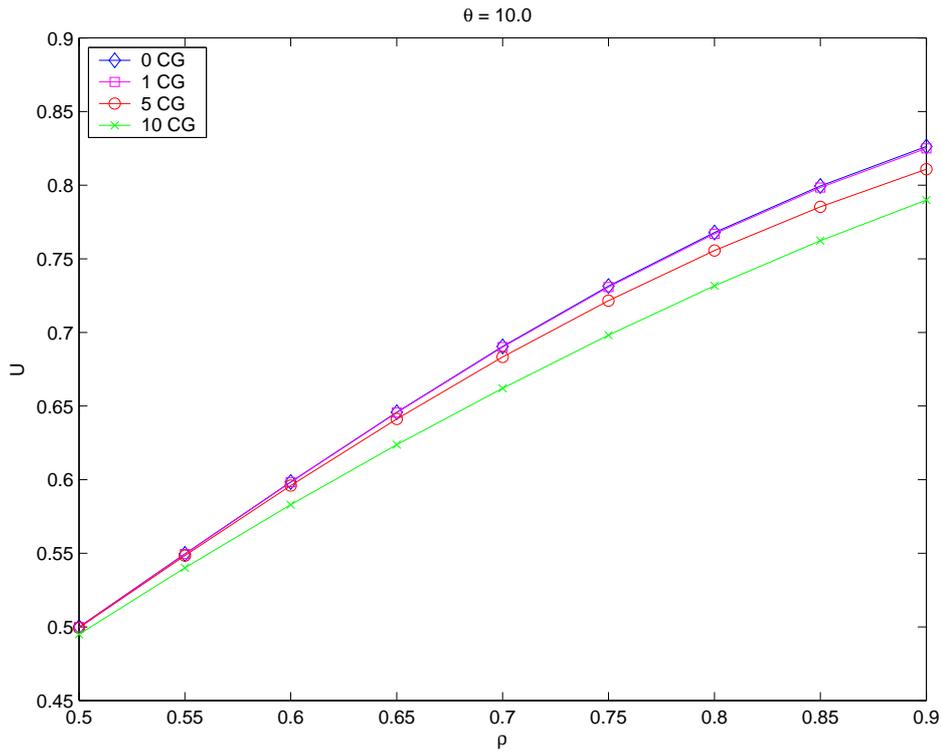


Figura 3.31: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, $\theta = 10.0$.

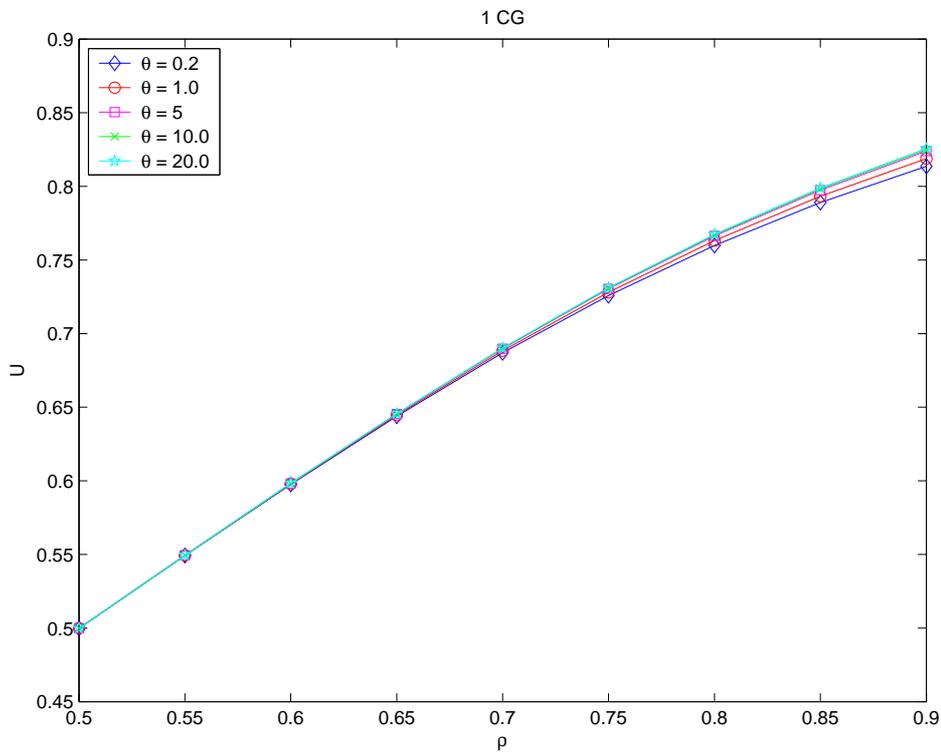


Figura 3.32: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, 1CG.

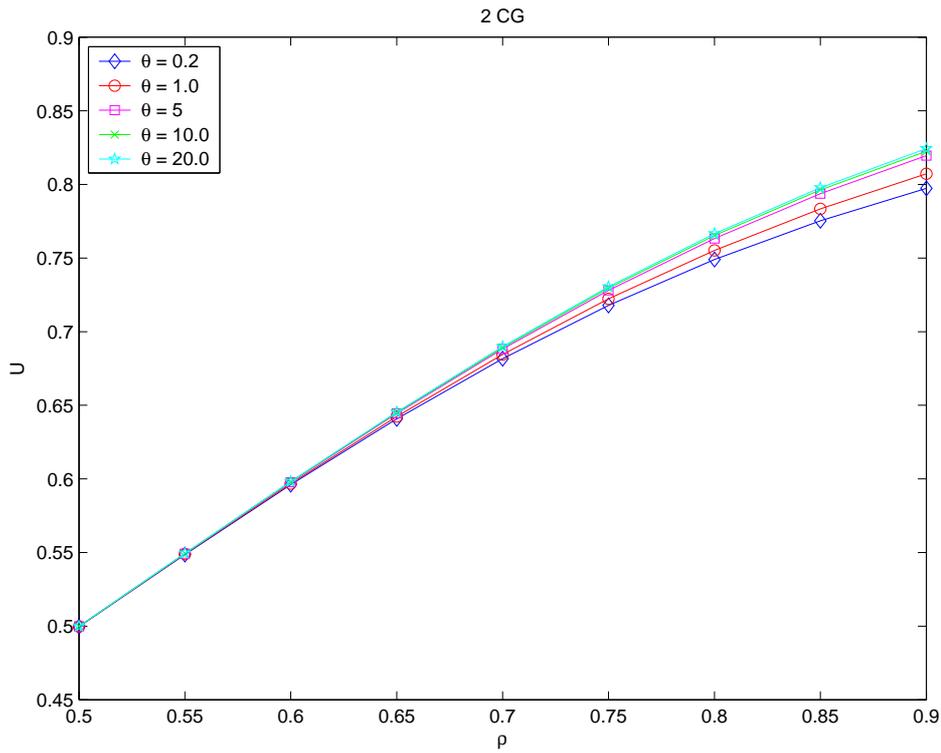


Figura 3.33: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, 2CG.

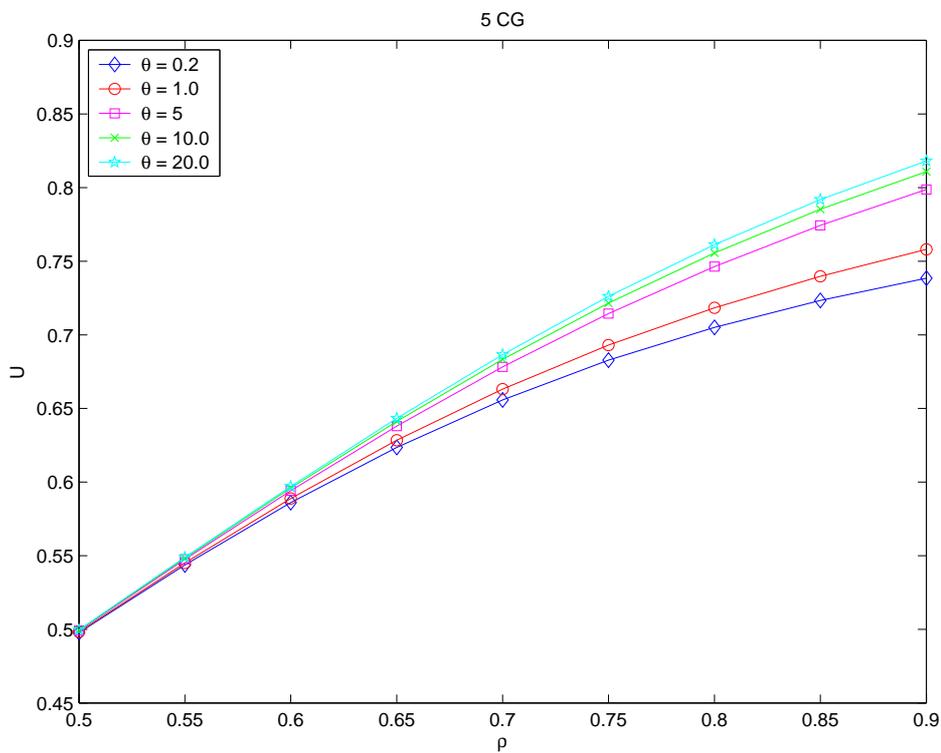


Figura 3.34: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, 5CG.

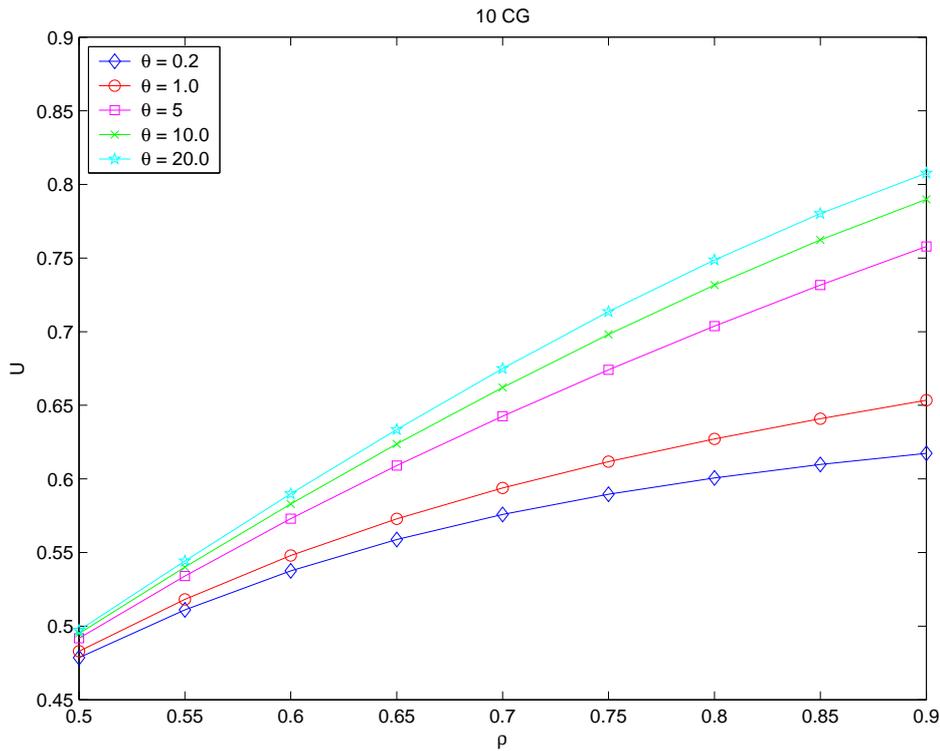


Figura 3.35: Utilização versus intensidade de tráfego para 30 canais, 10CG.

3.7

Conclusão sobre os Sistemas com Uma Classe de Usuários

Os resultados apresentados neste capítulo possibilitaram a análise do comportamento do sistema de acordo com o número de canais de guarda, a intensidade de tráfego e a mobilidade.

Observou-se que quanto maior a mobilidade, mais as curvas de utilização se aproximam entre si, considerando uma curva para cada valor de canais de guarda.

Quanto menor o número de canais de guarda, mais as curvas de utilização se aproximam, considerando uma curva para cada taxa de mobilidade.

Os resultados obtidos pela modelagem analítica feita neste capítulo possibilitam a validação do simulador apresentado no capítulo 4 nos casos em que o número de canais de guarda é fixo. O simulador foi desenvolvido neste trabalho para a avaliação do desempenho dos algoritmos propostos nesta tese.

4 Simulador

Uma das etapas integrantes deste trabalho foi o desenvolvimento de uma ferramenta de simulação de Redes de Comunicações Móveis. O objetivo deste simulador foi verificar o desempenho dos algoritmos propostos nesta tese para Controle de Admissão de Chamadas de usuários de múltiplas classes. Optou-se pelo desenvolvimento de um simulador ao invés de utilizar outros já existentes no mercado tais como o NS₂, pela necessidade de dominar completamente o processo de simulação, uma vez que o objetivo é trabalhar apenas com o controle de admissão de usuários e não com a rede completa. Por outro lado, ao longo do desenvolvimento do simulador, observou-se que a eliminação completa dos problemas apresentados pelo simulador revelou-se um trabalho bem maior do que o esperado.

Para verificar a confiabilidade dos resultados obtidos pelo simulador foram testados vários casos que apresentam solução analítica. Os resultados analíticos foram comparados aos resultados simulados e ambos os resultados são coerentes entre si conforme se observa nos resultados apresentados neste capítulo.

O programa simulador foi desenvolvido em linguagem C++ com a preocupação de manter o código de programação em módulos. Tal procedimento permitirá que a ferramenta seja explorada em trabalhos de pesquisa futuros sem a necessidade do domínio de todo o programa. Além disto, o desenvolvimento da ferramenta foi feito de uma forma geral, incluindo a previsão para diversos módulos que não foram integralmente explorados. Nesta tese, foram explorados os aspectos do simulador relativos ao Controle de Admissão de Usuários de Múltiplas Classes.

4.1 Descrição dos Módulos do Simulador

A figura 4.1 apresenta o fluxograma do simulador, nela estão apresentados os módulos que são descritos a seguir e as suas conexões. O programa

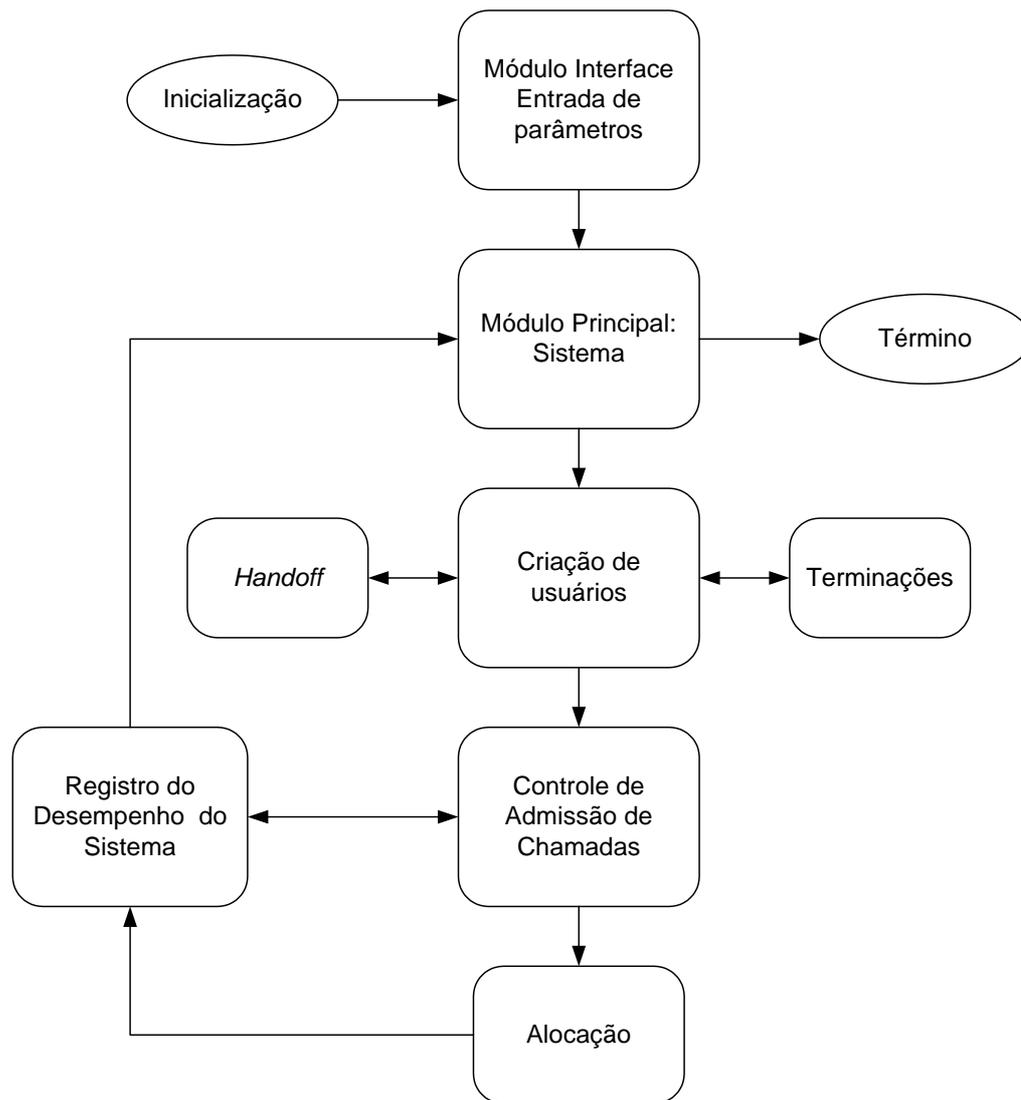


Figura 4.1: Fluxograma do Simulador.

começa com a inicialização e a entrada de parâmetros. O Módulo principal contém o *loop* com os comandos que se repetem ao longo de toda a simulação. Os usuários são criados e são identificados como usuários novos ou como usuários necessitam fazer *handoff*. Identificados os recursos que estão disponíveis e os usuários que necessitam de recursos, o programa passa ao Controle de Admissão de Chamadas que consulta os parâmetros de Desempenho do Sistema e define, segundo seus critérios, quais usuários serão encaminhados do módulo alocação. O resultado da alocação é registrado. São terminadas as chamadas correspondentes ao intervalo de tempo tratado na iteração e seus recursos são liberados. O módulo principal reinicia nova iteração até que todos os usuários tenham sido atendidos, ou não, e a simulação é encerrada.

4.1.1 Inicialização

O módulo inicia as matrizes e vetores do sistema. Algumas matrizes e vetores são fixos e não são alterados durante a execução, enquanto outros são destinados a armazenar informações constantemente atualizadas.

O simulador trabalha com uma célula em forma de hexágono, dividida em três setores iguais, conforme a figura 4.2.

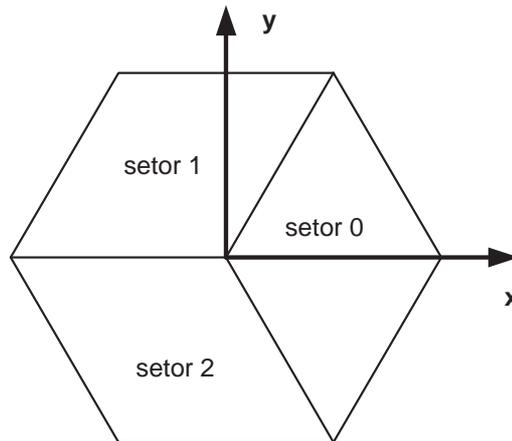


Figura 4.2: Célula hexagonal setorizada.

4.1.2 Interface

No Módulo Interface há a definição de todos os parâmetros de entrada da simulação. Dentre outros, são definidos: a intensidade de tráfego, a taxa de mobilidade, as classes de usuários e qual algoritmo CAC será simulado.

Além dos parâmetros de entrada, este módulo também é o responsável por gerar os arquivos numéricos de saída aonde são impressos os resultados da simulação.

Os resultados emitidos pelo programa são o Percentual de Bloqueio de chamadas novas, P_{BN} , o Percentual de Falha de chamadas em *handoff*, P_{FH} e a Utilização dos recursos do sistema, U para cada classe de usuários.

4.1.3 Principal

O módulo principal é um *loop* com a variável tempo. A cada nova iteração são criados os usuários novos e de *handoff* e é feita a verificação

de quais usuários terminarão sua chamada dentro do intervalo de tempo considerado pela iteração em execução no programa.

São verificados quais são os usuários envolvidos no intervalo de tempo correspondente à iteração e esses são ordenados. Para os usuários novos, a ordem se dá pelo o instante de início da chamada; para os usuários de *handoff*, pelo instante de entrada no sistema e, para os que terminam o serviço, pelo instante de término.

A alocação dos usuários, novos ou de *handoff*, é feita de acordo com o critério adotado pelo algoritmo de controle de admissão que está sendo testado na simulação.

Após a alocação de canais há a contabilização dos parâmetros de desempenho. As tarefas são executadas em módulos separados que são chamados através do Módulo Principal.

4.1.4

Criação de usuários

Conforme o modelo amplamente aceito e adotado na literatura, utiliza-se a distribuição de Poisson para simular a chegada de novas chamadas. No caso da simulação ser realizada com uma única célula, os usuários em *handoff* também são criados da mesma forma que os novos. O tempo de retenção do recurso varia de acordo com o modelo de tráfego que está sendo simulado para o tempo de permanência do usuário na célula, de acordo com o desenvolvimento feito no apêndice A.

O simulador desenvolvido neste trabalho oferece a possibilidade de alocação de mais de um recurso, Unidade de Banda, *UB*, a cada usuário.

As classes possuem diferentes necessidades de banda. Um usuário que tenha alocado para si várias Unidades de Banda, corresponde a uma taxa maior de transmissão de dados. O sistema proposto tem a capacidade de até dez classes diferentes, cada uma com até dez *UB*.

Cada classe de usuário é definida no início da simulação juntamente com sua necessidade de banda; seu tempo médio de duração da chamada e o percentual de usuários que pertencerão à classe.

Na geração de cada usuário são feitos sorteios para definição da classe a qual este pertence; se é usuário novo ou em *handoff* e em qual ponto do mapa este iniciará sua chamada, conforme a figura 4.3. A intensidade de solicitação de recursos é previamente definida na entrada de dados da execução.

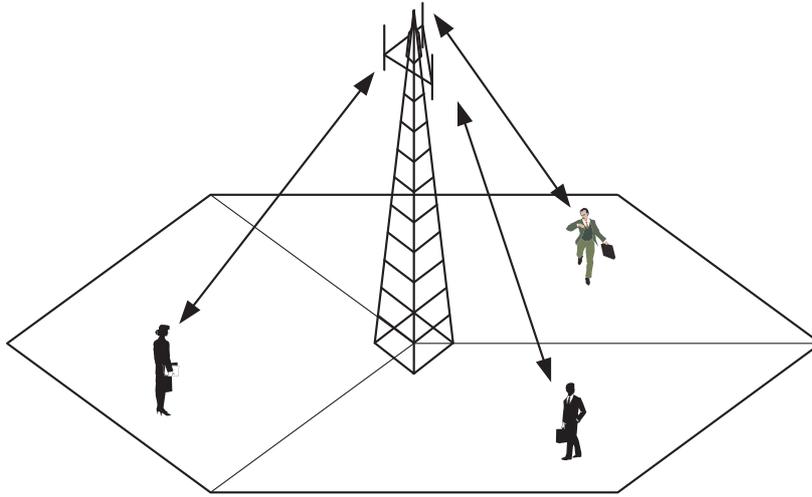


Figura 4.3: Usuários na Célula setorizada.

4.1.5 Handoff

O módulo de *Handoff* monitora quais são os usuários que necessitam de *handoff* dentro do intervalo de iteração. Sua identificação é armazenada para que possa ser consultada pelo Controle de Admissão.

Em relação à prioridade das chamadas em *handoff*, o sistema apresenta a reserva de canais de guarda. O número inicial de canais de guarda por setor é definido nos parâmetros de entrada do programa. Este número pode ser fixo ou dinâmico de acordo como algoritmo de canais de guarda escolhido.

4.1.6 Terminações

O módulo é completamente independente e trata apenas da terminação do usuário. A tomada de decisão da terminação é realizada pelos outros módulos. Diversas razões podem levar um usuário a ser terminado; podem ser terminados os usuários cujo tempo de chamada termina, usuários que sofreram bloqueio por excesso de tentativas falhas de efetuar *handoff* ou, em caso de sistemas que consideram interferência, aqueles cuja razão sinal/ruído não é suficiente para manter a chamada.

Ao executar a terminação do usuário, todos os recursos que estavam sendo utilizados pelo usuário são liberados.

4.1.7

Controle de Admissão de Chamadas, CAC

Os usuários novos, gerados na iteração vigente, e os usuários que necessitam *handoff* são encaminhados ao Controle de Admissão para que esse módulo decida se o usuário será aceito ou não.

Um dos principais objetivos do simulador neste trabalho de tese é testar diversos algoritmos de Controle de Admissão de Chamadas. Para tal, no início da simulação há a definição sobre qual dos algoritmos de Controle de Admissão será aplicado.

A cada intervalo de iteração todos usuários são ordenados de acordo com o instante de tempo de início de chamada, para os novos, e de instante de solicitação de *handoff*. O instante de solicitação do recursos de cada usuário é definido no início da simulação de acordo com a distribuição de Poisson.

O Controle de Admissão varre a lista de usuários a serem tratados, identifica se é novo ou *handoff*, a classe e a necessidade de recursos de cada um. Cada usuário é tratado individualmente, o CAC consulta os parâmetros de desempenho e decide se o usuário deve ser encaminhado à alocação ou não.

4.1.8

Alocação

O Módulo Alocação é chamado pelo Módulo de Controle de Admissão de Chamadas para alocar recursos disponíveis ao usuário indicado. O simulador opera com o sistema de Alocação Fixa de Canais.

4.2

Registro do Desempenho do Sistema

O tráfego e o desempenho do sistema são permanentemente monitorados através do registro de todas as tentativas de chamadas e de seus respectivos sucessos ou falhas de alocação. Baseado nestes registros, são obtidos os valores instantâneos de percentuais de bloqueio de novas chamadas, B_{BN} , de falha de *handoff*, B_{FH} e de perfil de tráfego, θ_{medido} . As medidas de desempenho são monitoradas e comparadas aos requisitos de QoS para a tomada de decisão do Controle de Admissão de Chamadas.

**4.2.1
Identificação e Registro da Chamada**

A cada tentativa de alocação no setor, a chamada é identificada, se é de *handoff* ou nova e, para o caso de sistemas de múltiplas classes, a que classe pertence a chamada.

Há uma janela de registro para cada tipo de chamada. Para usuários de uma única classe são necessárias duas janelas de registro: chamadas novas e chamadas em *handoff*. Para o caso de M classes são necessárias $2M$ janelas de registro.

Identificado o tipo da chamada, ocorre o registro da tentativa de alocação e do seu sucesso ou falha.

**4.2.2
Janela de Medidas**

A janela de medidas é o nome dado ao vetor que comporta os registros de sucessos e falhas de alocação no sistema.

Deslizamento

Para efetuar o registro, após a identificação do usuário a respectiva janela é deslocada da posição (0) até que a última medida, a mais velha, seja perdida. A figura 4.4 apresenta a janela de medidas e o deslizamento dos registros cada vez que se pretende fazer um novo registro na posição (0).

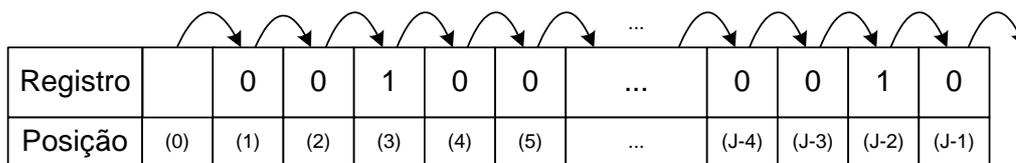


Figura 4.4: Janela de Medidas.

A solicitação de chamada é encaminhada para a tentativa de alocação. Então, é verificado se houve sucesso, 0, ou falha, 1, de alocação. O resultado da tentativa de alocação, 0 ou 1, é registrado na posição (0) da janela.

O tamanho total da janela é J . São mantidas as medidas das J últimas tentativas de alocação de cada tipo de chamada, na posição (0) até a posição correspondente ao registro mais antigo ($J - 1$).

Baseado nas informações de sucesso e falha de alocação registradas nas janelas, é possível calcular a medida instantânea dos parâmetros de desempenho do sistema. Da janela relativa aos usuários novos obtém-se a medida instantânea da probabilidade de bloqueio de chamadas novas P_{BN} , chamada de B_{BN} . Da mesma forma, da janela relativa aos usuários em *handoff* obtém-se a medida instantânea da probabilidade de falha de chamadas em *handoff*, P_{FH} , chamada de B_{FH} . Estas medidas são usadas pelos algoritmos de CAC para a tomada de decisão sobre a alocação dos usuários.

O método de obtenção das medidas é foi testado verificando se o tamanho da janela é adequado comparando do valor medido e o valor já previamente conhecido gerado na simulação. Além disto, atribui-se um peso maior aos registros mais recentes, através de uma média ponderada com coeficientes que possuem um decaimento exponencial.

O tamanho da janela é um parâmetro importante na obtenção da medida pois, a utilização de uma janela muito grande acarretará em demora excessiva para se tomar uma atitude na admissão dos usuários. Por outro lado, uma janela demasiado pequena tende a provocar atitudes precipitadas, por não refletir uma medida estatística confiável do problema.

Para definir o tamanho da janela vamos observar um exemplo.

Exemplo

Supondo que a duração da chamada é em média $\frac{1}{\mu} = 120s$. A intensidade de solicitação de recursos normalizada, ρ , definida na equação (3-11), será considerada de 0.5 a 0,9.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu N_c} \Rightarrow \lambda = \rho N_c \mu$$

O número total de canais em cada setor é $N_c = 30$ canais. Portanto, a taxa total de chegada de usuários ao setor é dada por λ , que para um ρ igual a 0.5, corresponde a 450 usuários/hora.

$$\lambda = \rho N_c \mu = 0,5 \times 30 \frac{1}{120} = 0,125u/s = 7,5u/min = 450u/h$$

Para ρ igual a 0,9, corresponde a 810 usuários/hora.

$$\lambda = \rho N_c \mu = 0,9 \times 30 \frac{1}{120} = 0,225u/s = 13,5u/min = 810u/h$$

Escolhendo uma janela de 100 registros, supondo o caso em que a mobilidade θ é igual a um, teremos igual quantidade de usuários novos e de handoff no sistema. Então, no caso em que ρ é igual a 0.5, para preencher a janela de usuários novos serão necessários, em média, menos de 30 minutos.

Tamanho da Janela em Função do Requisito de QoS

Do exemplo anterior, observamos que quanto maior a janela maior a precisão da medida obtida, porém mais demorado se torna preencher a janela. Além disto, se a janela é muito grande, pode haver medidas muito antigas e se o sistema varia ao longo do tempo, as condições podem ter mudado desde os registros mais antigos.

Neste trabalho foi decidido que a janela será uma função de seu respectivo parâmetro de QoS denominado Q . O tamanho J , escolhido é dado em 4-1 de tal forma que sempre haja, em média, cerca de cinco falhas de alocação registradas na janela.

$$J = 5 \frac{1}{Q} \quad (4-1)$$

Na tabela 4.1 são apresentados os valores de Q e o respectivo tamanho de janela adotado.

Tabela 4.1: Tamanhos de janelas adotados para cada valor de Q .

Q	$1/Q$	J
0.05	20	100
0.04	25	125
0.03	33	165
0.01	100	500

4.2.3

Cálculo da Medida

Os registros feitos na janela são divididos em cinco grupos iguais, de tamanho $\frac{J}{5}$. Para cada grupo de registros é feita a soma dos valores de todos registros encontrados nas $\frac{J}{5}$ posições. Cada soma é chamada de S_i .

A medida B é tomada pela média ponderada dos registros, com pesos X_i , ($i = 0, \dots, 4$), conforme a equação 4-2.

$$B = \frac{(X_0 \times S_0) + (X_1 \times S_1) + (X_2 \times S_2) + (X_3 \times S_3) + (X_4 \times S_4)}{20 \times (X_0 + X_1 + X_2 + X_3 + X_4)} \quad (4-2)$$

São adotados pesos maiores para as medidas mais recentes, considerando um decaimento exponencial para o esquecimento das medidas mais antigas.

$$X_0 > X_1 > X_2 > X_3 > X_4 \quad (4-3)$$

4.3

Conclusão e Validação do Simulador

A verificação da confiança dos resultados obtidos no Simulador desenvolvido neste trabalho é feita pela simulação de casos que também possuem solução analítica. No capítulo anterior foi apresentada a solução por Cadeias de Markov para o caso de sistemas que utilizam um número fixo de canais de guarda, CG .

Os casos a serem comparados são: número fixo de canais de guarda: $1CG$, $0.5CG$ e $0CG$, e razão entre chegada de usuários de *Handoff* e Novos dada por $\theta = \frac{\lambda_H}{\lambda_N} = 5$. Esses casos foram simulados em linguagem C++ e seus resultados são comparados aos resultados analíticos, gerados no programa em *MATLAB*® que calcula os valores de Percentual de Bloqueio de Chamadas Novas, P_{BN} , segundo a equação (3-36); Percentual de Falha de Chamadas em *Handoff*, P_{FH} , equação (3-38). As comparações dos resultados de P_{BN} e de P_{FH} estão nas figuras 4.5 e 4.6 onde se observa que os resultados do simulador conferem com os resultados analíticos. O intervalo de confiança considerado é de 95%.

Portanto, concluímos que os resultados obtidos pelo simulador são confiáveis, pois conferem perfeitamente com os resultados analíticos para os casos em que há a solução analítica exata. Como os algoritmos dinâmicos operam com valores de canais de guarda dentro das faixas que foram testadas pelo simulados, espera-se que este apresente um comportamento semelhante e confiável.

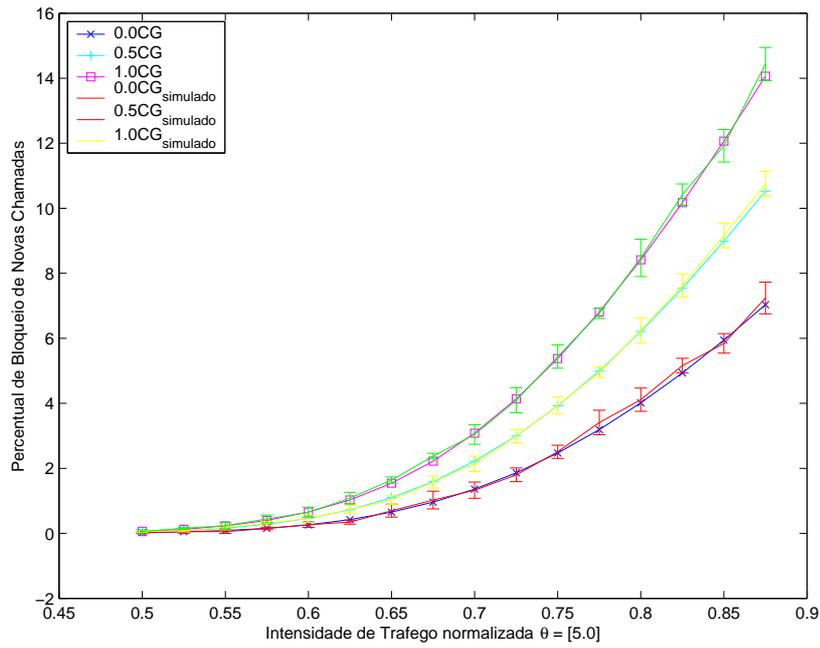


Figura 4.5: Comparação de resultados simulados e analíticos de Percentual de Bloqueio de Chamadas Novas versus Intensidade de Tráfego normalizada para $\theta=5$.

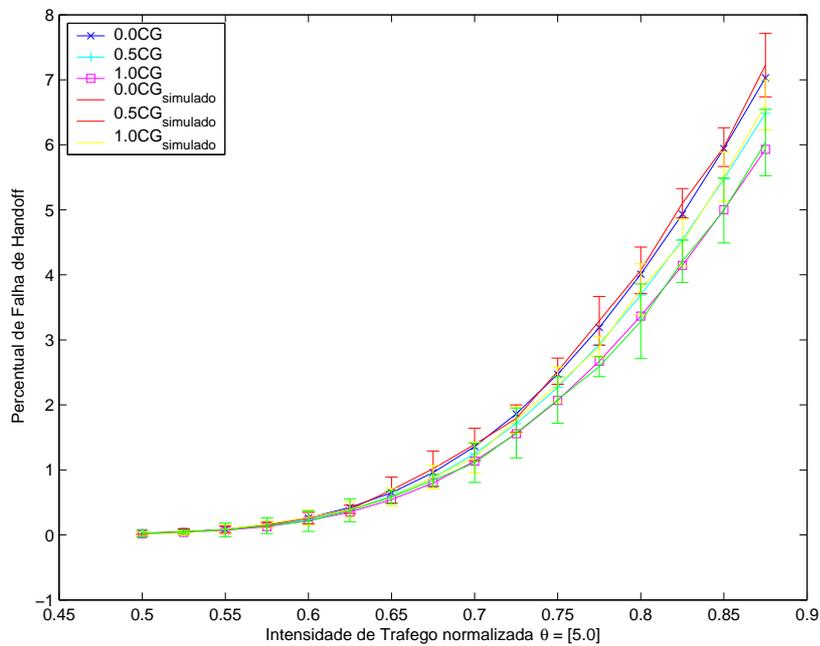


Figura 4.6: Comparação de resultados simulados e analíticos de Percentual de Falha de Chamadas em *Handoff* versus Intensidade de Tráfego normalizada para $\theta=5$.

5

Algoritmos de Controle de Admissão de Chamadas para Sistemas de Uma Classe de Usuários

Neste capítulo são apresentados e propostos seis algoritmos de Controle de Admissão de Chamadas, CAC, para sistemas de uma classe de usuários. Os algoritmos propostos têm como objetivos atender aos requisitos de qualidade de serviço e, simultaneamente, manter a utilização dos recursos do sistema elevada. O requisitos de QoS considerados são os valores máximos aceitáveis para P_{BN} , e P_{FH} .

No capítulo 3 deste trabalho foi apresentado o cálculo da utilização dos recursos do sistema, U ; da probabilidade de bloqueio de novas chamadas, P_{BN} , e da probabilidade de falha de *handoff*, P_{FH} . Os valores de U , P_{BN} , e P_{FH} são condicionados à taxa de mobilidade dos usuários da rede, θ , definido em (3-39), conforme as equações (3-49), (3-36) e (3-38).

A taxa de mobilidade dos usuários da rede móvel não é constante. Uma localização urbana central possui muitos pedestres e, conseqüentemente, baixa taxa de mobilidade. Uma região, urbana periférica, de muitos veículos apresenta taxa de mobilidade elevada. Uma das preocupações no desenvolvimento dos algoritmos de controle de admissão propostos neste trabalho é que sejam capazes de se adaptar a tais mudanças no perfil de tráfego, ou seja, algoritmos dinâmicos.

Dentre os seis algoritmos propostos neste capítulo, apenas um não utiliza diretamente o conceito de Canais de Guarda: CAC5. Algoritmos de Controle de Admissão que utilizam a técnica de canais de guarda pretendem atender ao requisito de qualidade de serviço que exige percentuais de falha de *handoff* inferiores aos percentuais de bloqueio de chamadas novas, $P_{FH} < P_{BN}$. Todos algoritmos CAC propostos são dinâmicos em relação às suas características de adaptação ao tráfego em andamento, para os algoritmos que usam canais de guarda, a adaptação se reflete na definição do número de canais de guarda a ser reservado para as chamadas em *handoff*. O número de canais de guarda no sistema (setor ou célula) é permanentemente atualizado de acordo com as características instantâneas do tráfego em andamento e do

desempenho do sistema em relação aos requisitos de Qualidade de Serviço, QoS.

O quinto algoritmo proposto, CAC5, também determina a entrada do usuário, ou não, dependendo do desempenho do sistema em relação aos requisitos de Qualidade de Serviço, QoS, e das características do perfil de tráfego, porém não utiliza a técnica de canais de guarda.

As principais vantagens dos algoritmos propostos neste trabalho, em relação a outros encontrados na bibliografia de referência, são suas características de algoritmo distribuído e dinâmico e, principalmente, a preocupação com o atendimento aos requisitos de Qualidade de Serviço. A tomada de decisão é local observando-se o desempenho do sistema em relação aos requisitos de QoS Q_{BN} e Q_{FH} .

Em um sistema distribuído, cada setor opera de forma independente, sem a necessidade de troca de informação entre as bases, o que reduz o tempo de resposta do sistema. Além disso, a tomada de decisão para a admissão de uma chamada é dinâmica, depende do desempenho instantâneo do sistema em relação aos requisitos de QoS, tornando o Controle de Admissão adaptável às condições de tráfego no momento de decisão e aos valores de qualidade de serviço desejáveis.

Uma característica importante das simulações realizadas neste trabalho para testar o comportamento dos algoritmos de Controle de Admissão propostos é a variação do perfil de tráfego através da variável θ , que representa a taxa de mobilidade dos usuários da rede, definida na equação (3-39), que obriga o sistema a se adaptar às características do tráfego em andamento. Outra característica original deste trabalho é o controle de admissão com restrição simultânea imposta por dois requisitos de QoS para a tomada de decisão sobre a aceitação da chamada e a proposta de várias distribuições para a permanência do usuário na célula.

Nas sessões subseqüentes são apresentados os algoritmos dinâmicos para o controle de admissão de chamadas ao setor, seus objetivos e seus respectivos resultados. Os algoritmos propostos são exaustivamente testados através do simulador desenvolvido neste trabalho, cuja confiabilidade foi testada com um grau de 95%, conforme foi descrito no capítulo 4 .

5.1

Definição das Características de Simulação e dos Parâmetros Comuns aos Algoritmos

As solicitações de chamadas novas e de *handoff* e seus respectivos sucessos ou falhas no atendimento são monitorados através de janelas de registros para cada tipo de chamada. Tais registros possibilitam obter o desempenho instantâneo do sistema em relação aos requisitos de QoS.

As medidas B_{BN} e B_{FH} dos valores instantâneos de P_{BN} e P_{FH} , bloqueio de chamadas novas e falha de *handoff*, respectivamente, são obtidas de acordo com o procedimento de registro descrito no capítulo 4.

Os algoritmos dinâmicos de Controle de Admissão de Chamadas, CAC, se baseiam nos valores instantâneos medidos de B_{BN} e B_{FH} . A tomada de decisão sobre aceitar, ou não, determinada chamada é feita de acordo com a comparação dos valores medidos com os respectivos requisitos de QoS chamados de Q_{BN} e Q_{FH} .

5.1.1

Parâmetros de Proximidade dos Requisitos de QoS

Os parâmetros de proximidade dos requisitos de QoS utilizados neste trabalho são: β , definido na equação (5-1), e α definido em (5-2).

$$\beta = \frac{B_{BN}}{Q_{BN}} \quad (5-1)$$

$$\alpha = \frac{B_{FH}}{Q_{FH}} \quad (5-2)$$

Normalmente o algoritmo deve incrementar ou decrementar o número de canais de guarda cada vez que a medida se aproxima B do respectivo requisito de QoS Q . O valor da proximidade para tomada de atitude é dado por β e α cujos valores são pré-definidos antes do sistema iniciar sua atuação.

5.1.2

Parâmetros de Incremento e Decremento do Número de Canais de Guarda

Os parâmetros de incremento e decremento do número de canais de guarda são chamados de δ . Dependendo do algoritmo, este valor pode ser um valor fixo pré-determinado ou pode ser um valor calculado de acordo com o desempenho instantâneo do sistema.

Há ainda o parâmetro δ_0 que pode ser o primeiro valor de incremento ou o valor limitante máximo para o incremento δ .

5.1.3

Parâmetros de Intensidade de Tráfego Máxima Dentro dos Requisitos de QoS

Os maiores valores de intensidade de tráfego para os quais os requisitos de QoS são atendidos são definidos na equação (5-3). Chamamos de ρ_{BN} o valor de intensidade de tráfego para o qual o desempenho do sistema atinge o requisito de QoS do bloqueio de chamadas novas e, para o requisito de qualidade de serviço correspondente às falhas de chamadas em *handoff*, a intensidade de tráfego máxima é chamada de ρ_{FH} .

$$\begin{aligned} P_{BN}(\rho_{BN}) &= Q_{BN} \\ P_{FH}(\rho_{FH}) &= Q_{FH} \end{aligned} \quad (5-3)$$

O ponto ρ_Q é o maior valor de intensidade de tráfego de entrada ρ para o qual é possível atender simultaneamente aos dois requisitos de QoS. Seu valor é dado pelo menor valor entre ρ_{BN} e ρ_{FH} , (5-4).

Se a intensidade de tráfego de entrada, ρ , é inferior a ρ_Q , ambos requisitos de QoS, $(Q_{BN}; Q_{FH})$ estão sendo atendidos, (5-5).

$$\rho_Q = \min(\rho_{BN}, \rho_{FH}) \quad (5-4)$$

$$\begin{aligned} P_{BN}(\rho) &\leq Q_{BN} \\ P_{FH}(\rho) &\leq Q_{FH}, \quad \rho \leq \rho_Q \end{aligned} \quad (5-5)$$

A representação gráfica ρ_{BN} , ρ_{FH} e ρ_Q é apresentada na figura 5.1.

Para cada cenário de taxa de mobilidade e de requisitos de QoS, é possível determinar analiticamente o valor ideal do número de canais de guarda $N_Q^*(\theta, Q)$ que permite obter o maior valor $\rho_Q^*(\theta, Q)$, conforme será detalhado no capítulo 6 desta tese.

Para que se possa comparar o desempenho dos algoritmos nos diferentes cenários, definimos aqui o parâmetro I, razão entre o valor de intensidade máxima apresentada pelo CAC e o valor máximo possível, de

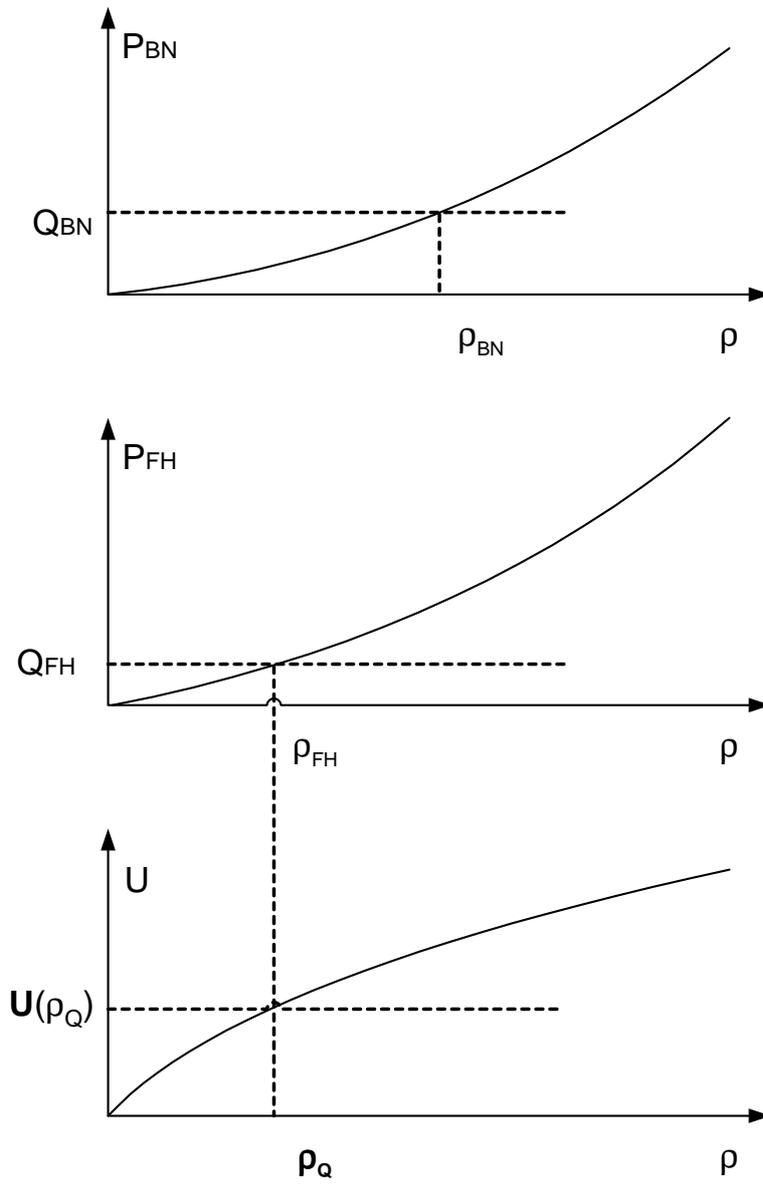


Figura 5.1: Utilização no ponto ρ_Q .

acordo com a equação (5-6).

$$I = \frac{\rho_Q(\theta, Q)}{\rho_Q^*(\theta, Q)} \tag{5-6}$$

5.1.4 Determinação dos Parâmetros

Cada um dos algoritmos possui um conjunto de parâmetros cujo valor é determinado neste capítulo. O algoritmo é testado com vários conjuntos de parâmetros em várias configurações de mobilidade e restrições de QoS diferentes. Os resultados de cada conjunto de parâmetros são apresentados nas tabelas de resultados dos algoritmos para que se possa determinar qual o conjunto de parâmetros é mais adequado a cada CAC.

Nas tabelas de resultados dos algoritmos estão os valores dos parâmetros e seu respectivo parâmetro I. O conjunto de parâmetros que, em média, apresenta o maior valor de razão I de intensidade de tráfego dentro das restrições de QoS é escolhido e passa a ser associado ao respectivo algoritmo.

Todos resultados apresentados para os algoritmos dinâmicos propostos são resultados de simulação, uma vez que não há resultados analíticos para os algoritmos dinâmicos. Os resultados são comparados aos resultados do comportamento de sistemas com número fixo de canais de guarda. Cada ponto em qualquer dos gráficos de simulação corresponde a uma média de resultados de 10 simulações. Os resultados são concentrados na capacidade dos algoritmos de se manter dentro dos requisitos de QoS em relação aos percentuais de bloqueio de chamadas novas e em *handoff* e em obter uma elevada utilização dos recursos rádio.

5.2 Algoritmo CAC1

Este é o algoritmo mais simples de todos os algoritmos propostos neste trabalho. O algoritmo procura determinar o número N de canais de guarda no setor de uma forma dinâmica, de acordo com o desempenho do sistema.

Para manter elevada a utilização dos canais, o setor inicia com número de canais de guarda, N , igual a zero. A cada falha de *handoff* o valor de N é incrementado. Observe que este algoritmo visa favorecer as chamadas em *handoff*, monitorando apenas suas falhas e não a medida B_{FH} , como nos demais algoritmos propostos neste trabalho.

Por outro lado, para evitar o aumento excessivo de N , a cada alocação de usuário novo, o percentual de bloqueio de chamadas novas do sistema é observado. A medida instantânea do percentual de bloqueio de chamadas novas, B_{BN} , é comparada ao seu valor máximo tolerável definido pelo requisito de qualidade de serviço para usuários novos, Q_{BN} . Se a medida

B_{BN} se aproxima do requisito Q_{BN} , o número de canais de guarda, N , é decrementado de δ . O parâmetro β define o limiar de proximidade entre a medida de percentual de bloqueio, B_{BN} , e o parâmetro de QoS, Q_{BN} para a tomada de decisão sobre diminuir o número de canais de guarda, N .

5.2.1

Descrição do Algoritmo CAC1

Chegada de chamada em *handoff*

- Verifica a disponibilidade de canal e aloca ou bloqueia.
- Se houver falha de *handoff*, N é incrementado.

Chegada de chamada nova

- Verifica se existem canais ordinários e aloca ou bloqueia.
- Registra o sucesso ou falha de alocação na janela de registro.
- Calcula a medida de bloqueio de novas chamadas, B_{BN} .
- Se $B_{BN} \geq \beta Q_{BN}$, N é decrementado.

O diagrama de blocos do algoritmo proposto CAC1 é apresentado na figura 5.2

São propostas duas versões para o algoritmo CAC1, uma classe de usuários. A primeira versão trabalha apenas com números inteiros de canais de guarda no setor, seus incrementos e decrementos são de uma Unidade de Banda, esta versão é denominada $CAC1_{Int}$. Uma variação do algoritmo $CAC1_{Int}$ é a proposta de incrementos e decrementos como valores fracionários de N , $CAC1_{Frac}$. Neste caso, onde o valor do decremento, δ , é definido no início da simulação. O objetivo da variação fracionária é ajustar o valor de N de uma forma mais suave, acompanhando as modificações do perfil de tráfego no setor. A tabela 5.1 apresenta os valores dos incrementos e decrementos dos algoritmos $CAC1_{Int}$ e $CAC1_{Frac}$. Através de testes de simulação observou-se que melhores comportamentos são observados com incrementos maiores que os decrementos.

Tabela 5.1: Incrementos e decrementos dos algoritmos $CAC1_{Int}$ e $CAC1_{Frac}$.

	$CAC1_{Int}$	$CAC1_{Frac}$
Falha de <i>Handoff</i>	+1	+2 δ
$B_{BN} > \beta Q_{BN}$	-1	- δ

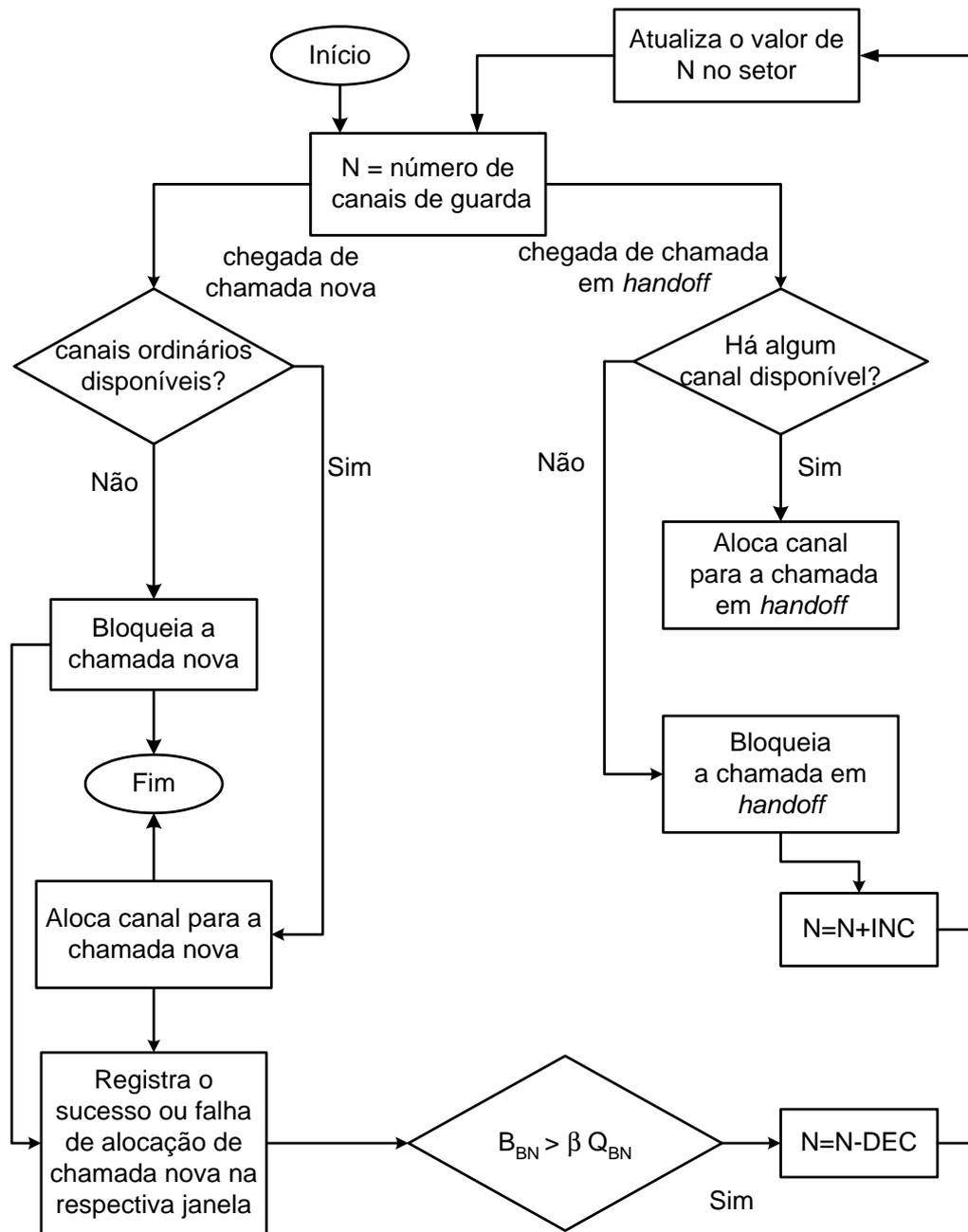


Figura 5.2: Diagrama de blocos do algoritmo CAC1.

5.2.2 Resultados de CAC1

Na tabela 5.2 são apresentados os resultados do desempenho do algoritmo de Controle de Admissão de Canal, *CAC1* para diversos valores dos parâmetros β e δ , para as condições de taxa de mobilidade baixa, $(\theta = 0, 2)$, para quatro valores de requisitos de QoS diferentes.

Os valores representados na tabela são determinados pelo parâmetro I , razão entre a maior intensidade de tráfego dentro dos requisitos de QoS,

definida por ρ_Q , do algoritmo CAC1, e o valor máximo ideal ρ_Q^* , de cada caso (θ, Q) , conforme com a equação (5-6).

Da mesma forma, na tabela 5.3 são apresentados os resultados do desempenho do algoritmo de Controle de Admissão de Canal, CAC1 para diversos valores dos parâmetros β e δ , para as condições de taxa de mobilidade elevada, ($\theta = 6$), para quatro valores de requisitos de QoS diferentes. Na notação empregada, o par de requisitos $(Q_{BN}; Q_{FH})$ é feito igual a $(3\%; 1\%) = Q_{31}$, $(4\%; 0.4\%) = Q_{404}$, $(1\%; 0.5\%) = Q_{105}$ e $(5\%; 3\%) = Q_{53}$.

Tabela 5.2: Comparação do parâmetro I, razão de intensidade de tráfego máxima dentro dos requisitos de QoS de CAC1, com taxa de mobilidade $\theta = 0.2$.

Algoritmo	β	δ	Q_{31}	Q_{404}	Q_{105}	Q_{53}	I_{medio}
CAC1	0.9	0.5	93.093	84.251	97.508	96.505	92.839
CAC1	1.0	0.5	92.992	83.741	98.216	96.106	92.764
CAC1	0.8	0.5	92.656	84.796	96.310	96.837	92.650
CAC1	0.9	0.3	92.277	83.024	96.727	96.687	92.179
CAC1	0.9	0.7	92.422	83.524	97.772	97.402	91.780
CAC1	0.9	0.1	92.164	83.450	96.754	95.383	91.938

Tabela 5.3: Comparação da razão de intensidade de tráfego máxima dentro dos requisitos de QoS de CAC1, com taxa de mobilidade $\theta = 6.0$.

Algoritmo	β	δ	Q_{31}	Q_{404}	Q_{105}	Q_{53}	I_{medio}
CAC1	0.9	0.5	91.918	99.105	87.694	84.658	90.844
CAC1	1.0	0.5	91.712	99.690	87.503	84.110	90.754
CAC1	0.8	0.5	92.320	99.261	87.619	85.242	91.110
CAC1	0.9	0.3	91.408	99.379	87.292	83.733	90.453
CAC1	0.9	0.7	91.426	99.630	87.591	84.969	90.904
CAC1	0.9	0.1	91.604	99.118	89.023	83.639	90.846

Observando os resultados apresentados nas tabelas 5.2 e 5.3 determina-se os valores dos parâmetros β e δ . Para CAC1 com parâmetros $\beta = 0.8$ e $\delta = 0.5$, o algoritmo apresenta o maior parâmetro I, em média, nos vários casos abordados nas tabelas de resultados. Doravante, sempre que for mencionado o algoritmo CAC1, subentende-se a utilização desses valores de parâmetros.

5.3

Algoritmo CAC2

Como todos algoritmos propostos neste trabalho, o segundo Algoritmo de Controle de Admissão de Chamadas, CAC2, também é dinâmico e

sua tomada de decisão depende do tráfego em andamento. As medidas instantâneas de bloqueio de chamadas novas e de falha de chamadas em *handoff*, $(B_{BN}; B_{FH})$, são comparadas aos níveis aceitáveis dos parâmetros de Qualidade de Serviço, $(Q_{BN}; Q_{FH})$, para a definição do número de canais de guarda no setor, N .

O algoritmo *CAC2* mantém uma das características específicas de *CAC1* que é a redução do número de canais de guarda sempre que a medida instantânea de bloqueio de chamadas novas ultrapassar o limite definido para a proximidade do requisito de QoS, Q_{BN} .

A diferença do novo algoritmo proposto, *CAC2*, em relação ao anterior, *CAC1*, é quanto ao acréscimo do número de canais de guarda no setor, N . No caso de *CAC1* o aumento de N é feito com as falhas de chamadas em *handoff*. Já no caso do algoritmo *CAC2*, os incrementos de N são feitos de acordo com a proximidade do requisito de QoS para o percentual de falhas de chamadas em *handoff*, Q_{FH} . Além dos parâmetros δ e β , (5-1), já utilizados no algoritmo *CAC1* para decrementar N se $B_{BN} > \beta Q_{BN}$; o algoritmo *CAC2* introduz o parâmetro α , (5-2). O número de canais de guarda no setor, N , é incrementado de δ quando a medida de falha de *handoff* ultrapassa o limite pré-definido, $B_{FH} > \alpha Q_{FH}$.

O valores de incremento e decremento, δ , e os valores dos parâmetros α e β são definidos no início da simulação. Para aumentar a utilização dos canais do sistema, a simulação sempre inicia sem canais de guarda, N nulo. Quando são percebidas medidas instantâneas próximas aos parâmetros de qualidade de serviço, QoS, o número de canais de guarda do setor é modificado por *CAC2* de forma a atender o tipo de chamada, nova ou *handoff*, que apresenta pior desempenho instantâneo em relação aos níveis de QoS exigidos.

5.3.1

Descrição do Algoritmo CAC2

Chegada de chamada em *handoff*

- O Controle de Admissão verifica se existe canal e aloca ou bloqueia.
- Registra o sucesso ou falha de alocação na janela de chamadas em *handoff*.
- Calcula a medida de falha de *handoff*, B_{FH} .

- Compara B_{FH} ao requisito de Qualidade de Serviço, Q_{FH} . Se $B_{FH} \geq \alpha Q_{FH}$, N é incrementado.

Chegada de chamada nova

- O Controle de Admissão verifica se existem canais ordinários e aloca ou bloqueia.
- Registra o sucesso ou falha de alocação na janela de chamadas novas.
- Calcula a medida de bloqueio de novas chamadas, B_{BN} .
- Compara B_{BN} ao requisito de Qualidade de Serviço, Q_{BN} . Se $B_{BN} \leq \beta Q_{BN}$, N é decrementado.

O diagrama de blocos do algoritmo *CAC2*, proposto neste trabalho, é exibido na figura 5.3.

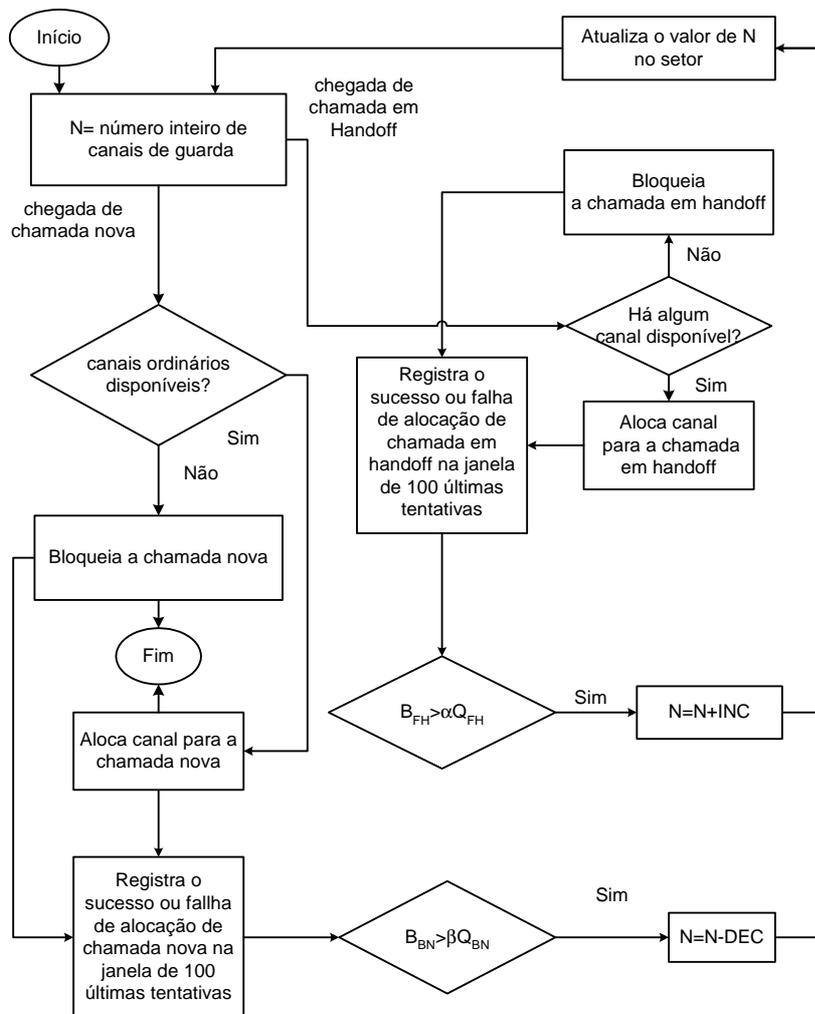


Figura 5.3: Diagrama de blocos do algoritmo *CAC2*.

São propostas duas versões para o algoritmo $CAC2$, uma classe de usuários. A primeira versão trabalha apenas com números inteiros de canais de guarda no setor, seus incrementos e decrementos são de uma Unidade de Banda, esta versão é denominada $CAC2_{Int}$. Uma variação do algoritmo $CAC2_{Int}$ é a proposta de incrementos e decrementos como valores fracionários de N , $CAC2_{Frac}$. Neste caso, o valor do decremento, δ , é definido no início da simulação. O objetivo da variação fracionária é ajustar o valor de N de uma forma mais suave, acompanhando as modificações do perfil de tráfego no setor. A tabela 5.4 apresenta os valores dos incrementos e decrementos dos algoritmos $CAC2_{Int}$ e $CAC2_{Frac}$.

Tabela 5.4: Incrementos e decrementos dos algoritmos $CAC2_{Int}$ e $CAC2_{Frac}$.

	$CAC2_{Int}$	$CAC2_{Frac}$
$B_{FH} > \alpha Q_{FH}$	+1	$+\delta$
$B_{BN} > \beta Q_{BN}$	-1	$-\delta$

5.3.2

Resultados de CAC2

Nesta seção são apresentados os resultados do desempenho de $CAC2$. O comportamento do algoritmo é verificado de acordo com cada um dos parâmetros: de proximidade, α e β ; do decremento do número de canais de guarda, δ ; e a taxa de mobilidade, θ . Com base nestes resultados, são definidos os valores dos parâmetros α , β e δ que serão utilizados pelo algoritmo $CAC2$.

Os valores representados nas tabelas 5.5 e 5.6 são determinados pela razão entre a maior intensidade de tráfego, ρ_Q , do algoritmo $CAC2$ dentro dos requisitos de QoS e o valor máximo de intensidade de tráfego ideal, ρ_Q^* , para cada caso de taxa de mobilidade e requisito de qualidade de serviço, (θ, Q) .

Na tabela 5.5 são apresentados os resultados do desempenho do algoritmo de Controle de Admissão de Canal, $CAC2$ para as condições de taxa de mobilidade baixa, $(\theta = 0, 2)$. São testados diversos valores dos parâmetros α , β e δ para quatro valores de requisitos de QoS diferentes, $(Q_{BN}; Q_{FH}) = (5\%; 3\%), (3\%; 1\%), (4\%; 0.4\%)$ e $(1\%; 0.5\%)$. Na tabela 5.6 estão os mesmos casos de $CAC2$ para as condições de taxa de mobilidade elevada, $(\theta = 6)$.

Observando os resultados apresentados nas tabelas 5.5 e 5.6 determina-se os valores dos parâmetros $\alpha = 1.1$, $\beta = 0.8$ e $\delta = 0.5$.

Tabela 5.5: Comparação da razão de intensidade de tráfego máxima dentro dos requisitos de QoS de CAC2, com taxa de mobilidade $\theta = 0.2$.

Algoritmo	α	β	δ	Q_{31}	Q_{404}	Q_{105}	Q_{53}	I_{medio}
CAC2	0.9	0.8	0.5	91.135	81.066	96.417	94.312	90.732
CAC2	1.0	0.8	0.5	92.459	81.013	95.396	94.532	90.850
CAC2	1.1	0.8	0.5	92.136	80.842	94.940	95.410	90.832
CAC2	1.1	0.8	0.1	91.273	79.763	95.282	95.240	90.389
CAC2	1.1	0.8	0.7	92.045	80.001	95.948	95.333	90.832
CAC2	1.1	0.9	0.5	92.446	80.436	95.643	95.424	90.987

Tabela 5.6: Comparação da razão de intensidade de tráfego máxima dentro dos requisitos de QoS de CAC2, com taxa de mobilidade $\theta = 6.0$.

Algoritmo	α	β	δ	Q_{31}	Q_{404}	Q_{105}	Q_{53}	I_{medio}
CAC2	0.9	0.8	0.5	96.145	97.141	93.899	91.106	94.573
CAC2	1.0	0.8	0.5	97.104	97.683	93.339	91.788	94.979
CAC2	1.1	0.8	0.5	96.237	97.699	94.420	91.651	95.002
CAC2	1.1	0.8	0.1	96.657	96.718	95.362	92.033	95.193
CAC2	1.1	0.8	0.7	97.206	97.383	94.249	92.595	95.358
CAC2	1.1	0.9	0.5	96.586	97.254	94.522	92.522	95.221

Quando CAC2 utiliza esses valores apresenta o maior parâmetro I , em média, nos vários casos abordados nas tabelas de resultados.

5.4

Algoritmo CAC3

O objetivo do algoritmo CAC3 é manter a medida instantânea de falha de *handoff*, B_{FH} , abaixo do nível de QoS, Q_{FH} , e simultaneamente, aumentar a utilização dos canais. O algoritmo utiliza um número fracionário de canais de guarda que varia dinamicamente.

Pretende-se atender o requisito de QoS para falhas de *handoff*, Q_{FH} e aumentar a utilização admitindo até o valor máximo aceitável para falhas de *handoff*. O número de canais de guarda, N , é alterado de modo a manter a medida instantânea de falha de *handoff*, B_{FH} , imediatamente abaixo do respectivo parâmetro de qualidade de serviço, Q_{FH} . A cada alteração do valor de N são aguardadas Δ_u tentativas de *handoff* para fazer nova alteração de forma a que o sistema possa se adaptar ao novo valor de canais de guarda escolhido. O valor de Δ_u foi adotado como 20. O valor de N , número de canais de guarda no setor, se inicia com zero e não é modificado enquanto a medida de falha de chamadas em *handoff* estiver dentro do requisito de qualidade de serviço, equação (5-7). Neste ponto, o algoritmo começa a modificar o número de canais de guarda no setor procurando

manter B_{FH} ligeiramente menor que Q_{FH} , desde que a outra restrição de bloqueio de chamadas novas, equação (5-8), também esteja sendo atendida.

$$B_{FH} < Q_{FH} \quad (5-7)$$

$$B_{BN} < Q_{BN} \quad (5-8)$$

$$\delta = \left| 1 - \frac{B_{FH}}{Q_{FH}} \right| \quad (5-9)$$

O número de canais de guarda, N , do setor sofre acréscimos e decréscimos, δ , que variam com o desempenho do sistema como definido na equação (5-9). Quando a medida B_{FH} está muito afastada do requisito Q_{FH} , δ é grande e vice-versa.

No caso de uma intensidade de tráfego mais elevada, quando ambas restrições de QoS para chamadas em *handoff* e novas, expressas nas equações (5-7) e (5-8), não estiverem sendo atendidas, o sistema não altera o valor do número de canais de guarda. Ou seja, o algoritmo CAC3 mantém o último valor de N obtido antes que os limites fossem atingidos.

O diagrama de blocos do algoritmo CAC3 proposto neste trabalho é apresentado na figura 5.4.

5.4.1

Descrição do Algoritmo CAC3

Chegada de chamada nova

- O Controle de Admissão verifica se existem canais ordinários e aloca ou bloqueia.
- Registra o sucesso ou falha de alocação na janela de chamadas novas.

Chegada de chamada em *handoff*

- O Controle de Admissão verifica se existe canal e aloca ou bloqueia.
- Registra o sucesso ou falha de alocação na janela de chamadas em *handoff*.

Calcula a medida de falha de *handoff*, B_{FH} .

Calcula a medida de bloqueio de novas chamadas, B_{BN} .

Calcula $\delta = |1 - (B_{FH}/Q_{FH})|$.

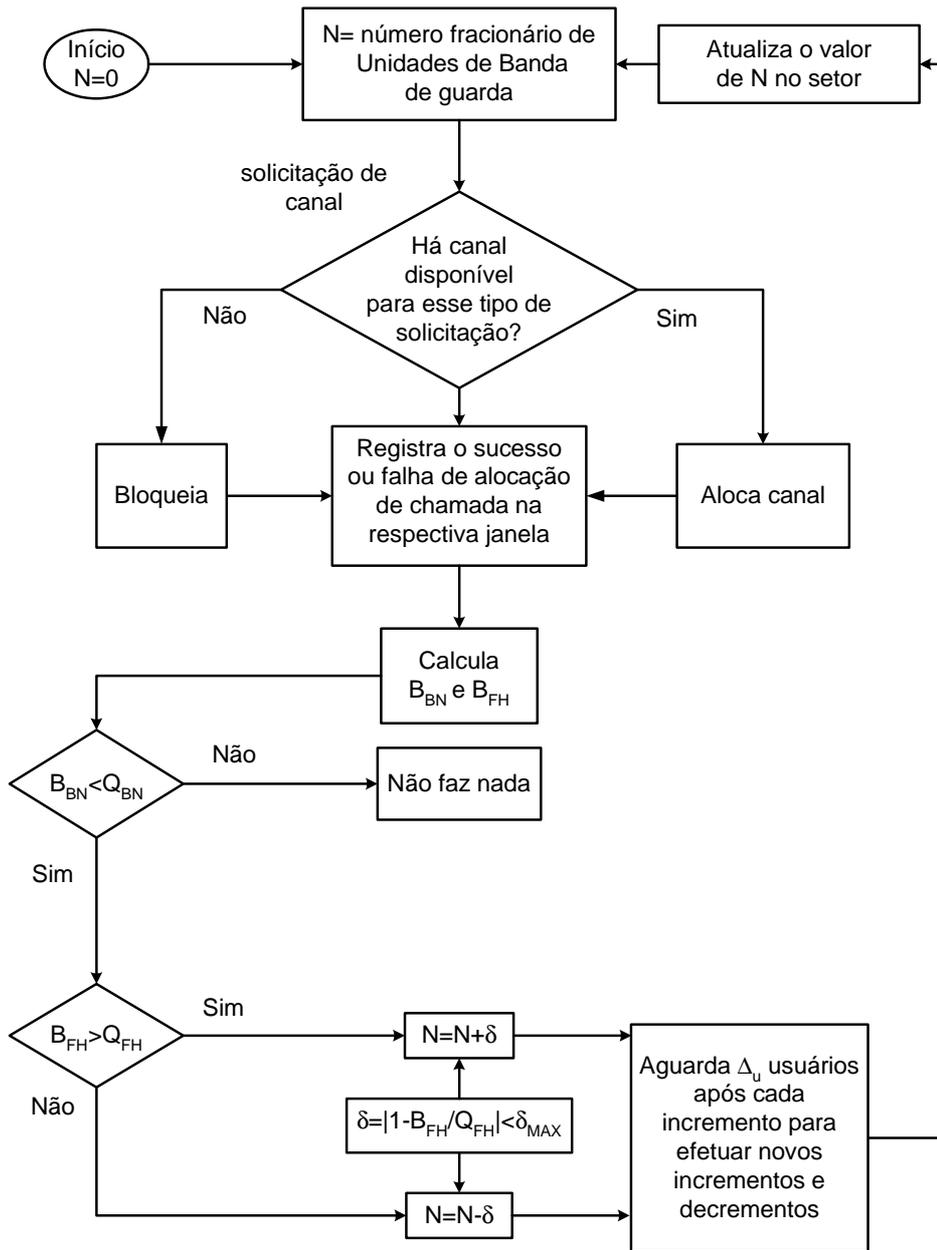


Figura 5.4: Diagrama de blocos de CAC3.

Se $B_{BN} < Q_{BN}$

- Se $B_{FH} > Q_{FH}$, N é acrescido de δ . Aguarda Δ_u tentativas de *handoff*.
- Se $B_{FH} < Q_{FH}$, N é decrementado de δ . Aguarda Δ_u tentativas de *handoff*.
- Repete os passos anteriores, sucessivamente. N é acrescido ou decrementado de δ , aguardando Δ_u novas tentativas de *handoff* para o sistema reagir.

5.4.2 Resultados de CAC3

O algoritmo proposto *CAC3* foi testado quanto aos requisitos de QoS e quanto a taxa de mobilidade dos usuários, θ .

Tabela 5.7: Comparação da razão de intensidade de tráfego máxima dentro dos requisitos de QoS de *CAC3*, com taxa de mobilidade $\theta = 0.2$ e $\theta = 6$.

Algoritmo	θ	Q_{31}	Q_{404}	Q_{105}	Q_{53}	I_{medio}
CAC3	0.2	92.373	83.208	96.432	96.582	92.148
CAC3	6.0	98.425	96.604	99.700	99.270	98.500

5.5 Algoritmo CAC4

No algoritmo de Controle de Admissão de Chamada *CAC4*, apresentado na figura 5.5, o número de canais de guarda, N , varia de acordo com a monitoração periódica da probabilidade de sobrecarga do sistema cuja expressão P_0 foi desenvolvida no capítulo 3. Seu resultado é dado pela equação (3-53) que é repetido, neste capítulo, como (5-10).

$$P_0 = \frac{P_{BN} + \theta P_{FH}}{1 + \theta} \quad (5-10)$$

As solicitações de chamadas chegam e são alocadas, ou não, conforme as condições do tráfego no setor. Cada solicitação de chamada é registrada nas janelas de medidas correspondentes, assim como os sucessos e fracassos de alocação de chamadas novas e em *handoff*. Os parâmetros P_{BN} e P_{FH} e θ da probabilidade de sobrecarga dada em (3-53) são substituídos pelas medidas B_{BN} , B_{FH} e $\theta_{estimado}$, obtidos pelas janelas deslizantes de registros.

O cálculo das medidas instantâneas P_o , B_{BN} , B_{FH} , λ_N , λ_H , é feito periodicamente e o número de canais de guarda, N , do setor (ou célula) é atualizado. O período da atualização do valor do número de canais de guarda, N , é definido pela chegada de Δ_u usuários, incluindo novos e *handoff*. O valor de Δ_u foi adotado como 20 após algumas tentativas de simulação.

Para aumentar a utilização dos canais do sistema, o algoritmo *CAC4* inicia a simulação com N igual a zero canais de guarda. À medida que o sistema apresenta sobrecarga, o valor de N é modificado. Os acréscimos e decréscimos são dados por um valor constante e fracionário, δ , definido no início da simulação.

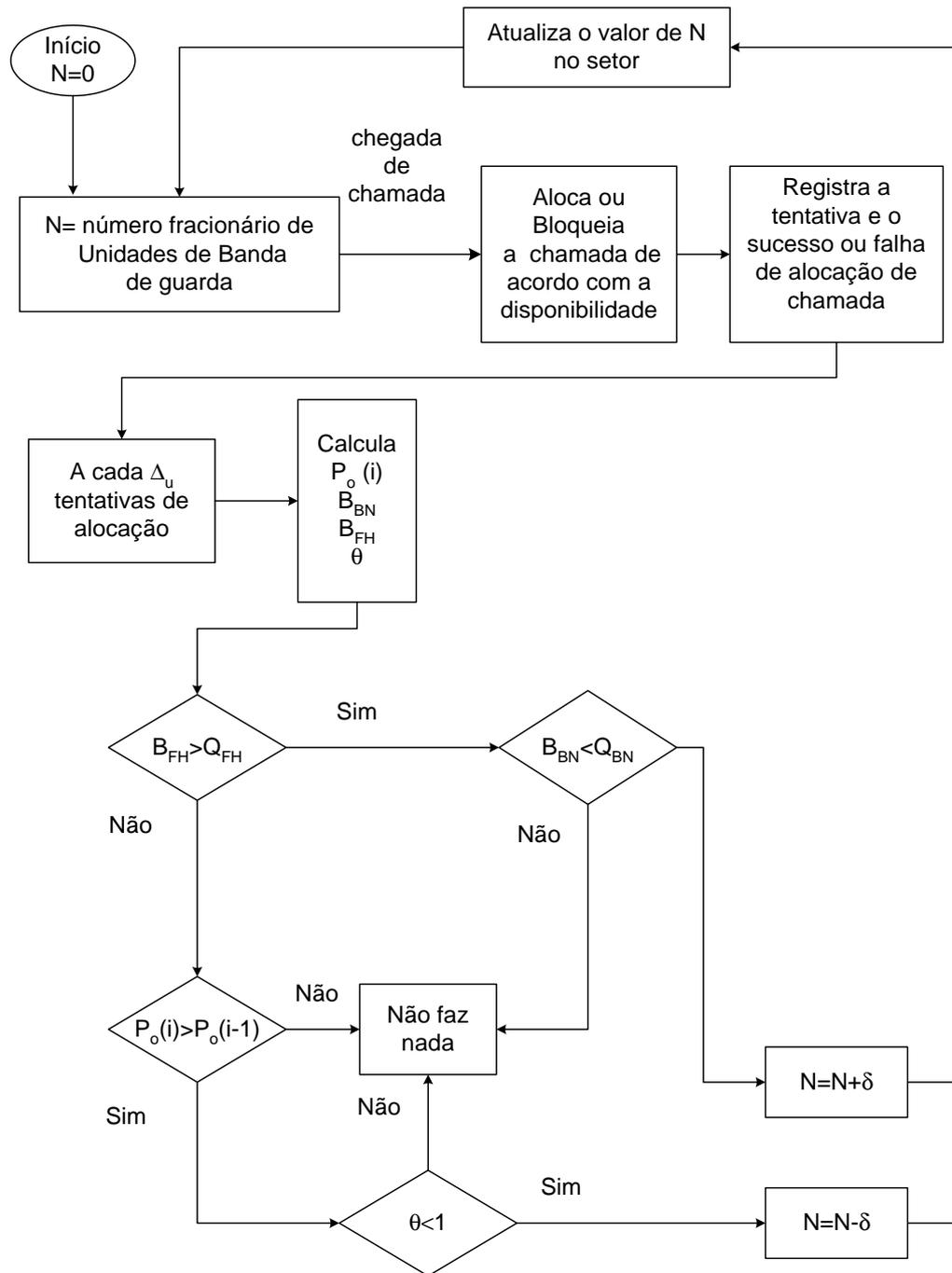


Figura 5.5: Diagrama de blocos de CAC4.

5.5.1 Descrição do Algoritmo CAC4

Inicialização $N = 0$.

Chegada de chamada aloca , ou não, e registra. A cada Δ_u

- calcula as medidas instantâneas P_o , B_{BN} , B_{FH} .
- Se $B_{FH} > Q_{FH}$ (fora do limite).

Se $B_{BN} > Q_{BN}$, não faz nada.

Se $B_{BN} < Q_{BN}$, incrementar N :

se $N \neq 0$, N é incrementado de δ , $N = N + \delta$.

– Se $B_{FH} < Q_{FH}$ (dentro do limite).

Se $P_o(i) \leq P_o(i - 1)$, não faz nada.

Se $P_o(i) > P_o(i - 1)$, verifica o valor de θ :

se $\theta < 1$, N é decrementado de δ , $N = N - \delta$.

5.5.2

Resultados de CAC4

O algoritmo proposto CAC4 foi testado através de simulação e seus resultados são apresentados nas tabelas 5.8 e 5.9. Os valores representados são dados pela razão entre a maior intensidade de tráfego, ρ_Q , do algoritmo CAC4 dentro dos requisitos de QoS e o valor máximo de intensidade de tráfego ideal, ρ_Q^* , para cada caso de taxa de mobilidade e requisito de qualidade de serviço, (θ, Q) .

O comportamento do algoritmo é verificado de acordo com seu parâmetro do decremento do número de canais de guarda, δ ; e a taxa de mobilidade, θ , para que seja definido o valor do parâmetro δ que será utilizado pelo algoritmo.

Na tabela 5.8 são apresentados os resultados do desempenho do algoritmo de Controle de Admissão de Canal, CAC4 para as condições de taxa de mobilidade baixa, $(\theta = 0, 2)$. São testados diversos valores do parâmetro δ para quatro valores de requisitos de QoS diferentes, $(Q_{BN}; Q_{FH}) = (5\%; 3\%), (3\%; 1\%), (4\%; 0.4\%)$ e $(1\%; 0.5\%)$. Na tabela 5.9 estão os mesmos casos de CAC4 para as condições de taxa de mobilidade elevada, $(\theta = 6)$.

Tabela 5.8: Comparação da razão de intensidade de tráfego máxima dentro dos requisitos de QoS de CAC4, com taxa de mobilidade $\theta = 0.2$.

Algoritmo	δ	Q_{31}	Q_{404}	Q_{105}	Q_{53}	I_{medio}
CAC4	0.02	99.003	90.331	95.887	99.219	96.110
CAC4	0.01	97.214	91.809	98.278	99.980	96.820
CAC4	0.03	96.526	91.736	95.333	98.569	95.541

Observando os resultados apresentados nas tabelas 5.8 e 5.9 determina-se o valor do parâmetro $\delta = 0.01$. Quando CAC4 utiliza esse valor apresenta o maior parâmetro I, em média, nos vários casos abordados nas tabelas de resultados.

Tabela 5.9: Comparação da razão de intensidade de tráfego máxima dentro dos requisitos de QoS de CAC4, com taxa de mobilidade $\theta = 6.0$.

Algoritmo	δ	Q_{31}	Q_{404}	Q_{105}	Q_{53}	I_{medio}
CAC4	0.02	96.695	99.344	95.153	93.328	96.130
CAC4	0.01	99.962	99.600	97.680	96.160	98.351
CAC4	0.03	94.589	97.637	92.731	91.163	94.030

5.6

Algoritmo CAC5

O objetivo do algoritmo *CAC5*, proposto neste trabalho, é garantir a obediência às restrições de QoS e buscar minimizar a probabilidade de sobrecarga do sistema.

O algoritmo de Controle de Admissão de Chamada, *CAC5* não emprega a técnica de canais de guarda como os demais algoritmos propostos neste capítulo, *CAC1*, *CAC2*, *CAC3*, *CAC4* e *CAC6*. O algoritmo *CAC5* emprega a decisão probabilística sobre a aceitação do usuário de acordo com as medidas de desempenho do sistema. Em alguns casos, quando a taxa de mobilidade dos usuários da rede móvel é elevada, o algoritmo *CAC5* simula o comportamento de canais de guarda. Por outro lado, quando a taxa de mobilidade é baixa, dependendo do desempenho em relação aos parâmetros de qualidade de serviço, *CAC5* bloqueia as chamadas de *handoff* visando atender uma eventual chamada nova.

O Controle de Admissão observa a mobilidade instantânea dos usuários do sistema para sua tomada de decisão. A medida de θ é feita contando a razão entre a chegada de usuários novos e a chegada de usuários em *handoff* durante certo intervalo de tempo, $\theta = \frac{\lambda_H}{\lambda_N}$.

Quando há elevada mobilidade, $\theta \geq 1$, o algoritmo *CAC5* se comporta como um sistema de canais de guarda fracionário com um número de canais de guarda que é função da mobilidade, $N = \frac{\theta}{1+\theta}$.

Para instantes de mobilidade menor, $\theta < 1$, o sistema observa o seu desempenho instantâneo B_{FH} relativo ao requisito de QoS correspondente ao *handoff*, Q_{FH} . Se o requisito de *handoff* não está sendo atendido, $B_{FH} \geq Q_{FH}$, a chamada em *handoff* é aceita. Se o requisito de *handoff* está sendo atendido, $B_{FH} < Q_{FH}$, para aumentar a utilização do sistema, eventuais chamadas novas são aceitas e chamadas em *handoff* são aceitas com probabilidade $P = \frac{\theta}{1+\theta}$.

O diagrama de blocos do algoritmo *CAC5* é representado na figura 5.6.

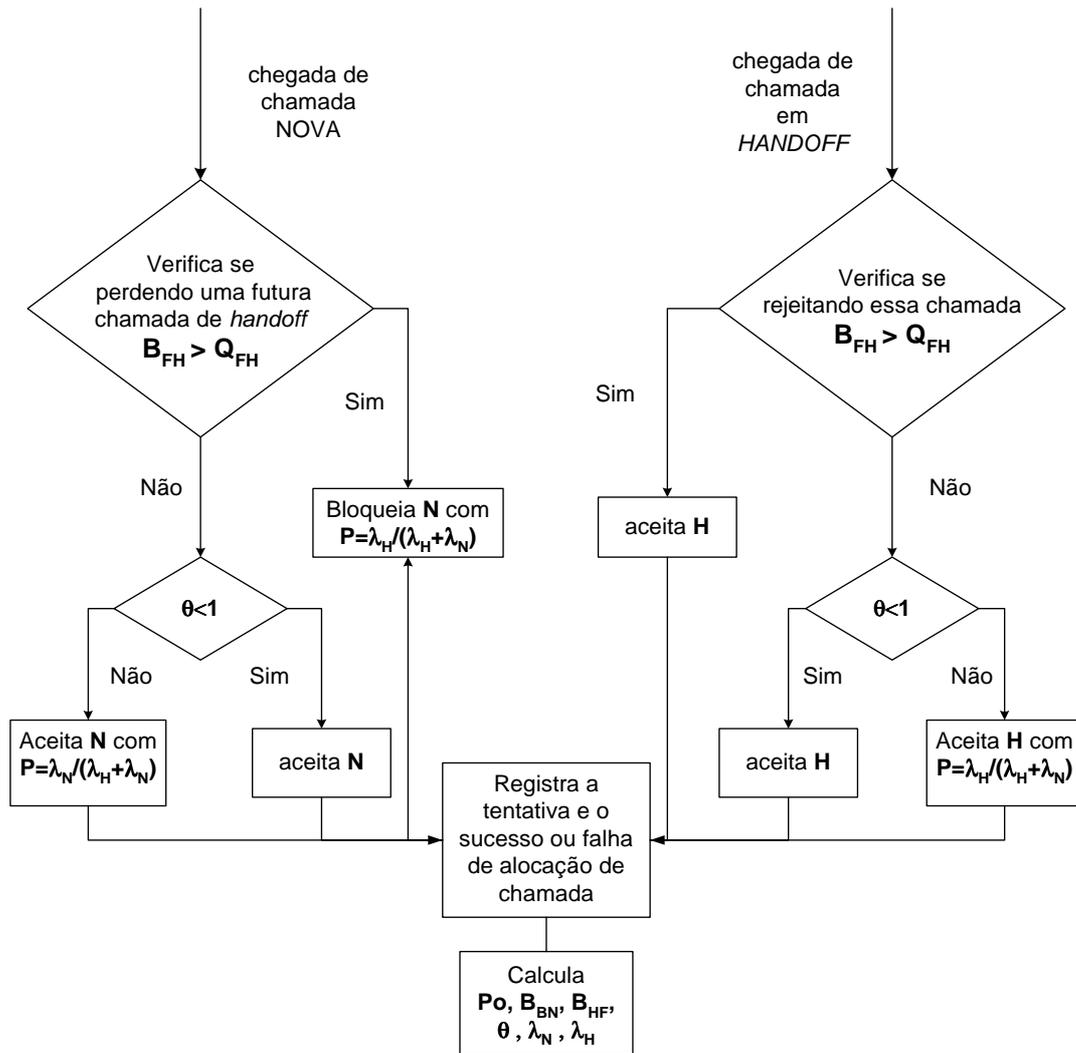


Figura 5.6: Diagrama de blocos de CAC5.

5.6.1 Descrição do Algoritmo CAC5

Solicitação de recurso, verifica se a chamada cabe no sistema. Se não cabe, a chamada é bloqueada.

Se cabe, verifica se a chamada é nova, N, e verifica se, perdendo uma futura chamada de *handoff*, H, $B_{FH} > Q_{FH}$.

- Se for verdade, bloqueia N com probabilidade $P = \frac{\lambda_H}{\lambda_N + \lambda_H} = \frac{\theta}{1 + \theta}$.
- Se não, verifica
 - se $\theta < 1$ aceita N,
 - se $\theta > 1$ bloqueia N com probabilidade $P = \frac{\lambda_H}{\lambda_N + \lambda_H} = \frac{\theta}{1 + \theta}$.

Se a chamada é *handoff*, H, verifica se, rejeitando esta chamada, $B_{FH} > Q_{FH}$.

- Se for verdade, aceita H.
- Caso contrário, verifica

$\theta > 1$ aceita H;

$\theta < 1$ rejeita H com probabilidade $P = \frac{\lambda_N}{\lambda_N + \lambda_H} = \frac{1}{1 + \theta}$.

Em resumo, a cada solicitação de chamada o algoritmo verifica: o tipo de chamada e os parâmetros de desempenho instantâneo do sistema dado pelas medidas da taxa de mobilidade θ e do percentual de falha de chamadas em *handoff* B_{FH} que é comparado ao requisito de QoS Q_{FH} . Como o objetivo é aumentar a utilização e simultaneamente atender aos requisitos de QoS, para sistemas de elevada mobilidade, $\theta > 1$, a decisão tende a favorecer as chamadas em *handoff*. Já no caso de baixa mobilidade, $\theta < 1$, a decisão tende a favorecer as chamadas novas, que são maioria, desde que o requisito de QoS esteja sendo atendido, $B_{FH} < Q_{FH}$.

5.6.2

Solução Analítica Equivalente ao Algoritmo CAC5

Em alguns casos particulares, é possível obter uma solução analítica para o algoritmo dinâmico CAC5. Desta forma, as simulações desses casos particulares podem ser comparadas às respectivas soluções analíticas.

Observa-se que, para valores fixos de θ , o algoritmo de controle de admissão de chamadas CAC5 leva o sistema a situações bem definidas e que não dependem das decisões tomadas nos instantes anteriores. Portanto, nesses casos, é possível obter solução analítica por Cadeia de Markov. Assim, seus resultados serão comparados com a simulação do algoritmo dinâmico CAC5, fixando o valor da variável aleatória θ que define a razão entre a taxa de chegada de usuários em *handoff* e de usuários novos.

A solução por Cadeia de Markov é definida separando-se os casos onde a taxa de mobilidade dos usuários da rede é elevada ou baixa, $\theta > 1$ e $\theta < 1$.

Solução Analítica Equivalente a CAC5, Elevada Mobilidade

No caso de alta taxa de mobilidade de usuários, $\theta > 1$, para qualquer intensidade de tráfego ρ , desde que haja canal disponível, as chamadas em *handoff* são aceitas. As chamadas novas são bloqueadas com probabilidade $P = \frac{\lambda_H}{\lambda_N + \lambda_H} = \frac{\theta}{1 + \theta}$. Portanto, o caso $\theta > 1$ equivale ao sistema de guarda fracionária onde o número de canais de guarda $N = N_{GUARDA}$ é definido em 5-11. Neste caso, a probabilidade de falha de *handoff* é igual a probabilidade

do sistema estar lotado, definida na equação 5-12 e a probabilidade de bloqueio de uma chamada nova é dada por 5-13.

$$N_{GUARDA} = \frac{\theta}{1 + \theta} \quad (5-11)$$

$$P_{FH} = P(N_c) \quad (5-12)$$

$$P_{BN} = P(N_c) + \left(\frac{\theta}{1 + \theta} \right) P(N_c - 1) \quad (5-13)$$

Solução Analítica Equivalente a CAC5, Baixa Mobilidade

Para obter a solução analítica de *CAC5* no caso do sistema com usuários de baixa mobilidade, $\theta < 1$, é necessário analisar duas situações distintas, definidas pelo valor da medida do percentual de falha de *handoff* instantâneo, B_{FH} . A medida B_{FH} é comparada ao requisito de qualidade de serviço Q_{FH} . O valor de intensidade de solicitação de recursos, ρ , para o qual a medida instantânea coincide com o requisito de QoS, $B_{FH} = Q_{FH}$, é chamado de ρ_{FH} neste trabalho. Na primeira situação, a medida B_{FH} é menor que o requisito de qualidade de serviço Q_{FH} , ou seja $\rho < \rho_{FH}$. Na segunda situação, o requisito de QoS, Q_{FH} , não está sendo cumprido, $\rho > \rho_{FH}$.

Na primeira situação, caso ($\theta < 1$, $\rho < \rho_{FH}$), as condições são: o requisito de QoS está sendo atendido, o sistema possui usuários de pouca mobilidade e a intensidade de tráfego é pequena. Neste caso, a chamada nova é aceita e a chamada em *handoff* é bloqueada com probabilidade $P = \frac{\lambda_N}{\lambda_N + \lambda_H} = \frac{1}{1 + \theta}$. Este caso equivale ao sistema conhecido na bibliografia como RESERVA de canais, onde uma chamada em *handoff* pode ser bloqueada para proteger uma chamada nova.

A reserva de canais para o usuário novo equivale justamente ao oposto do sistema de canais de guarda. É adotada no algoritmo *CAC5* no caso em que a taxa de mobilidade é pequena e o requisito de QoS para *handoff* está sendo atendido, $B_{FH} < Q_{FH}$, caso ($\theta < 1$, $\rho < \rho_{FH}$).

$$N_{RESERVA} = \frac{1}{1 + \theta} \quad (5-14)$$

$$P_{FH} = P(N_c) + \left(\frac{1}{1 + \theta} \right) P(N_c - 1) \quad (5-15)$$

$$P_{BN} = P(N_c) \quad (5-16)$$

O número de canais reservados para as chamadas novas $N_{RESERVA}$ é dado por 5-14 e o valor da probabilidade de falha de chamada em *handoff* e da probabilidade de bloqueio de chamadas novas, P_{FH} e P_{BN} , são dados pelas equações 5-15 e 5-16.

