



Luciano Da Silva Santos

**Tolerância à Falha dos Agentes de Mobilidade
do Protocolo Mobile IP**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Marco Antonio Grivet Mattoso Maia

Rio de Janeiro
Agosto de 2005



Luciano da Silva Santos

**Tolerância à Falha dos Agentes de Mobilidade do
Protocolo Mobile IP**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Marco Antonio Grivet Mattoso Maia

Orientador

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. Juraci Ferreira Galdino

IME

Prof. Sergio Colcher

Departamento de Informática - PUC-Rio

Prof. Rodolfo Sabóia Lima de Souza

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 05 de agosto de 2005

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

Luciano Da Silva Santos

Graduou-se em Engenharia Elétrica com ênfase em Telecomunicações na UERJ (Universidade Estadual do Rio de Janeiro) em 2002. Foi bolsista da CAPES durante este curso de Mestrado. Tem como principais interesses: pesquisas em sistemas celulares, rede de alta velocidade móvel ou fixa, protocolos que garantem mobilidades aos usuários móveis e nos protocolos que provém qualidade de serviço.

Ficha catalográfica

Santos, Luciano da Silva

Tolerância à falha dos agentes de mobilidade do protocolo mobile IP / Luciano da Silva Santos ; orientador: Marco Antonio Grivet Mattoso Maia. – Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2005.

204 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica .

Inclui referências bibliográficas

1. Engenharia Elétrica – Teses. 2. Redes locais sem fio. 3. IEEE 802.1. 4. IP móvel. 5. Qualidade de serviço. 6. 3ª. Geração (3G). 7. Agente de origem. 8. Agente estrangeiro. 9. Gerência de rede. I. Maia, Marco Antonio Grivet Matoso. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica . III. Título.

CDD: 621.3

Aos meus pais, Gilson Da Silva Santos e Ivone Da Silva Santos, e ao meu irmão, Giovane Da Silva Santos, e aos meus avós, Levy Da Silva Santos, Nahir Da Silva Santos, Luiz José Da Silva e Floripes Lopes Da Silva pelo apoio e confiança que sempre depositaram em mim.

Agradecimentos

Ao meu orientador Professor Marco Antonio Grivet Mattoso Maia pelo estímulo, parceria e confiança para a realização deste trabalho.

Ao CAPES e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos meus amigos Rodrigo Da Silva Mello, Marco Aurélio e João Felipe Buenaga por todo apoio e compreensão.

Aos meus pais, pela educação, atenção e carinho de todas as horas.

Aos meus colegas da PUC-Rio.

Aos professores que participaram da Comissão examinadora.

Aos professores do CETUC que contribuíram para minha formação.

A todos os amigos e familiares que de uma forma ou outra me estimularam ou me ajudaram.

Resumo

Santos, Luciano Da Silva; Maia, Antonio Grivet Mattoso. **Tolerância à falha dos Agentes de Mobilidade do Protocolo Mobile IP**. Rio de Janeiro, 2005. 204p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O crescimento da Internet, tanto do ponto de vista do número de usuários como dos serviços oferecidos, e o rápido progresso da tecnologia de comunicação sem fio, tornou possível uma demanda crescente por sistemas sem fios que permitam o acesso a Internet. Porém, um dos principais fatores desafiadores para o desenvolvimento desta nova forma de acesso é a mobilidade das estações móveis. A fim de resolver todos os problemas relacionados à introdução da mobilidade nesta nova forma de acesso, a Internet Engineering Task Force (IETF) através de pesquisas definiu o Mobile IP como o protocolo padrão para esse novo cenário. Embora este protocolo receba inúmeras contribuições que visam melhorar o seu desempenho tanto nas questões de handoff e de segurança dos registros dos usuários, este protocolo não recebe a mesma atenção para a questão da falha dos seus Agentes de Mobilidade. Estes agentes suportam as conexões das estações móveis integrando as redes sem fio com as redes IP amplamente difundida. Portanto, o objetivo desta dissertação é apresentar uma proposta de tolerância à falha dos Agentes de Mobilidade a fim de contribuir nesta linha de pesquisa.

Palavras-chave

Redes locais sem fio; IEEE 802.11; IP Móvel; Qualidade de Serviço; 3^a. Geração (3G); Agente de Origem; Agente Estrangeiro; Gerência de Rede.

Abstract

Santos, Luciano Da Silva; Maia, Antonio Grivet Mattoso. **Fault Tolerance of Mobility Agents of Protocol Mobile IP**. Rio de Janeiro, 2005. 204p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The growth of the Internet, as much of the point of view of the number of users as of the offered services, and the fast progress of the wireless communication technology, it became possible a demand for wireless systems that allow the access the Internet. However, one of the main challenging factors for the development this new access way is the mobility of the mobile stations. In order to solve all of the problems related to the introduction of the mobility in this new access form, the Internet Engineering Task Forces (IETF) through researches it defined Mobile IP as the standard protocol for that new scenery. Although this protocol receives countless contributions that seek to improve it so much acting in the handoff subjects and of safety of the users' registrations, this protocol doesn't receive the same attention for the subject of the fault of their Mobility Agents. These agents support the connections of the mobile stations integrating the wireless networks with IP networks spread. Therefore, the objective of this dissertation is to present a proposal of fault tolerance of the Mobility Agents in order to contribute in this research line.