Na segunda situação, caso ($\theta < 1, \rho > \rho_{FH}$), a taxa de mobilidade é baixa, porém o requisito de QoS não está sendo atendido, $B_{FH} > Q_{FH}$. Neste caso, a chamada em *handoff* é aceita e a chamada nova é bloqueada com probabilidade $P = \frac{\lambda_H}{\lambda_N + \lambda_H} = \frac{\theta}{1 + \theta}$. Este caso equivale ao sistema de GUARDA de canais dado por 5-17 onde P_{FH} e P_{BN} são dados pelas equações 5-18 e 5-19.

$$N_{GUARDA} = \frac{\theta}{1 + \theta} \quad (5-17)$$

$$P_{FH} = P(N_c) \quad (5-18)$$

$$P_{BN} = P(N_c) + \left(\frac{1}{1 + \theta} \right) P(N_c - 1) \quad (5-19)$$

Resultados da Solução Analítica Equivalente a CAC5

Para confirmar os resultados analíticos obtidos para o algoritmo dinâmico CAC5, as figuras 5.7 e 5.8 apresentam os resultados obtidos com a simulação de CAC5 no caso $\theta > 1, \theta = 2.0$, com restrições $Q_{BN} = 3\%$ e $Q_{FH} = 1\%$. O resultado de CAC5 $\theta = 2.0$ é apresentado juntamente com o resultado analítico obtido em MATLAB para os casos de GUARDA e de RESERVA correspondentes. Observa-se que para qualquer intensidade de tráfego as curvas de CAC5 acompanham as curvas de GUARDA, priorizando as chamadas em *handoff*, de acordo com o previsto no modelo analítico.

O caso $\theta < 1$ foi simulado em CAC5 utilizando o valor $\theta = 0.5$ e os requisitos de QoS de (3%,5%). Os resultados são apresentados nas figuras 5.9 e 5.10 onde são comparados aos casos de GUARDA e de RESERVA correspondentes. Observa-se que para valores de tráfego pouco intensos as curvas de CAC5 acompanham as curvas de RESERVA de canal, priorizando as chamadas novas. À medida que o tráfego cresce e o requisito de qualidade de serviço não é mais atendido, $P_{FH} > Q_{FH}$, a curva de CAC5 passa a

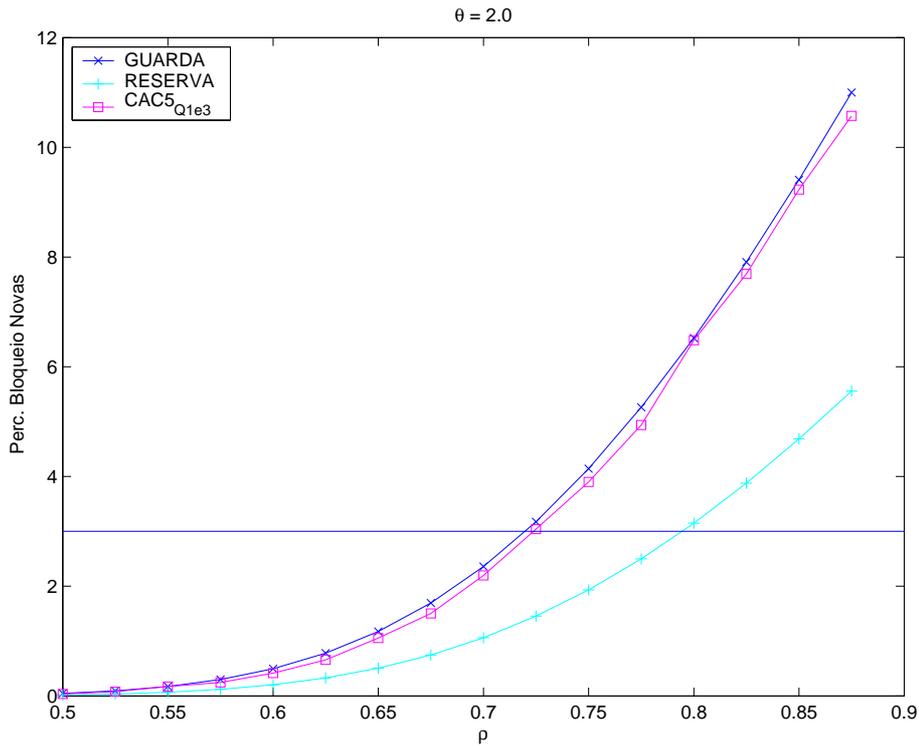


Figura 5.7: Percentual de Bloqueio de Novas chamadas CAC5 Q3e1, $\theta = 2.0$.

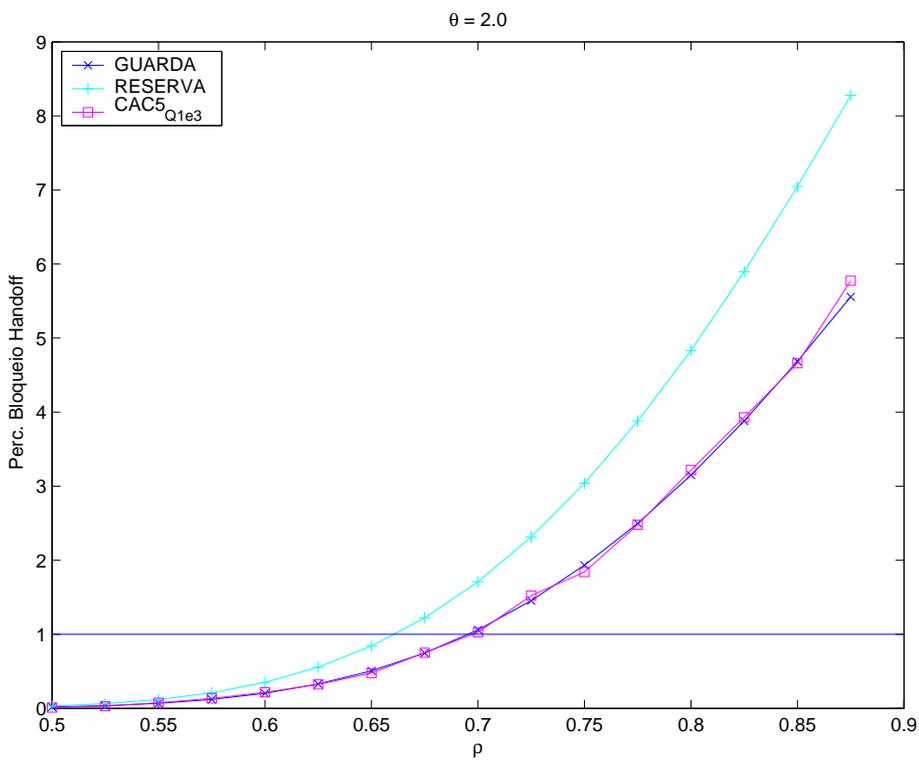


Figura 5.8: Percentual de Falha de Handoff CAC5 Q3e1, $\theta = 2.0$.

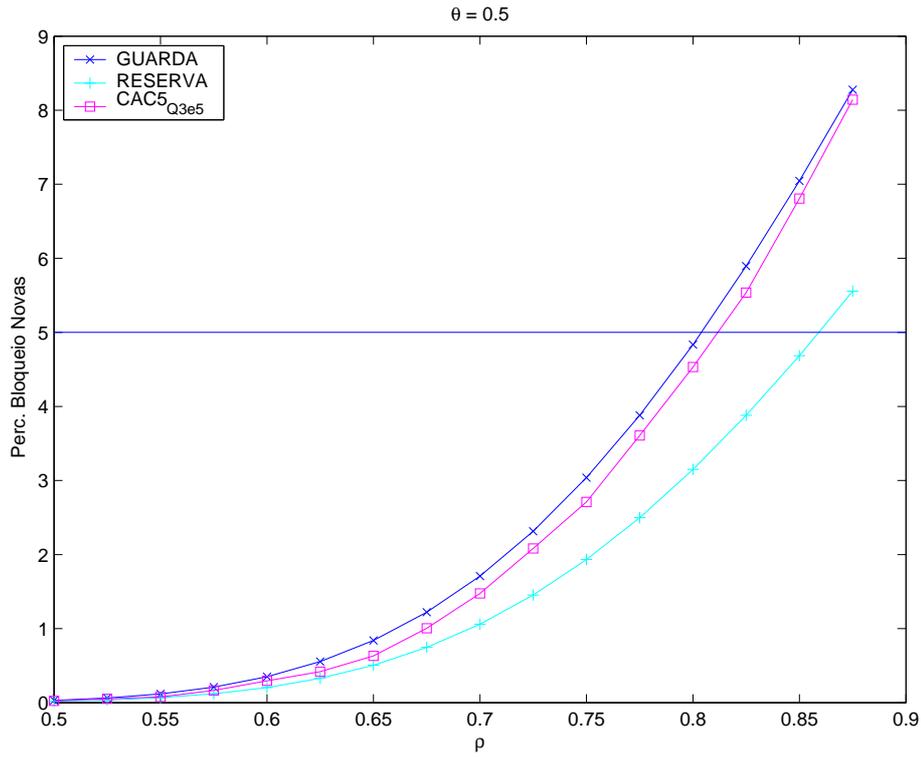


Figura 5.9: Percentual de Bloqueio de Novas chamadas CAC5 Q3e5, $\theta = 0.5$.

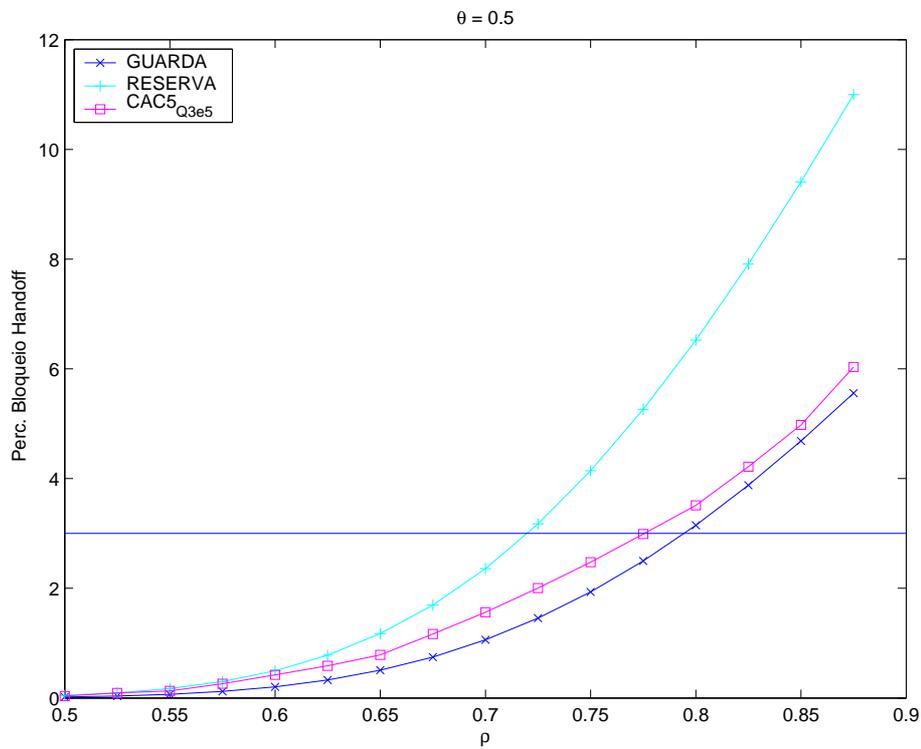


Figura 5.10: Percentual de Falha de *Handoff* CAC5 Q3e5, $\theta = 0.5$.

acompanhar a curva de GUARDA, priorizando as chamadas em *handoff*, exatamente como previsto no modelo analítico.

5.6.3

Resultados de CAC5

O comportamento do algoritmo proposto *CAC5* é verificado através de simulações de vários casos distintos.

Desempenho de CAC5 com os Requisitos de QoS

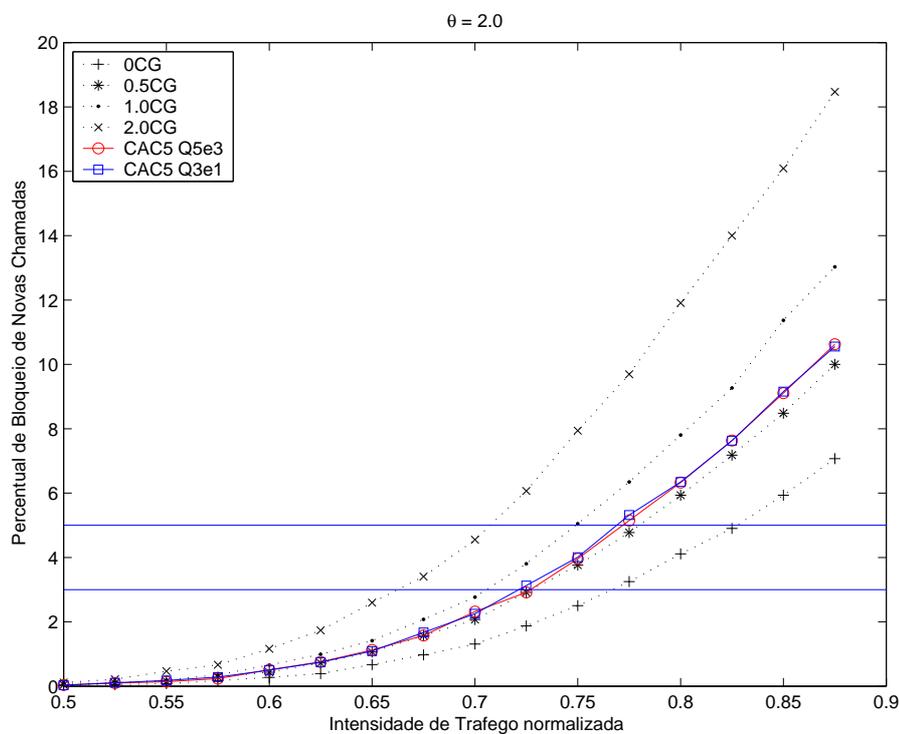


Figura 5.11: Percentual de Bloqueio de Novas Chamadas CAC5 Q5e3 e Q3e1, $\theta = 2.0$.

Nas figuras 5.11 e 5.12 são apresentados os resultados do algoritmo *CAC5* para dois pares de requisitos de QoS, $(Q_{BN}; Q_{FH})$ iguais a (5%; 3%) e (3%; 1%). A taxa de mobilidade é $\theta = 2.0$. Observa-se que o algoritmo não variou seu comportamento com o requisito de QoS. Isso se deve ao fato da taxa de mobilidade ser $\theta > 1$, quando isso acontece o algoritmo *CAC5* se porta de forma similar aos canais de guarda de $N = \frac{\theta}{1+\theta}$. Neste caso, a taxa de mobilidade é $\theta = 2.0$, o que leva a um número de canais de guarda $N = \frac{2.0}{1+2.0} = 0.66$, conforme o comportamento observado nas figuras 5.11 e 5.12.

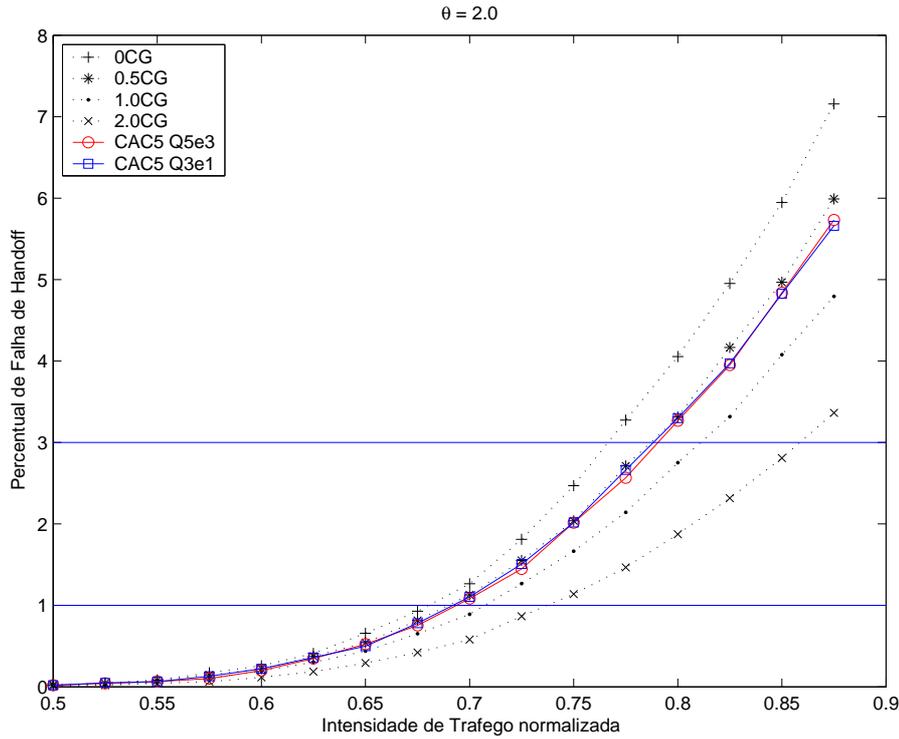


Figura 5.12: Percentual de Falha de *Handoff* CAC5 Q5e3 e Q3e1, $\theta = 2.0$.

Desempenho de CAC5 com a Taxa de Mobilidade θ

Para confirmar o comportamento de *CAC5* com a taxa de mobilidade fixa, as figuras 5.13 e 5.14 apresentam três curvas de *CAC5* para requisitos de QoS Q5e3, e três valores de taxa de mobilidade: $\theta = 0.2$; $\theta = 2.0$; e $\theta = 6.0$. Observa-se que nos casos em que $\theta > 1$, o algoritmo *CAC5* se porta de forma similar aos canais de guarda de $N = \frac{\theta}{1+\theta}$. No caso em a taxa de mobilidade é $\theta = 2.0$ tem-se o comportamento equivalente a um número de canais de guarda $N = \frac{2.0}{1+2.0} = 0.66$. Já para o caso $\theta = 6.0$ tem-se o comportamento equivalente a um número de canais de guarda $N = \frac{6.0}{1+6.0} = 0.86$. No caso $\theta = 0.2$, tem-se $\theta < 1$ e a curva de *CAC5* se porta como RESERVA $N = \frac{1}{1+\theta} = \frac{0.2}{1+0.2} = 0.83$ para $B_{FH} < Q_{FH}$ e GUARDA $N = \frac{\theta}{1+\theta} = 0.16$ para $B_{FH} > Q_{FH}$.

Tabela de Resultados de CAC5

O algoritmo proposto *CAC5* foi testado através de simulação e seus resultados são apresentados na tabela 5.10. Os valores representados são dados pela razão entre a maior intensidade de tráfego, ρ_Q , do algoritmo *CAC5* dentro dos requisitos de QoS e o valor máximo de intensidade de

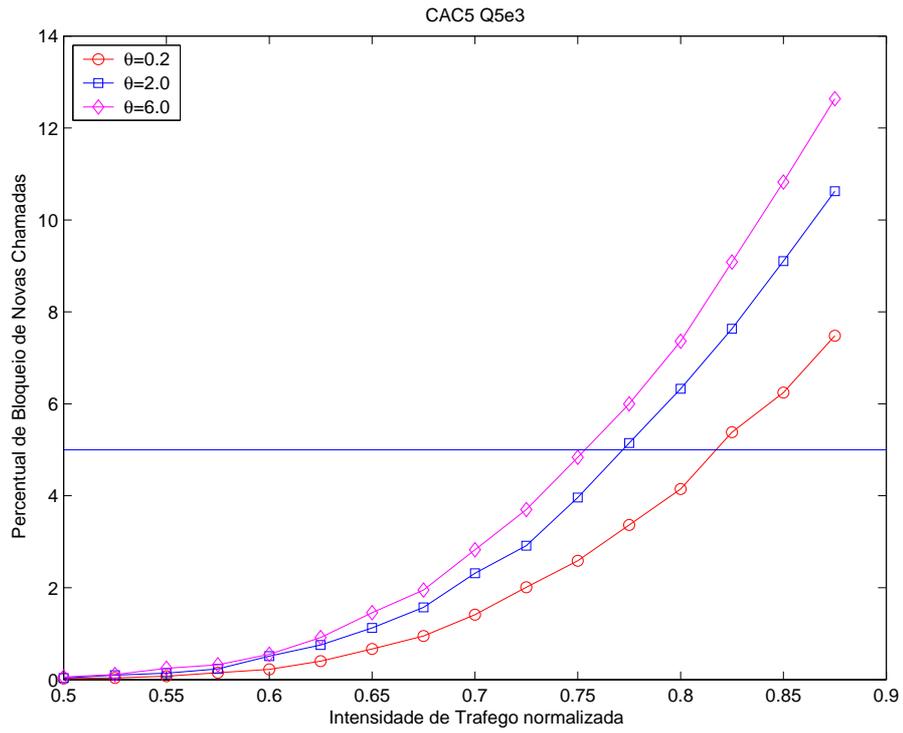


Figura 5.13: Percentual de Bloqueio de Novas chamadas CAC5 Q5e3, $\theta = 0.2$; $\theta = 2.0$; e $\theta = 6.0$.

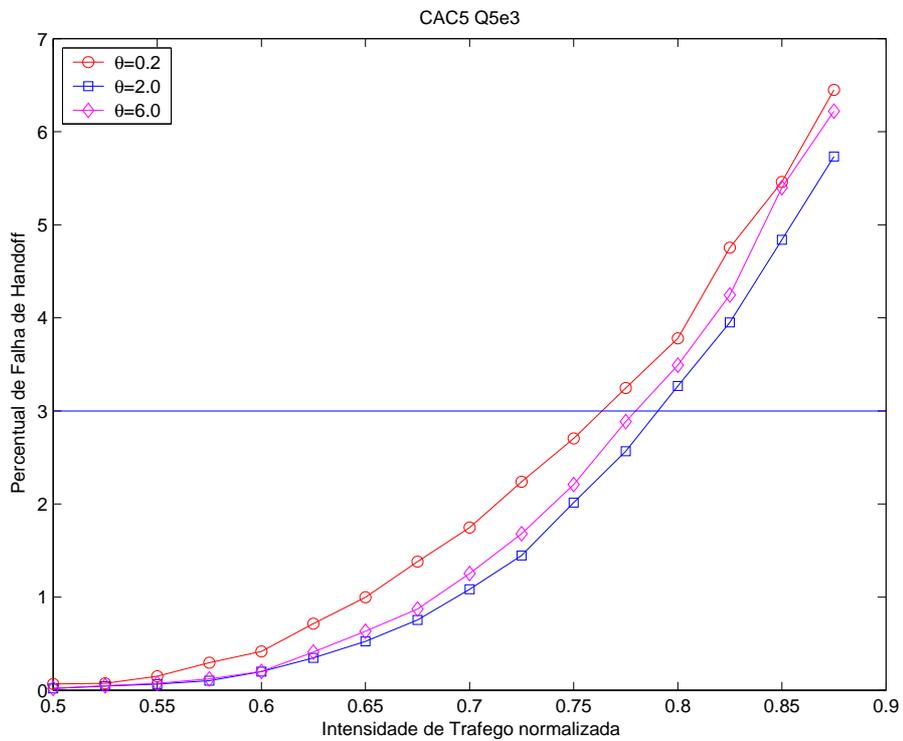


Figura 5.14: Percentual de Falha de Handoff CAC5 Q5e3, $\theta = 0.2$; $\theta = 2.0$; e $\theta = 6.0$.

tráfego ideal, ρ_Q^* , para cada caso de taxa de mobilidade e requisito de qualidade de serviço, (θ, Q) .

O algoritmo proposto CAC5 foi testado quanto aos requisitos de QoS e quanto à taxa de mobilidade dos usuários, θ . Na tabela 5.10 são apresentados os resultados do desempenho do algoritmo para as condições de taxa de mobilidade baixa, $(\theta = 0, 2)$ e de mobilidade elevada, $(\theta = 6)$. São testados quatro valores de requisitos de QoS diferentes, $(Q_{BN}; Q_{FH}) = (5\%; 3\%), (3\%; 1\%), (4\%; 0.4\%)$ e $(1\%; 0.5\%)$.

Tabela 5.10: Comparação da razão de intensidade de tráfego máxima dentro dos requisitos de QoS de CAC5, com taxa de mobilidade $\theta = 0.2$ e $\theta = 6$.

Algoritmo	θ	Q_{31}	Q_{404}	Q_{105}	Q_{53}	I_{medio}
CAC5	0.2	93.001	83.611	97.832	95.504	92.487
CAC5	6.0	99.625	96.704	98.845	97.287	98.190

5.7

Algoritmo CAC6

Nos casos em que se obtém valores de ρ_{BN} afastados de ρ_{FH} , um requisito deixa de ser atendido e o limite do outro requisito ainda está distante. Como a utilização é verificada pelo menor valor entre os dois, $U(\rho_Q)$, obtém-se um valor baixo de utilização para o algoritmo. Isso se deve ao fato da utilização ser uma função crescente da intensidade de solicitação de recursos de entrada, ρ .

No exemplo apresentado na figura 5.1, $\rho_{FH} < \rho_{BN}$. Se o algoritmo de controle de admissão for capaz de aumentar o valor de ρ_{FH} , ele irá automaticamente diminuir o valor de ρ_{BN} , através do aumento do número de canais de guarda. Este fato aproxima os valores ρ_{BN} e ρ_{FH} . Como o valor ρ_Q é o menor valor entre (ρ_{BN}, ρ_{FH}) e a utilização é uma função crescente de ρ , obtém-se um valor maior para a utilização, $U(\rho_Q)$.

No caso oposto em que $\rho_{FH} > \rho_{BN}$ o valor de ρ_Q é igual a ρ_{BN} e seu valor pode ser aumentado diminuindo o número de canais de guarda. Isto fará com que o valor de ρ_{FH} fique menor, novamente aproximando os dois valores e aumentando o valor de $U(\rho_Q)$. Portanto, quando os dois valores estão próximos, ρ_Q tende a ser maior, conseqüentemente o valor de utilização neste ponto, $U(\rho_Q)$, também é maior como pode ser observado na figura figura 5.15.

Nas curvas de traço contínuo da figura 5.15, os valores (ρ_{BN1}, ρ_{FH1}) são muito afastados entre si. Se o número de canais de guarda for ligeiramente

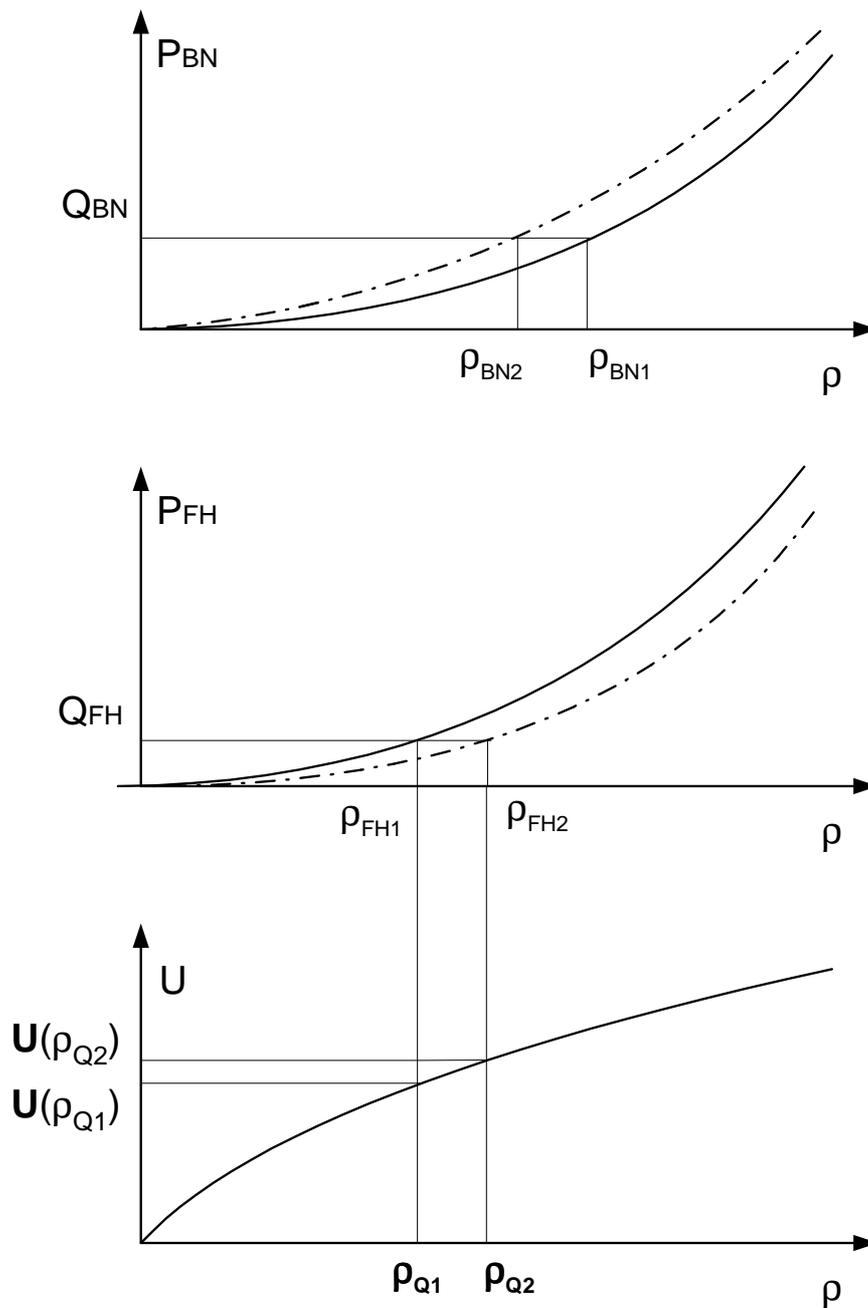


Figura 5.15: Utilização maior com a aproximação de ρ_{BN} e ρ_{FH} .

aumentado, a curva de utilização quase não varia, as curvas de (P_{BN2}, P_{FH2}) são representadas por traço-ponto. A intersecção das curvas (P_{BN2}, P_{FH2}) com os traços horizontais dos requisitos de QoS (Q_{BN}, Q_{FH}) são os valores (ρ_{BN2}, ρ_{FH2}) que são mais próximos entre si do que o par (ρ_{BN1}, ρ_{FH1}) , aumentando o valor de utilização, portanto $U(\rho_{Q2}) > U(\rho_{Q1})$.

Ao observar as tabelas de resultados dos cinco algoritmos anteriores

nota-se que, quando o algoritmo atinge o limite de cada condição de QoS para valores de intensidade de tráfego de entrada muito próximos entre si obtém-se os maiores valores de utilização no ponto em que ambas as condições de qualidade de serviço são atendidas, ρ_Q . Para conseguir um algoritmo que apresente um elevado valor de utilização no ponto ρ_Q , é necessário obter valores limites para a intensidade de recursos de entrada de cada uma das condições, ρ_{BN} e ρ_{FH} , muito próximos entre si.

5.7.1

Objetivo do Algoritmo CAC6

O objetivo do algoritmo proposto *CAC6* é conseguir valores altos de utilização para valores também elevados de intensidade de tráfego de entrada, ρ_Q , atendendo simultaneamente aos dois requisitos de qualidade de serviço Q_{BN} e Q_{FH} .

Pretende-se conseguir atingir tal objetivo alterando o número de canais de guarda do setor de forma dinâmica, procurando fazer com que os dois valores de intensidade de entrada, ρ_{BN} e ρ_{FH} , para os quais as condições Q_{BN} e Q_{FH} deixam de serem atendidas, sejam muito próximos.

5.7.2

Descrição do Algoritmo CAC6

O algoritmo inicia com número de canais de guarda no setor igual a zero. A cada Δ_u usuários entrando no setor, as medidas instantâneas B_{BN} e B_{FH} são comparadas aos respectivos requisitos de QoS. Então há o incremento, ou decremento, do número de canais de guarda N .

O valor do decremento, ou incremento, δ é proporcional ao afastamento das medidas em relação aos requisitos de QoS, e é dado por (5-20). Por outro lado, δ não ultrapassa o valor máximo de 0.1, para evitar variações bruscas no valor do número de canais de guarda.

$$\delta = \left[\min \left(\left| 1 - \frac{B_{BN}}{Q_{BN}} \right|; \left| 1 - \frac{B_{FH}}{Q_{FH}} \right| \right) \right] \leq 0.1 \quad (5-20)$$

Chegada de chamada nova ou *handoff*

- Verifica a disponibilidade de canal e aloca ou bloqueia.
- Registra o sucesso ou falha de alocação na respectiva janela de registro para a atualização das medidas B_{BN} e B_{FH} .

A cada Δ_u usuários entrando no setor

- Calcula a medida de bloqueio de novas chamadas, B_{BN} .
- Calcula a medida de falha de chamadas em *handoff*, B_{FH} .
- Calcula o tamanho do incremento δ
- Se $B_{BN} \leq Q_{BN}$ e $B_{FH} > Q_{FH}$, incrementa N , $N + \delta$.
- Se $B_{BN} > Q_{BN}$ e $B_{FH} \leq Q_{FH}$, decrementa N , $N - \delta$.
- Se $B_{BN} > Q_{BN}$ e $B_{FH} > Q_{FH}$, mantém N .

O diagrama de blocos do algoritmo proposto CAC6 é apresentado na figura 5.16

5.7.3 Resultados de CAC6

O algoritmo proposto CAC6 foi testado através de simulação e seus resultados são apresentados na tabela 5.11. Os valores representados são dados pela razão entre a maior intensidade de tráfego, ρ_Q , do algoritmo CAC6 dentro dos requisitos de QoS e o valor máximo de intensidade de tráfego ideal, ρ_Q^* , para cada caso de taxa de mobilidade e requisito de qualidade de serviço, (θ, Q) . São apresentados os resultados do desempenho do algoritmo para as condições de taxa de mobilidade baixa, $(\theta = 0, 2)$ e de mobilidade elevada, $(\theta = 6)$; bem como quatro valores de requisitos de QoS diferentes, $(Q_{BN}; Q_{FH}) = (5\%; 3\%), (3\%; 1\%), (4\%; 0.4\%)$ e $(1\%; 0.5\%)$.

Tabela 5.11: Comparação da razão de intensidade de tráfego máxima dentro dos requisitos de QoS de CAC6, com taxa de mobilidade $\theta = 0.2$ e $\theta = 6$.

Algoritmo	θ	Q_{31}	Q_{404}	Q_{105}	Q_{53}	I_{medio}
CAC6	0.2	89.837	76.277	92.957	93.942	88.253
CAC6	6.0	99.608	99.364	98.094	99.583	99.162

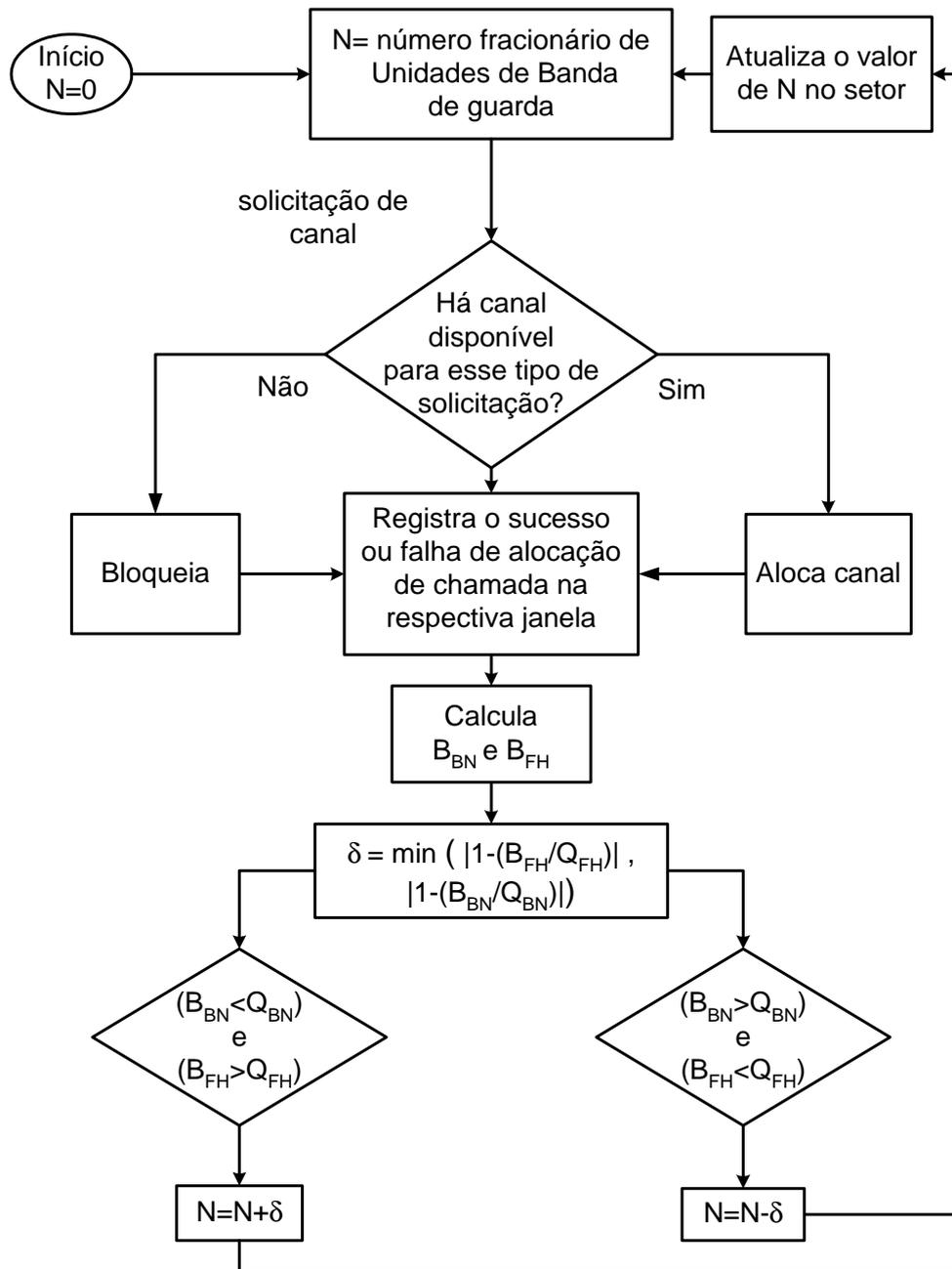


Figura 5.16: Diagrama de blocos do algoritmo CAC6.

5.8 Conclusão

Neste capítulo foram apresentados seis algoritmos para o Controle de Admissão de usuários de uma classe. Seu comportamento foi verificado através de simulação, permitindo escolher o valor de seus parâmetros. Quase todos os algoritmos se baseiam na classe de algoritmos que utiliza número fracionário de canais de guarda. Apenas o algoritmo *CAC5* não utiliza canais de guarda de uma forma explícita. Porém, ao admitir o

usuário de acordo com uma probabilidade, está reservando recursos para outros usuários que venham a solicitá-los mais tarde. Foi provado que sob determinadas condições, o algoritmo se porta de forma equivalente a utilização de canais de guarda para *handoff* e também, a utilização de canais de reserva para usuários novos. Alguns dos algoritmos apresentados neste capítulo foram também publicados nas referências [64] e [65].

O próximo capítulo apresenta o conceito sobre o número ideal de canais de guarda no caso de uma classe de usuários e distribuição exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula. Baseado neste conceito, é proposto mais um algoritmo de controle de admissão, o algoritmo CAC7.

A comparação entre o desempenho dos algoritmos é deixada para o próximo capítulo aonde são apresentados resultados comparativos dos sete algoritmos de uma classe de usuários, propostos neste trabalho.

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_{TB}*), 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 dada 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 λ_N e λ_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.

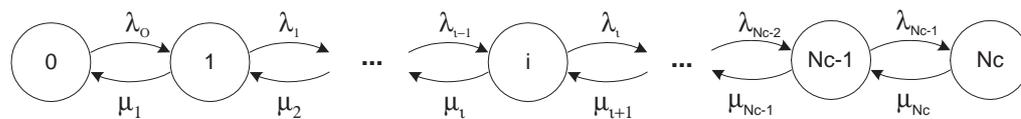


Figura 6.1: Cadeia de Markov

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 θ definido como:

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

Um valor maior θ 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 θ 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 μ . 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 , θ e λ através da escolha apropriada de T e β , $\beta \in [0, 1]$, 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 θ e ρ , 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 ρ 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 ρ ; uma vez que serão necessários mais canais exclusivos ao *handoff* para assegurar o mesmo valor P_{FH} , quando ρ 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 ρ . 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, ρ .

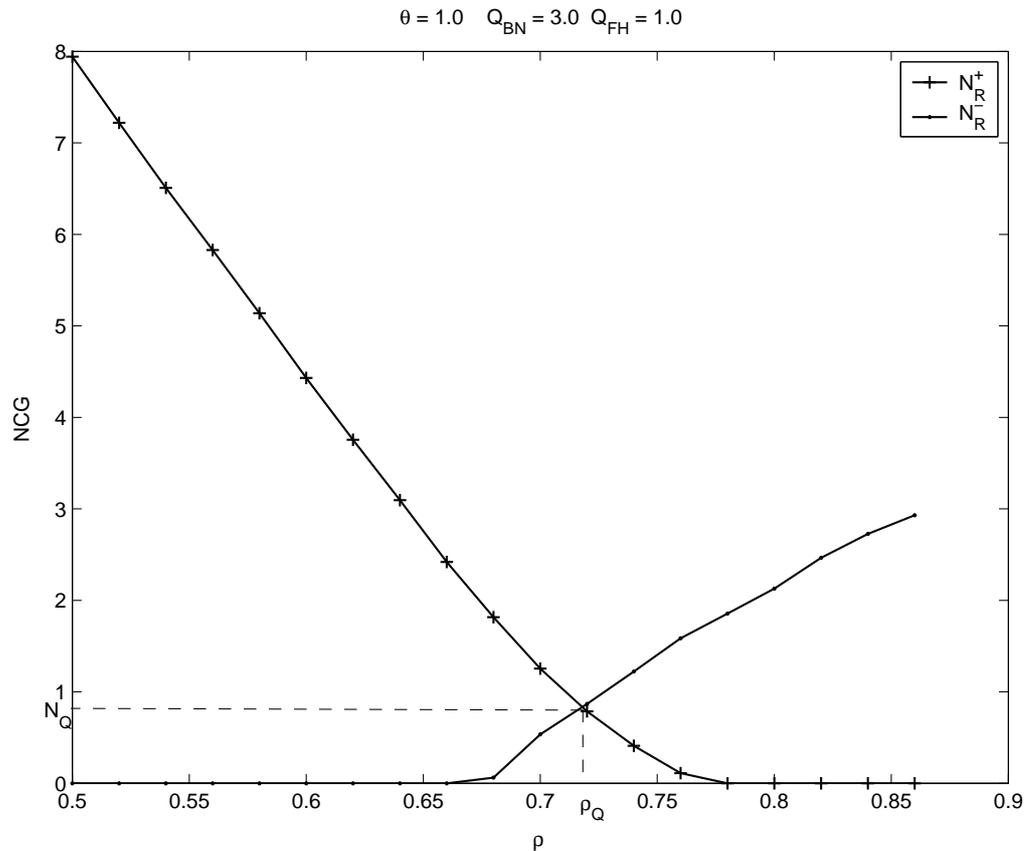


Figura 6.2: Comportamento de N_R^+ e N_R^- com ρ para $\theta = 1$ e $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1)$

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 ρ 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 ρ , $0 < \rho < \infty$, tal que $N_R^+ = N_R^-$. Este valor único, aqui chamado de ρ_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 ρ 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 θ varia de 0,2 a 10 para três pares de requisitos de qualidade, mantendo os mesmos valores de N e μ . 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 (ρ, θ) 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 θ e ρ , já que durante a operação de um

Tabela 6.1: Valores de ρ_Q e N_Q para três conjuntos de requisitos de qualidade \mathbf{Q} (expressos em percentagem) e parâmetro de mobilidade θ variando de 0, 2 a 10.

θ	$\rho_{Q(5;3)}$	$N_{Q(5;3)}$	$\rho_{Q(3;1)}$	$N_{Q(3;1)}$	$\rho_{Q(1;0,5)}$	$N_{Q(1;0,5)}$
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 ρ que permite que as condições desejadas \mathbf{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 \mathbf{Q} , então o algoritmo de admissão deve manter $N_R(t) = N_R^-(\theta, \rho, N_c)$ à medida em que ρ e θ variam com o tempo. Esta afirmativa é verdadeira, pois ao utilizar o menor número possível de recursos reservados para *handoff* que permita satisfazer \mathbf{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 ρ 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 ρ .

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_{TB}*, 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, \mathbf{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

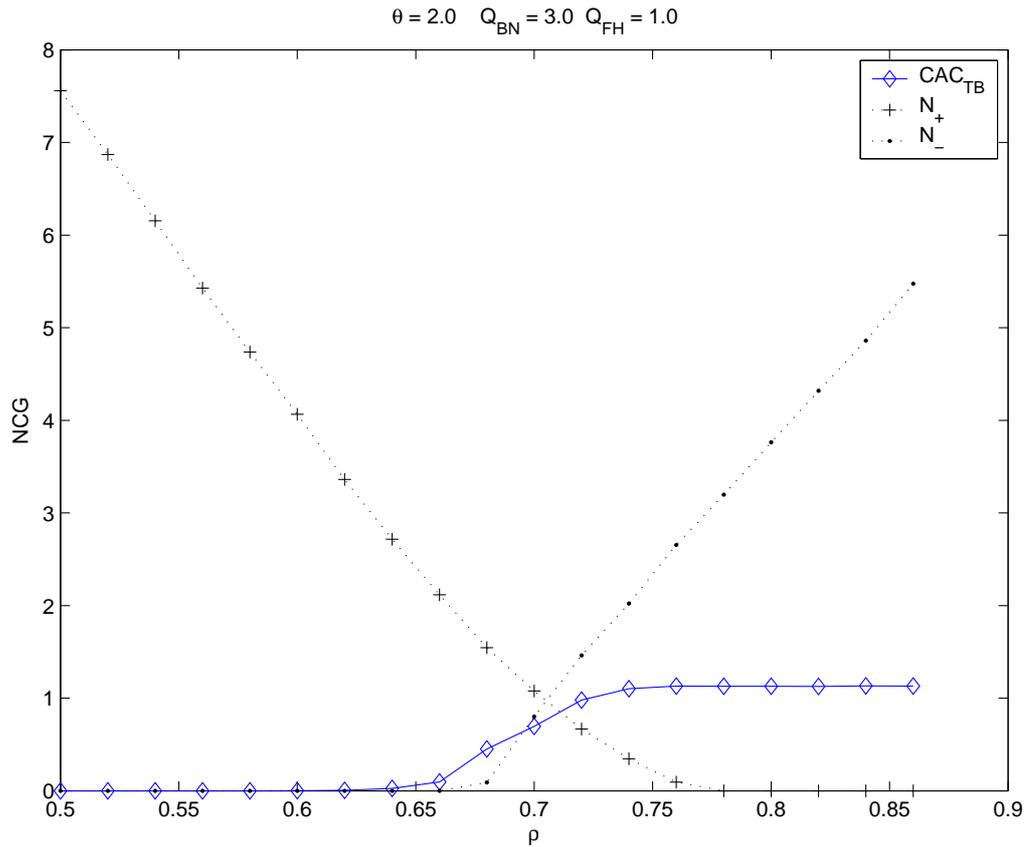


Figura 6.3: Comportamento de N_R^+ e N_R^- com ρ para $\theta = 2$ e $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1)$.

valores de n_t e n_m bem como da gama de variação dos valores de ρ e θ dependem da variação esperada destes parâmetros na operação real do sistema. A tabela utilizada possui $n_t = 201$ colunas com os valores de θ_i variando igualmente espaçados no intervalo $[0; 10]$ e $n_m = 201$ linhas aonde os valores de ρ_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 θ e ρ durante a operação da rede. Nos resultados de simulação aqui apresentados as medidas dos valores de θ e ρ 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 θ 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 (ρ, θ) 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, ρ , e de mobilidade de seus usuários, θ .

O desempenho de CAC_{TB} (ou $CAC7$) é ilustrado nas Figuras 6.3 a 6.5 para três diferentes valores de θ 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^+ .

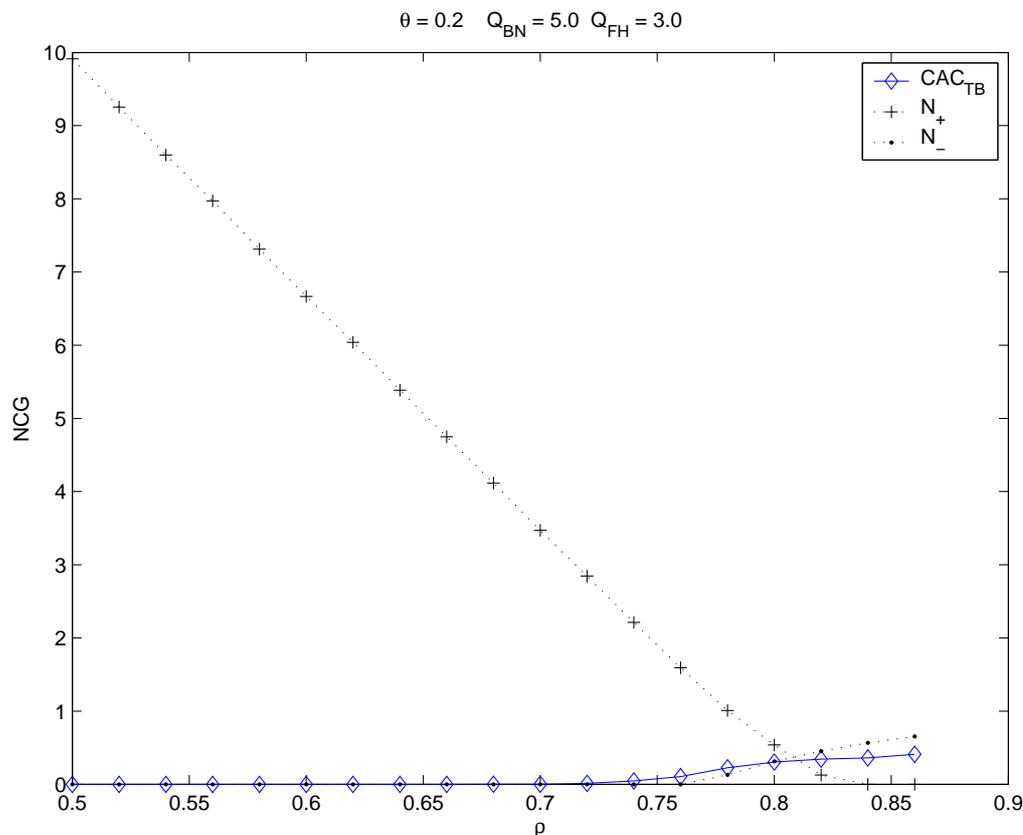


Figura 6.4: Comportamento de N_R^+ e N_R^- com ρ para $\theta = 0,2$ e $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$.

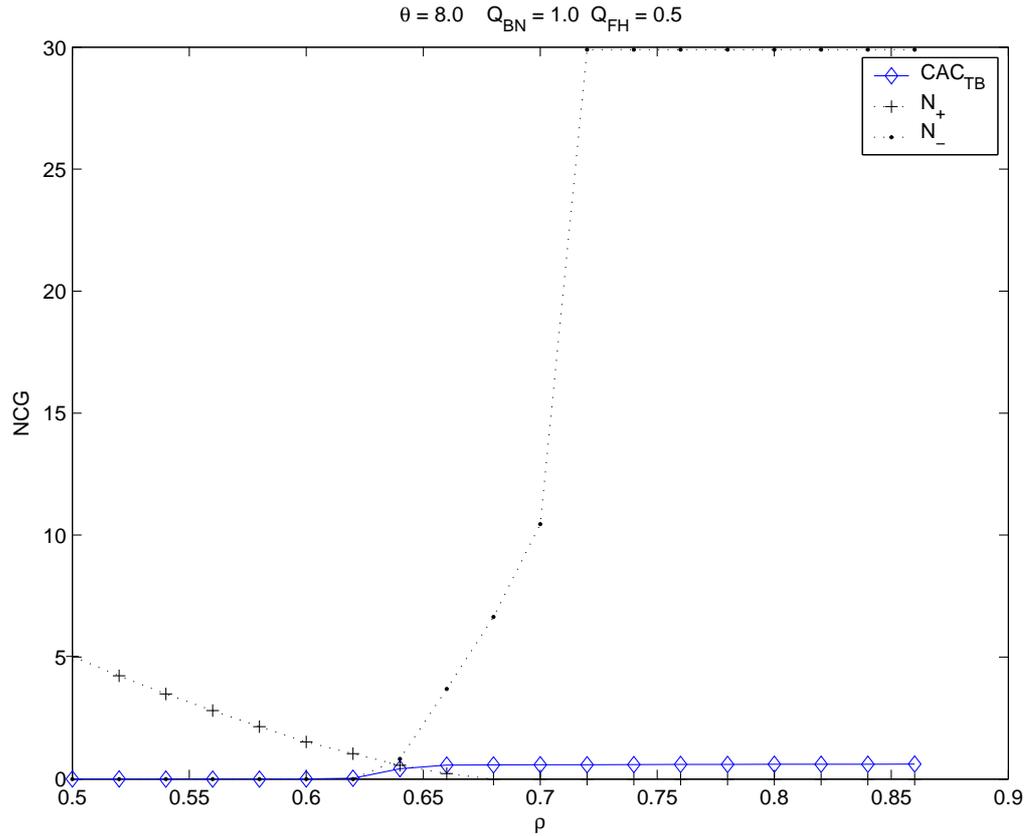


Figura 6.5: Comportamento de N_R^+ e N_R^- com ρ para $\theta = 8$ e $\mathbf{Q}(\%) = (1; 0, 5)$.

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 ρ . 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 ρ^* 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 ρ_Q em todos os três casos. Resultados semelhantes foram obtidos para outros valores de θ para cada um dos valores de \mathbf{Q} considerados. Espera-se encontrar resultados ainda melhores se métodos mais sofisticados para estimar θ e ρ 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, \overline{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 $Q(\%) = (3; 1)$.

θ	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 $Q(\%) = (5; 3)$.

θ	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, ρ_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, ρ) , 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 $Q(\%) = (1; 0, 5)$.

θ	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.

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 (*dwel 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.

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.

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

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.

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

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

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

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 lembrar 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

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*) = (ρ, θ) 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

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.

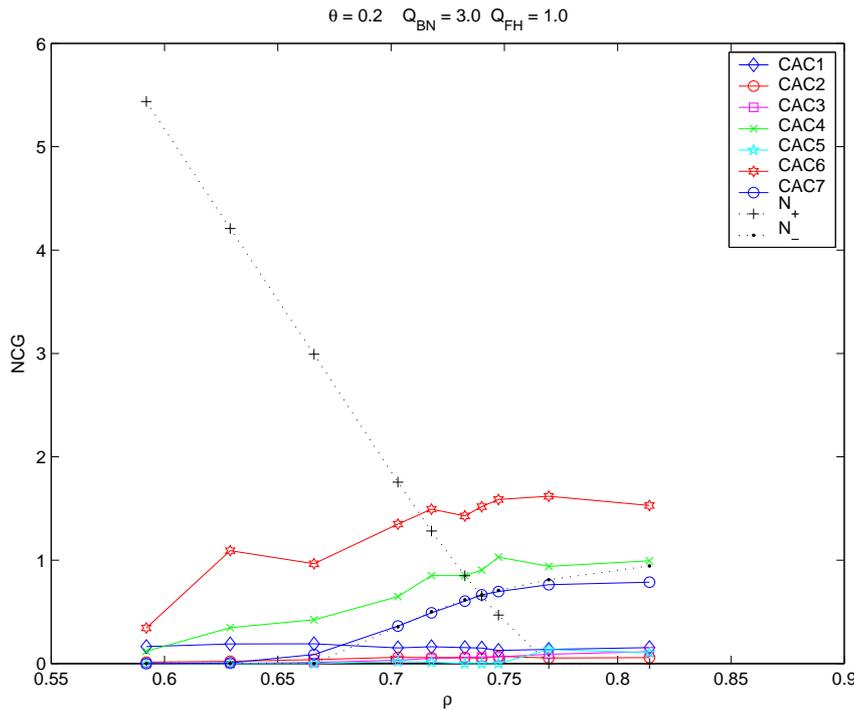


Figura 7.1: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0,2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1)$, tempo de permanência exponencial.

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

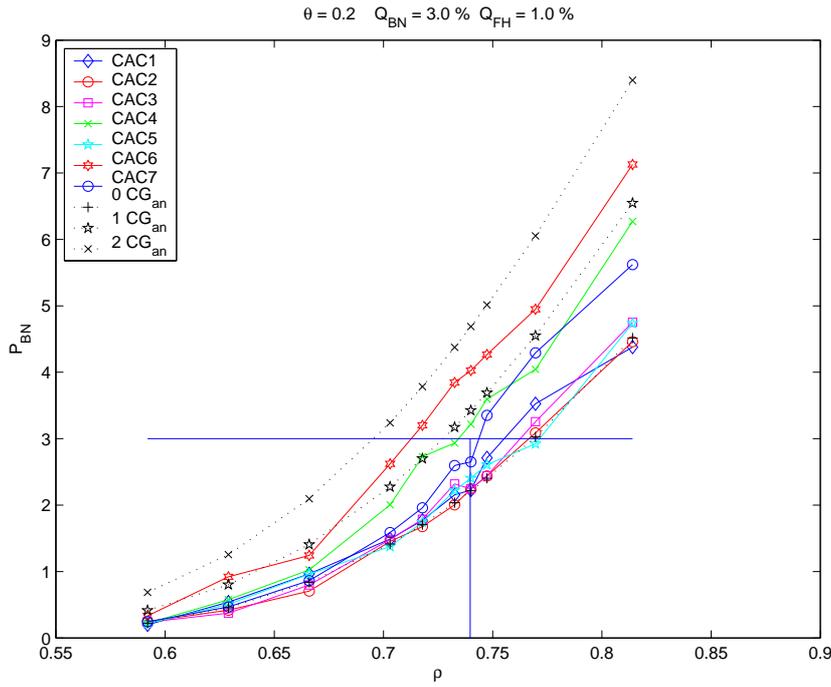


Figura 7.2: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0,2$ e requisito de QoS $Q(\%) = (3; 1)$, tempo de permanência exponencial.

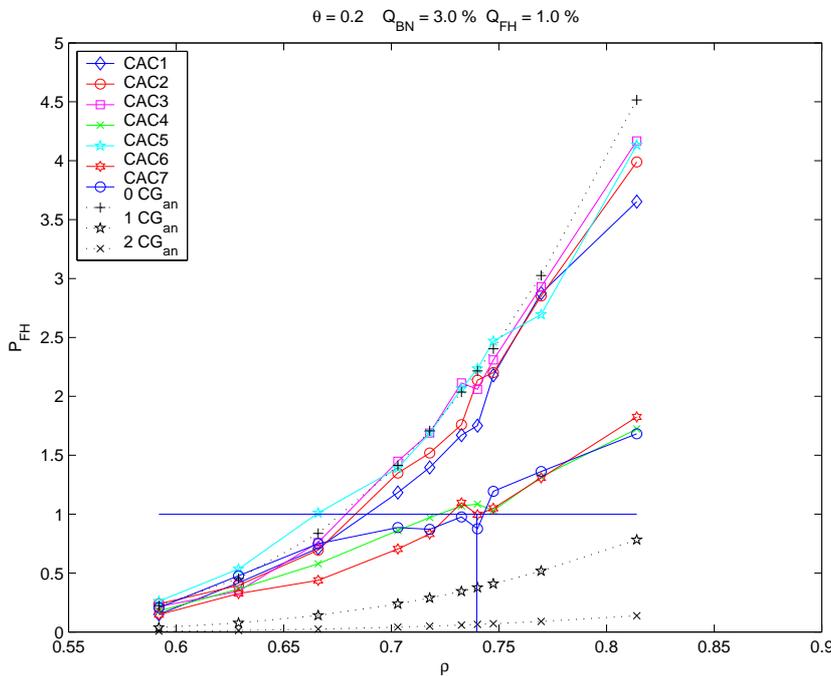


Figura 7.3: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0,2$ e requisito de QoS $Q(\%) = (3; 1)$, tempo de permanência exponencial.

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

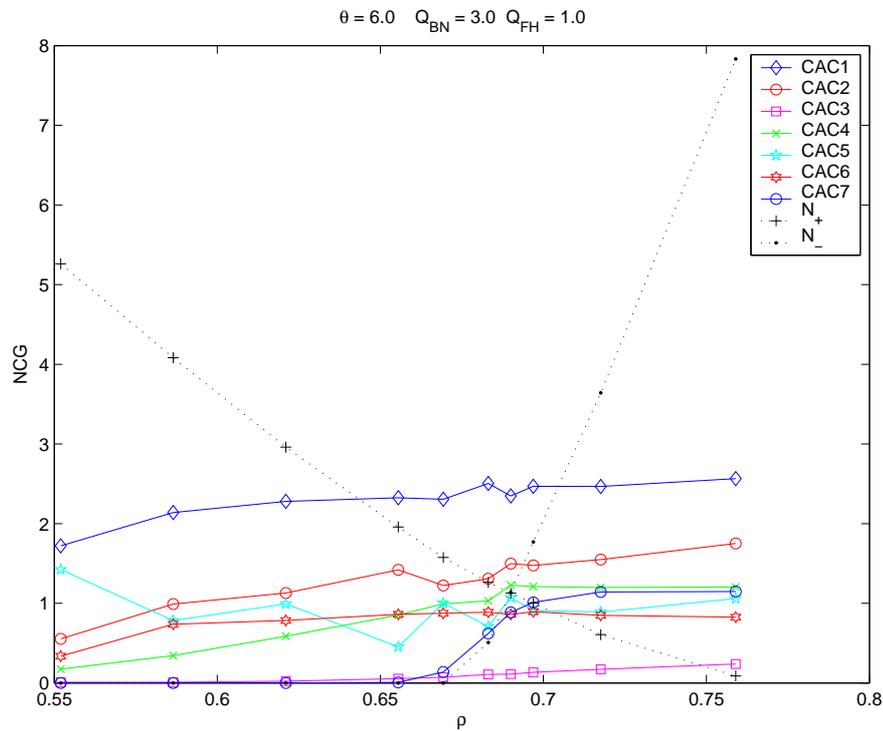


Figura 7.4: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1)$, tempo de permanência exponencial.

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

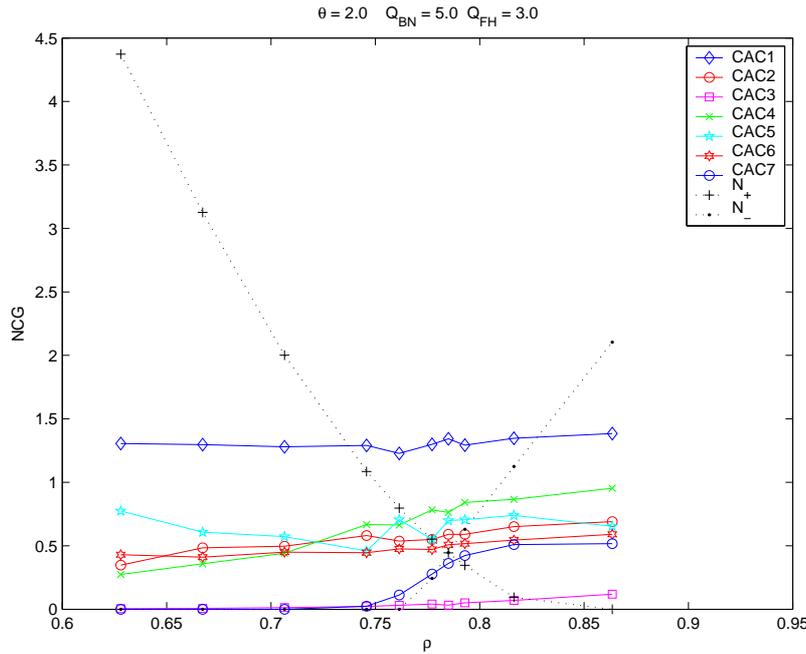


Figura 7.5: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência exponencial.

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.

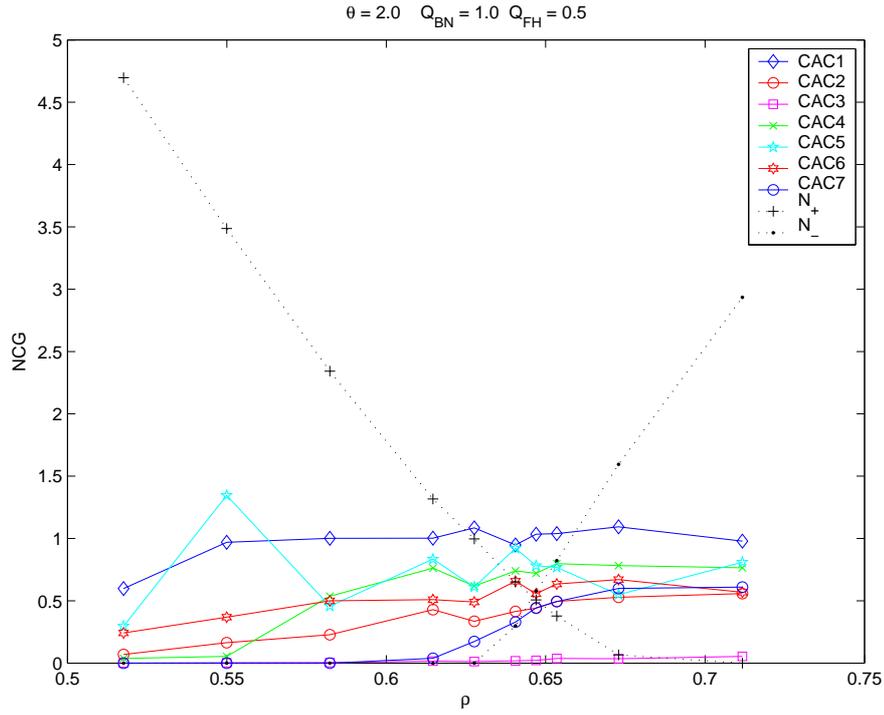


Figura 7.6: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (1; 0, 5)$, tempo de permanência exponencial.

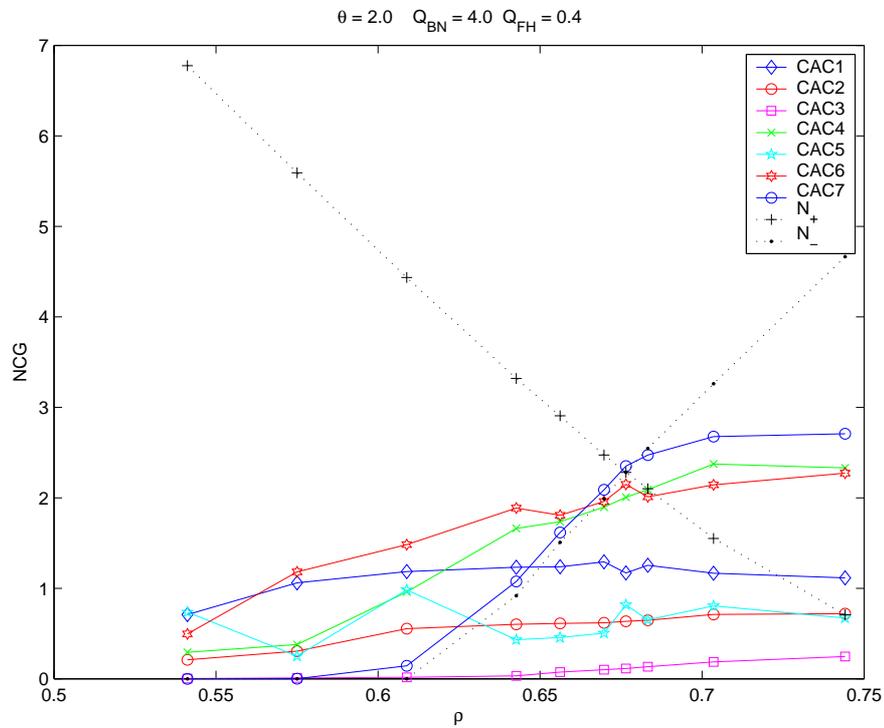


Figura 7.7: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0, 4)$, tempo de permanência exponencial.

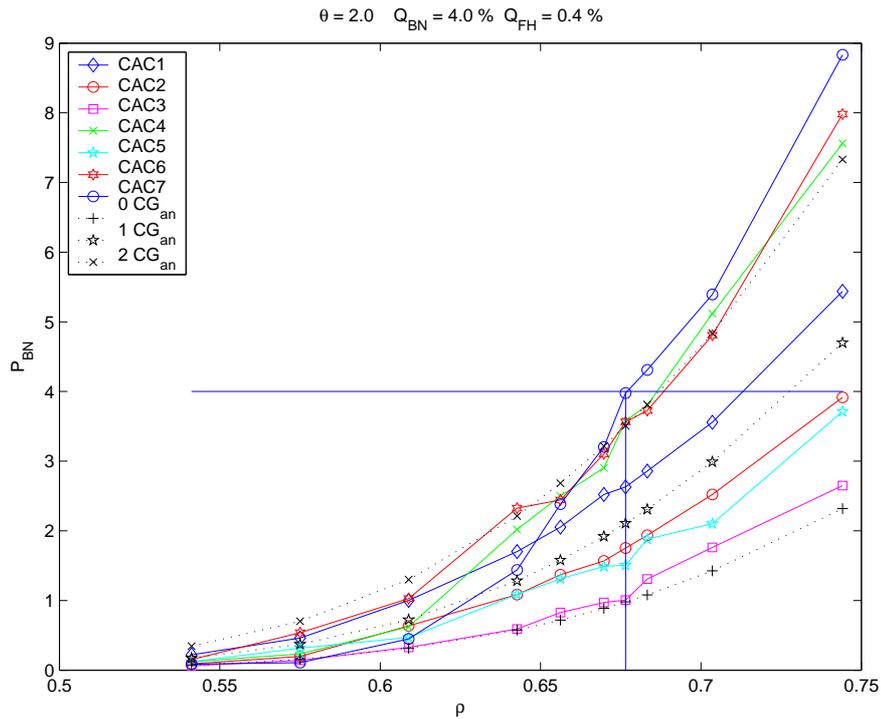


Figura 7.8: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $Q(\%) = (4; 0, 4)$, tempo de permanência exponencial.

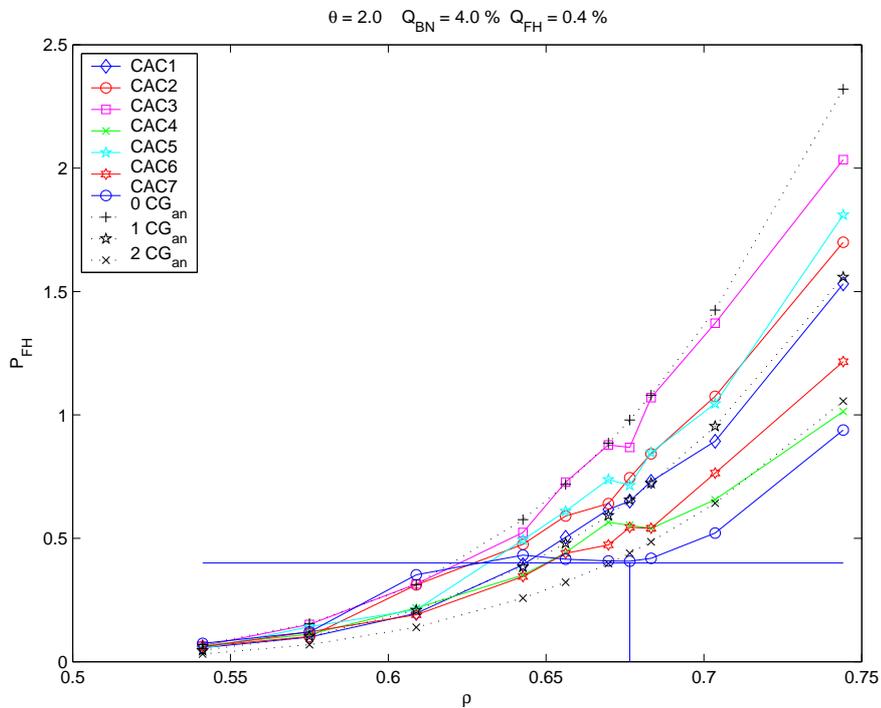


Figura 7.9: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $Q(\%) = (4; 0, 4)$, tempo de permanência exponencial.

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*.

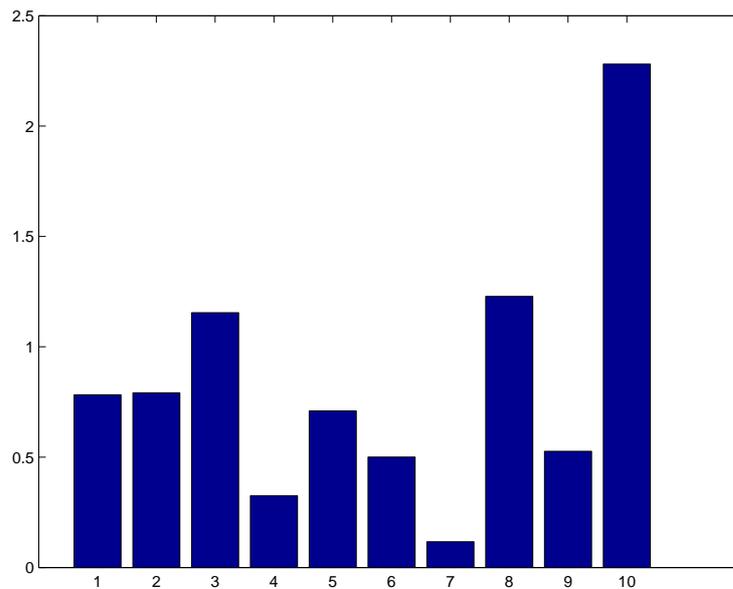


Figura 7.10: Comportamento de M médio de *CAC1*(1), *CAC2*(2), *CAC3*(3), *CAC4*(4), *CAC5*(5) *CAC6*(6), *CAC7*(7) e *0CG*(8), *1CG*(9) e *2CG*(10) $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1)$, tempo de permanência exponencial.

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} .

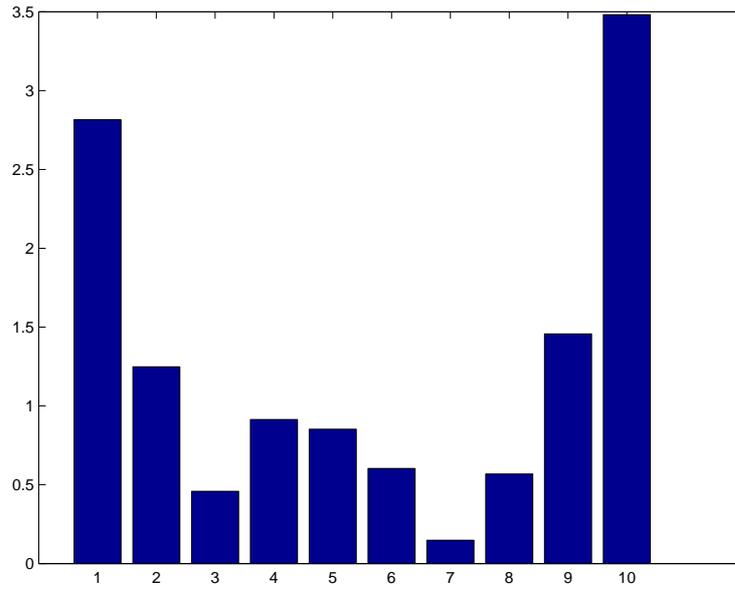


Figura 7.11: Comportamento de M médio de CAC1(1), CAC2(2), CAC3(3), CAC4(4), CAC5(5) CAC6(6), CAC7(7) e 0CG(8), 1CG(9) e 2CG(10) $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência exponencial.

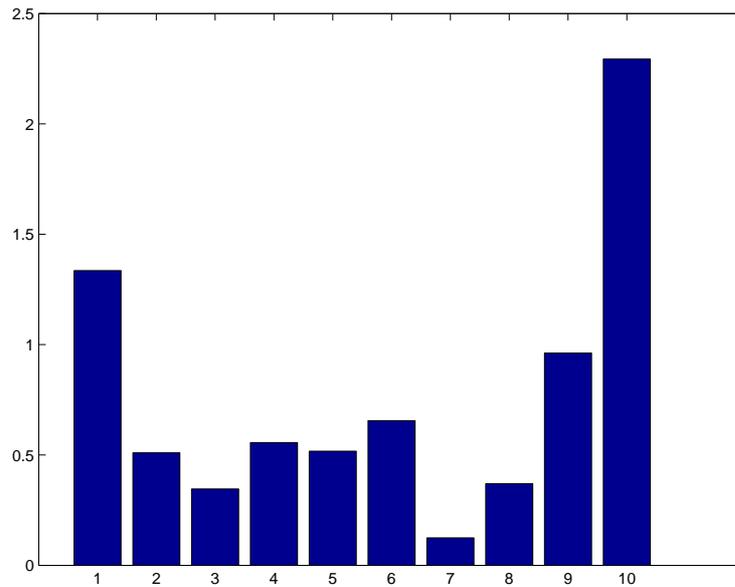


Figura 7.12: Comportamento de M médio de CAC1(1), CAC2(2), CAC3(3), CAC4(4), CAC5(5) CAC6(6), CAC7(7) e 0CG(8), 1CG(9) e 2CG(10) $Q(\%) = (1; 0.5)$, tempo de permanência exponencial.

Já na figura 7.13 observa-se que no caso $Q(\%) = (4; 0.4)$, 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.

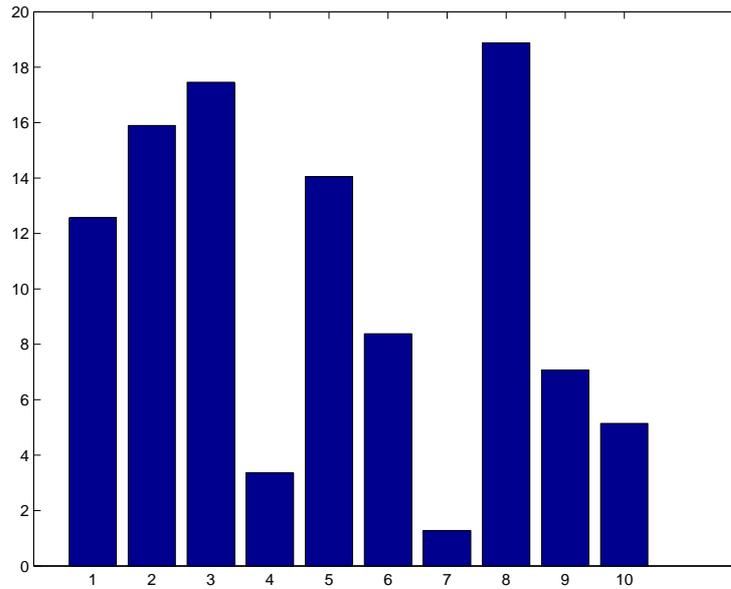


Figura 7.13: Comportamento de M médio de $CAC1(1)$, $CAC2(2)$, $CAC3(3)$, $CAC4(4)$, $CAC5(5)$, $CAC6(6)$, $CAC7(7)$ e $OCG(8)$, $1CG(9)$ e $2CG(10)$ $Q(\%) = (4; 0.4)$, tempo de permanência exponencial.

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
<i>Q</i> 31	0.924	0.934	0.921	0.955	0.929	0.957	0.950
<i>Q</i> 53	0.919	0.947	0.959	0.967	0.955	0.974	0.969
<i>Q</i> 105	0.939	0.964	0.959	0.970	0.975	0.962	0.975
<i>Q</i> 404	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}
<i>Q</i> 31	0.919	0.965	0.913
<i>Q</i> 53	0.957	0.941	0.945
<i>Q</i> 105	0.969	0.954	0.905
<i>Q</i> 404	–	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.

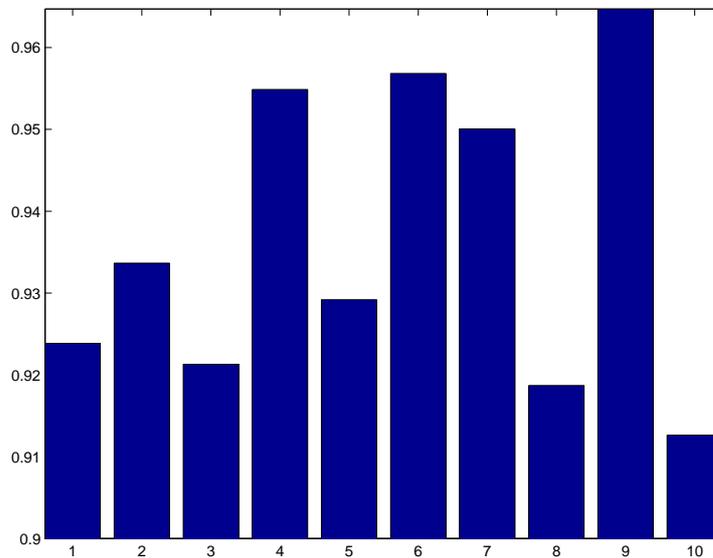


Figura 7.14: Comportamento de *I* médio de *CAC*1(1), *CAC*2(2), *CAC*3(3), *CAC*4(4), *CAC*5(5) *CAC*6(6), *CAC*7(7) e 0_{CG} (8), 1_{CG} (9) e 2_{CG} (10) $Q(\%) = (3; 1)$, tempo de permanência exponencial.

Na tabela 7.1 e figura 7.14, observa-se que os algoritmos *CAC*4 e *CAC*6, apresentam os maiores valores de parâmetro *I*, muito próximos do

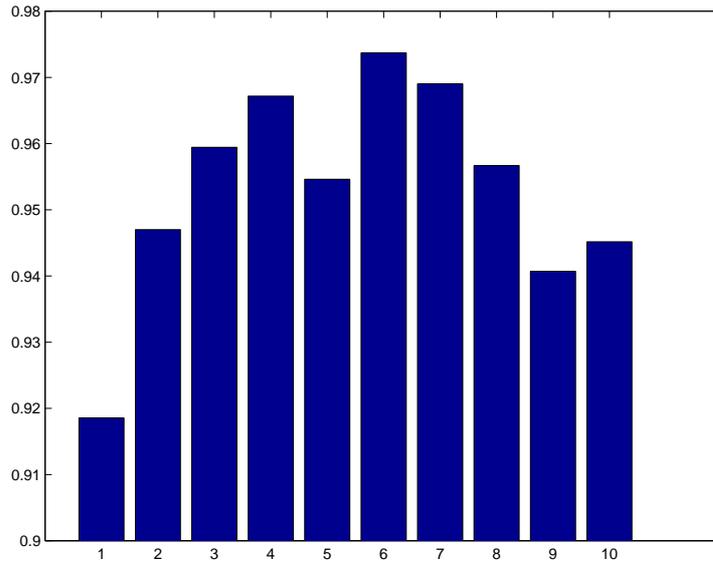


Figura 7.15: Comportamento de I médio de CAC1(1), CAC2(2), CAC3(3), CAC4(4), CAC5(5) CAC6(6), CAC7(7) e 0CG(8), 1CG(9) e 2CG(10) $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência exponencial.

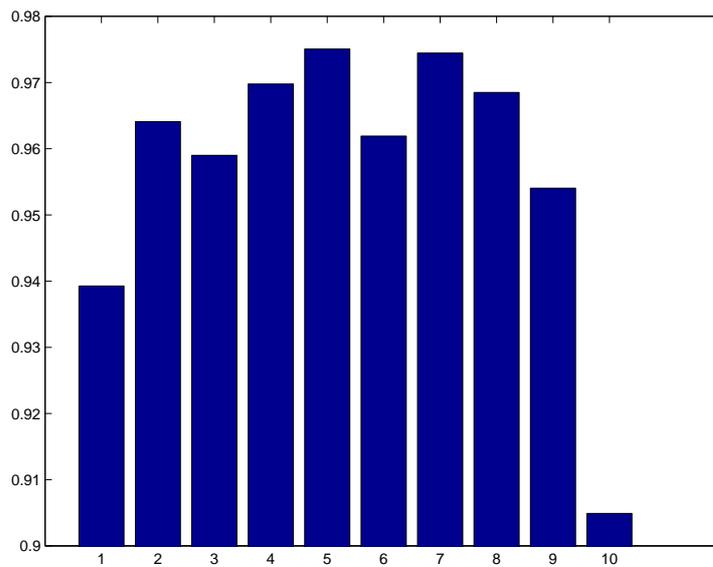


Figura 7.16: Comportamento de I médio de CAC1(1), CAC2(2), CAC3(3), CAC4(4), CAC5(5) CAC6(6), CAC7(7) e 0CG(8), 1CG(9) e 2CG(10) $Q(\%) = (1; 0.5)$, tempo de permanência exponencial.

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.

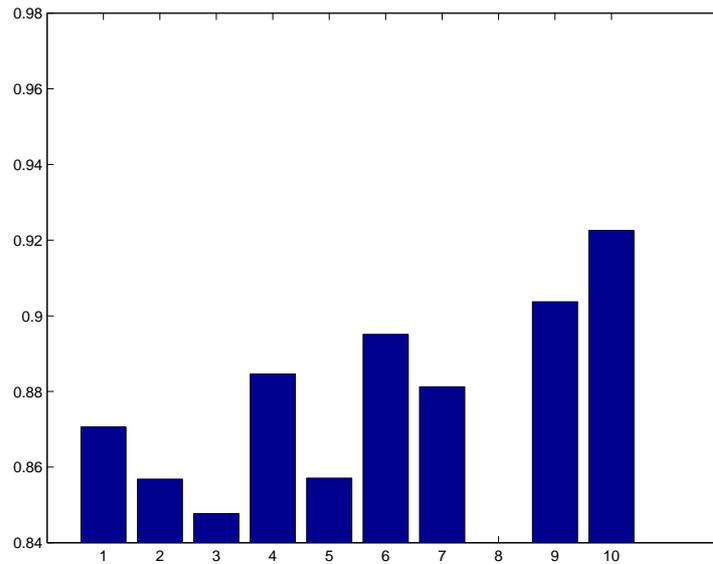


Figura 7.17: Comportamento de I médio de $CAC1(1)$, $CAC2(2)$, $CAC3(3)$, $CAC4(4)$, $CAC5(5)$, $CAC6(6)$, $CAC7(7)$ e $0CG(8)$, $1CG(9)$ e $2CG(10)$ $Q(\%) = (4; 0.4)$, tempo de permanência exponencial.

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 $2CG$. 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, $\theta = 0.2$.

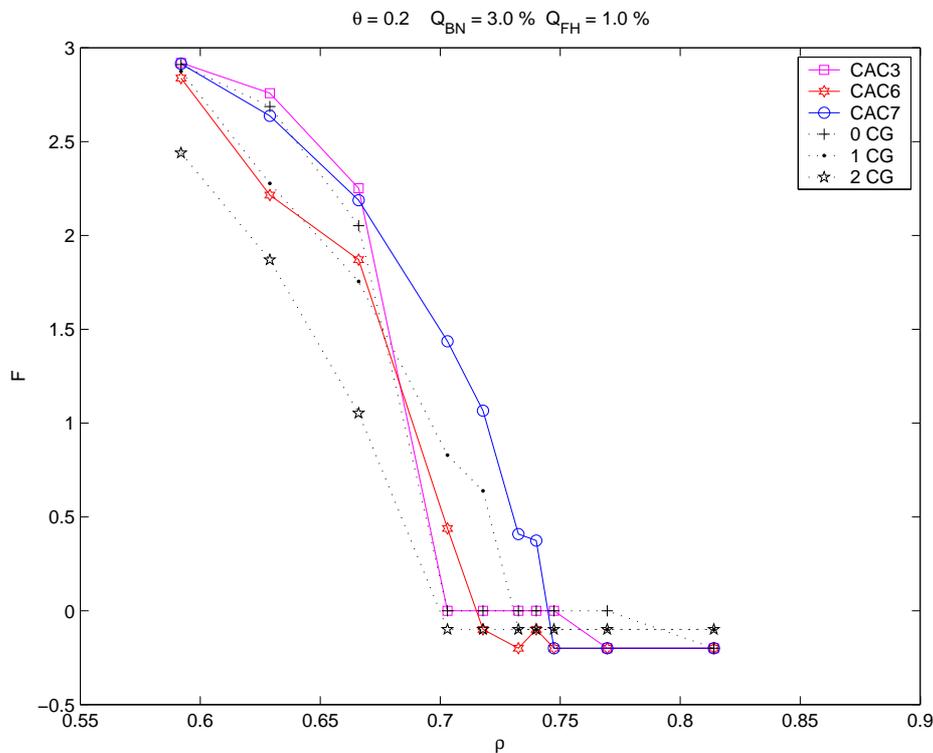


Figura 7.18: Comportamento do parâmetro F de CAC3, CAC6, CAC7 e 0CG, 1CG e 2CG $Q(\%) = (3; 1)$ e $\theta = 0.2$, tempo de permanência exponencial.

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.

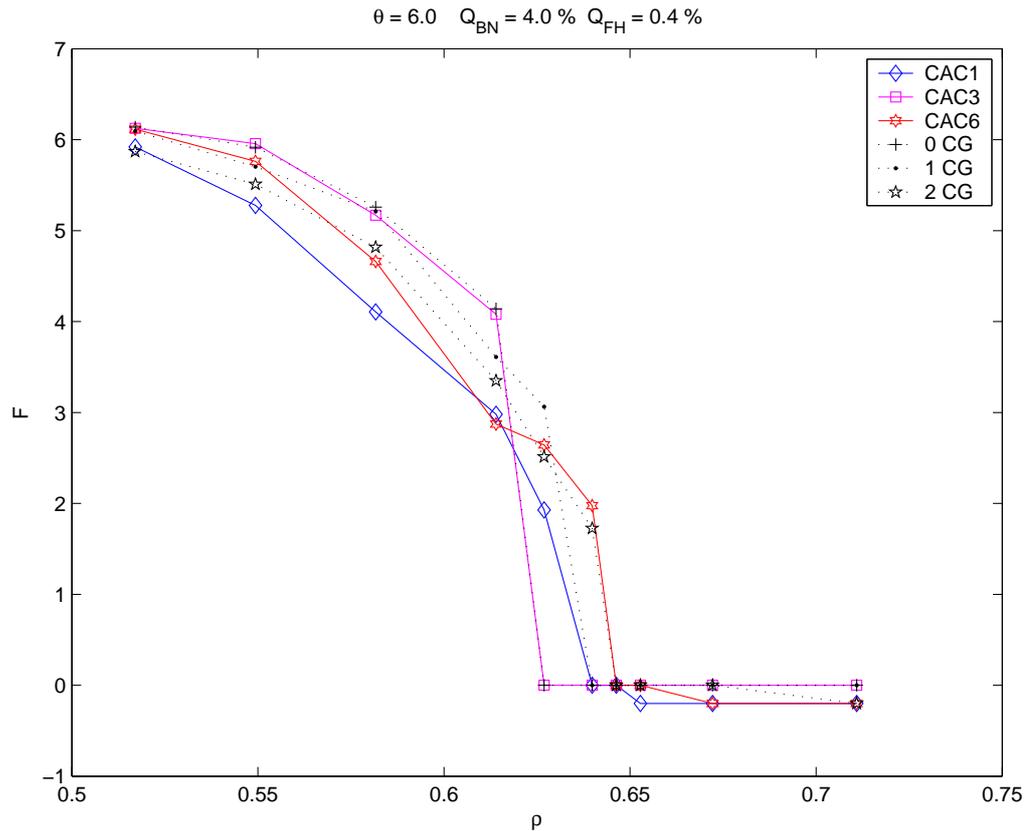


Figura 7.19: Comportamento do parâmetro F de CAC1, CAC3, CAC6 e 0CG, 1CG e 2CG $Q(\%) = (4; 0.4)$ e $\theta = 6$, tempo de permanência exponencial.

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.

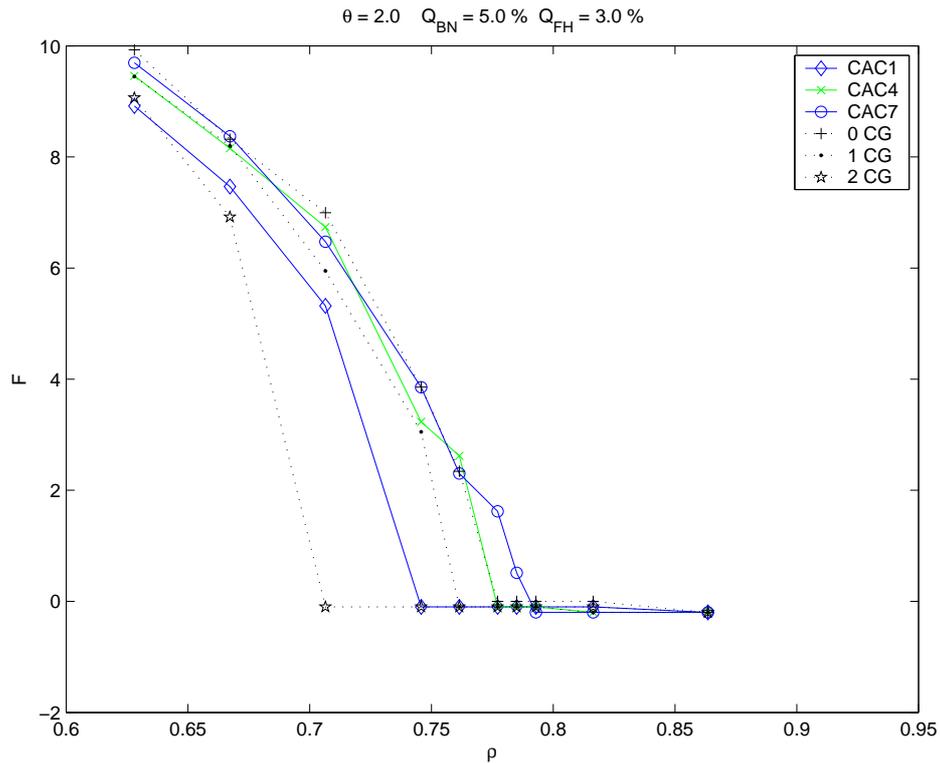


Figura 7.20: Comportamento do parâmetro F de CAC1, CAC4, CAC7 e 0CG, 1CG e 2CG $Q(\%) = (5; 3)$ e $\theta = 2$, tempo de permanência exponencial.

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.

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.

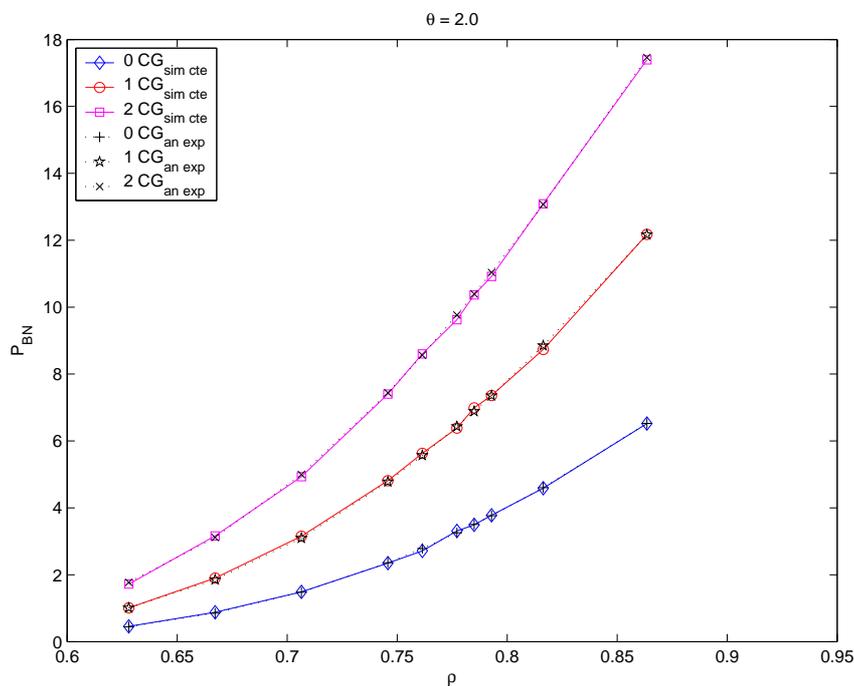


Figura 7.21: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, tempo de permanência simulado com distribuição constante e resultado analítico com distribuição exponencial.

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 figura 7.21 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

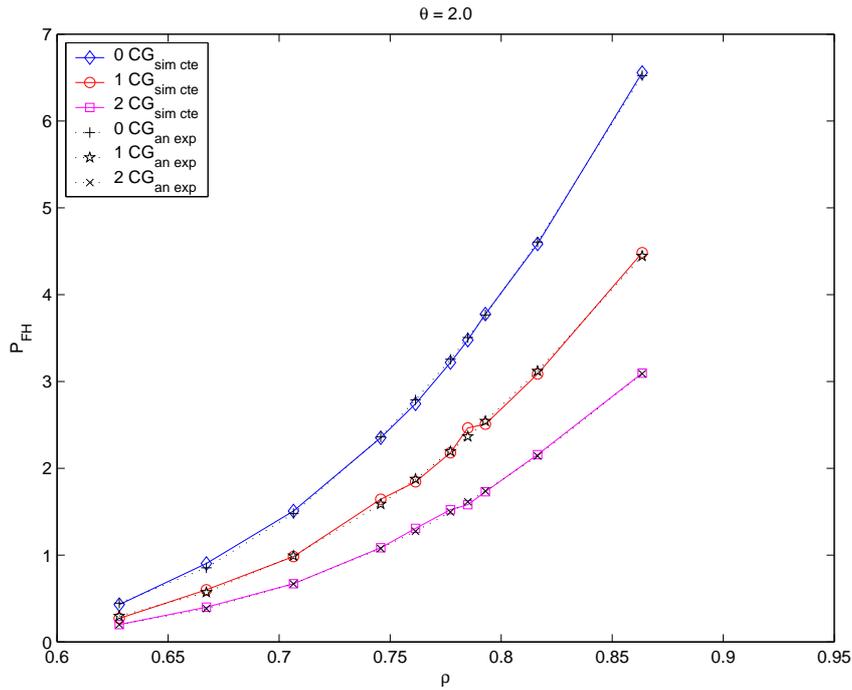


Figura 7.22: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, tempo de permanência simulado com distribuição constante e resultado analítico com distribuição exponencial.

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.

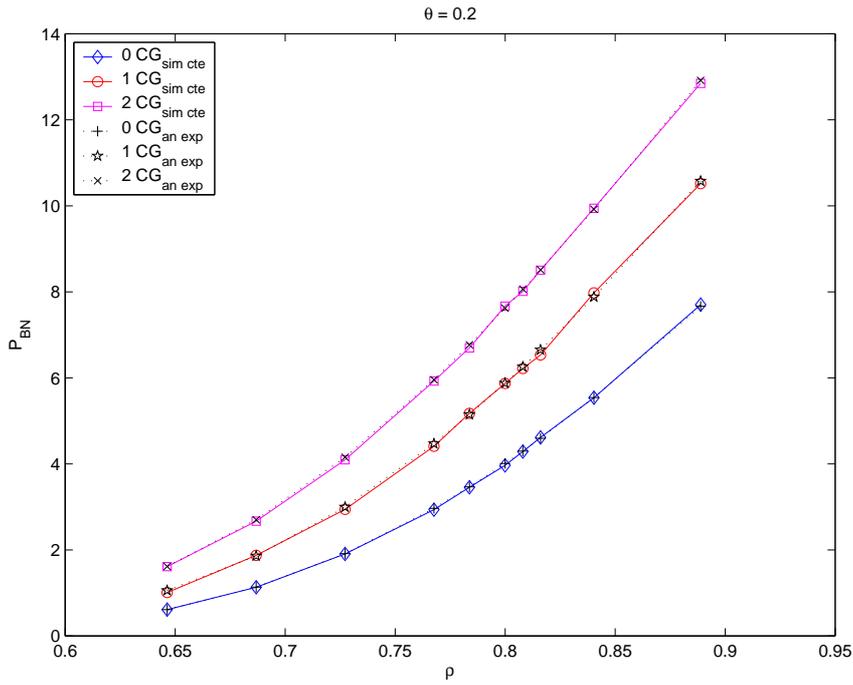


Figura 7.23: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0,2$, tempo de permanência simulado com distribuição constante e resultado analítico com distribuição exponencial.

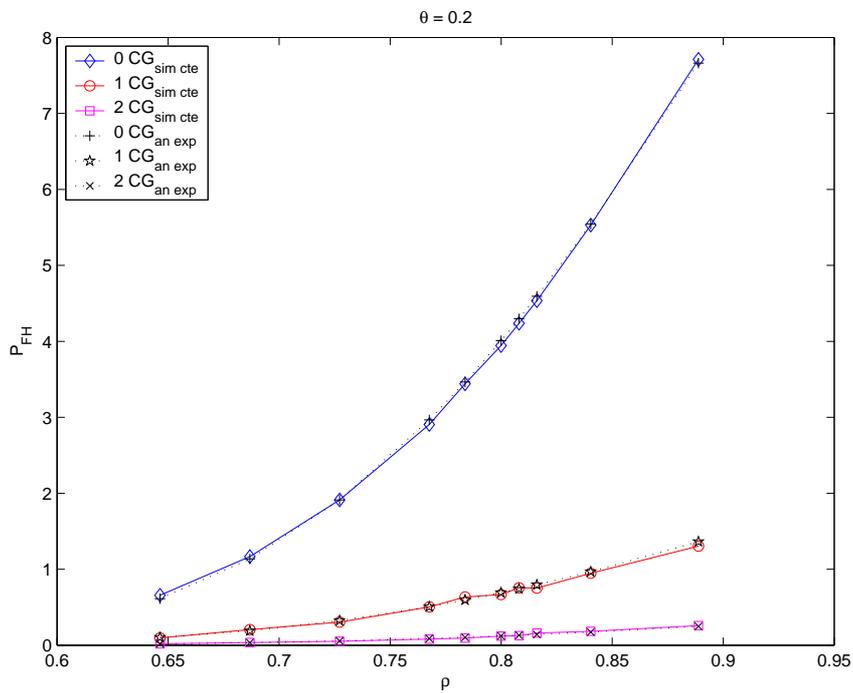


Figura 7.24: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0,2$, tempo de permanência simulado com distribuição constante e resultado analítico com distribuição exponencial.

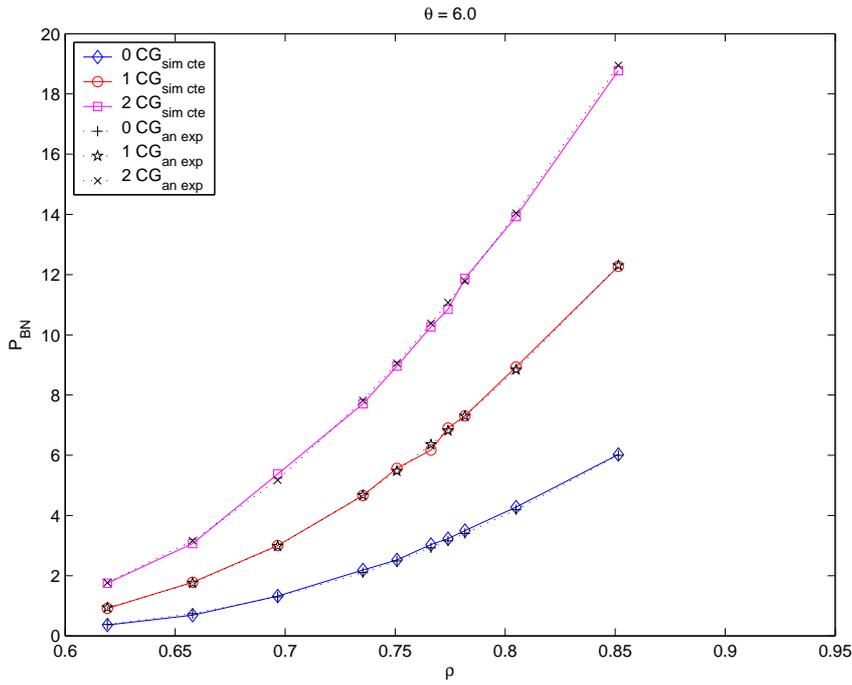


Figura 7.25: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$, tempo de permanência simulado com distribuição constante e resultado analítico com distribuição exponencial.

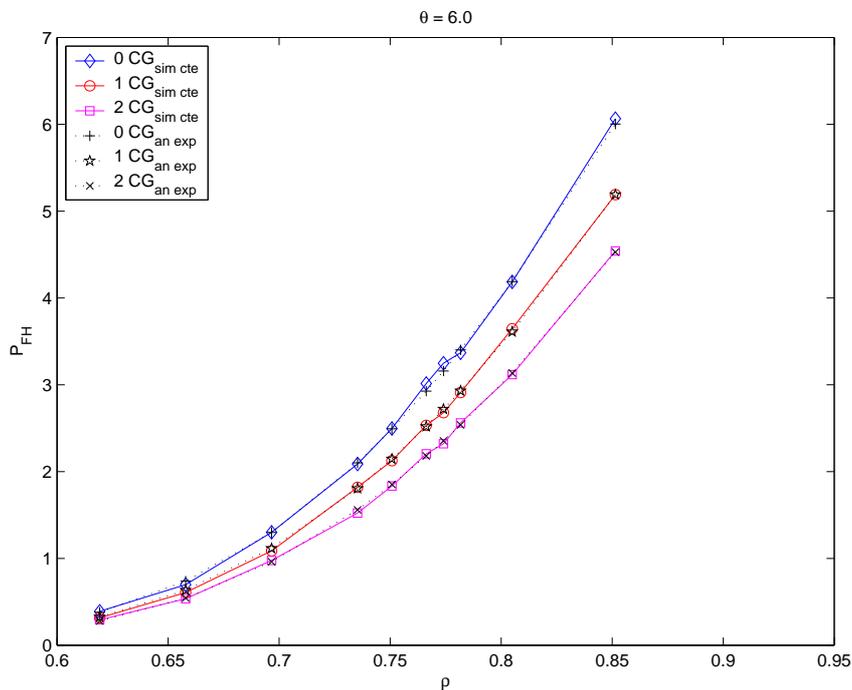


Figura 7.26: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$, tempo de permanência simulado com distribuição constante e resultado analítico com distribuição exponencial.

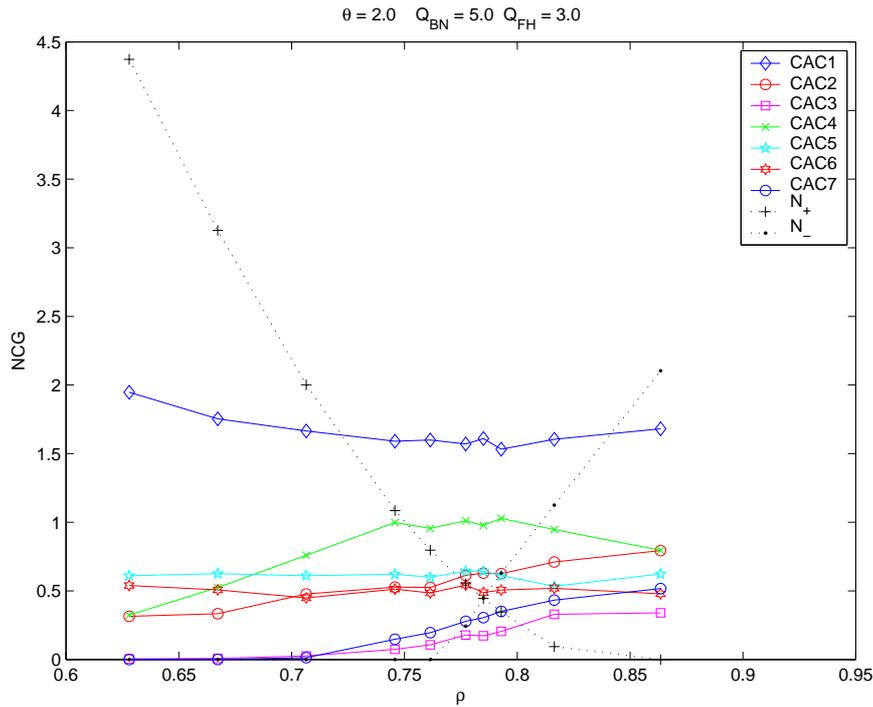


Figura 7.27: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência dado pela distribuição constante.

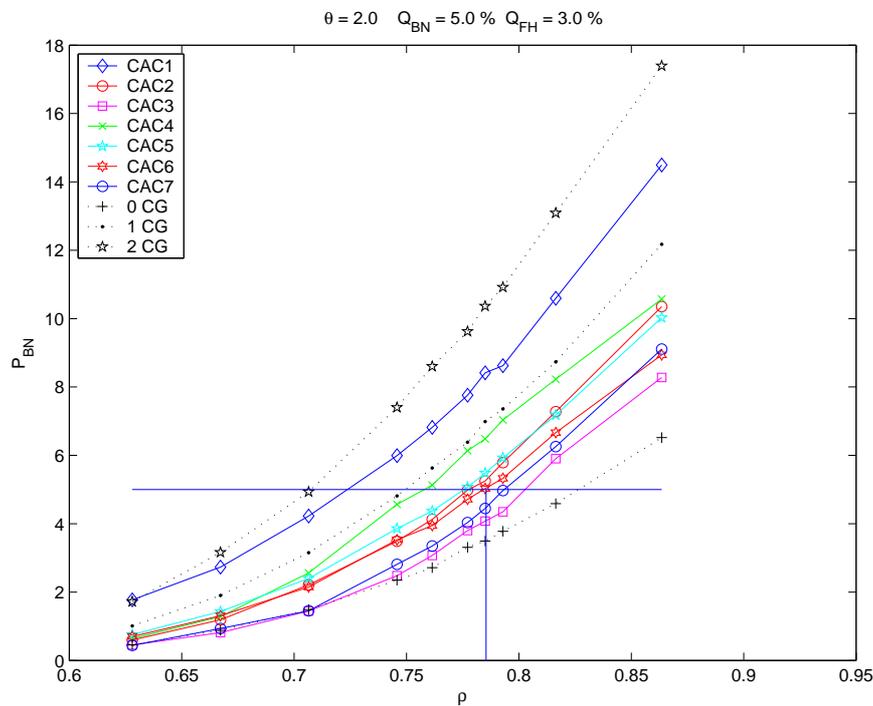


Figura 7.28: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição constante.

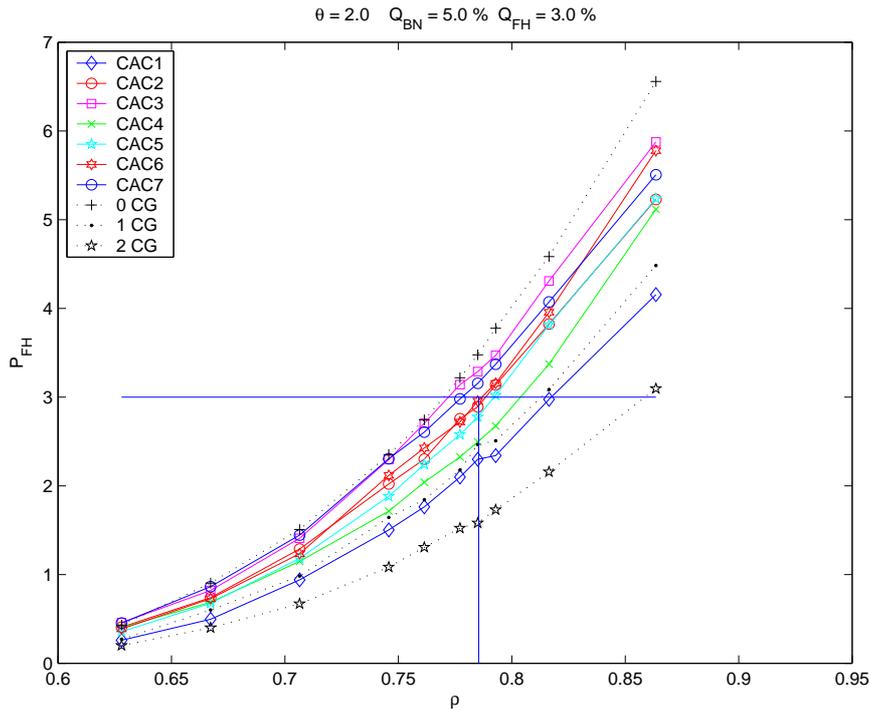


Figura 7.29: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição constante.

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.

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 $Q(\%) = (5; 3)$. Observa-se que *CAC7*, *CAC3* e *OCG* 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.

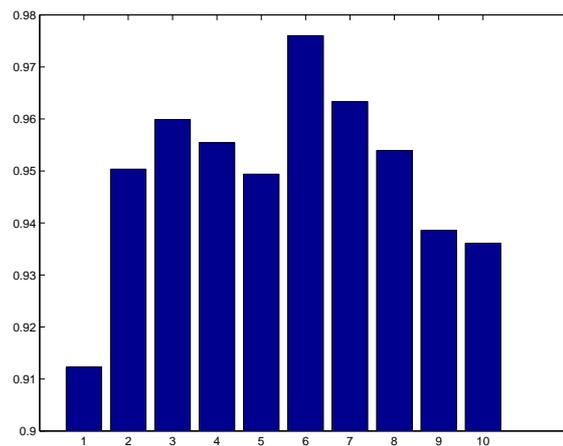


Figura 7.30: Comportamento de I médio de *CAC1*(1), *CAC2*(2), *CAC3*(3), *CAC4*(4), *CAC5*(5), *CAC6*(6), *CAC7*(7) e *OCG*(8), *1CG*(9) e *2CG*(10) $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição constante.

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

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.

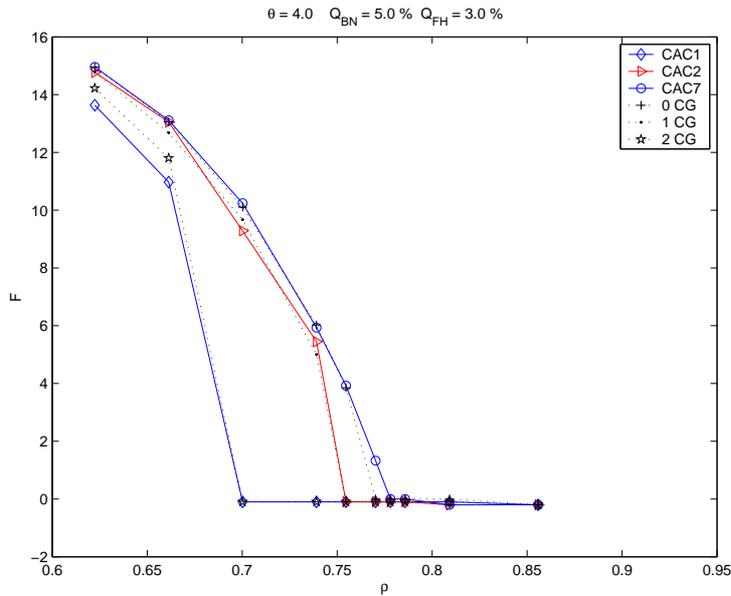


Figura 7.31: Comportamento do parâmetro F de CAC1, CAC2, CAC7 e 0CG, 1CG e 2CG $Q(\%) = (5; 3)$ e $\theta = 4$, tempo de permanência dado pela distribuição constante.

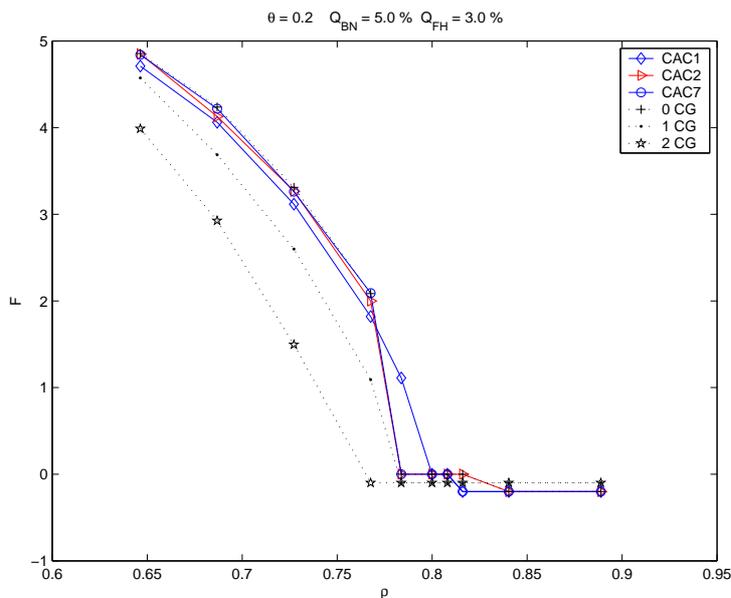


Figura 7.32: Comportamento do parâmetro F de CAC1, CAC2, CAC7 e 0CG, 1CG e 2CG $Q(\%) = (5; 3)$ e $\theta = 0.2$, tempo de permanência dado pela distribuição constante.

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.

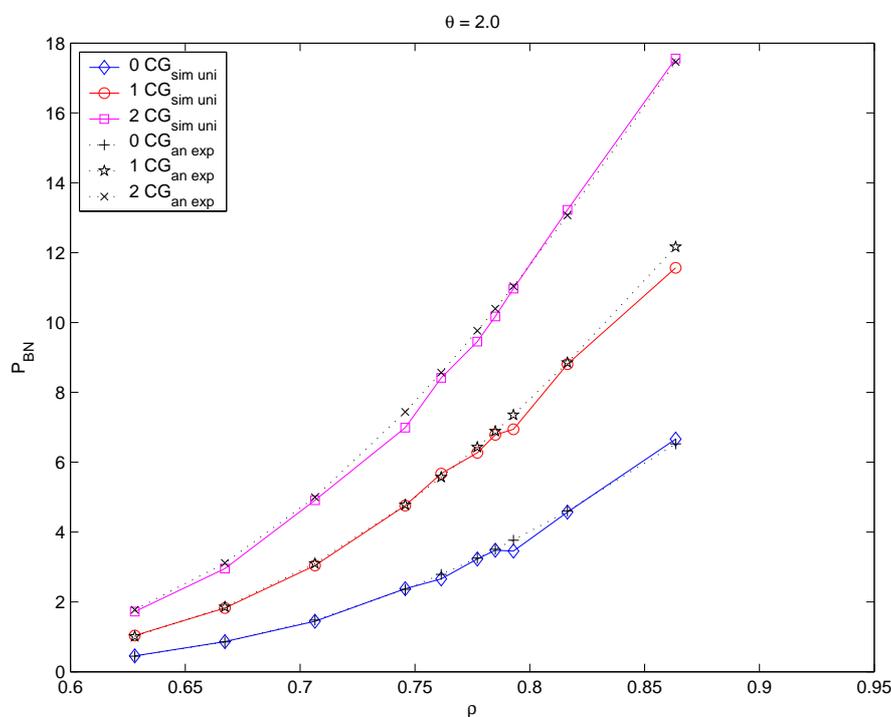


Figura 7.33: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, tempo de permanência uniforme simulado e tempo de permanência exponencial analítico.

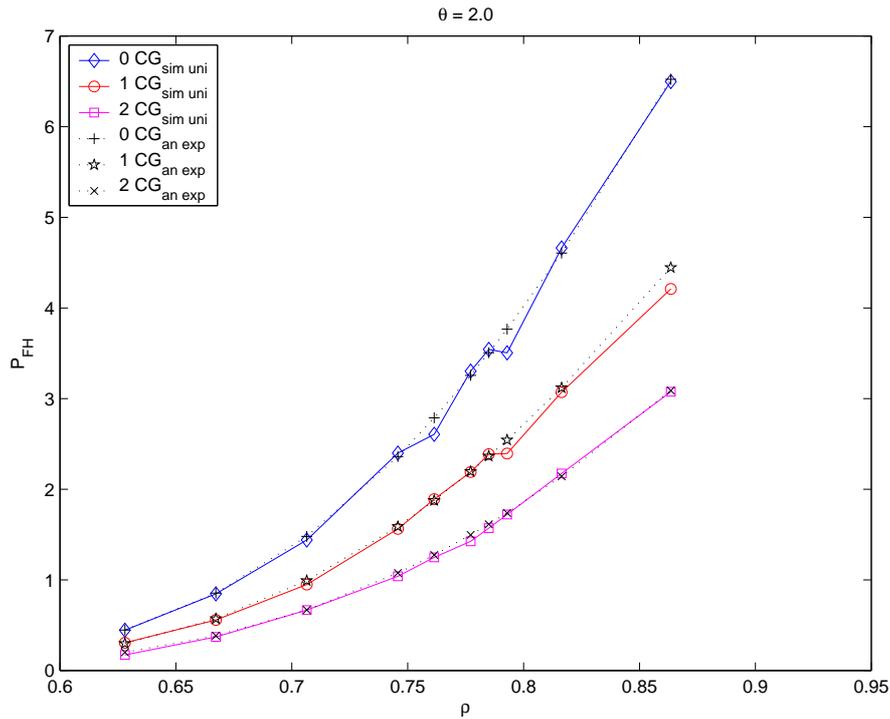


Figura 7.34: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, tempo de permanência uniforme simulado e tempo de permanência exponencial analítico.

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.

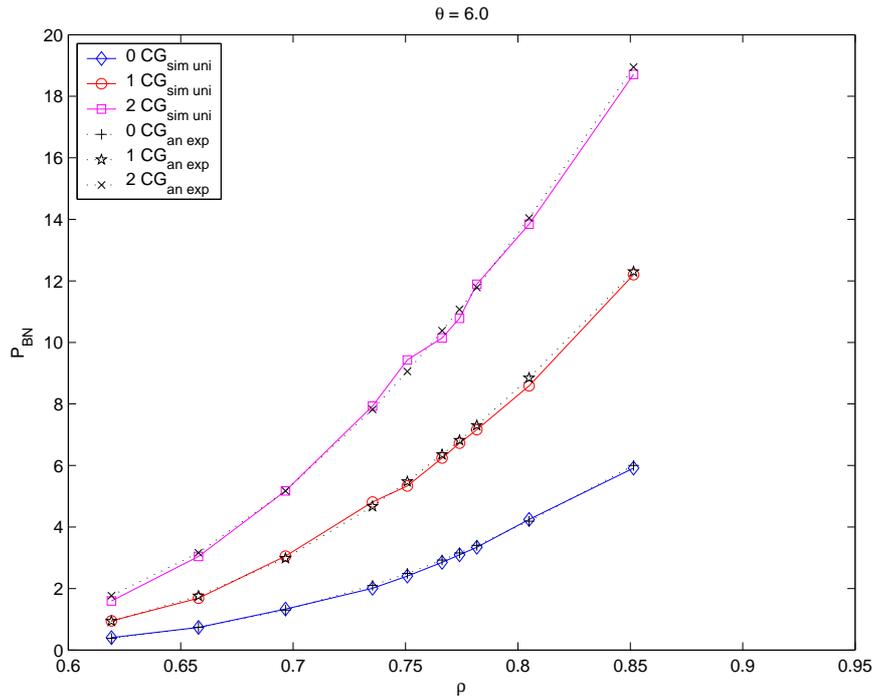


Figura 7.35: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$, tempo de permanência uniforme simulado e tempo de permanência exponencial analítico.

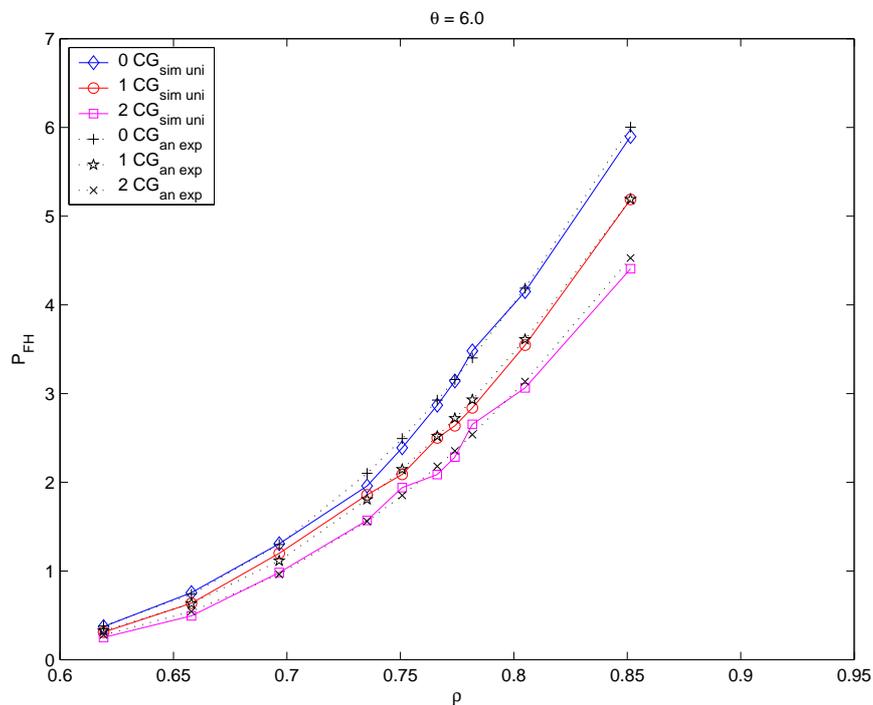


Figura 7.36: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$, tempo de permanência uniforme simulado e tempo de permanência exponencial analítico.

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 $\theta = 2$.

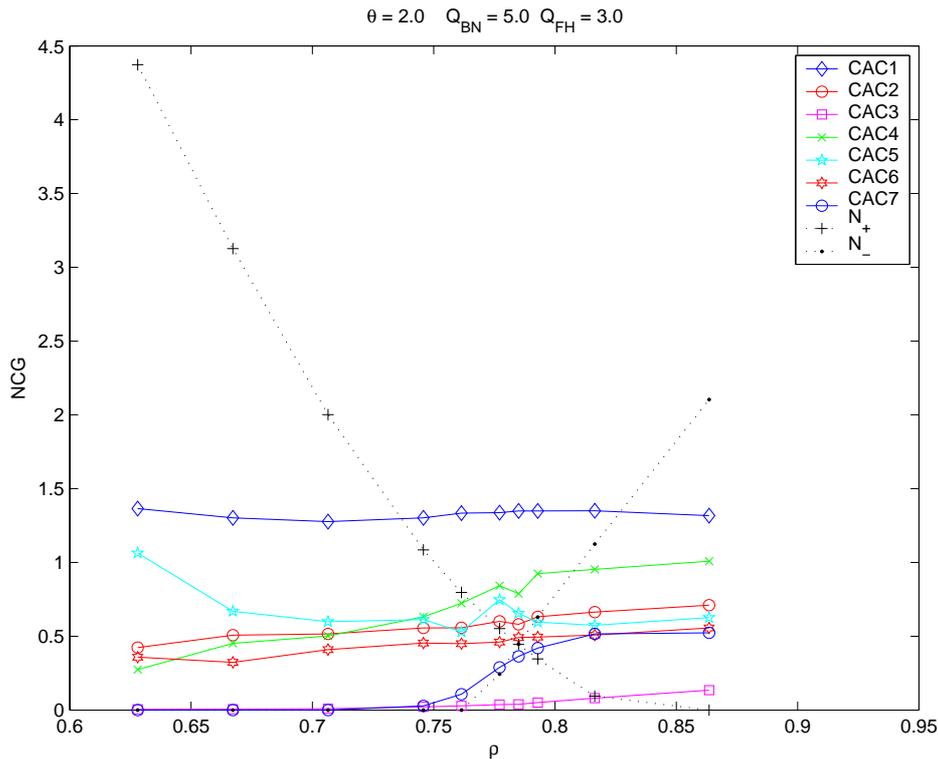


Figura 7.37: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência dado pela distribuição uniforme.

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

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.

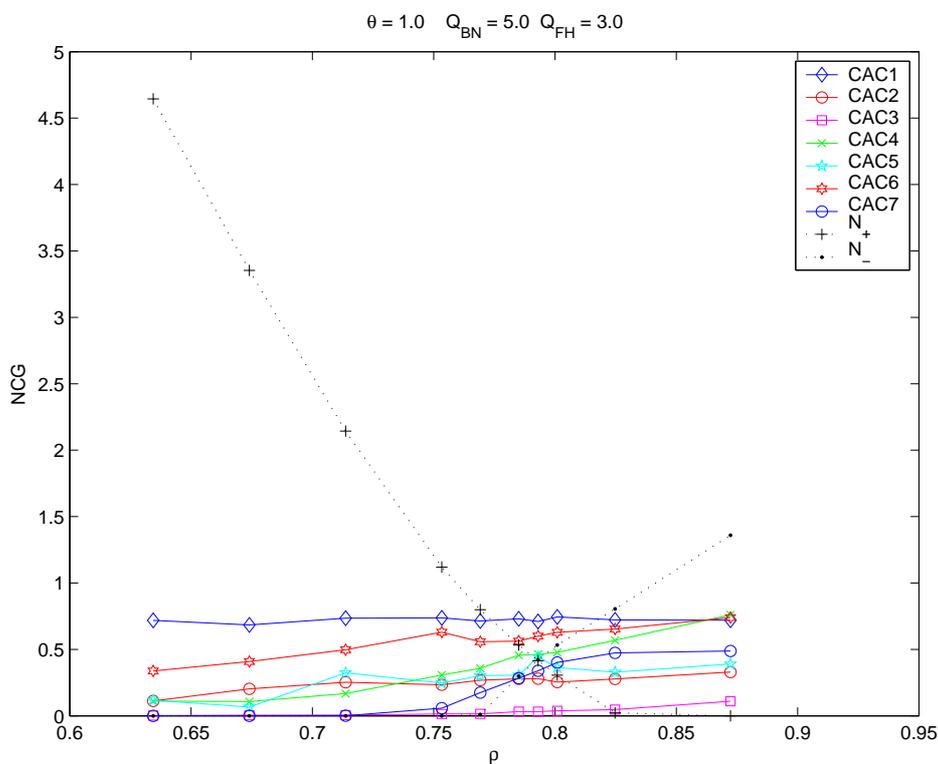


Figura 7.38: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência dado pela distribuição uniforme.

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 $\theta = 6$

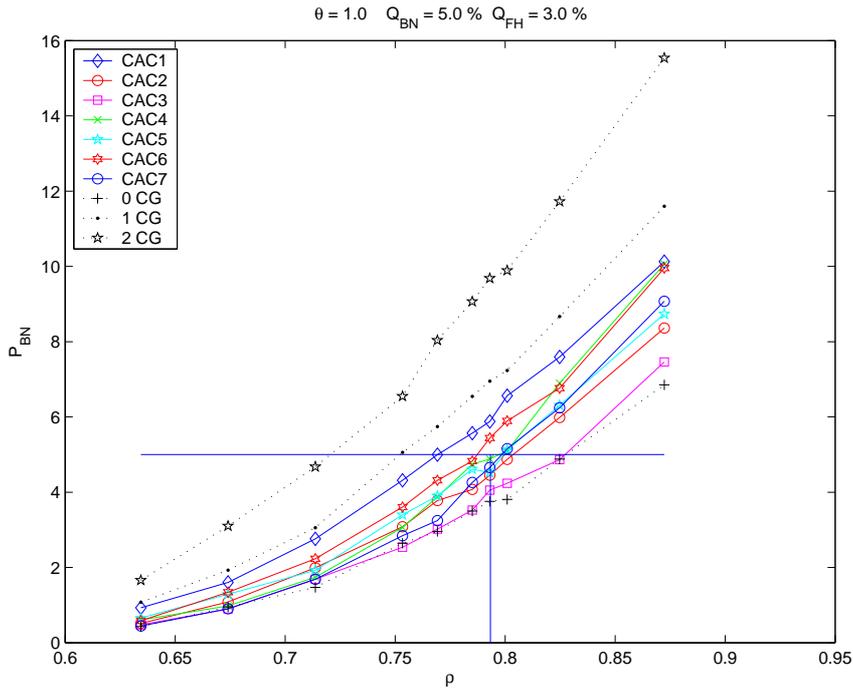


Figura 7.39: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição uniforme.

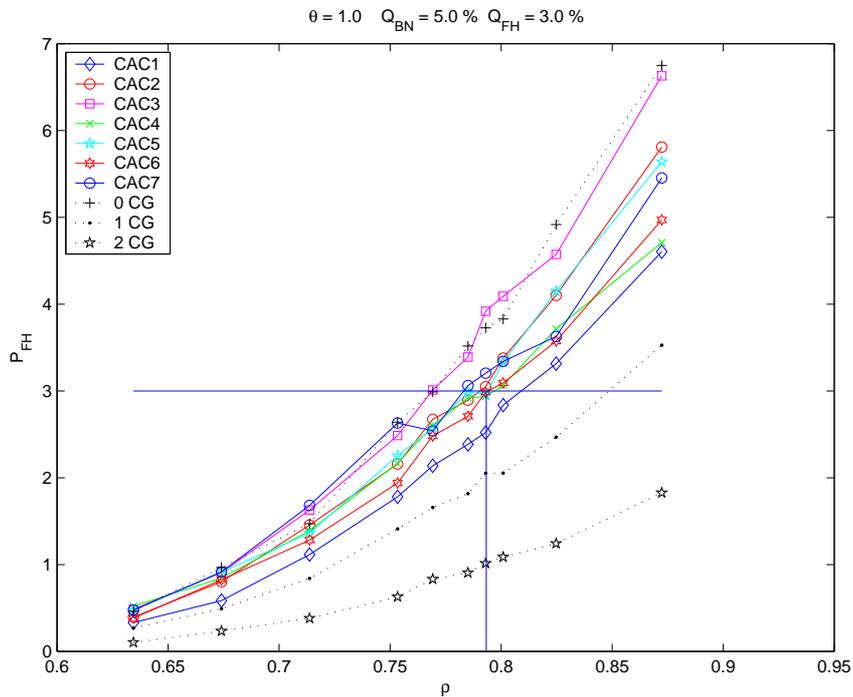


Figura 7.40: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição uniforme.

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

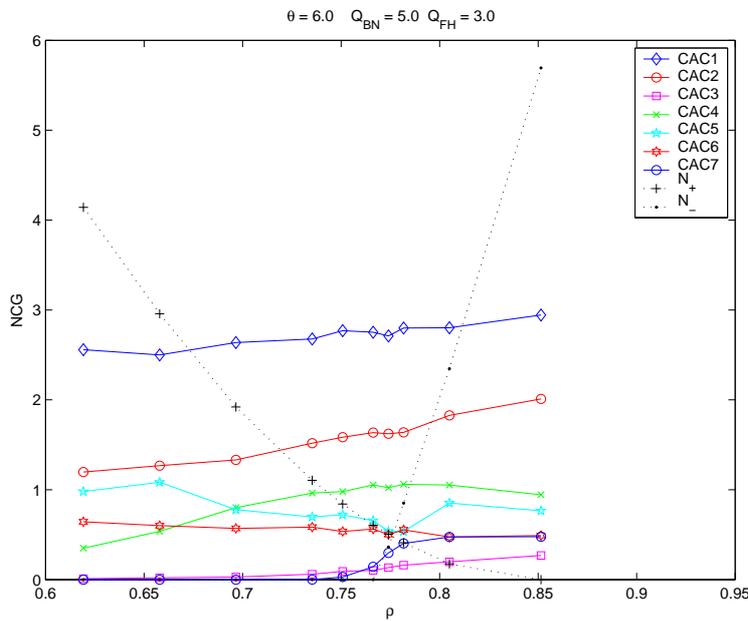


Figura 7.41: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência dado pela distribuição uniforme.

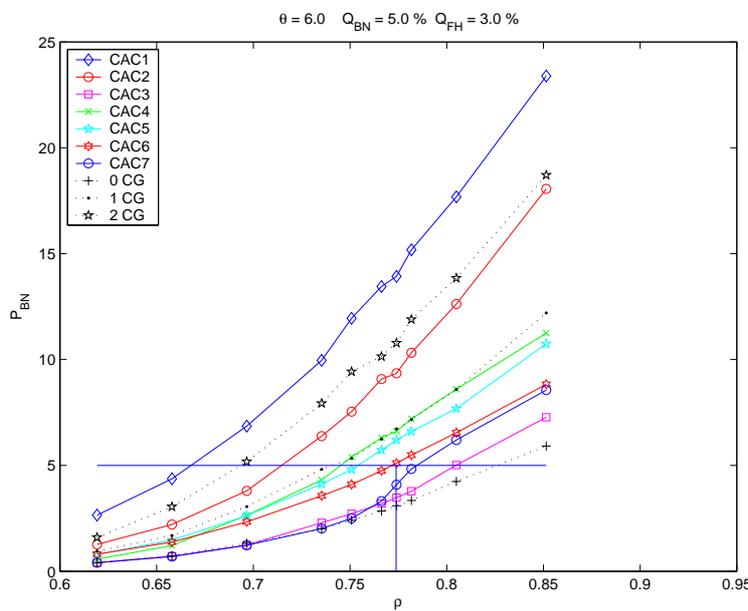


Figura 7.42: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição uniforme.

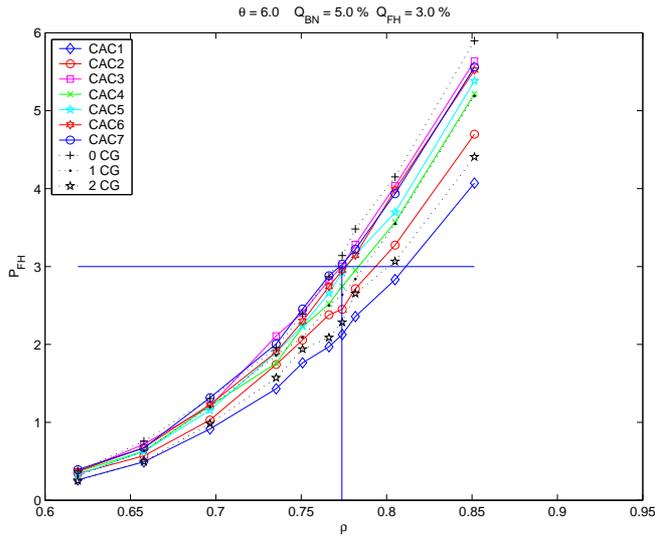


Figura 7.43: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição uniforme.

7.4.3 Parâmetro de Intensidade de Tráfego I, Caso Distribuição Uniforme

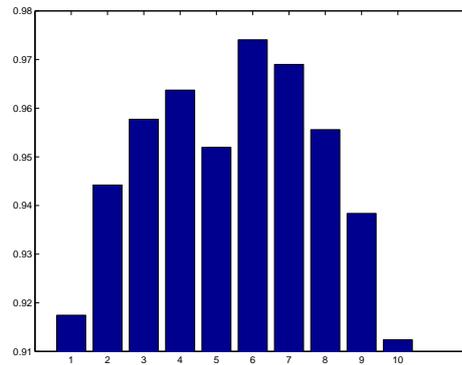


Figura 7.44: Comportamento de I médio de CAC1(1), CAC2(2), CAC3(3), CAC4(4), CAC5(5) CAC6(6), CAC7(7) e 0CG(8), 1CG(9) e 2CG(10) $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição uniforme.

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

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.

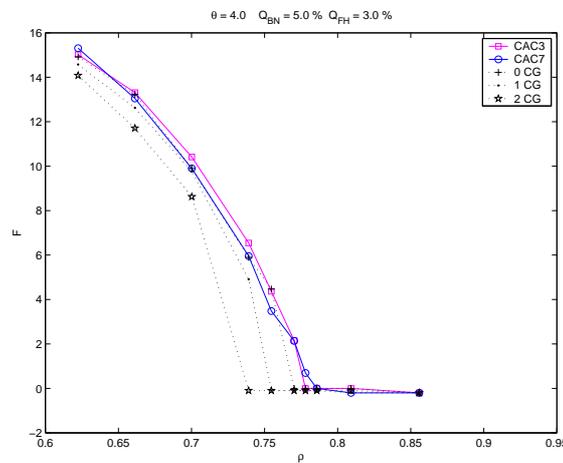


Figura 7.45: Comportamento do parâmetro F de CAC3 e CAC7 e 0CG, 1CG e 2CG $Q(\%) = (5; 3)$ e $\theta = 4$, tempo de permanência dado pela distribuição uniforme.

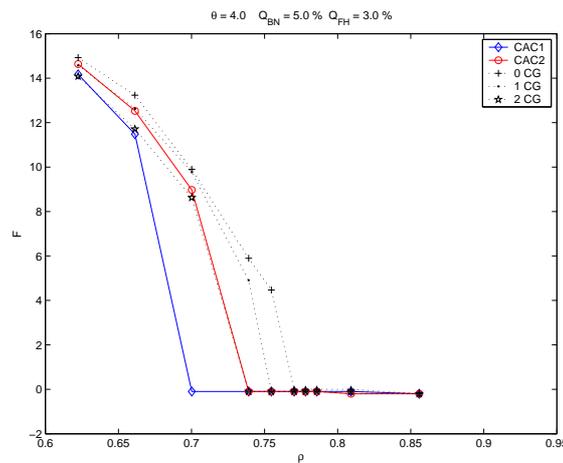


Figura 7.46: Comportamento do parâmetro F de CAC1 e CAC2 e 0CG, 1CG e 2CG $Q(\%) = (5; 3)$ e $\theta = 4$, tempo de permanência dado pela distribuição uniforme.

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.

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.

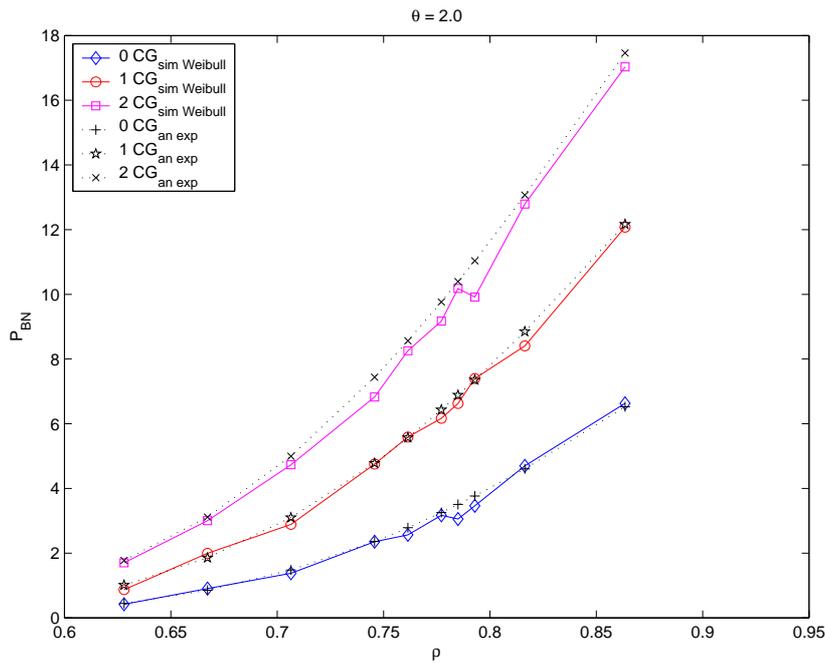


Figura 7.47: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, tempo de permanência Weibull simulado e tempo de permanência exponencial analítico.

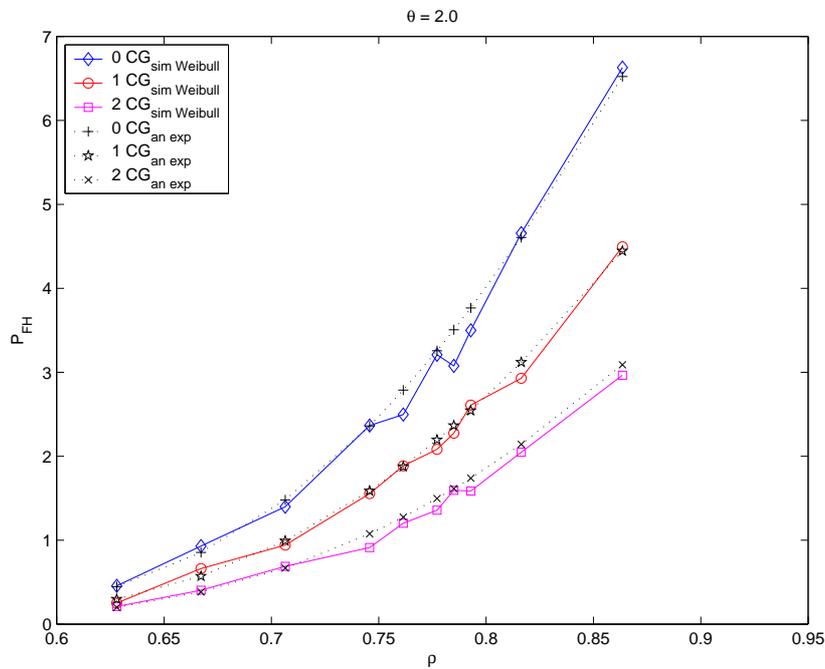


Figura 7.48: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, tempo de permanência Weibull simulado e tempo de permanência exponencial analítico.

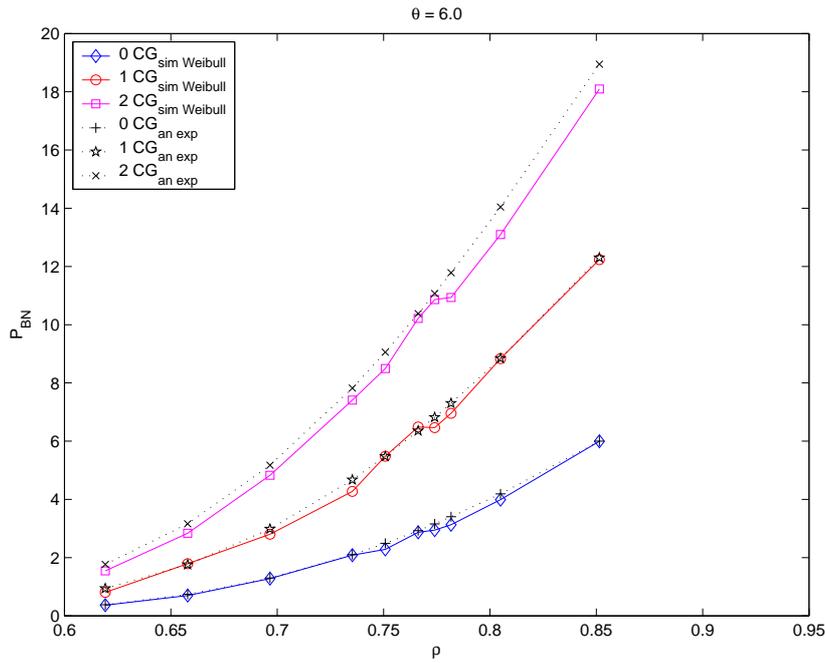


Figura 7.49: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$, tempo de permanência Weibull simulado e tempo de permanência exponencial analítico.

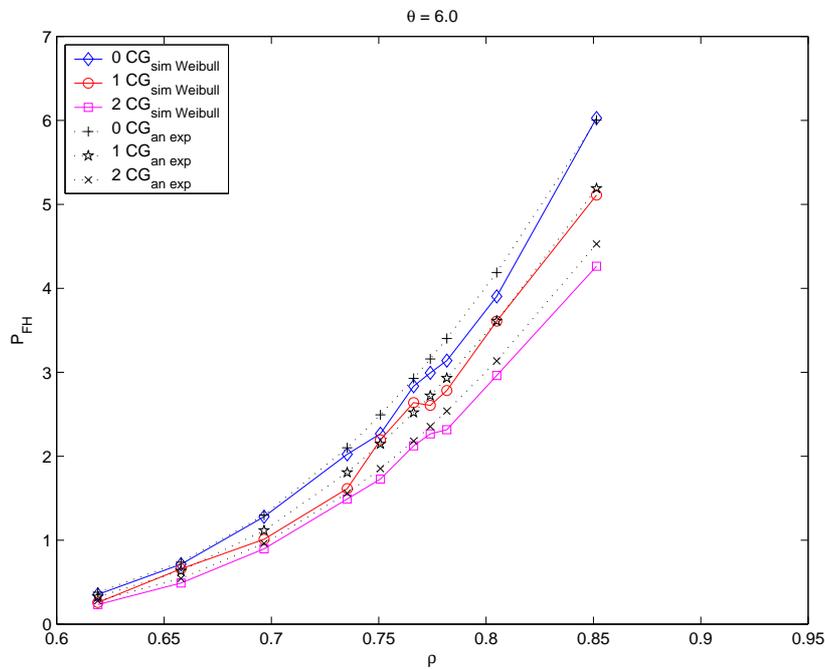


Figura 7.50: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$, tempo de permanência Weibull simulado e tempo de permanência exponencial analítico.

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*.

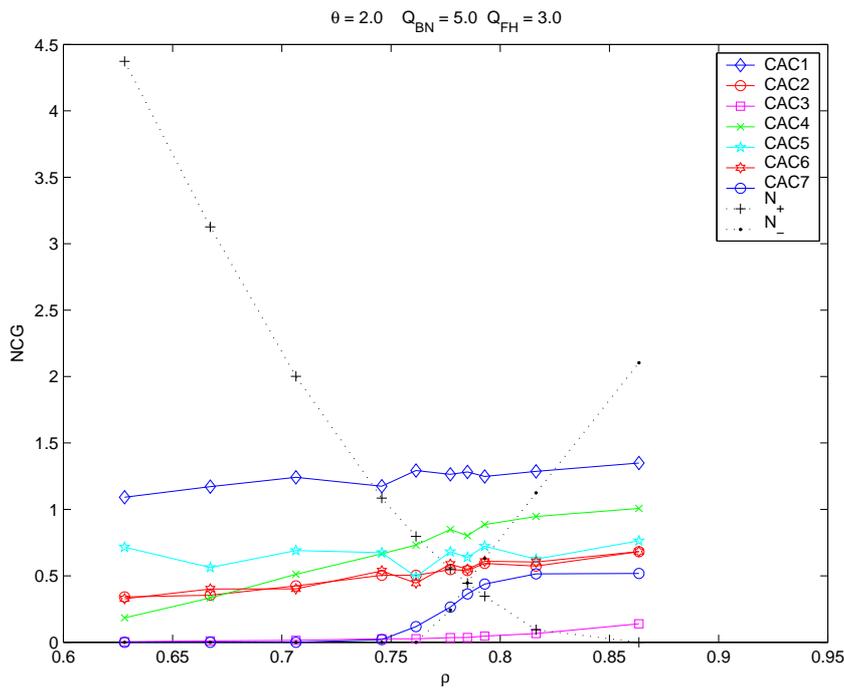


Figura 7.51: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência dado pela distribuição Weibull.

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

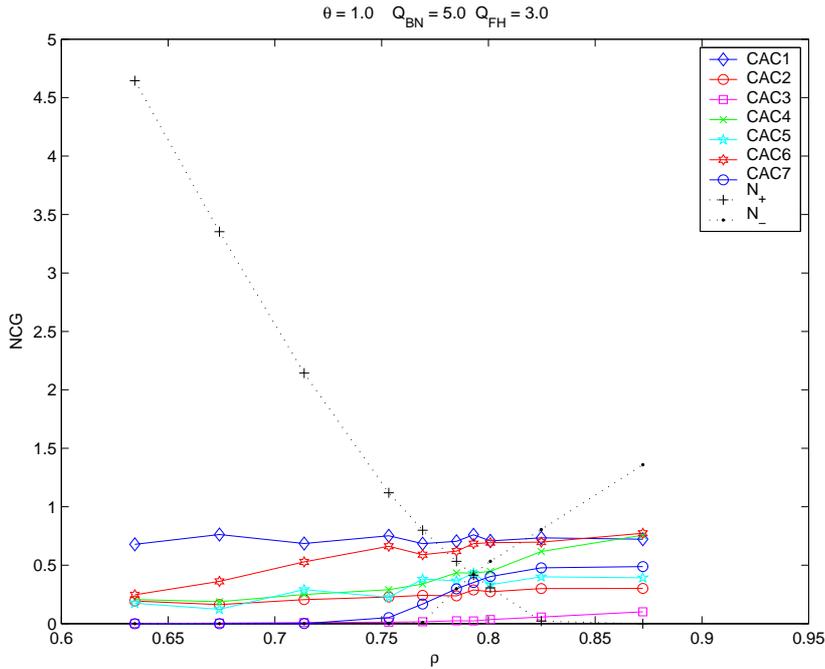


Figura 7.52: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência dado pela distribuição Weibull.

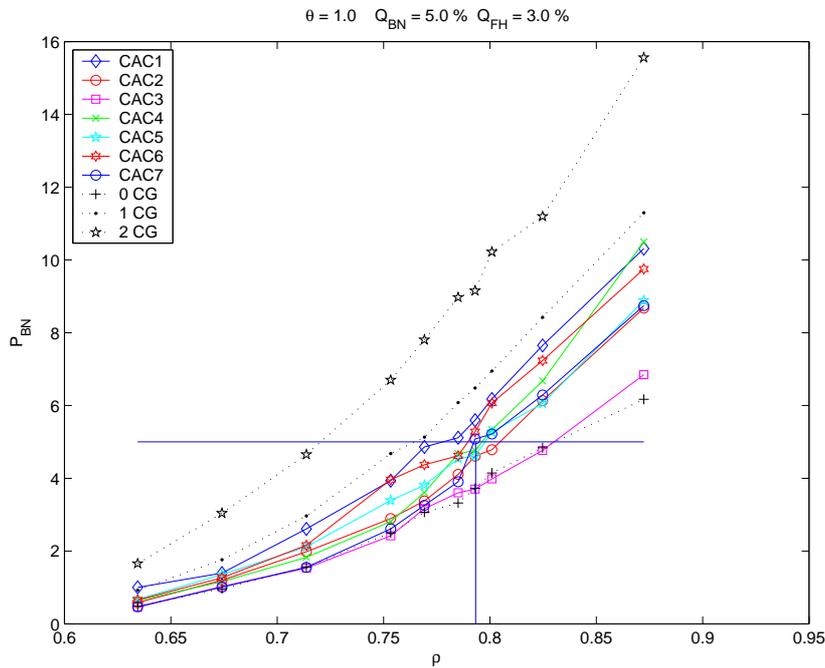


Figura 7.53: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição Weibull.

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

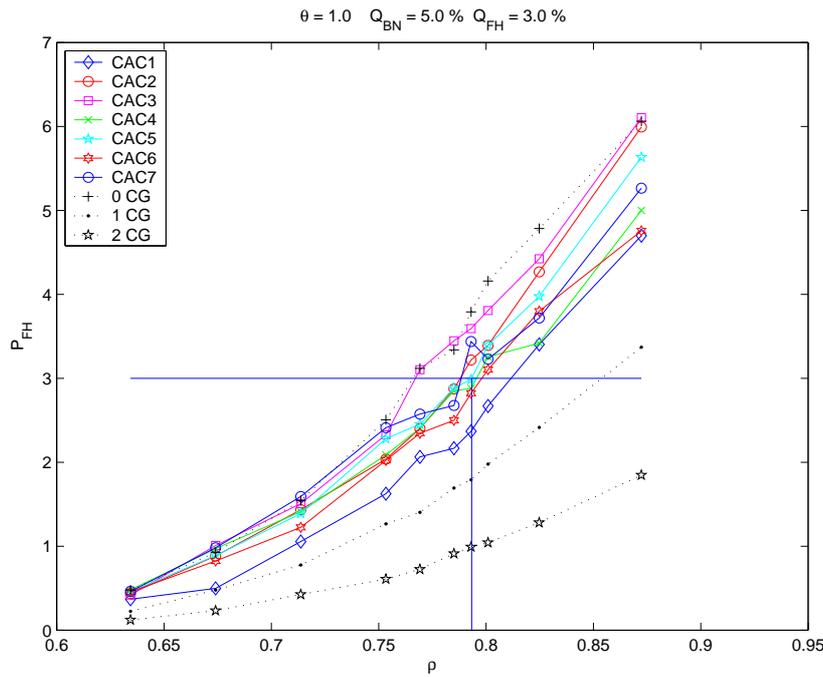


Figura 7.54: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$ e requisito de QoS $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência distribuição Weibull.

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 $Q(\%) = (4; 0.4)$ 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 .

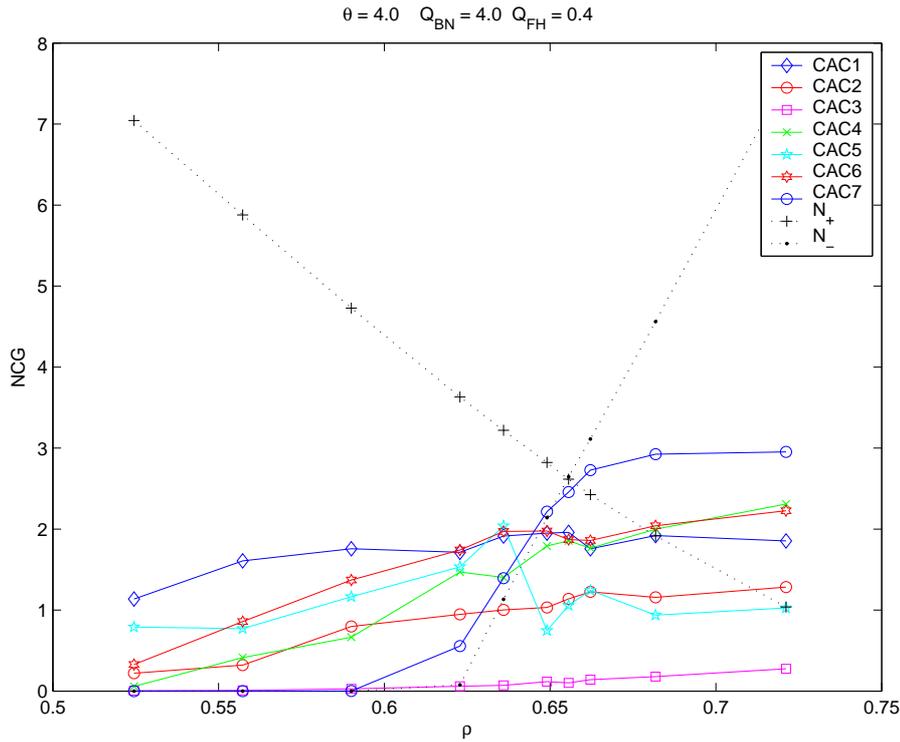


Figura 7.55: Comportamento do número de canais de guarda versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 4$ e requisito de QoS $Q(\%) = (4; 0.4)$, tempo de permanência dado pela distribuição Weibull.

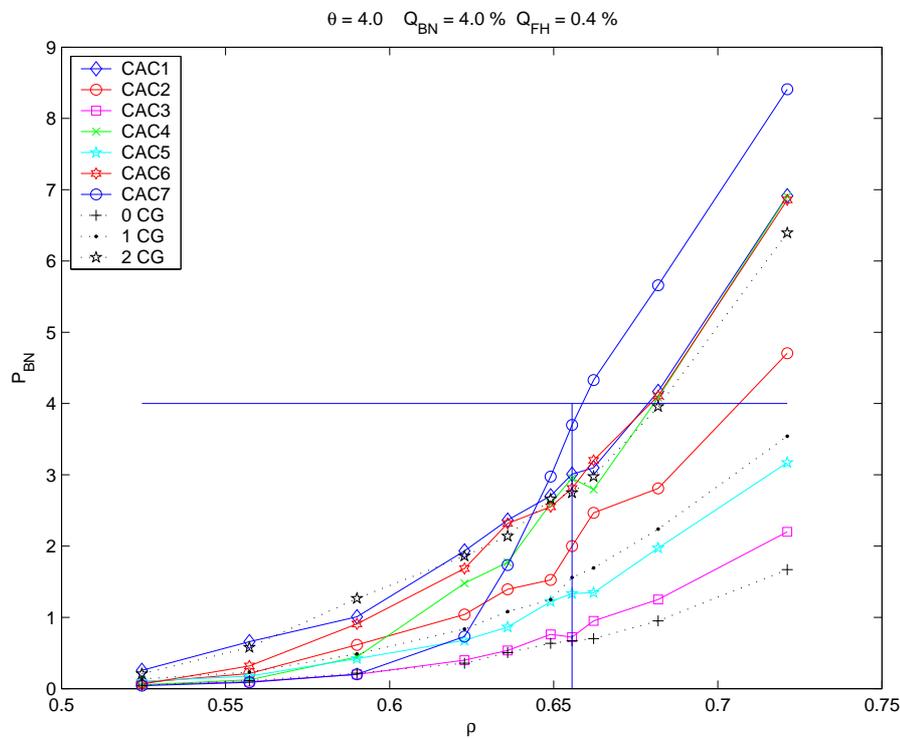


Figura 7.56: Comportamento da probabilidade de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 4$ e requisito de QoS $Q(\%) = (4; 0.4)$, tempo de permanência distribuição Weibull.

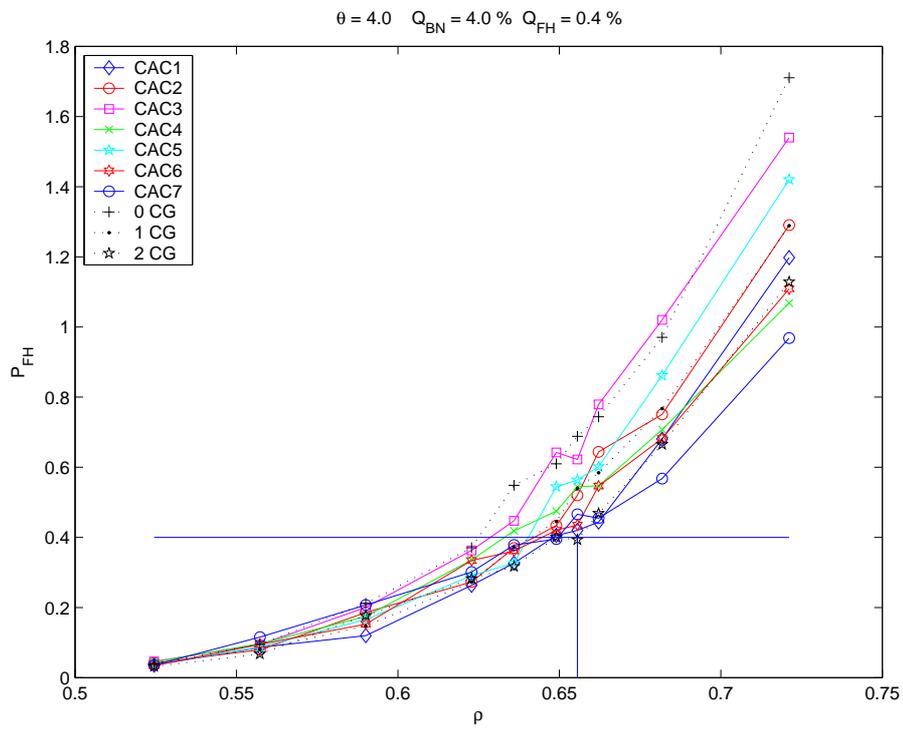


Figura 7.57: Comportamento da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 4$ e requisito de QoS $Q(\%) = (4; 0.4)$, tempo de permanência distribuição Weibull.

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: $Q(\%) = (5; 3)$. Nota-se que os algoritmos *CAC7* e *CAC6* apresentam os maiores valores de intensidade de tráfego de entrada dentro dos limites estabelecidos pelo QoS.

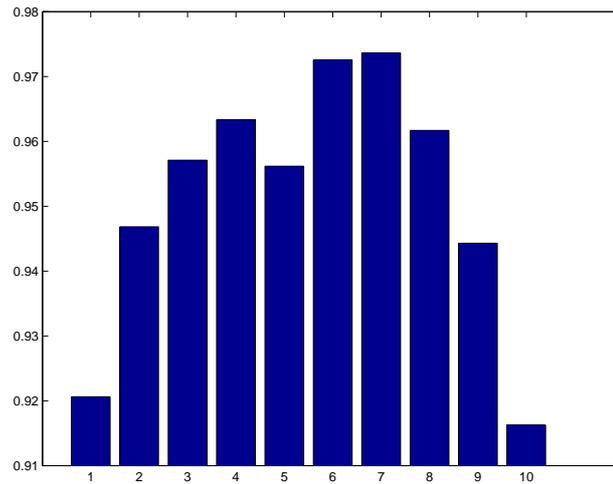


Figura 7.58: Comportamento de I médio de *CAC1*(1), *CAC2*(2), *CAC3*(3), *CAC4*(4), *CAC5*(5), *CAC6*(6), *CAC7*(7) e *OCG*(8), *1CG*(9) e *2CG*(10) $Q(\%) = (5; 3)$, tempo de permanência Weibull.

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.

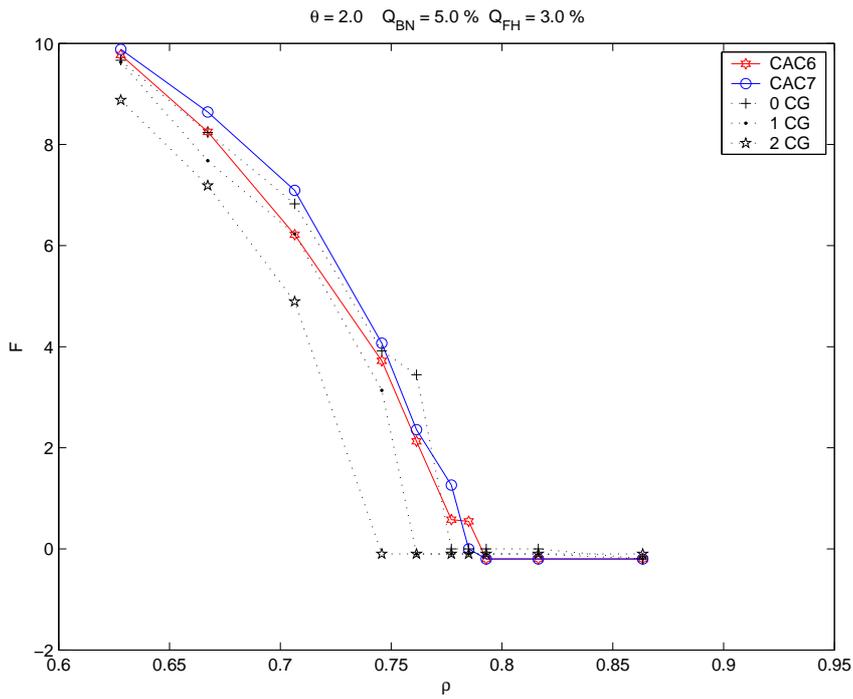


Figura 7.59: Comportamento do parâmetro F de CAC6, CAC7 e 0CG, 1CG e 2CG $Q(\%) = (5; 3)$ e $\theta = 2$, tempo de permanência dado pela distribuição Weibull.

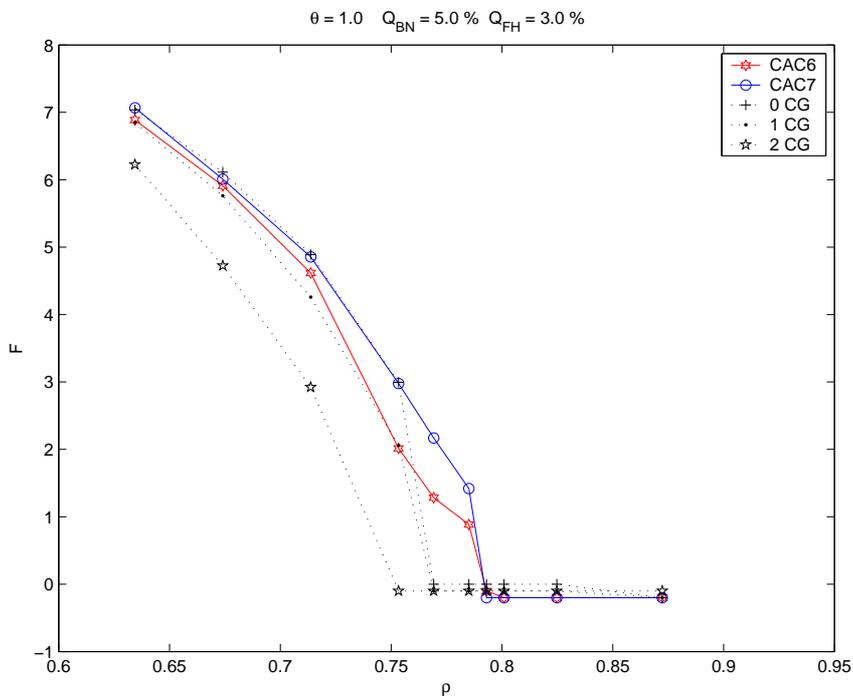


Figura 7.60: Comportamento do parâmetro F de CAC6, CAC7 e 0CG, 1CG e 2CG $Q(\%) = (5; 3)$ e $\theta = 1$, tempo de permanência dado pela distribuição Weibull.

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

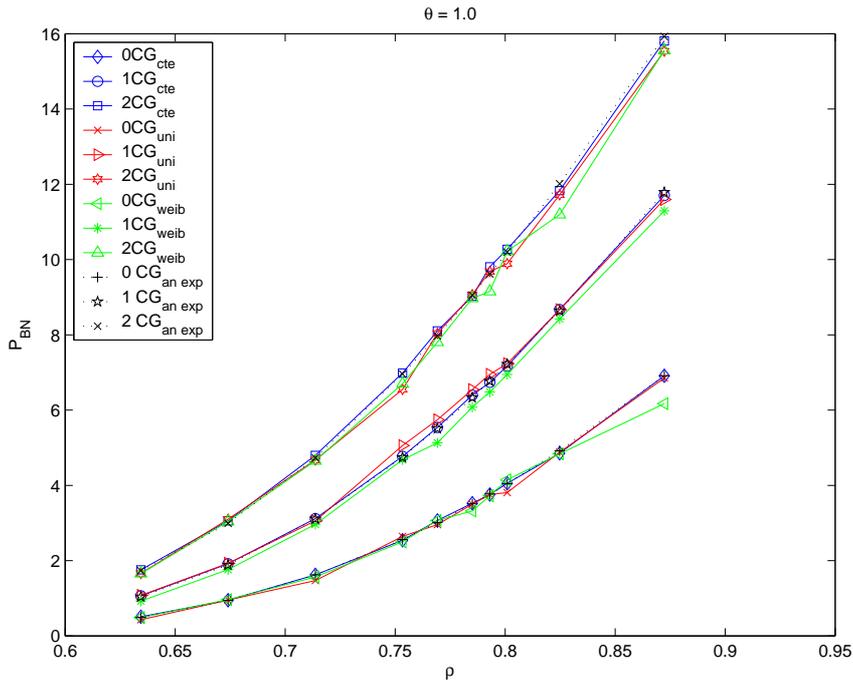


Figura 7.61: Comparação das distribuições constante, uniforme, Weibull e exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula; percentual de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$.

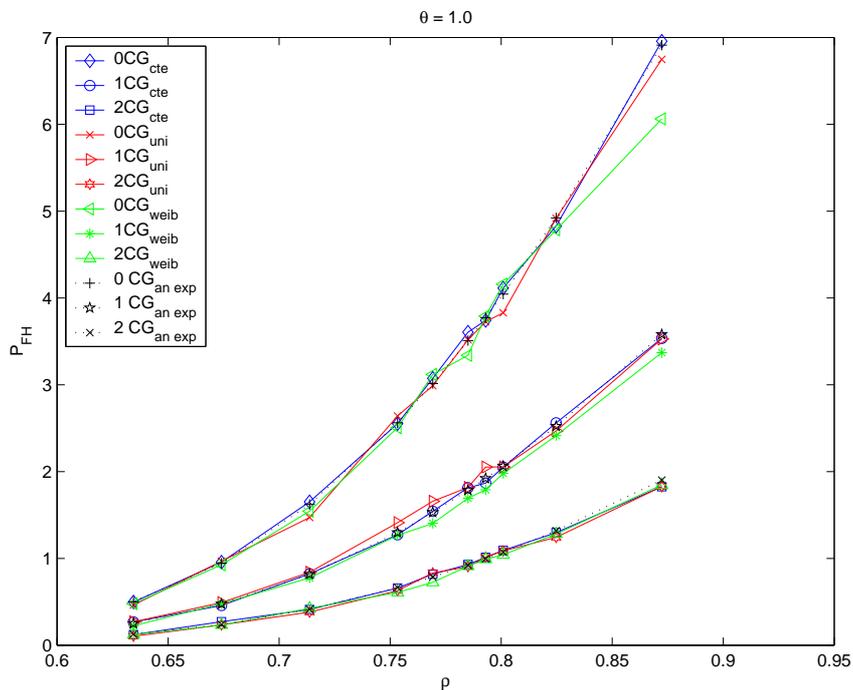


Figura 7.62: Comparação das distribuições constante, uniforme, Weibull e exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula; percentual de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$.

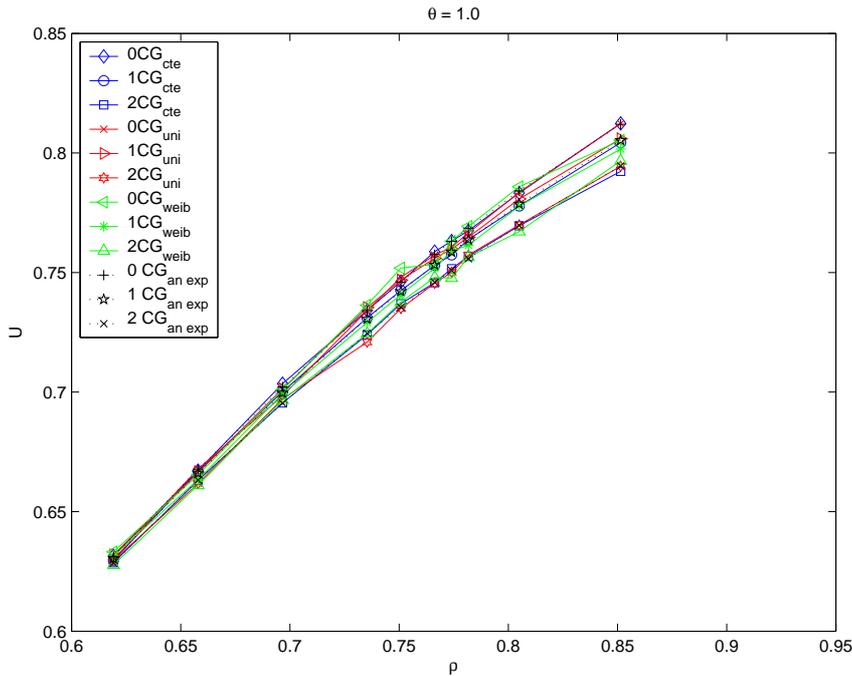


Figura 7.63: Comparação das distribuições constante, uniforme, Weibull e exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula; utilização versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$.

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

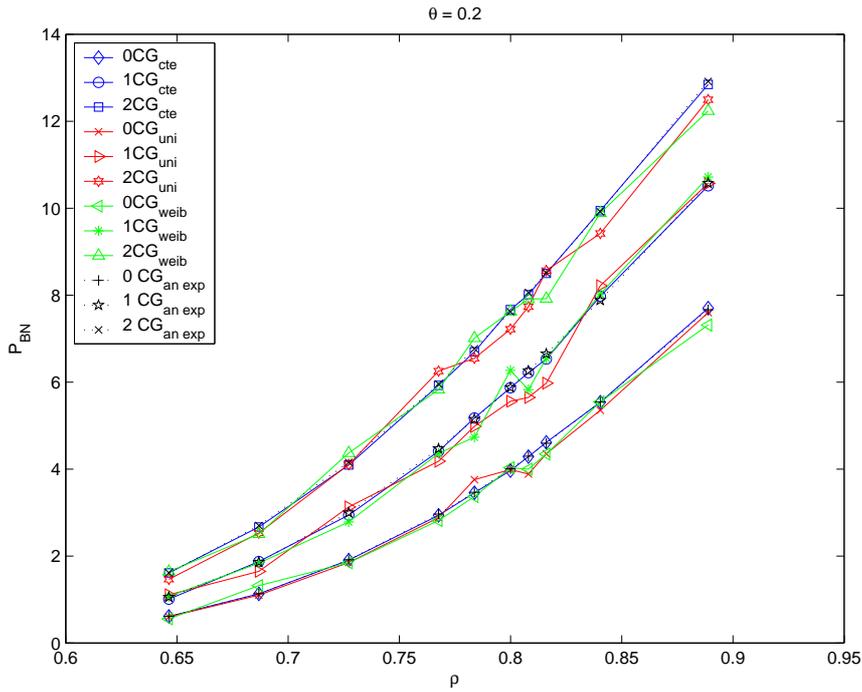


Figura 7.64: Comparação das distribuições constante, uniforme, Weibull e exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula; percentual de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0.2$.

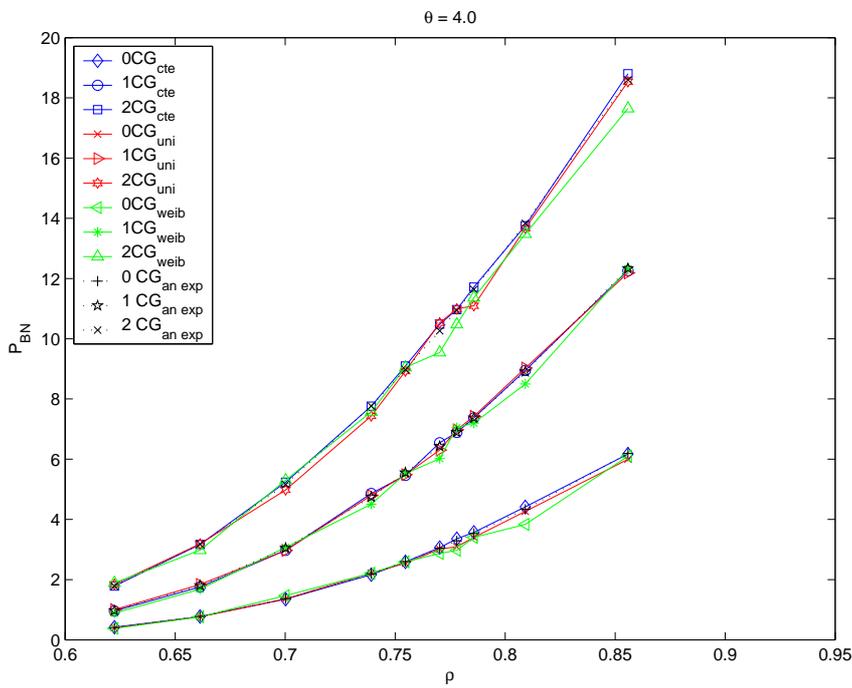


Figura 7.65: Comparação das distribuições constante, uniforme, Weibull e exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula; percentual de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 4$.

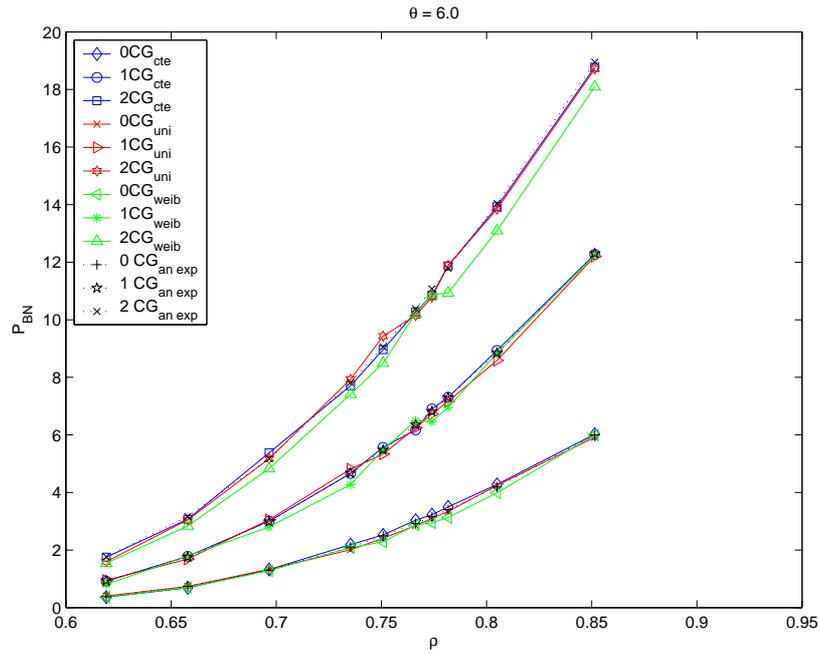


Figura 7.66: Comparação das distribuições constante, uniforme, Weibull e exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula; percentual de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$.

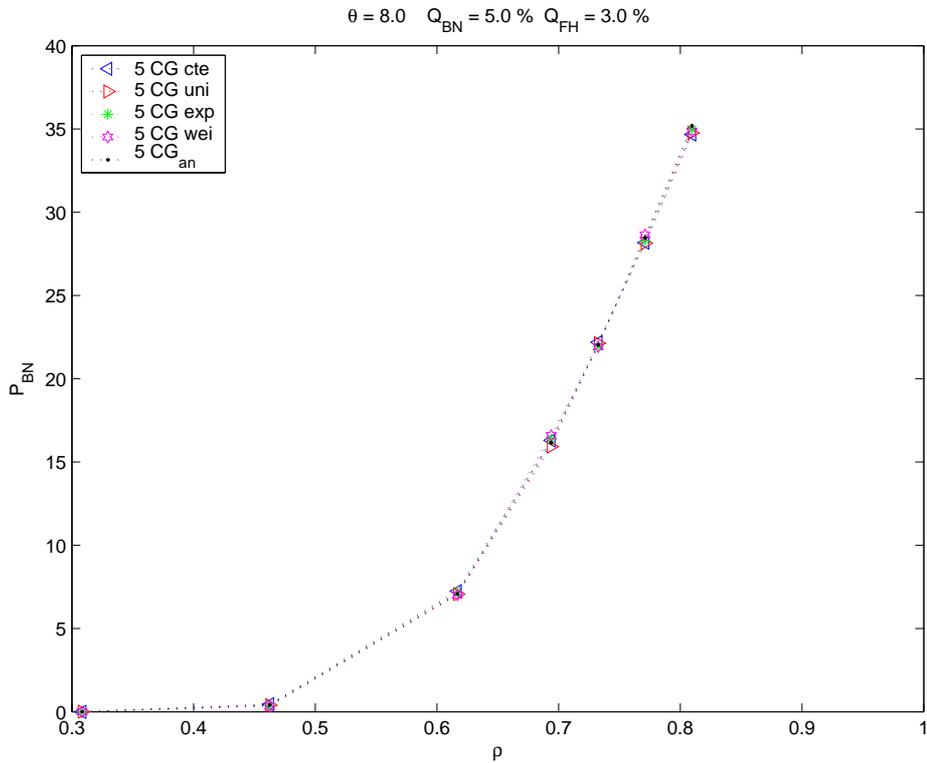


Figura 7.67: Comparação das distribuições constante, uniforme, Weibull e exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula; percentual de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 8$ e 5CG.

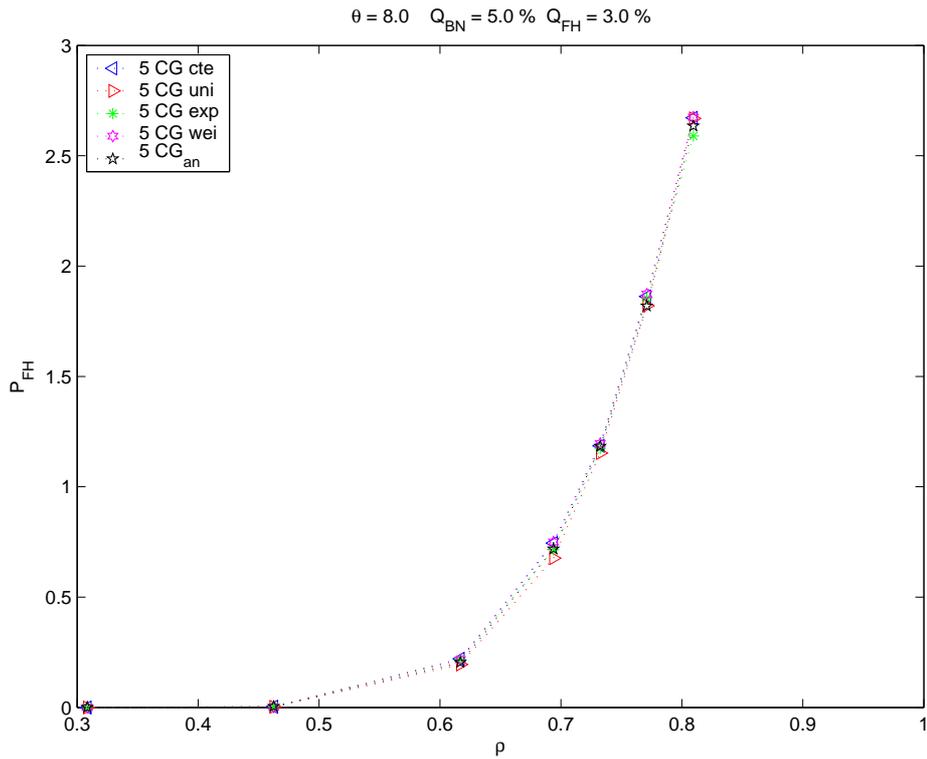


Figura 7.68: Comparação das distribuições constante, uniforme, Weibull e exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula; percentual de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 8$ e 5CG.

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.

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 com 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.

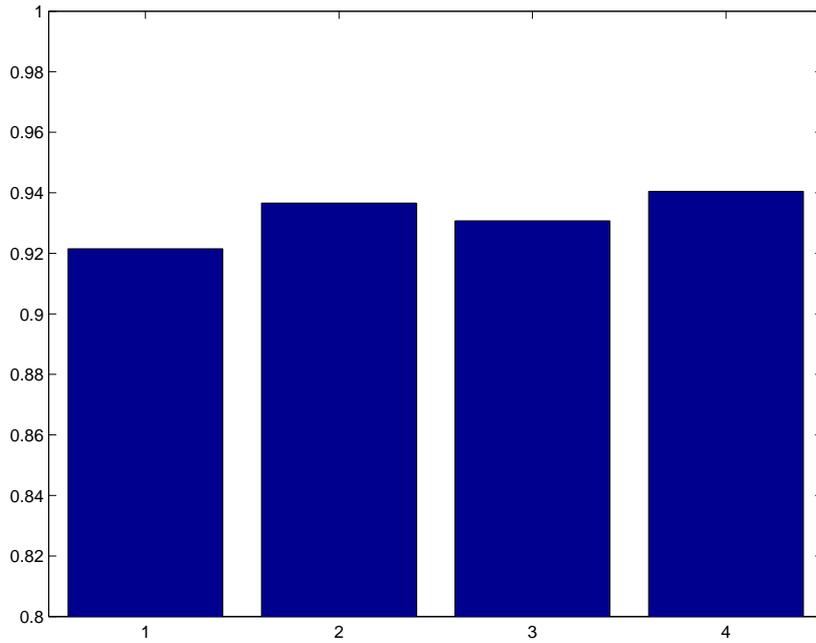


Figura 7.69: Comparação das distribuições constante(1), uniforme(2), exponencial(3) e Weibull(4) para o tempo de permanência do usuário na célula; diagrama de barras do Parâmetro I, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC1.

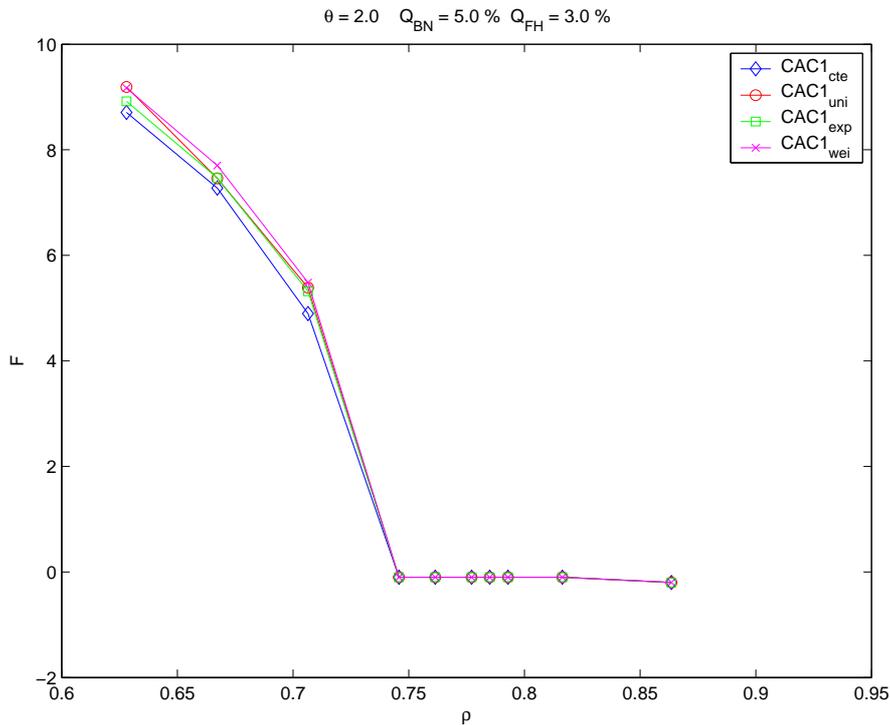


Figura 7.70: Comparação das distribuições constante, uniforme, exponencial e Weibull para o tempo de permanência do usuário na célula; parâmetro F versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC1.

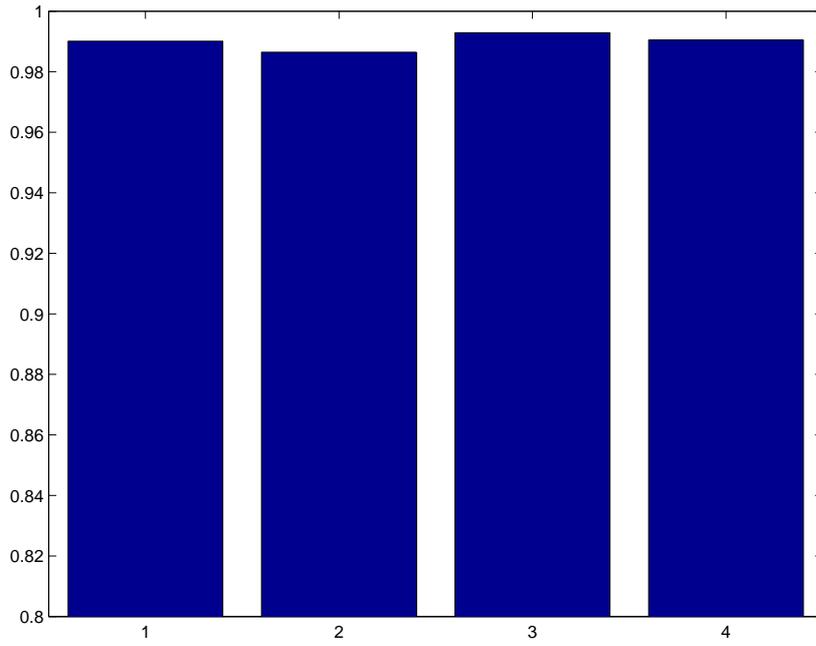


Figura 7.71: Comparação das distribuições constante(1), uniforme(2), exponencial(3) e Weibull(4) para o tempo de permanência do usuário na célula; diagrama de barras do Parâmetro I, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC2.

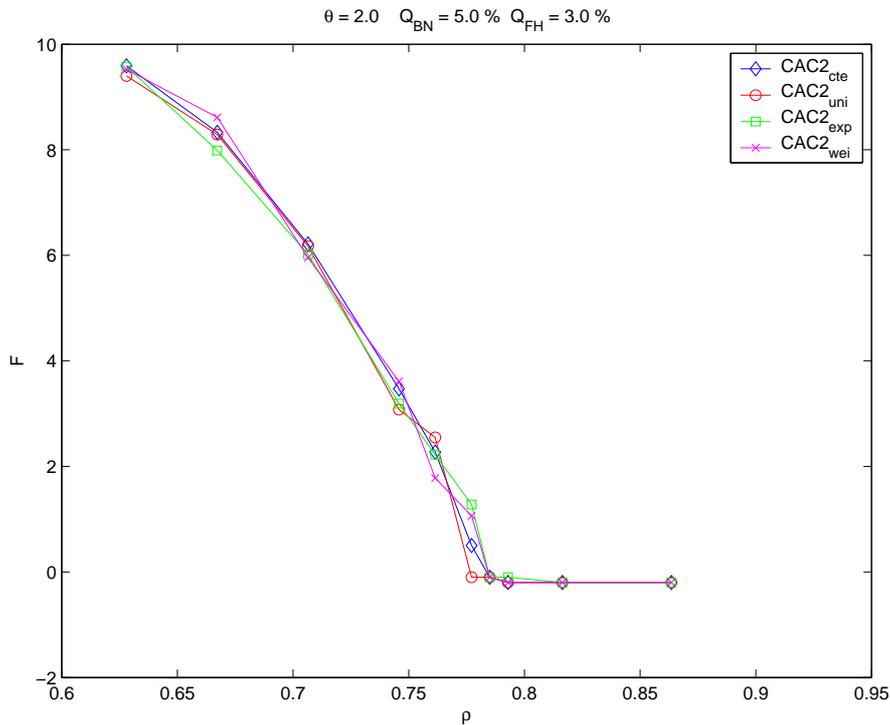


Figura 7.72: Comparação das distribuições constante, uniforme, exponencial e Weibull para o tempo de permanência do usuário na célula; parâmetro F versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC2.

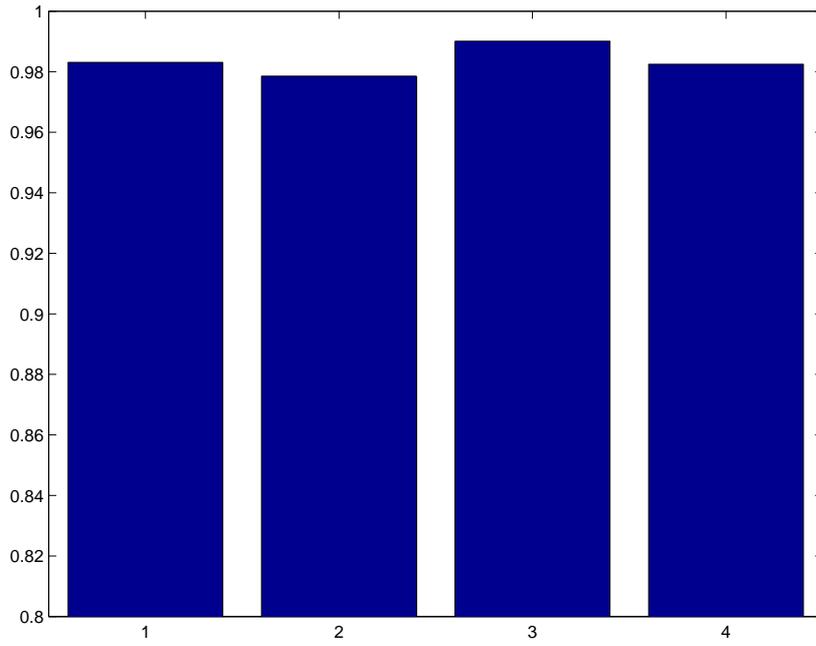


Figura 7.73: Comparação das distribuições constante(1), uniforme(2), exponencial(3) e Weibull(4) para o tempo de permanência do usuário na célula; diagrama de barras do Parâmetro I, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC3.

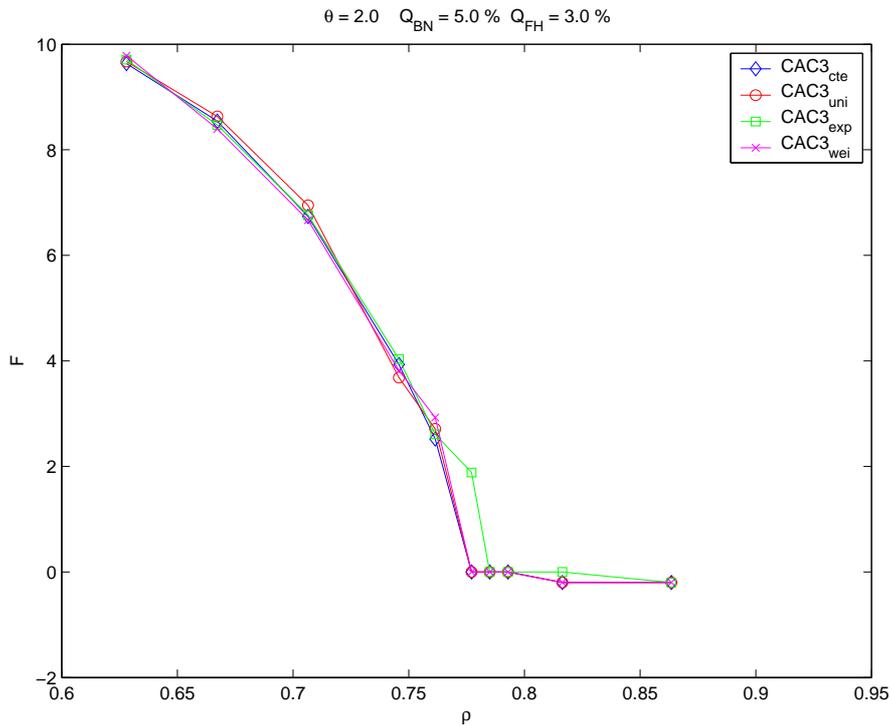


Figura 7.74: Comparação das distribuições constante, uniforme, exponencial e Weibull para o tempo de permanência do usuário na célula; parâmetro F versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC3.

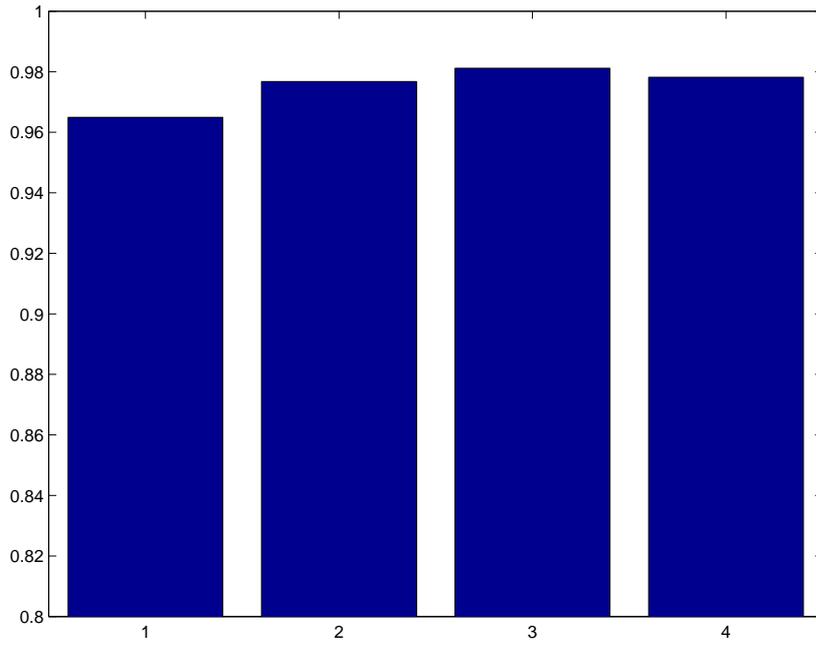


Figura 7.75: Comparação das distribuições constante(1), uniforme(2), exponencial(3) e Weibull(4) para o tempo de permanência do usuário na célula; diagrama de barras do Parâmetro I, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC4.

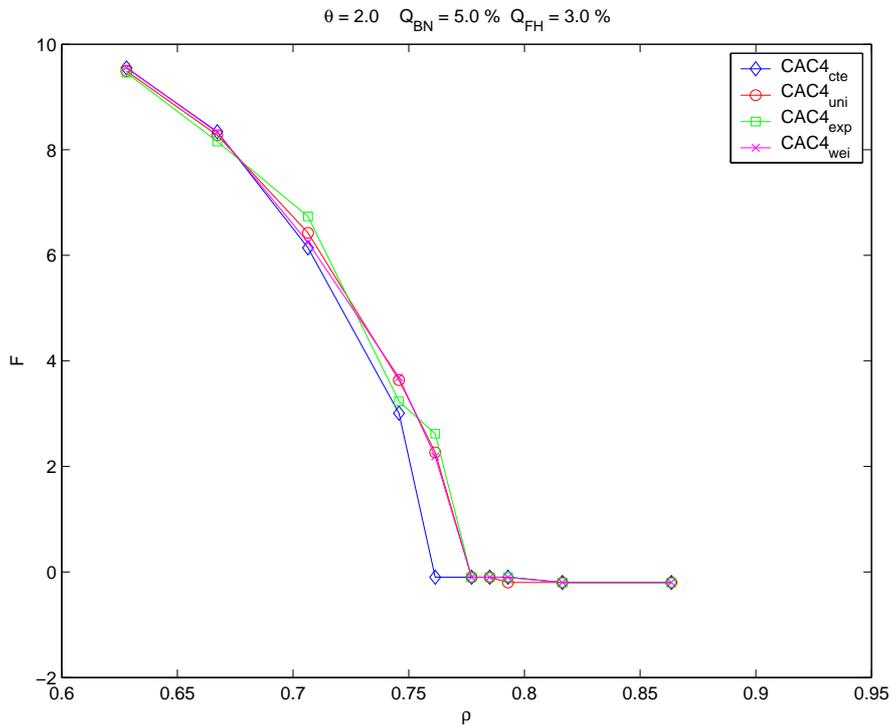


Figura 7.76: Comparação das distribuições constante, uniforme, exponencial e Weibull para o tempo de permanência do usuário na célula; parâmetro F versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC4.

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} .

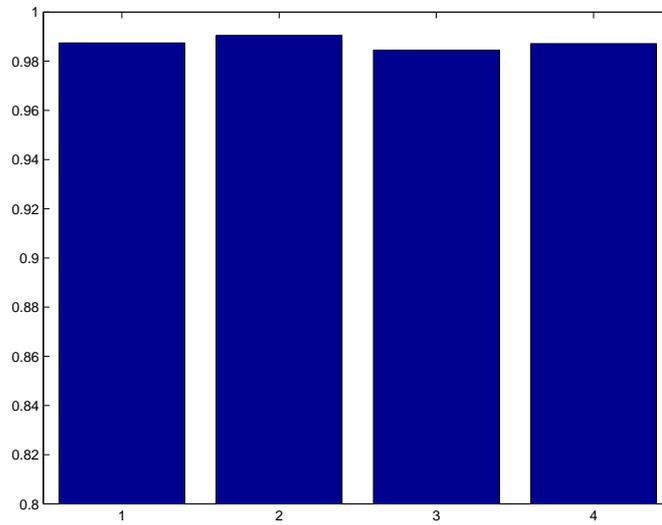


Figura 7.77: Comparação das distribuições constante(1), uniforme(2), exponencial(3) e Weibull(4) para o tempo de permanência do usuário na célula; diagrama de barras do Parâmetro I, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC5.

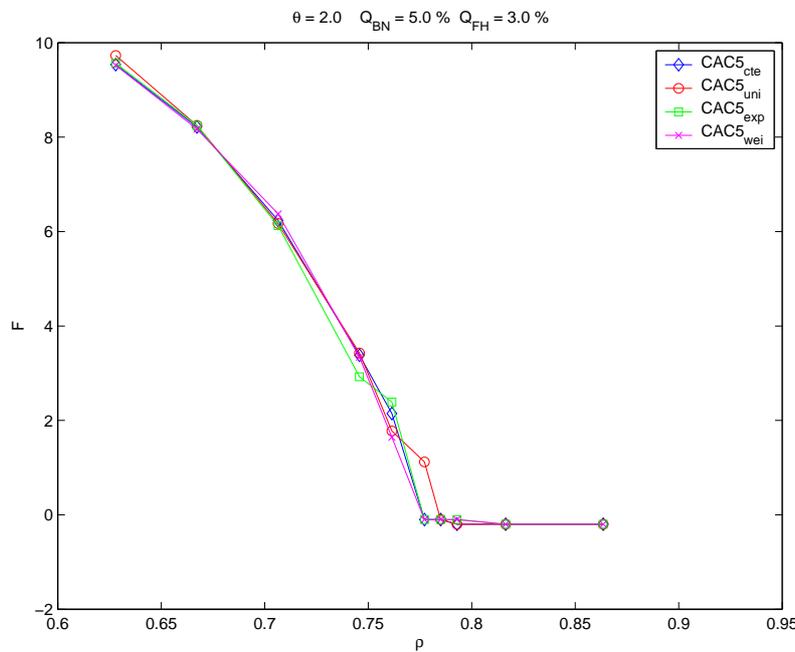


Figura 7.78: Comparação das distribuições constante, uniforme, exponencial e Weibull para o tempo de permanência do usuário na célula; parâmetro F versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC5.

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.

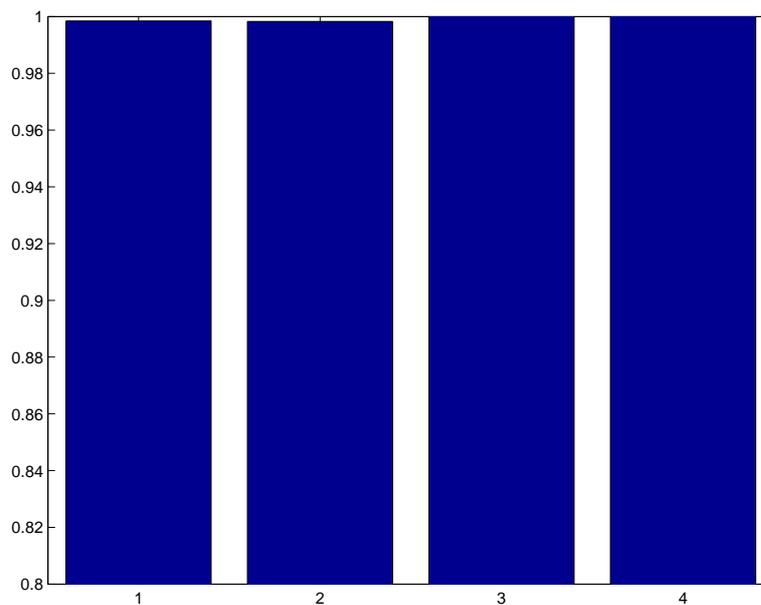


Figura 7.79: Comparação das distribuições constante(1), uniforme(2), exponencial(3) e Weibull(4) para o tempo de permanência do usuário na célula; diagrama de barras do Parâmetro I, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo *CAC6*.

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

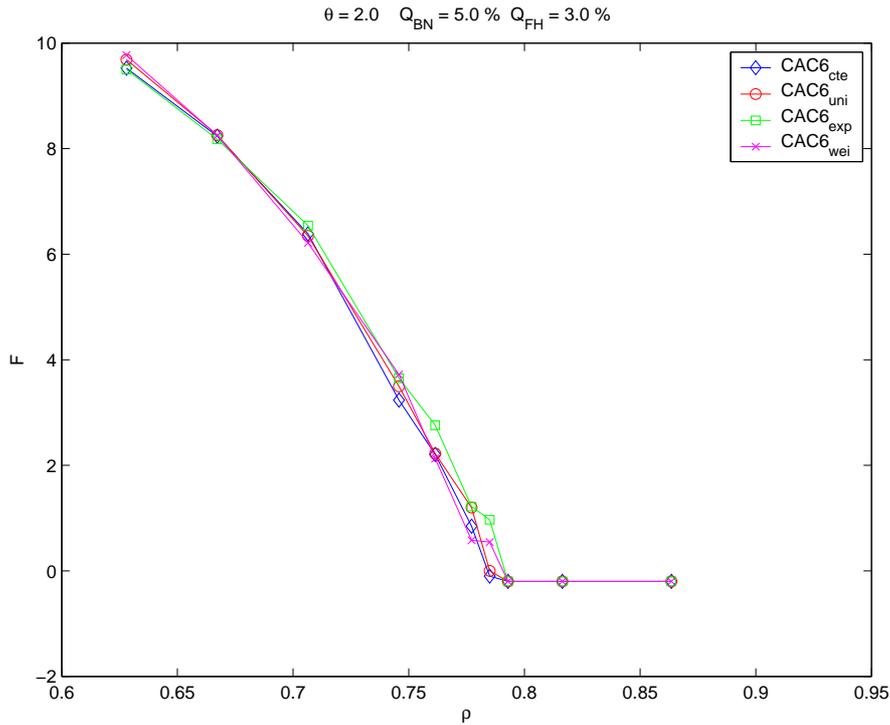


Figura 7.80: Comparação das distribuições constante, uniforme, exponencial e Weibull para o tempo de permanência do usuário na célula; parâmetro F versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC6.

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

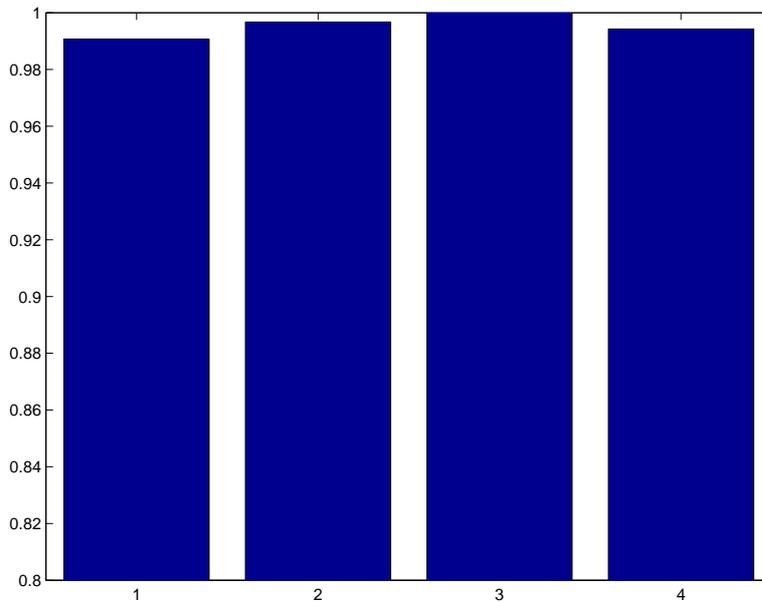


Figura 7.81: Comparação das distribuições constante(1), uniforme(2), exponencial(3) e Weibull(4) para o tempo de permanência do usuário na célula; diagrama de barras do Parâmetro I , para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC7.

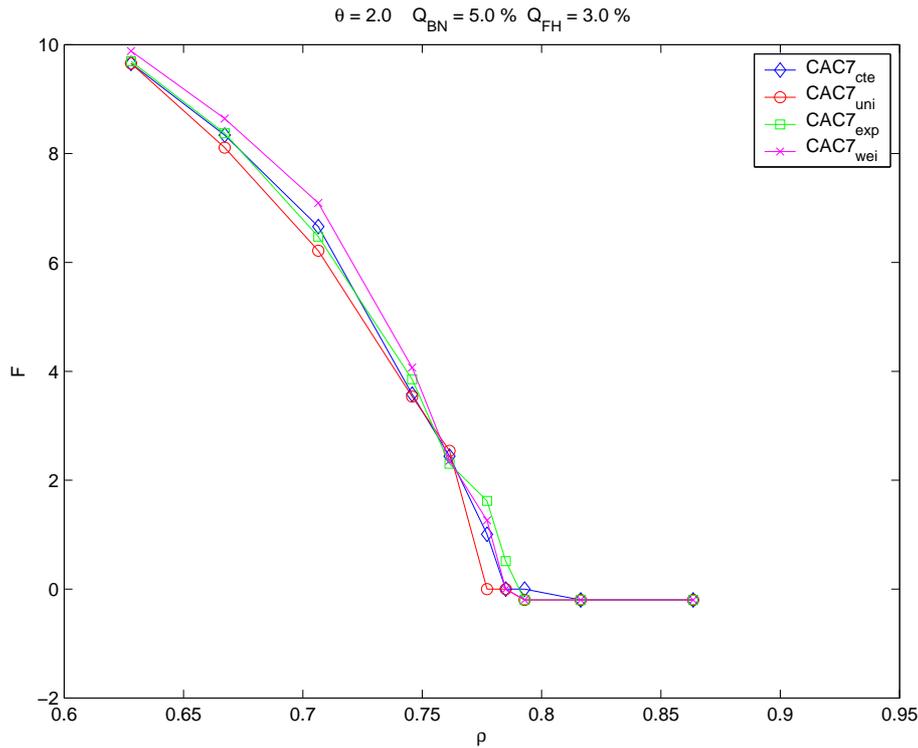


Figura 7.82: Comparação das distribuições constante, uniforme, exponencial e Weibull para o tempo de permanência do usuário na célula; parâmetro F versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$, algoritmo CAC7.

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.

8

Solução Analítica para Múltiplas Classes de Usuários

A comunicação por voz é a principal aplicação dos primeiros sistemas de comunicações móveis. Com o desenvolvimento da tecnologia e o aumento das taxas de transmissão, a evolução natural da aplicação dos sistemas móveis é a oferta de múltiplos serviços. Além do serviço de voz, transitam na rede móvel mensagens curtas; e-mail; dados; fotos e vídeo. Os usuários são diferentes entre si. Cada serviço possui características próprias, como o tipo de tráfego e os requisitos de qualidade de serviço.

O Controle de Admissão de Chamadas do Sistema de Comunicações Móveis deve lidar com usuários que apresentam características distintas, oferecendo serviços diferenciados para usuários de tarifas diversas e considerando os requisitos de qualidade de serviço de cada tipo de tráfego. É comum a divisão dos usuários da rede em classes para que se possa considerar as diferenças entre os mesmos. Pode haver classes de tarifa ou classes de tipo de tráfego.

Este capítulo apresenta uma solução mais geral para o problema do Controle de Admissão de Chamadas ao analisar usuários de múltiplas classes. A solução é determinada através do desenvolvimento analítico para o cálculo da probabilidade de bloqueio de chamadas novas e da probabilidade de falha de chamadas em *handoff* utilizando cadeias de Markov.

Os recursos da rede móvel são divididos em Unidades de Banda, UB, que serão aqui denominadas, por simplicidade, de canais. Estes canais podem ser implementados por tecnologias diversas como códigos, frequências, *slots* de tempo, ou outros.

Os usuários do sistema são classificados por classes denominadas γ que podem ter parâmetros diferentes, tanto nas suas características de tráfego, quanto no tratamento dado pelo sistema devido aos seus requisitos de QoS.

No capítulo 9 são apresentados os algoritmos de controle de admissão de chamadas propostos nesta tese para sistemas móveis com usuários de múltiplas classes. Os algoritmos propostos são testados no simulador desenvolvido neste trabalho e descrito no capítulo 4. São simulados casos

simples que possuem solução analítica desenvolvida neste capítulo e seus resultados são comparados entre si. Outros casos mais complexos são simulados e seus resultados são comparados a resultados também simulados utilizando número fixo de canais de guarda.

8.1

Introdução ao Modelo para Sistemas com Usuários de Múltiplas Classes

O modelo desenvolvido neste capítulo para o cálculo das Probabilidades de Bloqueio de Novas Chamadas, P_{BN} , e das Probabilidades de Falha de *Handoff*, P_{FH} , é inspirado no modelo para sistemas de uma classe de usuários, apresentado no capítulo 3.

A taxa de chegada de novas chamadas se dá segundo um processo de Poisson. O tempo de retenção do recurso é dado pelo mínimo entre a duração da chamada, representada pela distribuição exponencial, e o tempo de permanência do usuário na célula. Neste capítulo, 8, o tempo de retenção é dado pela distribuição exponencial, que possibilita o cálculo analítico das Probabilidades de Bloqueio e de Falha de Chamadas em *Handoff*. No capítulo 9 os algoritmos de Controle de Admissão para mais de uma classe são apresentados e testados com novas distribuições para o tempo de retenção do canal.

Os usuários utilizam um ou mais números inteiros de Unidades de Banda, UB; para acelerar a transmissão de dados. Cada classe, denotada por classe γ , apresenta uma demanda de recursos de B_γ Unidades de Banda.

As taxas de chegada e saída de cada classe γ são denotadas por λ_γ e μ_γ . Sendo que a taxa de chegada é separada entre as taxas de chegada de usuários novos e de usuários em *handoff* da classe γ , denotadas, respectivamente, por $\lambda_{N\gamma}$ e $\lambda_{H\gamma}$.

Os requisitos de qualidade de serviço, QoS, são definidos por valores aceitáveis de percentual de bloqueio de chamadas novas e percentual de falha de chamadas em *handoff*, e são denotados pelo par $(Q_{BN\gamma}; Q_{FH\gamma})$.

O sistema de usuários de múltiplas classes pode ser modelado por uma cadeia de Markov de dimensão M , onde M é o número de classes de usuários. Cada estado da cadeia é definido pelo número de usuários ativos pertencentes a cada classe do sistema.

Por exemplo, o estado (n_1, n_2, \dots, n_M) , pertence a uma cadeia que representa um sistema de M classes. Há n_γ usuários ativos pertencentes à γ -ésima classe, $\gamma = 1, 2, 3, \dots, M$. O sistema possui ao todo N_c recursos que são distribuídos pelos usuários. Em cada estado são utilizados $BT_{(n_1, n_2, \dots, n_M)}$

canais, que é a Banda total utilizada quando o sistema está neste estado, dada na equação (8-1).

$$BT_{(n_1;n_2;\dots;n_M)} = \sum_{\gamma=1}^M n_\gamma B_\gamma \quad (8-1)$$

A existência, ou não, de cada estado depende da combinação do número de usuários de cada classe e sua respectiva demanda, de tal forma que o total de recursos requisitado pelo estado possa ser atendido pelo total de Unidades de Banda do sistema. A condição de existência do estado está na equação (8-2).

$$BT_{(n_1;n_2;\dots;n_M)} \leq N_c \quad (8-2)$$

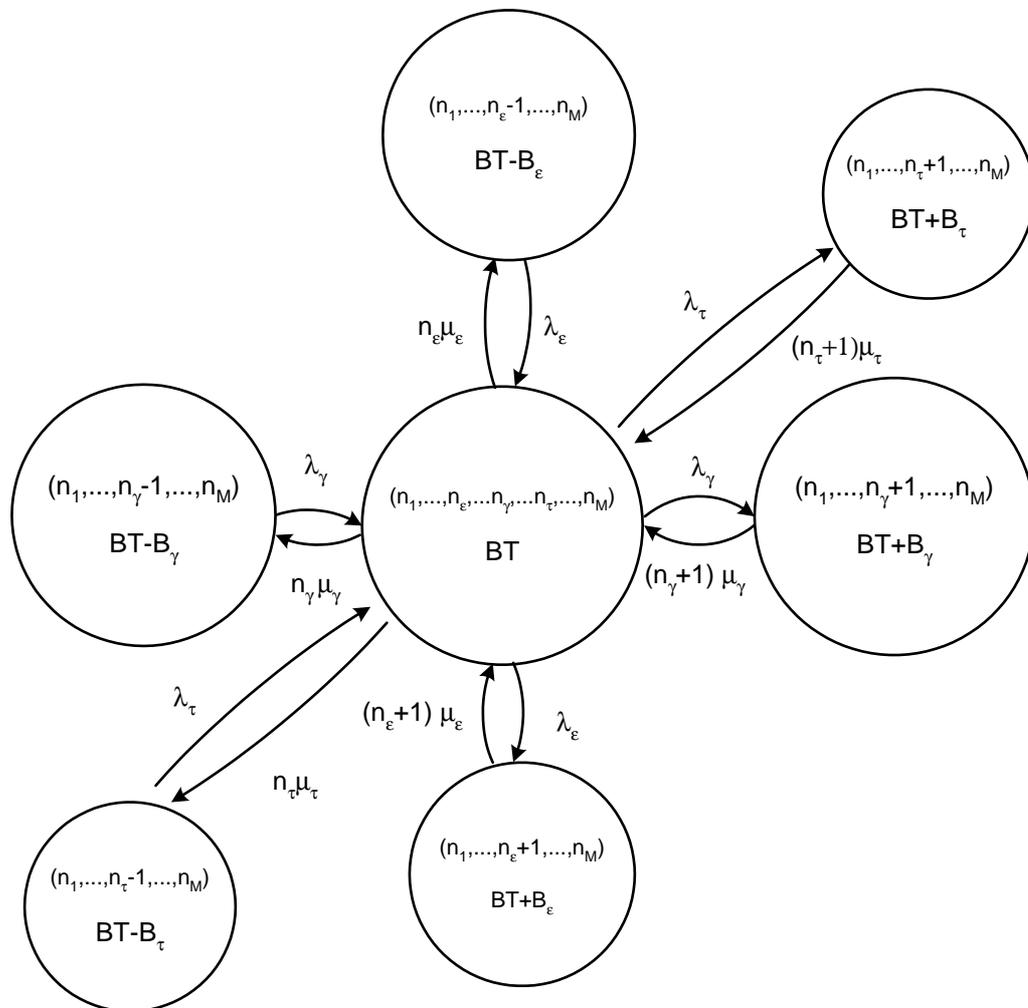


Figura 8.1: Dimensões γ, ϵ e τ da Cadeia de Markov de dimensão M , correspondentes às classes γ, ϵ e τ .

Dado que o sistema está no estado $(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_\varepsilon, \dots, n_M)$, a chegada de um usuário da classe γ leva o sistema ao estado $(n_1, n_2, \dots, n_\gamma + 1, \dots, n_\varepsilon, \dots, n_M)$, enquanto que a chegada de um usuário da classe ε leva o sistema do estado original ao estado $(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_\varepsilon + 1, \dots, n_M)$, conforme a figura 8.1. Portanto, conclui-se que há uma dimensão para cada classe de usuários na cadeia de Markov. A chegada (ou saída) de um usuário de uma dada classe determina uma mudança de estado ao longo dessa dimensão. Na figura 8.1 são indicadas três dimensões correspondentes às classes de usuários γ , ε , e τ .

Cada classe de usuários possui um número máximo de usuários ativos igual a N_γ dado pelo inteiro obtido da razão entre a quantidade total de recursos e a quantidade de recursos requisitada pelo usuário, equação (8-3).

$$N_\gamma = \left\lfloor \frac{N_c}{B_\gamma} \right\rfloor \quad (8-3)$$

Para uma melhor compreensão do problema, a próxima seção apresenta um exemplo numérico de um sistema de duas classes de usuários.

8.1.1

Exemplo de Sistema de Duas Classes de Usuários

Seja o sistema com duas classes de usuários que possui um total de 5 unidades de banda, $N_c = 5UB$. Os usuários da classe A ocupam $1UB$ e da classe B ocupam $2UB$, $B_a = 1UB$ e $B_b = 2UB$. As taxas de chegada e saída de usuários da classe A são λ_1 e μ_1 e da classe B são, respectivamente, λ_2 e μ_2 .

A figura 8.2 representa a cadeia correspondente a este sistema. Em cada estado estão representados os valores do número de usuários ativos de cada classe, denotados pelo par (n_a, n_b) , e o valor da banda total de cada estado, $BT_{(n_a, n_b)}$.

A cadeia de Markov possui dimensão $M = 2$ com um total de 12 estados. O número máximo de usuários da classe A é dado por N_a e da classe B é dado por N_b , representados nas equações (8-4) e (8-5), respectivamente.

$$N_a = \left\lfloor \frac{N_c}{B_a} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{5}{1} \right\rfloor = 5 \quad (8-4)$$

$$N_b = \left\lfloor \frac{N_c}{B_b} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{5}{2} \right\rfloor = 2 \quad (8-5)$$

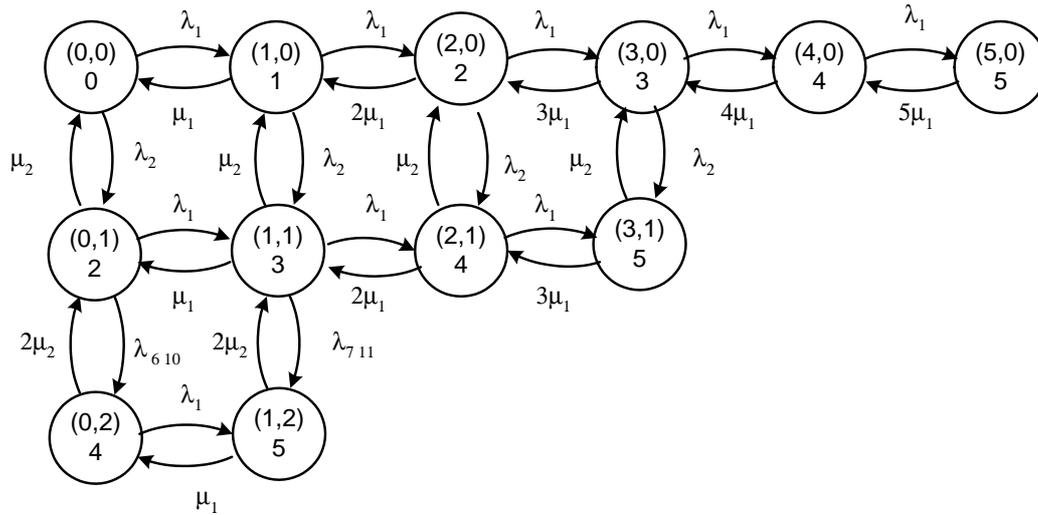


Figura 8.2: Cadeia de Markov de um sistema de duas classes de usuários, dimensão $M = 2$, e cinco unidades de banda, $N_c = 5$.

A mudança de estados na cadeia na direção horizontal, ou vertical, se dá com a chegada ou conclusão do serviço de usuários da classe A , ou da classe B , respectivamente.

8.2 Modelo para Cálculo da Probabilidade Estacionária dos Estados da Cadeia de Markov de Dimensão M

No caso genérico de um sistema de M classes de usuários, a mudança de um estado, para cada um de seus estados vizinhos, depende da chegada, ou conclusão de serviço, de um elemento correspondente a cada uma das M classes. Portanto, há um máximo de $2M$ estados conectados a cada estado.

Neste trabalho, definimos como estado central de uma Cadeia de Markov, qualquer estado que esteja rodeado pelo número máximo de estados possíveis, $2M$. A figura 8.3 representa um estado central da cadeia de dimensão M e suas conexões aos $2M$ estados vizinhos. Equacionando através do princípio do equilíbrio de fluxo de probabilidade em uma superfície envolvendo o estado central, representado na figura 8.3, obtém-se a equação (8-6).

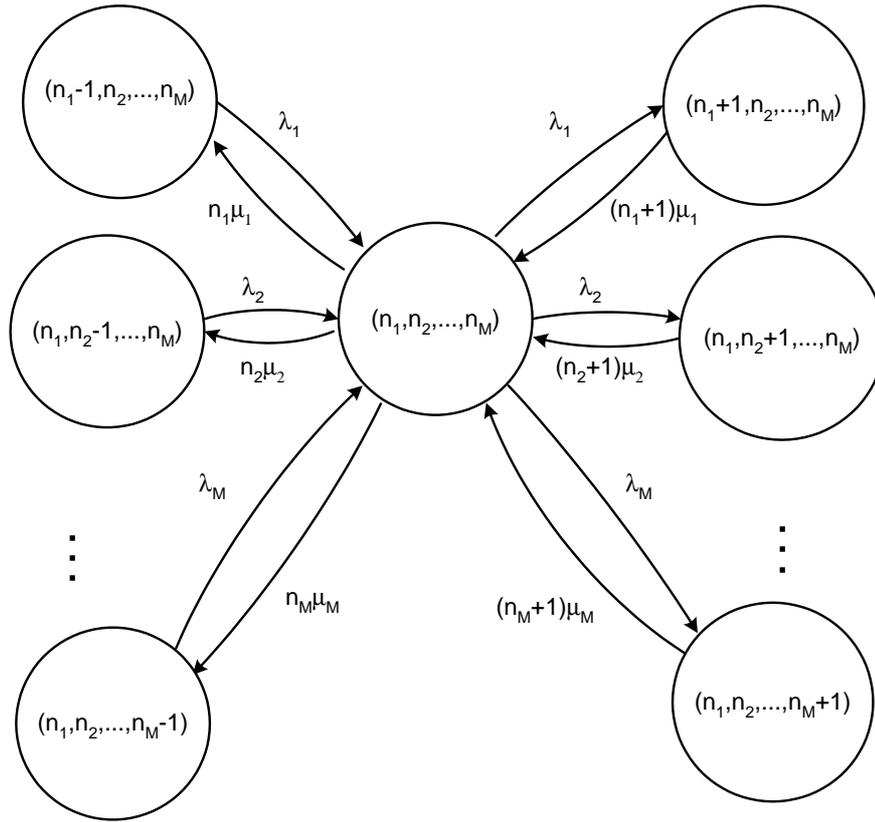


Figura 8.3: Estado Central da Cadeia de Markov de dimensão M.

$$\begin{aligned}
 & P_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} \left[(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_M) + \right. \\
 & \quad \left. + (n_1 \mu_1 + n_2 \mu_2 + \dots + n_M \mu_M) \right] = \\
 = & [P_{(n_1+1, n_2, \dots, n_M)}(n_1 + 1)\mu_1 + P_{(n_1, n_2+1, \dots, n_M)}(n_2 + 1)\mu_2 + \dots \\
 & \quad \dots + P_{(n_1, n_2, \dots, n_M+1)}(n_M + 1)\mu_M] + \\
 & + [P_{(n_1-1, n_2, \dots, n_M)}\lambda_1 + P_{(n_1, n_2-1, \dots, n_M)}\lambda_2 + \dots \\
 & \quad \dots + P_{(n_1, n_2, \dots, n_M-1)}\lambda_M] \quad (8-6)
 \end{aligned}$$

Na equação (8-6) considera-se o fluxo chegando e saindo, referente a todos estados ao redor do estado central, denotado pelo número de usuários pertencentes a cada classe (n_1, n_2, \dots, n_M) e representado na figura 8.3. Como o estado é central, pode-se observar que existem $2M$ estados ao seu redor, que é o máximo possível. Para estados mais próximos das extremidades da cadeia os estados ao redor podem não existir e há um número menor que $2M$ estados vizinhos.

Considerando um estado qualquer, deve-se atentar para o fato de

que os $2M$ estados vizinhos podem existir, ou não, conforme a condição de existência dada pela equação (8-2). Sendo assim, na equação (8-6), cada termo correspondente a um dado estado (n_1, n_2, \dots, n_M) deve ser multiplicado pelo respectivo fator de existência do estado, $\alpha_{(n_1, n_2, \dots, n_M)}$, que pode assumir os valores 0, estado não existe, ou 1, estado existe. Incluindo os fatores de existência na equação (8-6) obtém-se (8-7).

$$\begin{aligned}
 & P_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} \left[\alpha_{(n_1+1, n_2, \dots, n_M)} \lambda_1 + \alpha_{(n_1, n_2+1, \dots, n_M)} \lambda_2 + \dots \right. \\
 & \qquad \qquad \qquad \dots + \alpha_{(n_1, n_2, \dots, n_M+1)} \lambda_M + \\
 & \qquad + \alpha_{(n_1-1, n_2, \dots, n_M)} n_1 \mu_1 + \alpha_{(n_1, n_2-1, \dots, n_M)} n_2 \mu_2 + \dots \\
 & \qquad \qquad \qquad \dots + \alpha_{(n_1, n_2, \dots, n_M-1)} n_M \mu_M \left. \right] = \\
 & = \left[\alpha_{(n_1+1, n_2, \dots, n_M)} P_{(n_1+1, n_2, \dots, n_M)} (n_1 + 1) \mu_1 + \right. \\
 & \qquad + \alpha_{(n_1, n_2+1, \dots, n_M)} P_{(n_1, n_2+1, \dots, n_M)} (n_2 + 1) \mu_2 + \dots \\
 & \qquad \dots + \alpha_{(n_1, n_2, \dots, n_M+1)} P_{(n_1, n_2, \dots, n_M+1)} (n_M + 1) \mu_M \left. \right] + \\
 & \qquad + \left[\alpha_{(n_1-1, n_2, \dots, n_M)} P_{(n_1-1, n_2, \dots, n_M)} \lambda_1 + \right. \\
 & \qquad + \alpha_{(n_1, n_2-1, \dots, n_M)} P_{(n_1, n_2-1, \dots, n_M)} \lambda_2 + \dots \\
 & \qquad \dots + \alpha_{(n_1, n_2, \dots, n_M-1)} P_{(n_1, n_2, \dots, n_M-1)} \lambda_M \left. \right] \quad (8-7)
 \end{aligned}$$

Cada estado da cadeia dá origem a uma equação de equilíbrio de fluxo (8-7). Dentre os $(N_1 + 1)(N_2 + 1) \dots (N_M + 1)$ estados iniciais são eliminados os estados que não existem, definidos por (8-2). Restam K equações correspondentes a K estados possíveis. Dessas K equações deve-se escolher $K - 1$ equações que, associadas a equação (8-8), formam um sistema de K equações e K incógnitas cuja solução é a probabilidade estacionária de todos estados da cadeia, $P_{(n_1, n_2, \dots, n_M)}$.

$$\sum_{n_1=0}^{N_1} \sum_{n_2=0}^{N_2} \dots \sum_{n_M=0}^{N_M} P_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} \alpha_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} = 1 \quad (8-8)$$

8.2.1

Algoritmo para o Cálculo da Probabilidade Estacionária

Para resolver um caso geral, com M classes de usuários, adota-se o seguinte algoritmo.

Passo 1: Definição dos parâmetros de entrada:

N_c é a capacidade total do sistema, número total de unidades de banda, UB, que o sistema possui;

B_γ é a demanda de banda, em UBs, de um usuário da classe γ ;

λ_γ é a taxa de chegada de usuários da classe γ ; e

μ_γ é a taxa de serviço de usuários da classe γ .

Passo 2: Determinação do número máximo de usuários de cada classe.

$$N_\gamma = \left\lfloor \frac{N_c}{B_\gamma} \right\rfloor \quad (8-9)$$

Passo 3: Definição dos estados existentes na cadeia, de acordo com os valores de N_1, N_2, \dots, N_M . Obtém-se uma cadeia de Markov M-dimensional com número máximo de estados igual a $(N_1 + 1) \cdot (N_2 + 1) \dots (N_M + 1)$. Cada estado, (n_1, n_2, \dots, n_M) , requer uma quantidade de recursos $BT_{(n_1, n_2, \dots, n_M)}$ definida em (8-10), onde n_γ é o número de usuários ativos da classe γ .

$$BT_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} = n_1 B_1 + n_2 B_2 + \dots + n_M B_M \quad (8-10)$$

Passo 4: Verificação da existência dos estados através da aplicação da equação (8-2) para cada estado definido no passo 3.

$$BT_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} \leq N_c \Leftrightarrow \alpha_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} = 1 \quad (8-11)$$

$$BT_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} > N_c \Leftrightarrow \alpha_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} = 0 \quad (8-12)$$

Passo 5: Cálculo das taxas de chegada e de saída de cada um dos estados. As restrições impostas pelo controle de acesso, através da reserva de recursos, juntamente com as taxas de chegada de usuários formam a taxa de chegada a cada estado.

Passo 6: Cada estado dá origem a uma equação de equilíbrio de fluxo (8-6). Eliminados os estados que não existem definidos em (8-12), restam K equações correspondentes a K estados possíveis.

Passo 7: Escolha de $K - 1$ equações, que associadas a equação (8-8) formam um sistema de K equações e K incógnitas.

Passo 8: Solução do sistema de K equações e K incógnitas. As incógnitas são as probabilidades estacionárias de cada estado $P_{(n_1, n_2, \dots, n_M)}$.

8.3

Probabilidade de Bloqueio de Chamadas Novas e de Falhas de Chamadas em Handoff para Sistemas de M Classes

A probabilidade de bloqueio de chamadas novas da classe γ , $P_{BN\gamma}$, é a soma das probabilidades estacionárias, $P_{(n_1, n_2, \dots, n_M)}$, de todos estados que não são capazes de aceitar mais um usuário novo da classe γ . Da mesma forma, a probabilidade de falha de chamadas em *handoff* da classe γ , $P_{FH\gamma}$, é a soma das probabilidades estacionárias de todos estados que não são capazes de aceitar mais um usuário em *handoff* da classe γ .

Cada tipo de sistema é analisado nas seções seguintes, considerando as variações segundo a reserva de canais para atender aos requisitos de qualidade de serviço.

8.3.1

Sistema com M Classes de Usuários, sem Canais de Guarda

No caso em que não há reserva de canais, todos usuários têm acesso a todos N_c canais do sistema, sem distinção de classe, chamadas novas ou em *handoff*.

A taxa de chegada de usuários da classe γ , λ_γ , é a soma das taxas de chegadas de novos, $\lambda_{N\gamma}$, e de *handoff*, $\lambda_{H\gamma}$, equação (9-6).

$$\lambda_\gamma = \lambda_{N\gamma} + \lambda_{H\gamma} \quad (8-13)$$

Como não há canais de guarda, a probabilidade de bloqueio de uma chamada nova da classe γ , $P_{BN\gamma}$ é igual a probabilidade de falha de uma chamada em *handoff* da mesma classe, $P_{FH\gamma}$.

Dado que o sistema está em um estado (n_1, n_2, \dots, n_M) , que ocupa $BT_{(n_1, n_2, \dots, n_M)}$ canais, (8-14); o bloqueio de uma chamada ocorre quando chega a solicitação de uma chamada da classe γ e o sistema não possui B_γ recursos livres para atendê-la, conforme a equação (8-15). Neste caso, a probabilidade estacionária do estado (n_1, n_2, \dots, n_M) , $P_{(n_1, n_2, \dots, n_M)}$, deve ser incluída no somatório de probabilidades estacionárias dos estados que bloqueiam chamadas da classe γ .

$$BT_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} = \sum_{\gamma=1}^M n_\gamma B_\gamma \quad (8-14)$$

$$BT_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} > N_c - B_\gamma \quad (8-15)$$

A probabilidade de bloqueio de uma chamada da classe γ é definida pela soma das probabilidades estacionárias de todos os estados (n_1, n_2, \dots, n_M) onde não há recursos disponíveis, B_γ , para mais um usuário da classe γ , conforme a equação (8-16).

$$P_{BN\gamma} = P_{FH\gamma} = \sum_{\{(n_1, n_2, \dots, n_M) | BT_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} > N_c - B_\gamma\}} P_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} \quad (8-16)$$

8.3.2

Sistema com M classes de Usuários, com Número Inteiro de Canais de Guarda

No caso de sistemas com reserva de recursos, a taxa de chegada a cada estado depende do tipo de usuário que pode ser admitido no sistema, ou não, correspondendo aos canais ordinários ou de guarda. Isso determina novos valores para as probabilidades estacionárias dos estados da cadeia, em relação ao caso sem canais de guarda analisado no ítem anterior. Além disso, por construção, a probabilidade de falha de uma chamada em *handoff* é menor do que a probabilidade de bloqueio de uma chamada nova, pois há um número maior de estados que determinam o bloqueio de uma chamada nova do que de uma chamada em *handoff*.

Nos estados que correspondem aos canais ordinários, não há distinção entre usuários novos e *handoff*; portanto, a taxa de chegada a cada estado é definida pela soma das taxas de chegada de chamadas em *handoff* e de chamadas novas, equação (8-17).

$$\lambda_\gamma = \lambda_{N\gamma} + \lambda_{H\gamma} \quad (8-17)$$

A taxa de chegada aos estados correspondentes aos canais de guarda, é apenas a taxa de chegada de chamadas em *handoff*, dada pela equação (8-18).

$$\lambda_\gamma = \lambda_{H\gamma} \quad (8-18)$$

O estado (n_1, n_2, \dots, n_M) é definido como ordinário para a classe γ se, ao aceitar mais um usuário da classe γ , ainda restarem pelo menos os $N_{CG\gamma}$ canais de guarda para um eventual usuário em *handoff* da classe γ . Tal verificação é feita de acordo com a equação (8-19), onde se mantém a notação $BT_{(n_1, n_2, \dots, n_M)}$ como sendo o total de recursos utilizados pelos usuários ativos do estado (n_1, n_2, \dots, n_M) e B_γ como a quantidade de recursos do usuário da classe γ .

$$BT_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} + B_\gamma \leq N_c - N_{CG\gamma} \quad (8-19)$$

A probabilidade de falha de uma chamada em *handoff* da classe γ é dada na equação (8-20) pelo somatório das probabilidades estacionárias de todos os estados (n_1, n_2, \dots, n_M) onde não há recursos disponíveis para mais um usuário da classe γ .

$$P_{FH\gamma} = \sum_{\{(n_1, n_2, \dots, n_M) | BT_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} > N_c - B_\gamma\}} P_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} \quad (8-20)$$

A probabilidade de bloqueio de uma chamada nova da classe γ é definida pela soma das probabilidades estacionárias de todos os estados onde não há recursos disponíveis, B_γ , para mais um usuário novo da classe γ , considerando a guarda de $N_{CG\gamma}$ canais para os usuários em *handoff*, conforme a equação (8-21).

$$P_{BN\gamma} = \sum_{\{(n_1, n_2, \dots, n_M) | BT_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} > N_c - N_{CG\gamma} - B_\gamma\}} P_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} \quad (8-21)$$

8.3.3

Sistema com M Classes de Usuários, com Número Fracionário de Canais de Guarda

No sistema de M classes de usuários, que utiliza um número fracionário de canais de guarda, N_{CG} é um número real podendo, ou não, ser um inteiro. O sistema possui N_c canais ou recursos e é representado pela cadeia de Markov de dimensão M . O número de canais de guarda da classe γ é $N_{CG\gamma}$.

Para um número fracionário de canais de guarda, o procedimento para a definição dos estados existentes é o mesmo adotado no caso de número inteiro de canais de guarda. No entanto, há diferenças nas taxas de chegada, λ_γ , quando o sistema se encontra no estado $(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)$ e chega um usuário da classe γ levando o sistema ao estado $(n_1, n_2, \dots, n_\gamma + 1, \dots, n_M)$.

Os usuários em *handoff* da classe γ tem acesso a todos N_c canais do sistema. Os usuários novos tem acesso apenas aos estados que não contenham recursos reservados para o *handoff*. No caso de número fracionário de canais de guarda, há ainda um estado intermediário para cada classe γ , cuja banda total é T_γ , que só é alcançado parcialmente pelos usuários novos. O valor de T_γ é definido pela equação (8-22).

$$T_\gamma = N_c - \lfloor N_{CG\gamma} \rfloor \quad (8-22)$$

As restrições aos estados mudam os valores correspondentes às taxas de chegada do caso fracionário em relação ao caso de número inteiro de

canais de guarda.

A probabilidade do usuário novo da classe γ ser bloqueado na chegada ao estado T_γ é dada por p_γ que é a parte fracionária do número de canais de guarda da classe γ , conforme a equação (8-23).

$$N_{CG\gamma} = \lfloor N_{CG\gamma} \rfloor + p_\gamma \quad (8-23)$$

O estado T_γ só é alcançado pelos usuários novos com probabilidade $(1 - p_\gamma)$. A figura 8.4 apresenta o estado T_γ , seus estados vizinhos e suas respectivas taxas de chegada e saída ao longo da dimensão γ .

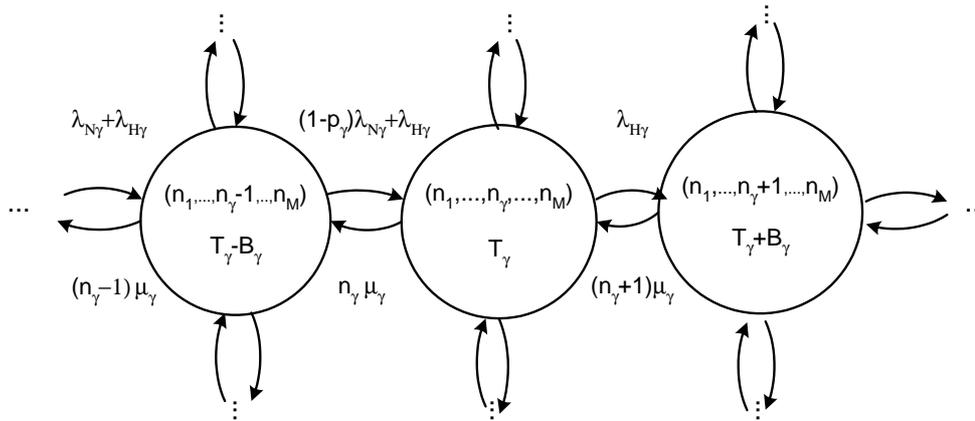


Figura 8.4: Dimensão γ da Cadeia de Markov de dimensão M , com número fracionário de canais de guarda.

Há três tipos de estados: estados que podem ser alcançados por usuários novos e por aqueles em *handoff*, acesso parcial aos usuários novos e total aos usuários em *handoff*; e estados com acesso apenas aos usuários em *handoff* e acesso negado aos usuários novos. A passagem do estado $(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)$ para o estado $(n_1, n_2, \dots, n_\gamma + 1, \dots, n_M)$, e vice-versa, se dá com a chegada, ou saída, de um usuário da classe γ . A taxa de chegada de usuários da classe γ ao estado $(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)$ é denotada por $\lambda_{\gamma(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)}$.

$$\lambda_{\gamma(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)} = \begin{cases} \lambda_{N\gamma} + \lambda_{H\gamma} & , BT_{(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)} < T_\gamma - B_\gamma \\ (1 - p_\gamma)\lambda_{N\gamma} + \lambda_{H\gamma} & , BT_{(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)} = T_\gamma - B_\gamma \\ \lambda_{H\gamma} & , BT_{(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)} > T_\gamma - B_\gamma \end{cases}$$

A probabilidade de falha de uma chamada em *handoff* da classe γ é dada pela soma das probabilidades estacionárias de todos os estados onde

não há recursos disponíveis para mais um usuário da classe γ , tal como na equação (8-24).

$$P_{FH\gamma} = \sum_{\{(n_1, n_2, \dots, n_M) | BT_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} > N_c - B_\gamma\}} P_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} \quad (8-24)$$

A probabilidade de bloqueio de uma chamada nova da classe γ é definida por dois somatórios, conforme a equação (8-25). No primeiro são incluídas as probabilidades estacionárias de todos os estados onde não há recursos disponíveis, B_γ , para mais um usuário novo da classe γ . No segundo somatório são incluídas as probabilidades estacionárias dos estados cuja banda total é T_γ e que bloqueiam os usuários novos com probabilidade p_γ .

$$P_{BN\gamma} = \sum_{\{(n_1, n_2, \dots, n_M) | BT_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} > N_c - \lfloor N_{CG\gamma} \rfloor - B_\gamma\}} P_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} + \\ + \sum_{\{(n_1, n_2, \dots, n_M) | BT_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} = N_c - \lfloor N_{CG\gamma} \rfloor - B_\gamma\}} p_\gamma P_{(n_1, n_2, \dots, n_M)}$$

8.3.4

Sistemas com Canais de Guarda e com Restrições para Usuários em Handoff

Uma solução semelhante ao sistema de canais de guarda para os usuários em *handoff* é reservar alguns canais para usuários novos de determinada classe. Tal solução é apresentada na referência [21] na tentativa de atender aos requisitos de qualidade de serviço em sistemas de múltiplas classes impondo prioridades entre as classes e entre os usuários novos e de *handoff*.

A utilização de canais de reserva tem solução semelhante ao caso dos canais de guarda. A seção seguinte apresenta um exemplo para um sistema com duas classes de usuários.

Exemplo de Sistema de Duas Classes com Canais de Guarda e com Restrições para Usuários em Handoff

Em um sistema de duas classes de usuários há quatro tipos de usuários: novos da classe 1, $N1$; *handoff* da classe 1, $H1$; novos da classe 2, $N2$; e *handoff* da classe 2, $H2$. Para cada tipo de usuário há uma restrição diferente, R_i que corresponde ao número de canais que não podem ser

utilizados por aquele tipo de usuário. O conjunto de restrições de todos usuários é dado por $R = \{R_{N1}, R_{H1}, R_{N2}, R_{H2}\}$.

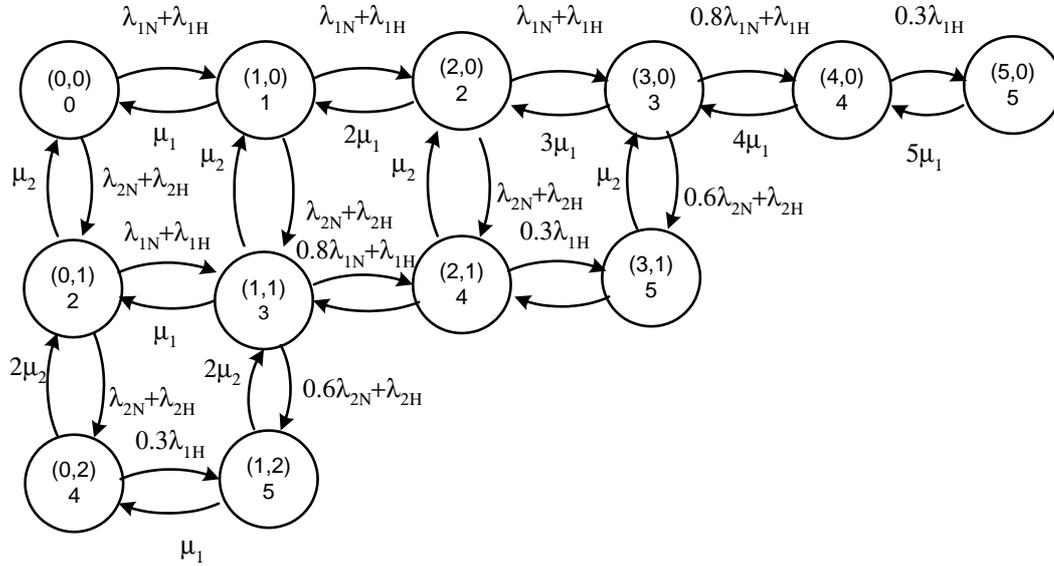


Figura 8.5: Cadeia 2D com restrições $R_{N1} = 1.2; R_{H1} = 0.7; R_{N2} = 0.4; R_{H2} = 0$ e classes $B_1 = 1UB, B_2 = 2UB$.

A cadeia de Markov da figura 8.5 possui um total de 12 estados e representa um sistema com duas classes de usuários, $B_1 = 1UB, B_2 = 2UB$ e número total de recursos, $N_c = 5$. As restrições de utilização dos recursos são dadas por: $R_{N1} = 1.2; R_{H1} = 0.7; R_{N2} = 0.4; R_{H2} = 0$.

Na figura 8.5, observa-se que do estado $(n_1, n_2) = (3, 0)$ para $(4, 0)$ e do estado $(1, 1)$ para $(2, 1)$, a chegada de um usuário novo da classe 1 é aceita com probabilidade $(1 - p_{N1})$ dada por:

$$1 - p_{N1} = 1 - (R_{N1} - \lfloor R_{N1} \rfloor) = 1 - (1.2 - 1) = 0.8 \quad (8-25)$$

Do estado $(n_1, n_2) = (4, 0)$ para $(5, 0)$, de $(2, 1)$ para $(3, 1)$ e do estado $(0, 2)$ para $(1, 2)$, a chegada de um usuário em *handoff* da classe 1 é aceita com probabilidade $(1 - p_{H1})$, definida em (8-26), e não são aceitos usuários novos.

$$1 - p_{H1} = 1 - (R_{H1} - \lfloor R_{H1} \rfloor) = 1 - (0.7 - 0) = 0.3 \quad (8-26)$$

Do estado $(n_1, n_2) = (3, 0)$ para $(3, 1)$ e do estado $(1, 1)$ para $(1, 2)$, a chegada de um usuário novo da classe 2 é aceita com probabilidade $(1 - p_{N2})$,

dada por (8-27).

$$1 - p_{N2} = 1 - (R_{N2} - \lfloor R_{N2} \rfloor) = 1 - (0.4 - 0) = 0.6 \quad (8-27)$$

As probabilidades de bloqueio de usuários novos das classes 1 e 2 são dadas pelas equações (8-28) e (8-29); as probabilidades de falha de usuários em *handoff* das classes 1 e 2 são dadas pelas equações (8-30) e (8-31), respectivamente. Cada equação é formada pela soma dos estados que levam ao bloqueio da solicitação de chamada, multiplicado pela respectiva probabilidade de bloqueio. Quando o sistema se encontra em determinado estado, a probabilidade de bloqueio é 1 ou $p = R_i - \lfloor R_i \rfloor$, correspondendo à restrição, R_i , do tipo de chamada solicitada.

$$P_{BN1} = [P_{(3,0)} + P_{(1,1)}]0.2 + [P_{(4,0)} + P_{(5,0)} + P_{(2,1)} + P_{(3,1)} + P_{(0,2)} + P_{(1,2)}] \quad (8-28)$$

$$P_{BN2} = [P_{(1,1)} + P_{(3,0)}]0.4 + [P_{(5,0)} + P_{(4,0)} + P_{(2,1)} + P_{(3,1)} + P_{(0,2)} + P_{(1,2)}] \quad (8-29)$$

$$P_{FH1} = [P_{(2,1)} + P_{(0,2)} + P_{(4,0)}]0.7 + [P_{(5,0)} + P_{(3,1)} + P_{(1,2)}] \quad (8-30)$$

$$P_{FH2} = [P_{(5,0)} + P_{(4,0)} + P_{(2,1)} + P_{(3,1)} + P_{(0,2)} + P_{(1,2)}] \quad (8-31)$$

8.4

Modelo Geral

Esta seção apresenta o Modelo Geral do cálculo de bloqueio e da utilização dos recursos de sistemas móveis de múltiplas classes de usuários.

O Modelo Geral consiste em escrever de forma genérica as expressões para a probabilidade de bloqueio de chamadas novas e para a probabilidade de falha de chamadas em *handoff*. Esta solução deve incluir todos os casos possíveis de reserva de canais analisados separadamente nas seções anteriores. Para tal, é necessário definir expressões para as taxas de chegada de usuários de cada classe que incluam todos os casos de restrição.

Alguns conceitos já foram definidos nas seções anteriores e serão aqui repetidos para que o modelo geral fique completo.

8.4.1 Restrições de Qualidade de Serviço

Em um sistema de M classes de usuários, existem $2M$ restrições de qualidade de serviço do tipo R_i dadas em (8-32).

$$R_i \in \{R_{N1}, R_{H1}, \dots, R_{NM}, R_{HM}\} \quad (8-32)$$

A restrição R_i corresponde ao número de canais ou recursos do sistema aos quais o usuário não tem acesso. Valores diferentes de restrição permitem que haja prioridade entre as classes e os tipos de usuário. Quanto menor a restrição aos canais, maior a prioridade do usuário na utilização dos recursos do sistema. O usuário com prioridade máxima é aquele com acesso a todos os recursos, ou seja, restrição nula.

Com a chegada de um usuário da classe γ , é necessário verificar se o usuário é novo, N , ou é um usuário em *handoff*, H , e qual é a restrição correspondente, $R_{N\gamma}$ ou $R_{H\gamma}$.

O valor da restrição é separado em parte inteira e parte fracionária, apresentadas na equação (8-33), onde $\lfloor R_i \rfloor$ é a parte inteira e p_i é a parte fracionária.

$$R_i = \lfloor R_i \rfloor + p_i \quad (8-33)$$

8.4.2 Restrições de Banda

A banda total ocupada pelo estado $(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)$ é $BT_{(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)}$ dada pela equação (8-34).

$$BT_{(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)} = \sum_{k=1}^M n_k B_k \quad (8-34)$$

A condição de existência do estado é que sua banda total seja menor ou igual ao total de recursos do sistema, N_c , dada na equação (8-35).

$$BT_{(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)} \leq N_c \quad (8-35)$$

8.4.3 Taxa de Chegada de Usuários

Dado que o sistema se encontra no estado $(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)$, a taxa de chegada de usuários da classe γ , λ_γ , levará o sistema a uma

mudança para o estado $(n_1, n_2, \dots, n_\gamma + 1, \dots, n_M)$. A taxa de chegada, λ_γ , depende da existência do estado seguinte e das restrições de qualidade de serviço, R , definido em (8-32). No modelo desenvolvido neste trabalho, tais restrições são incluídas no coeficiente $a_{R\gamma}$ que define a probabilidade de uma chamada com restrição $R\gamma$ ser aceita, dado que o sistema se encontra no estado $(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)$. A figura 8.6 apresenta o estado genérico $(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)$ de uma cadeia de Markov de dimensão M qualquer e suas respectivas taxas de chegada de usuários das M classes expressas pelos coeficientes $a_{N\gamma}$ e $a_{H\gamma}$.

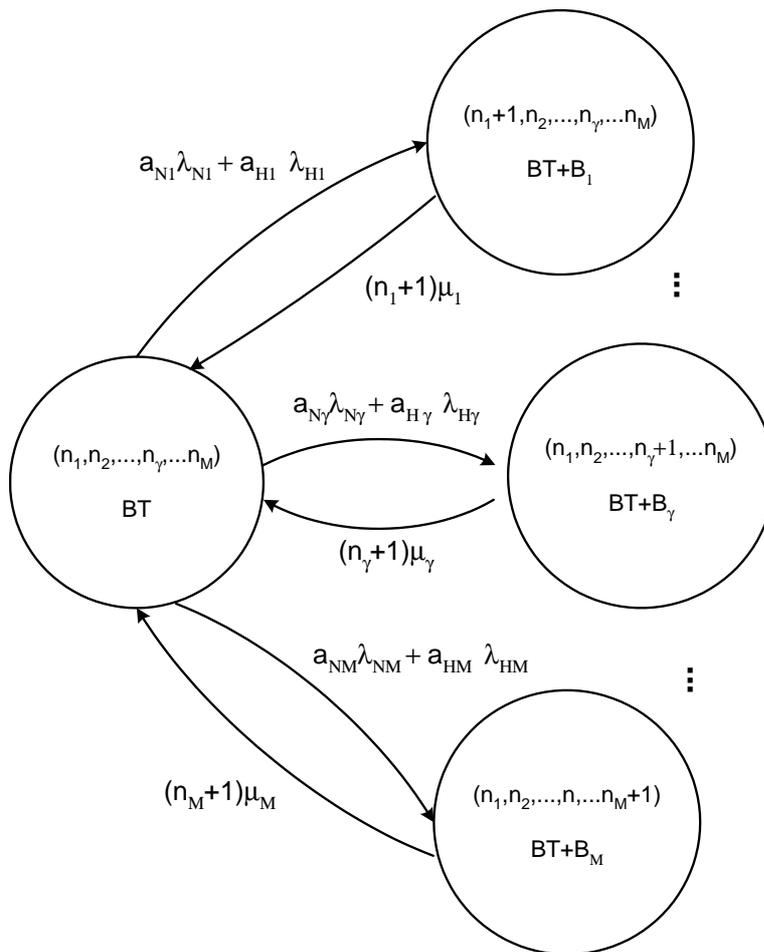


Figura 8.6: Estado genérico $(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)$ da cadeia de Markov e suas taxas de chegada de usuários.

Dado que o sistema se encontra no estado $(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)$, a taxa de chegada de usuários da classe γ , λ_γ , é dada na equação (8-36), onde os coeficientes $a_{N\gamma}$ e $a_{H\gamma}$ definem as probabilidades dos usuários novos e de

handoff da classe γ serem aceitos.

$$\lambda_\gamma = a_{N\gamma}\lambda_{N\gamma} + a_{H\gamma}\lambda_{H\gamma} \quad (8-36)$$

Definição da Existência do Estado Seguinte

Quando o sistema se encontra no estado $(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)$, a solicitação de chamada de um usuário da classe γ propõe a possível mudança para o estado $(n_1, n_2, \dots, n_\gamma + 1, \dots, n_M)$, se este estado existir.

A montagem da cadeia de Markov que modela o sistema é feita verificando a existência de cada estado. Se a equação (8-37) for verdadeira, o estado $(n_1, n_2, \dots, n_{\gamma+1}, \dots, n_M)$ existe e sua demanda total de recursos é $BT_{(n_1, n_2, \dots, n_{\gamma+1}, \dots, n_M)}$ definida em (8-38).

$$BT_{(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)} + B_\gamma \leq N_c \quad (8-37)$$

$$BT_{(n_1, n_2, \dots, n_{\gamma+1}, \dots, n_M)} = BT_{(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)} + B_\gamma \quad (8-38)$$

Definição dos Coeficientes de Taxa de Chegada de Usuários Novos e de Handoff

Os coeficientes $a_{N\gamma}$ e $a_{H\gamma}$ são definidos pela probabilidade de aceitação de usuário, novo ou em *handoff*, da classe γ , N_γ ou H_γ , dado que o sistema se encontra no estado $(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)$.

$$a_{N\gamma} \Big|_{(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)} = \begin{cases} 1 & , N_c - BT_{(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)} - B_\gamma > \lfloor R_{N\gamma} \rfloor \\ (1 - p_{N\gamma}) & , N_c - BT_{(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)} - B_\gamma = \lfloor R_{N\gamma} \rfloor \\ 0 & , N_c - BT_{(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)} - B_\gamma < \lfloor R_{N\gamma} \rfloor \end{cases} \quad (8-39)$$

$$a_{H\gamma} \Big|_{(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)} = \begin{cases} 1 & , N_c - BT_{(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)} - B_\gamma > \lfloor R_{H\gamma} \rfloor \\ (1 - p_{H\gamma}) & , N_c - BT_{(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)} - B_\gamma = \lfloor R_{H\gamma} \rfloor \\ 0 & , N_c - BT_{(n_1, n_2, \dots, n_\gamma, \dots, n_M)} - B_\gamma < \lfloor R_{H\gamma} \rfloor \end{cases} \quad (8-40)$$

Conforme as equações (8 – 38) e (8 – 39), há três casos possíveis para os coeficientes $a_{N\gamma}$ e $a_{H\gamma}$ que dependem do valor da restrição do usuário da

classe γ e do estado em que o sistema se encontra. A restrição pode assumir os valores $R_{N\gamma}$ e $R_{H\gamma}$, correspondendo aos valores de usuários novos e de *handoff*, respectivamente.

8.4.4 Probabilidade de Bloqueio de Chamadas

Seja o sistema com total de N_c unidades de banda e M classes de usuários que se dividem em usuários novos e em *handoff*. Cada classe possui uma demanda de recursos igual a B_γ e taxa de chegada de usuários novos e em *handoff* respectivamente igual a $\lambda_{N\gamma}$ e $\lambda_{H\gamma}$.

A probabilidade de bloqueio de solicitação de chamada nova da classe γ é dada na equação (8-41) onde os conjuntos A e B estão definidos em (8-42) e (8-43).

$$P_{BN\gamma} = \sum_{n_1=0}^{\lfloor \frac{N_c}{B_1} \rfloor} \dots \sum_{n_M=0}^{\lfloor \frac{N_c}{B_M} \rfloor} P(n_1, n_2, \dots, n_M) \Big|_{(n_1, n_2, \dots, n_M) \in A} + \\ + (R_{N\gamma} - \lfloor R_{N\gamma} \rfloor) \times \sum_{n_1=0}^{\lfloor \frac{N_c}{B_1} \rfloor} \dots \sum_{n_M=0}^{\lfloor \frac{N_c}{B_M} \rfloor} P(n_1, n_2, \dots, n_M) \Big|_{(n_1, n_2, \dots, n_M) \in B} \quad (8-41)$$

$$A = \left\{ (n_1, n_2, \dots, n_M) \Big| \sum_{k=1}^M n_k B_k > N_c - \lfloor R_{N\gamma} \rfloor - B_\gamma \right\} \quad (8-42)$$

$$B = \left\{ (n_1, n_2, \dots, n_M) \Big| \sum_{k=1}^M n_k B_k = N_c - \lfloor R_{N\gamma} \rfloor - B_\gamma \right\} \quad (8-43)$$

De forma semelhante, a probabilidade de falha de chamada em *handoff* da classe γ é dada na equação (8-44) onde os conjuntos C e D estão definidos em (8-45) e (8-46).

$$P_{FH\gamma} = \sum_{n_1=0}^{\lfloor \frac{N_c}{B_1} \rfloor} \dots \sum_{n_M=0}^{\lfloor \frac{N_c}{B_M} \rfloor} P(n_1, n_2, \dots, n_M) \Big|_{(n_1, n_2, \dots, n_M) \in C} + \\ + (R_{H\gamma} - \lfloor R_{H\gamma} \rfloor) \times \sum_{n_1=0}^{\lfloor \frac{N_c}{B_1} \rfloor} \dots \sum_{n_M=0}^{\lfloor \frac{N_c}{B_M} \rfloor} P(n_1, n_2, \dots, n_M) \Big|_{(n_1, n_2, \dots, n_M) \in D} \quad (8-44)$$

$$C = \left\{ (n_1, n_2, \dots, n_M) \left| \sum_{k=1}^M n_k B_k > N_c - \lfloor R_{H\gamma} \rfloor - B_\gamma \right. \right\} \quad (8-45)$$

$$D = \left\{ (n_1, n_2, \dots, n_M) \left| \sum_{k=1}^M n_k B_k = N_c - \lfloor R_{H\gamma} \rfloor - B_\gamma \right. \right\} \quad (8-46)$$

8.5

Utilização

A utilização normalizada dos recursos do sistema pode ser obtida pela razão entre o valor esperado do número de Unidades de Banda, UB, utilizados no sistema e a quantidade total de recursos N_c , de acordo com a equação (8-47) ou pela equação (8-48).

$$U = \frac{\mathbb{E}[BT]}{N_c} \quad (8-47)$$

$$U = \frac{\sum_{i=1}^K BT_{(n_1, n_2, \dots, n_M)} P_{(n_1, n_2, \dots, n_M)}}{N_c} \quad (8-48)$$

8.6

Validação dos Resultados Analíticos para Sistemas de Múltiplas Classes de Usuários

O modelo desenvolvido neste capítulo foi implementado em um programa em $MATLAB_{\text{®}}$ que faz parte deste trabalho de tese.

O programa em $MATLAB_{\text{®}}$ utiliza as expressões do modelo para calcular a probabilidade de bloqueio de uma chamada nova, a probabilidade de falha de uma chamada em *handoff* e a utilização normalizada dos recursos de um sistema de múltiplas classes de usuários.

Nesta seção são comparados os resultados analíticos, obtidos em $MATLAB_{\text{®}}$, com os resultados de simulação, realizados com o simulador desenvolvido neste trabalho e descrito no capítulo 4 desta tese.

Foram calculados em $MATLAB_{\text{®}}$ e simulados em $C++$ os casos que utilizam os seguintes valores para o número de canais de guarda: $0CG$; $0.5CG$; $1CG$ e $2CG$.

A intensidade total de tráfego é definida pela equação (8-49) como a soma da intensidade de solicitação de recursos de cada classe.

$$\rho = \sum_{\gamma=1}^M \rho_{\gamma} \quad (8-49)$$

Para cada classe de usuários, γ , a intensidade de solicitação de recursos é dada por (8-50); onde λ_{γ} é a taxa de chegada de usuários da classe γ , μ_{γ} é a taxa de terminação de serviço, B_{γ} é a banda solicitada pelo usuário da classe γ e N_c é a quantidade total de canais do sistema.

$$\rho_{\gamma} = B_{\gamma} \frac{\lambda_{\gamma}}{\mu_{\gamma} N_c} \quad (8-50)$$

No caso apresentado nas figuras 8.7, 8.8, 8.9 e 8.10, o sistema possui duas classes de usuários. A classe 1 utiliza $1UB$ e a classe 2 utiliza $2UB$, $B_1 = 1UB$ e $B_2 = 2UB$. O sistema apresenta um total de 30 unidades de banda, $N_c = 30$. As taxas μ_1 e μ_2 são iguais a $\mu = 120s$.

As taxas λ_1 e λ_2 são iguais a λ . Portanto, a equação (8-49) pode ser escrita como (8-51) que pode ser reduzida à equação (8-52).

$$\rho = \frac{B_1 \lambda_1}{\mu_1 N_c} + \frac{B_2 \lambda_2}{\mu_2 N_c} \quad (8-51)$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu N_c} (B_1 + B_2) \quad (8-52)$$

As taxas de chegada de usuários novos e em *handoff* de cada classe são iguais.

$$\lambda_N = \lambda_{N1} = \lambda_{N2} \quad (8-53)$$

$$\lambda_H = \lambda_{H1} = \lambda_{H2} \quad (8-54)$$

A taxa total de chegada de usuários de cada classe é dada pela soma das taxas de chegada de usuários novos e *handoff* da mesma classe, γ , equação (8-55).

$$\lambda = \lambda_N + \lambda_H \quad (8-55)$$

A taxa de mobilidade, $\theta = \frac{\lambda_H}{\lambda_N}$, é constante e vale $\theta = 2$.

Os resultados para a classe 1 são apresentados nas figuras 8.7 e 8.8 e os resultados para a classe 2 são apresentados nas figuras 8.9 e 8.10.

Nas figuras 8.7, 8.8, 8.9 e 8.10 foram considerados os casos sem canais

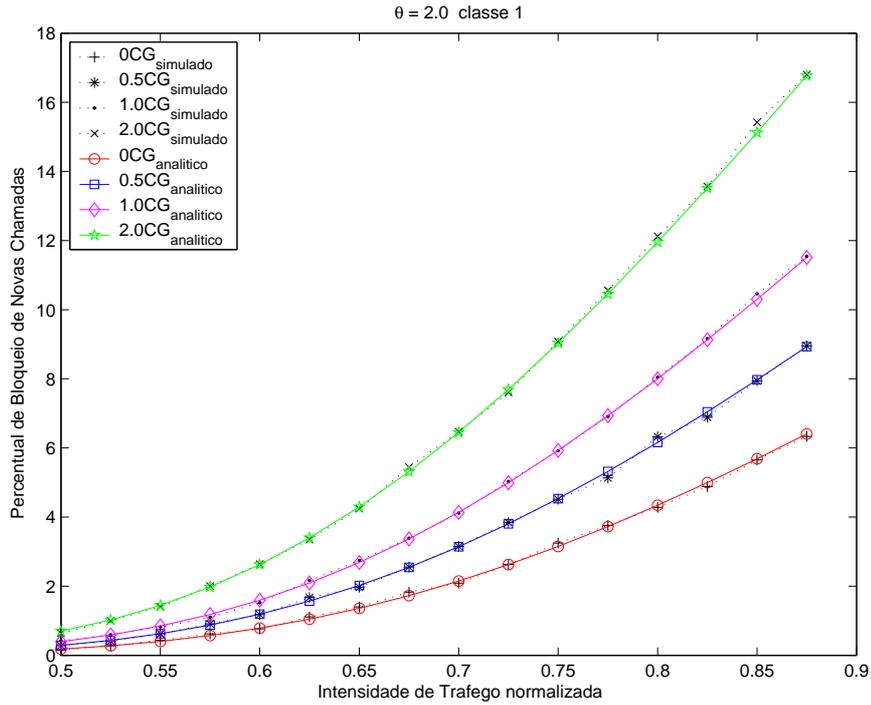


Figura 8.7: Percentual de bloqueio de chamadas novas da classe 1 versus intensidade de tráfego total normalizada, $\theta = 2$, $B_1 = 1_{UB}$; $B_2 = 2_{UB}$.

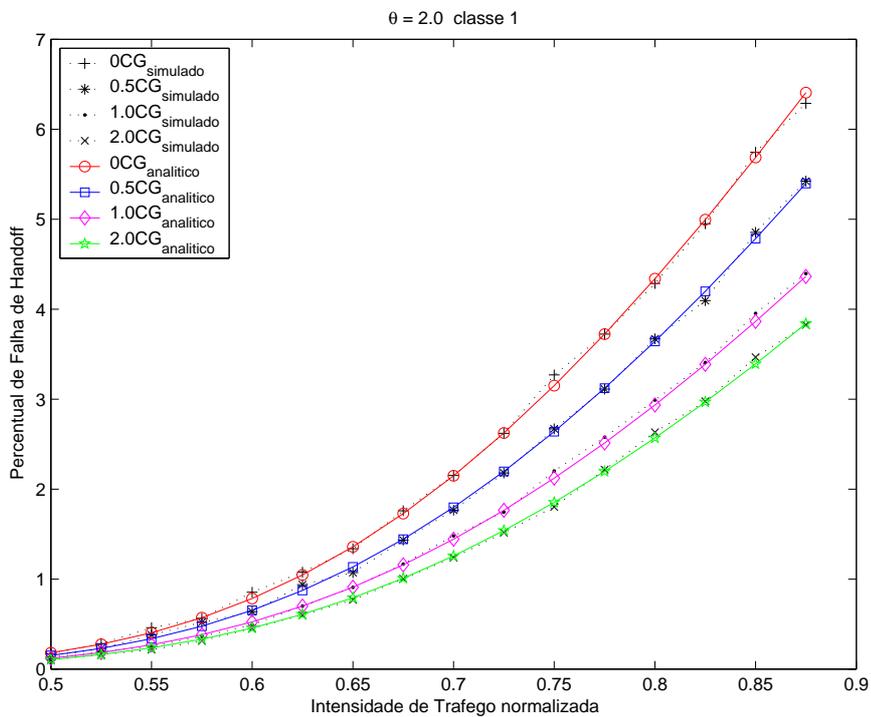


Figura 8.8: Percentual de falha de chamadas em *handoff* da classe 1 versus intensidade de tráfego total normalizada, $\theta = 2$, $B_1 = 1_{UB}$; $B_2 = 2_{UB}$.

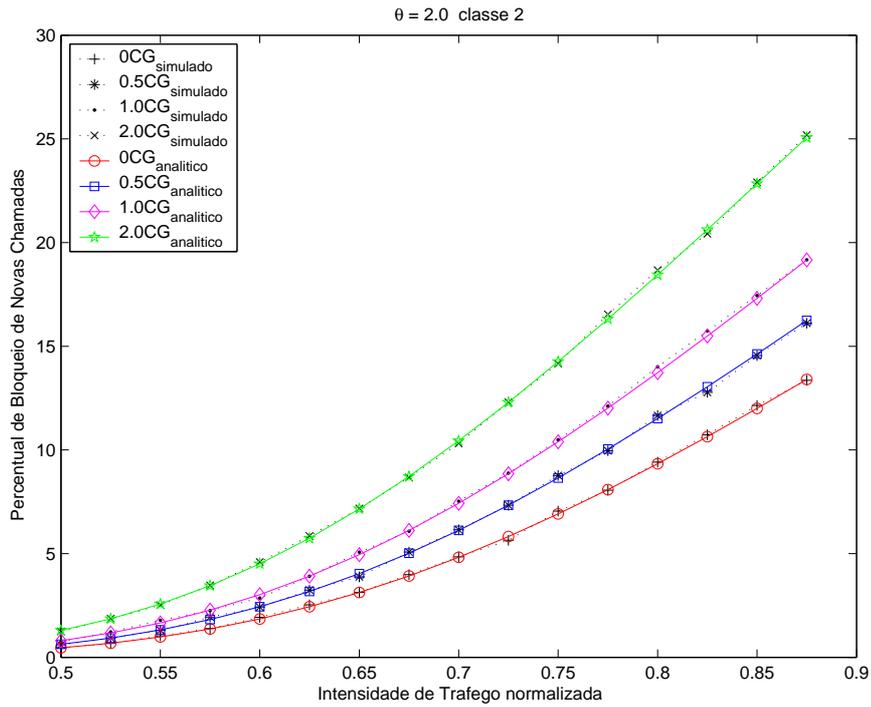


Figura 8.9: Percentual de bloqueio de chamadas novas da classe 2 versus intensidade de tráfego total normalizada, $\theta = 2$, $B_1 = 1_{UB}$; $B_2 = 2_{UB}$.

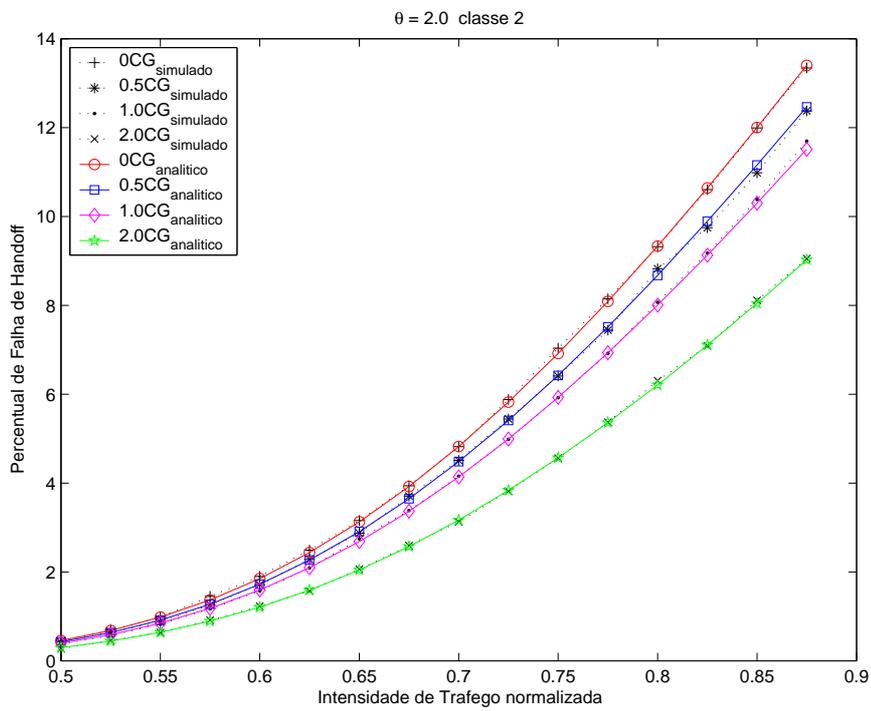


Figura 8.10: Percentual de falha de chamadas em *handoff* da classe 2 versus intensidade de tráfego total normalizada, $\theta = 2$, $B_1 = 1_{UB}$; $B_2 = 2_{UB}$.

de guarda, $0CG$; com número inteiro de canais de guarda, $1CG$ e $2CG$; e também com número fracionário de canais de guarda, 0.5 . Observa-se que os resultados simulados em linguagem $C++$ concordam perfeitamente com os resultados analíticos calculados em $MATLAB_{\text{®}}$ para todos os casos de número de canais de guarda e para as duas classes de usuários, tanto para o percentual de bloqueio de chamadas novas quanto para o percentual de falha de chamadas em *handoff*. Diante desses dados, validamos os resultados do simulador desenvolvido neste trabalho para múltiplas classes de usuários. Este simulador é utilizado no capítulo 9 para verificar o desempenho dos algoritmos dinâmicos de controle de admissão de chamadas em sistemas de múltiplas classes propostos nesta tese.

8.7

Resultados Analíticos para Sistemas de Múltiplas Classes de Usuários com Restrições Múltiplas

Nesta seção são apresentados os resultados analíticos correspondentes ao modelo desenvolvido nas seções anteriores deste capítulo, implementado em $MATLAB_{\text{®}}$.

O programa utiliza as expressões do modelo para calcular a probabilidade de bloqueio de uma chamada nova, a probabilidade de falha de uma chamada em *handoff* e a utilização normalizada dos recursos de um sistema de múltiplas classes de usuários.

No programa, foram considerados até quatro classes de usuários, ($M \leq 4$), incluindo seus usuários novos e em *handoff*, que formam um total de oito tipos de usuários diferentes.

Foram considerados os casos em que o sistema utiliza reserva de canais tanto para usuários em *handoff* quanto para usuários novos.

A quantidade de canais reservados é diferente para cada tipo de usuário, podendo também assumir valores fracionários. A restrição de canais é definida pelo vetor restrição R definido em (8-56).

$$R = (R_{N1}, R_{N2}, \dots, R_{NM}, R_{H1}, R_{H2}, \dots, R_{HM}) \quad (8-56)$$

De acordo com o valor da restrição imposta a cada tipo de usuário é possível impor prioridades aos diversos tipos de usuários. As restrições variam de acordo com sua classe e se o usuário é novo ou está em *handoff*.

Os seguintes parâmetros do programa devem ser definidos no início do programa:

- Número de classes do sistema, ($M \leq 4$);
- Total de recursos que o sistema possui, N_c ;
- Número de unidades de banda de cada classe, B_γ ;
- Taxa de mobilidade dos usuários, θ ;
- Intensidade de tráfego normalizada, ρ ;
- Proporção de usuários em cada classe;
- Taxa de terminação de serviço de cada classe, μ_γ
- Valor da restrição de recursos de cada um dos $2M$ tipos de usuário do sistema.

Nos casos apresentados nas seções seguintes, os resultados correspondem à taxa de duração da chamada igual a 120s e taxa total de intensidade de tráfego ρ , dada pela equação (8-49).

8.7.1

Resultados Analíticos para Sistemas de Duas Classes de Usuários

No caso do sistema de duas classes de usuários, são quatro tipos diferentes de usuário solicitando recursos do sistema: usuário novo classe 1, $N1$; usuário novo classe 2, $N2$; usuário em *handoff* classe 1, $H1$; e usuário em *handoff* classe 2, $H2$. Para cada um dos quatro tipos de usuários, há um valor diferente de restrição definido pelo vetor R .

Nos casos cujos resultados são apresentados nas seções seguintes, a classe 1 utiliza $1UB$ e a classe 2 utiliza $2UB$, $B_1 = 1$ e $B_2 = 2$. O sistema possui um total de recursos $N_c = 30$. As taxas de chegada de usuários das classes 1 e 2 são iguais. A duração média da chamada é de 120s. A taxa de mobilidade, $\theta = \frac{\lambda_H}{\lambda_N}$, é constante e vale $\theta = 2$.

Na figura 8.11 são apresentadas as curvas correspondentes ao vetor restrição $R = (0.7, 1, 0.3, 0)$, que é o primeiro caso das curvas das figuras 8.12 e 8.13. Observa-se que, apesar dos valores das restrições aos usuários da classe 2 serem menores que os da classe 1, os percentuais de bloqueio da classe 2 são maiores que os da classe 1. Quanto maior o número de unidades de banda que a classe ocupa, maior é o seu percentual de bloqueio. O valor da restrição de cada tipo de usuário não é o único fator que define a probabilidade de bloqueio.

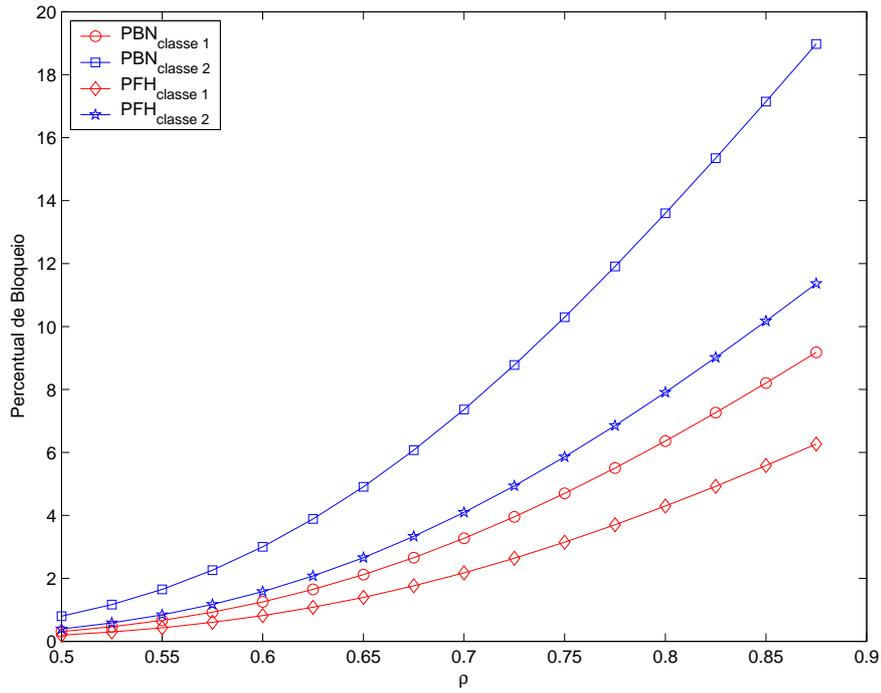


Figura 8.11: Percentual de bloqueio versus intensidade de tráfego total normalizada, $\theta = 2$, $B_1 = 1_{UB}$; $B_2 = 2_{UB}$, para vetor restrição $R = (0.7, 1, 0.3, 0)$.

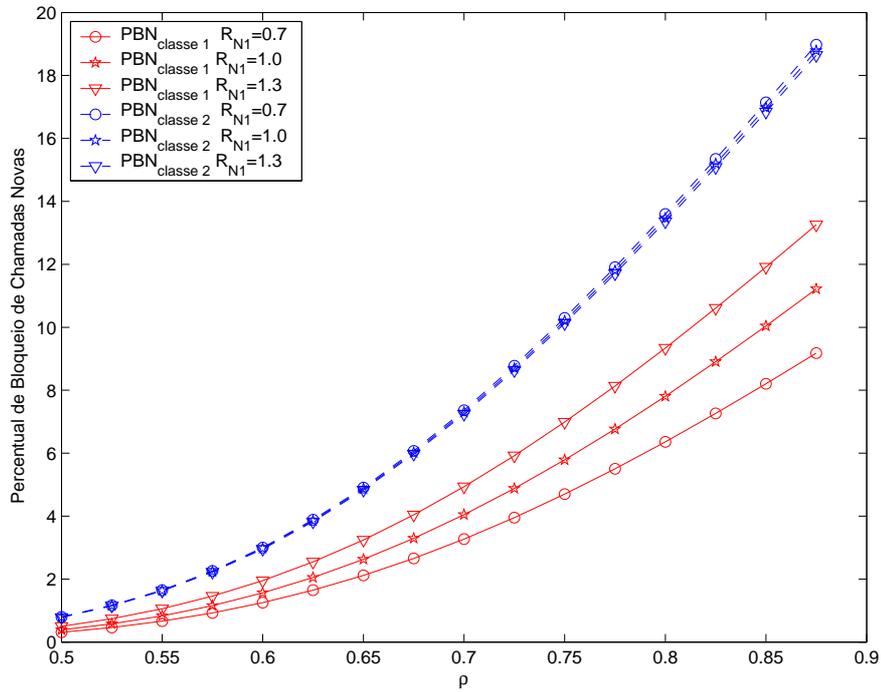


Figura 8.12: Percentual de bloqueio de chamadas novas das classes 1 e 2 versus intensidade de tráfego total normalizada, $B_1 = 1$; $B_2 = 2$, para restrições $R = (R_{N1}, 1, 0.3, 0)$ e $R_{N1} = 0.7, 1$ e 1.3 .

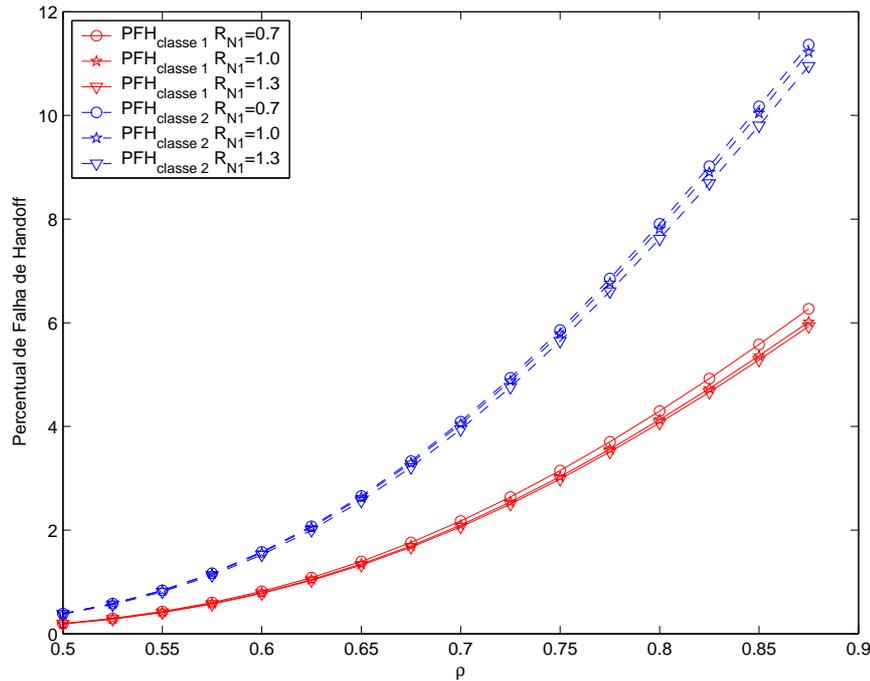


Figura 8.13: Percentual de falha de chamadas em *handoff* das classes 1 e 2 versus intensidade de tráfego total normalizada, $B_1 = 1; B_2$, para restrições $R = (R_{N1}, 1, 0.3, 0)$ e $R_{N1} = 0.7, 1$ e 1.3 .

Dependência dos Percentuais de Bloqueio com a Restrição de Usuários Novos da Classe 1, R_{N1}

As curvas de percentual de bloqueio de chamadas novas e de percentual de falha de *handoff* das classes 1 e 2, respectivamente, são apresentadas nas figuras 8.12 e 8.13 para três valores diferentes de restrição de usuários novos da classe 1 R_{N1} : 0.7; 1 e 1.3; enquanto que os outros valores de restrição são mantidos constantes e iguais a $R_{N2} = 1$; $R_{H1} = 0.3$ e $R_{H2} = 0$. Na figura 8.12, observa-se que as curvas relativas ao bloqueio de novas chamadas da classe 1, P_{BN1} , sofrem grande influência da restrição R_{N1} , enquanto que as curvas P_{BN2} são muito próximas entre si para os três valores de R_{N1} . Da mesma forma, na figura 8.13, observa-se que os dois conjuntos de curvas de P_{FH1} e P_{FH2} apresentam curvas quase iguais para os três valores de R_{N1} . Conclui-se que os percentuais de bloqueio são pouco afetados pela variação de uma restrição que não a sua própria. O conjunto de probabilidades estacionárias que define o valor dos bloqueios é diretamente afetado pelo valor das próprias restrições, conforme a equação (8-41). Nos demais tipos de usuários, o percentual de bloqueio sofre apenas uma pequena flutuação devida às mudanças nos valores das taxas de chegada com o valor das restrições.

Dependência dos Percentuais de Bloqueio com a Restrição de Usuários Novos da Classe 2, R_{N2}

Na figura 8.14 são apresentadas as curvas correspondentes ao vetor restrição , R , dado por (8-57) que corresponde ao primeiro caso das curvas das figuras 8.15 e 8.16.

$$(R_{N1}, R_{N2}, R_{H1}, R_{H2}) = (0.9, 0.7, 0.5, 0) \tag{8-57}$$

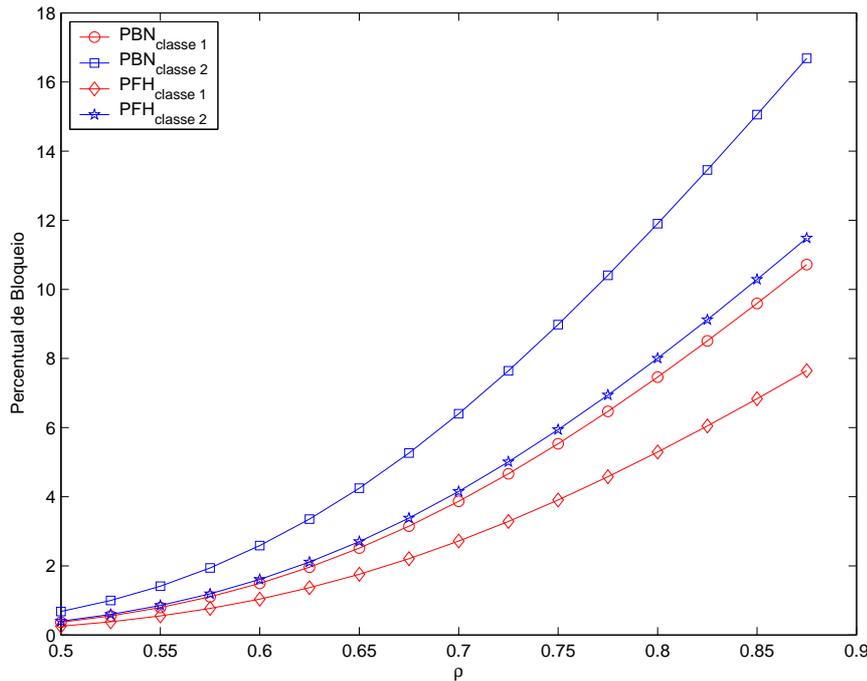


Figura 8.14: Percentual de bloqueio versus intensidade de tráfego total normalizada, $\theta = 2$, $N_c = 30$, $B_1 = 1$, $B_2 = 2$, para restrição $R = (0.9, 0.7, 0.5, 0)$.

Comparando a figura 8.14, cujo vetor restrição é $(0.9, 0.7, 0.5, 0)$, com a figura 8.11 cujo vetor restrição é $(0.7, 1, 0.3, 0)$, observa-se que as curvas de P_{BN1} e P_{FH2} trocam de posição. Portanto, através da escolha adequada das restrições, é possível favorecer um ou outro tipo de usuário no controle de acesso dos canais. No entanto, deve-se observar que o tamanho da banda requisitada por cada classe também influencia nos percentuais de bloqueio. A classe 2, que ocupa $2UB$, tende a apresentar percentuais de bloqueio maiores que a classe 1, que ocupa $1UB$.

Na figura 8.15 são apresentadas as curvas obtidas para P_{BN1} , P_{BN2} , e na figura 8.16 as curvas de P_{FH1} e P_{FH2} , para três valores diferentes da restrição aos usuários novos da classe 2, R_{N2} . Observa-se em 8.15 que as curvas de novas chamadas da classe 2, P_{BN2} , sofrem grande influência da restrição R_{N2} , enquanto que os outros três conjuntos de curvas P_{BN1} , P_{FH1} e

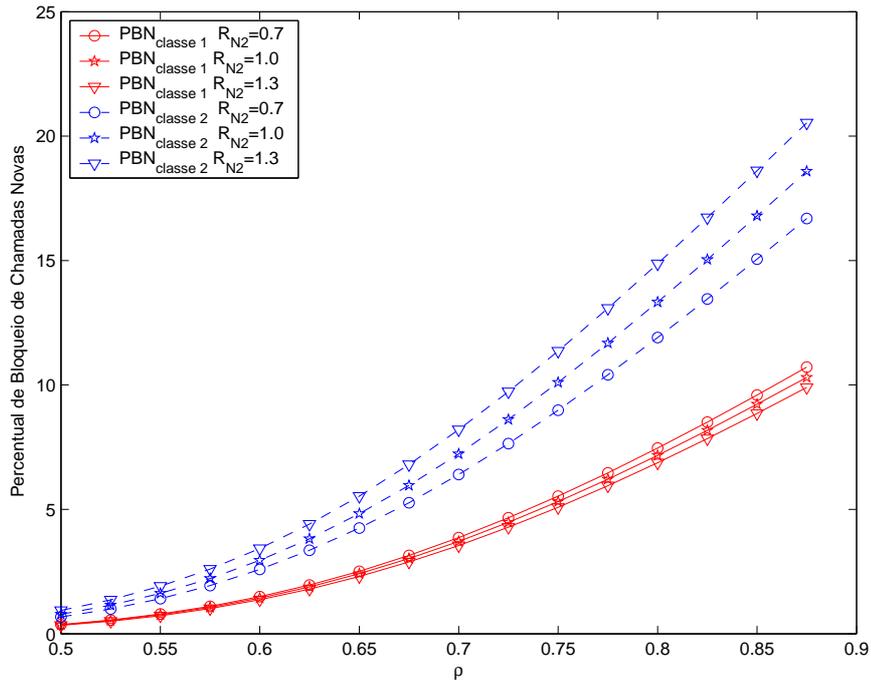


Figura 8.15: Percentual de bloqueio de chamadas novas das classes 1 e 2 versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 30$, $B_1 = 1$, B_2 , para valores de restrição $(0.9, R_{N2}, 0.5, 0)$ onde $R_{N2} = 0.7, 1$ e 1.3

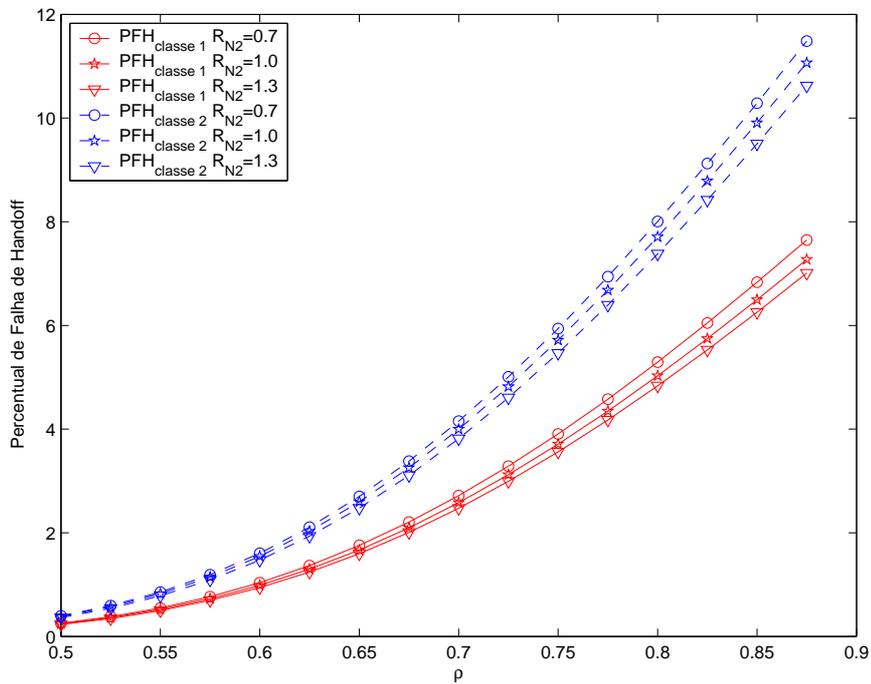


Figura 8.16: Percentual de falha de *handoff* das classes 1 e 2 versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 30$, $B_1 = 1$, B_2 , para valores de restrição $(0.9, R_{N2}, 0.5, 0)$ onde $R_{N2} = 0.7, 1$ e 1.3

P_{FH2} , apresentados em e 8.15 e e 8.16 sofrem apenas uma pequena flutuação devida a mudança das taxas de chegada aos estados. Isto reforça a conclusão obtida anteriormente para a restrição R_{N1} .

Dependência dos Percentuais de Bloqueio com a Restrição de Usuários em Handoff da Classe 1, R_{H1}

Na figura 8.11 são apresentadas as curvas correspondentes ao vetor restrição $(0.7, 1, 0.3, 0)$. Este caso corresponde a curva do meio das figuras 8.17 e 8.18 que apresentam o efeito da variação da restrição de usuários em *handoff* da classe 1 para três valores diferentes de restrição de usuários em *handoff* da classe 1, R_{H1} : 0; 0.3 e 0.6 enquanto que os outros valores de restrição são mantidos constantes e iguais a $R_{N1} = 0.7$, $R_{N2} = 1$ e $R_{H2} = 0$.

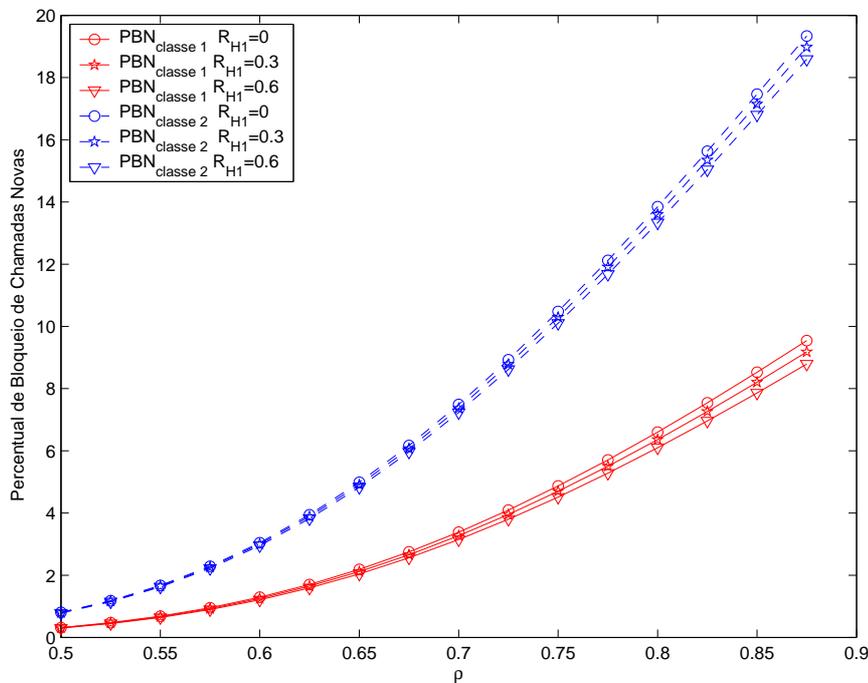


Figura 8.17: Percentual de bloqueio de chamadas novas das classes 1 e 2 versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 30$, $B_1 = 1$, $B_2 = 2$, para $R = (0.7, 1, R_{H1}, 0)$ onde R_{H1} é igual a 0; 0.3 e 0.6.

Observa-se na figura 8.18 que as curvas relativas às falhas de *handoff* da classe 1, P_{FH1} , sofrem grande influência da restrição R_{H1} , enquanto que os outros três conjuntos de curvas P_{BN1} , P_{BN2} e P_{FH2} , nas figuras 8.17 e 8.18, sofrem apenas uma pequena flutuação devida às mudanças nos valores das taxas de chegada.

Observando os resultados apresentados nas figuras 8.12, 8.13, 8.15, 8.16, 8.17, 8.18 e **conclui-se que qualquer alteração em cada uma das**

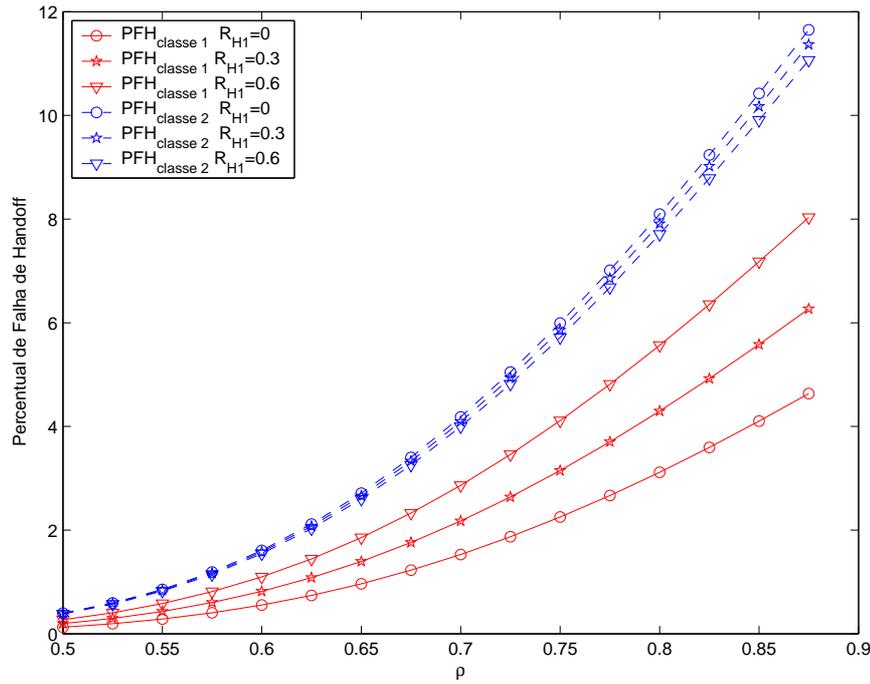


Figura 8.18: Percentual de falha de chamadas em *handoff* das classes 1 e 2 versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 30$, $B_1 = 1$, $B_2 = 2$, para $R = (0.7, 1, R_{H1}, 0)$ onde R_{H1} é igual a 0; 0.3 e 0.6.

quatro restrições altera o valor dos quatro percentuais de bloqueio. Isto se deve ao fato de que cada vez que mudamos uma restrição, há mudança nas taxas de chegada que leva a uma solução diferente para as probabilidades estacionárias dos estados.

Outra observação interessante é que o percentual de bloqueio mais afetado se dá para a classe de usuário diretamente relacionada à restrição que teve seu valor modificado devido ao fato de que a mudança da restrição, $R_{H\gamma}$ ou $R_{N\gamma}$, influencia no somatório de estados que levam ao bloqueio da chamada conforme as equações (8-41) e (8-44).

Além disso, é importante deixar claro que o efeito da restrição na própria classe é muito maior do que o seu efeito nas demais classes, conforme o esperado.

Sistemas de Duas Classes de Usuários com Restrições Múltiplas e Requisitos de Bandas Iguais

Em um sistema real há usuários com necessidades diferentes de acesso aos recursos. As diferenças podem vir das características de tráfego, requisitos de qualidade de serviço ou simplesmente classes de tarifação

diferentes que podem ser tratadas pelos valores diferentes de restrição aos canais do sistema.

Para avaliar como as restrições aos recursos influenciam nas probabilidades de bloqueio, criam-se duas classes com necessidades de banda iguais, porém seus valores de restrição são diferentes. Dessa forma pretende-se conceder prioridade de uma classe em relação à outra.

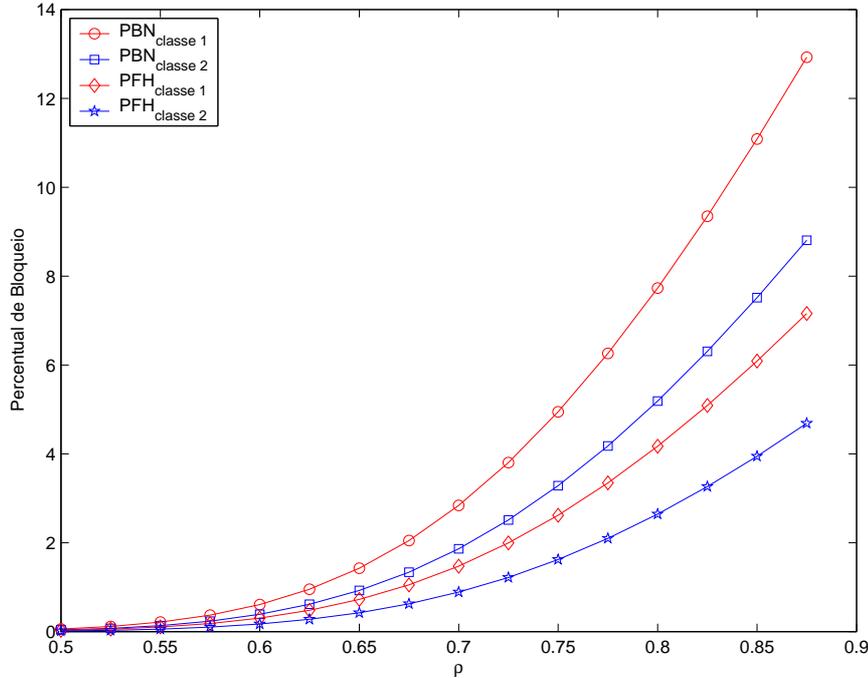


Figura 8.19: Percentual de bloqueio versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 30$, $\theta = 2$, $B_1 = B_2 = 1$, $R = (1, 0.5, 0.3, 0)$.

Ambas as classes possuem requisito de banda, $B_1 = B_2 = 1UB$. A duração média da chamada é de 120s e as taxas de chegada de usuários são iguais. Portanto, as duas classes estão em condições idênticas, a menos dos valores de suas restrições.

As figuras 8.19, 8.20 e 8.21 apresentam os resultados analíticos obtidos em *MATLAB*[®], para um sistema que possui duas classes de usuários e $N_c = 30UB$. A taxa de mobilidade é $\theta = 2$. As restrições são dadas pelo vetor R , dado por (8-58), onde R_{H1} assume os valores 0.3, 0.5 e 0.7, respectivamente.

$$R = (R_{N1}, R_{N2}, R_{H1}, R_{H2}) = (1, 0.5, R_{H1}, 0) \quad (8-58)$$

Observa-se que, como as classes possuem requisitos de banda iguais, os valores de seus bloqueios são dados diretamente pelos valores de suas restrições. Para confirmar esta idéia, na figura 8.20 a restrição dos usuários

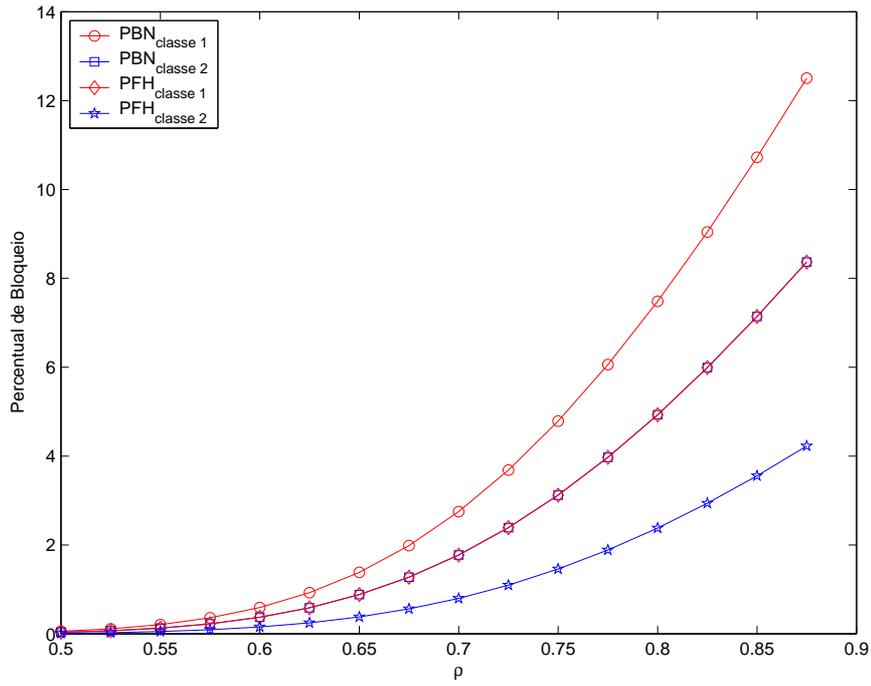


Figura 8.20: Percentual de bloqueio versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 30$, $\theta = 2$, $B_1 = B_2 = 1$, $R = (1, 0.5, 0.5, 0)$.

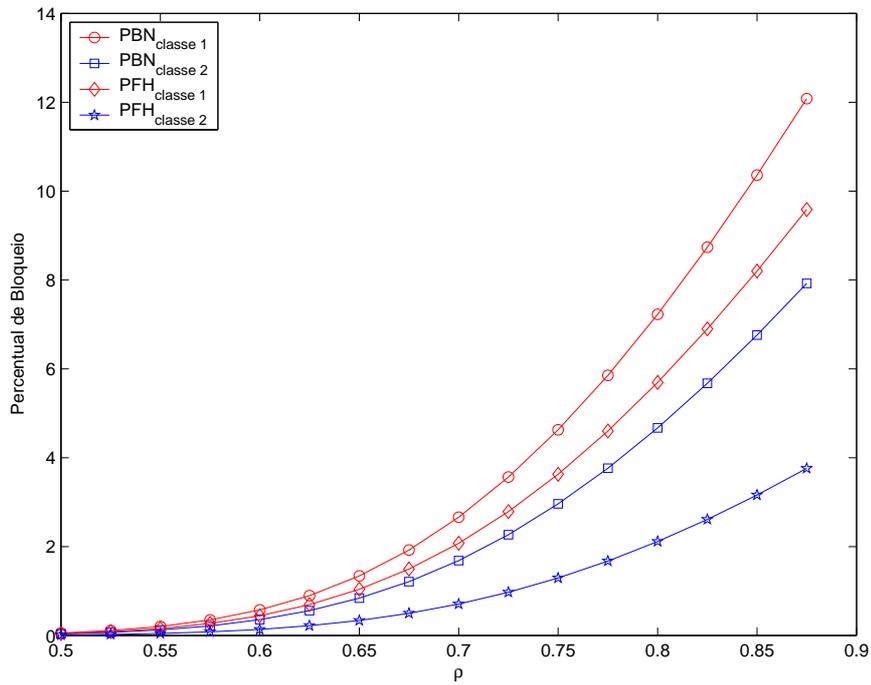


Figura 8.21: Percentual de bloqueio versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 30$, $\theta = 2$, $B_1 = B_2 = 1$, $R = (1, 0.5, 0.7, 0)$.

em *handoff* da classe 1 é R_{H1} é igual a restrição dos usuários novos da classe e, $R_{N2} = 0.5$, observa-se que, neste caso, as curvas correspondentes, P_{FH1} e

P_{BN2} são idênticas, conforme o esperado.

8.7.2

Resultados Analíticos para Sistemas de Três Classes de Usuários com Restrições Múltiplas

As figuras 8.22, 8.23 e 8.24 apresentam os resultados analíticos obtidos em $MATLAB_{\text{®}}$, para um sistema que possui três classes de usuários e um total de recursos, $N_c = 30UB$.

As três classes possuem taxas de chegada de usuários iguais. A Intensidade total de solicitação de recursos, ρ , é dada pela equação (8-49) e seu valor varia entre 0.5 e 0.9 no eixo das abscissas. A duração média da chamada é de 120s. A taxa de mobilidade, $\theta = \frac{\lambda_H}{\lambda_N}$, é constante e vale $\theta = 2$.

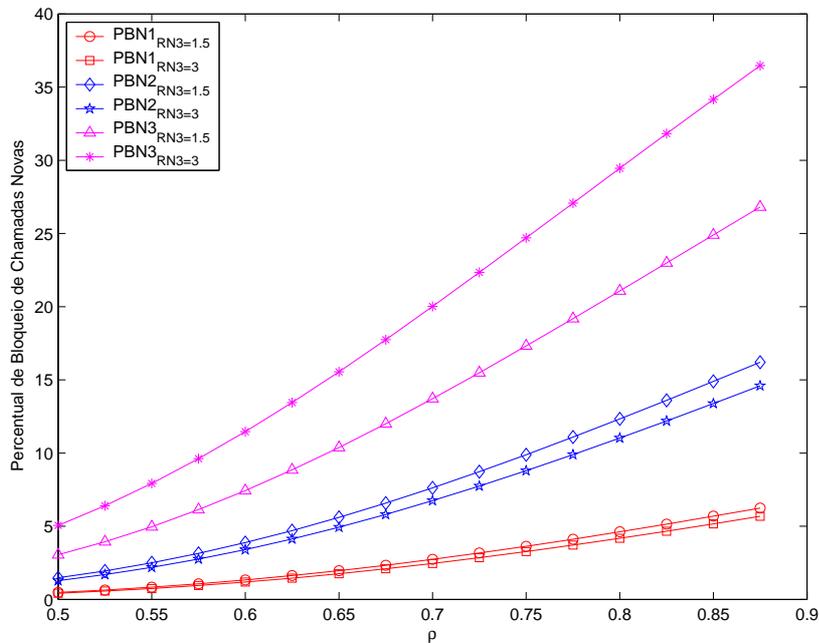


Figura 8.22: Percentual de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 30$, $\theta = 2$, $B_1 = 1$, $B_2 = 2$, $B_3 = 3$, $R = (0.5, 1, R_{N3}, 0.2, 0.5, 0)$ onde $R_{N3} = 1.5$ e 3.

A classe 1 utiliza $1UB$, a classe 2 utiliza $2UB$, e a classe 3 utiliza $3UB$. Ou seja, $B_1 = 1$, $B_2 = 2$ e $B_3 = 3$. De três classes, temos seis tipos diferentes de usuário solicitando recursos do sistema: usuários novos, $N1$, $N2$ e $N3$; e usuários em *handoff*, $H1$, $H2$ e $H3$. Para cada um dos seis tipos de usuário, há um valor diferente de restrição definido pelo vetor de restrição

$$R = (R_{N1}, R_{N2}, R_{N3}, R_{H1}, R_{H2}, R_{H3}) \tag{8-59}$$

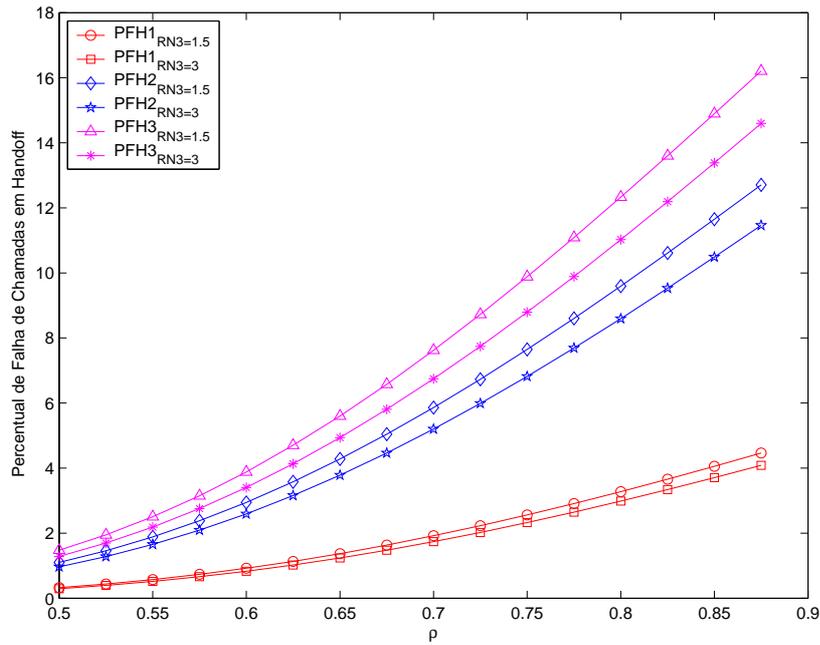


Figura 8.23: Percentual de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 30$, $\theta = 2$, $B_1 = 1$, $B_2 = 2$, $B_3 = 3$, $R = (0.5, 1, R_{N3}, 0.2, 0.5, 0)$ onde $R_{N3} = 1.5$ e 3 .

As figuras 8.22, 8.23 e 8.24 foram obtidas considerando dois valores diferentes para a restrição dos usuários novos da classe 3, R_{N3} assume os valores 1.5 e 3. O vetor restrição é dado por R , definido em (8-60).

$$(R_{N1}, R_{N2}, R_{N3}, R_{H1}, R_{H2}, R_{H3}) = (0.5, 1.0, R_{N3}, 0.2, 0.5, 0) \quad (8-60)$$

Em relação à utilização total dos canais, observa-se em 8.24 que embora as duas curvas sejam próximas entre si, quanto maior a restrição de canais, menor a utilização. A curva de utilização total para $R_{N3} = 3$ está abaixo da curva de $R_{N3} = 1.5$.

Observando os resultados apresentados nas figuras 8.22 e 8.23 conclui-se que qualquer alteração em cada uma das restrições altera o valor de todos os percentuais de bloqueio. Isso se deve ao fato de que cada vez que mudamos uma restrição, há mudança nas taxas de chegada que leva a uma solução diferente para as probabilidades estacionárias de todos estados do sistema. Além disso, observa-se que o percentual de bloqueio mais afetado se dá para a classe de usuário diretamente relacionada à restrição que teve seu valor modificado; uma vez que a mudança da restrição, $R_{H\gamma}$ ou $R_{N\gamma}$, influencia no somatório de estados que levam ao bloqueio da chamada, conforme as equações (8-41) e (8-44). Este mesmo comportamento foi observado no caso de duas classes de usuários.

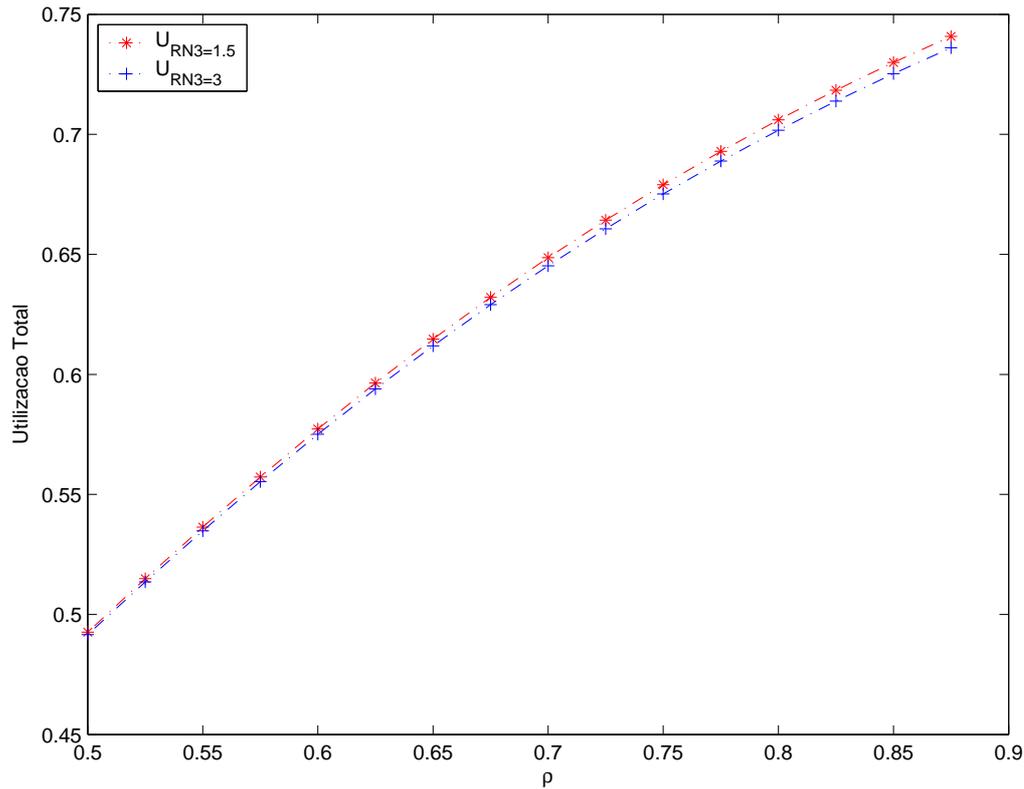


Figura 8.24: Utilização total versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 30$, $\theta = 2$, $B_1 = 1$, $B_2 = 2$, $B_3 = 3$, $R = (0.5, 1, R_{N3}, 0.2, 0.5, 0)$ onde $R_{N3} = 1.5$ e 3.

8.7.3

Resultados Analíticos para Sistemas de Quatro Classes de Usuários com Restrições Múltiplas

Neste caso, são oito tipos diferentes de usuário solicitando recursos do sistema: usuários novos, $N1$, $N2$, $N3$ e $N4$; e usuários em *handoff*, $H1$, $H2$, $H3$ e $H4$. Para cada um dos oito tipos de usuário, há um valor diferente de restrição definido pelo vetor de restrição aos usuários dado por R definido em (8-61).

$$R = (R_{N1}, R_{N2}, R_{N3}, R_{N4}, R_{H1}, R_{H2}, R_{H3}, R_{H4}) \quad (8-61)$$

As figuras 8.25, 8.26 e 8.27 apresentam os resultados analíticos obtidos em $MATLAB_{\text{®}}$, para um sistema que possui quatro classes de usuários e $N_c = 15UB$. As classes 1, 2, 3 e 4 utilizam: 1, 2, 3 e $4UB$, respectivamente. O vetor restrição definido em (8-62) para dois valores de restrição de usuários novos da classe 4, $R_{N4} = 1.3$ e $R_{N4} = 3$. A taxa de mobilidade, $\theta = \frac{\lambda_H}{\lambda_N}$, é

constante e vale $\theta = 2$.

$$R = (0.7, 1, 3.5, R_{N4}, 0.2, 0.5, 1.2, 0) \tag{8-62}$$

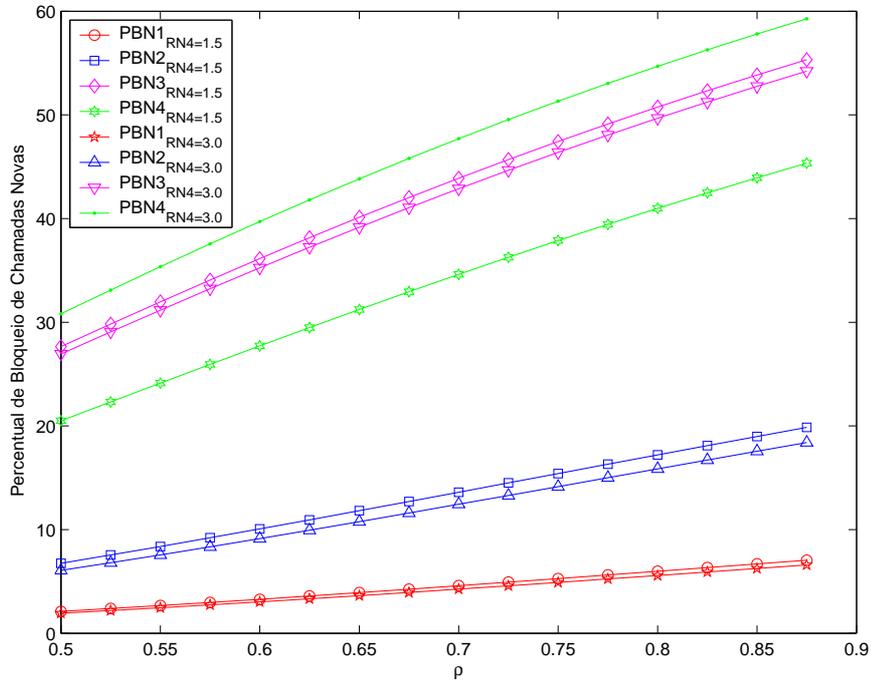


Figura 8.25: Percentual de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 15UB$, $\theta = 2$, $B_1 = 1$, $B_2 = 2$, $B_3 = 3$, $B_4 = 4$, $R = (0.7, 1, R_{N4}, 0.2, 0.5, 1.2, 0)$, para $R_{N4} = 1.3$ e $R_{N4} = 3$.

Na figura 8.25 observa-se que as duas curvas de percentual de bloqueio de usuários novos da classe 4 estão bastante afastadas entre si, enquanto que os outros pares de curvas de percentual de bloqueio das classes 1, 2 e 3 estão próximos. Portanto, o par de curvas que mais apresentou alteração com a variação da restrição R_{N4} é o par de P_{BN4} . Já na figura 8.26 referente ao percentual de falha de chamadas em *handoff* os quatro pares de curvas de P_{FH} mantêm-se relativamente próximos, apesar da variação da restrição R_{N4} . Este mesmo comportamento foi observado nos casos de 2 e 3 classes de usuários, onde se observa que sempre que há alguma variação das restrições, todas as probabilidades estacionárias dos estados da cadeia de Markov se modificam devido às modificações das taxas de chegada aos estados. Além disso, o percentual de bloqueio mais afetado pela variação é sempre aquele associado diretamente à restrição.

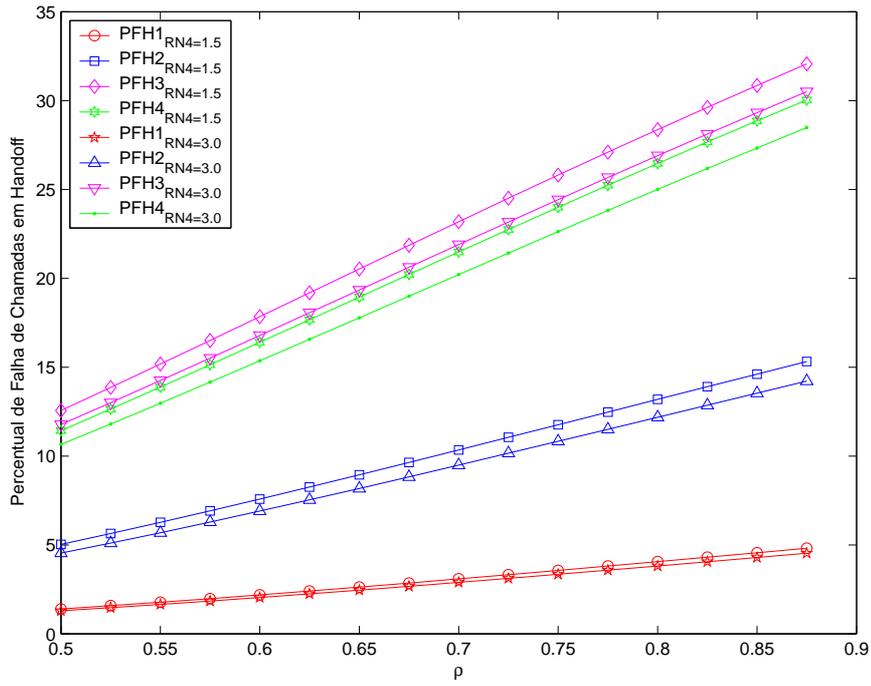


Figura 8.26: Percentual de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 15UB$, $\theta = 2$, $B_1 = 1$, $B_2 = 2$, $B_3 = 3$, $B_4 = 4$, $R = (0.7, 1, R_{N4}, 0.2, 0.5, 1.2, 0)$, para $R_{N4} = 1.3$ e $R_{N4} = 3$.

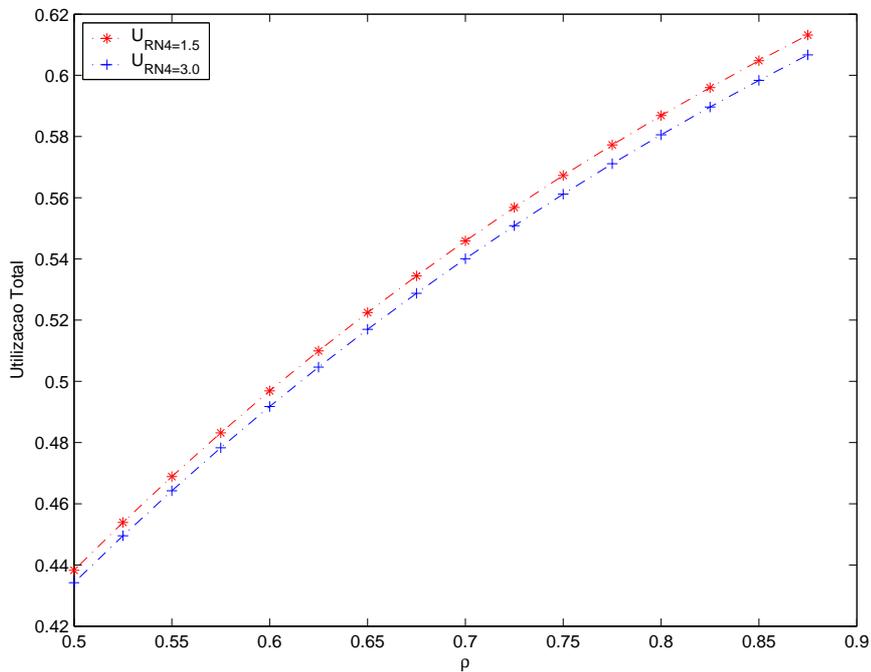


Figura 8.27: Utilização total versus intensidade de tráfego total normalizada, $N_c = 15UB$, $\theta = 2$, $B_1 = 1$, $B_2 = 2$, $B_3 = 3$, $B_4 = 4$, $R = (0.7, 1, R_{N4}, 0.2, 0.5, 1.2, 0)$, para $R_{N4} = 1.3$ e $R_{N4} = 3$.

8.7.4

Resultados Analíticos para Sistemas de Quatro Classes de Usuários com Restrições Múltiplas e Proporções Diferentes entre as Classes

As figuras 8.28, 8.29 e 8.30 apresentam os resultados analíticos obtidos em *MATLAB*[®], para um sistema que possui quatro classes de usuários e $N_c = 15UB$.

Para cada uma das quatro classes, há um par de curvas. Uma das curvas do par corresponde ao caso de taxas de chegada de usuários iguais. Ou seja, proporções iguais de ocorrência das classes.

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \frac{\lambda}{4} \quad (8-63)$$

No segundo caso, foi considerado que 70% dos usuários são da classe 4 e 10% de cada uma das demais classes de usuários.

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0.1 \times \lambda \quad (8-64)$$

$$\lambda_4 = 0.7 \times \lambda \quad (8-65)$$

A classes utilizam, $B_1 = 1$, $B_2 = 2$, $B_3 = 3$ e $B_4 = 4$. Temos oito tipos diferentes de usuário solicitando recursos do sistema: usuários novos, $N1$, $N2$, $N3$ e $N4$; e usuários em *handoff*, $H1$, $H2$, $H3$ e $H4$. A taxa de mobilidade, $\theta = \frac{\lambda_H}{\lambda_N}$, é constante e vale $\theta = 2$. O vetor de restrição é dado por:

$$R = (0.7, 1, 3.5, 1.5, 0.2, 0.5, 1.2, 0) \quad (8-66)$$

Observa-se um resultado interessante nas figuras 8.28 e 8.29. Na figura 8.28 o percentual de bloqueio de chamadas novas da classe 4 inicialmente é o mesmo mesmo para proporções diferentes e **diverge** conforme a intensidade de tráfego aumenta. Já o percentual de falha de chamadas em *handoff* das classe 3 e 4 tende uma **suave convergência** conforme aumenta a intensidade de tráfego, na figura 8.29.

Quando observamos as modificações na utilização dos recursos do sistema na figura 8.30, notamos que a utilização para o caso de 70% da classe 4 é bem menor que no caso de proporções iguais, uma vez que a classe 4 é justamente aquela que solicita mais recursos do sistema, ocasionando maiores percentuais de bloqueio e conseqüentemente de recursos não utilizados.

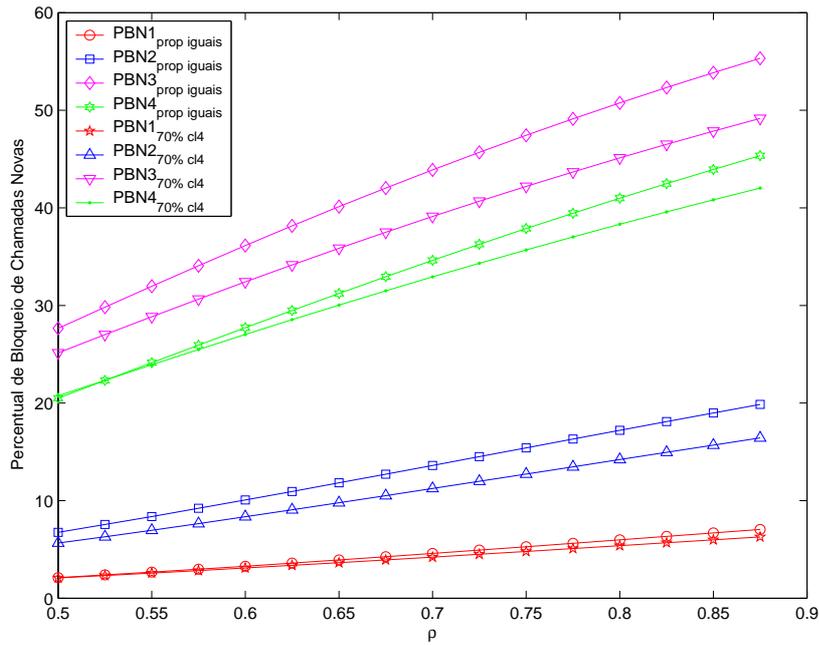


Figura 8.28: Percentual de bloqueio de chamadas novas versus intensidade de tráfego total normalizada, $\theta = 2, N_c = 15UB, B_1 = 1, B_2 = 2, B_3 = 3, B_4 = 4, R = (0.7, 1, 3.5, 1.5, 0.2, 0.5, 1.2, 0)$, para proporções entre as classes iguais no primeiro caso e de 70% da classe 4 no segundo caso.

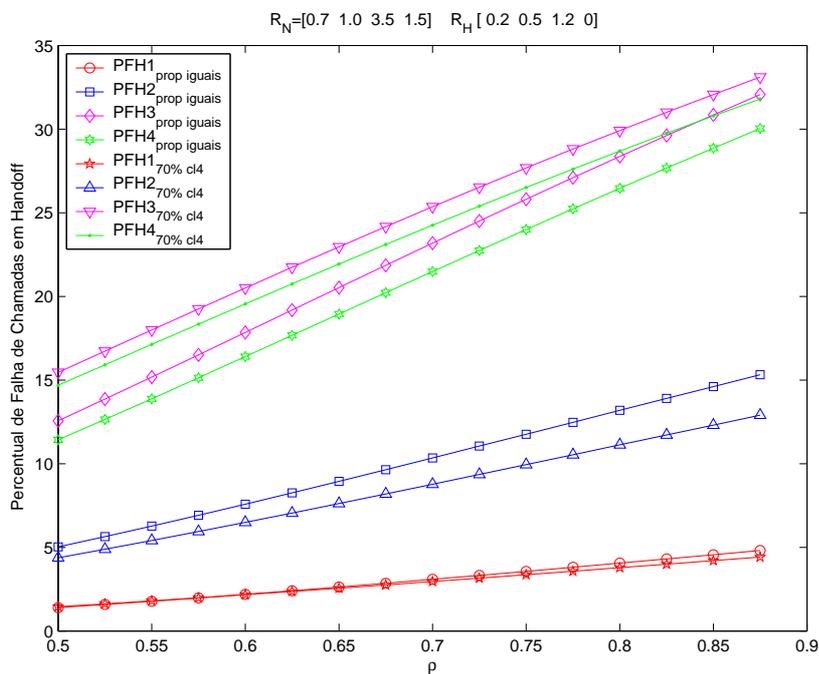


Figura 8.29: Percentual de falha de chamadas em *handoff* versus intensidade de tráfego total normalizada, $\theta = 2, N_c = 15UB, B_1 = 1, B_2 = 2, B_3 = 3, B_4 = 4, R = (0.7, 1, 3.5, 1.5, 0.2, 0.5, 1.2, 0)$, para proporções entre as classes iguais no primeiro caso e de 70% da classe 4 no segundo caso.

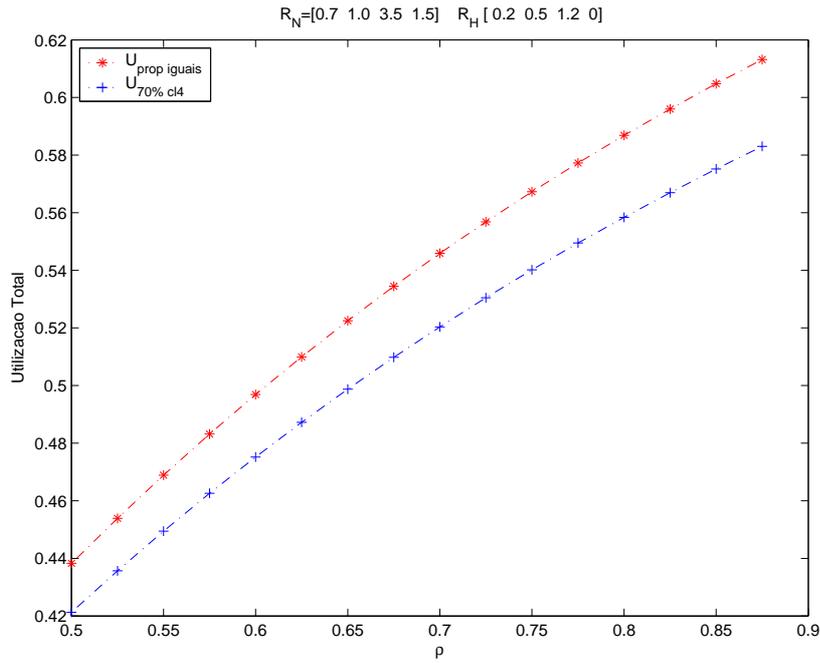


Figura 8.30: Utilização total versus intensidade de tráfego total normalizada, $\theta = 2, N_c = 15UB, B_1 = 1, B_2 = 2, B_3 = 3, B_4 = 4, R = (0.7, 1, 3.5, 1.5, 0.2, 0.5, 1.2, 0)$, para proporções entre as classes iguais no primeiro caso e de 70% da classe 4 no segundo caso.

**8.7.5
Conclusão**

O modelo analítico apresentado neste capítulo para o caso de M classes generaliza o caso anterior de uma classe ($M = 1$).

Observando os resultados apresentados nas figuras 8.25, 8.26 e 8.27 para 4 classes de usuários e, comparando-os com os resultados de 2 e 3 classes, conclui-se que para qualquer quantidade de classes de usuários, uma alteração em cada uma das restrições altera o valor de todos percentuais de bloqueio. Isso se deve ao fato de que as taxas de chegada dependem das restrições e que qualquer alteração no conjunto de restrições leva a uma solução diferente para as probabilidades estacionárias de todos os estados da cadeia de Markov.

Observa-se também, que o percentual de bloqueio mais afetado se dá para a classe de usuário diretamente relacionada à restrição que teve seu valor modificado. Este efeito se deve ao fato de que a mudança da restrição, $R_{H\gamma}$ ou $R_{N\gamma}$, influencia no somatório de estados que levam ao bloqueio da chamada conforme as equações (8-41) e (8-44).

Além do vetor restrição R , os bloqueios de cada classe estão relacionados à banda requerida por cada classe, B_γ , e ao percentual de usuários de

cada classe. De uma maneira geral, classes com requisição de banda maior tendem a ter maiores bloqueios que aquelas que requerem bandas menores.

Concluimos que o bloqueio é uma combinação de todos estes fatores: Vetor Restrição R , requisição de banda B_γ e percentual de usuários de cada classe.

Em relação à utilização total dos canais observa-se em 8.27 que quanto maior a restrição de canais, menor a utilização.

Outra observação interessante é que o valor de cada uma das 2M restrições pode ser modificado de forma a favorecer uma ou outra classe, incluindo os usuários novos e os usuários em *handoff*.

9

Algoritmos de Controle de Admissão de Usuários para Sistemas de Múltiplas Classes

Neste capítulo são apresentados e propostos quatro algoritmos de Controle de Admissão de Chamadas, CAC, para sistemas de múltiplas classes de usuários. Os algoritmos são dinâmicos e distribuídos e tem como objetivo geral atender aos requisitos de qualidade de serviço mantendo elevada a utilização dos recursos do sistema.

Os algoritmos para M classes de usuários propostos neste capítulo são extensões de alguns dos algoritmos de uma classe de usuários, apresentados no capítulo 5. Da mesma forma que os anteriores, os algoritmos de M classes também são testados através do simulador descrito no capítulo 4, seu desempenho é comparado aos resultados dos sistemas com número fixo de canais de guarda, apresentados no capítulo 8.

Além disto, os algoritmos propostos tem seu desempenho testado em simulações que utilizam modelos novos para o tempo de permanência do usuário na célula. Tal trabalho é uma extensão do trabalho feito na referência [54] considerando além da distribuição exponencial, as distribuições constante, uniforme e Weibull para o tempo de permanência do usuário na célula.

Os algoritmos *CAC1M* e *CAC2M*, que são apresentados neste capítulo, foram publicados em [63]. Nesta tese seus resultados são apresentados com maior detalhe do que foi possível apresentar no artigo, incluindo o seu comportamento para outras distribuições que modelam o tempo de permanência do usuário na célula.

Nos algoritmos propostos, o número de canais de guarda em cada setor é definido separadamente para cada classe de usuário. Os usuários novos e usuários em *handoff* da classe γ são chamados de N_γ e H_γ . Cada algoritmo apresenta critérios diferentes para modificar o número de recursos reservados correspondente a sua classe, de uma forma dinâmica, conforme o desempenho obtido pelas medidas $(B_{BN}; B_{FH})_\gamma$ em relação aos requisitos de qualidade de serviço $(Q_{BN}; Q_{FH})_\gamma$. Portanto, todos algoritmos

propostos decidem sobre a admissão de chamadas baseados no desempenho instantâneo de cada setor de uma forma distribuída e dinâmica.

Os algoritmos são definidos para um número genérico M de classes de usuários. Neste capítulo seu desempenho é avaliado para duas classes, $M = 2$. Ou seja, temos quatro tipos de usuários diferentes, cada um com seu requisito de qualidade de serviço. Foram testados dois conjuntos de requisitos de qualidade nas simulações:

$$Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3\%, 1\%, 5\%, 3\%) \quad (9-1)$$

$$Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (4\%, 0.4\%, 5\%, 3\%) \quad (9-2)$$

As classes simuladas apresentam taxas totais de chegada de usuários iguais.

$$\lambda_1 = \lambda_2 \quad (9-3)$$

Cada taxa de chegada de determinada classe é dividida entre usuários novos e em *handoff*.

$$\lambda_1 = \lambda_{N1} + \lambda_{H1} \quad (9-4)$$

$$\lambda_2 = \lambda_{N2} + \lambda_{H2} \quad (9-5)$$

Nas simulações realizadas neste trabalho, a taxa de mobilidade é considerada a mesma para as duas classes.

$$\lambda_\gamma = \lambda_{N\gamma} + \lambda_{H\gamma} = \lambda_{N\gamma} + \theta\lambda_{N\gamma} \quad (9-6)$$

A demanda de recursos do sistema da classe 1 e de um canal (ou uma unidade de banda) e da classe 2 é de dois canais.

$$B_1 = 1 \quad (9-7)$$

$$B_2 = 2 \quad (9-8)$$

Nas seções subseqüentes são apresentados os algoritmos dinâmicos para o controle de admissão de chamadas ao setor, seus objetivos e seus respectivos resultados.

9.1

Algoritmo CAC1M

Este algoritmo busca favorecer as chamadas em *handoff* enquanto a probabilidade de bloqueio de chamadas novas é baixa. Os canais são reservados aos usuários em *handoff* em cada setor, correspondente à cada classe γ , de uma forma dinâmica, ou seja, de acordo com o desempenho do sistema. O algoritmo *CAC1M* é uma evolução de *CAC1*, apresentado no capítulo 5 desta tese. Da mesma forma que sua versão para uma classe, é um algoritmo simples e que se baseia apenas nas falhas de chamadas em *handoff* e na medida do percentual de bloqueio de chamadas novas.

É sabido que a reserva de canais diminui a utilização dos recursos. Com o objetivo de obter alta a utilização dos canais, o setor inicia com número de recursos reservados para os usuários em *handoff*, $R_{H\gamma}$, igual a zero. A cada falha de *handoff* de usuário da classe γ o valor de $R_{H\gamma}$ é incrementado.

Por outro lado, para evitar o aumento excessivo de $R_{H\gamma}$, a cada alocação de usuário novo da classe γ , N_γ , o percentual de bloqueio de chamadas novas é observado. A medida instantânea do percentual de bloqueio de chamadas novas, $B_{BN\gamma}$, é comparada ao seu valor máximo tolerável definido pelo requisito de qualidade de serviço para usuários novos, $Q_{BN\gamma}$. Se a medida $B_{BN\gamma}$ se aproxima do requisito $Q_{BN\gamma}$, o número de canais de guarda, $R_{H\gamma}$, é decrementado.

O parâmetro β_γ define o limiar de proximidade entre a medida de percentual de bloqueio, $B_{BN\gamma}$, e o parâmetro de QoS, $Q_{BN\gamma}$ para a tomada de decisão sobre diminuir o número de canais de guarda, $R_{H\gamma}$.

9.1.1

Descrição do Algoritmo CAC1M

Chegada de chamada em *handoff* da classe γ

- Verifica a disponibilidade de recursos e aloca, ou bloqueia.
- Se houver falha de *handoff*, $R_{H\gamma}$ é incrementado.

Chegada de chamada nova da classe γ

- Verifica se existem canais ordinários e aloca ou bloqueia.
- Registra o sucesso ou falha de alocação na janela de registro correspondente ao tipo de chamada.

- Calcula a medida de bloqueio de novas chamadas, $B_{BN\gamma}$.
- Se $B_{BN\gamma} \geq \beta_\gamma Q_{BN\gamma}$, $R_{H\gamma}$ é decrementado.

O diagrama de blocos do algoritmo proposto CAC1M é apresentado na figura 9.1.

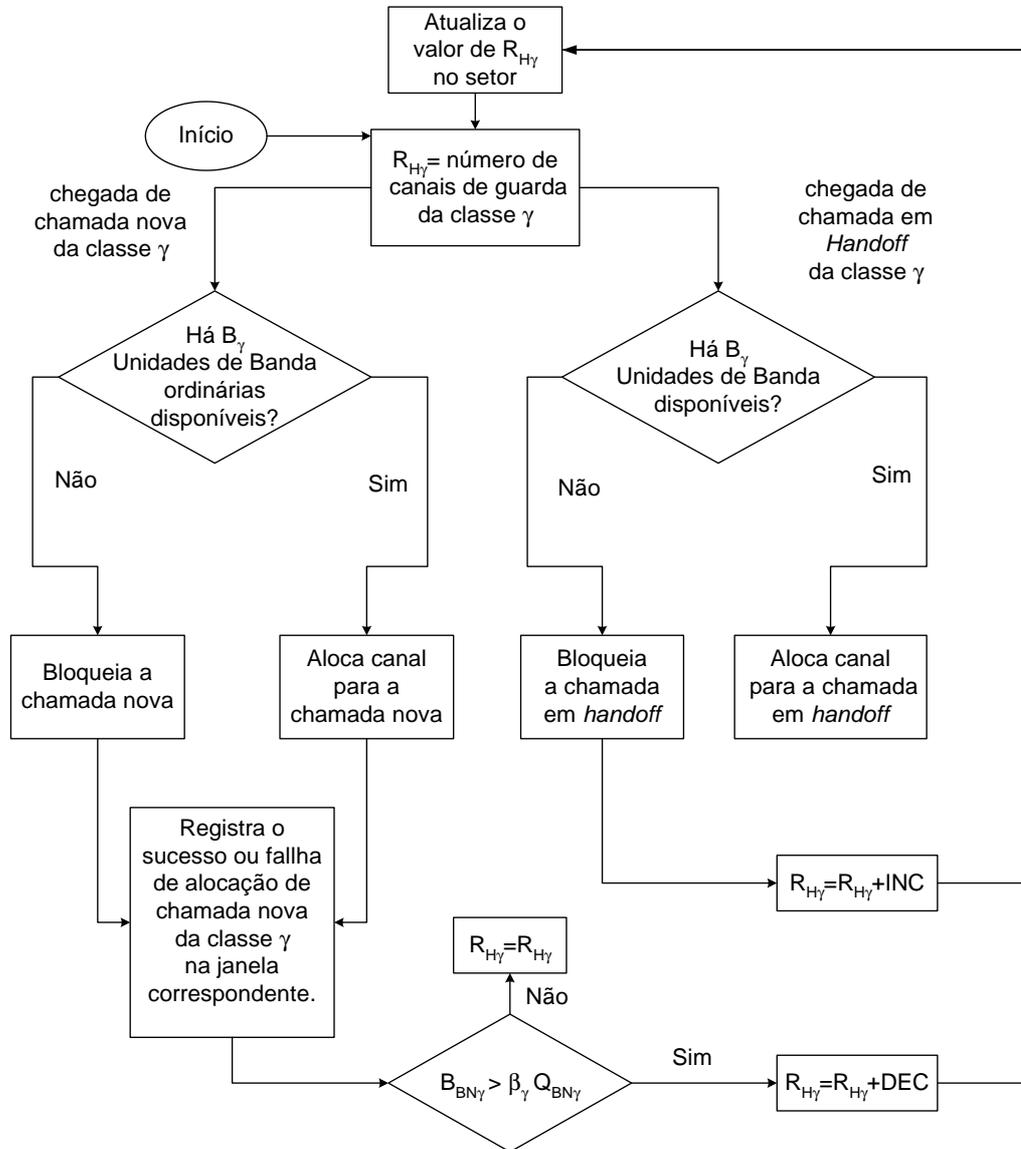


Figura 9.1: Diagrama de blocos do algoritmo CAC1M.

No algoritmo *CAC1M* os incrementos e decrementos do número de recursos reservados para os usuários em *handoff* são valores fracionários, onde o parâmetro de decremento, δ , é definido no início da simulação. O objetivo da variação fracionária é ajustar o valor de $R_{H\gamma}$ de uma forma mais suave, acompanhando as modificações do perfil de tráfego no setor.

O requisito de Qualidade de Serviço para Bloqueio de Chamadas Novas da classe γ , $Q_{BN\gamma}$, é definido no início da simulação.

9.1.2

Determinação dos Parâmetros do Algoritmo CAC1M

Nas seções seguintes são apresentados os resultados do desempenho do algoritmo de Controle de Admissão de Canal, *CAC1M*. São testadas variações no comportamento do algoritmo de acordo com os parâmetros de taxa de mobilidade, θ , e do decremento do número de canais de guarda, δ . Os resultados de simulação do algoritmos dinâmico, *CAC1M*, em linguagem C++, são comparados aos resultados analíticos referentes ao número fixo de canais de guarda, obtidos em MATLAB.

Desempenho de CAC1M com δ , Parâmetro de Decremento do Número de Recursos Reservados

No algoritmo CAC1M os incrementos do número de canais de guarda de cada classe são feitos a cada falha de *handoff* da respectiva classe. O valor de incremento é de $+2\delta B_\gamma$, ou seja, uma fração da banda requisitada.

O número de canais de guarda de determinada classe γ é reduzido a cada falha de chamada nova da mesma classe, respeitando a condição de que a medida de bloqueio de chamadas novas, $B_{BN\gamma}$, seja superior a $\beta_\gamma Q_{BN\gamma}$. O valor do decremento é de δB_γ .

A tabela 5.1 apresenta os valores dos incrementos e decrementos do algoritmo *CAC1M*.

Tabela 9.1: Incrementos e decrementos do algoritmo *CAC1M*.

<i>CAC1M</i>	variação de $R_{H\gamma}$
Falha de <i>Handoff</i>	$+2\delta B_\gamma$
$B_{BN\gamma} > \beta_\gamma Q_{BN\gamma}$	$-\delta B_\gamma$

Nas figuras 9.2 e 9.3 são apresentados os resultados do algoritmo CAC1M para vários valores do parâmetro de decremento δ . Os demais parâmetros de simulação são os parâmetros de proximidade dos requisitos de QoS $\beta_1 = 1$ e $\beta_2 = 1$; e os requisitos $(Q_{BN1}; Q_{FH1})$ e $(Q_{BN2}; Q_{FH2})$ iguais a (5%; 3%).

Observa-se nas figuras 9.2 e 9.3 que, quanto menor o valor do decremento δ , maior o número médio de canais de guarda. A curva de $\delta = 0.2$ apresenta decrementos menores que os incrementos e o valor médio do número de canais de guarda tende a ficar cada vez maior, conforme aumenta a intensidade de tráfego de entrada. O valor adotado para o parâmetro de decremento é $\delta = 0.5$ que apresentou melhor desempenho, sem incrementar demais ou de menos.

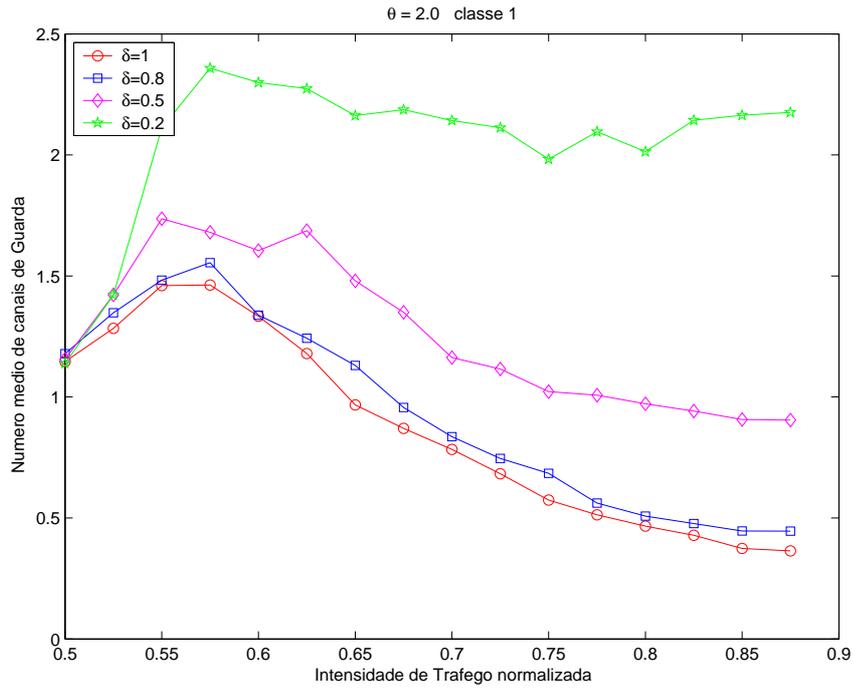


Figura 9.2: Número médio de canais de guarda para a classe 1 versus intensidade total de tráfego de entrada do algoritmo CAC1M para vários valores do decremento δ ; $\beta_1 = 1$; $\beta_2 = 1$; e $(Q_{BN1}; Q_{FH1}) = (Q_{BN2}; Q_{FH2}) = (5\%; 3\%)$.

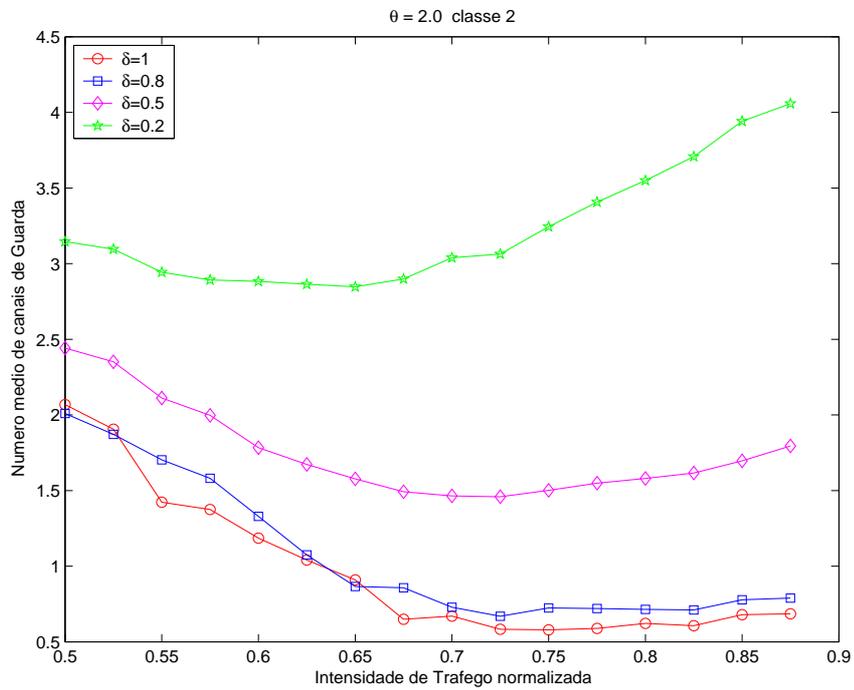


Figura 9.3: Número médio de canais de guarda para a classe 2 versus intensidade total de tráfego de entrada do algoritmo CAC1M para vários valores do decremento δ ; $\beta_1 = 1$; $\beta_2 = 1$; e $(Q_{BN1}; Q_{FH1}) = (Q_{BN2}; Q_{FH2}) = (5\%; 3\%)$.

Em todos os casos analisados, observa-se que o número médio de canais de guarda reservado para a classe 2, cuja banda é $B_2 = 2$, é sempre maior que o número médio de canais de guarda reservado para a classe 1 cuja banda é menor, $B_1 = 1$. Isso se deve ao fato dos acréscimos e decréscimos que são sempre proporcionais ao tamanho da banda de cada classe. Classes maiores tendem a serem mais bloqueadas e precisam de mais unidades de banda para suas chamadas em *handoff*.

9.1.3 Resultados do Algoritmo CAC1M

As figuras 9.4, 9.5, 9.6, 9.5 e 9.8 apresentam o comportamento do algoritmo *CAC1M* no caso de taxa de mobilidade $\theta = 1$ e requisitos de QoS $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, versus intensidade de tráfego de entrada normalizada, ρ .

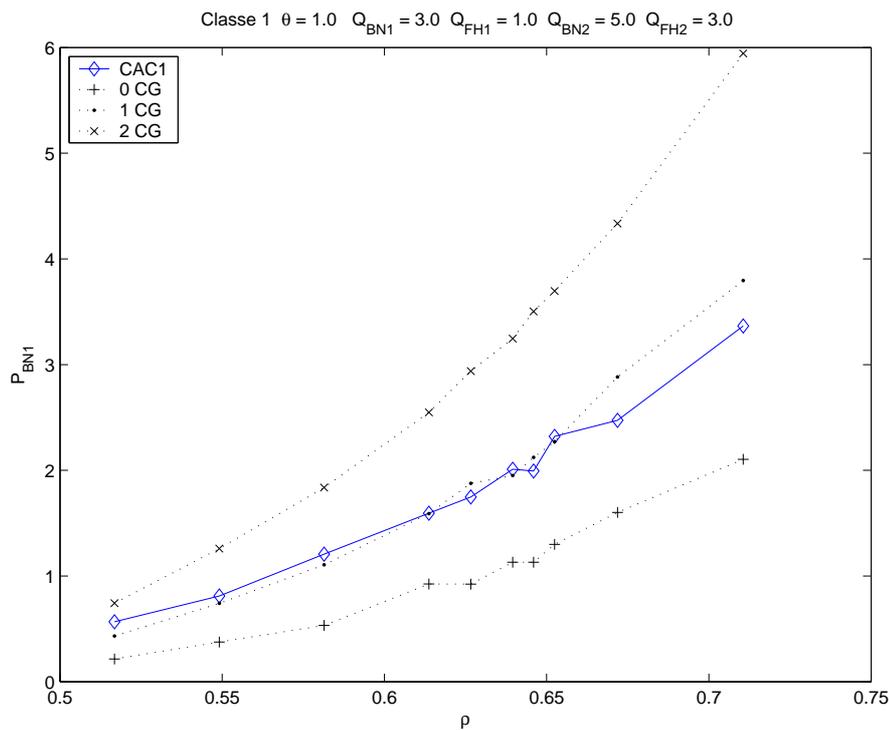


Figura 9.4: Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 1 do algoritmo CAC1M.

As curvas de percentual de bloqueio de chamadas novas e de falhas de usuários em *handoff* da classe 1 estão nas figuras 9.4 e 9.5. Observa-se que CAC1M se comporta, aproximadamente, em torno da curva de 1CG.

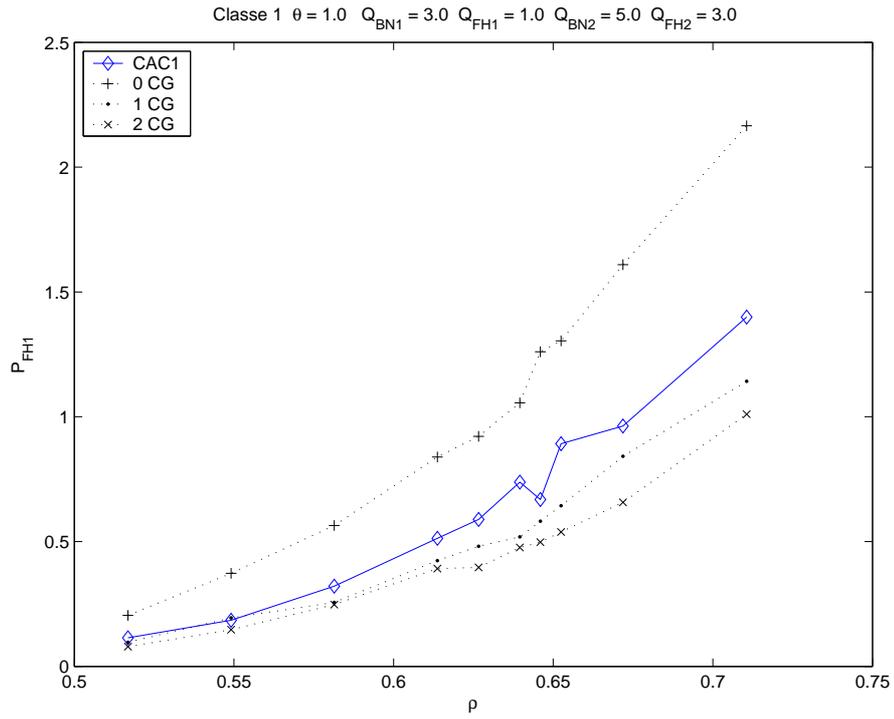


Figura 9.5: Percentual de Falha de chamadas em *handoff* da classe 1 do algoritmo CAC1M.

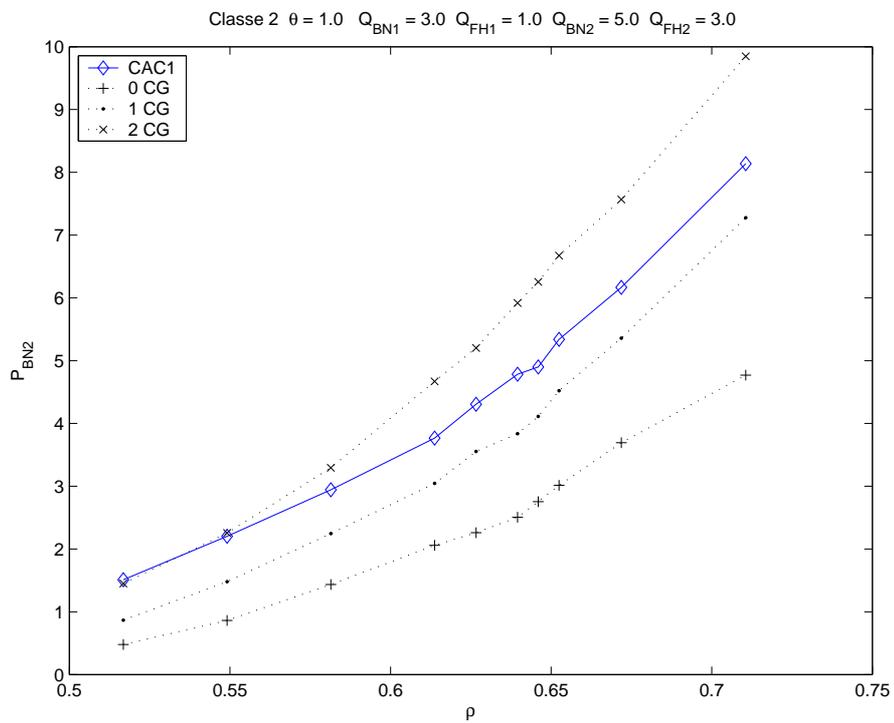


Figura 9.6: Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 2 do algoritmo CAC1M.

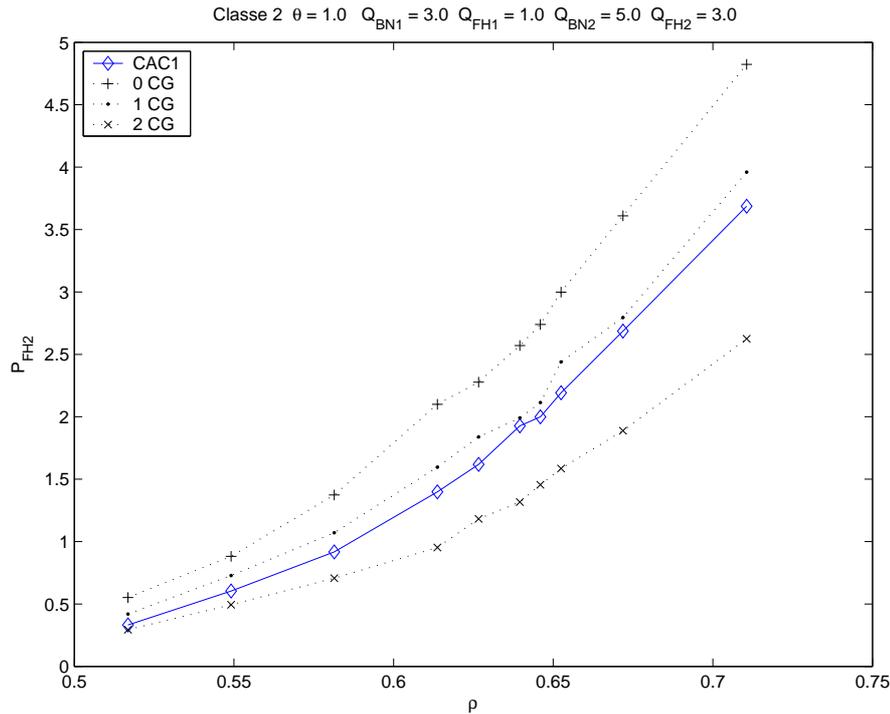


Figura 9.7: Percentual de Falha de chamadas em *handoff* da classe 2 do algoritmo CAC1M.

Para a classe 2, as curvas de percentual de bloqueio de chamadas novas e de falhas de usuários em *handoff* estão nas figuras 9.6 e 9.7. Observa-se que CAC1M se comporta, aproximadamente, em torno de $1,5CG$.

Na figura 9.8 é apresentada a quantidade de recursos reservada para cada um dos tipos de usuário. Observa-se que o algoritmo CAC1M reserva recursos apenas para os usuários em *handoff* de ambas as classes.

Comparando o número de recursos reservados para os usuários em *handoff* de cada classe, nota-se que uma menor quantidade de recursos do sistema foi reservada para os usuários em *handoff* da classe 1; e a classe 2, que requisita mais recursos do sistema, obteve mais recursos reservados para seus usuários em *handoff*.

No final deste capítulo são apresentados diversos resultados do desempenho de todos os algoritmos propostos para M classes em cenários diferentes.

9.2

Algoritmo CAC2M

O algoritmo CAC2M é um aprimoramento de CAC1M onde é introduzido o requisito de QoS relativo às chamadas em *handoff*, $Q_{FH\gamma}$.

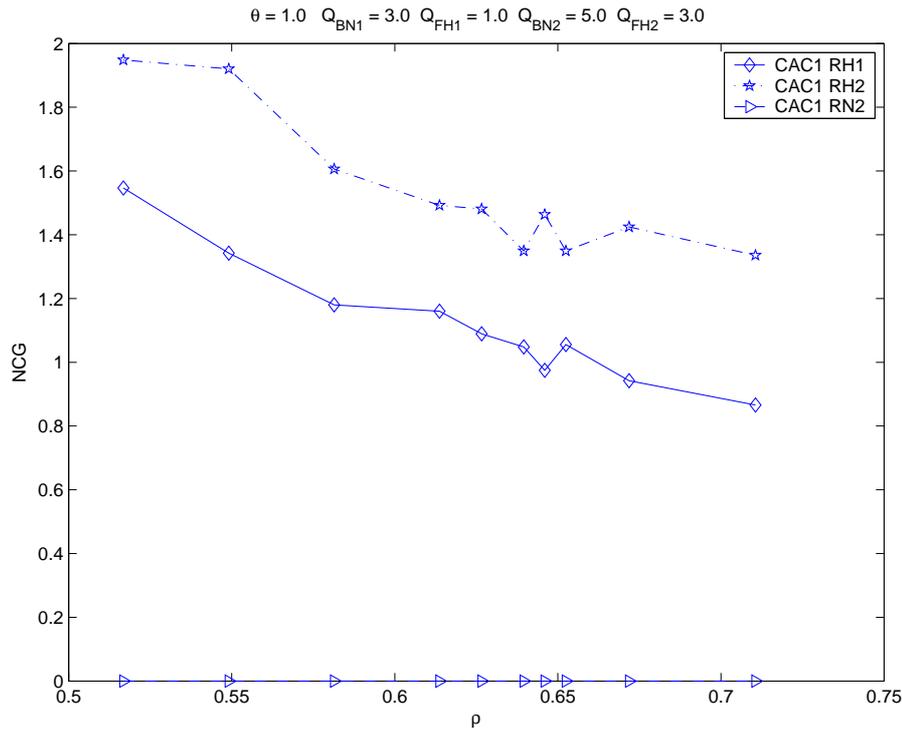


Figura 9.8: Número de Recursos reservados pelo algoritmo CAC1M.

Assim, o controle dos acréscimos do número de recursos reservados é feito pela medida do percentual de bloqueio de novas chamadas, $B_{BN\gamma}$, e pela medida do percentual de falha de chamadas em *handoff* da classe γ , $B_{FH\gamma}$.

9.2.1 Descrição do Algoritmo CAC2M

Chegada de chamada em *handoff* da classe γ

- Verifica se existem recursos disponíveis e aloca, ou bloqueia.
- Registra o sucesso ou falha de alocação na janela de registro correspondente ao tipo de chamada.
- Calcula a medida de falha de chamadas em *handoff*, $B_{FH\gamma}$.
- Em caso de não alocação, se $B_{FH\gamma} \geq \alpha_{\gamma} Q_{FH\gamma}$, $R_{H\gamma}$ é incrementado.

Chegada de chamada nova da classe γ

- Verifica se existem canais ordinários e aloca ou bloqueia.
- Registra o sucesso ou falha de alocação na janela de registro correspondente ao tipo de chamada.
- Calcula a medida de bloqueio de novas chamadas, $B_{BN\gamma}$.

- Em caso de não alocação, se $B_{BN\gamma} \geq \beta_\gamma Q_{BN\gamma}$, $R_{H\gamma}$ é decrementado.

O diagrama de blocos do algoritmo proposto CAC2M é apresentado na figura 9.9.

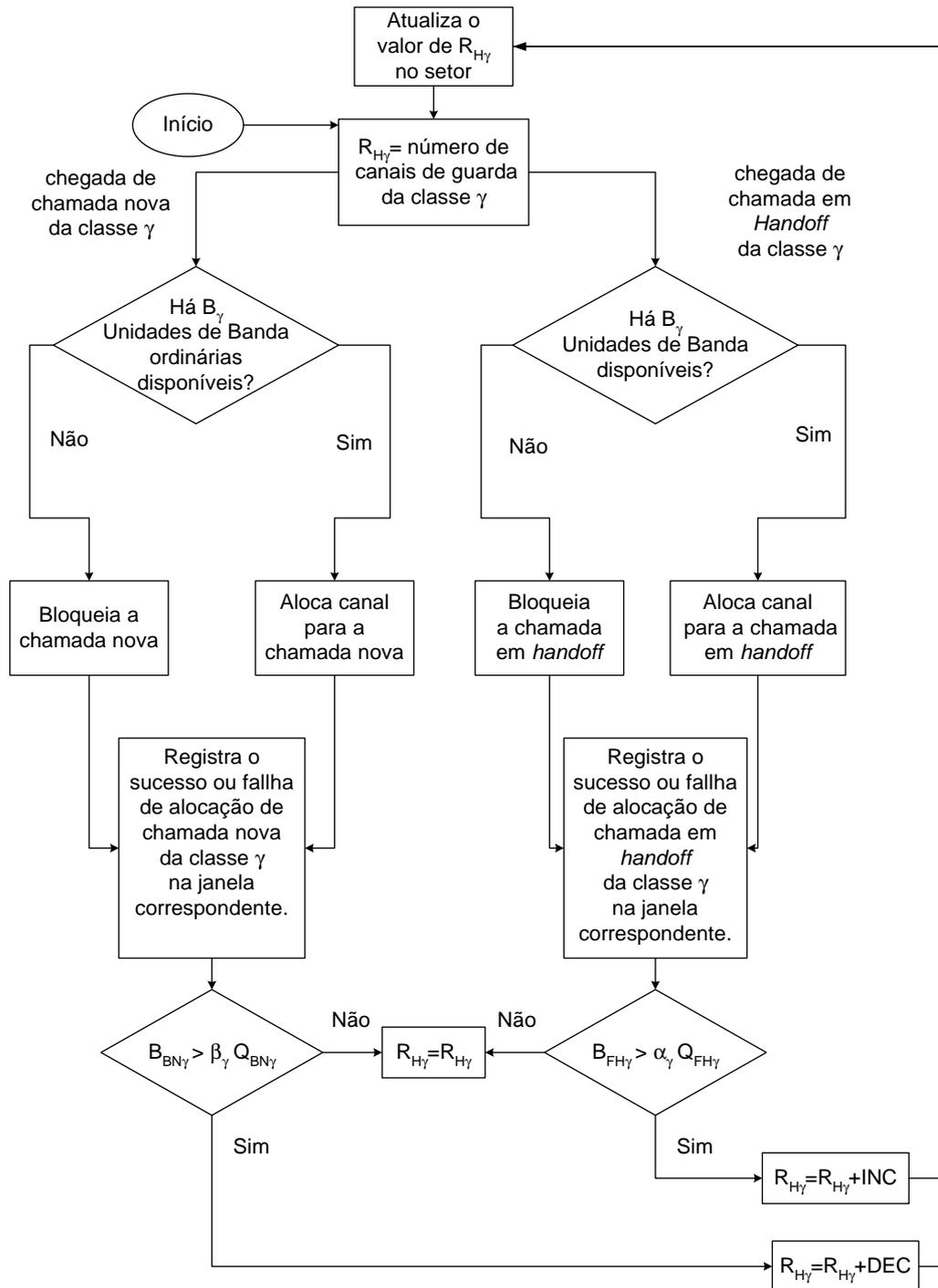


Figura 9.9: Diagrama de blocos do algoritmo CAC2M.

Assim como no algoritmo CAC1M, o algoritmo CAC2M também utiliza incrementos e decrementos do número de recursos reservados para

os usuários em *handoff* como valores fracionários através do parâmetro de decremento, δ que é definido no início da simulação. A tabela 5.4 apresenta os valores dos incrementos e decrementos do algoritmo *CAC2M*.

Tabela 9.2: Incrementos e decrementos do algoritmo *CAC2M*.

<i>CAC2M</i>	variação de $R_{H\gamma}$
$B_{FH\gamma} > \alpha_\gamma Q_{FH\gamma}$	$+\delta B_\gamma$
$B_{BN\gamma} > \beta_\gamma Q_{BN\gamma}$	$-\delta B_\gamma$

9.2.2 Resultados do Algoritmo *CAC2M*

As figuras 9.10, 9.11, 9.12, 9.11 e 9.14 apresentam o comportamento do algoritmo *CAC1M* no caso de taxa de mobilidade $\theta = 1$ e requisitos de QoS $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, versus intensidade de tráfego de entrada normalizada, ρ .

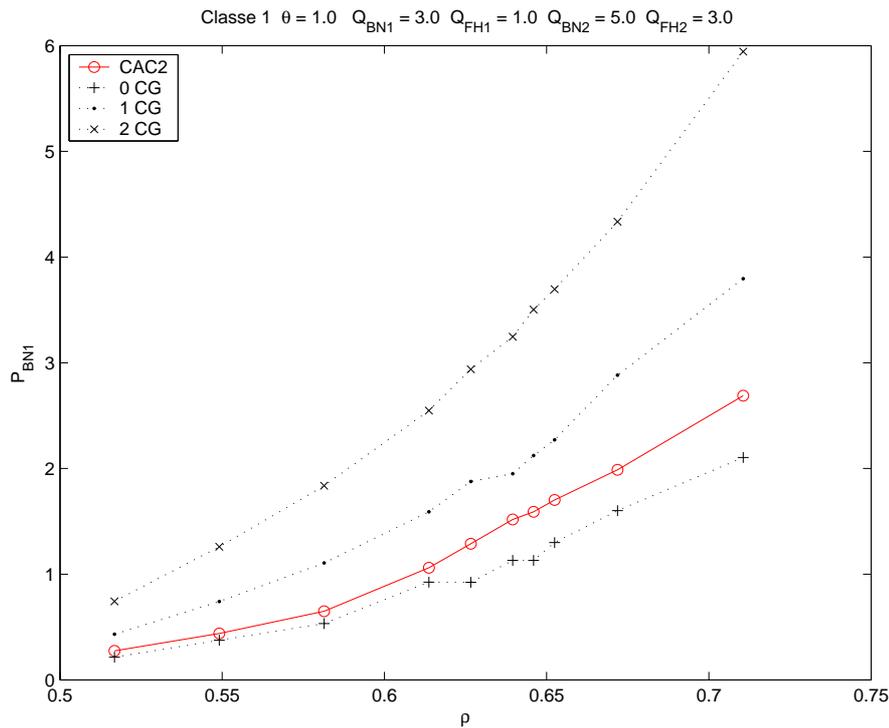


Figura 9.10: Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 1 do algoritmo *CAC2M*.

Na figura 9.14 é apresentada a quantidade de recursos reservada para cada um dos tipos de usuário. Observa-se que o algoritmo *CAC2M* reserva recursos apenas para os usuários em *handoff* das classes 1 e 2. Para os

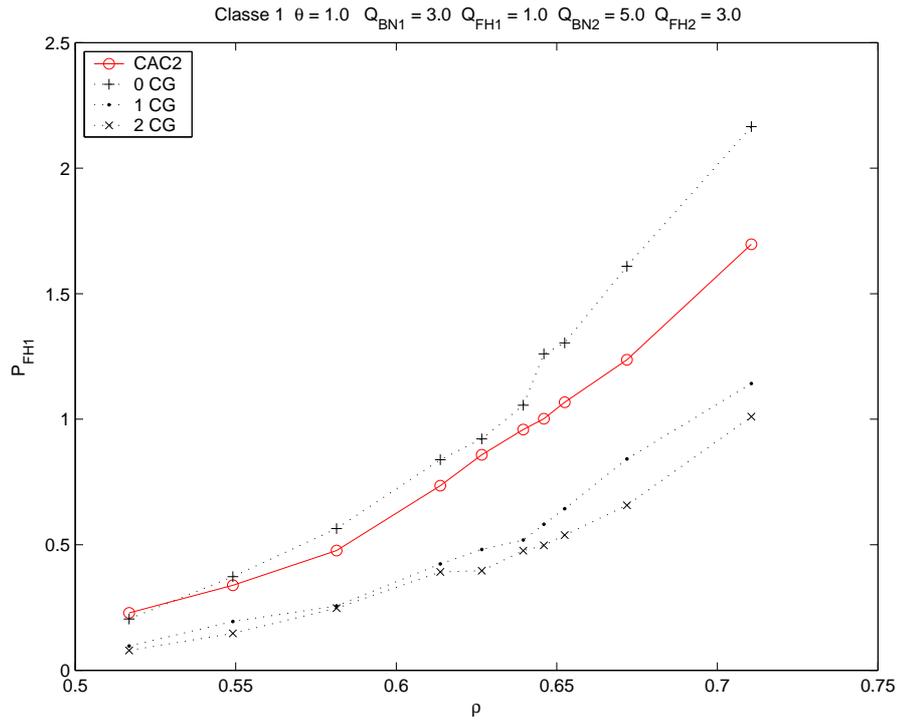


Figura 9.11: Percentual de Falha de chamadas em *handoff* da classe 1 do algoritmo CAC2M.

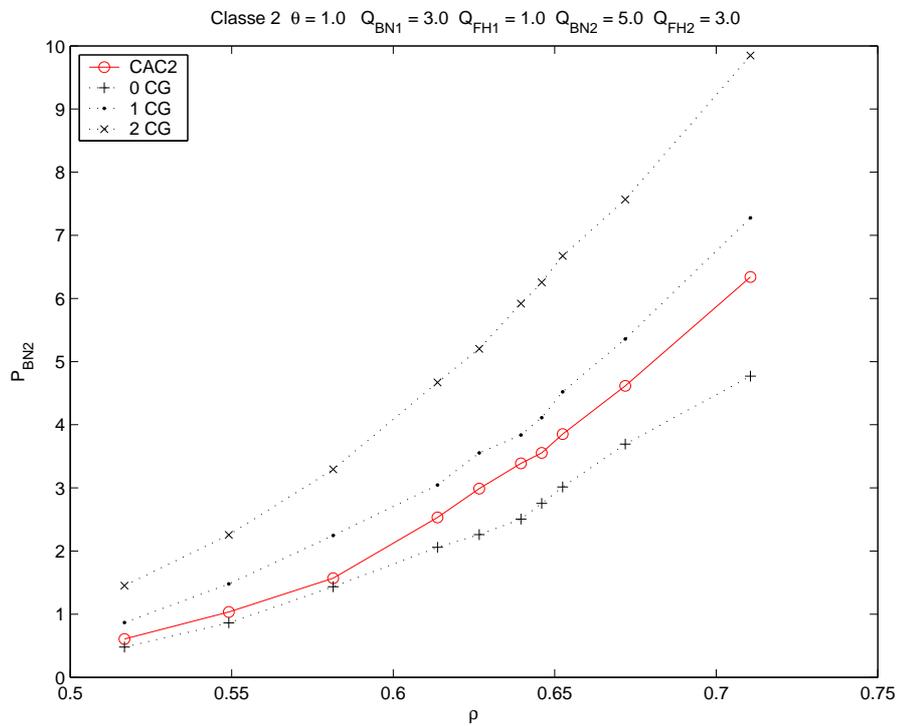


Figura 9.12: Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 1 do algoritmo CAC2M.

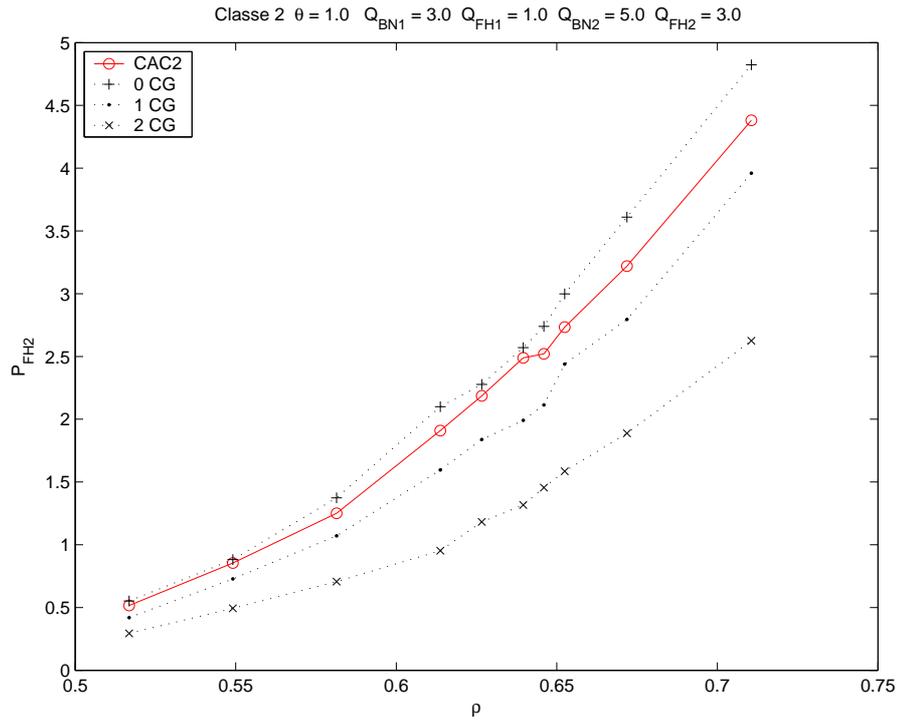


Figura 9.13: Percentual de Falha de chamadas em *handoff* da classe 1 do algoritmo CAC2M.

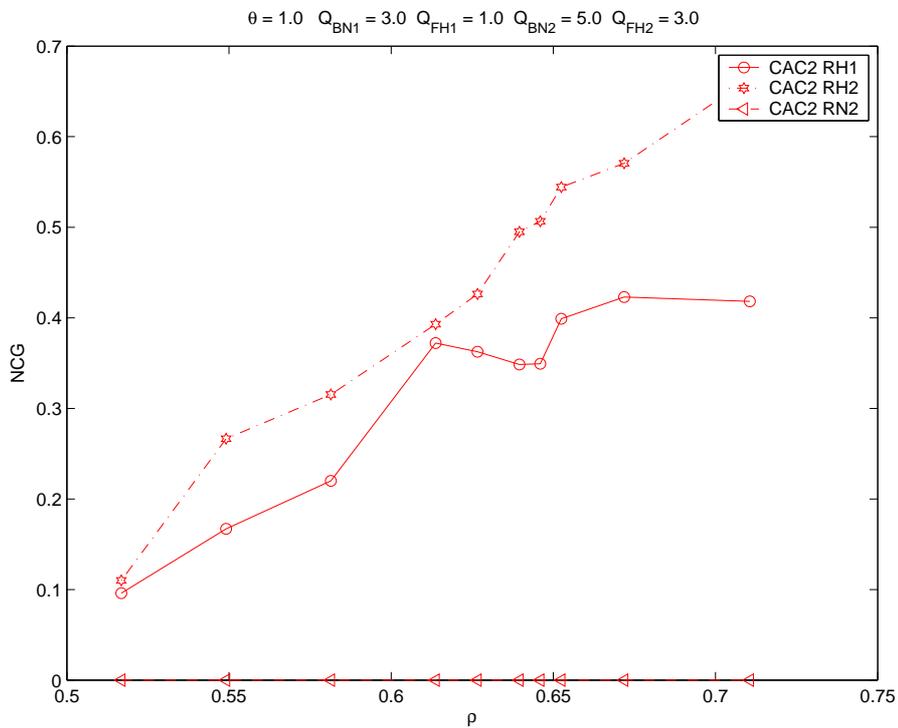


Figura 9.14: Número de Recursos reservados pelo algoritmo CAC2M.

usuários da classe 1, que utiliza menor banda, $B_1 = 1$, é reservada uma quantidade menor de recursos que para usuários da classes 2 cuja banda é $B_2 = 2$. Comparando a figura 9.14 com a figura 9.8, observa-se que a introdução do requisito de QoS para os usuários em *handoff* faz com que o número de recursos reservados para ambas as classes seja menor. O algoritmo CAC1M corrige o número de canais reservados a cada falha de usuário em *handoff*, isto pode fazê-lo reservar demais especialmente no caso de taxa de mobilidade elevada.

9.3

Algoritmo CAC6M

O algoritmo CAC6M tem como objetivo fazer com que ambas as restrições de QoS de uma mesma classe deixem de ser atendidas simultaneamente, para um mesmo valor de intensidade de tráfego.

A reserva dos recursos é evitada, enquanto possível, de modo a manter elevada a utilização dos recursos. Ou seja, o algoritmo CAC6M não reserva recursos enquanto as medidas de percentual de bloqueio de chamadas e de percentual de falhas de *handoff* estão abaixo dos respectivos requisitos de qualidade de serviço, $(Q_{BN\gamma}; Q_{FH\gamma})$.

Mantendo a filosofia do algoritmo CAC6 para uma classe, o objetivo de CAC6M é fazer com que as duas restrições de QoS de cada classe sejam atendidas simultaneamente. A partir do valor de intensidade de tráfego em que não for mais possível atender à uma restrição de qualidade de serviço de determinada classe, o mesmo deve ocorrer com a outra restrição da mesma classe.

Nas proximidades do valor de intensidade de tráfego de entrada para o qual não é mais possível atender aos requisitos de qualidade de serviço, são feitos ajustes nos valores dos recursos reservados para cada classe. Para permitir a reserva de recursos aos usuários de classes de maior prioridade que iniciam sua chamada, é feita a comparação entre as medidas de bloqueio de usuários de classes diferentes, γ e $\gamma + 1$, para incrementar, ou não, os recursos reservados aos usuários novos da classe $\gamma + 1$.

Portanto, o algoritmo determina a quantidade de recursos reservados de uma forma dinâmica, de acordo com a proximidade do ponto em que não é mais possível o atendimento aos requisitos de QoS. Deve-se observar que o algoritmo CAC6M, além de reservar recursos para os usuários em *handoff*, também reserva recursos para os usuários novos de classes de maior

prioridade. O que é uma novidade em relação aos algoritmos *CAC1M* e *CAC2M*.

9.3.1

Descrição do Algoritmo CAC6M

Chegada de chamada em *handoff*, ou nova, da classe γ , verifica se existem recursos e aloca, ou bloqueia; registrando o sucesso, ou falha, de alocação na janela de registro correspondente ao tipo de chamada.

Calcula as medidas de falha de chamadas em *handoff*, $B_{FH\gamma}$, e de bloqueio de chamadas, $B_{BN\gamma}$.

- Se $B_{FH\gamma} \geq Q_{FH\gamma}$ e $B_{BN\gamma} \leq Q_{BN\gamma}$, $R_{H\gamma}$ é incrementado.
- Se $B_{FH\gamma} \leq Q_{FH\gamma}$ e $B_{BN\gamma} \geq Q_{BN\gamma}$, $R_{H\gamma}$ é decrementado.
- Se $B_{BN\gamma} \leq Q_{BN\gamma}$ e $B_{BN(\gamma+1)} \geq Q_{BN(\gamma+1)}$, $R_{N(\gamma+1)}$ é incrementado.
- Se $B_{BN\gamma} \geq Q_{BN\gamma}$ e $B_{BN(\gamma+1)} \leq Q_{BN(\gamma+1)}$, $R_{N(\gamma+1)}$ é decrementado.

9.3.2

Resultados do Algoritmo CAC6M

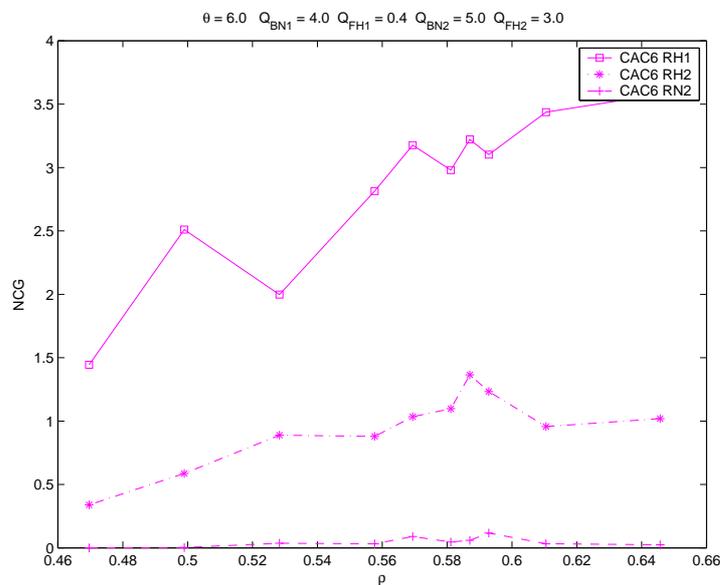


Figura 9.15: Número de Recursos reservados pelo algoritmo CAC6M.

Na figura 9.15 é apresentada a quantidade de recursos reservada pelo algoritmo *CAC6M* para cada um dos tipos de usuário. A taxa

de mobilidade é $\theta = 6$ e os requisitos de QoS são dados pelo vetor $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (4, 0.4, 5, 3)$. Observa-se que o algoritmo *CAC6M* reserva recursos para os usuários em *handoff* das classes 1 e 2, e para os usuários novos da classe 2. A taxa de mobilidade é alta então, devido ao elevado número de usuários em *handoff*, são necessários mais recursos reservados para os usuários H1 e H2. Além disso, como o requisito de usuários em *handoff* da classe 1, $Q_{FH1} = 0.4$, é um percentual muito menor que os demais requisitos, esta classe tende a obter mais recursos reservados.

As figuras 9.16, 9.17, 9.18, 9.19 e 9.20 apresentam o comportamento do algoritmo *CAC6M* no caso de taxa de mobilidade $\theta = 2$ e requisitos de QoS $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, versus intensidade de tráfego de entrada normalizada, ρ .

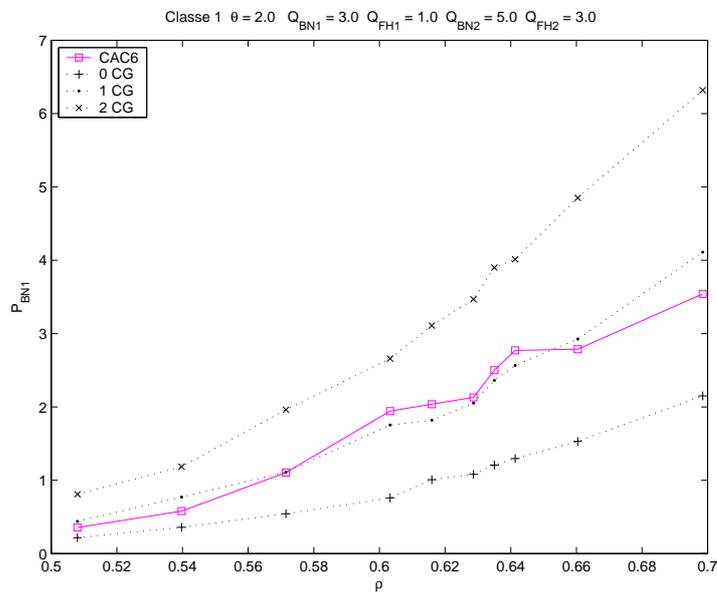


Figura 9.16: Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 1 do algoritmo CAC6M.

Na figura 9.20 é apresentada a quantidade de recursos reservada para cada um dos tipos de usuário. Observa-se que o algoritmo *CAC6M* reserva recursos para os usuários em *handoff* das classes 1 e 2 e para os usuários novos da classe 2. A reserva para os usuários em *handoff* de classes diferentes é feita de forma independente, por isso as suas curvas se cruzam, eventualmente. Da mesma forma que o algoritmo *CAC6* desenvolvido para uma classe de usuários, este algoritmo busca o número adequado de recursos a ser reservado simplesmente através do ajuste do valor dos recursos nas proximidades do limite de intensidade de tráfego para o qual é possível atender os requisitos de qualidade de serviço.

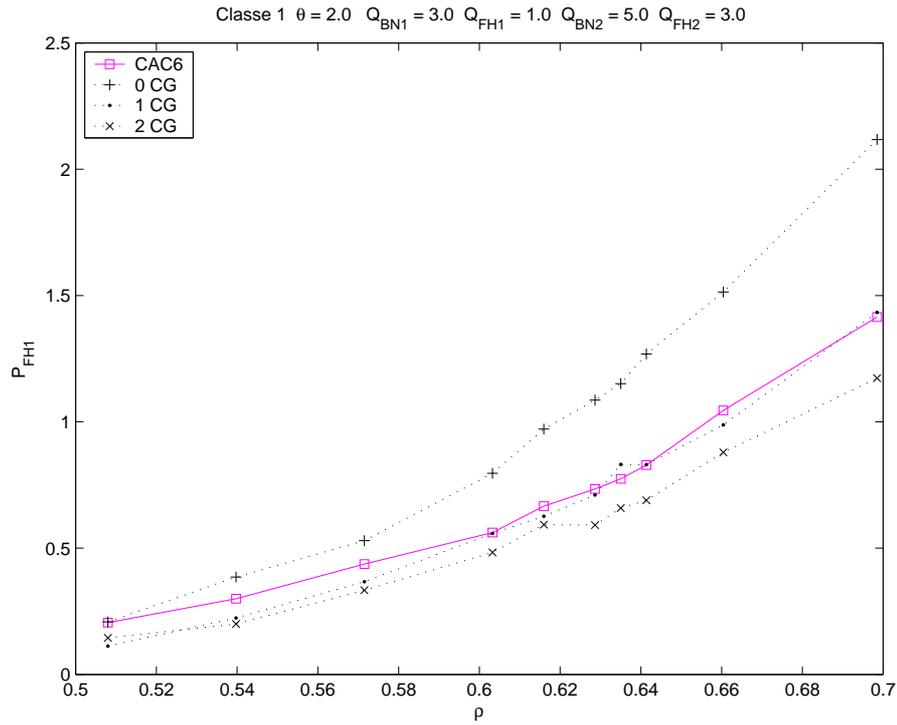


Figura 9.17: Percentual de Falha de chamadas em *handoff* da classe 1 do algoritmo CAC6M.

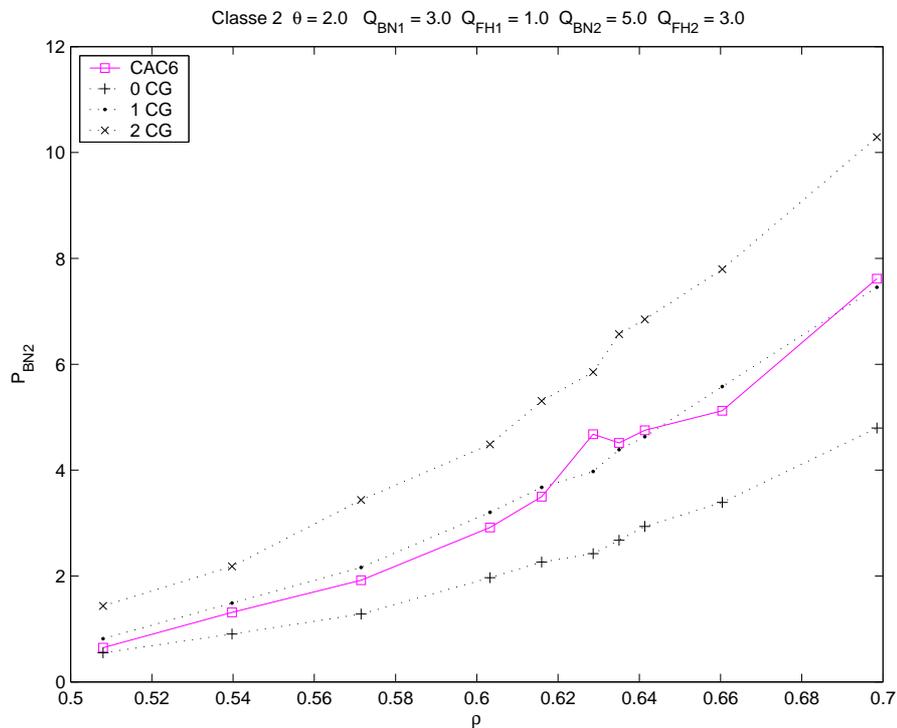


Figura 9.18: Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 1 do algoritmo CAC6M.

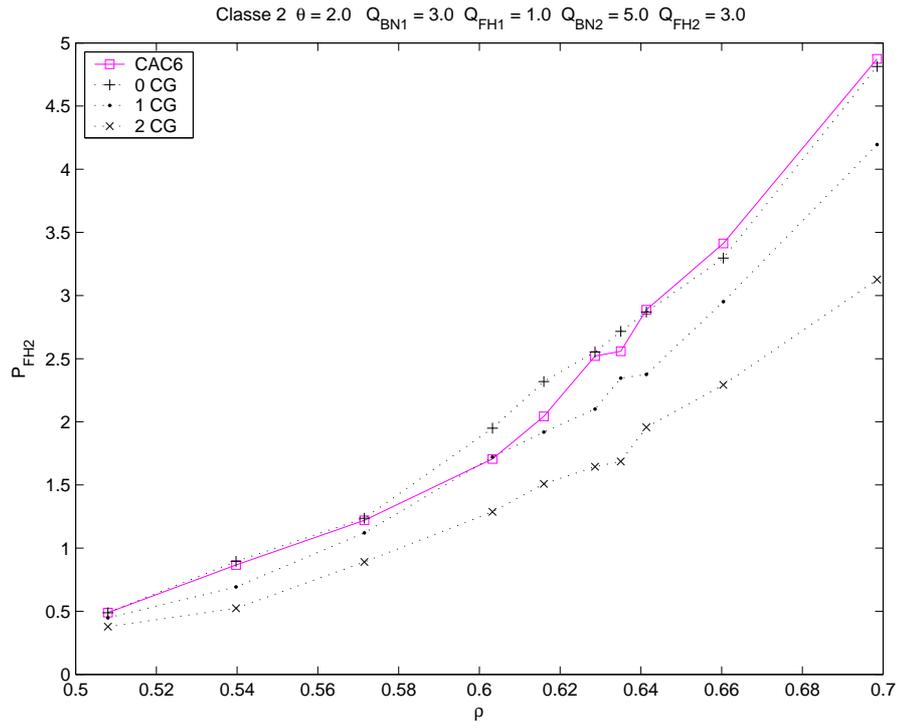


Figura 9.19: Percentual de Falha de chamadas em *handoff* da classe 1 do algoritmo CAC6M.

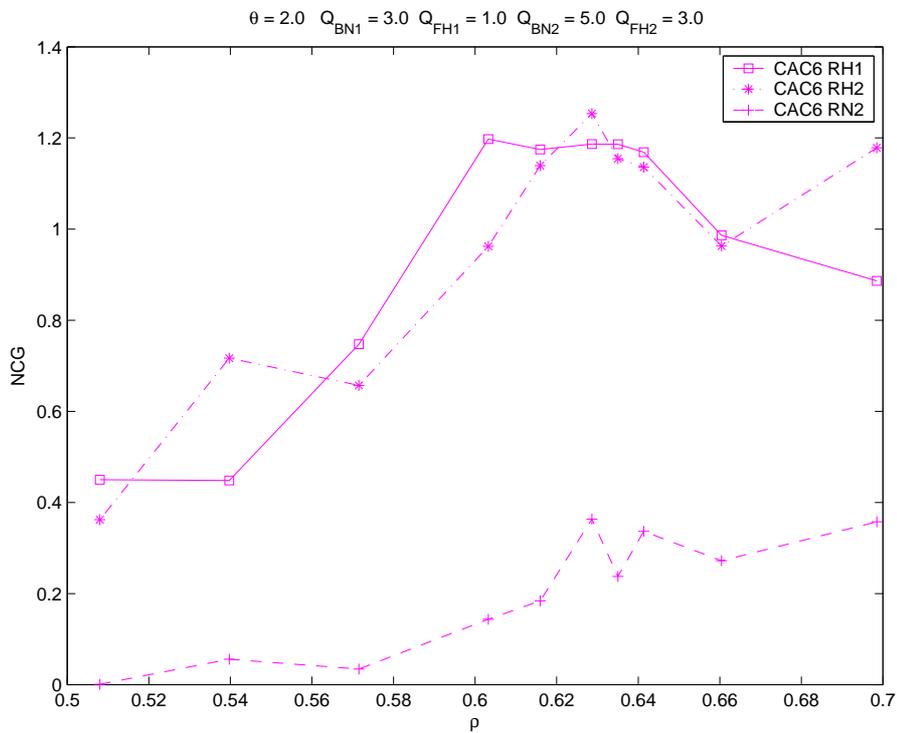


Figura 9.20: Número de Recursos reservados pelo algoritmo CAC6M.

9.4

Algoritmo CAC7M

O objetivo deste algoritmo é trabalhar com o valor ótimo de recursos reservados para cada classe de usuário, de acordo com as condições do tráfego em andamento no sistema e com os requisitos de qualidade de serviço, supondo que o tempo de permanência do usuário na célula e, conseqüentemente, o tempo de retenção do recurso sejam dados pela distribuição exponencial. Este algoritmo é uma extensão de CAC7.

Com base na suposição das distribuições exponenciais para modelar o tempo de duração da chamada e o tempo de permanência do usuário na célula, o tempo de retenção do canal também é dado por uma distribuição exponencial. Desta forma, empregando a teoria das filas, é possível calcular a quantidade de recursos a serem reservados para cada tipo de usuário.

No entanto, este algoritmo é testado para outras distribuições e apresenta bons resultados quando comparado com os algoritmos fixos e com os demais algoritmos apresentados neste trabalho.

9.4.1

Otimização dos Recursos

No caso de duas classes de usuários, há quatro requisitos de QoS, $2M = 4$, e três valores de recursos a serem definidos, $(2M - 1) = 3$.

Para analisar o problema do número ótimo de recursos a ser reservado para cada classe, são definidos dois vetores: \mathbf{Q} , cujas componentes são os requisitos de qualidade de serviço, e \mathbf{R} , cujas componentes são o número de canais de guarda reservados para cada tipo de usuário.

$$\mathbf{Q} = \left(Q_{BN1} \quad Q_{FH1} \quad Q_{BN2} \quad Q_{FH2} \right) \quad (9-9)$$

$$\mathbf{R} = \left(0 \quad R_{H1} \quad R_{N2} \quad R_{H2} \right) \quad (9-10)$$

Na notação empregada neste trabalho, o vetor \mathbf{R} corresponde aos recursos que estão guardados, impedidos de serem utilizados.

Cada tipo de usuário terá acesso ao total de recursos do sistema N_c menos os canais reservados aos outros usuários de sua mesma classe γ , conforme o vetor R^a definido em (9-11).

$$\mathbf{R}^a = \left(N_c - R_{H1} \quad N_c \quad N_c - R_{H2} \quad N_c - R_{N2} \right) \quad (9-11)$$

Ou seja, os usuários em *handoff* da classe γ tem acesso à todos os canais menos aos que são os canais reservados aos usuários novos da mesma classe.

$$R_{H\gamma}^a = N_c - R_{N\gamma} \quad (9-12)$$

Da mesma forma, os usuários novos da classe γ tem acesso à todos os canais menos aos que são os canais de guarda dos usuários em *handoff* da mesma classe.

$$R_{N\gamma}^a = N_c - R_{H\gamma} \quad (9-13)$$

Na equação (9-10), atentando para o problema da definição dos possíveis valores de cada componente R_i , do vetor de recursos reservados \mathbf{R} , que atendem aos respectivos requisitos de QoS, nota-se que há uma região limitante para estes valores. Por exemplo, dado o requisito de qualidade de serviço para os usuários em *handoff* da classe 1, Q_{FH1} , há um valor mínimo de recursos reservados para os usuários de *handoff* da classe 1, R_{H1} , considerando que os recursos reservados para os outros tipos de usuários sejam nulos.

Por outro lado, há também três valores máximos de R_{H1} determinados por Q_{BN1} , Q_{BN2} e Q_{FH2} . Neste caso, os limites são observados considerando apenas a guarda de canais para os usuários de *handoff* da classe 1, $H1$. Se considerarmos a reserva de recursos também para as demais classes, a tendência é de que R_{H1} seja maior para garantir o mesmo requisito Q_{FH1} .

Considerando o atendimento simultâneo a todas as restrições, nosso objetivo é encontrar o vetor ideal \mathbf{R} que garanta a maior utilização dos recursos atendendo ao vetor de requisitos de QoS \mathbf{Q} . Deseja-se obter tal vetor para vários valores de intensidade de solicitação de recursos, ρ , e várias taxas de mobilidade, θ . Porém, esta solução nem sempre existe.

O problema pode ser expresso de forma matemática definindo a função f que depende do vetor restrição \mathbf{R} , como sendo o valor unitário menos a utilização total dos recursos do sistema.

$$f(\mathbf{R}) = 1 - U \quad (9-14)$$

Deseja-se encontrar o vetor \mathbf{R} que minimiza a função $f(\mathbf{R})$, sujeito às restrições dadas nas equações (9-15), (9-16) e (9-17) de que o valor das componentes de \mathbf{R} deve estar entre zero e o total de recursos do sistema, N_c . Outro conjunto de restrições advém do fato de que as probabilidades de bloqueio devem ser inferiores aos respectivos requisitos de qualidade de

serviço, conforme as equações (9-18), (9-19), (9-20) e (9-21).

$$0 \leq R_{H1} \leq N_c \quad (9-15)$$

$$0 \leq R_{N2} \leq N_c \quad (9-16)$$

$$0 \leq R_{H2} \leq N_c \quad (9-17)$$

$$P_{BN1} \leq Q_{BN1} \quad (9-18)$$

$$P_{FH1} \leq Q_{FH1} \quad (9-19)$$

$$P_{BN2} \leq Q_{BN2} \quad (9-20)$$

$$P_{FH2} \leq Q_{FH2} \quad (9-21)$$

Utilizando o programa feito para calcular as probabilidades de bloqueio de múltiplas classes de usuário, apresentado no capítulo 8, uma nova rotina em MATLAB foi implementada para, dado os valores máximo das probabilidades de bloqueio, calcular os valores ótimos de recursos a serem reservados para cada classe de usuários. Essa rotina faz uso da função de minimização, “FMINCON”, que utiliza o método do gradiente para buscar o valor mínimo da função em questão, mediante diversas restrições que são os requisitos de qualidade de serviço. A função minimizada é dada por:

$$f(R_{H1}, R_{N2}, R_{H2}) = 1 - U \quad (9-22)$$

A solução (R_{H1}, R_{N2}, R_{H2}) é dada por uma tabela para cada uma das componentes do vetor \mathbf{R} que é diferente de zero. Cada elemento da tabela representa um cenário $(\theta; \rho)$. Os elementos correspondentes aos cenários em que a solução não existe são preenchidos com zero.

No caso de duas classes de usuários, tem-se três tabelas com os valores de R_{H1} , R_{N2} e R_{H2} , para cada vetor de requisitos de QoS, \mathbf{Q} .

As figuras 9.21, 9.22 e 9.23 apresentam os valores de recursos de reserva necessários para atender os requisitos de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1; 5; 3)$ se o tempo de permanência do usuário na célula é dado por uma distribuição exponencial. Os gráficos indicam o número ótimo de recursos para os

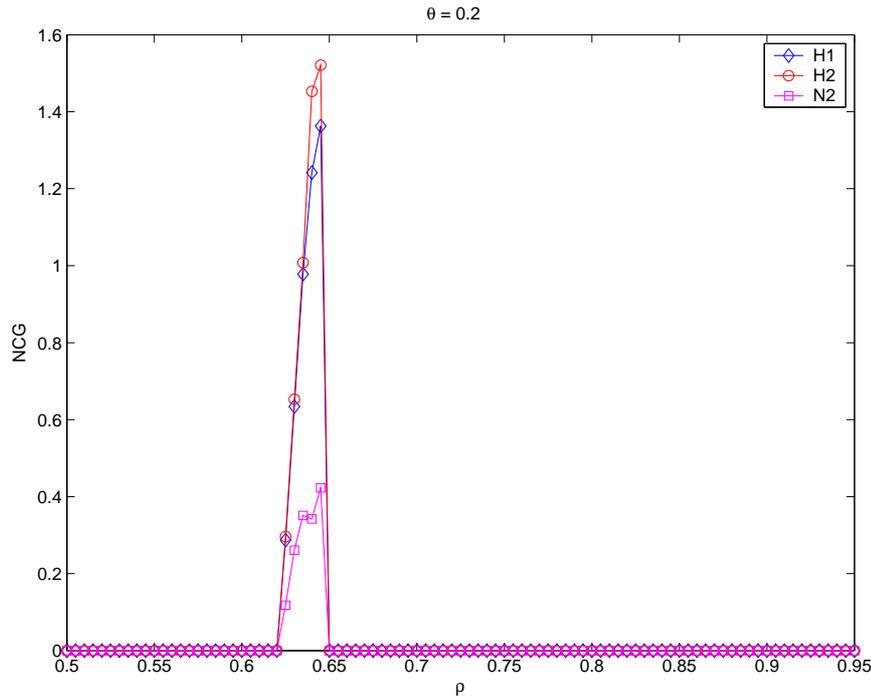


Figura 9.21: Resultados da Reserva de Recursos ótima para os usuários em *handoff* da classe 1, H_1 , em *handoff* da classe 2, H_2 , e novos da classe 2, N_2 , versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0,2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1; 5; 3)$, tempo de permanência exponencial.

usuários em *handoff* da classe 1, H_1 , em *handoff* da classe 2, H_2 , e novos da classe 2, N_2 , versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0,2$, $\theta = 2$ e $\theta = 6$, respectivamente.

Na figura 9.21 observa-se que a região de intensidade de tráfego onde é possível obter bons resultados com a reserva de recursos é pequena, $0,620 \leq \rho \leq 0,645$. Para valores de intensidade de tráfego menores que 0,615 o ideal é não reservar recursos para nenhuma classe, o que aumenta a utilização total dos recursos do sistema. Para intensidade de tráfego entre 0,620 e 0,645 há solução não trivial para o valor dos recursos \mathbf{R} que maximiza a utilização dos recursos. Para valores de ρ maiores que 0,650, não há solução possível para o valor do vetor R , capaz de atender aos requisitos Q e maximizar a utilização.

Aumentando a taxa de mobilidade, cujos resultados estão nas figuras 9.22 e 9.23, observa-se que a região de intensidade de tráfego onde é possível obter bons resultados com a reserva de recursos é ainda menor. No caso de taxa de mobilidade $\theta = 2$ a região de solução não trivial é $0,625 \leq \rho \leq 0,635$ e para $\theta = 6$ a região é ainda menor: $0,625 \leq \rho \leq 0,630$.

Os gráficos de número de recursos a serem reservados para os usuários H_1 , H_2 e N_2 versus a taxa de mobilidade θ estão nas figuras 9.24 e 9.25, para

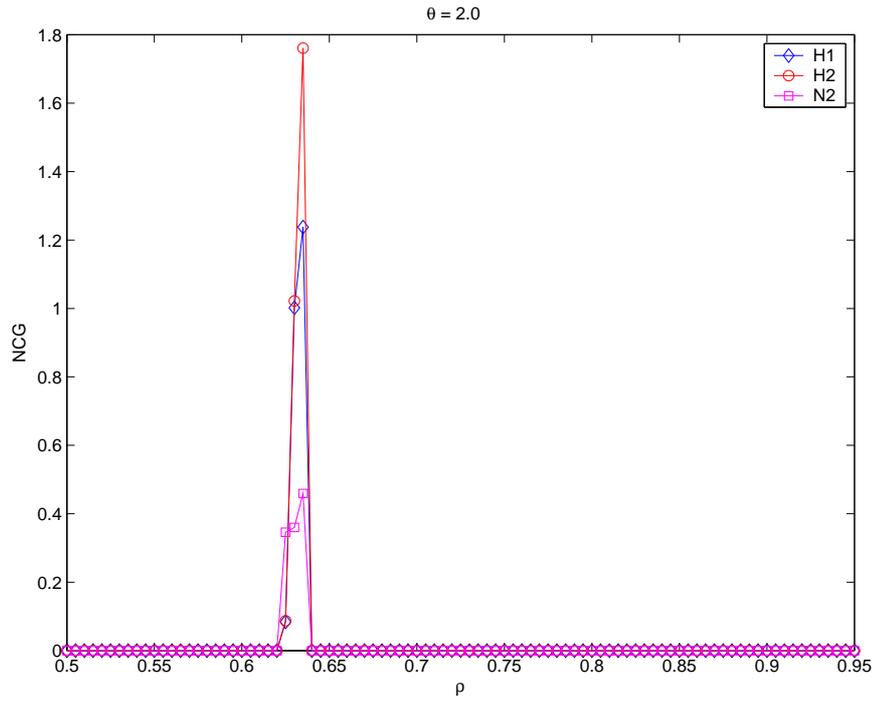


Figura 9.22: Resultados da Reserva de Recursos ótima para os usuários H_1 , H_2 e N_2 , versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1; 5; 3)$, tempo de permanência exponencial.

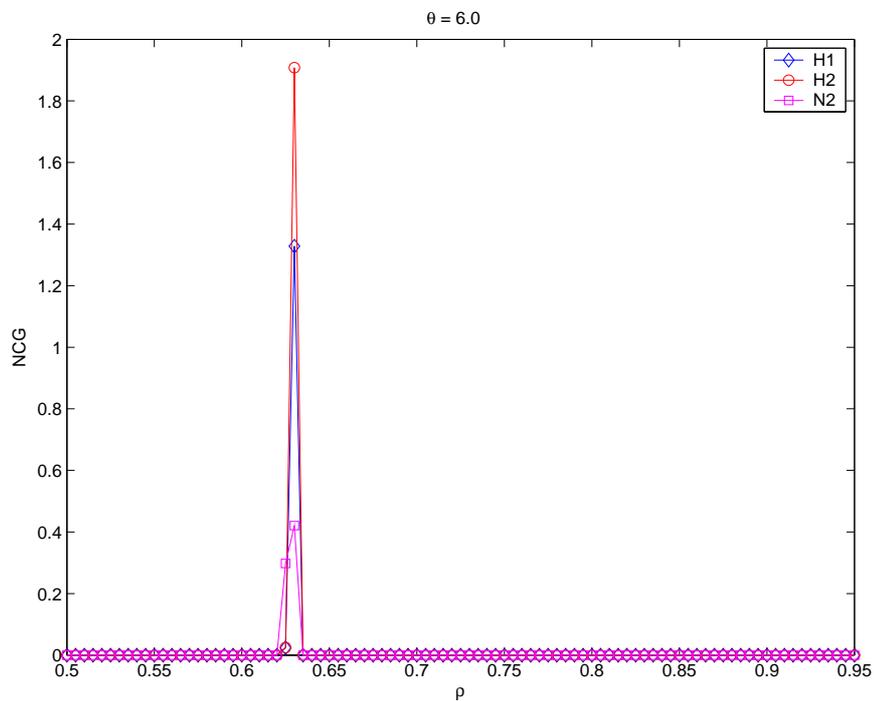


Figura 9.23: Resultados da Reserva de Recursos ótima para os usuários H_1 , H_2 e N_2 , versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1; 5; 3)$, tempo de permanência exponencial.

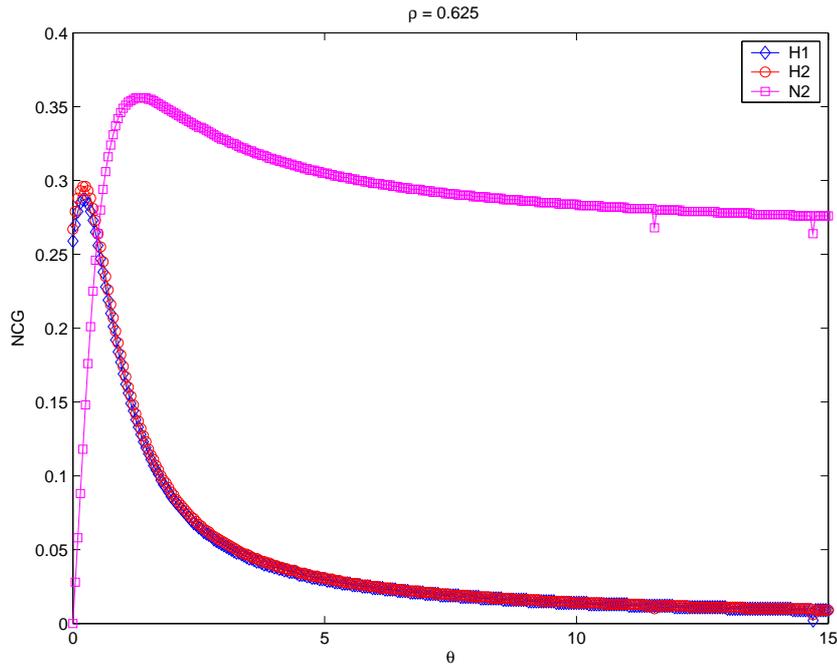


Figura 9.24: Resultados da Reserva de Recursos ótima para os usuários em *handoff* da classe 1, H_1 , em *handoff* da classe 2, H_2 , e novos da classe 2, N_2 , versus taxa de mobilidade, para intensidade de tráfego $\rho = 0,625$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1; 5; 3)$, tempo de permanência exponencial.

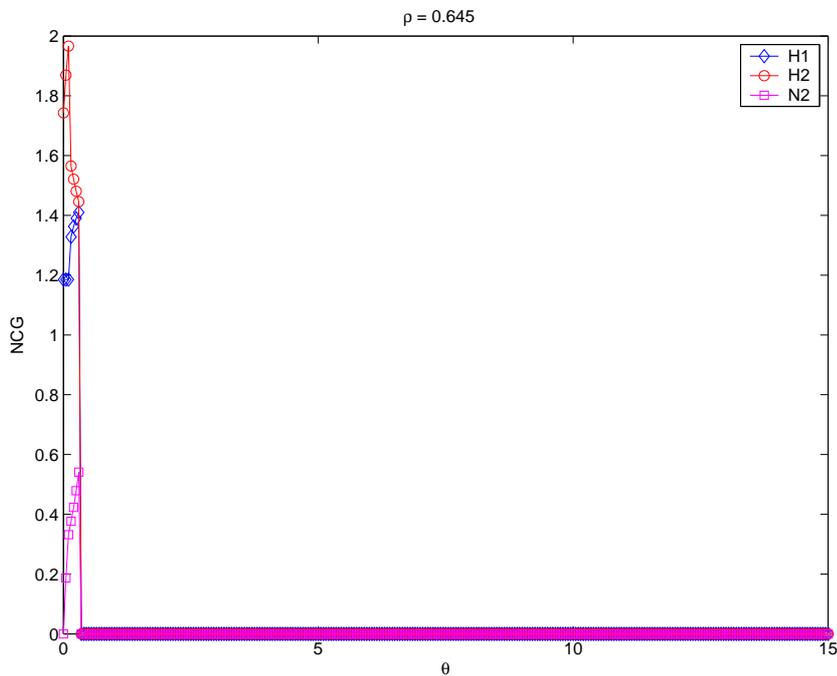


Figura 9.25: Resultados da Reserva de Recursos ótima para os usuários em *handoff* da classe 1, H_1 , em *handoff* da classe 2, H_2 , e novos da classe 2, N_2 , versus taxa de mobilidade, para intensidade de tráfego $\rho = 0,645$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (3; 1; 5; 3)$, tempo de permanência exponencial.

a intensidade de tráfego iguais a $\rho = 0.625$ e $\rho = 0.645$, respectivamente. Nota-se que os valores do número de recursos é muito sensível a pequenas mudanças de ρ e θ .

Para ilustrar melhor o problema um novo conjunto de requisitos de qualidade de serviço é testado. As figuras 9.26, 9.27, 9.28, 9.29 e 9.30 apresentam os valores de recursos de reserva necessários para atender os requisitos de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0.4; 5; 3)$ se o tempo de permanência do usuário na célula é dado por uma distribuição exponencial. Os gráficos indicam o número ótimo de recursos para os usuários em *handoff* da classe 1, H_1 , em *handoff* da classe 2, H_2 , e novos da classe 2, N_2 , versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0, 2$, $\theta = 0.5$, $\theta = 1$, $\theta = 2$ e $\theta = 6$, respectivamente.

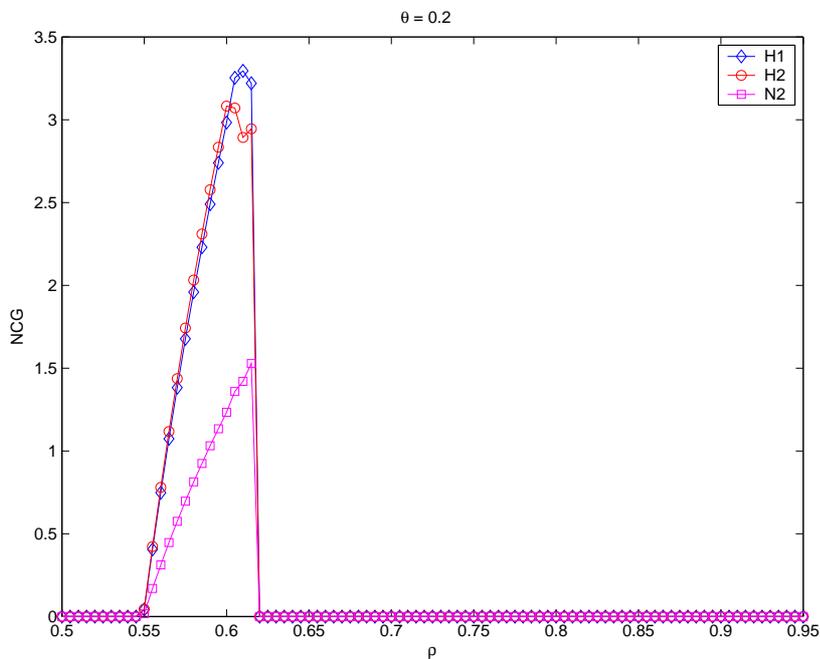


Figura 9.26: Resultados da Reserva de Recursos ótima para os usuários em *handoff* da classe 1, H_1 , em *handoff* da classe 2, H_2 , e novos da classe 2, N_2 , versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0, 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0.4; 5; 3)$, tempo de permanência exponencial.

Comparando a figura 9.21 com a figura 9.26, observa-se que a região de intensidade de tráfego onde é possível obter bons resultados com a reserva de recursos aumentou do caso $Q\%(3, 1, 5, 3)$ para o caso $Q\%(4, 0.4, 5, 3)$. No caso $Q\%(3, 1, 5, 3)$ a região de solução não-trivial é de $\Delta\rho_1 = 0.02$ e no segundo conjunto de requisitos $Q\%(4, 0.4, 5, 3)$ a região de operação sobe para $\Delta\rho_2 = 0.07$, para uma taxa de mobilidade $\theta = 0.2$. Isso se deve ao maior afastamento entre os requisitos Q_{BN1} e Q_{FH1} no caso $Q\%(4, 0.4, 5, 3)$.

No caso $Q\%(4, 0.4, 5, 3)$, da figura 9.26, para valores de intensidade de tráfego menores que 0.545 o ideal é não reservar recursos para nenhuma classe, o que aumenta a utilização total dos recursos do sistema. Para intensidade de tráfego entre 0.550 e 0.620 há solução não trivial para o valor dos recursos \mathbf{R} que maximiza a utilização dos recursos. Para valores de ρ maiores que 0.625, não há solução possível para o valor do vetor R , capaz de atender aos requisitos Q e maximizar a utilização.

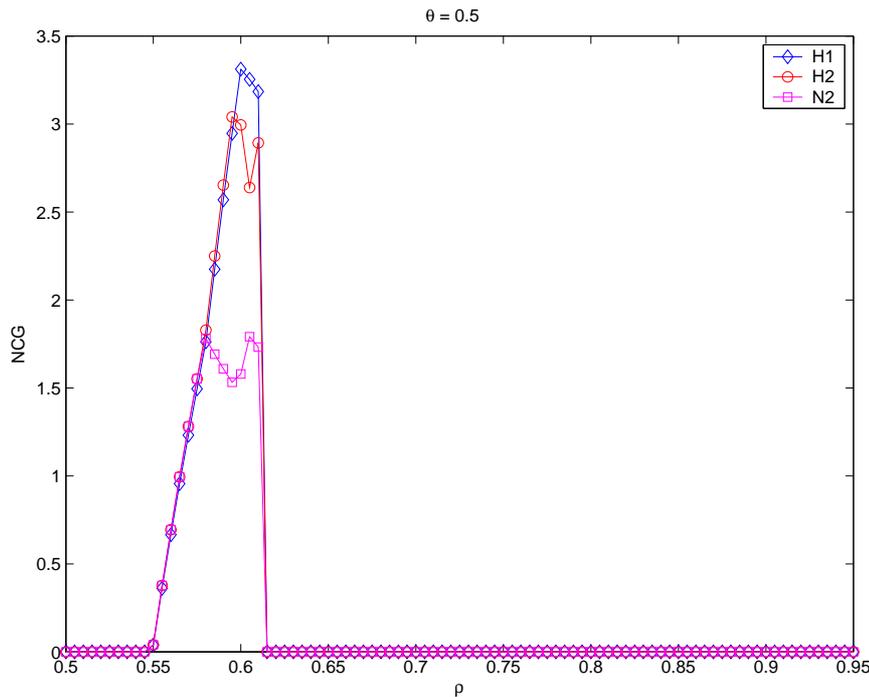


Figura 9.27: Resultados da Reserva de Recursos ótima para os usuários H_1 , H_2 e N_2 , versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 0.5$ e requisito de QoS $Q(\%) = (4; 0.4; 5; 3)$, tempo de permanência exponencial.

Aumentando a taxa de mobilidade, para o conjunto de requisitos $Q\% = (4, 0.4, 5, 3)$, cujos resultados estão nas figuras 9.27, 9.28, 9.29 e 9.30. Na figura 9.30, a taxa de mobilidade é $\theta = 6$ e $Q\% = (4, 0.4, 5, 3)$, a região de solução não trivial é $0.550 \leq \rho \leq 0.590$, esta região é maior que a encontrada no caso $Q\%(3, 1, 5, 3)$ na figura 9.30. Observa-se que a região de intensidade de tráfego onde é possível obter bons resultados com a reserva de recursos diminui com o aumento da taxa de mobilidade e aumenta com o afastamento entre os requisitos de QoS.

Portanto, a técnica de reserva de recursos com o objetivo de atender aos requisitos de qualidade de serviço torna possível determinar o valor dos recursos a serem reservados de modo a se obter uma utilização máxima, dada a intensidade de solicitação de recursos, ρ , e a taxa de mobilidade, θ .

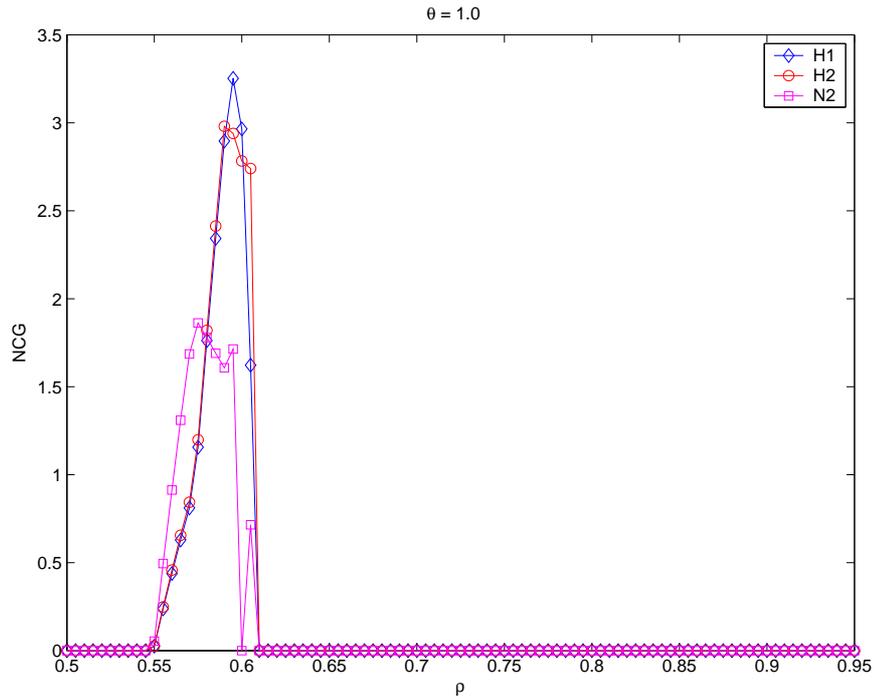


Figura 9.28: Resultados da Reserva de Recursos ótima para os usuários H_1 , H_2 e N_2 , versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 1$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0.4; 5; 3)$, tempo de permanência exponencial.

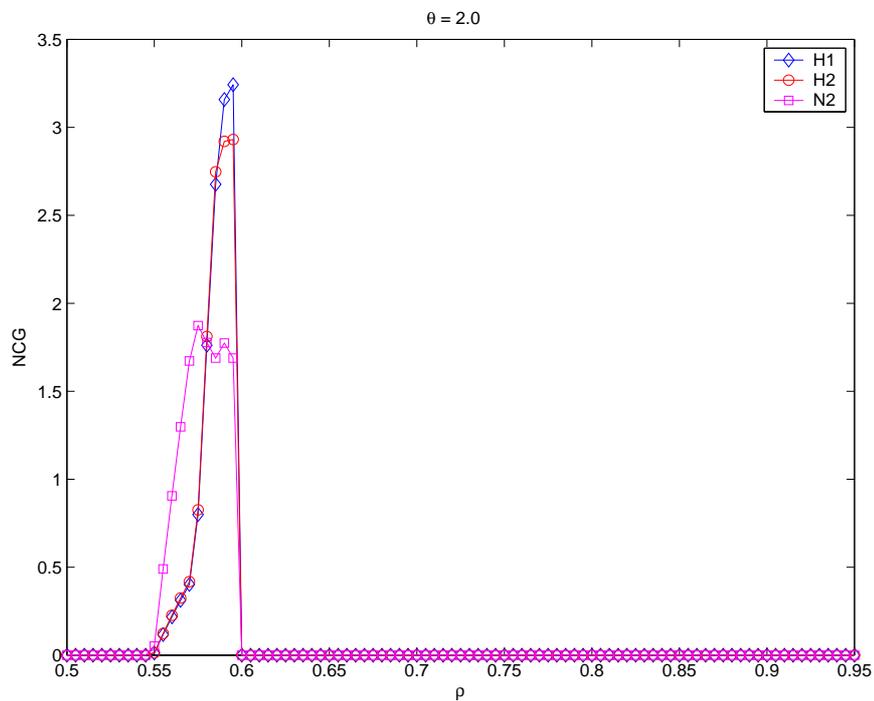


Figura 9.29: Resultados da Reserva de Recursos ótima para os usuários H_1 , H_2 e N_2 , versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 2$ e requisito de QoS $\mathbf{Q}(\%) = (4; 0.4; 5; 3)$, tempo de permanência exponencial.

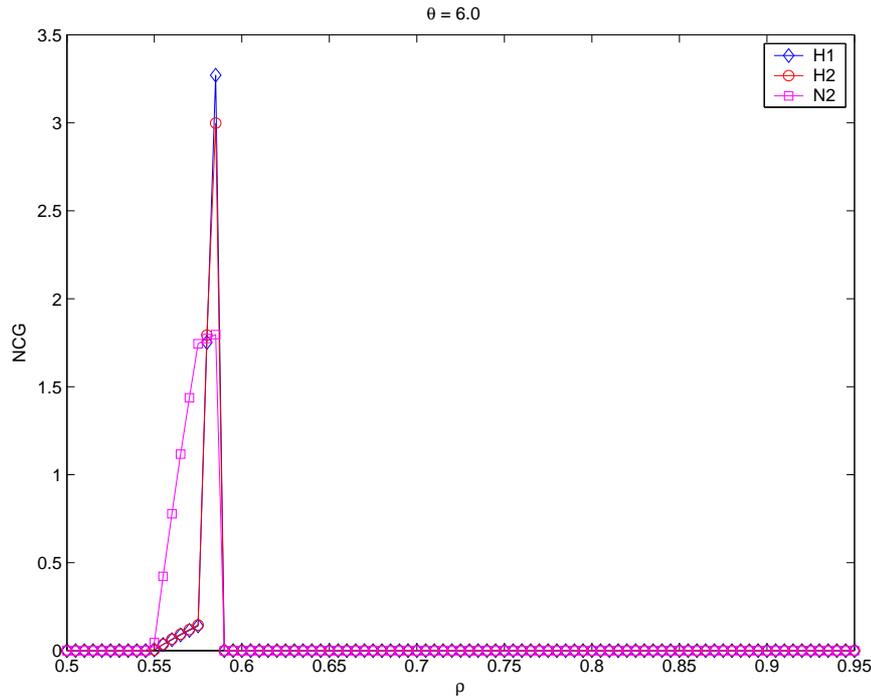


Figura 9.30: Resultados da Reserva de Recursos ótima para os usuários H_1 , H_2 e N_2 , versus intensidade de tráfego normalizada, para mobilidade $\theta = 6$ e requisito de QoS $Q(\%) = (4; 0.4; 5; 3)$, tempo de permanência exponencial.

Dada uma taxa de mobilidade θ , para valores de intensidade de solicitação de recursos baixos, o ideal é não fazer a reserva de recursos. Para uma faixa intermediária de valores de ρ , dependendo do conjunto de requisitos de QoS, $Q\%$, é possível encontrar os valores de (R_{H1}, R_{N2}, R_{H2}) que tornam a utilização máxima apenas até certo valor de intensidade de tráfego de entrada e taxa de mobilidade. Para valores de intensidade de tráfego e taxas de mobilidades superiores, não é mais possível atender aos requisitos de qualidade de serviço.

Assim como no caso de uma classe de usuários, a faixa de valores de ρ em que é vantajoso fazer a reserva de recursos é pequena.

9.4.2

Descrição do Algoritmo CAC7M

O algoritmo *CAC7* trabalha com o valor ótimo de recursos reservados para cada classe calculados pelo programa feito em MATLAB. A solução analítica só é possível para o caso em que se modela o tempo de duração da chamada e tempo de permanência do usuário na célula por distribuições exponenciais. Conseqüentemente, o tempo de retenção do recurso também

e dado por uma distribuição exponencial, o que torna possível a solução analítica por Cadeia de Markov de dimensão M .

O valor ótimo dos recursos é calculado antes do sistema iniciar seu funcionamento, os valores são arrumados em matrizes. Dado o conjunto de requisitos de QoS e o número M de classes de usuários, teremos $2M - 1$ matrizes a serem calculadas, uma para cada tipo de usuário, excluindo os usuários de classe de menor prioridade para a qual nenhum recurso é reservado. Cada elemento da matriz corresponde a uma dada taxa de mobilidade e intensidade de tráfego de entrada, $(\theta; \rho)$ e vetor de requisitos de qualidade de serviço \mathbf{Q} .

A estratégia do algoritmo *CAC7M* é medir as características do tráfego em andamento e estimar o valor de $(\theta; \rho)$. A medida é feita periodicamente e o valor dos recursos a ser reservado para cada classe é corrigido de acordo com a consulta às respectivas matrizes. No caso da solução não existir, para manter a continuidade entre os valores, as matrizes são preenchidas com o valor da solução mais próxima existente.

9.4.3

Resultados do Algoritmo *CAC7M*

As figuras 9.31, 9.32, 9.33, 9.34 e 9.35 apresentam o comportamento do algoritmo *CAC7M* no caso de taxa de mobilidade $\theta = 2$ e requisitos de QoS $\mathbf{Q} = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, versus intensidade de tráfego de entrada normalizada, ρ .

Na figura 9.31 é apresentada a quantidade de recursos reservada para cada um dos tipos de usuário no caso de taxa de mobilidade $\theta = 2$ e requisitos de QoS $\mathbf{Q} = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$. Observa-se que o algoritmo *CAC7M* busca acompanhar a tabela com os valores ideais do número de recursos a ser reservado. Como o valor do número de recursos tem uma mudança muito acentuada com a intensidade de tráfego e com a taxa de mobilidade, sistemas que fossem mais eficientes em medir as características do tráfego em andamento e estimar o valor de $(\theta; \rho)$, fariam um melhor proveito do algoritmo *CAC7M*.

As figuras 9.32 e 9.33, apresentam o comportamento do algoritmo *CAC7M* em relação ao bloqueio de novas chamadas e de chamadas em *handoff* para a classe 1, $\theta = 2$ e $\mathbf{Q}\% = (3, 1, 5, 3)$, versus intensidade de tráfego de entrada normalizada, ρ . Observa-se na figura 9.32, o percentual de bloqueio de chamadas novas se mantém abaixo do requisito $Q_{BN1} = 3\%$. Da mesma forma, na figura 9.33, tem-se que as chamadas em *handoff* da classe

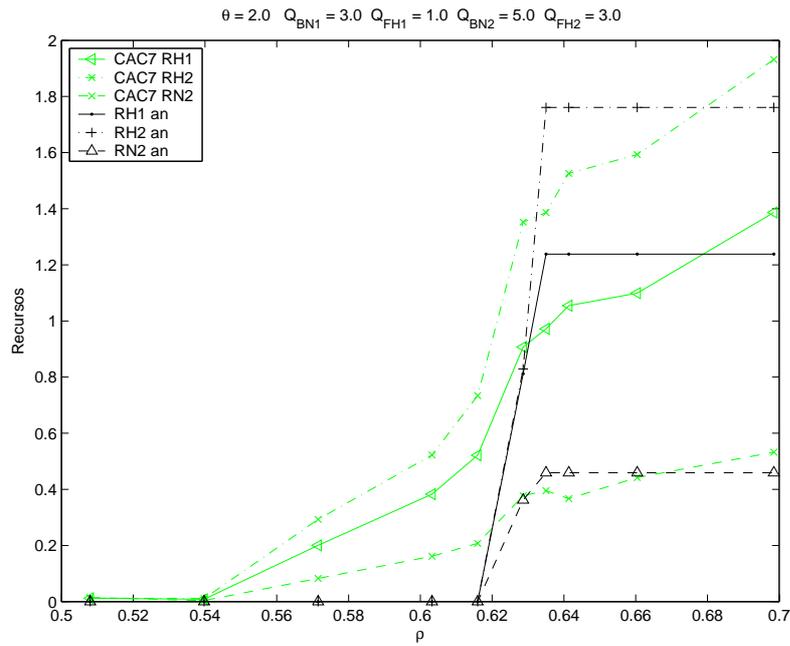


Figura 9.31: Número de Recursos reservados pelo algoritmo CAC7M, $\theta = 2$ e $Q\% = (3, 1, 5, 3)$.

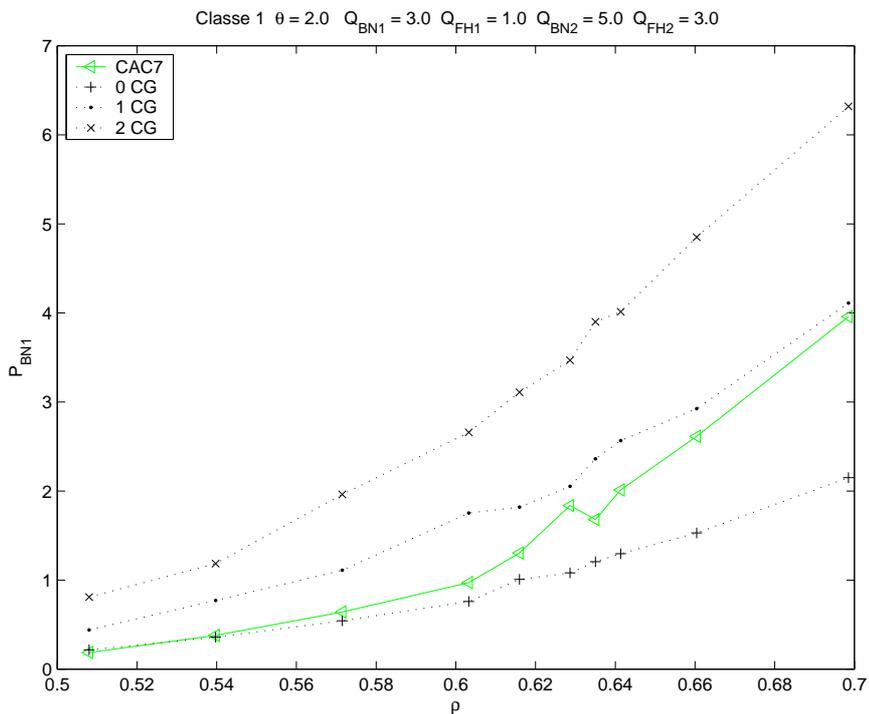


Figura 9.32: Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 1 do algoritmo CAC7M, $\theta = 2$ e $Q\% = (3, 1, 5, 3)$.

1 são realmente favorecidas pelo algoritmo CAC7, mantendo-se abaixo do requisito $Q_{FH1} = 1\%$ para uma grande quantidade de valores de intensidade

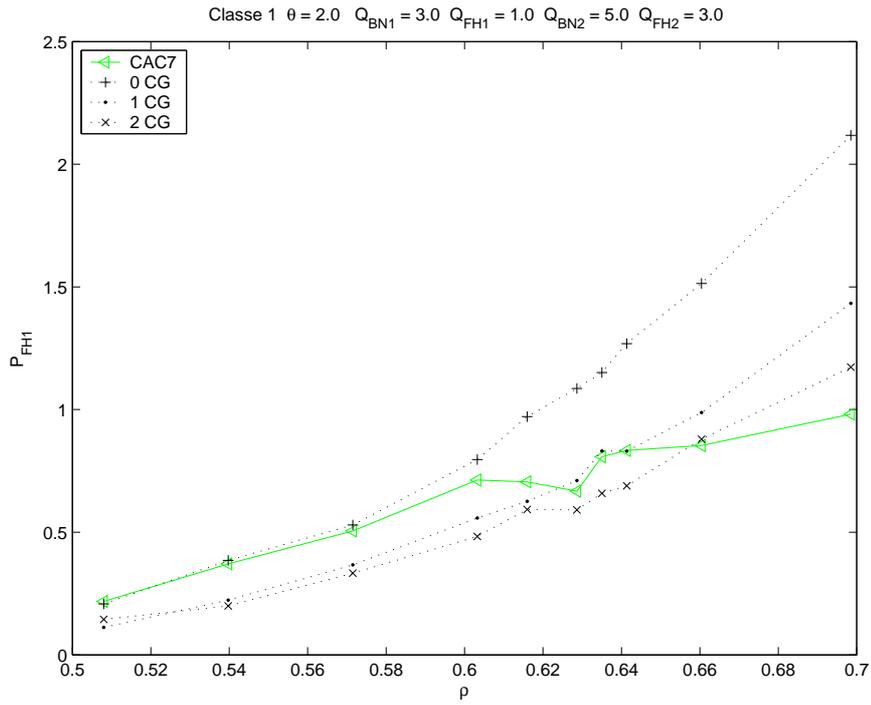


Figura 9.33: Percentual de Falha de chamadas em *handoff* da classe 1 do algoritmo CAC7M, $\theta = 2$ e $Q\% = (3, 1, 5, 3)$.

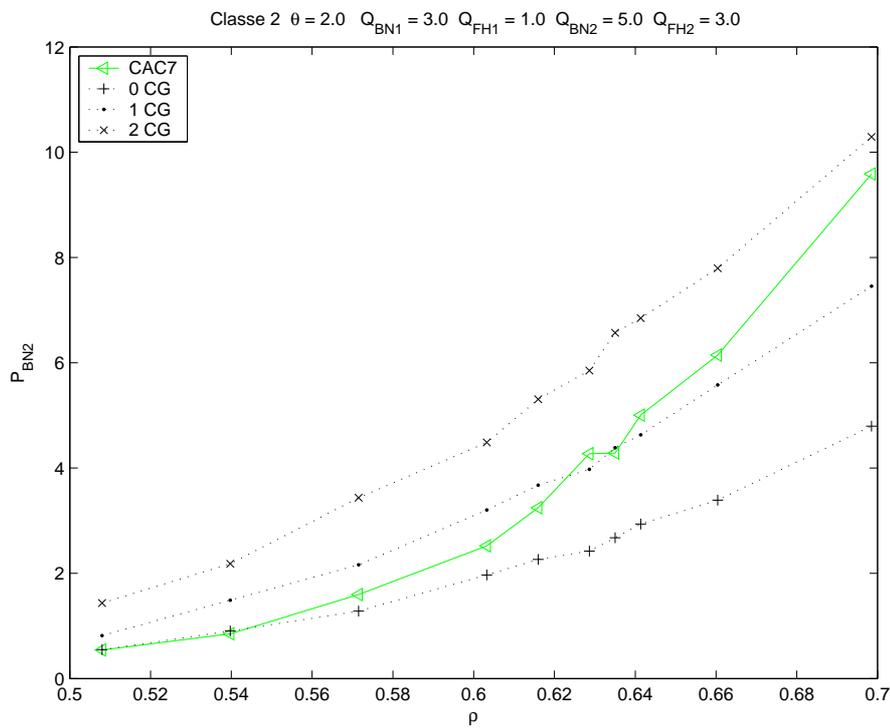


Figura 9.34: Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 2 do algoritmo CAC7M, $\theta = 2$ e $Q\% = (3, 1, 5, 3)$.

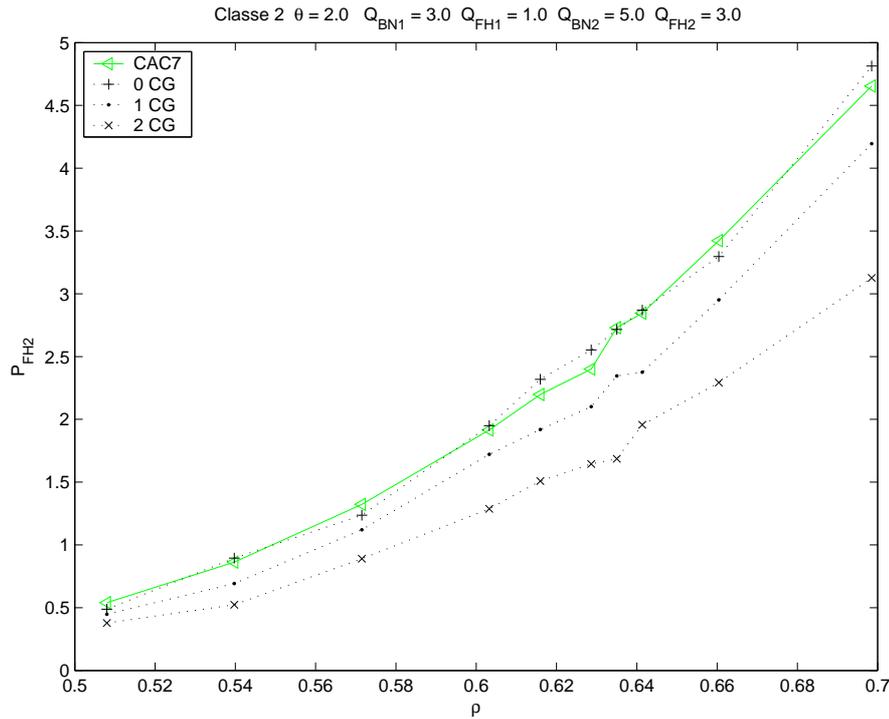


Figura 9.35: Percentual de Falha de chamadas em *handoff* da classe 2 do algoritmo CAC7M, $\theta = 2$ e $Q\% = (3, 1, 5, 3)$.

de solicitação de recursos.

Para a classe 2, as figuras 9.34 e 9.35 demonstram que as curvas de P_{BN2} e P_{FH2} se mantêm abaixo dos respectivos requisitos $Q_{BN2} = 5\%$ e $Q_{FH2} = 3\%$ por uma intensidade de solicitação de recursos de entrada superior a dos algoritmos fixos. Além disto, por manter valores baixos de reserva para valores baixos de intensidade de tráfego, o algoritmo CAC7 tende a aumentar a utilização total dos recursos.

9.5 Comparação do Desempenho dos Algoritmos

Esta seção comparará o desempenho dos algoritmos diante de vários cenários diferentes. Em cada cenário simulado há uma dada distribuição para o tempo de permanência do usuário na célula, uma dada taxa de mobilidade θ e vários valores de intensidade de tráfego ρ .

Da mesma forma que no caso de uma classe de usuários, os parâmetros F e I são utilizados para efetuar a comparação de desempenho no caso de duas classes. Os parâmetros são utilizados para cada classe separadamente.

É utilizado o mesmo modelo para o tráfego das duas classes de usuário.

O tempo de retenção do recurso é dado pelo mínimo entre a distribuição exponencial, que representa a duração da chamada, e a distribuição que modela o tempo de permanência: distribuição constante, distribuição uniforme, distribuição exponencial e distribuição Weibull.

Inicialmente o algoritmo fixo de um canal de guarda é testado para diversas distribuições que modelam o tempo de permanência do usuário na célula. Então, são comparados os algoritmos propostos e os fixos diante de cada uma das quatro distribuições. Finalmente, é verificado como cada algoritmo se porta diante das distribuições propostas para o tempo de permanência do usuário na célula. São testados casos em que a mobilidade é alta, média e baixa e casos em que os requisitos de qualidade de serviço são diferentes.

9.5.1

Parâmetros **F** e **I** para Comparar o Desempenho

Os algoritmos propostos para duas classes de usuários tem seu comportamento comparado através do parâmetro **F** definido em (7-1) e do parâmetro **I** definido na equação (5-6). Os dois parâmetros são calculados para cada classe individualmente.

O parâmetro **F** considera a proximidade entre cada requisito de QoS e a respectiva Probabilidade de Bloqueio. 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 . Quanto **maior F**, melhor e quanto maior o valor de ρ antes de **F** chegar a zero, melhor.

O parâmetro **I** é dado pela razão entre duas intensidades de tráfego máximas atendendo aos requisitos de qualidade de serviço. No numerador tem-se o valor máximo de intensidade de tráfego alcançado pelo algoritmo, ρ_Q^{CAC} , considerando cada uma das distribuições propostas para o tempo de permanência do usuário na célula. O denominador é o valor de intensidade de tráfego máxima obtida analiticamente no caso da distribuição exponencial, ρ_Q^* . 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.

Os parâmetros **F** e **I** utilizados neste capítulo, são os mesmos parâmetros definidos no caso de uma classe de usuários, $M = 1$, ou seja, dois tipos de usuários diferentes (N, H). Neste capítulo, são apresentados os algoritmos de duas classes de usuários, quatro tipos de usuários, ($N1, H1, N2, H2$); no entanto, os parâmetros **F** e **I** comparam como cada

algoritmo se porta para cada classe de usuários de forma individual, não há uma comparação que envolva o desempenho conjunto para as duas classes.

9.5.2

Comparação do Desempenho do Algoritmo de 1CG de Acordo com a Distribuição para o Tempo de Permanência do Usuário na Célula

Antes de iniciar a comparação entre os algoritmos propostos, esta seção apresenta o comportamento do algoritmo fixo que utiliza um canal de guarda diante das quatro distribuições que modelam o tempo de permanência do usuário na célula. São testados dois casos: alta mobilidade, $\theta = 6$, e baixa mobilidade, $\theta = 0.5$.

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 6$ e requisito de Qualidade de Serviço $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, algoritmo de 1 canal de guarda fixo.

As figuras 9.36, 9.37, 9.38 e 9.39 apresentam as curvas de percentual de bloqueio e de chamadas em *handoff* das classes 1 e 2 do algoritmo fixo de um canal de guarda para os usuários em *handoff* de ambas as classes, 1CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, versus intensidade de tráfego de entrada normalizada, ρ . Observa-se que, assim como no caso de uma classe, observado no capítulo 7, quase não há diferença entre os resultados considerando as diferentes distribuições. O mesmo resultado é observado nas figuras 9.48, 9.49, 9.50 e 9.51 que apresentam os parâmetros F e I das classes 1 e 2.

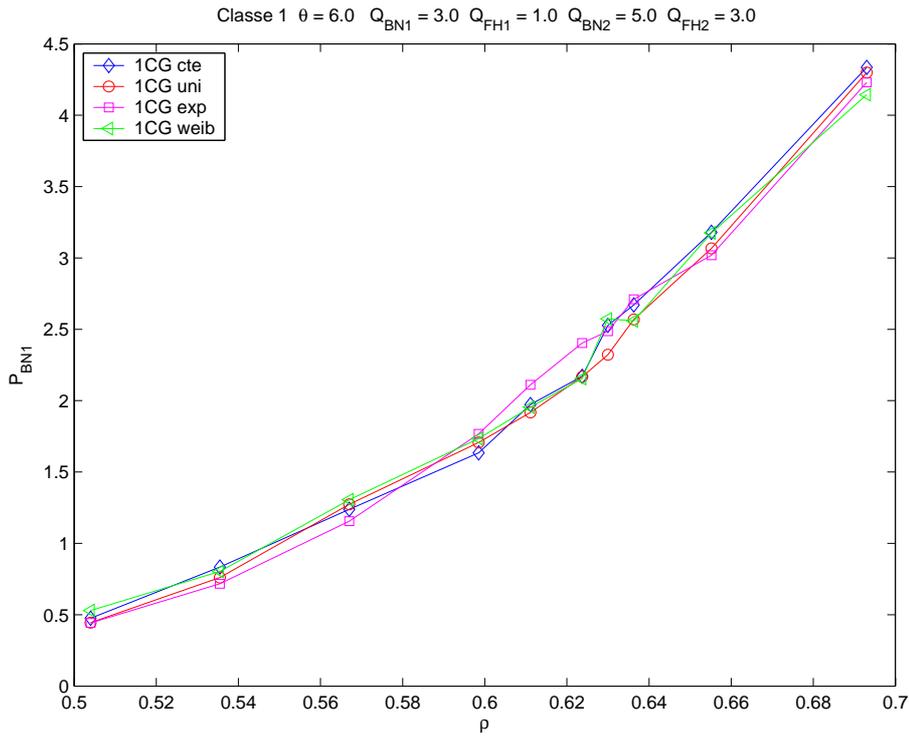


Figura 9.36: Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 1 do algoritmo de 1CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$.

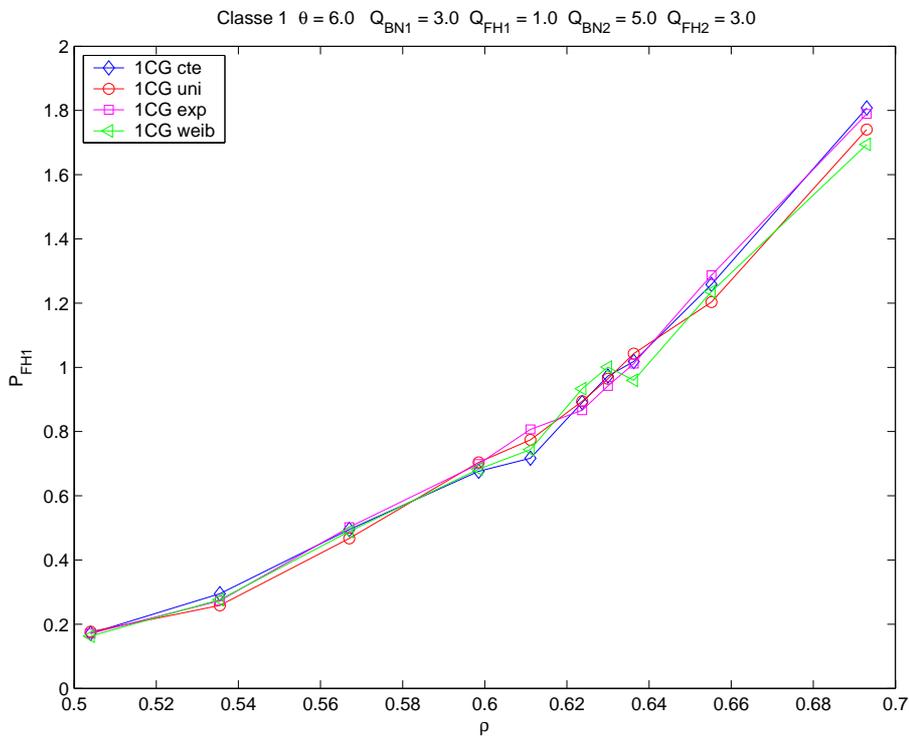


Figura 9.37: Percentual de Falha de chamadas em *handoff* da classe 1 do algoritmo de 1CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$.

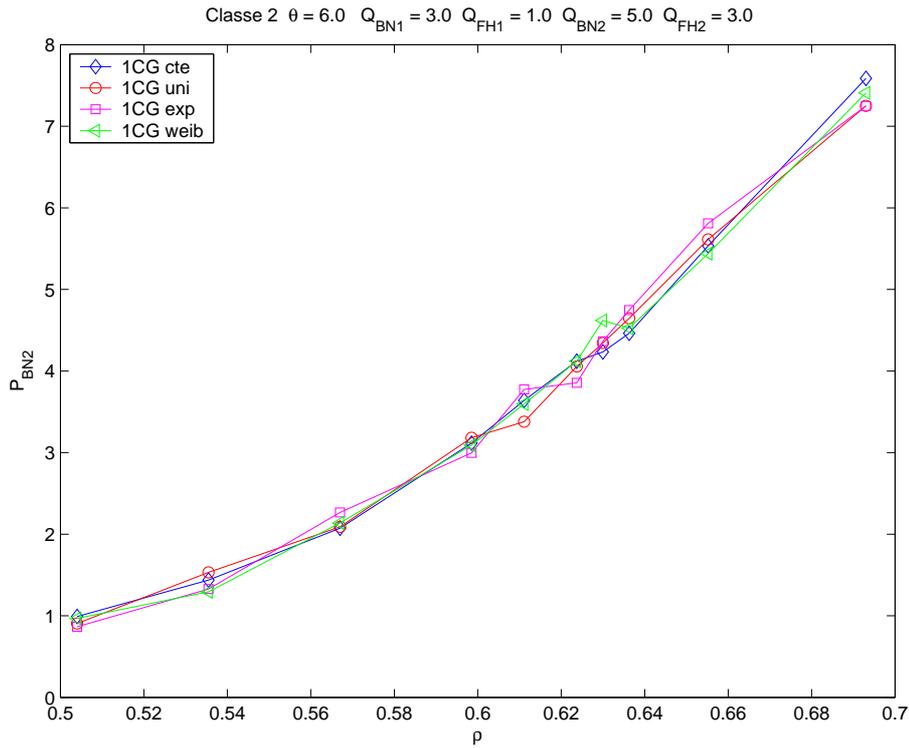


Figura 9.38: Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 2 do algoritmo de 1CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$.

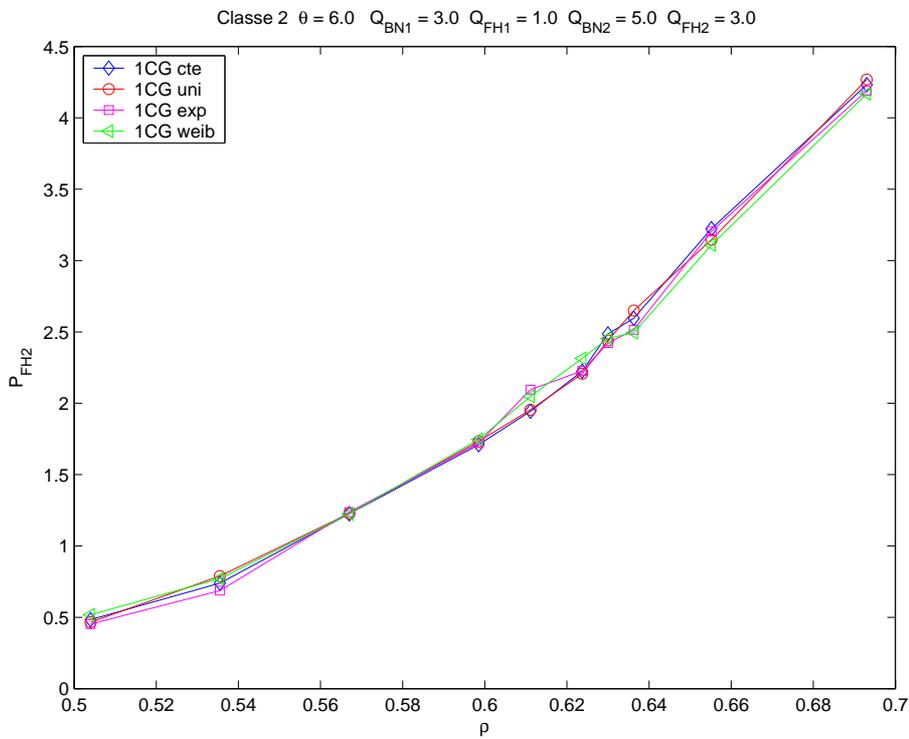


Figura 9.39: Percentual de Falha de chamadas em *handoff* da classe 2 do algoritmo de 1CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$.

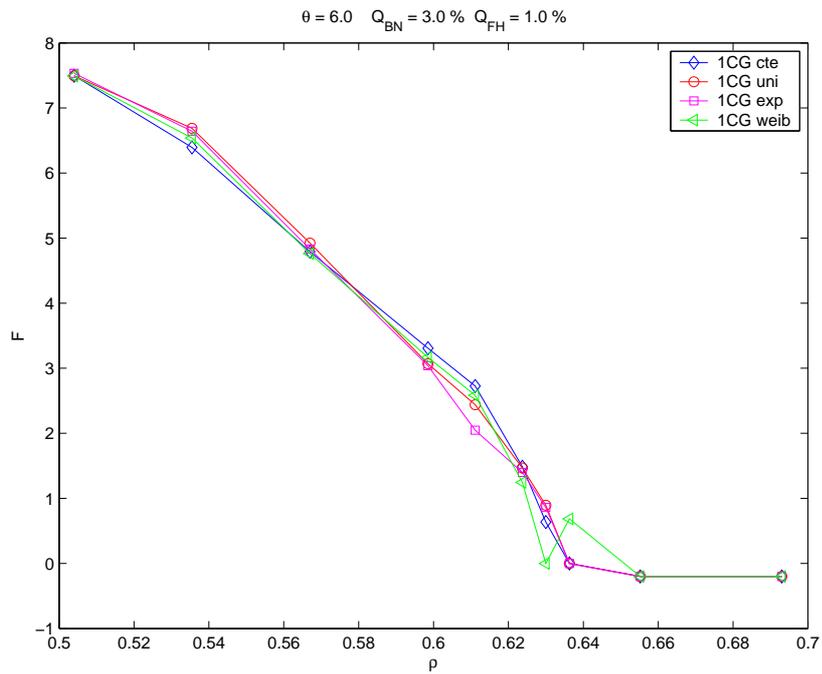


Figura 9.40: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo fixo 1CG.

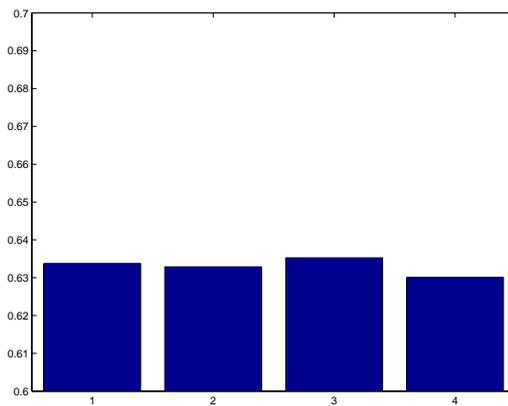


Figura 9.41: Parâmetro I para usuários da classe 1, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo fixo 1CG.

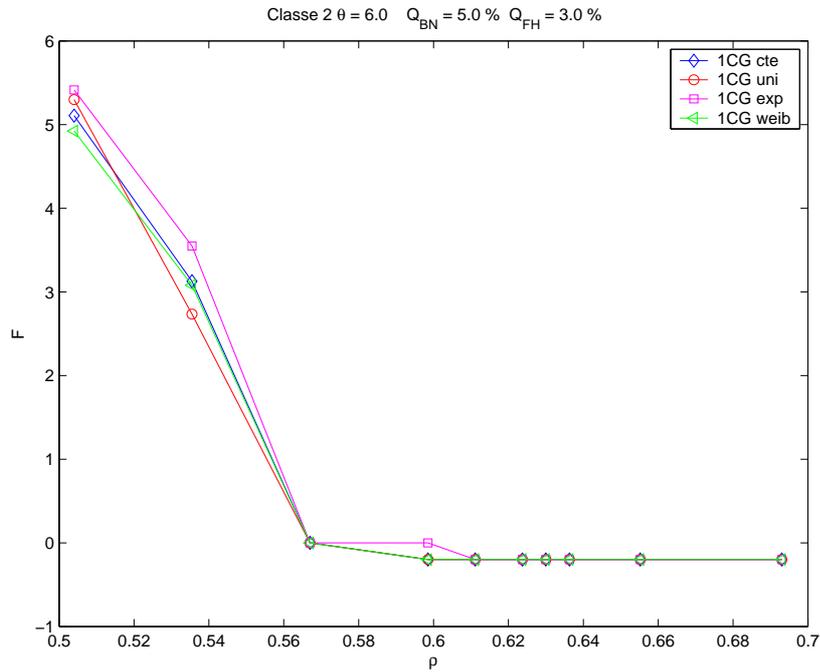


Figura 9.42: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo fixo 1CG.

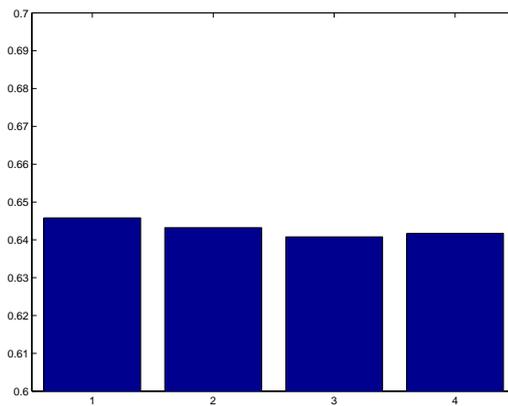


Figura 9.43: Parâmetro I para usuários da classe 2, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo fixo 1CG.

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 0.5$ e requisito de Qualidade de Serviço $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, algoritmo de 1 canal de guarda fixo.

Para verificar o comportamento do algoritmo de 1CG fixo, supondo baixa mobilidade e várias distribuições para o tempo de permanência, as figuras 9.44, 9.45, 9.46 e 9.47 apresentam os percentuais de bloqueio versus intensidade de tráfego de entrada normalizada, considerando uma mobilidade baixa no sistema, $\theta = 0.5$. Observa-se que as distribuições uniforme, exponencial, e Weibull apresentam desempenhos percentuais de bloqueio semelhantes. No entanto, no caso em que o tempo de permanência do usuário na célula é representado pela distribuição constante e baixa mobilidade, esta curva se afasta um pouco das demais. O mesmo resultado é observado nas figuras 9.40, 9.41, 9.42 e 9.43 que apresentam os parâmetros F e I das classes 1 e 2. No caso de mobilidade baixa, o valor da constante é maior do que no caso da mobilidade alta, isso faz com que ocorra um número maior de chamadas de longa duração que provocam maiores bloqueios no sistema.

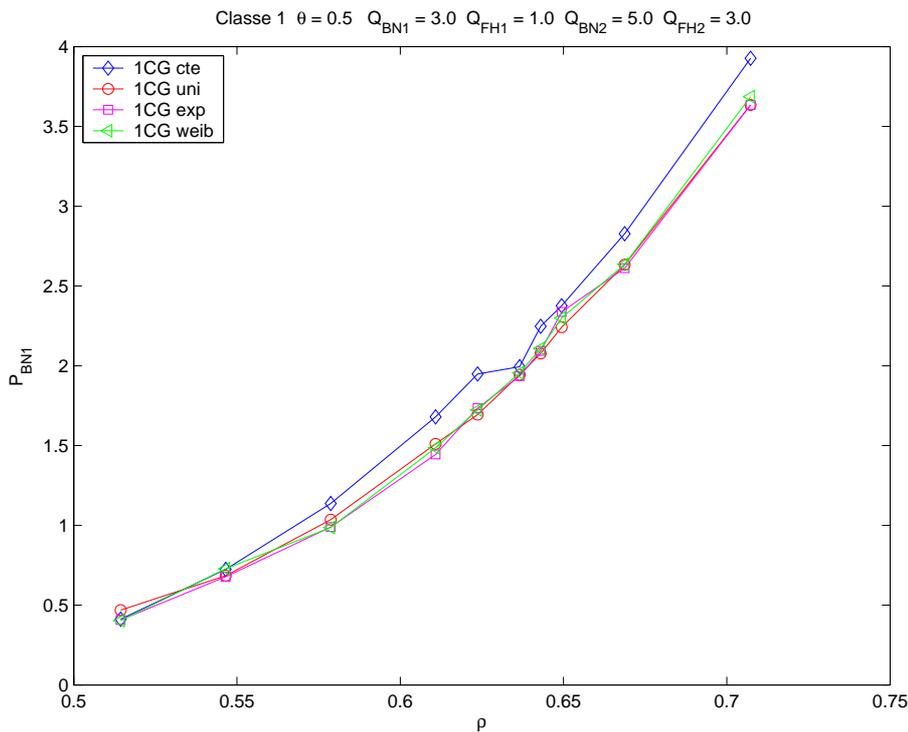


Figura 9.44: Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 1 do algoritmo de 1CG, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$.

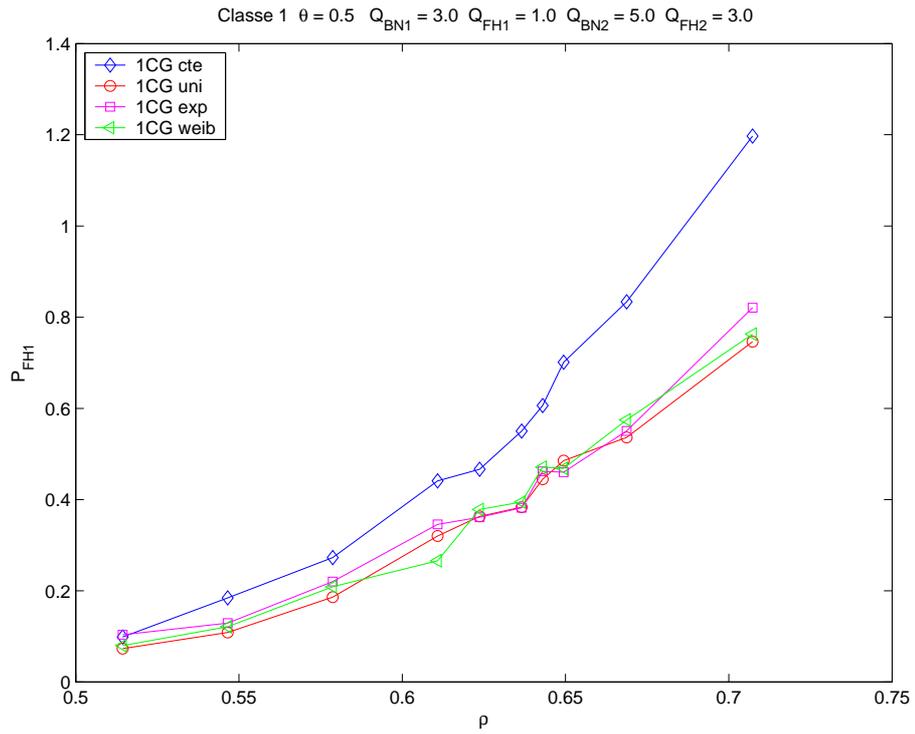


Figura 9.45: Percentual de Falha de chamadas em *handoff* da classe 1 do algoritmo de 1CG, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$.

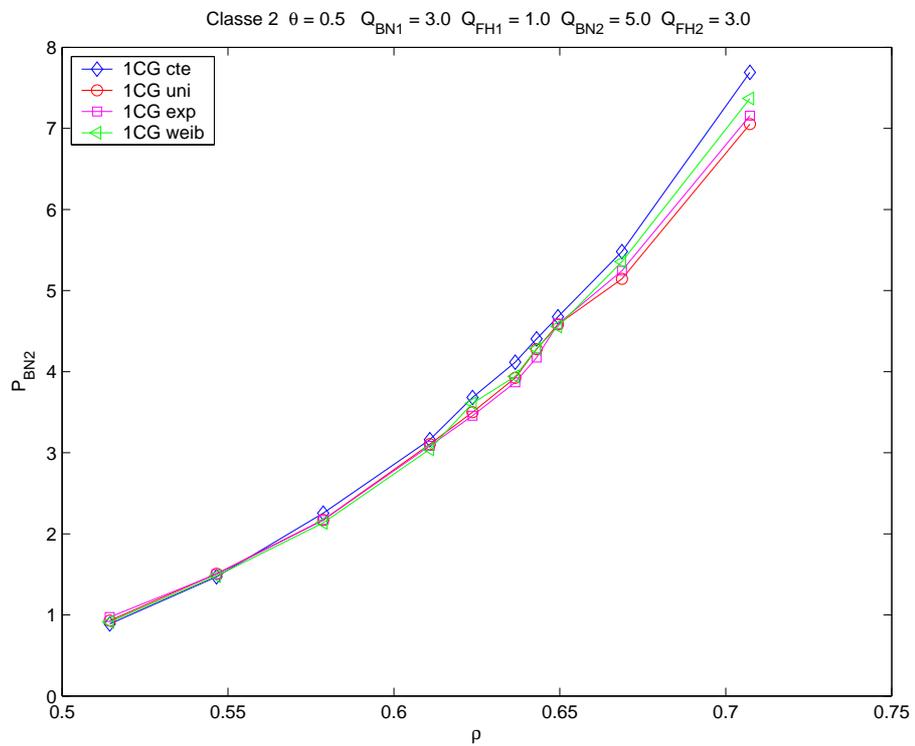


Figura 9.46: Percentual de Bloqueio de chamadas novas da classe 2 do algoritmo de 1CG, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$.

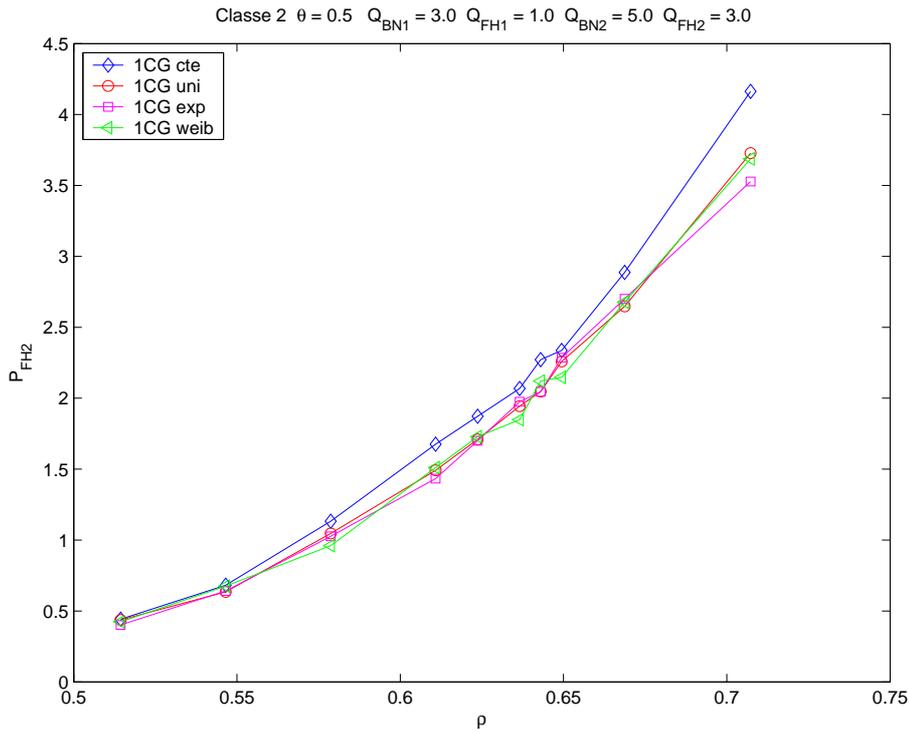


Figura 9.47: Percentual de Falha de chamadas em *handoff* da classe 2 do algoritmo de 1CG, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$.

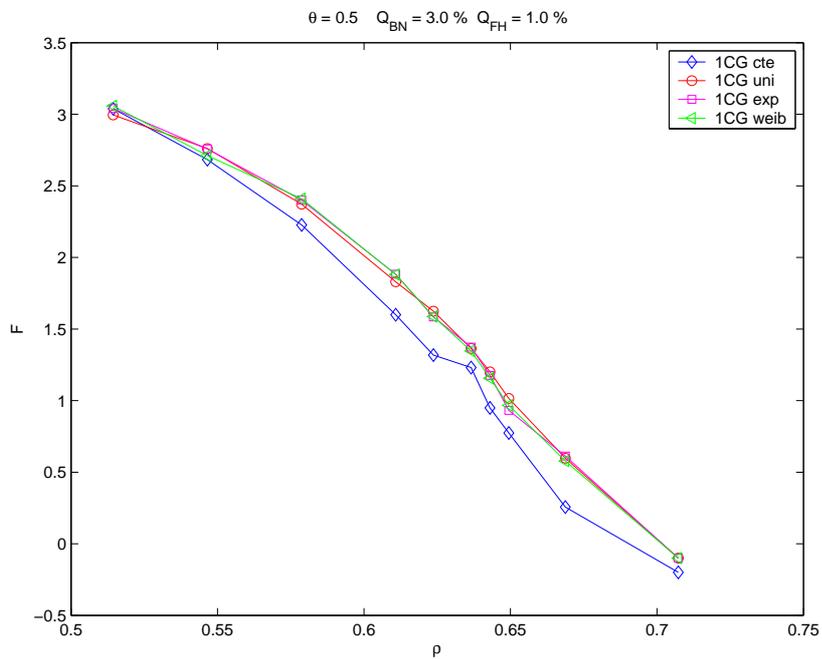


Figura 9.48: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo fixo 1CG.

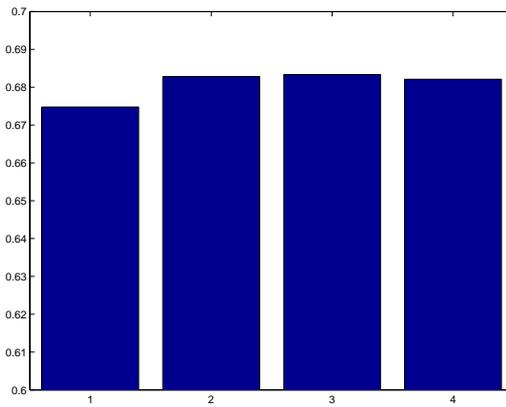


Figura 9.49: Parâmetro I para usuários da classe 1, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo fixo 1CG.

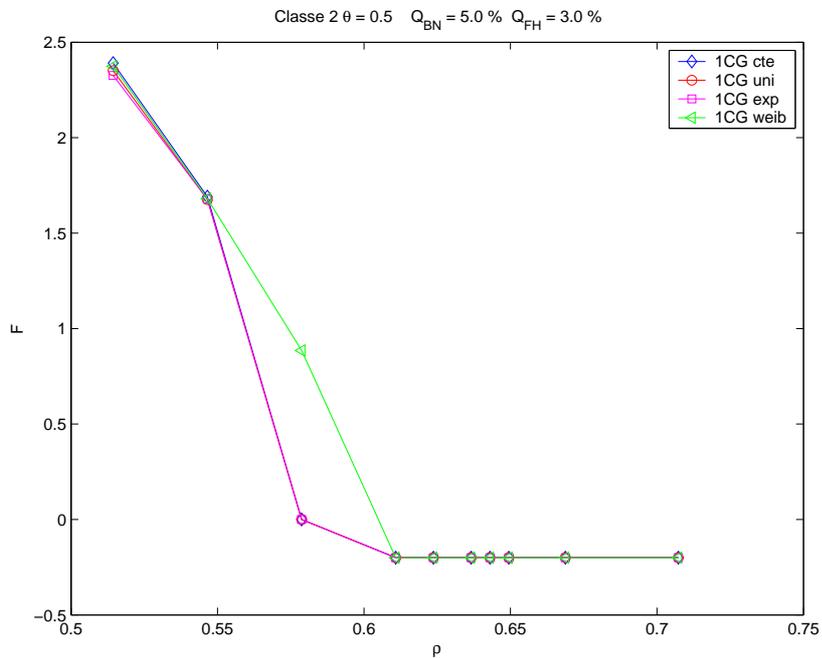


Figura 9.50: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo fixo 1CG.

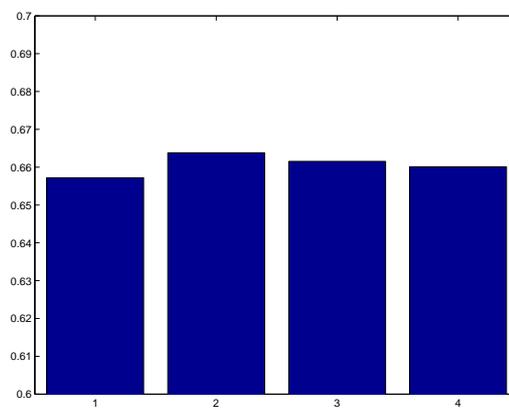


Figura 9.51: Parâmetro I para usuários da classe 2, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo fixo 1CG.

9.5.3

Comparação do Desempenho dos Algoritmos Propostos Considerando Distribuição Exponencial para o Tempo de Permanência do Usuário na Célula

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 0.5$ e requisito de Qualidade de Serviço $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência

As figuras 9.52, 9.53, 9.54 e 9.55 que apresentam os parâmetros F e I das classes 1 e 2 do caso $\theta = 0.5$, $Q\% = (3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula.

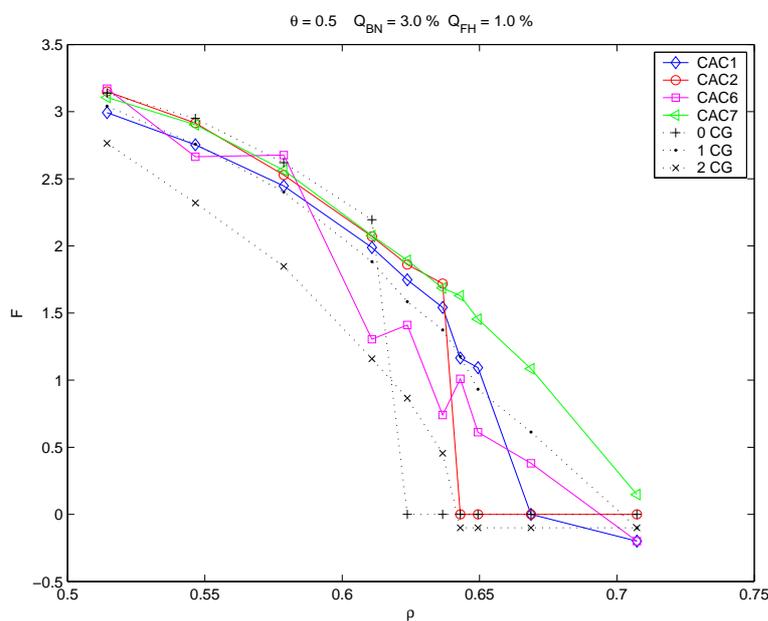


Figura 9.52: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

Observa-se na figura 9.52 que o algoritmo CAC7M apresenta um excelente comportamento para a classe 1, apresentando elevado valor de parâmetro F1. Além disto, nota-se que CAC7M não chega a ultrapassar os valores de Q da classe 1 para os valores de ρ que constam da figura, por isso, o parâmetro I1 não foi traçado na figura 9.53. No entanto, o algoritmo CAC6M apresenta um comportamento não-estável no caso de duas classes, suas curvas tendem a oscilar. A presença de um número maior de restrições $2M = 4$ faz com que as condições para incremento do número de recursos reservados para cada tipo de usuários não são tão coerentes como era no caso de uma classe, $M = 1$ quando só havia duas restrições de QoS.

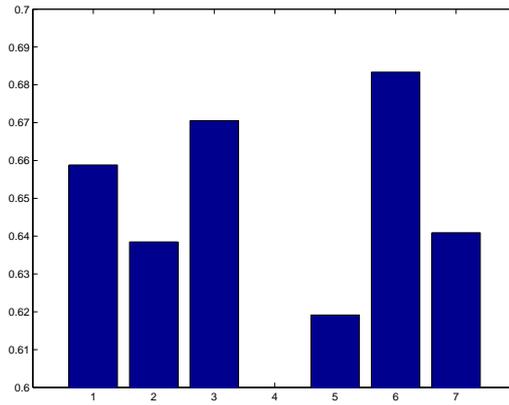


Figura 9.53: Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

No caso da classe 2, observa-se na figura 9.54 que os quatro algoritmos propostos apresentam percentuais de bloqueio semelhantes.

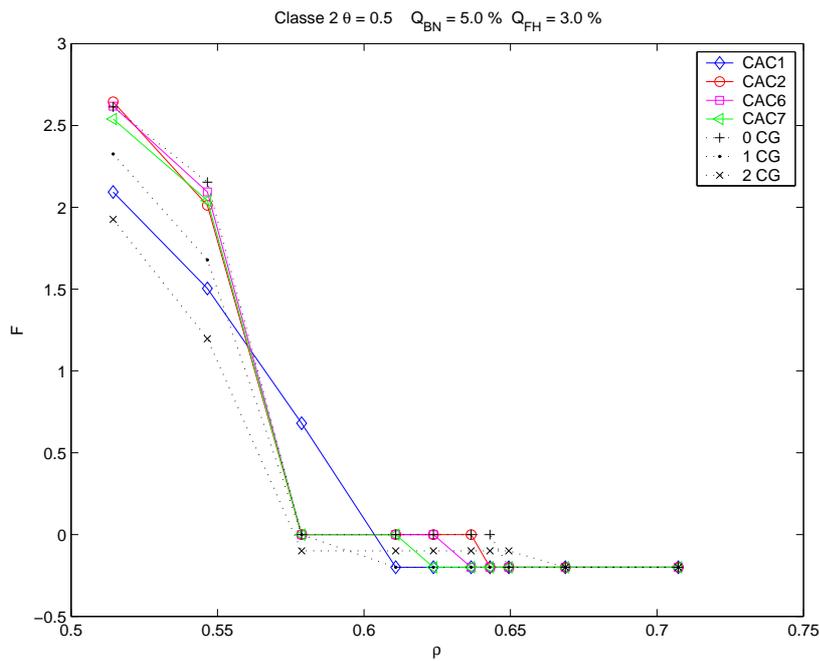


Figura 9.54: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

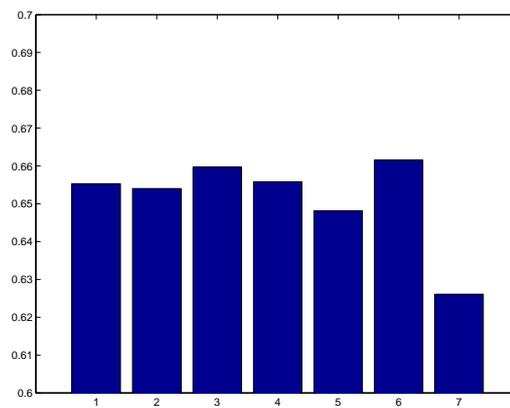


Figura 9.55: Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 0.5$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 1$ e requisito de Qualidade de Serviço $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

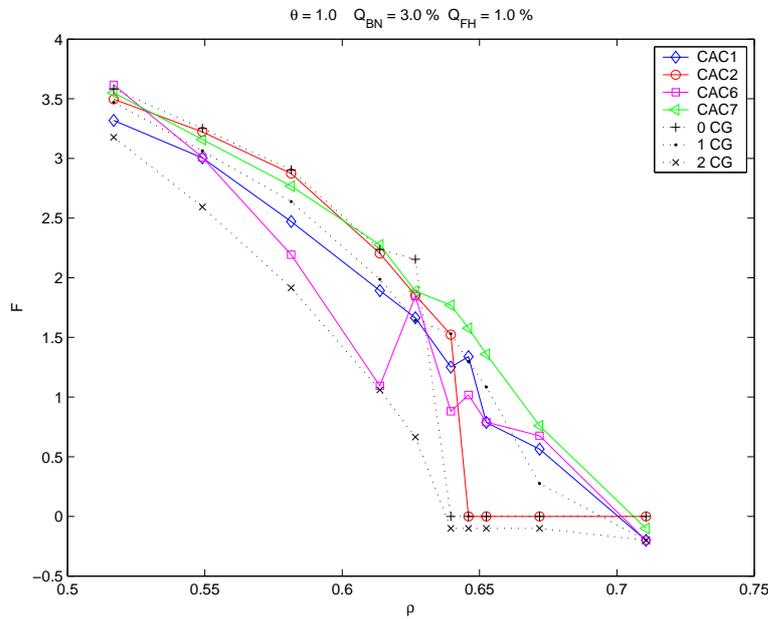


Figura 9.56: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

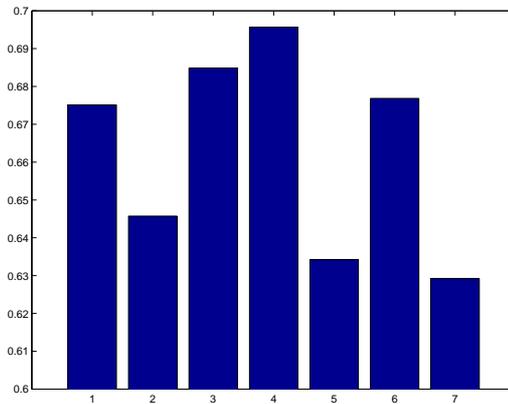


Figura 9.57: Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

Aumentando a taxa de mobilidade para $\theta = 1$, o algoritmo CAC7 continua apresentando o melhor desempenho para a classe 1 e desempenho equivalente aos demais para a classe 2, conforme as figuras 9.56 e 9.58.

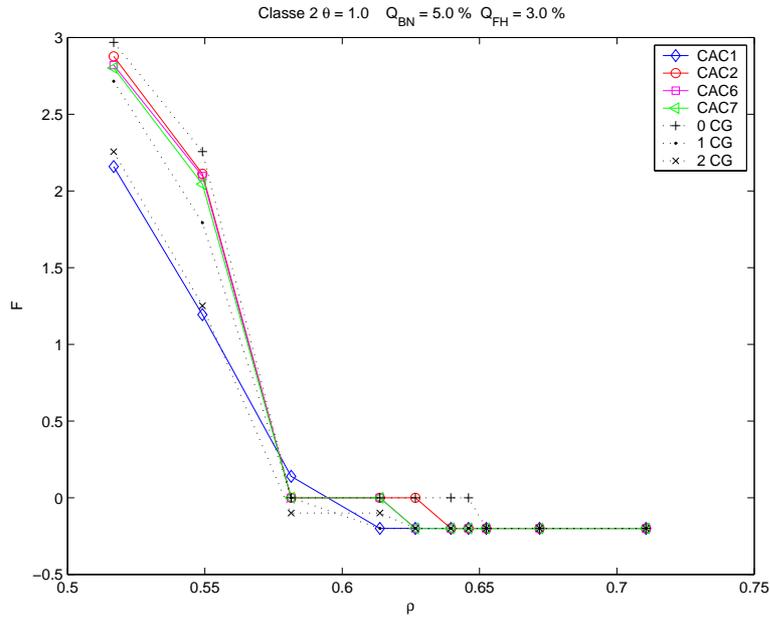


Figura 9.58: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

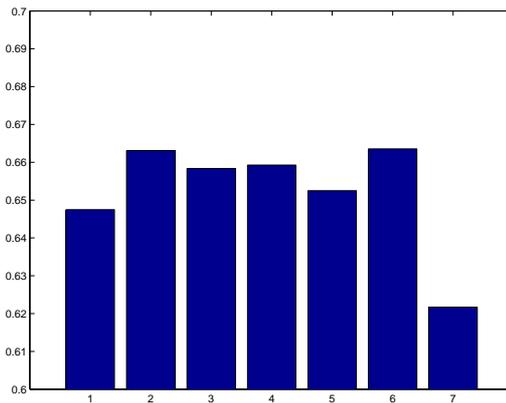


Figura 9.59: Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 2$ e requisito de Qualidade de Serviço $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

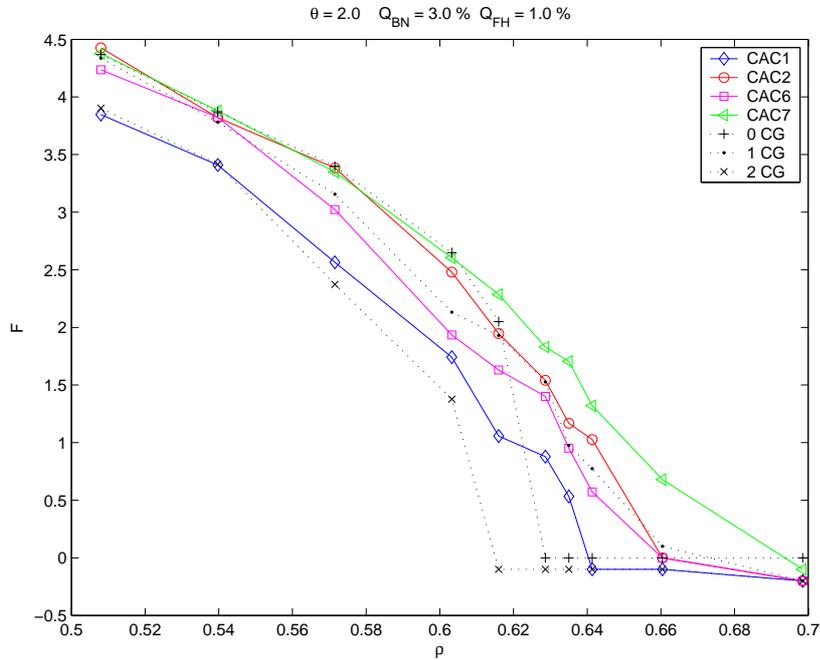


Figura 9.60: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

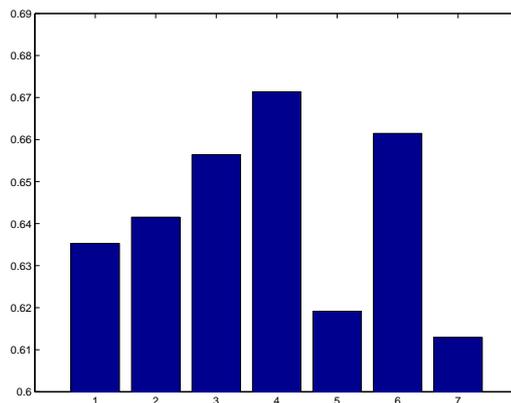


Figura 9.61: Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

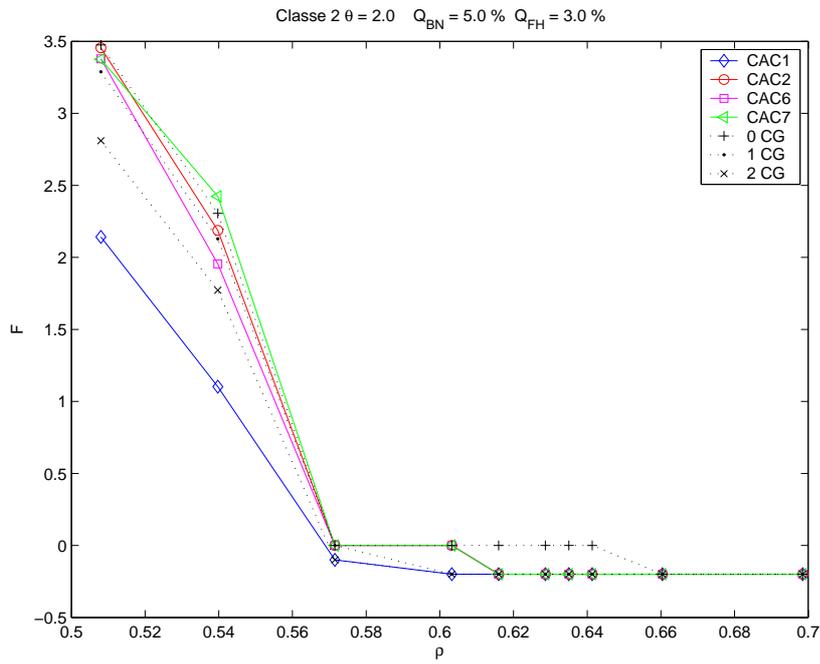


Figura 9.62: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

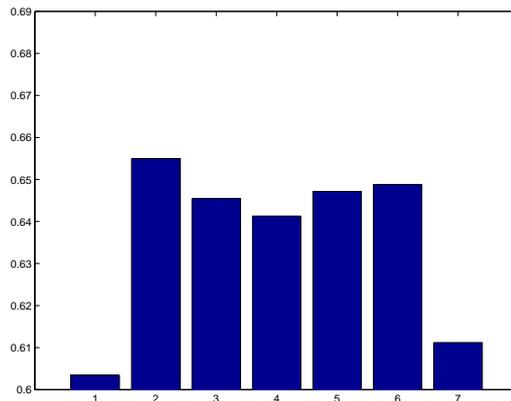


Figura 9.63: Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 6$ e requisito de Qualidade de Serviço $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

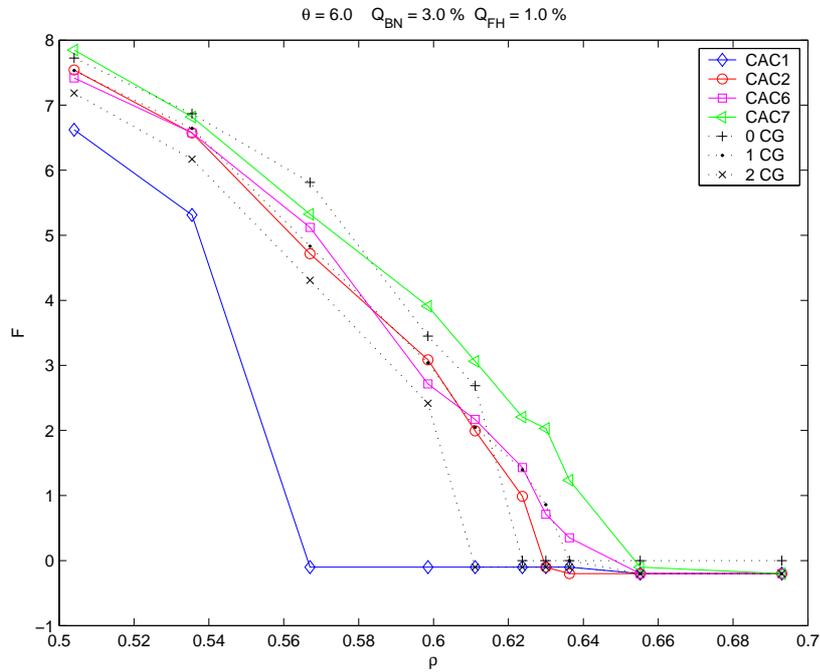


Figura 9.64: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

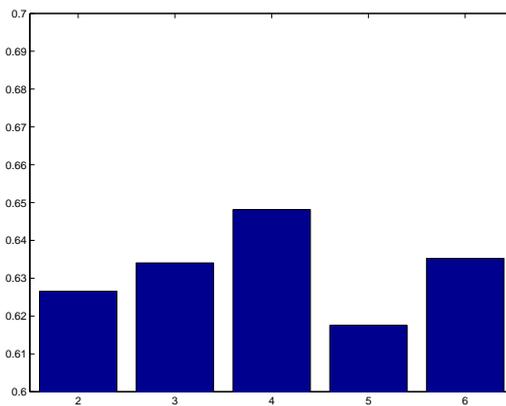


Figura 9.65: Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

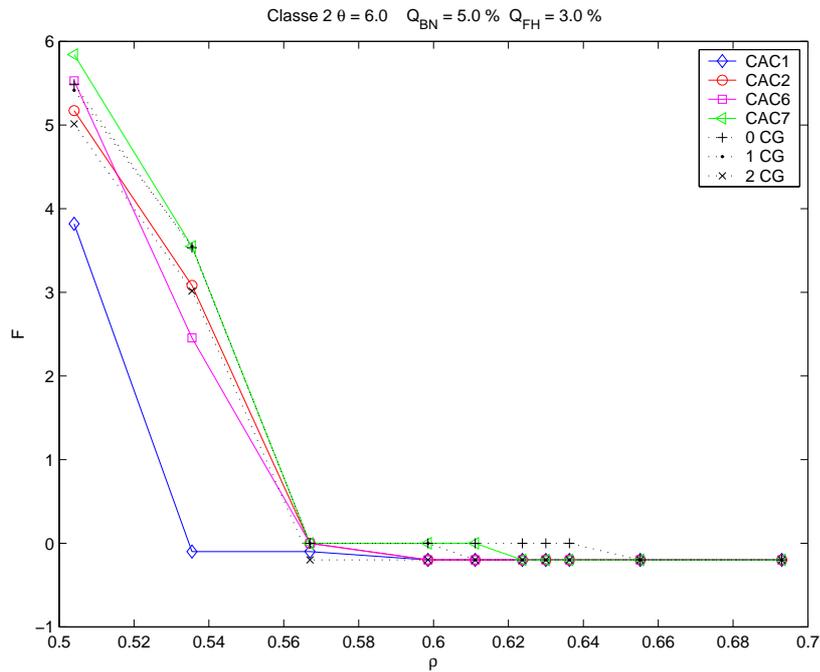


Figura 9.66: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

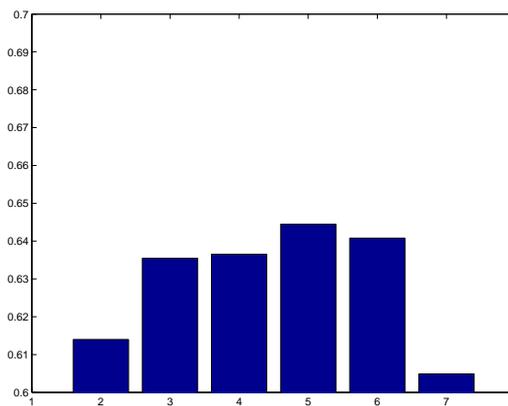


Figura 9.67: Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 6$ e requisito de QoS $Q\%(4, 0.4, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

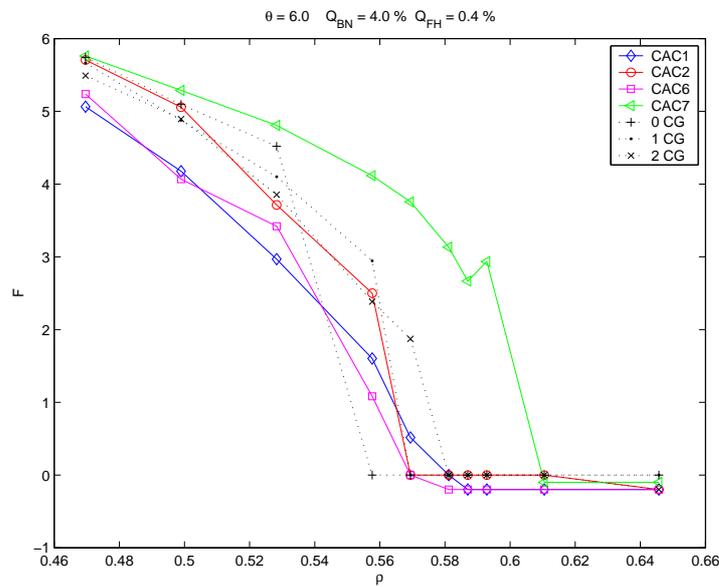


Figura 9.68: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(4, 0.4, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

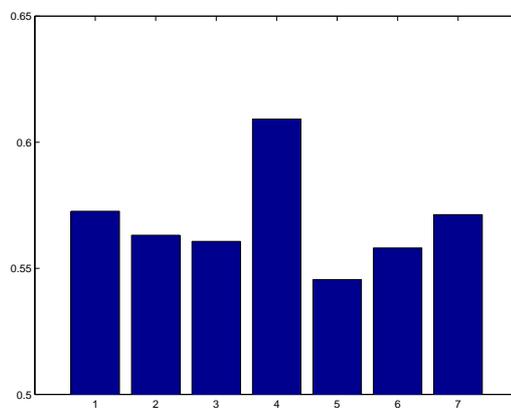


Figura 9.69: Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(4, 0.4, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

Nos gráficos correspondentes ao caso de distribuição exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula, observa-se que o algoritmo CAC7M tende a apresentar um bom desempenho, principalmente para a classe 1. Tal desempenho pode ser especialmente observado no caso em que os requisitos de QoS são $Q\% = (4; 0.4; 5; 3)$ nas figuras 9.68, 9.69, 9.70

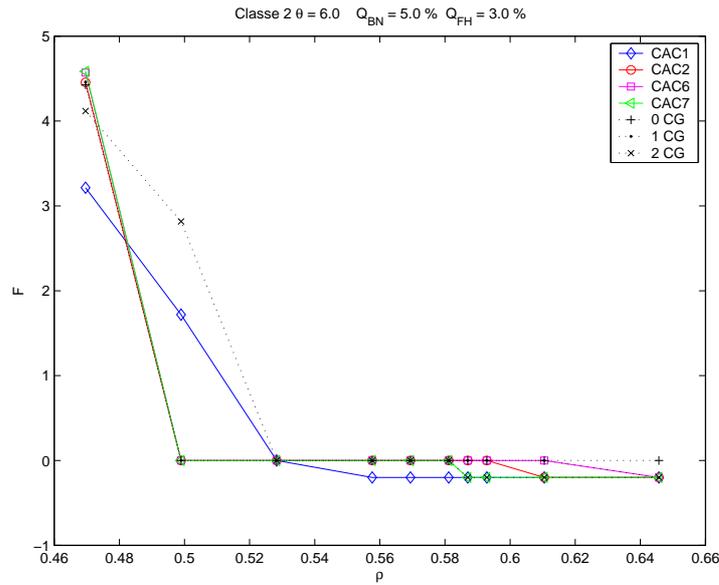


Figura 9.70: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(4, 0.4, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

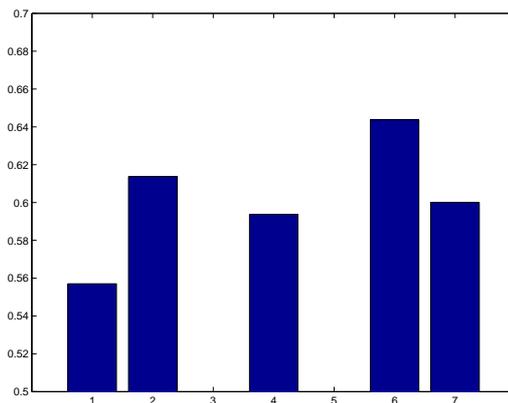


Figura 9.71: Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(4, 0.4, 5, 3)$, considerando distribuição exponencial para o tempo de permanência.

e 9.71. Os algoritmos CAC1M e CAC2M apresentam bons desempenhos, porém isto não ocorre em todos os cenários. O algoritmo CAC6M, diante do fato de só buscar alterar o número de recursos em faixa restritas, apresenta um comportamento que oscila na região de intensidade de tráfego próxima ao valor ρ_Q .

9.5.4

Comparação do Desempenho dos Algoritmos Propostos Considerando Distribuição Constante para o Tempo de Permanência do Usuário na Célula

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 1$ e requisito de Qualidade de Serviço $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição constante para o tempo de permanência.

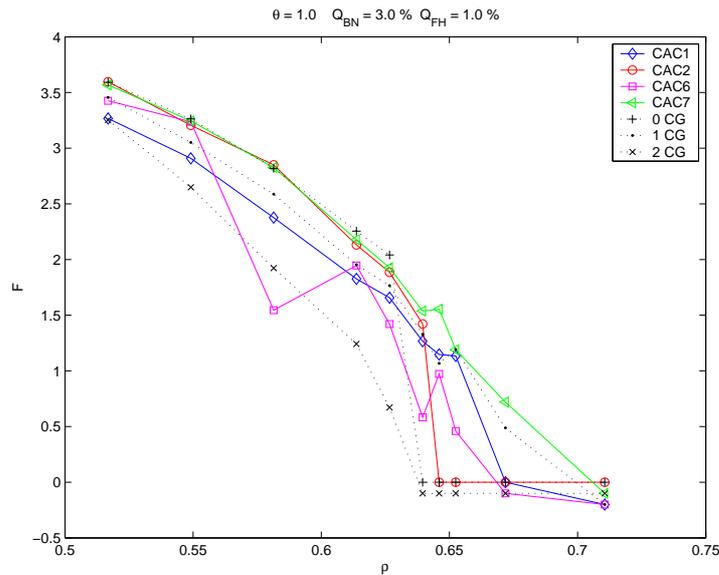


Figura 9.72: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição constante para o tempo de permanência.

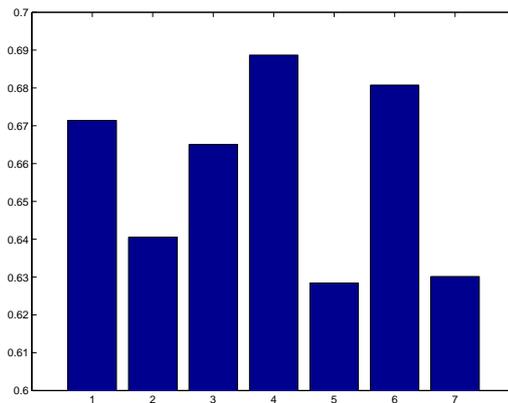


Figura 9.73: Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição constante para o tempo de permanência.

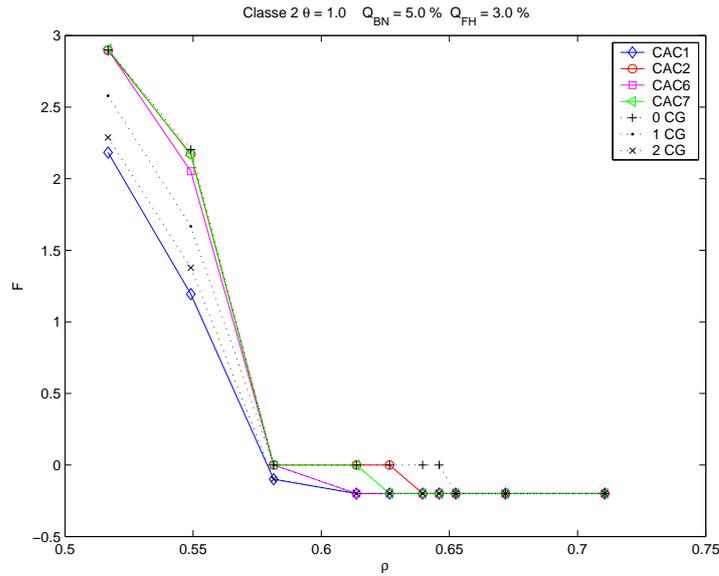


Figura 9.74: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição constante para o tempo de permanência.

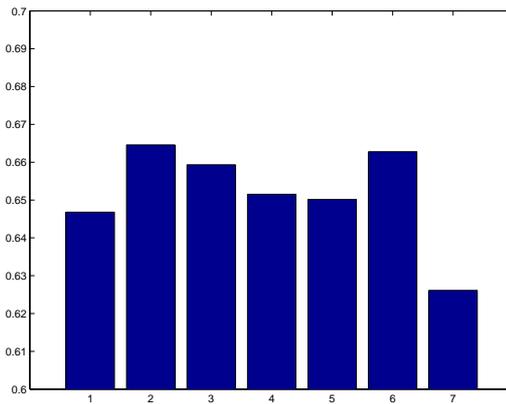


Figura 9.75: Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição constante para o tempo de permanência.

Neste caso, em que o tempo de permanência do usuário na célula é modelado pela distribuição constante, os dois algoritmos que apresentam melhores desempenhos são CAC7 e CAC2.

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 6$ e requisito de Qualidade de Serviço $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição constante para o tempo de permanência.

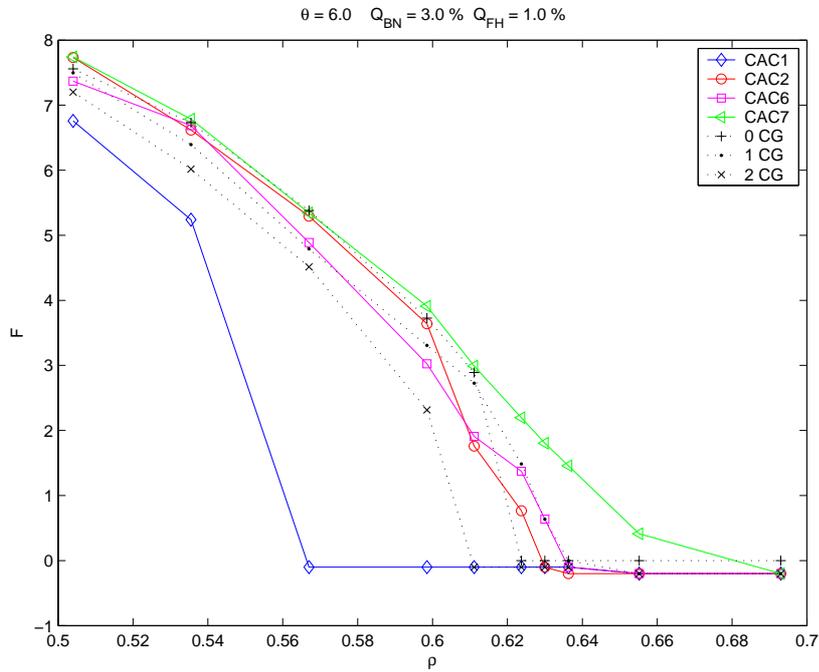


Figura 9.76: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição constante para o tempo de permanência.

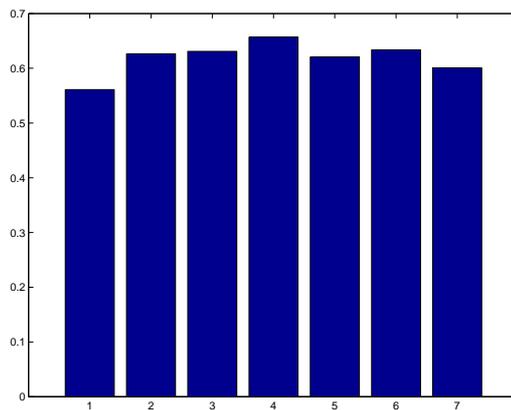


Figura 9.77: Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição constante para o tempo de permanência.

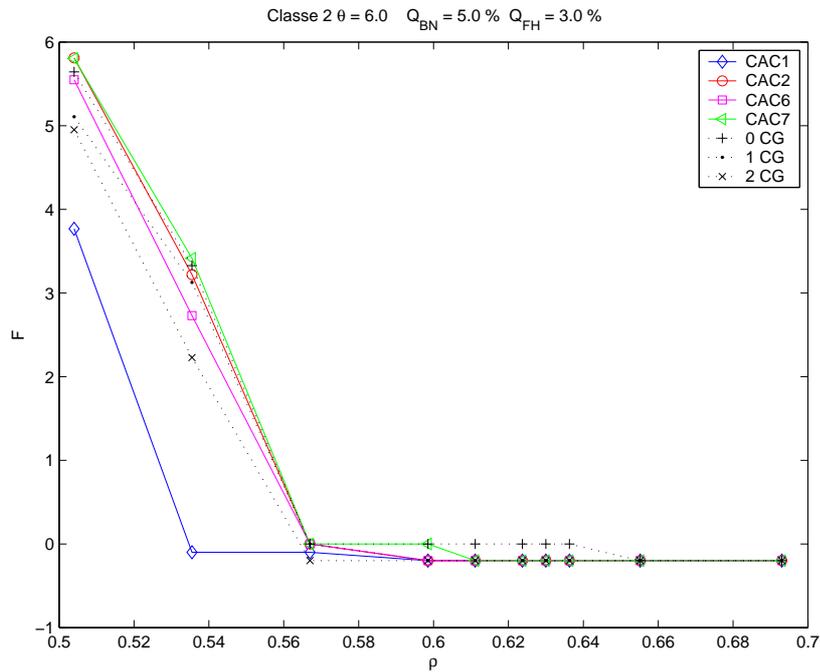


Figura 9.78: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição constante para o tempo de permanência.

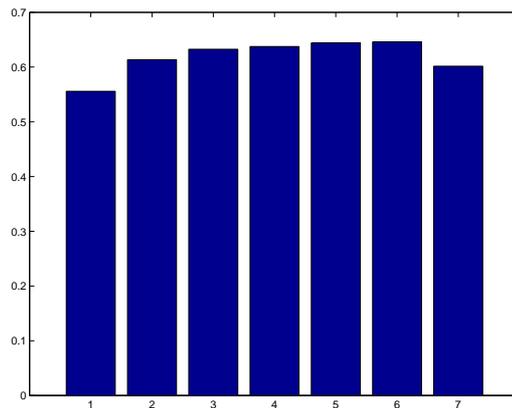


Figura 9.79: Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição constante para o tempo de permanência.

9.5.5

Comparação do Desempenho dos Algoritmos Propostos Considerando Distribuição Uniforme para o Tempo de Permanência do Usuário na Célula

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 1$ e requisito de Qualidade de Serviço $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência.

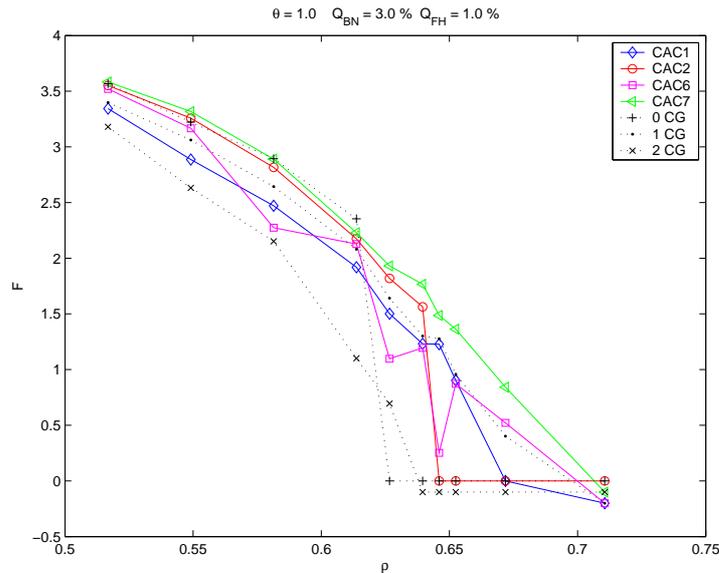


Figura 9.80: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência.

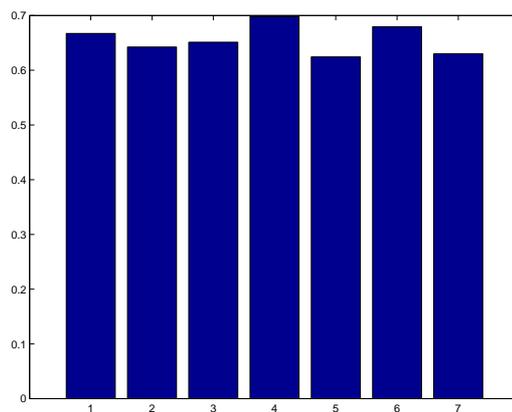


Figura 9.81: Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência.

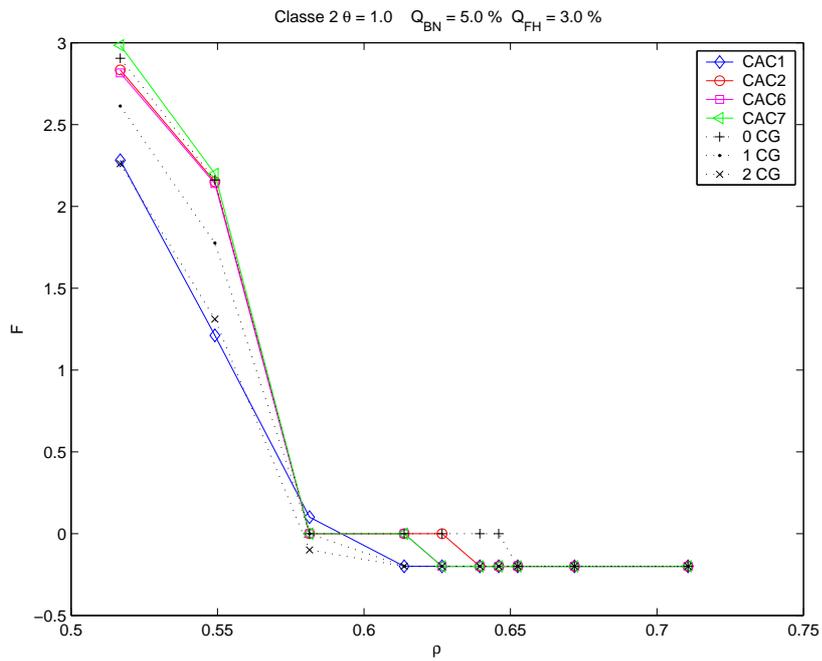


Figura 9.82: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência.

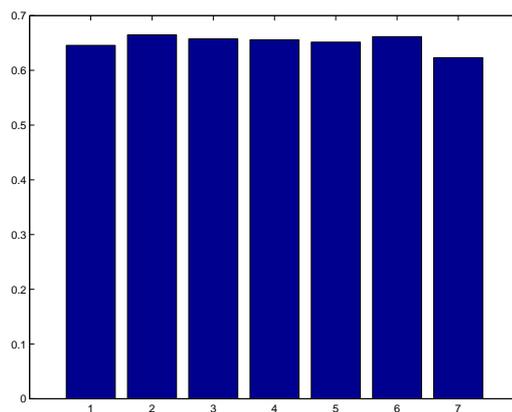


Figura 9.83: Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência.

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 2$ e requisito de Qualidade de Serviço $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência.

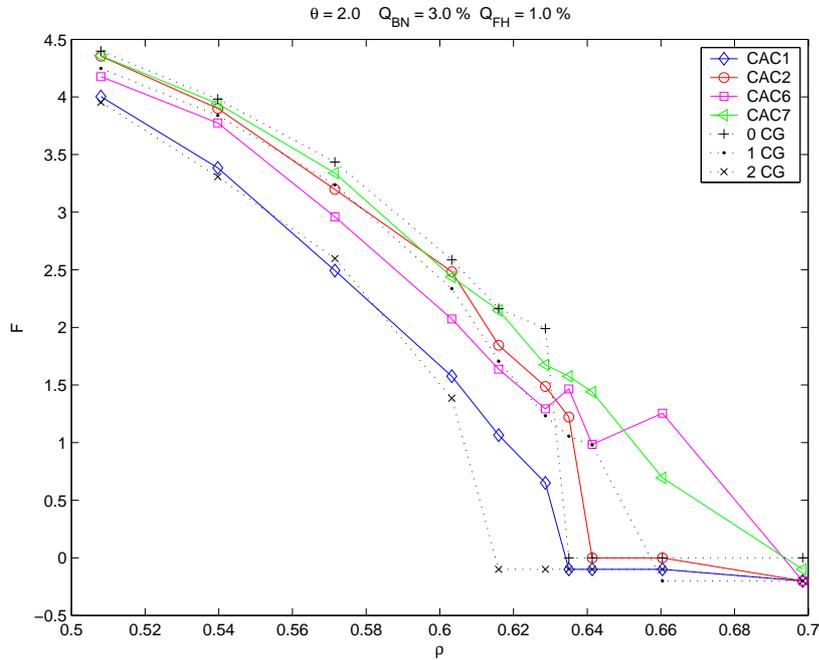


Figura 9.84: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência.

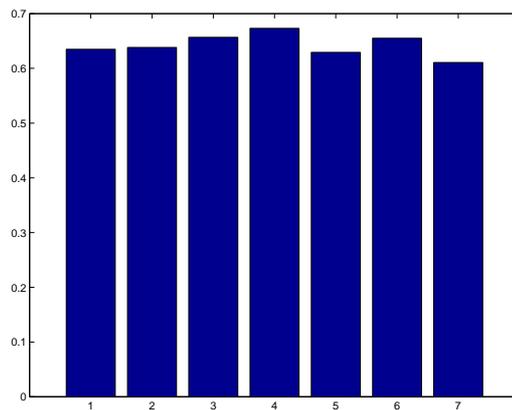


Figura 9.85: Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência.

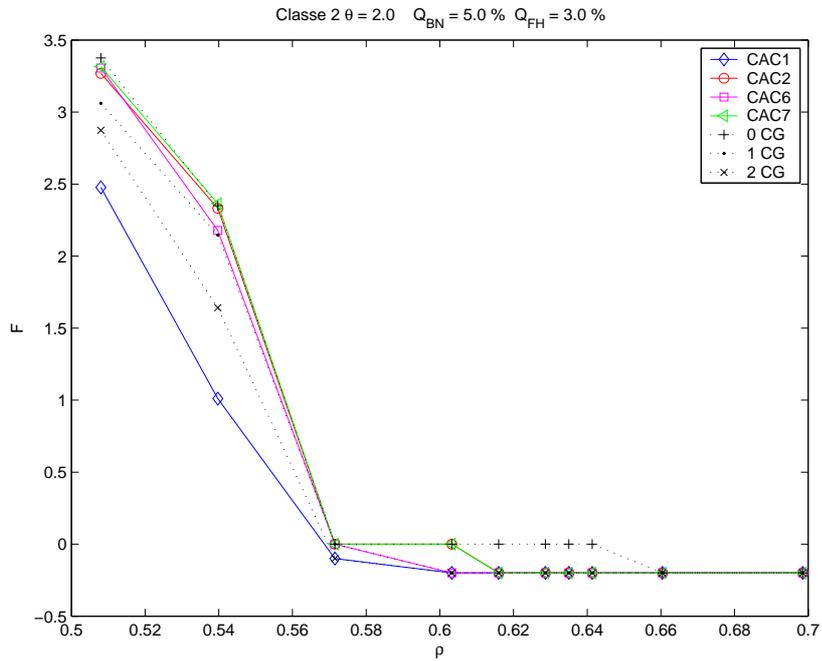


Figura 9.86: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência.

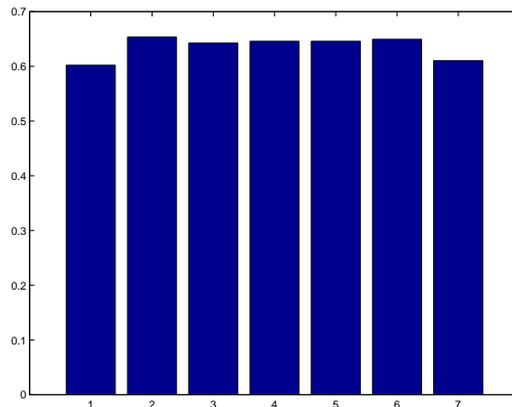


Figura 9.87: Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência.

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 6$ e requisito de Qualidade de Serviço $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência.

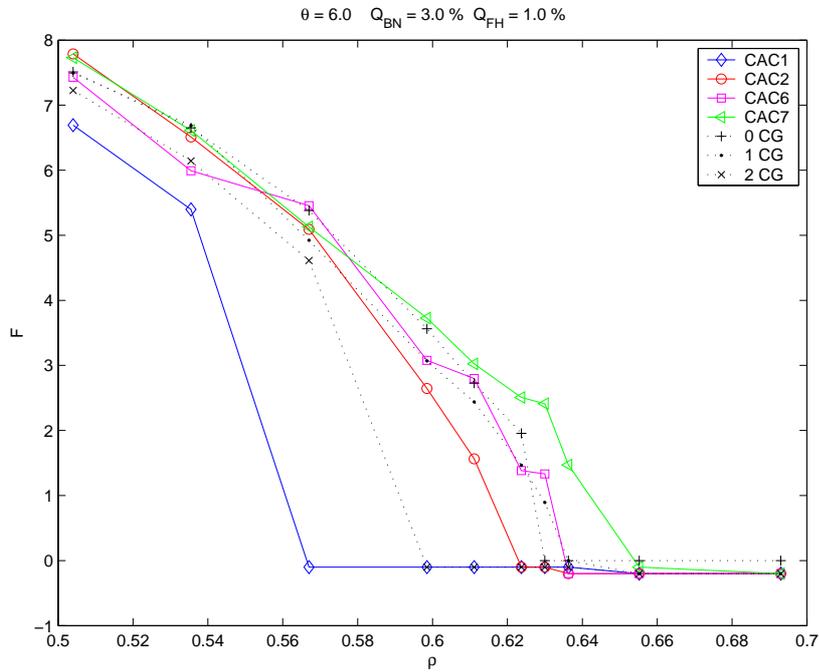


Figura 9.88: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência.

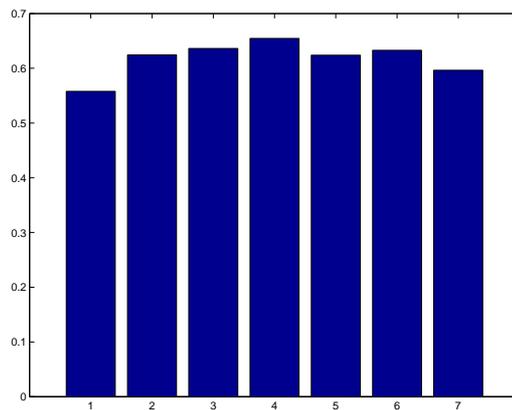


Figura 9.89: Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência.

Se o tempo de permanência do usuário na célula é modelado por uma distribuição uniforme, observa-se nas figuras 9.80, 9.81, 9.82 e 9.83 do caso

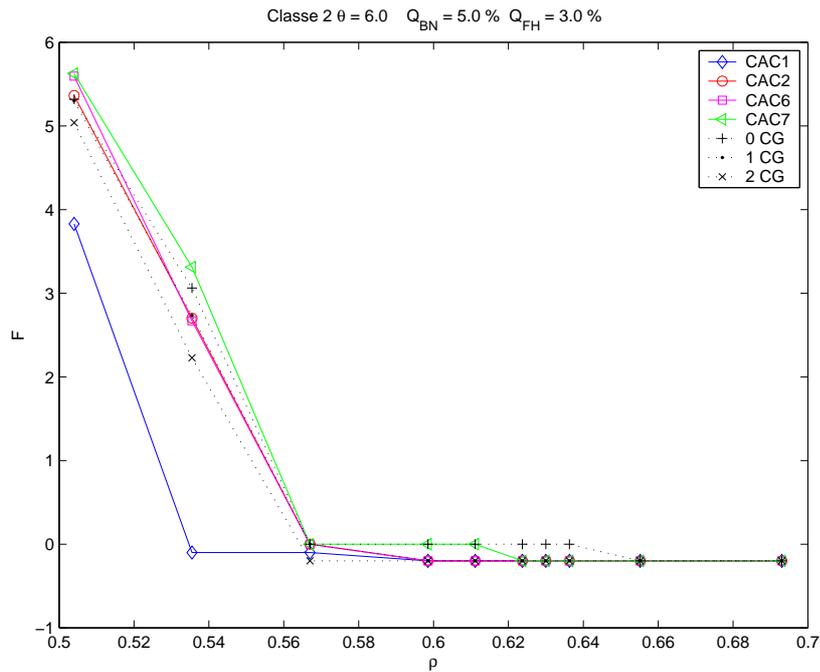


Figura 9.90: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência.

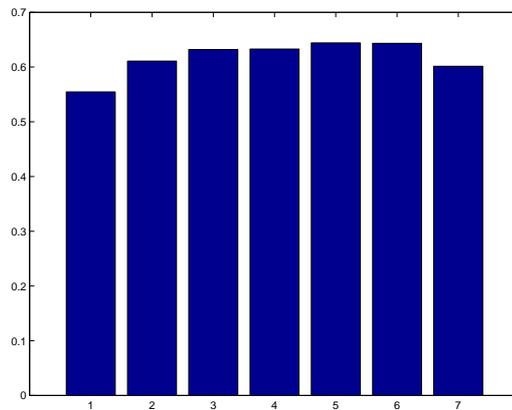


Figura 9.91: Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição uniforme para o tempo de permanência.

$\theta = 1$; nas figuras 9.84, 9.85, 9.86 e 9.87 do caso $\theta = 2$ e, finalmente nas figuras 9.88, 9.89, 9.90 e 9.91 do caso $\theta = 6$; que o algoritmo CAC7M apresenta o melhor desempenho. Tal resultado é interessante pois o seu projeto original utiliza a distribuição exponencial para a modelagem do tempo de permanência ao invés da distribuição uniforme como no cenário testado.

9.5.6

Comparação do Desempenho dos Algoritmos Propostos Considerando Distribuição Weibull para o Tempo de Permanência do Usuário na Célula

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 1$ e requisito de Qualidade de Serviço $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência.

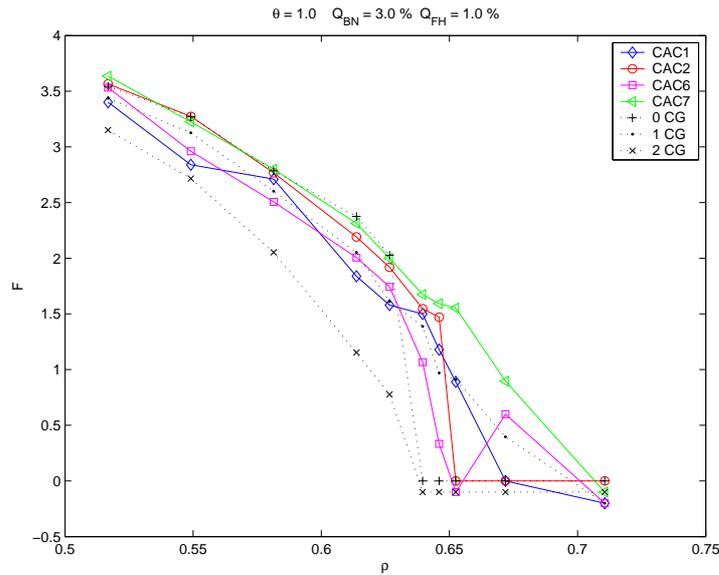


Figura 9.92: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência.

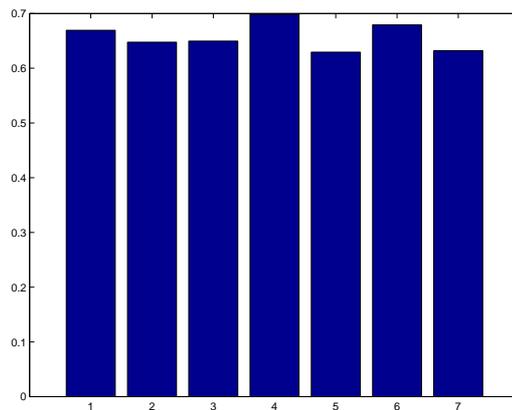


Figura 9.93: Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência.

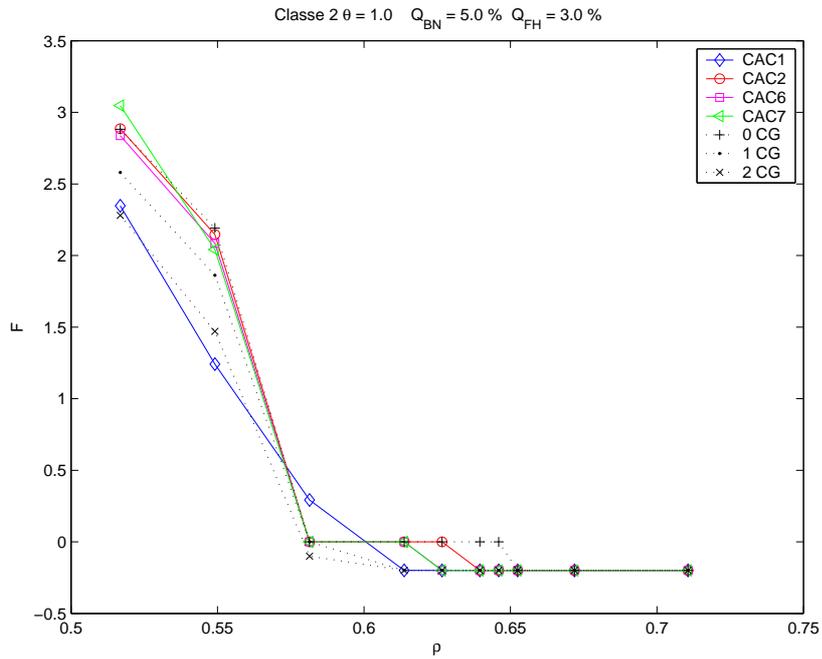


Figura 9.94: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência.

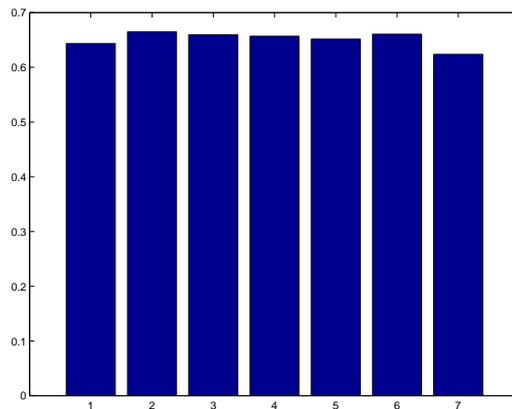


Figura 9.95: Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência.

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 2$ e requisito de Qualidade de Serviço $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência.

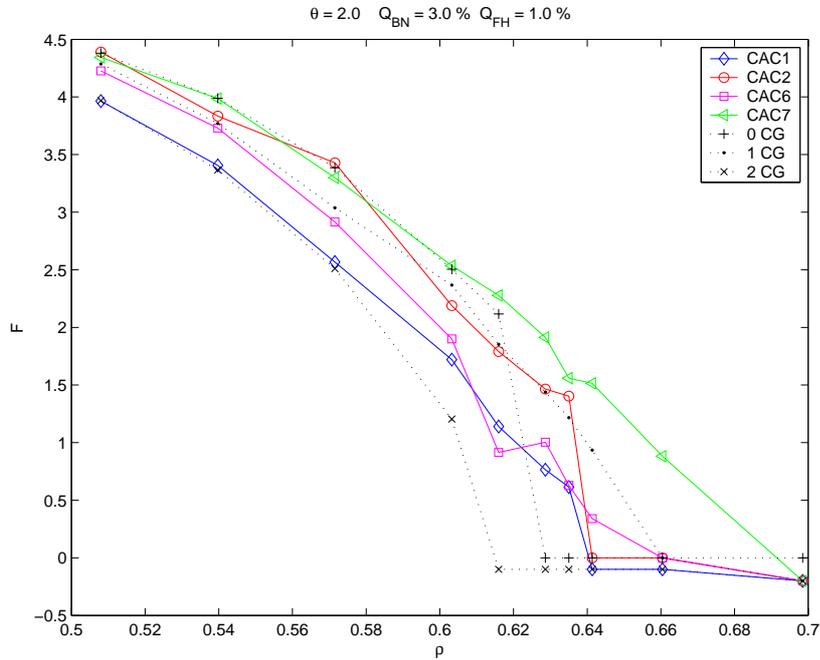


Figura 9.96: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência.

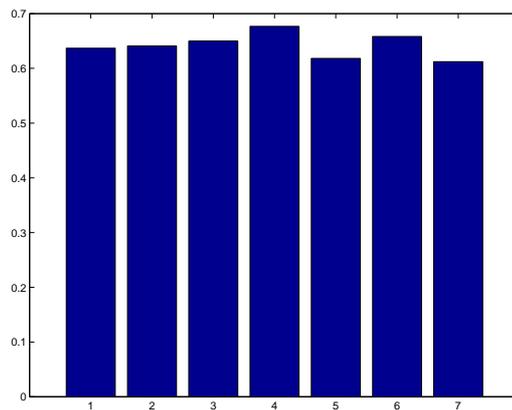


Figura 9.97: Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência.

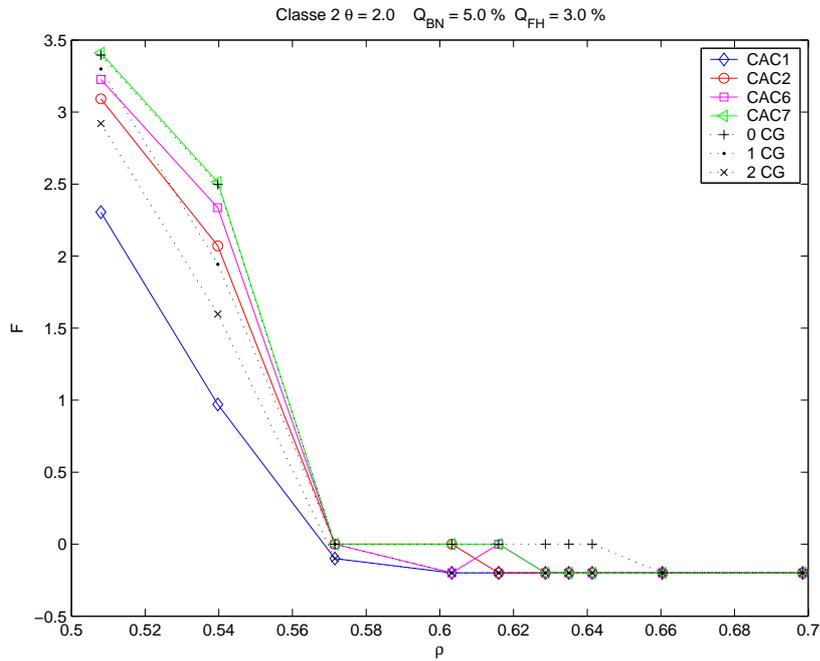


Figura 9.98: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência.

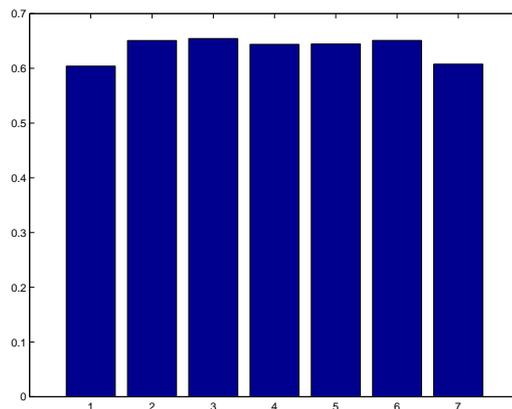


Figura 9.99: Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 2$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência.

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 6$ e requisito de Qualidade de Serviço $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência.

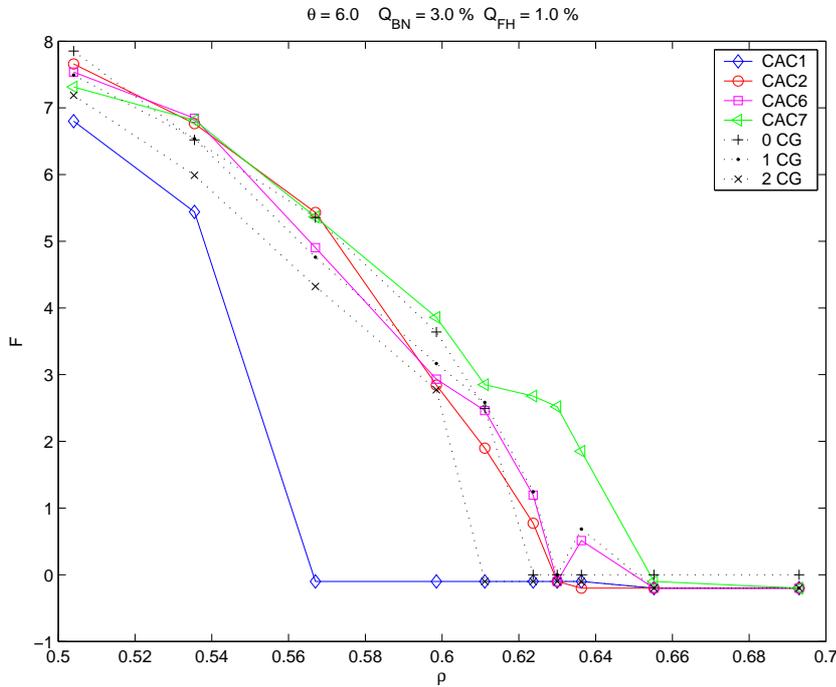


Figura 9.100: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência.

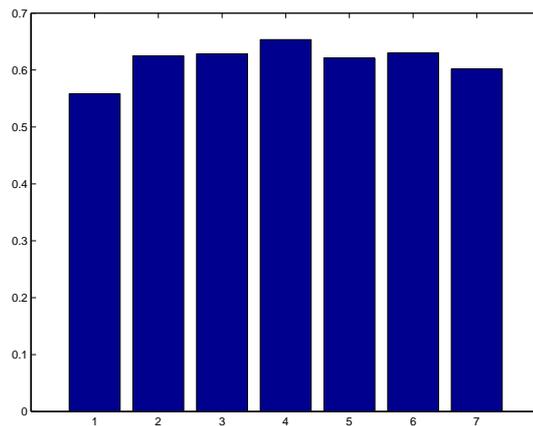


Figura 9.101: Parâmetro I para usuários da classe 1, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência.

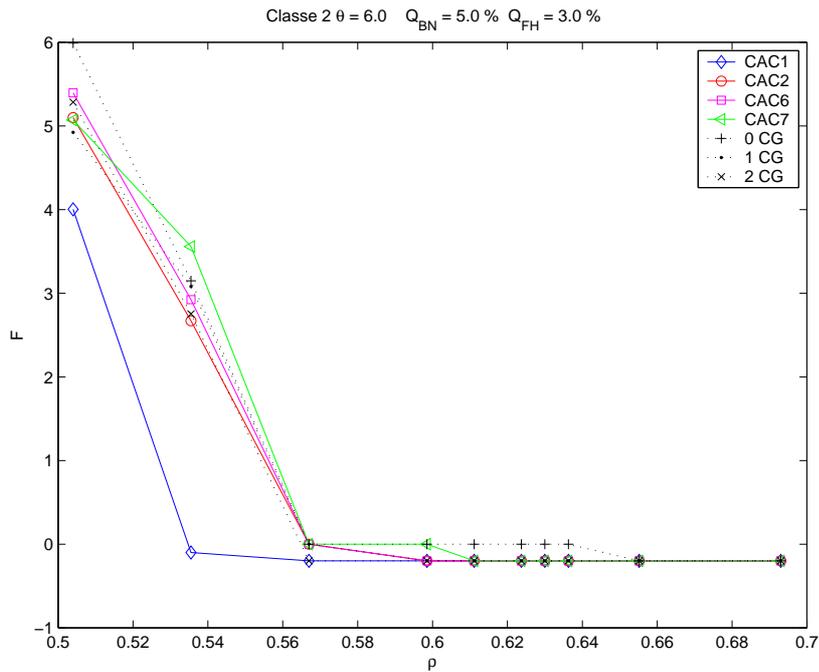


Figura 9.102: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência.

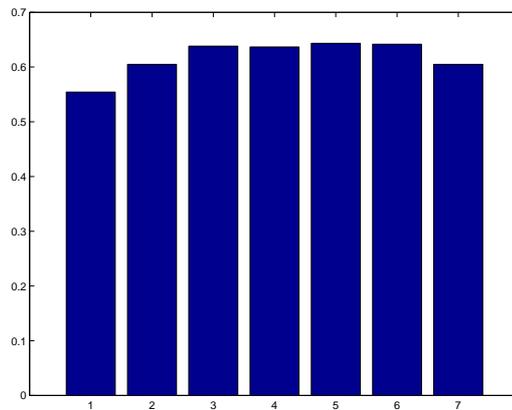


Figura 9.103: Parâmetro I para usuários da classe 2, para algoritmos (1)CAC1, (2)CAC2, (3)CAC6, (4)CAC7, (5)0CG, (6)1CG e (7)2CG, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, considerando distribuição Weibull para o tempo de permanência.

Observa-se que o desempenho do algoritmo CAC7M também é o melhor no caso em que o tempo de permanência é modelado pela distribuição Weibull.

9.5.7

Comportamento do algoritmo CAC1M com a Distribuição que Modela o Tempo de Permanência de usuário na Célula

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 1$ e requisito de Qualidade de Serviço

$Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC1M.

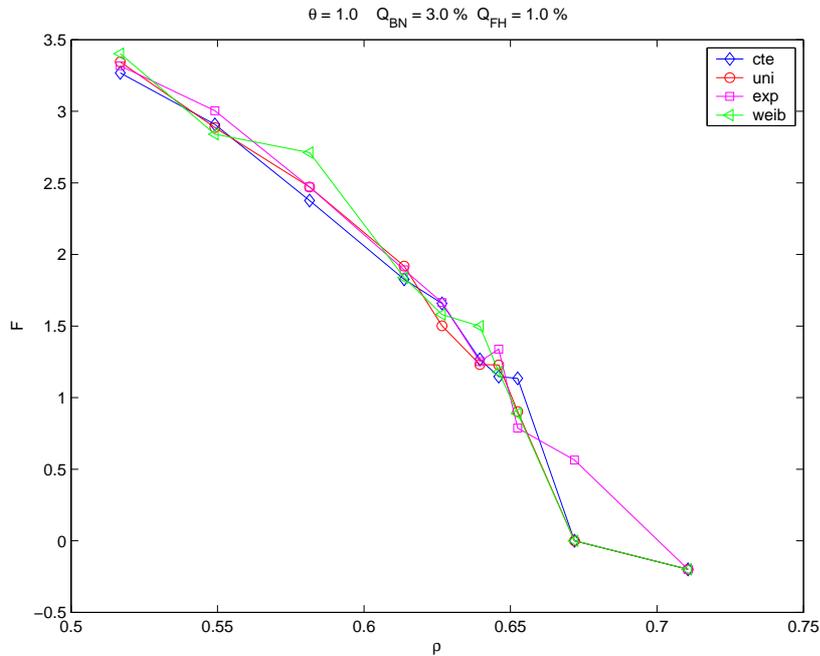


Figura 9.104: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC1M.

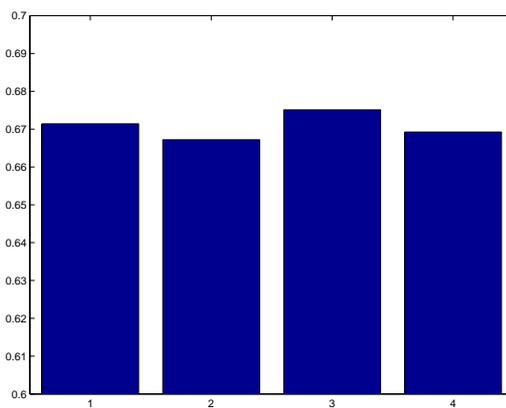


Figura 9.105: Parâmetro I para usuários da classe 1, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC1M.

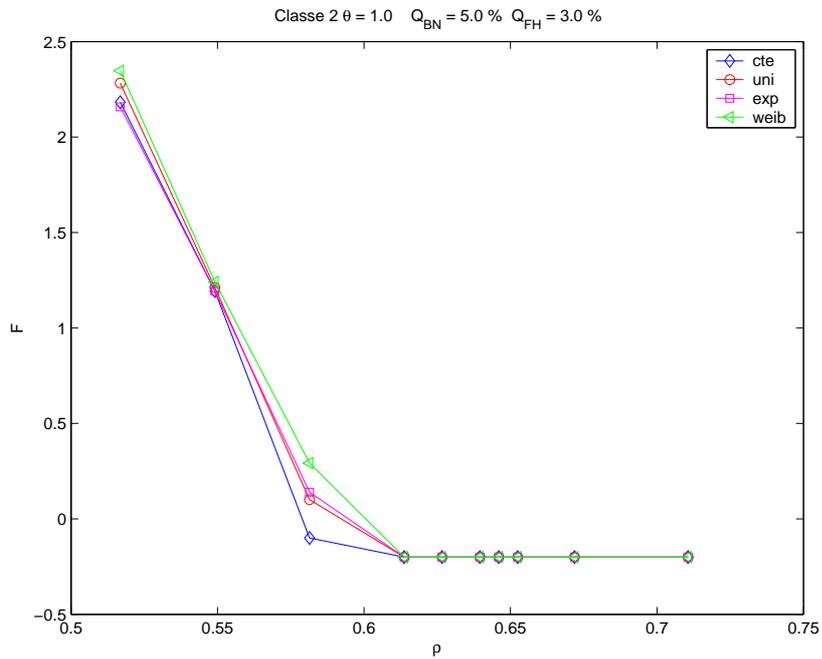


Figura 9.106: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC1M.

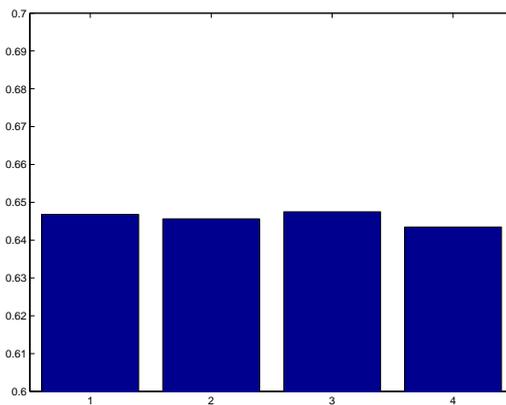


Figura 9.107: Parâmetro I para usuários da classe 2, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC1M.

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 6$ e requisito de Qualidade de Serviço $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC1M.

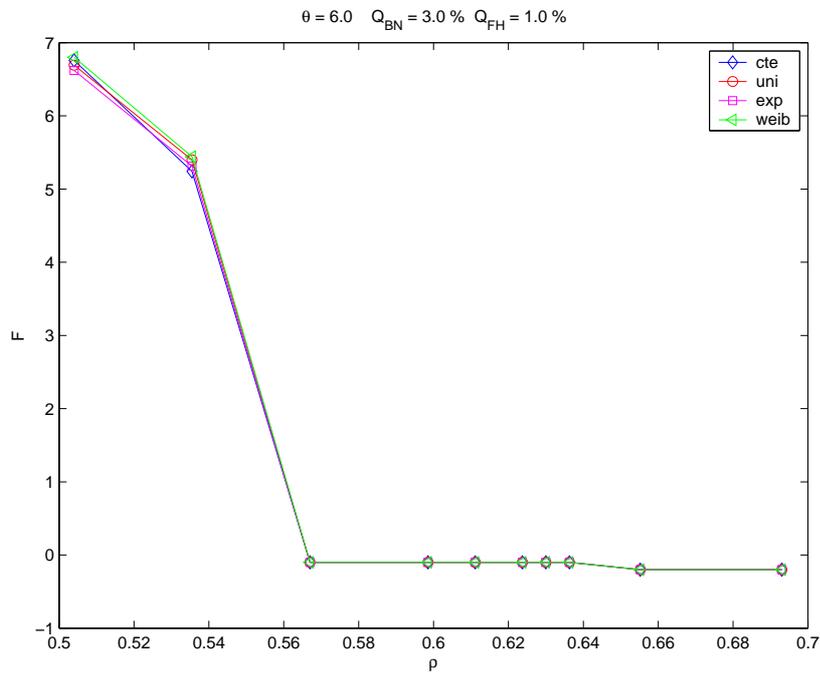


Figura 9.108: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC1M.

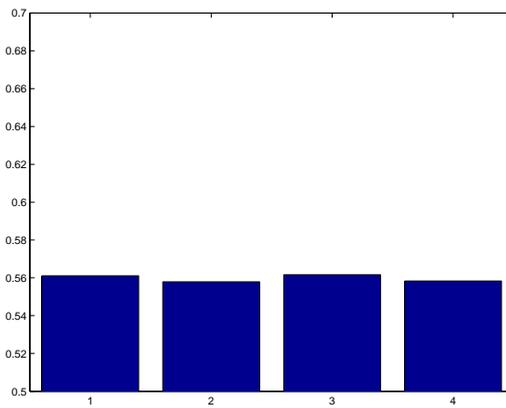


Figura 9.109: Parâmetro I para usuários da classe 1, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC1M.

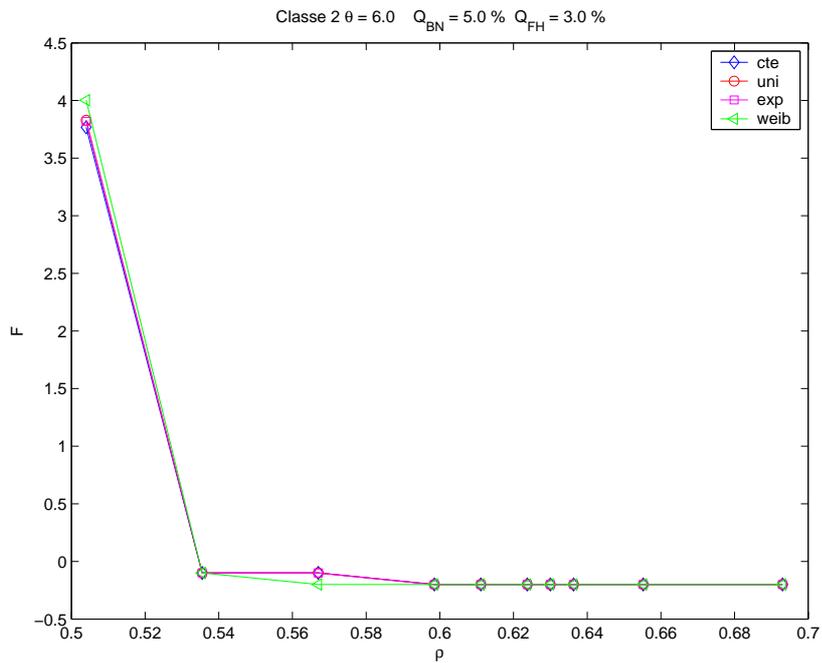


Figura 9.110: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC1M.

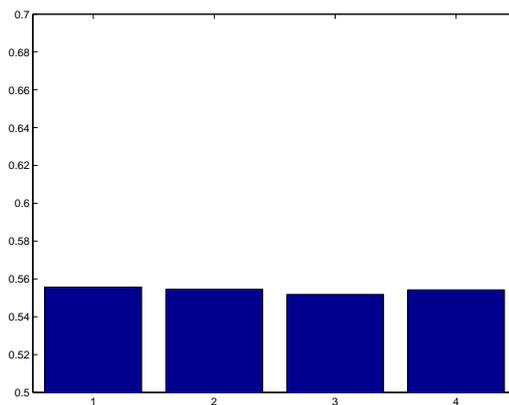


Figura 9.111: Parâmetro I para usuários da classe 2, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC1M.

9.5.8

Comportamento do algoritmo CAC2M com a Distribuição que Modela o Tempo de Permanência de usuário na Célula

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 1$ e requisito de Qualidade de Serviço

$Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC2M.

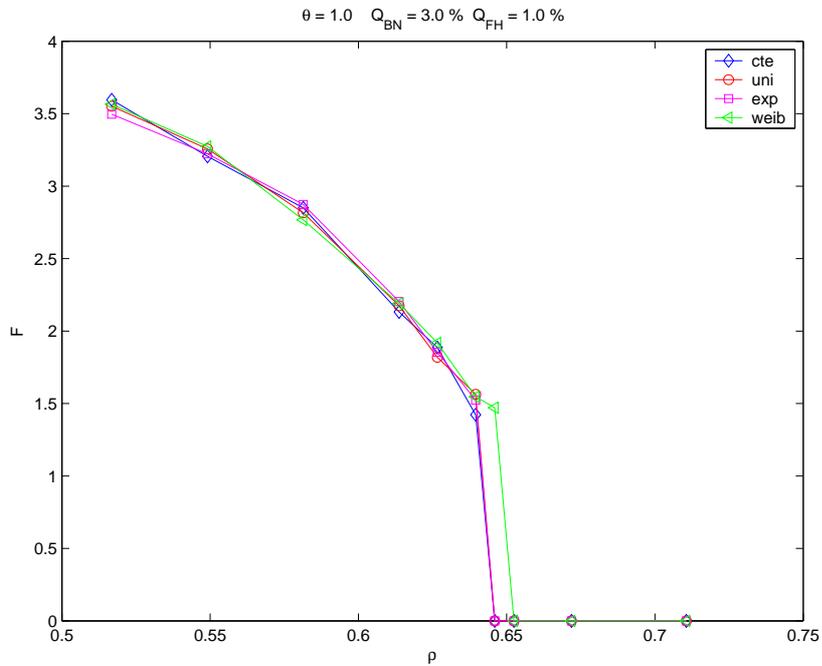


Figura 9.112: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC2M.

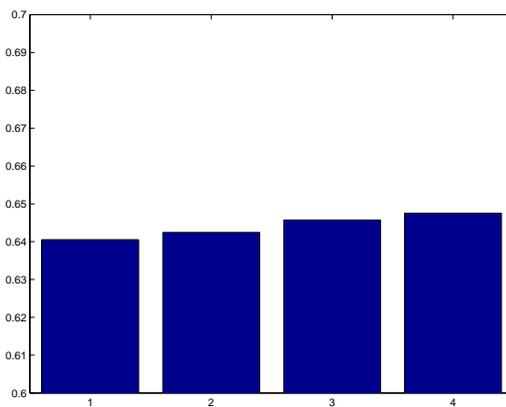


Figura 9.113: Parâmetro I para usuários da classe 1, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC2M.

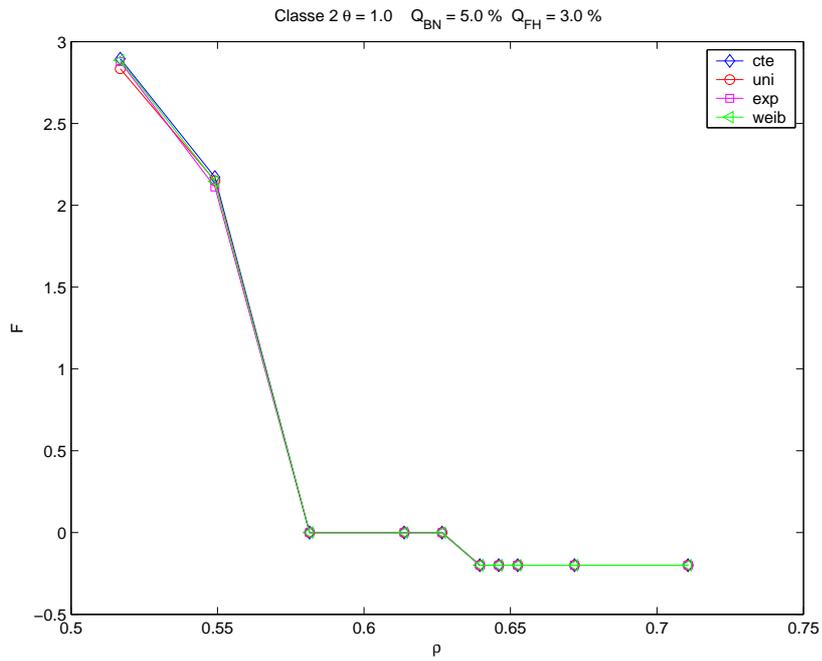


Figura 9.114: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC2M.

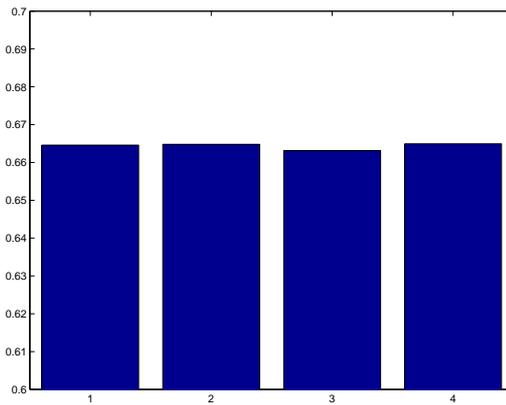


Figura 9.115: Parâmetro I para usuários da classe 2, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC2M.

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 6$ e requisito de Qualidade de Serviço $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC2M.

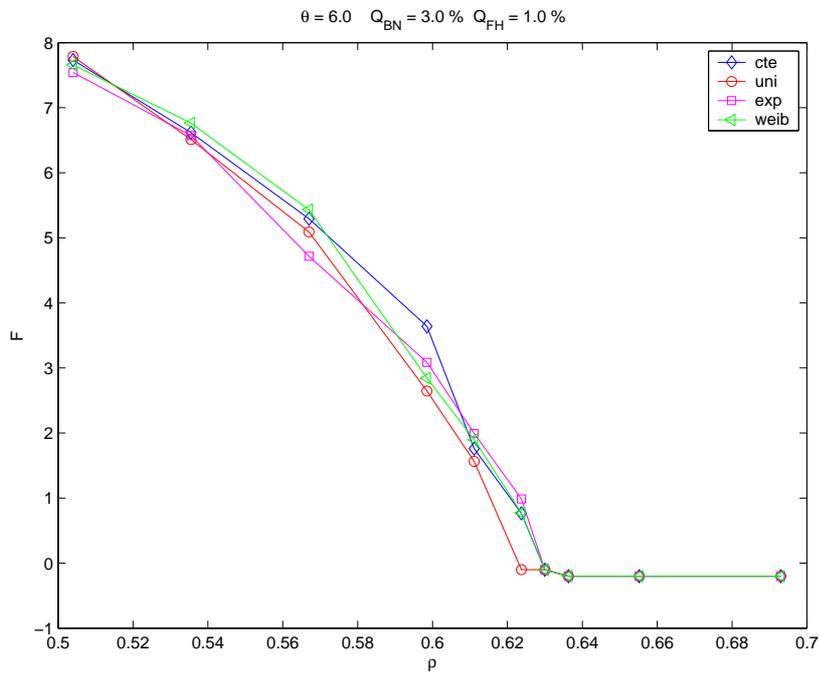


Figura 9.116: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC2M.

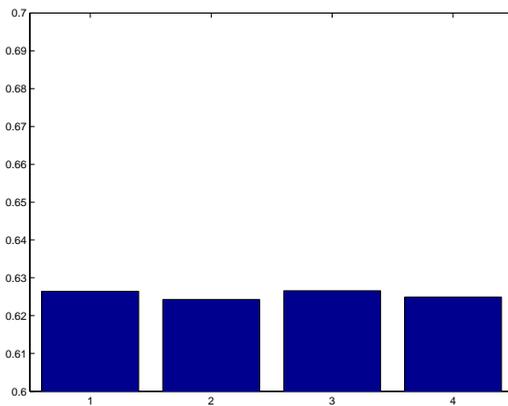


Figura 9.117: Parâmetro I para usuários da classe 1, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC2M.

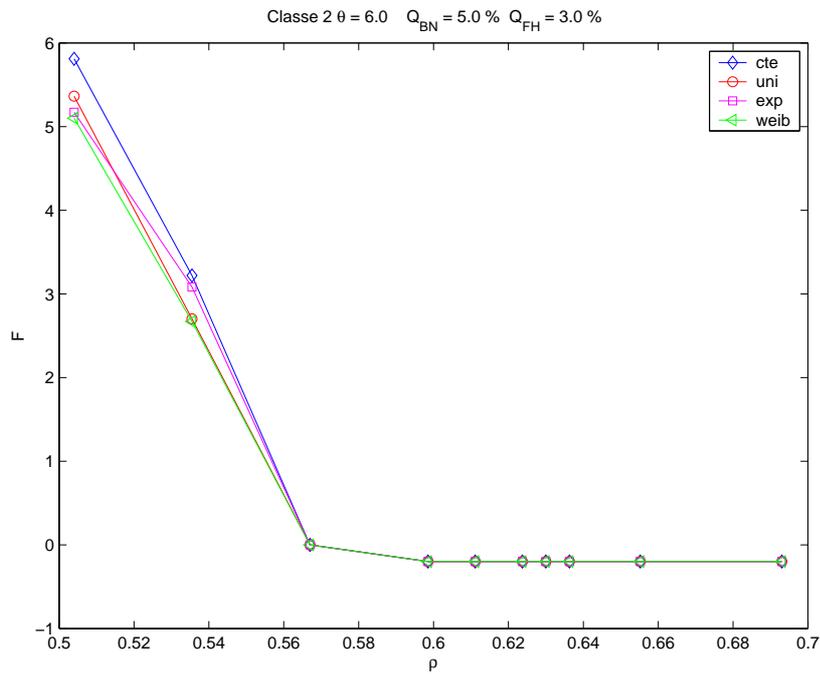


Figura 9.118: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC2M.

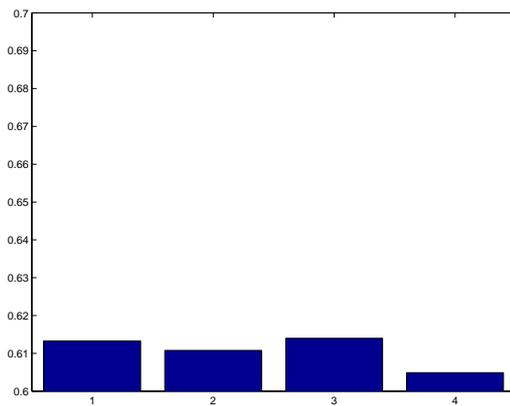


Figura 9.119: Parâmetro I para usuários da classe 2, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC2M.

9.5.9

Comportamento do algoritmo CAC6M com a Distribuição que Modela o Tempo de Permanência de usuário na Célula

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 1$ e requisito de Qualidade de Serviço

$Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC6M.

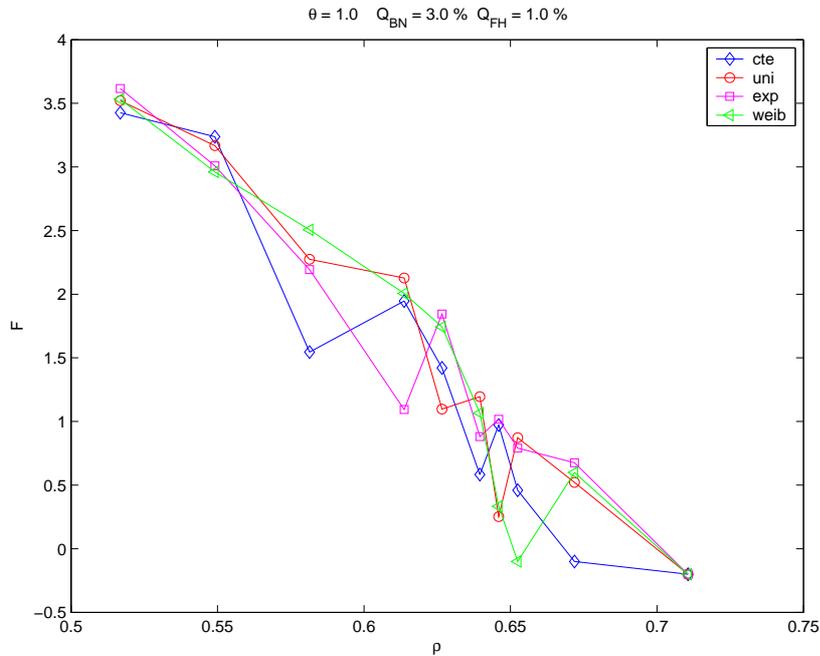


Figura 9.120: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC6M.

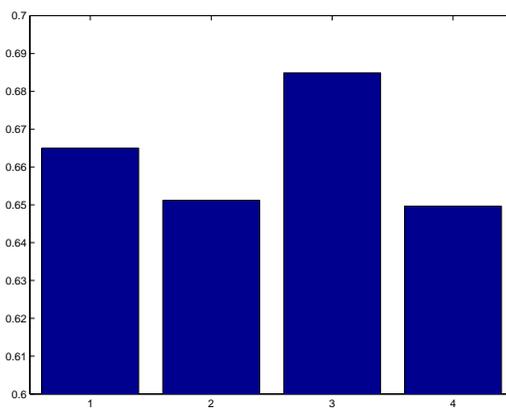


Figura 9.121: Parâmetro I para usuários da classe 1, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC6M.

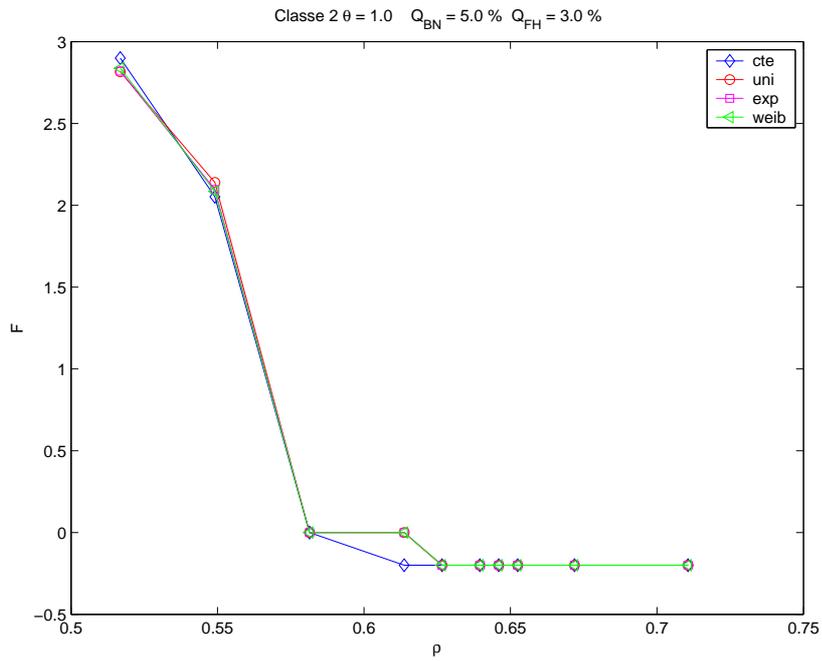


Figura 9.122: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC6M.

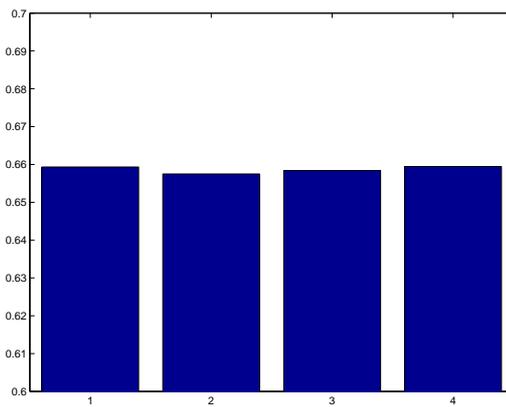


Figura 9.123: Parâmetro I para usuários da classe 2, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC6M.

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 6$ e requisito de Qualidade de Serviço $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC6M.

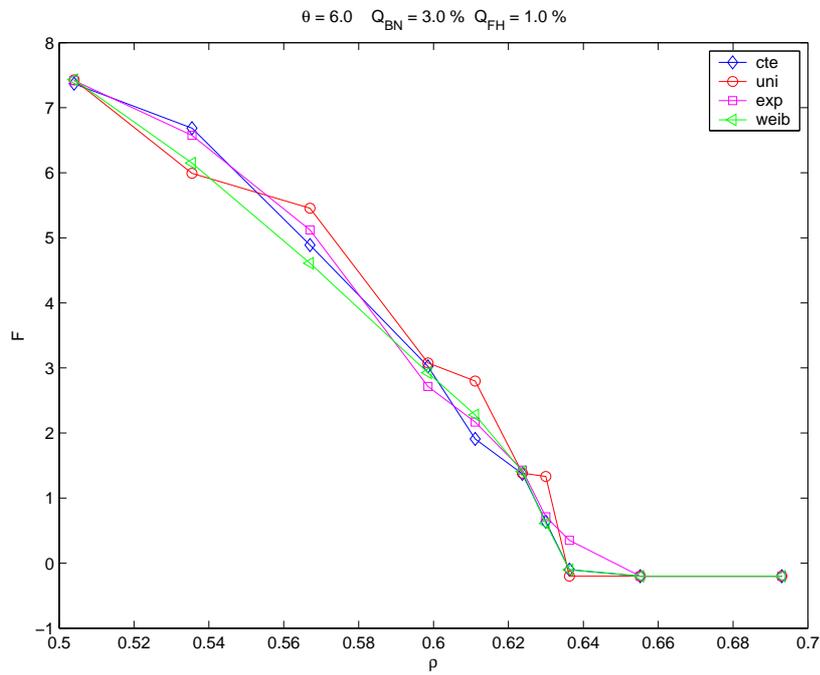


Figura 9.124: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC6M.

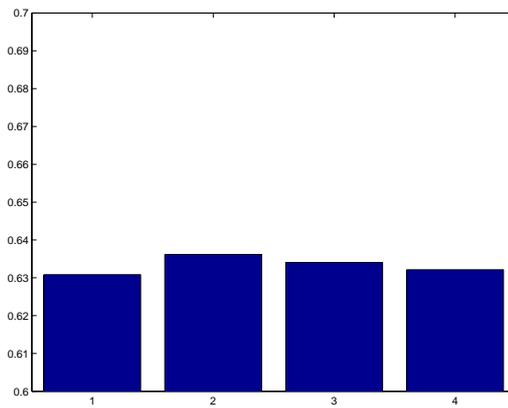


Figura 9.125: Parâmetro I para usuários da classe 1, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC6M.

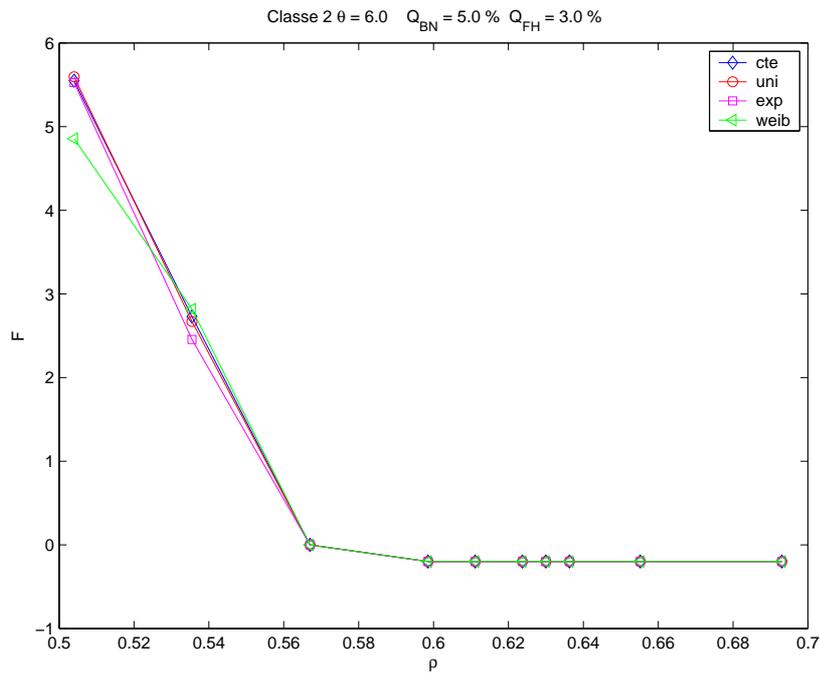


Figura 9.126: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC6M.

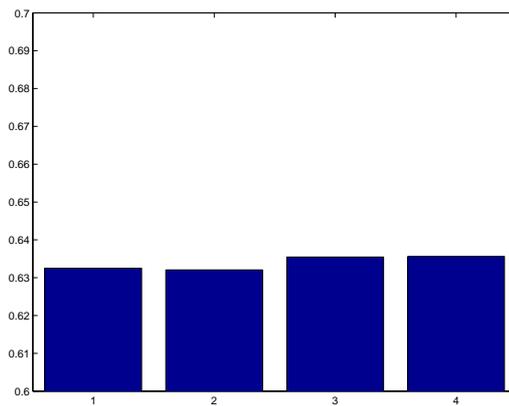


Figura 9.127: Parâmetro I para usuários da classe 2, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC6M.

9.5.10

Comportamento do algoritmo CAC7M com a Distribuição que Modela o Tempo de Permanência de usuário na Célula

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 1$ e requisito de Qualidade de Serviço

$Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC7M.

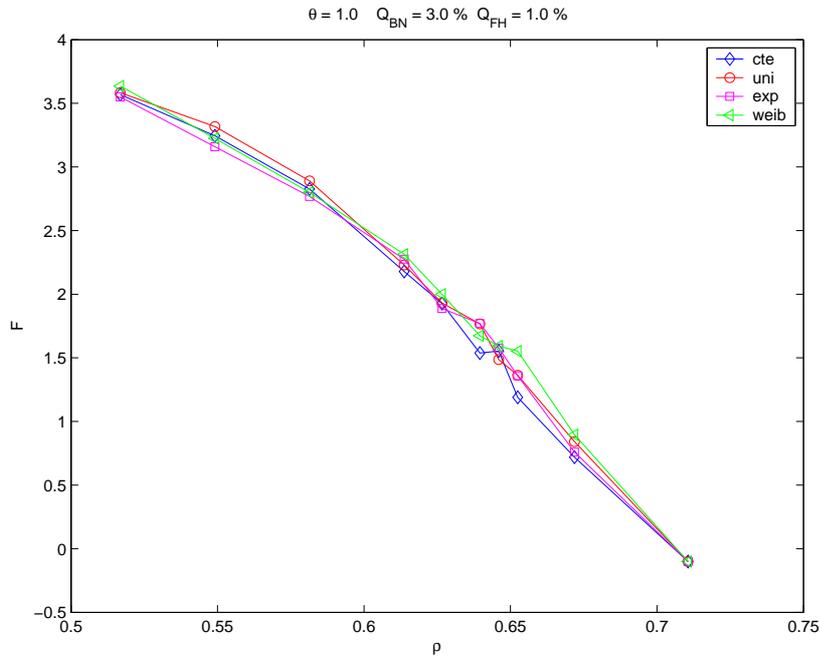


Figura 9.128: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC7M.

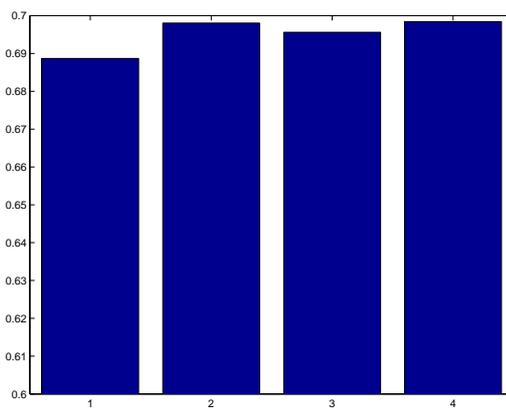


Figura 9.129: Parâmetro I para usuários da classe 1, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC7M.

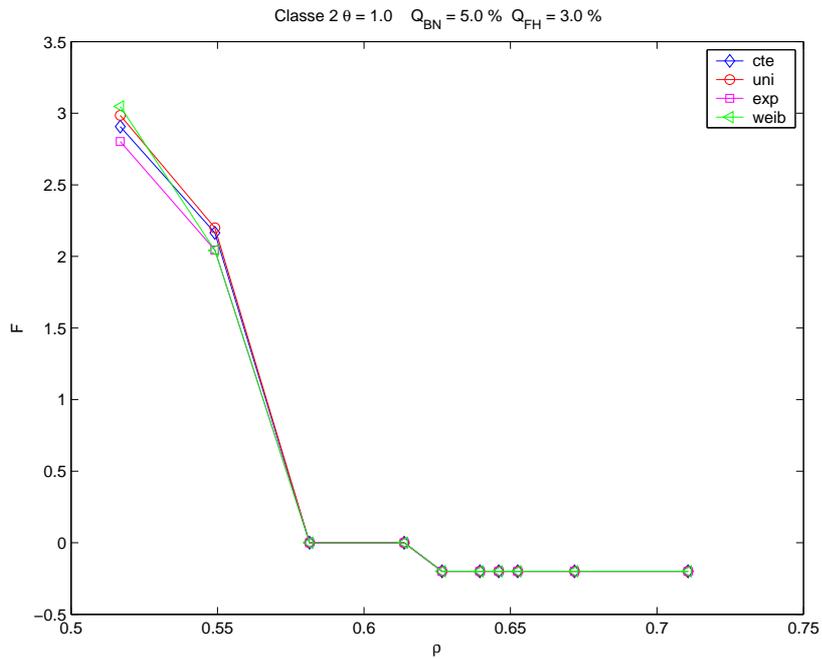


Figura 9.130: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC7M.

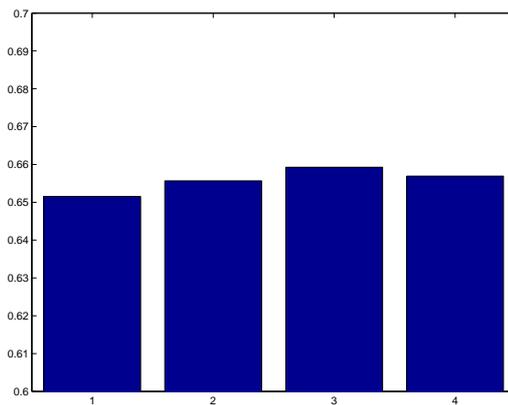


Figura 9.131: Parâmetro I para usuários da classe 2, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 1$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC7M.

Caso Taxa de mobilidade $\theta = 6$ e requisito de Qualidade de Serviço $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2}) = (3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC7M.

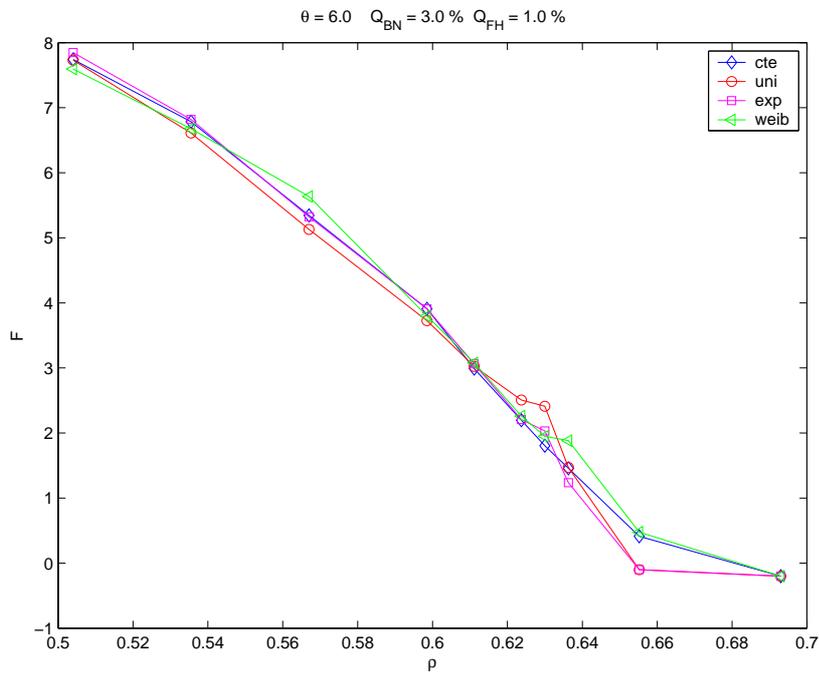


Figura 9.132: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 1, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC7M.

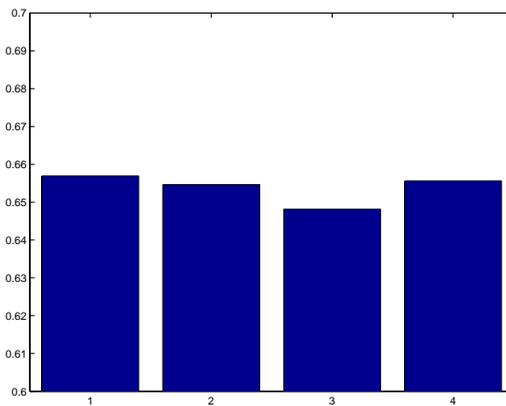


Figura 9.133: Parâmetro I para usuários da classe 1, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC7M.

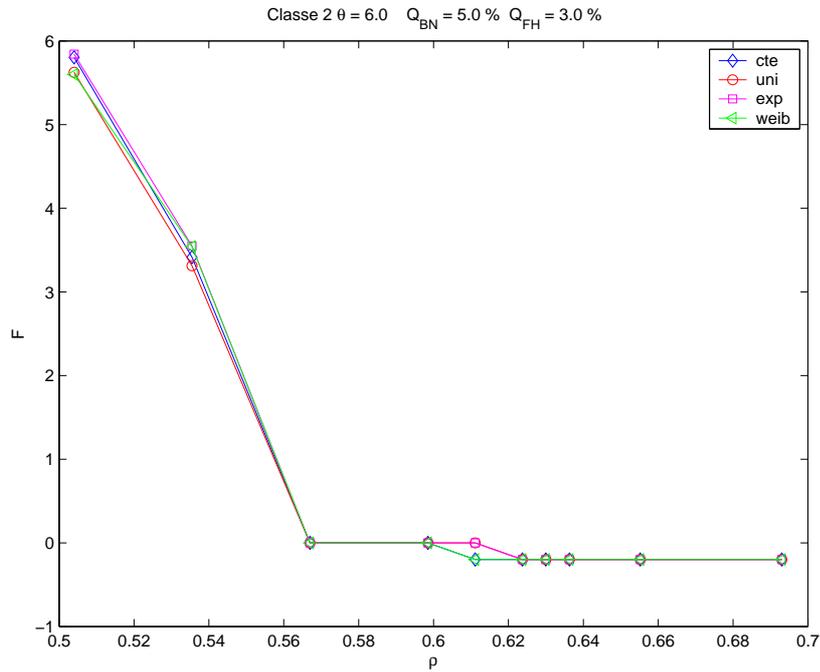


Figura 9.134: Parâmetro F versus intensidade de tráfego de entrada normalizada para usuários da classe 2, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC7M.

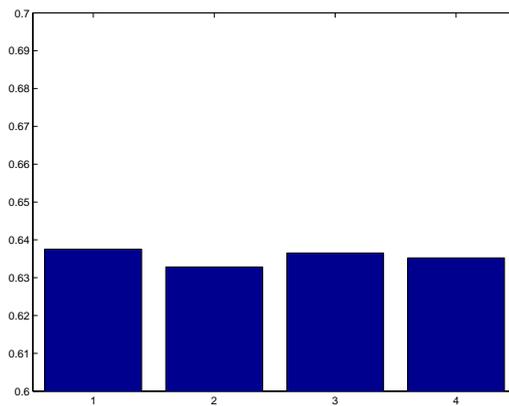


Figura 9.135: Parâmetro I para usuários da classe 2, considerando que o tempo de permanência do usuário na célula é dado pelas Distribuições (1)Constante, (2)Uniforme, (3)Exponencial, (4)Weibull, taxa de mobilidade $\theta = 6$, requisito $Q\%(3, 1, 5, 3)$, algoritmo CAC7M.

9.6 Conclusão

Neste capítulo foram apresentados quatro algoritmos propostos para M classes de usuários. Os algoritmos foram testados no caso de duas classes de usuários, $M = 2$, então são quatro tipos diferentes de usuários: os usuários novos e em *handoff* da classe 1, $(N1, H1)$, e os usuários novos e em *handoff* da classe 2, $(N2, H2)$.

Todos algoritmos propostos para M classes são extensões daqueles definidos para uma classe no capítulo 5, e são dinâmicos e distribuídos.

Uma traço específico dos algoritmos propostos nesta tese é a preocupação simultânea com os $2M$ requisitos de qualidade de serviço, supondo M classes de usuários (novos e em *handoff*).

Outra característica importante das simulações realizadas neste trabalho é que o desempenho de cada classe de usuário é avaliado segundo as medidas de bloqueio obtidas e os respectivos requisitos de qualidade. Cada setor registra a entrada, ou não, de determinado tipo de chamada através de janelas de registro deslizantes descritas no capítulo 4. Os algoritmos dinâmicos de Controle de Admissão de Chamadas, CAC, baseiam-se nos valores instantâneos dos percentuais de bloqueio de novas chamadas e percentuais de falhas de chamadas em *handoff* de cada classe, denominada γ , denotados pelo par $(P_{BN}; P_{FH})_\gamma$, cujas medidas são chamadas de $(B_{BN}; B_{FH})_\gamma$. A tomada de decisão sobre aceitar ou não determinada chamada nos algoritmos propostos neste trabalho é feita de acordo com a comparação dos valores medidos, $(B_{BN}; B_{FH})_\gamma$, com os respectivos requisitos de QoS chamados de $(Q_{BN}; Q_{FH})_\gamma$.

Além da variação dos requisitos de qualidade, os algoritmos têm o seu desempenho avaliado de acordo com a taxa de mobilidade, θ , definida em (3-39), que obriga o sistema a se adaptar às características do perfil de tráfego em andamento.

Neste trabalho, em todos os cenários a taxa de chegada de usuários da classe 2 é igual à taxa de chegada de usuários da classe 1. Isso faz com que o sistema tenda a ser utilizado em 66% pela classe 2 que requer $2UB$ e em 33% pela classe 1 que solicita $1UB$. Deve-se notar que tal caso sobrecarrega um pouco o sistema com os usuários da classe 2 que requerem uma quantidade maior de recursos.

Ao aplicar a técnica de reserva de recursos com o objetivo de atender aos requisitos de qualidade de serviço, observou-se que é possível determinar o valor dos recursos a serem reservados de modo a se obter uma utilização

máxima. No entanto, a solução é possível somente até certo valor de intensidade de tráfego de entrada determinado pelas necessidades de banda de cada classe e pelo conjunto de requisitos de QoS. Para valores de intensidade de tráfego superiores, não é mais possível atender aos requisitos de qualidade de serviço.

Observa-se que o algoritmo *CAC7M* busca acompanhar a tabela com os valores ideais do número de recursos a ser reservado. Como o valor do número de recursos varia rapidamente com a intensidade de tráfego e com a taxa de mobilidade, sistemas que fossem mais eficientes na medida dos valores de (θ, ρ) tirariam um melhor proveito do algoritmo *CAC7M*. A medida apurada do perfil de tráfego está fora do escopo deste trabalho.

Nos gráficos correspondentes ao caso de distribuição exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula, observa-se que o algoritmo *CAC7M* tende a apresentar um bom desempenho, principalmente para a classe 1. Os algoritmos *CAC1M* e *CAC2M* apresentam bons desempenhos, porém isto não ocorre em todos os cenários. O algoritmo *CAC6M*, diante do fato de só se pretender alterar o número de recursos em faixas restritas, apresenta um comportamento que oscila na região de intensidade de tráfego próxima ao valor ρ_Q .

Outra observação interessante dos resultados apresentados neste capítulo é que o comportamento dos algoritmos não muda muito quando o tempo de permanência do usuário na célula é modelado por distribuições diferentes da exponencial. A distribuição que apresentou comportamento menos próximo ao da exponencial foi a distribuição Weibull. No caso em que a taxa de mobilidade é alta as curvas relativas às distribuições tendem a ficar bem próximas das curvas do caso exponencial. No caso em que a taxa de mobilidade é baixa, a distribuição constante para o tempo de permanência provoca maiores percentuais de bloqueio pois a constante é maior para mobilidade baixa fazendo com que ocorra um maior número de chamadas mais longas em relação ao caso de mobilidade alta.

10

Conclusões e Trabalhos futuros

Este capítulo apresenta as conclusões desta tese e sugere questões para trabalhos futuros.

10.1

Conclusões

Uma das principais mudanças que vivemos ao longo da última década foi o crescimento da telefonia móvel. Os aparelhos celulares estão menores e mais baratos e a sociedade incentiva a conexão permanente em qualquer lugar, a qualquer hora. No entanto, os recursos da rede estão baseados no espectro de frequências que é limitado.

Além disto, o emprego dos recursos das redes móveis para o envio de dados, além da aplicação original que era a comunicação via voz, modifica o perfil do tráfego na rede. Sendo assim, o centro de interesse desta tese foi apresentar soluções para que se possa utilizar bem os recursos da rede e manter a qualidade do serviço prestado.

O controle de admissão de chamadas é um elemento-chave da rede que é responsável por aceitar ou não uma chamada de acordo com sua demanda de recursos; sua classe de tarifação, seus requisitos de qualidade de serviço (QoS) e se o usuário é um usuário novo tentando ser aceito no sistema, ou se está em procedimento de *handoff*, proveniente de outra célula. Diante de tal importância, optou-se por desenvolver este trabalho na área de controle de admissão de chamadas.

Com o objetivo de atingir os graus de qualidade de serviço desejados para cada uma das classes de usuário existente no sistema, são analisadas técnicas que utilizam o conceito de reserva de recursos, também conhecido por uso de canais de guarda. Resultados analíticos para desempenho dos algoritmos que utilizam um número fixo de recursos reservados são apresentados empregando uma modelagem por Cadeia de Markov M-dimensional.

Os recursos a serem distribuídos entre os usuários são definidos como unidades de banda (UB) e podem representar os recursos dos vários sistemas existentes. Os recursos nos sistemas FDMA são canais ou frequências, nos sistemas TDMA são divisões de tempo, nos sistemas CDMA são códigos e níveis de potência e nos sistemas OFDMA são frequências e divisões de tempo. Portanto, o estudo apresentado neste trabalho pode ser aplicado em diversos sistemas. Os trabalhos recentes [36], [70] e [6] apresentam algoritmos de controle de admissão que podem ser utilizados nos padrões que adotam tecnologia OFDMA que utiliza *slots*, definidos por conjuntos de subportadoras e janelas de tempo em cada uma delas, como recursos a serem alocados recaindo então no problema que é considerado neste trabalho.

Nesta tese foram desenvolvidos algoritmos de Controle de Admissão de Chamadas (CAC) que são adaptativos ao tráfego em andamento no sistema. Cada Estação Rádio Base (ERB) controla a entrada de chamadas ao seu sistema de forma dinâmica, de acordo com as características do tráfego em andamento e do desempenho do sistema. Além de serem dinâmicos, os algoritmos propostos são distribuídos. Não há necessidade de troca de informação entre as Bases para a tomada de decisão da solicitação de recurso rádio, diminuindo o volume de informações de controle na rede.

Os algoritmos propostos consideram M classes de usuários que são subdivididas em $2M$ tipos diferentes de usuários. Para cada classe há uma demanda diferente de recursos da rede e cada classe está dividida entre usuários de chamadas novas e usuários de sessões transferidas de outras células. Os requisitos de qualidade de serviço considerados são os percentuais de bloqueio aceitáveis para chamadas novas e para chamadas em *handoff*. Para um total de M classes, são $2M$ requisitos de QoS. Inicialmente, foi considerado o caso $M=1$, onde uma classe de usuário é dividida em duas: a classe das chamadas novas e a classe das chamadas de usuários em *handoff*. O desenvolvimento analítico, que já havia sido proposto anteriormente, foi revisto no capítulo 3. É importante observar que, ao se considerar dois requisitos de qualidade de serviço independentes, um para o bloqueio de chamadas novas Q_{BN} e outro para a falha de chamadas em *handoff* Q_{FH} , o caso $M=1$, na realidade, equivale a duas classes de usuários.

Também é parte integrante deste trabalho o desenvolvimento de um simulador de um sistema de comunicações móveis, em linguagem C, para verificar o desempenho dos algoritmos aqui propostos. O simulador comporta uma ou mais classes de usuário com valores diferentes de demanda de recursos do sistema e requisitos de qualidade de serviço. Os detalhes do simulador estão no capítulo 4. Seus resultados são confirmados com

resultados analíticos da probabilidade de falha de chamadas em *handoff*, da probabilidade de bloqueio de chamadas novas e da utilização dos recursos rádio, para sistemas cujo controle de admissão é estático.

Os seis primeiros algoritmos propostos são apresentados no capítulo 5. Estes algoritmos possuem objetivos diferentes entre si e consideram uma classe de usuários dividida entre usuários novos e em *handoff*. Seus requisitos de qualidade de serviço são diferentes e são denominados de vetor de QoS $Q\% = (Q_{BN}; Q_{FH})$. Dentre estes algoritmos, apenas o CAC5 não utiliza os canais de guarda de uma forma explícita. No entanto, ao admitir o usuário solicitante de acordo com um critério probabilístico, o algoritmo está reservando recursos para outros usuários que venham a solicitá-los mais tarde. Foi provado no capítulo 5 que, de acordo com as condições de mobilidade, o algoritmo CAC5 se porta de forma equivalente a utilização de canais de guarda para usuários em *handoff* ou como canais de reserva para usuários novos.

No capítulo 6 foi desenvolvido um método que permite calcular a intensidade de tráfego máxima à qual o sistema pode ser submetido, atendendo aos valores de qualidade de serviço estabelecidos, no caso $M=1$ e tempo de retenção do recurso rádio modelado por uma chamada com distribuição exponencial. Além da intensidade de tráfego máxima, o método também calcula a quantidade de recursos a ser reservada para diferentes perfis de mobilidade, assumindo que o objetivo é maximizar a utilização do sistema. Foi proposto um algoritmo simples, dinâmico e distribuído, baseado em medidas em tempo real, cuja meta é acompanhar a curva ótima de número de recursos reservados. Observou-se que o algoritmo apresenta um excelente desempenho diante do modelo de tráfego em que o tempo de retenção do recurso do sistema é dado pela distribuição exponencial.

O capítulo 7 compara o desempenho dos sete algoritmos através de três métricas M , F e I definidas nesta tese. A comparação tem o objetivo de ampliar estudo sobre as possibilidades de se atender aos requisitos de qualidade de serviço nos diversos cenários que envolvem a mobilidade dos usuários e a intensidade de tráfego de entrada, considerando diferentes distribuições para o tempo de permanência do usuário na célula que define o tempo de retenção do recurso da rede.

A maioria dos trabalhos encontrados na bibliografia utiliza a distribuição exponencial para o tempo de permanência do usuário na célula. Neste trabalho, além da distribuição exponencial, a permanência do usuário na célula também é modelada pelas distribuições uniforme, constante e Weibull, apresentando o desenvolvimento analítico para o cálculo do tempo

de retenção e o comportamento simulado da rede. Observou-se no capítulo 7 que quase não há diferença entre os resultados obtidos com a utilização da distribuição exponencial e os resultados obtidos através das distribuições uniforme, constante e Weibull para o tempo de permanência do usuário na célula, principalmente nos casos em que a mobilidade é baixa.

Os cálculos referentes ao tempo de retenção do canal quando a distribuição do tempo de permanência do usuário é dada pelas distribuições constante, uniforme, exponencial e Weibull estão no apêndice A.

Na etapa seguinte são considerados usuários de múltiplas classes, ou seja, os usuários podem entrar no sistema solicitando quantidades diferentes de recursos ou com diferentes requisitos de qualidade de serviço. Os recursos limitados da rede sem fio são alocados pelo CAC aos usuários que solicitam recursos do sistema considerando: sua classe de usuário; se o solicitante é um usuário em *handoff* ou se é um usuário novo; e o desempenho instantâneo do sistema para cada tipo de usuário. O objetivo é atender, de uma forma eficiente, aos diferentes tipos de tráfego, respeitando seus requisitos de QoS.

Através dos resultados apresentados no capítulo 8, observou-se que uma alteração em cada uma das restrições de uma classe altera o valor dos percentuais de bloqueio de todas as classes. Isso se deve ao fato de que as taxas de mensagens admitidas em cada classe são influenciadas pelo valor das restrições estabelecido e qualquer mudança nas taxas altera o valor das probabilidades estacionárias dos estados da cadeia de Markov. Observou-se também que, conforme esperado, o percentual de bloqueio cujo valor é mais afetado é exatamente o correspondente ao requisito alterado. Concluímos que o bloqueio é uma combinação do Vetor Restrição R , da requisição de banda B_γ e do percentual de usuários de cada classe, além das condições do tráfego. O modelo analítico apresentado no capítulo 8 para $2M$ classes generaliza o modelo do capítulo 3 para o caso $M=1$.

No capítulo 9 foram apresentados quatro algoritmos propostos para M classes de usuários. Alguns dos algoritmos definidos para o caso de $M=1$ são estendidos para o caso de $M=2$. Os algoritmos foram testados no caso em que $M = 2$, portanto lidam com os usuários novos e em *handoff* da classe 1, $(N1, H1)$, e com os usuários novos e em *handoff* da classe 2, $(N2, H2)$. Seu desempenho também é avaliado, utilizando o simulador desenvolvido neste trabalho. O método para calcular a intensidade máxima de recursos que o sistema comporta, sem violar os requisitos de qualidade de serviço, é estendido para o caso de duas classes de usuários, considerando quatro requisitos de qualidades de serviço independentes, $Q\% = (Q_{BN1}, Q_{FH1}, Q_{BN2}, Q_{FH2})$. Da mesma forma que os algoritmos

propostos para uma classe de usuários $M = 1$, apresentados no capítulo 5, todos algoritmos propostos para $M = 2$, no capítulo 9, são dinâmicos e distribuídos. Cada setor registra a entrada, ou não, de determinado tipo de chamada através de janelas de registro deslizantes descritas no capítulo 4.

Finalmente, ainda no capítulo 9, a definição dos parâmetros F e I é estendida para o caso de M classes permitindo comparar o desempenho dos algoritmos com $M > 1$, considerando uma distribuição genérica para o tempo de permanência do usuário na célula.

Um traço específico dos algoritmos propostos nesta tese é a preocupação simultânea com $2M$ requisitos de qualidade de serviço, supondo M classes de usuários (novos e em *handoff*). O desempenho de cada classe de usuário é avaliado segundo as medidas de bloqueio obtidas durante a execução do algoritmo, e os respectivos requisitos de qualidade.

Os algoritmos também tem o seu desempenho avaliado de acordo com a taxa de mobilidade, θ , que obriga o sistema a se adaptar às características do perfil de tráfego em andamento.

Ao aplicar a técnica de reserva de recursos com o objetivo de atender aos requisitos de qualidade de serviço, observou-se que é possível determinar o valor dos recursos a serem reservados de modo a se obter uma utilização máxima da quantidade total de recursos. No entanto, a solução é possível somente até certo valor de intensidade de tráfego de entrada determinado pela taxa de mobilidade, pelas necessidades de banda de cada classe e pelo conjunto de requisitos de QoS. Para valores de intensidade de tráfego superiores, não é mais possível atender aos requisitos de qualidade de serviço. Além disto, existem certos valores atribuídos aos elementos do vetor de requisitos de qualidade $Q\%$, que não permitem solução para o problema da reserva de recursos para cada classe de modo a obter utilização máxima.

Outra conclusão interessante dos resultados apresentados é que o comportamento dos algoritmos não muda muito quando o tempo de permanência do usuário na célula é modelado por distribuições diferentes da exponencial, principalmente no caso em que a taxa de mobilidade é alta. No caso em que a taxa de mobilidade é baixa a distribuição constante para o tempo de permanência provoca bloqueios maiores dos usuários.

10.2 Trabalhos Futuros

Apresentamos como sugestões para trabalhos futuros em extensão a este trabalho:

Trabalhar com uma quantidade maior de vetores de QoS para identificar se há alguma lei de formação para a reserva de recursos que torna a utilização máxima no caso de retenção do recurso dada pela distribuição exponencial.

Considerar outras distribuições no tempo de duração da chamada. Tal procedimento pode considerar que as classes de usuários possuem distribuições diferentes nos seus intervalos de duração da chamada. Por exemplo, uma classe pode representar usuários de voz através da distribuição exponencial e outra classe pode representar usuários de dados modelados por uma distribuição de Pareto para o tempo de duração da chamada.

Considerar uma rede com mais de uma célula no simulador de forma a incluir outros elementos da gerência de recursos rádio tais como o controle de potência e a alocação dinâmica.

Aperfeiçoar o simulador de forma que seja possível variar um número maior de parâmetros do sistema.

10.3 **Publicações**

Alguns dos resultados apresentados neste trabalho de tese originaram publicações que constam das referências [63], [64], [65], [66].

Bibliografia

- [1] A. S. Acampora e M. Naghshineh, “Avoiding the bottlenecks caused by centralized control functions, Control and Quality-of Service Provisioning in High-Speed Microcellular Networks”, *IEEE Personal Communications*, 1994.
- [2] A. S. Acampora e M. Naghshineh, “Control and Quality-of-Service Provisioning in High-Speed Microcellular Networks”, *IEEE Personal Communications Mag., Second Quarter*, 1994, pp.36-43.
- [3] P. Agrawal; P. Ramanathan; K. M. Sivalingam e S. Kishore, “Dynamic Resource Allocation Schemes During Handoff for Mobile Multimedia Wireless Networks”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Julho, 1999.
- [4] M.H. Ahmed, “Call admission control in wireless networks: a comprehensive survey”. *Communication Survey and Tutorials*, vol. 7, no.1, 2005.
- [5] L. H. R. Barbosa, “Uma análise de tráfego para a camada de acesso ao meio em sistemas de comunicação celular 3G”, Tese de Doutorado, *UFMG - ICEx*, 2002.
- [6] Y. Ben-Shimol; I. Kitroser e Y. Dinitz, “Two-Dimensional Mapping of Wireless OFDMA Systems”, *IEEE Transactions on Broadcasting*, pp.388, vol. 52, no. 3, September 2006.
- [7] J. Chang, J. Chung, and D. Sung, “Admission Control Schemes for Soft Handoff in DS-CDMA Cellular Systems Supporting Voice and Stream-type Data Services”, *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, vol.50, no.6, Nov. 2002, pp.1445-59.
- [8] J.-Y. Chang e H.-L. Chen, “A Resource Reservation Scheme with Dynamic Grouping for Multimedia Wireless Networks”, *Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003. 2003 IEEE Volume 2*, 16-20 March 2003 Page(s):1397 - 1407 vol.2.

- [9] H. Chen, S. Kumar e C.-C. Jay Kuo, "Dynamic Call Admission Control Scheme for QoS Priority Handoff in Multimedia Cellular Systems", *Wireless Communications and Networking Conference, 2002. WCNC2002*. 2002 IEEE Volume 1, 17-21 March 2002 Page(s):114 - 118 vol.1.
- [10] H. Chen, S. Kumar e C.-C. Jay Kuo, "Dynamic Call Admission Control and Resource Reservation with Interference Guard Margin (IGM) for CDMA Systems", *Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003*. 2003 IEEE Volume 3, 16-20 March 2003 Page(s):1568 - 1572 vol.3.
- [11] J. Choi, T. Kwon, Y. Choi e M. Naghshineh, "Call Admission Control for Multimedia Services in Mobile Cellular Networks: A Markov Decision Approach", *Computers and Communications, 2000. Proceedings. ISCC 2000. Fifth IEEE Symposium on 3-6 July 2000* Page(s):594 - 599 .
- [12] C. H. Choi , M. Il Kim, T. J. Kim, S. Jo Kim, "A Call Admission Control Mechanism Using MPP and 2-Tier Cell Structure for Mobile Multimedia Computing", *Computer Communications and Networks, 2001. Proceedings. Tenth International Conference on 15-17 Oct. 2001* Page(s):581 - 584.
- [13] S. Choi e K. G. Shin, "Adaptive Bandwidth Reservation and Admission Control in QoS-sensitive Cellular Networks", *Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on* Volume 13, Issue 9, Sept. 2002 Page(s):882 - 897.
- [14] F. A. Cruz-Pérez, D. Lara-Rodriguez e M. Lara, "Fractional reservation in mobile communication systems", *IEE Electronics Letters*, pp.2000, vol.35, no.23, Novembro, 1999.
- [15] F.A.Cruz-Pérez, D.Lara-Rodriguez e M.Lara, "Fractional reservation in mobile communication systems", *IEE Electronics Letters*, pp. 2000 - 2002, vol.35, no.23, November 1999.
- [16] F. Cruz-Pérez e L. Ortigoza-Guerrero, "A Flexible Resource Allocation Strategy with Minimum Overflow Bandwidth Demand for Wireless Systems With Integrated Services", *Vehicular Technology Conference, 2002. Proceedings. VTC 2002-Fall. 2002 IEEE 56th* Volume 3, 24-28 Sept. 2002 Page(s):1758 - 1762 vol.3.
- [17] F. Cruz-Pérez e L. Ortigoza-Guerrero, "Flexible Resource Allocation Strategy with Prioritization Levels", *Vehicular Technology Conference, 2002. VTC Spring 2002*. IEEE 55th Volume 3, 6-9 May 2002 Page(s):1584 - 1588 vol.3.
- [18] F. A. Cruz-Perez e L. Ortigoza-Guerrero, "Adaptive Resource Allocation Strategy with Service Type Prioritization for Class-Based QoS Mobile Networks", *IEEE Proc ICC'03 Alaska*, Maio, 2003.

- [19] E. Del Re; R.Fantacci e G.Giambene, “Performance Evaluation of Different Resource Management in Mobile Cellular Networks”, *Telecommunication Systems*, 1999.
- [20] J. Diedrich e M. Zitterbart, “Handoff prioritization schemes using early blocking”, *IEEE Communication Survey and Tutorials*, vol. 7, no.2, 2005.
- [21] B. M. Epstein e M. Schwartz, “Reservation Strategies for Multi-Media Traffic in a Wireless Environment”, *Vehicular Technology Conference*, 1995 IEEE 45th Volume 1, 25-28 July 1995 Page(s):165 - 169 vol.1.
- [22] B. M. Epstein e M. Schwartz, “Predictive QoS-Based Admission Control for Multiclass Traffic in Cellular Wireless Networks”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 18, no. 3, Mar 2000, pp. 523-34.
- [23] B. M. Epstein, “Resource Allocation Algorithms for Multi-Class Wireless Networks”, Tese de Doutorado, *Columbia University*, 1999.
- [24] R. Fry e A. Jamalipour, “A precision predictive call admission control in packet switched multi-service wireless cellular networks” *Global Telecommunications Conference*, 2003. GLOBECOM '03. IEEE Volume 7, 1-5 Dec. 2003 Page(s):4122 - 4126 vol.7.
- [25] D. J. Goodman, “Wireless Personal Communications Systems”, *Addison-Wesley Wireless Communications Series*,1997.
- [26] Y.-R. Haung, Y. -B. Lin e J. M. Ho, “Performance Analysis for voice/data integration on a finite-buffer mobile system”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*,Volume 49, Issue 2, March 2000 Page(s):367 - 378.
- [27] H. Heredia-Ureta, F. A. Cruz-Pérez e L. Ortigoza-Guerrero, “Performance Analysis of Adaptive Resource Allocation Strategies with Service Time Dependence on the Allocated Bandwidth”, *Wireless Communications and Networking*, 2003. *WCNC 2003. 2003 IEEE Volume 3, 16-20 March 2003 Page(s):1850 - 1855 vol.3*.
- [28] H. Heredia-Ureta, F. Cruz-Pérez e L.Ortigoza-Guerrero, “Multiple Fractional Channel Reservation for Optimum System Capacity in Multi-Service Cellular Networks”, *Electronics Letters*,Volume 39, Issue 1, 9 Jan 2003 Page(s):133 - 134.
- [29] Herzog, L. Woo, K. Chandy, “Solution of queuing problems by a recursive technique”, *IBM Journal of Research Development*, Maio, 1975.
- [30] C. Ho and C. Lea, “Finding Better Call Admission Policies In Wirelles Networks”, *Proc. IEEE Vehic. Tech. Conf. (VTC98)*, 1998, vol.3, pp. 2135-39.

- [31] D. Hong e S. S. Rappaport, "Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and non-prioritized handoff procedures", *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, 35 (8): 77-92, Agosto 1986.
- [32] D. Hong and S. S. Rappaport, "Priority oriented channel access for Cellular Systems serving vehicular and portable radio telephones", *IEE Proceedings - I Communications, Speech, and Vision*, Volume 136, Issue 5, Part 1, Oct 1989 Page(s):339 - 346.
- [33] D. Hong e S. S. Rappaport, "Comments on Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Non prioritized Handoff Procedures", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Volume 49, Issue 5, Sept. 2000 Page(s):2037 - 2039.
- [34] J. M. Hyman, A. Lazar, e G. Pacifici, "Real-time scheduling with quality of service constraints", *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Volume 9, Issue 7, Sept. 1991 Page(s):1052 - 1063 .
- [35] J. Y. Jeng e Y. B. Lin, "Equal Resource Sharing Scheduling for PCS Data Services", *Wireless Networks*, vol 5, 1999.
- [36] H. Jia; Zhaoyang Zhang; Guanding Yu e Shiju Li, "An Distributed Call Admission Control and Network Selection Scheme for Hybrid CDMA-OFDMA Networks", *IEEE WCNC 2007*, 2007.
- [37] L. Jorguseski, J. Farserotu e R. Prasad, "Radio Resource Allocation in Third-Generation Mobile Communication Systems", *IEEE Communications Magazine*, Volume 39, Issue 2, Feb. 2001 Page(s):117 - 123 .
- [38] S. Jordan e P. Varaiya, "Throughput in multiple service, multiple resource communication networks", *IEEE Transactions on Communications*, Volume 39, Issue 8, Aug. 1991 Page(s):1216 - 1222.
- [39] S. Jordan e P. Varaiya, "Control of multiple service, multiple resource communication networks", *IEEE Transactions on Communications*, Volume 42, Issue 11, Nov. 1994 Page(s):2979 - 2988.
- [40] I. Katzela e M. Naghshineh, "Channel assignment schemes for cellular mobile telecommunications", *IEEE Personal Communications*, Volume 3, Issue 3, June 1996 Page(s):10 - 31.
- [41] F. Khan e D. Zeghlache, "Effect of Cell Residence Time Distribution on the Performance of Cellular Networks", *Vehicular Technology Conference, 1997 IEEE 47th Volume 2, 4-7 May 1997 Page(s):949 - 953 vol.2* .

- [42] S. Kim, T. Kwon, and Y. Choi, "Call Admission Control for Prioritized Adaptive Multimedia Services in Wireless/Mobile Networks", *Proc. IEEE Vehicular Technologies Conference (VTC'00 Spring), Tokyo, 2000 vol.2*, pp.1536-40.
- [43] T. Kwon, Y. Oh, Y. Choi e M. Naghshineh, "An Approximate Analysis of Handoff Traffic in Mobile Cellular Networks", *Wireless Communications and Networking Conference*, 2000. WCNC. 2000 IEEE Volume 2, 23-28 Sept. 2000 Page(s):480 - 483 vol.2 .
- [44] T. Kwon et al., "Threshold-type Call Admission Control in Wireless / Mobile Networks using Prioritized Adaptive Framework", *IEEE Electronics Letters*, vol. 36, no.9, April 2000, pp. 852-54.
- [45] X. Lagrange, "Multi tier Cell Design", *IEEE Communications Magazine*, Agosto, 1997.
- [46] J. H. Lee, et al, "An Adaptive Resource Allocation Mechanism Including Fast and Reliable Handoff in IP-Based 3G Wireless Networks", *IEEE Personal Communication*, Volume 7, Issue 6, Dec. 2000 Page(s):42 - 47.
- [47] D. A. Levine, I. F. Akyildiz e M. Naghshineh, "The Shadow Cluster Concept for Resource Allocation and Call Admission in ATM-Based Wireless Networks", *Proc. 1st. Int'l. Conf. Mobile Comp. and Net. (MOBICON '95)*, 1995, pp.142-50.
- [48] D. A. Levine, I. F. Akyildiz e M. Naghshineh, "A Resource Estimation and Call Admission Algorithm for Wireless Multimedia Networks Using the Shadow Cluster Concept", *IEEE / ACM Transactions on Networking*, vol.5, no. 1, Feb. 1997, pp. 1-12.
- [49] Lizhong Li, Bin Li, Bo Li e Xi-Ren Cao, "Performance Analysis of Bandwidth Allocations For Multi-Services Mobile Wireless Cellular Networks", *Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003. 2003 IEEE Volume 2, 16-20 March 2003 Page(s):1072 - 1077 vol.2*.
- [50] M. Lohi; D. Weerakoon e A. H. Aghvami, "Trends in Multi-Layer Cellular System Design and Handover Design", *Wireless Communications and Networking Conference*, 1999. WCNC. 1999 IEEE 21-24 Sept. 1999 Page(s):898 - 902 vol.2 .
- [51] M. Lohi, K. Madani, A. Lohi e A. H. Aghvami, "Flexible Channel Allocation Strategy for User Service Prioritization in Hierarchical Cellular Systems", *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2001 12th IEEE International Symposium on*, Volume 1, 30 Sept.-3 Oct. 2001 Page(s):D-59 - D-63.

- [52] J. R. B. de Marca e T. A. Camilo, “Resource Sharing in Integrated Voice and Data Service”, *Wireless Communications and Networking, 2003*. WCNC 2003. 2003 IEEE Volume 3, 16-20 March 2003 Page(s):1856 - 1860 vol.3 .
- [53] J.G.Markoulidakis, J.E.Dermitzakis, G.L.Lyberopoulos, M.E. Theologou, “Handover Prioritised Schemes for Optimal Capacity and Overload Management in Cellular Mobile Systems”, *Vehic. Tech. Conf. (VTC'99)*, pp.1491-95, 1999.
- [54] J.G.Markoulidakis, J.E.Dermitzakis, G.L.Lyberopoulos, M.E. Theologou, “Optimal system capacity in handover prioritised in cellular mobile telecommunication systems”, *Computer Communications*, pp. 462-475, no.23, 2000.
- [55] M. Naghshineh e A. Acampora “Design and Control of Micro-cellular Networks With QoS Provisioning for Real-time Traffic”, *Proc. 3rd IEEE Int'l. Conf. Universal Personal Commun. (ICUPC '94)*, 1994, pp.376-81.
- [56] M. Naghshineh e M. Schwartz “Distributed Call Admission Control in mobile/wireless networks”, *IEEE Journal of Selected Areas and Communication*, Volume 14, Issue 4, May 1996 Page(s):711 - 717.
- [57] M. Naghshineh e A. Acampora “Design and Control of Micro-cellular Networks With QoS Provisioning for Data Traffic”, *Wireless Networks*, vol.3, no.4, 1997, pp. 249-56.
- [58] R. W. Nettleton e G. R. Schloemer, “Self Organizing Channel Assignment for Wireless Systems”, *IEEE Communications Magazine*, Volume 35, Issue 8, Aug. 1997 Page(s):46 - 51.
- [59] C. Oliveira, J. Kim and T. Suda, “An Adaptive Bandwidth Reservation Scheme for High-Speed Multimedia Wireless Networks”, *IEEE JSAC*, vol.16, no.6, Aug. 1998, pp.858-72.
- [60] L. Ortigoza-Guerrero e A. H. Aghvami “On the Optimum Spectrum Partitioning in a Microcell/Macrocell Cellular Layout with Overflow”, *Global Telecommunications Conference, 1997*. GLOBECOM '97., IEEE Volume 2, 3-8 Nov. 1997 Page(s):991 - 995 vol.2.
- [61] L. Ortigoza-Guerrero e A. H. Aghvami, “A distributed Dynamic Resource Allocation for a Hybrid TDMA/CDMA System”, *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, Volume 47, Issue 4, Nov. 1998 Page(s):1162 - 1178.

- [62] Jung-Lin Pan; P.M.Djuric e S.S.Rappaport, “A Simulation Model of Combined Handoff Initiation and Channel Availability in Cellular Communications”, *Vehicular Technology Conference, 1996. 'Mobile Technology for the Human Race'. IEEE 46th Volume 3, 28 April-1 May 1996 Page(s):1515 - 1519 vol.3.*
- [63] C. Quevedo-Lodi e J. Roberto B. de Marca, “Performance of a dynamic admission control strategy for wireless systems” *Vehicular Technology Conference, 2004. VTC2004-Fall. 2004 IEEE 60th Volume 2, 26-29 Sept. 2004 Page(s):1083 - 1087 Vol. 2.*
- [64] C. Quevedo-Lodi e J. Roberto B. de Marca, “Estratégia Dinâmica para Controle de Admissão de Chamadas com QoS em Sistemas celulares”, XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, Belém, Setembro 2004.
- [65] C. Quevedo-Lodi e J. Roberto B. de Marca, “QoS-Aware Dynamic Admission Control Schemes for Wireless Systems”, *IEEE Personal Indoors Mobile Radio Communications 2006 (PIMRC 06)*, pp.1 - 6 , Helsinki, September 2006.
- [66] C. Quevedo-Lodi e J. Roberto B. de Marca, “Controle de Admissão em Sistemas Móveis com Duas Restrições de QoS”, XXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT07), Recife, Setembro 2007.
- [67] R. Ramjee, R. Nagarajan e D. Towsley, “On optimal call admission control in cellular networks”, *Proc. 15th Joint Conference IEEE Comp. and Commun. Societies (INFOCOM'96)*, vol.1, pp.43- 50, San Francisco, Março, 1996.
- [68] R. Ramjee, R. Nagarajan, and D. Towsley, “On optimal call admission control in cellular networks”, *Wireless Networks*, vol. 3, pp. 29-41, 1997.
- [69] Tsang-Ling Sheu e Hsin-Yuan Lin, “A priority-based Channel Allocation Scheme for Cellular Networks”, *Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003. 2003 IEEE Volume 2, 16-20 March 2003 Page(s):1066 - 1071 vol.2.*
- [70] Z. Tao; Koon Hoo Teo e Jinyun Zhang, “Adaptive Frame structure for Mobile Multihop Relay (MMR) Networks”; *IEEE Information, Communications and Signal Processing, 2007 6th International Conference on 10-13 Dec. 2007 Page(s):1-5.*
- [71] T. T. V. Vinhoza e J. R. B. de Marca, “Comparative performance of hierarchical cell architectures”, *Radio and Wireless Conference, 2004 IEEE 19-22 Sept. 2004 Page(s):287 - 290.*

- [72] Y. Xiao, C. Chen and Y. Wang, "Quality of Service Provisioning Framework for Multimedia Traffic in Wireless/ Mobile Networks", *Proc. 9th Int'l. Conf. Commun.and Net. (ICCN 2000)*, 2000, pp. 644-48.
- [73] Y. Xiao, C. Chen and Y. Wang, "A New Optimal Call Admission Control With Genetic Algorithm for Multimedia Services in Wireless/ Mobile Networks", *Proc. IEEE National Aerospace and Eletronics Conf. (NAECON 2000)*, 2000, pp. 787-92.
- [74] J. Ye , J. Hou e S. Papavassiliou, "A Comprehensive Resource Management Framework for Next Generation Wireless Networks", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Volume 1, Issue 4, Oct.-Dec. 2002 Page(s):249 - 264.
- [75] A. Yener and C. Rose, "Genetic Algorithms Applied to Cellular Call Admission: Local Policies", *IEEE Transactions on Vehic. Tech.*, vol.46, no.1, Feb 1997, pp.72-79.
- [76] O. T. W. Yu e V. C. M. Leung, "Adaptive resource allocation for prioritized call admission over an ATM-based Wireless PCN", *IEEE Journal of Selected Areas and Communication*, Setembro, 1997.
- [77] J. Zander, "Radio Resource Management - an overview", *Vehicular Technology Conference, 1996. 'Mobile Technology for the Human Race'.*, *IEEE 46th Volume 1, 28 April-1 May 1996 Page(s):16 - 20 vol.1* .
- [78] J. Zander, "Radio Resource Management in Future Wireless Networks: Requirements and Limitations" *IEEE Communications Magazine*, Agosto, 1997.
- [79] J. Zander and Seong-Lyun Kim, "Radio Resource Management for Wireless Networks", *Artech House Mobile Communications series*,2001.
- [80] W. Zhuang, B. Bensaou, K. C. Chua, "Adaptive Quality of Service Handoff Priority Scheme for Mobile Multimedia Networks", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Volume 49, Issue 2, March 2000 Page(s):494 - 505.
- [81] M.M. Zonoozi e P.Dassanayake, "User mobility and characterization of mobility patterns". *IEEE J. on Selected Areas on Comm.*, 15(7):1239 -1252, Setembro 1997.

A

Modelo de Tráfego

No estudo da capacidade dos sistemas celulares, além da distribuição correspondente à duração da chamada, deve-se considerar o efeito da distribuição do tempo de permanência do usuário na célula no comportamento do sistema. Ambas distribuições definirão o tempo de retenção do canal, ou recurso, que é um dos fatores que influenciam no desempenho do sistema.

O tempo de retenção do canal por um terminal que se encontra em determinada célula pode ser calculado como o menor valor entre a duração da chamada e o tempo de permanência na célula. Na referência [54] os autores consideram que a permanência na célula é uma distribuição exponencial. Em [41] os autores abordam o fato de que outras distribuições podem ser utilizadas para o tempo de permanência. Neste apêndice estendemos o trabalho feito em [54] considerando além da distribuição exponencial, as distribuições constante, uniforme e Weibull para a permanência do usuário na célula.

A.1

Tempo de Retenção do Canal

O tempo de retenção do canal (*channel holding time*) pode ser definido como o menor valor entre a duração da chamada (*call duration*) e o tempo de permanência do usuário na célula (*dwel time*), conforme a equação (A-1).

$$t_{ch} = \min(t_c, t_{dw}) \quad (\text{A-1})$$

O tempo de retenção do canal é definido pela variável aleatória t_{ch} de valor esperado $1/\mu$. A duração da chamada e o tempo de permanência do usuário na célula são definidos pelas variáveis aleatórias t_c e t_{dw} cujos valores esperados serão representados, respectivamente, por $1/\xi$ e $1/\eta$. Ou

seja:

$$E[t_{ch}] = \frac{1}{\mu} \quad (\text{A-2})$$

$$E[t_c] = \frac{1}{\xi} \quad (\text{A-3})$$

$$E[t_{dw}] = \frac{1}{\eta} \quad (\text{A-4})$$

Para determinar a função densidade de probabilidade (fdp) da retenção do canal, t_{ch} , calculamos inicialmente, nas equações (A-5) a (A-8), a função distribuição de probabilidade, $F_{t_{ch}}(T_{CH})$, considerando a hipótese de que t_c e t_{dw} são independentes.

$$F_{t_{ch}}(T_{CH}) = P(t_{ch} \leq T_{CH}) = 1 - P(t_{ch} > T_{CH}) \quad (\text{A-5})$$

$$P(t_{ch} \leq T_{CH}) = 1 - \int_{T_{CH}}^{\infty} \int_{T_{CH}}^{\infty} p_{t_c}(T_C) dT_C p_{t_{dw}}(T_{DW}) dT_{DW} \quad (\text{A-6})$$

$$P(t_{ch} \leq T_{CH}) = 1 - \int_{T_{CH}}^{\infty} p_{t_c}(T_C) dT_C \cdot \int_{T_{CH}}^{\infty} p_{t_{dw}}(T_{DW}) dT_{DW} \quad (\text{A-7})$$

$$F_{t_{ch}}(T_{CH}) = 1 - [1 - F_{t_c}][1 - F_{t_{dw}}] \quad (\text{A-8})$$

Para encontrar a fdp $p_{t_{ch}}(T_{CH})$, na equação (A-9) derivamos a função distribuição de probabilidade da equação (A-8) e encontramos o resultado apresentado na equação (A-10).

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = \frac{\partial}{\partial T_{CH}} \{ -[1 - F_{t_c}][1 - F_{t_{dw}}] \} \quad (\text{A-9})$$

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = p_{t_c}(T_{CH})[1 - F_{t_{dw}}(T_{CH})] + p_{t_{dw}}(T_{CH})[1 - F_{t_c}(T_{CH})]$$

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = p_{t_c}(T_{CH}) + p_{t_{dw}}(T_{CH}) - p_{t_c}(T_{CH})F_{t_{dw}}(T_{CH}) - p_{t_{dw}}(T_{CH})F_{t_c}(T_{CH})$$

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = \int_{T_{CH}}^{\infty} p_{t_c}(T_{CH})p_{t_{dw}}(T_{DW})dT_{DW} + \int_{T_{CH}}^{\infty} p_{t_{dw}}(T_{CH})p_{t_c}(X_1)dX_1 \quad (\text{A-10})$$

A equação (A-10) apresenta a função densidade de probabilidade da retenção do canal, t_{ch} , sendo t_c e t_{dw} as variáveis aleatórias que representam a duração da chamada e a permanência do usuário na célula, respectivamente.

Considerando que a duração da chamada t_c é uma variável aleatória exponencial, de valor esperado $1/\xi$, suas funções densidade de probabilidade e distribuição de probabilidade são dadas em (A-11) e (A-12).

$$p_{t_c}(T_C) = \xi e^{-\xi T_C} u(T_C) \quad (\text{A-11})$$

$$F_{t_c}(T_C) = \int_{-\infty}^{T_C} p_{t_c}(t_c) dt_c = 1 - e^{-\xi T_C} \quad (\text{A-12})$$

Nas seções a seguir são propostas diversas distribuições para a permanência do usuário na célula(setor).

A.1.1

Tempo de Permanência na Célula dado por uma Distribuição Exponencial

A exponencial é a distribuição mais comum adotada para o tempo de permanência do usuário na célula. Esta função tem descrito o comportamento do usuário de uma forma muito próxima da real e sua função densidade de probabilidade da retenção do canal pode ser determinada de forma analítica, conforme o desenvolvimento a seguir.

$$p_{t_{dw}}(T_{DW}) = \eta e^{-\eta T_{DW}} u(T_{DW}) \quad (\text{A-13})$$

Levando as distribuições da duração e da permanência dadas pelas equações (A-11) e (A-13) à equação (A-10), obtém-se a função densidade de probabilidade da retenção do canal, t_{ch} , (A-14).

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = \int_{T_{CH}}^{\infty} \xi e^{-\xi T_{CH}} \eta e^{-\eta T_{DW}} dT_{DW} + \int_{T_{CH}}^{\infty} \eta e^{-\eta T_{CH}} \xi e^{-\xi T_C} dT_C \quad (\text{A-14})$$

Desenvolvendo (A-14) obtém-se (A-15).

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = (\xi + \eta) e^{-(\xi + \eta) T_{CH}} u(T_{CH}) \quad (\text{A-15})$$

Portanto, considerando a distribuição exponencial para o tempo de permanência, o tempo de retenção é também dado por uma distribuição exponencial cuja taxa é a soma das taxas das distribuições originais. Da equação (A-15) obtém-se o valor esperado da retenção do canal na equação (A-16).

$$E[T_{CH}] = \frac{1}{\xi + \eta} \quad (\text{A-16})$$

A.1.2

Tempo de Permanência na Célula dado por uma Distribuição Constante

No caso em que a permanência do usuário na célula é dada por uma variável aleatória cuja distribuição é uma constante, $t_{dw} = C$, a função densidade de probabilidade da retenção do canal pode ser determinada de forma analítica, conforme o desenvolvimento a seguir.

$$t_{ch} = \min(t_c, C) \quad (\text{A-17})$$

$$t_{ch} = \begin{cases} t_c & , t_c \leq C \Rightarrow p_{t_{ch}}(T_{CH}) = p_{t_c}(T_{CH}) \\ C & , t_c > C \Rightarrow p_{t_{ch}}(T_{CH}) = P(t_c > C)\delta(T_{CH} - C) \end{cases}$$

Então, conclui-se que $p_{t_{ch}}(T_{CH})$ é dada pela equação (A-19).

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = p_{t_c}(T_{CH})[u(T_{CH}) - u(T_{CH} - C)] + (1 - F_{t_c}(C))\delta(T_{CH} - C) \quad (\text{A-18})$$

Utilizando os valores de $p_{t_c}(T_{CH})$ e de $F_{t_c}(C)$ obtidos das equações (A-11) e (A-12) obtém-se a fdp do tempo de retenção do canal no caso em que a permanência é uma constante C :

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = \xi e^{-\xi T_{CH}}[u(T_{CH}) - u(T_{CH} - C)] + (e^{-\xi C})\delta(T_{CH} - C) \quad (\text{A-19})$$

Aplicando a definição de valor esperado na equação (A-19) obtém-se a retenção média do canal:

$$E[t_{ch}] = \int_0^{\infty} T_{CH} \left[\xi e^{-\xi T_{CH}} [u(T_{CH}) - u(T_{CH} - C)] + (e^{-\xi C})\delta(T_{CH} - C) \right] dT_{CH} \quad (\text{A-20})$$

$$E[t_{ch}] = \int_0^C T_{CH} \xi e^{-\xi T_{CH}} dT_{CH} + \int_C^\infty T_{CH} [(e^{-\xi C}) \delta(T_{CH} - C)] dT_{CH} \quad (\text{A-21})$$

$$E[t_{ch}] = (1 - e^{-\xi C}) \frac{1}{\xi} \quad (\text{A-22})$$

O resultado analítico apresentado na equação (A-22) confere com o resultado numérico, obtido em MATLAB.

A.1.3

Tempo de Permanência na Célula dado por uma Distribuição Uniforme

No caso em que o modelo adotado para o tempo de permanência do usuário na célula é uma distribuição uniforme, dada por (A-23).

$$p_{t_{dw}}(T_{DW}) = \frac{\eta}{2} \left[u(T_{DW}) - u\left(T_{DW} - \frac{2}{\eta}\right) \right] \quad (\text{A-23})$$

Levando as distribuições da duração e da permanência dadas pelas equações (A-11) e (A-23) à equação (A-10) obtém-se a função densidade de probabilidade da retenção do canal, t_{ch} , (A-24).

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = \int_{T_{CH}}^\infty \xi e^{-\xi T_{CH}} \left[\frac{\eta}{2} \left[u(T_{DW}) - u\left(T_{DW} - \frac{2}{\eta}\right) \right] \right] dT_{DW} + \int_{T_{CH}}^\infty \left[\frac{\eta}{2} \left[u(T_{CH}) - u\left(T_{CH} - \frac{2}{\eta}\right) \right] \right] \xi e^{-\xi T_C} dT_C \quad (\text{A-24})$$

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = \xi e^{-\xi T_{CH}} \int_{T_{CH}}^\infty \frac{\eta}{2} \left[u(T_{DW}) - u\left(T_{DW} - \frac{2}{\eta}\right) \right] dT_{DW} + \left[\frac{\eta}{2} \left[u(T_{CH}) - u\left(T_{CH} - \frac{2}{\eta}\right) \right] \right] \left[-e^{-\xi T_C} \right]_{T_{CH}}^\infty \quad (\text{A-25})$$

Desenvolvendo (A-25) obtém-se (A-26).

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = e^{-\xi T_{CH}} \left(\xi - \frac{\xi \eta T_{CH}}{2} + \frac{\eta}{2} \right) \left[u(T_{CH}) - u\left(T_{CH} - \frac{2}{\eta}\right) \right] \quad (\text{A-26})$$

Da equação (A-26) obtém-se o valor esperado da retenção do canal na

equação (A-27).

$$E[T_{CH}] = \int_0^\infty t_{ch} \left[e^{-\xi t_{ch}} \left(\xi - \frac{\xi \eta t_{ch}}{2} + \frac{\eta}{2} \right) \left[u(t_{ch}) - u\left(t_{ch} - \frac{2}{\eta}\right) \right] \right] dt_{ch} \quad (A-27)$$

$$E[T_{CH}] = \left(\xi + \frac{\eta}{2} \right) \int_0^\infty t_{ch} e^{-\xi t_{ch}} \left[u(t_{ch}) - u\left(t_{ch} - \frac{2}{\eta}\right) \right] dt_{ch} - \left(\frac{\xi \eta}{2} \right) \int_0^\infty t_{ch}^2 e^{-\xi t_{ch}} \left[u(t_{ch}) - u\left(t_{ch} - \frac{2}{\eta}\right) \right] dt_{ch} \quad (A-28)$$

Desenvolvendo a equação (A-28), obtém-se a expressão para o valor esperado dada em (A-32).

$$E[T_{CH}] = \left(\xi + \frac{\eta}{2} \right) \int_0^{\frac{2}{\eta}} t_{ch} e^{-\xi t_{ch}} dt_{ch} - \left(\frac{\xi \eta}{2} \right) \int_0^{\frac{2}{\eta}} t_{ch}^2 e^{-\xi t_{ch}} dt_{ch} \quad (A-29)$$

$$E[T_{CH}] = \left(\xi + \frac{\eta}{2} \right) \left[\frac{e^{-\xi t_{ch}}}{-\xi} \left(t_{ch} - \frac{1}{-\xi} \right) \right]_{t_{ch}=0}^{t_{ch}=\frac{2}{\eta}} - \frac{\xi \eta}{2} \left[\frac{e^{-\xi t_{ch}}}{-\xi} \left(t_{ch}^2 - \frac{2t_{ch}}{-\xi} + \frac{2}{\xi^2} \right) \right]_{t_{ch}=0}^{t_{ch}=\frac{2}{\eta}} \quad (A-30)$$

$$E[T_{CH}] = \left(\xi + \frac{\eta}{2} \right) \left[e^{-\frac{2\xi}{\eta}} \left(-\frac{2}{\xi \eta} - \frac{1}{\xi^2} \right) + \frac{1}{\xi^2} \right] - \frac{\xi \eta}{2} \left[e^{-\frac{2\xi}{\eta}} \left(-\frac{4}{\xi \eta^2} - \frac{4}{\xi^2 \eta} - \frac{2}{\xi^3} \right) + \frac{2}{\xi^3} \right] \quad (A-31)$$

$$E[T_{CH}] = \frac{1}{2\xi^2} \left(\eta e^{-\frac{2\xi}{\eta}} + 2\xi - \eta \right) \quad (A-32)$$

O valor no desenvolvimento analítico acima, dado pela equação (A-32), foi verificado e confere com o valor obtido numericamente em MATLAB.

A.1.4

Tempo de Permanência na Célula dado por uma Distribuição Weibull

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 de acordo com o comportamento apresentado na figura A.1.

$$p_{t_{dw}}(T_{DW}) = \frac{K}{\lambda} \left(\frac{T_{DW}}{\lambda} \right)^{K-1} e^{-\left(\frac{T_{DW}}{\lambda}\right)^K} u(T_{DW}) \quad (A-33)$$

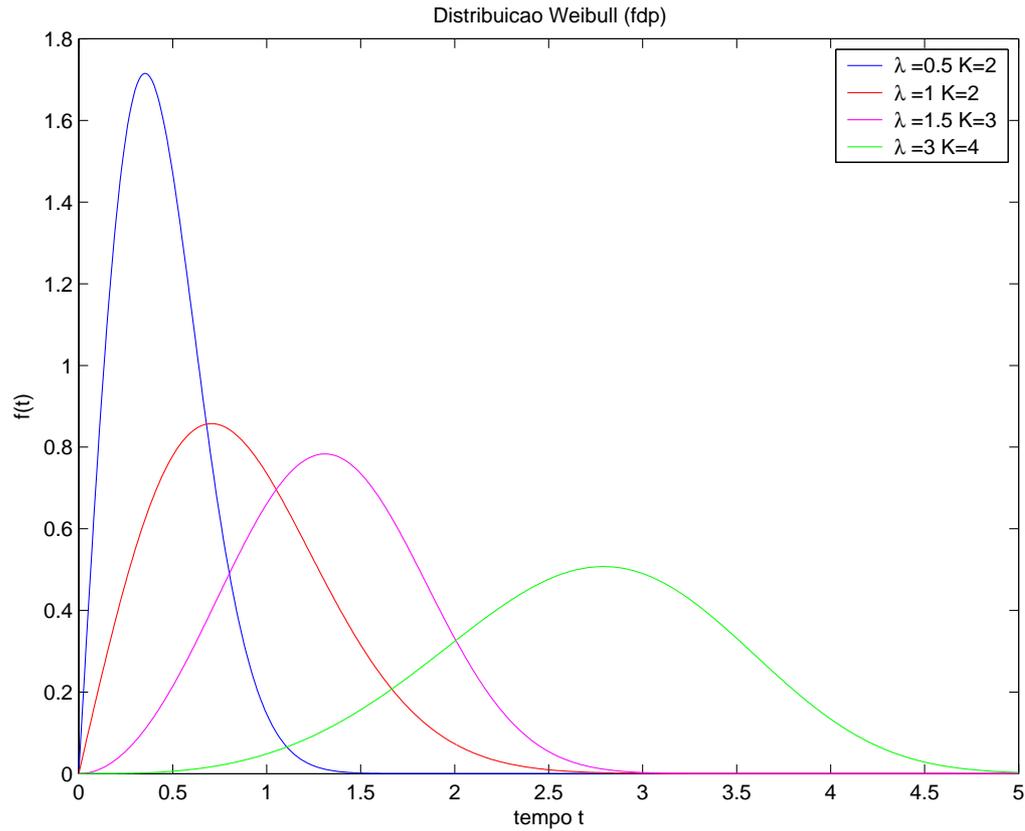


Figura A.1: Weibull.

A função distribuição é dada por (A-34) e o valor esperado do tempo de permanência é dado na equação (A-35), aonde $\Gamma(\cdot)$ é a função Gama.

$$F_{t_{dw}}(T_{DW}) = 1 - 1e^{-\left(\frac{T_{DW}}{\lambda}\right)^K} u(T_{DW}) \quad (\text{A-34})$$

$$E_{t_{dw}}[T_{DW}] = \lambda \Gamma\left(1 + \frac{1}{K}\right) \quad (\text{A-35})$$

Na referência [41], adota-se o valor $K = 0.5$, de forma que o tempo de permanência médio definido na equação(A-35) é dado por (A-36).

$$E_{t_{dw}}[T_{DW}] = \lambda \Gamma\left(3\right) = \frac{1}{\eta} \quad (\text{A-36})$$

No caso em que o parâmetro λ vale 20 ou 5 e K vale 0.5, a forma e a escala da curva fdp representada pela distribuição Weibull apresentam o comportamento da figura A.2.

Levando as distribuições da duração da chamada e da permanência dadas pelas equações (A-11) e (A-33) à equação (A-10), obtém-se a função densidade de probabilidade da retenção do canal, t_{ch} , (A-37).

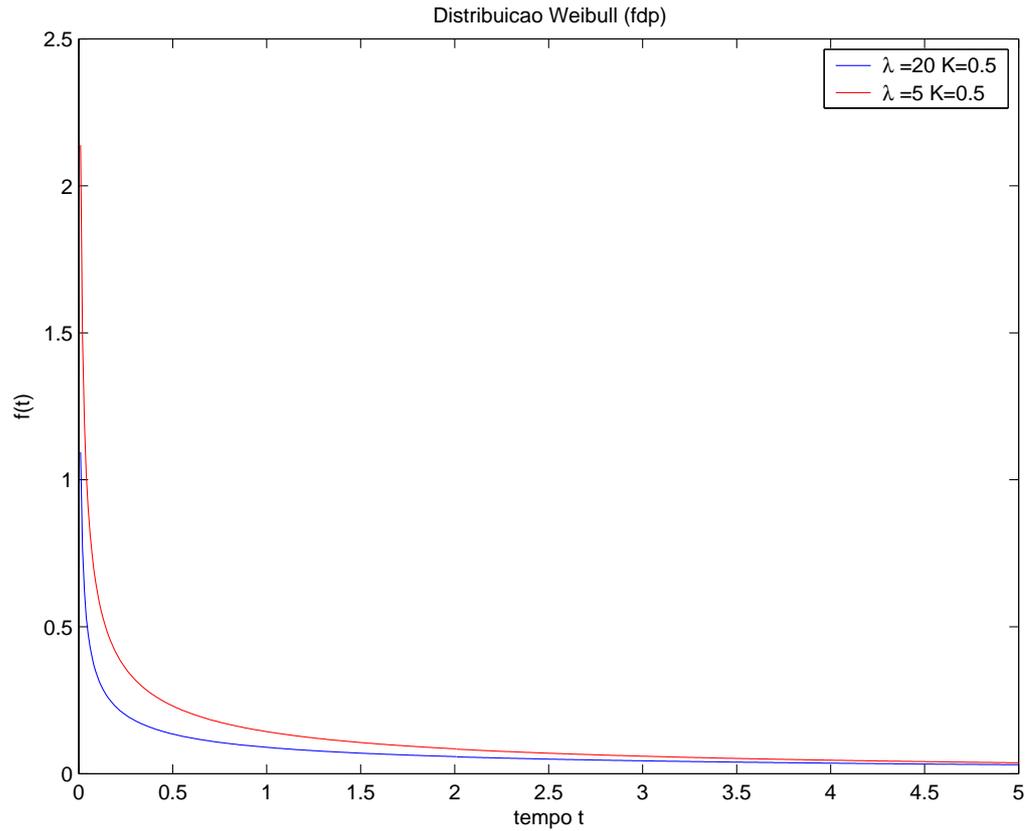


Figura A.2: Weibull.

$$\begin{aligned}
 p_{t_{ch}}(T_{CH}) = & \int_{T_{CH}}^{\infty} \xi e^{-\xi T_{CH}} \left[\frac{K}{\lambda} \left(\frac{T_{DW}}{\lambda} \right)^{K-1} e^{-\left(\frac{T_{DW}}{\lambda} \right)^K} u(T_{DW}) \right] dT_{DW} + \\
 & + \int_{T_{CH}}^{\infty} \left[\frac{K}{\lambda} \left(\frac{T_{CH}}{\lambda} \right)^{K-1} e^{-\left(\frac{T_{CH}}{\lambda} \right)^K} u(T_{CH}) \right] \xi e^{-\xi T_C} dT_C \quad (\text{A-37})
 \end{aligned}$$

Desenvolvendo (A-37) obtém-se (A-38).

$$\begin{aligned}
 p_{t_{ch}}(T_{CH}) = & \xi e^{-\xi T_{CH}} \frac{K}{\lambda} \int_{T_{CH}}^{\infty} \left(\frac{T_{DW}}{\lambda} \right)^{K-1} e^{-\left(\frac{T_{DW}}{\lambda} \right)^K} u(T_{DW}) dT_{DW} + \\
 & + \frac{K}{\lambda} \left(\frac{T_{CH}}{\lambda} \right)^{K-1} e^{-\left(\frac{T_{CH}}{\lambda} \right)^K} u(T_{CH}) \int_{T_{CH}}^{\infty} \xi e^{-\xi T_C} dT_C \quad (\text{A-38})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_{t_{ch}}(T_{CH}) = & \xi e^{-\xi T_{CH}} \frac{K}{\lambda} u(T_{CH}) \int_{T_{CH}}^{\infty} \left(\frac{T_{DW}}{\lambda} \right)^{K-1} e^{-\left(\frac{T_{DW}}{\lambda} \right)^K} dT_{DW} + \\
 & + \frac{K}{\lambda} \left(\frac{T_{CH}}{\lambda} \right)^{K-1} e^{-\left(\frac{T_{CH}}{\lambda} \right)^K} u(T_{CH}) e^{-\xi T_{CH}} \quad (\text{A-39})
 \end{aligned}$$

Da equação (A-39) obtém-se o valor esperado da retenção do canal na equação (A-40).

$$E[T_{CH}] = \int_0^{\infty} t_{ch}(p_{t_{ch}}(t_{ch}))dt_{ch} \quad (\text{A-40})$$

No entanto, não foi possível efetivar analiticamente a integral indicada na equação (A-39), nem a da equação (A-40). Fica aqui formalizado apenas o desenvolvimento teórico, não sendo possível obter uma expressão analítica.

Para o andamento deste trabalho de tese, este resultado foi obtido de forma estatística, através da geração numérica das distribuições e da obtenção do mínimo entre elas. Este método também serviu para confirmar os resultados das distribuições anteriores para as quais foi possível obter expressão analítica.

A.2

Relação entre o Parâmetro de Mobilidade e o Valor Esperado do Tempo de Permanência do Usuário na Célula

O parâmetro θ , cuja expressão é dada na equação (A-41), define a mobilidade dos usuários no sistema.

$$\theta = \frac{\lambda_H}{\lambda_N} \quad (\text{A-41})$$

Estamos interessados no valor médio do tempo de retenção do canal, $E[t_{ch}]$. Este valor 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 será definida neste trabalho como Y :

$$Y = \frac{E[t_{dw}]}{E[t_c]} \quad (\text{A-42})$$

Uma aproximação inicial é dizer que esta razão é:

$$Y \simeq \frac{1}{\theta} \quad (\text{A-43})$$

Aperfeiçoando o modelo vemos que, na realidade, esta razão é uma função da mobilidade θ , da probabilidade de bloqueio de chamadas novas, P_{BN} , e da probabilidade de falhas de *handoff*, P_{FH} , como em (A-44). Esta função $f(\theta, P_{BN}, P_{FH})$ será diferente para cada uma das distribuições adotadas para a permanência do usuário na célula (ou setor).

$$\frac{1}{Y} = \frac{E[t_c]}{E[t_{dw}]} = f(\theta, P_{BN}, P_{FH}) \quad (\text{A-44})$$

Para obter esta função utilizamos o desenvolvimento iniciado na referência [54]. A razão entre o valor médio da duração da chamada e o valor médio da permanência do usuário na célula é modelada por uma função na equação (A-44). Este valor é o número médio de *handoffs* sofridos por uma chamada.

De acordo com a referência [54], o parâmetro de mobilidade θ pode ser escrito como (A-45), onde: $P_{out} = P[t_c > t_{dw}]$ é a probabilidade do usuário sair da célula; P_{cross} é a probabilidade de que o tempo residual de uma chamada em *handoff* exceda o tempo de permanência na célula; e π_{out} é a percentagem de estações que se movem para um destino fora da célula.

$$\theta = \frac{\pi_{out} P_{out} [1 - P_{BN}]}{1 - \pi_{out} P_{cross} [1 - P_{FH}]} \quad (A-45)$$

Nas sessões seguintes faremos o cálculo do parâmetro Y que é função de θ , P_{BN} e P_{FH} para cada uma das distribuições adotadas para o tempo de permanência do usuário na célula. A distribuição adotada para a duração da chamada será sempre uma exponencial.

A simulação descrita no capítulo 4 verifica o desempenho dos algoritmos de controle de admissão utilizando os cálculos deste apêndice para determinar o tempo de retenção do recurso em cada caso de mobilidade e requisito de QoS.

A.2.1

Tempo de Permanência na Célula dado por uma Distribuição Exponencial

Para o caso de chamadas com duração e permanência exponenciais, $P_{cross} = P_{out}$ e podemos supor $\pi_{out} = 1$.

De acordo com o resultado desenvolvido na sessão anterior, a equação (A-16) pode ser escrita como (A-46).

$$P[t_{dw} < t_c] = \frac{E[t_c]}{E[t_c] + E[t_{dw}]} \quad (A-46)$$

Substituindo (A-46) na equação (A-45), obtém-se (A-47).

$$\theta = \frac{\left(\frac{E[t_c]}{E[t_c] + E[t_{dw}]} \right) [1 - P_{BN}]}{1 + P_{FH} \left(\frac{E[t_c]}{E[t_c] + E[t_{dw}]} \right) - \left(\frac{E[t_c]}{E[t_c] + E[t_{dw}]} \right)} \quad (A-47)$$

Desenvolvendo a (A-47) obtém-se (A-48) que é a mesma apresentada

na equação(15) da referência [54].

$$\theta = \frac{\left(\frac{E[t_c]}{E[t_{dw}]}\right)[1 - P_{BN}]}{1 + P_{FH}\left(\frac{E[t_c]}{E[t_{dw}]}\right)} \quad (\text{A-48})$$

Portanto, para t_{dw} com distribuição exponencial, de (A-48) conclui-se (A-49).

$$\frac{E[t_c]}{E[t_{dw}]} = \frac{\theta}{[1 - P_{BN} - \theta P_{FH}]} = f_{exp}(\theta, P_{BN}, P_{FH}) \quad (\text{A-49})$$

A equação (A-49) pode ser reescrita como (A-50) aonde α é definido em (A-51).

$$E[t_{dw}] = E[t_c] \frac{\alpha}{\theta} \quad (\text{A-50})$$

$$\alpha = 1 - P_{BN} - \theta P_{FH} \quad (\text{A-51})$$

Definindo o parâmetro Y como em (A-52),

$$Y = \frac{E[t_{dw}]}{E[t_c]} \quad (\text{A-52})$$

no caso do tempo de permanência na célula ser uma distribuição exponencial, Y é dado por (A-53).

$$Y = \frac{\alpha}{\theta} \quad (\text{A-53})$$

Os valores de Y da equação (A-53), obtidos em MATLAB, estão na tabela A.1 para todos os valores de mobilidade θ e de par de QoS $Q\% = (P_{BN}\%; P_{FH}\%)$ necessários à simulação. Observe que o valor de Y quase não varia com o par de QoS e tem seu valor próximo a $\frac{1}{\theta}$ para distribuição exponencial.

Tabela A.1: Valores de Y para permanência exponencial.

θ	$Q\%(1; 0, 5)$	$Q\%(3; 1)$	$Q\%(5; 3)$	$Q\%(4; 0, 4)$
0,2	4,945	4,840	4,720	4,796
0,5	1,975	1,930	1,870	1,916
1	0,985	0,960	0,920	0,956
2	0,490	0,475	0,445	0,476
4	0,243	0,233	0,208	0,236
6	0,160	0,152	0,128	0,156
8	0,119	0,111	0,089	0,116
10	0,094	0,087	0,065	0,092

Utilizando o mesmo desenvolvimento da distribuição exponencial,

equacionaremos o problema para obter o valor esperado do tempo de permanência, $E[t_{dw}]$, como uma função de θ para as demais distribuições.

A.2.2

Tempo de Permanência na Célula dado por uma Distribuição Constante

No caso em que a distribuição do tempo de permanência é dada por uma constante, a função densidade de probabilidade é dada por (A-54).

$$p_{t_{dw}}(T) = \delta(T - E[t_{dw}]) \quad (\text{A-54})$$

$$P_{out} = P[t_{dw} < t_c] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{t_{dw}}^{\infty} \frac{1}{E[t_c]} e^{-\frac{U}{E[t_c]}} \delta(T - E[t_{dw}]) dU dT \quad (\text{A-55})$$

Desenvolvendo (A-55) obtém-se:

$$P_{out} = e^{-\frac{E[t_{dw}]}{E[t_c]}} = e^{-Y} \quad (\text{A-56})$$

Substituindo o valor de P_{out} obtido para o caso de permanência constante da equação (A-56) na equação geral (A-45), resulta em (A-57).

$$\theta = \frac{[1 - P_{BN}]e^{-Y}}{1 - [1 - P_{FH}]e^{-Y}} \quad (\text{A-57})$$

Desenvolvendo (A-57) e utilizando a definição de α feita na equação (A-51) chega-se a equação (A-58).

$$e^Y = \frac{\alpha + \theta}{\theta} \quad (\text{A-58})$$

Logo, o valor de Y definido em (A-52), no caso da permanência constante é dado pela (A-59).

$$Y = \log_e\left(\frac{\alpha + \theta}{\theta}\right) = \ln\left(\frac{\alpha + \theta}{\theta}\right) \quad (\text{A-59})$$

De (A-59) conclui-se:

$$E[t_{dw}] = E[t_c] \ln \frac{\alpha + \theta}{\theta} \quad (\text{A-60})$$

A seguir são analisadas diferentes valores que Y pode assumir. Deve-se observar que o caso $Y > 0$ deve ser sempre verdade pois Y é a razão entre dois tempos sempre positivos, então a condição obtida para θ na equação (A-64) é uma condição necessária para um sistema real.

Caso $Y > 0$

$$Y = \ln\left(\frac{\alpha + \theta}{\theta}\right) > 0 \quad (\text{A-61})$$

$$\frac{\alpha + \theta}{\theta} > 1 \quad (\text{A-62})$$

$$\alpha > 0 \Rightarrow (1 - P_{BN} - \theta P_{FH}) > 0 \quad (\text{A-63})$$

$$\theta < \frac{1 - P_{BN}}{P_{FH}} \quad (\text{A-64})$$

Caso $Y > 1$

$$Y = \ln\left(\frac{\alpha + \theta}{\theta}\right) > 1 \quad (\text{A-65})$$

$$\frac{\alpha + \theta}{\theta} > e \quad (\text{A-66})$$

$$\theta < \frac{\alpha}{e - 1} \quad (\text{A-67})$$

Caso $Y < 1$

$$\theta \geq \frac{\alpha}{e - 1} \quad (\text{A-68})$$

$$\theta \geq \frac{1 - P_{BN}}{P_{FH} + e - 1} \quad (\text{A-69})$$

Os valores de Y obtidos em MATLAB da equação (A-59) estão na tabela A.2 para todos os valores de mobilidade θ e de par de QoS $Q\% = (P_{BN}\%; P_{FH}\%)$ necessários à simulação. Observa-se novamente que o valor de Y apresenta pequena variação com o valor do par de QoS e uma variação maior com o valor de θ . Além disto, observa-se que o valor de Y se afasta de $\frac{1}{\theta}$ para θ pequeno.

Tabela A.2: Valores de Y para permanência constante.

θ	$Q\%(1; 0, 5)$	$Q\%(3; 1)$	$Q\%(5; 3)$	$Q\%(4; 0, 4)$
0,2	1,7826	1,7647	1,7440	1,7572
0,5	1,0902	1,0750	1,0543	1,0702
1	0,6856	0,6729	0,6523	0,6709
2	0,3988	0,3887	0,3681	0,3893
4	0,2171	0,2090	0,1886	0,2119
6	0,1484	0,1412	0,1207	0,1450
8	0,1122	0,1055	0,0850	0,1098
10	0,0898	0,0834	0,0630	0,0880

A.2.3

Tempo de Permanência na Célula dado por uma Distribuição Uniforme

Considerando a permanência como uma distribuição uniforme no intervalo $[0, 2E[T_{dw}]]$, a função densidade de probabilidade é dada por (A-70) e P_{out} é calculado na equação (A-71).

$$p_{t_{dw}}(T) = \frac{1}{2E[t_{dw}]} \quad (A-70)$$

$$P_{out} = P[t_{dw} < t_c] = \int_0^{2E[t_{dw}]} \frac{1}{2E[t_{dw}]} \int_T^\infty \frac{1}{E[t_c]} e^{-\frac{U}{E[t_c]}} dU dT \quad (A-71)$$

Desenvolvendo (A-71) obtém-se:

$$P_{out} = \frac{E[t_c]}{2E[t_{dw}]} \left(-e^{-\frac{2E[t_{dw}]}{E[t_c]}} + 1 \right) \quad (A-72)$$

Utilizando o parâmetro Y definido em (A-52), a equação (A-72) pode ser escrita como:

$$P_{out} = \frac{1}{2Y} (1 - e^{-2Y}) \quad (A-73)$$

Substituindo o valor de P_{out} obtido para o caso de permanência uniforme da equação (A-73) na equação geral (A-45), resulta em:

$$\theta = \frac{[1 - P_{BN}] \left(\frac{1 - e^{-2Y}}{2Y} \right)}{1 - \left(\frac{1 - e^{-2Y}}{2Y} \right) [1 - P_{FH}]} \quad (A-74)$$

Desenvolvendo (A-74) e utilizando a definição do parâmetro α da equação (A-51) e do parâmetro B definido na equação (A-75) chega-se à

equação (A-76).

$$B = \frac{\alpha + \theta}{2\theta} \tag{A-75}$$

$$Y + Be^{-2Y} - B = 0 \tag{A-76}$$

Deseja-se encontrar o valor de Y que atenda à equação (A-76), ou seja, Y é a raiz da equação (A-76). Este valor não pode ser encontrado de forma analítica então sua solução é encontrada de forma numérica para cada conjunto de valores (θ, P_{BN}, P_{FH}) . Tais resultados obtidos em MATLAB por método numérico para a extração de raízes estão na tabela A.3 para todos os valores de mobilidade θ e de par de QoS $Q\% = (P_{BN}\%; P_{FH}\%)$ necessários à simulação.

Tabela A.3: Valores de Y para permanência uniforme.

θ	$Q\%(1; 0, 5)$	$Q\%(3; 1)$	$Q\%(5; 3)$	$Q\%(4; 0, 4)$
0,2	2,9646	2,9114	2,8504	2,889
0,5	1,3964	1,3705	1,3358	1,324
1	0,7867	0,7698	0,7426	0,7671
2	0,4293	0,4175	0,3938	0,4183
4	0,2256	0,2169	0,1949	0,2199
6	0,1523	0,1447	0,1233	0,1486
8	0,1144	0,1074	0,0863	0,1118
10	0,0912	0,0846	0,0636	0,0893

A.2.4

Tempo de Permanência na Célula dado por uma Distribuição Weibull

No caso em que a permanência do usuário na célula é modelada por uma distribuição Weibull, sua função densidade de probabilidade é dada por (A-77) e seu valor médio é dado por (A-78).

$$p_{t_{dw}}(T_{DW}) = \frac{K}{\lambda} \left(\frac{t_{dw}}{\lambda}\right)^{(K-1)} e^{-\left(\frac{t_{dw}}{\lambda}\right)^K} u(T_{DW}) \tag{A-77}$$

$$E[t_{dw}] = \lambda \Gamma\left(1 + \frac{1}{K}\right) \tag{A-78}$$

Ou,

$$\lambda = E[t_{dw}] \frac{K}{\Gamma\left(\frac{1}{K}\right)} \tag{A-79}$$

Utilizando o valor 0,5 para o parâmetro K , da equação (A-78), o parâmetro λ é calculado em (A-80).

$$\lambda = E[t_{dw}] \frac{0,5}{\Gamma(2)} = \frac{E[t_{dw}]}{2} \tag{A-80}$$

A probabilidade P_{out} é calculada na equação (A-81).

$$P_{out} = P[t_{dw} < t_c] = \int_0^\infty \frac{KT^{K-1}}{\lambda^K} e^{-\left(\frac{T}{\lambda}\right)^K} \int_T^\infty \frac{1}{E[t_c]} e^{-\frac{U}{E[t_c]}} dU dT \tag{A-81}$$

Desenvolvendo (A-81) obtém-se:

$$P_{out} = \int_0^\infty \frac{KT^{K-1}}{\lambda^K} e^{-\left(\frac{T}{\lambda}\right)^K} e^{-\frac{T}{E[t_c]}} dT \tag{A-82}$$

Utilizando o valor 0,5 para o parâmetro K e o valor de λ dado em (A-80), a equação (A-82) é escrita como:

$$P_{out} = \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{2E[t_{dw}]T}} e^{-\sqrt{\frac{2T}{E[t_{dw}]}}} e^{-\frac{T}{E[t_c]}} dT \tag{A-83}$$

Lembrando que:

$$E[t_{dw}] = YE[t_c] \tag{A-84}$$

A equação (A-83) é escrita como:

$$P_{out} = \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{2YE[t_c]T}} e^{-\sqrt{\frac{2T}{YE[t_c]}}} e^{-\frac{T}{E[t_c]}} dT \tag{A-85}$$

Substituindo o valor de P_{out} da equação (A-85) na equação geral (A-45), resulta na equação (A-86) que não tem solução analítica.

$$\theta = \frac{[1 - P_{BN}] \left[\int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{2YE[t_c]T}} e^{-\sqrt{\frac{2T}{YE[t_c]}}} e^{-\frac{T}{E[t_c]}} dT \right]}{1 - \left[\int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{2YE[t_c]T}} e^{-\sqrt{\frac{2T}{YE[t_c]}}} e^{-\frac{T}{E[t_c]}} dT \right] [1 - P_{FH}]} \tag{A-86}$$

Dados os valores de θ , P_{BN} , P_{FH} e $E[t_c]$, a equação (A-86) pode ser invertida e o valor numérico de Y pode ser obtido.

A razão Y entre o valor esperado do tempo de permanência na célula, $E[t_{dw}]$, e o valor esperado do tempo de duração da chamada, $E[t_c]$, foi calculada em MATLAB e seus valores estão organizados na tabela A.4 para

todos os valores de mobilidade θ e de par de QoS $Q\% = (P_{BN}\%; P_{FH}\%)$ necessários às simulações realizadas neste trabalho.

Tabela A.4: Valores de Y para permanência Weibull.

θ	$Q\%(1; 0, 5)$	$Q\%(3; 1)$	$Q\%(5; 3)$	$Q\%(4; 0, 4)$
0,2	30,000	28,000	26,000	27,000
0,5	5,700	5,508	5,200	5,450
1	1,800	1,800	1,700	1,800
2	0,700	0,670	0,600	0,650
4	0,290	0,275	0,240	0,280
6	0,180	0,170	0,142	0,175
8	0,130	0,122	0,096	0,128
10	0,102	0,094	0,070	0,100

Observa-se que, no caso da distribuição Weibull, os valores de Y são bem diferentes dos valores obtidos para as distribuições exponencial, constante e uniforme analisados nos itens anteriores. Além disso, para mobilidade baixa, θ pequeno, os valores de Y são bem diferentes de $1/\theta$.

A.2.5

Razão entre os Valores Esperados do Tempo de Permanência na Célula e da Duração da Chamada

Nos itens anteriores foram calculados valores do parâmetro Y , definido na equação (A-42), considerando que a distribuição do tempo de permanência na célula pode ser uma exponencial, distribuição constante, distribuição uniforme ou ainda uma distribuição Weibull. Os resultados estão nas tabelas A.1, A.2, A.3, A.4, respectivamente, considerando diversos valores de taxa de mobilidade, θ , e probabilidades de bloqueio de chamadas Novas, P_{BN} , e de Handoff, P_{FH} .

O valor de Y é necessário para determinar o tempo médio de retenção do recurso que será necessário à simulação, para cada caso de distribuição do tempo de permanência do usuário na célula, taxa de mobilidade e probabilidades de bloqueio de chamadas Novas, P_{BN} , e de Handoff, P_{FH} .

Observando as tabelas A.1, A.2, A.3, A.4, notamos que a razão entre $E[t_{dw}]$ e $E[t_c]$, dada pelo parâmetro Y , sofre apenas uma pequena variação com o valor do par de QoS. O mesmo comportamento se dá para as quatro distribuições estudadas: exponencial, constante, uniforme e Weibull. Sendo assim, para facilitar o programa de simulação da rede, adotaremos o valor médio de Y em relação ao QoS. Os valores médios de Y utilizados são dados na tabela A.5. Observe que a coluna $1/\theta$ apresenta o valor aproximado de

Tabela A.5: Valores de Y médio para cada tipo de distribuição de permanência.

θ	$1/\theta$	Exponencial	Constante	Uniforme	Weibull
0,2	5	4,825	1,762	2,904	27,750
0,5	2	1,923	1,072	1,357	5,465
1	1	0,955	0,670	0,767	1,775
2	0,5	0,472	0,386	0,415	0,655
4	0,25	0,230	0,207	0,214	0,271
6	0,167	0,149	0,139	0,142	0,167
8	0,125	0,109	0,103	0,105	0,119
10	0,1	0,085	0,081	0,082	0,092

Y , numa abordagem simplista que é válida para alta mobilidade. Contudo, no caso de mobilidade baixa, os valores de Y e de $\frac{1}{\theta}$ são muito afastados. Os valores de Y utilizados na simulação foram os valores da tabela A.5, desenvolvidos neste apêndice, sendo um valor de Y para cada distribuição e cada taxa de mobilidade, θ .

A.3

Gráficos das Distribuições

Nas figuras A.3, A.4, A.5 e A.6 são apresentados os histogramas das distribuições do tempo de duração da chamada, do tempo de permanência do usuário na célula e do tempo de retenção do recurso (ou canal).

Na figura A.3 são apresentadas as distribuições correspondentes ao caso de tempo de permanência modelado por uma distribuição exponencial. Observa-se que o valor médio da distribuição exponencial para o tempo de permanência é $120Y$ (dist. exponencial, $\theta = 2$) = $120 \times 0,472 = 56,64$. O tempo de retenção do canal também é uma distribuição exponencial cujo valor médio é 38,466. Este mesmo valor é obtido analiticamente da equação (A-16).

Na figura A.4 são apresentadas as distribuições correspondentes ao caso de permanência constante cujo valor médio $120Y$ (dist. constante, $\theta = 2$) = $120 \times 0,386 = 46,32$. O tempo de retenção do canal apresenta valor médio de 38,44. Este mesmo valor é obtido analiticamente da equação (A-22).

Na figura A.5 são apresentadas as distribuições correspondentes ao caso de tempo de permanência do usuário na célula como uma distribuição uniforme. Observa-se que o valor médio da distribuição uniforme é $120Y$ (dist. uniforme, $\theta = 2$) = $120 \times 0,415 = 49,8$. A retenção do canal apresenta

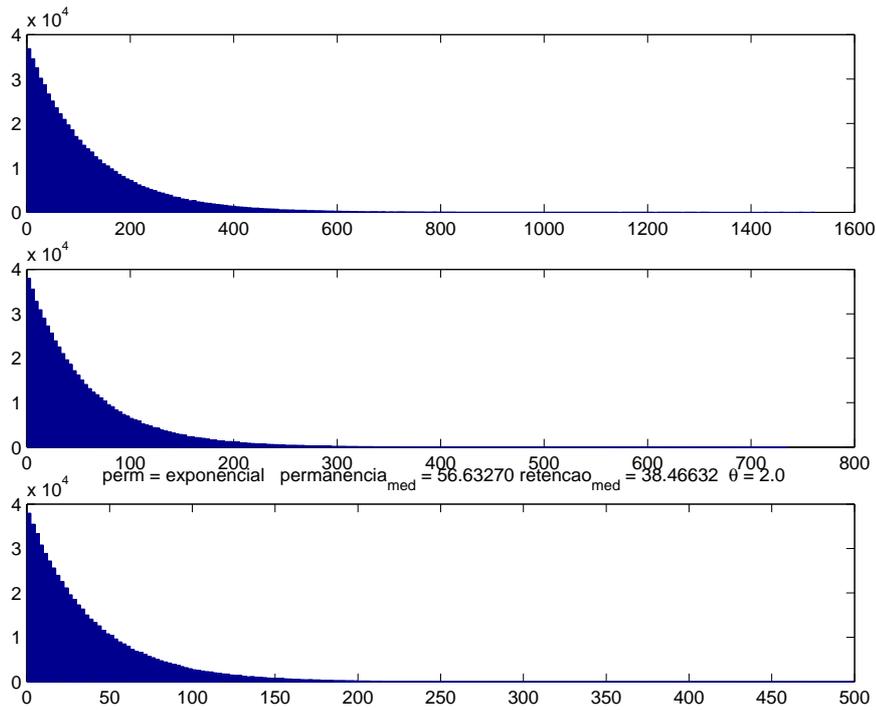


Figura A.3: Histogramas da distribuição exponencial do tempo de duração da chamada, distribuição exponencial do tempo de permanência na célula e distribuição exponencial do tempo de retenção do canal, para $\theta = 2$.

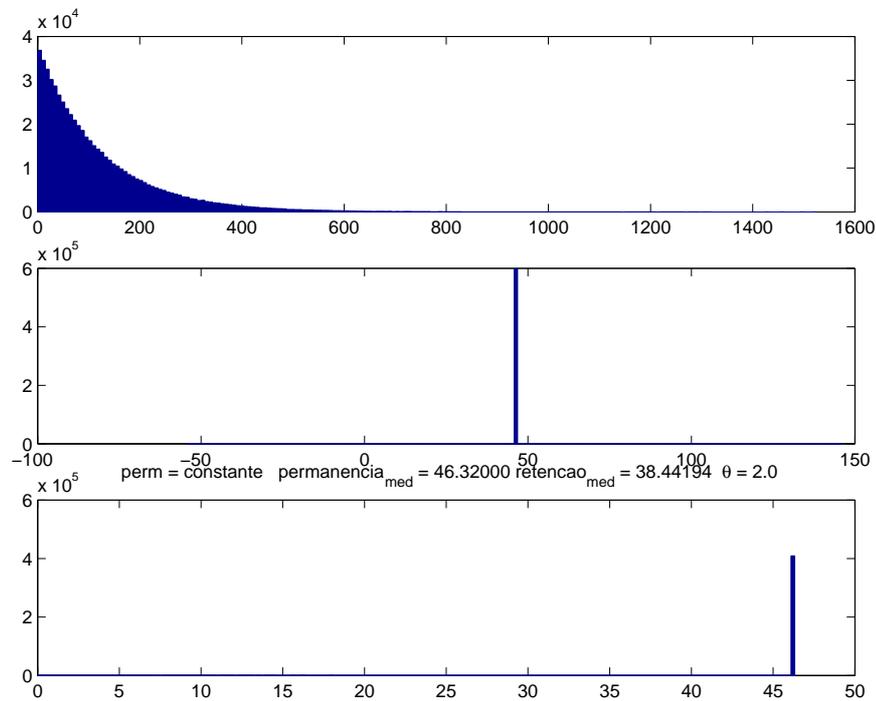


Figura A.4: Histogramas da distribuição exponencial do tempo de duração da chamada, distribuição constante do tempo de permanência na célula e distribuição do tempo de retenção do canal, para $\theta = 2$.

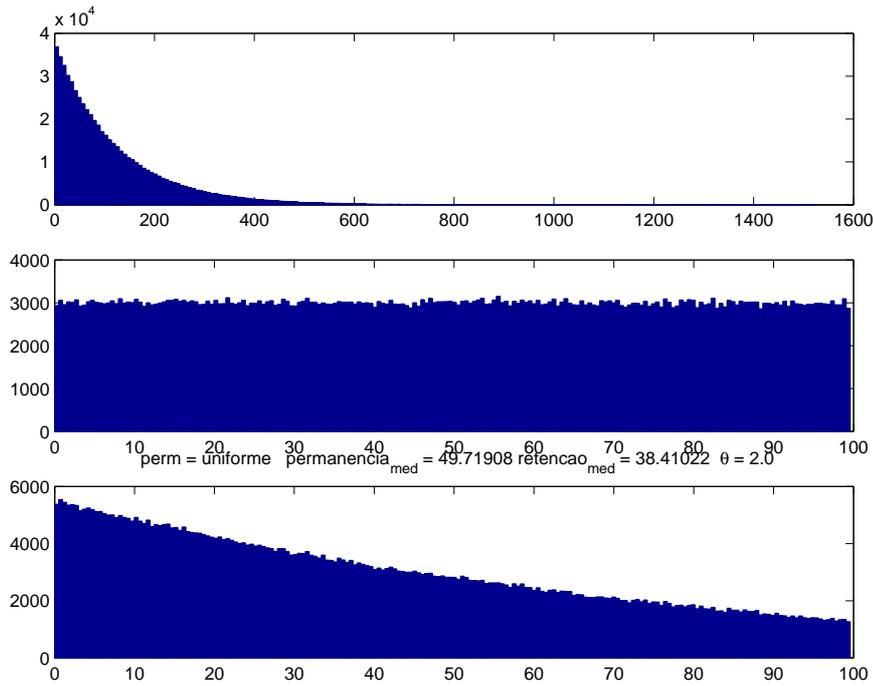


Figura A.5: Histogramas da distribuição exponencial do tempo de duração da chamada, distribuição uniforme do tempo de permanência na célula e distribuição do tempo de retenção do canal, para $\theta = 2$.

valor médio de 38,41. Este mesmo valor é obtido analiticamente da equação (A-32).

Na figura A.6 são apresentadas as distribuições correspondentes ao caso de tempo de permanência com distribuição Weibull. Observa-se que o valor médio da distribuição Weibull é $120Y$ (dist. Weibull, $\theta = 2$) = $120 \times 0,655 = 78,6$. O tempo de retenção do canal é uma distribuição cujo valor esperado é 33,55. Este valor não pode ser obtido analiticamente.

Nos quatro casos, o tempo de duração da chamada é modelado por uma distribuição exponencial de média 120 segundos e o valor do parâmetro de mobilidade θ é 2. Em cada uma das figuras, há uma distribuição diferente para o tempo de permanência do usuário na célula. Na figura A.3 a distribuição do tempo de permanência é a exponencial. Nas figuras A.4, A.5 e A.6 as distribuições são a distribuição uniforme, distribuição constante e distribuição Weibull, respectivamente.

O valor médio do tempo de permanência na célula é calculado segundo a razão Y de cada distribuição e taxa de mobilidade $\theta = 2$, seus valores são apresentados na tabela A.5. O tempo de retenção do canal é obtido pelo menor valor entre o tempo de duração da chamada sorteado da distribuição exponencial e o tempo de permanência na célula. Desta forma são calculados os tempos de retenção dos recursos nas simulações deste trabalho.

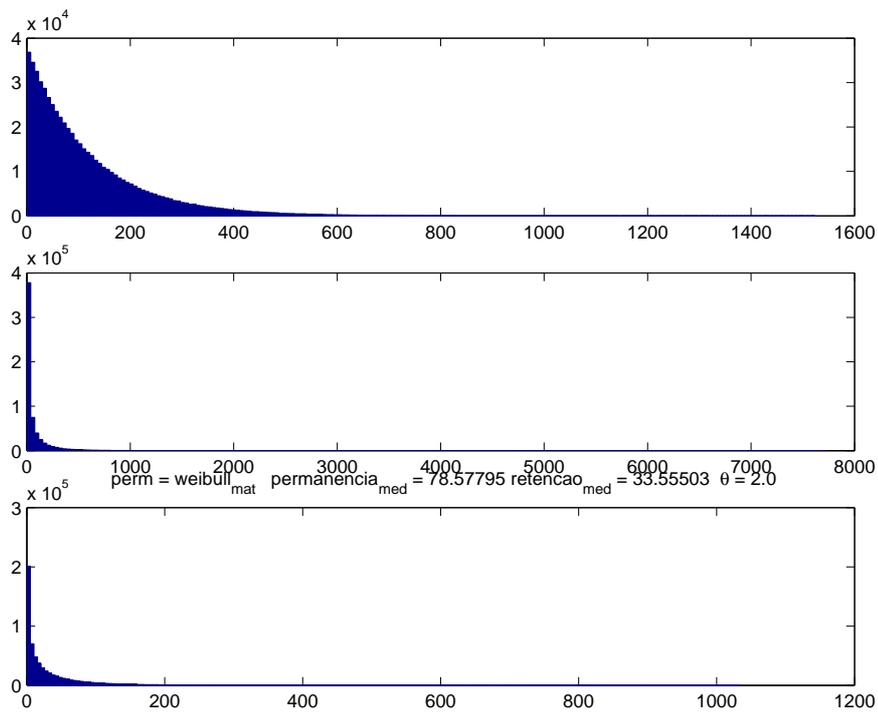


Figura A.6: Histogramas da distribuição exponencial do tempo de duração da chamada, distribuição Weibull do tempo de permanência na célula e distribuição do tempo de retenção do canal, para $\theta = 2$.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)