Keywords

Wireless Local Area Network; IEEE 802.11; Mobile IP; Quality of Service; Third Generation; Home Agent; Foreign Agent; Network Management.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	20
2 IP SUPORTANDO MOBILIDADE - Mobile IP	25
2.1. Exigências do protocolo e aplicabilidade	26
2.2. Arquitetura de rede para o Mobile IP	27
2.3. Anúncio dos Agentes de Mobilidade	31
2.4. Síntese do funcionamento do protocolo Mobile IP	34
2.5. Registro utilizando o protocolo Mobile IP	37
2.5.1. Mensagem de solicitação de registro	38
2.5.2. Mensagem de resposta de registro	42
2.6. Serviços da 3 ^a . Geração dos sistemas celulares	45
2.6.1. Exigências da classe de serviço conversacional	46
2.6.2. Exigências da classe de serviço interativa	48
2.6.3. Exigências da classe de serviço streaming	50
2.6.4. Exigências da classe de serviço background	51
3 ALGORITMOS DE ENFILEIRAMENTO	53
3.1. Enfileiramento FIRST IN FIRST OUT (FIFO)	54
3.2. Enfileiramento por prioridade	55
3.3. Enfileiramento baseado em classes	56
3.4. Enfileiramento justo ponderado	57
3.5. Algoritmo Random Early Detection (RED)	58
3.5.1. Detalhes do algoritmo RED	60
4 TRABALHOS RELACIONADOS	62
5 NOVA PROPOSTA DE TOLERÂNCIA À FALHA DOS AGENTES DE MOBILIDADE	70
5.1. Tolerância à falha dos Agentes Estrangeiros	73
5.1.1. Critérios de alocações dos FAs como membro de backup	76

5.2. Tolerância à falha dos Agentes de Origem	81
5.2.1. Critérios de alocações dos HAs como membros de backup	84
6 SIMULAÇÃO	93
6.1. Ambiente de simulação	93
6.2. Resultados	97
6.2.1. Falha dos Agentes Estrangeiros	97
6.2.1.1. Ocorrência da primeira falha	97
6.2.1.1.1. Link que conecta FA01 ao seu roteador de borda	103
6.2.1.1.1.1. Efeito do mecanismo RED na nova proposta analisando o FA01	109
6.2.1.1.2. Link que conecta FA03 ao seu roteador de borda	110
6.2.1.1.2.1. Efeito do mecanismo RED na nova proposta analisando o FA03	117
6.2.1.2. Ocorrência da segunda falha	122
6.2.1.2.1. Link que conecta FA05 ao seu roteador de borda	122
6.2.1.2.1.1. Efeito do mecanismo RED na nova proposta analisando o FA05	124
6.2.1.3. Ocorrência da terceira falha	129
6.2.1.3.1. Link que conecta FA01 ao seu roteador de borda	130
6.2.1.3.1.1. Efeito do mecanismo RED na nova proposta analisando o FA01	135
6.2.1.3.2. Link que conecta FA05 ao seu roteador de borda	139
6.2.1.3.2.1. Efeito do mecanismo RED na nova proposta analisando o FA05	144
6.2.2. Falha dos Agentes de Origem	146
6.2.2.1. Ocorrência da primeira falha	148
6.2.2.2. Ocorrência da segunda falha	162
6.2.2.3. Ocorrência da terceira falha	171
7 CONCLUSÃO	180
8 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	183

APÊNDICE A: Ocorrência da segunda falha – determinação dos FAs como membro de backup 185

APÊNDICE B: Ocorrência da terceira falha – determinação dos FAs como membro de backup 189

APÊNDICE C: Ocorrência da segunda falha – determinação dos HAs como membro de backup 194

APÊNDICE D: Ocorrência da terceira falha – determinação dos HAs como membro de backup 200

Lista de figuras

Figura 1 - Arquitetura de Rede para o Mobile IP.	27
Figura 2 - Formato dos campos da mensagem de anúncio dos Agentes de Mobilidade.	32
Figura 3 - Síntese do funcionamento do Protocolo Mobile IP.	36
Figura 4 - Formato dos campos da mensagem Solicitação de Registro.	39
Figura 5 - Formato dos campos da mensagem Resposta de Registro.	43
Figura 6 - Característica de uma sessão de pacotes da classe de serviço interativa.	49
Figura 7 - Enfileiramento First In First Out.	54
Figura 8 - Enfileiramento por prioridade.	55
Figura 9 - Enfileiramento CBQ.	57
Figura 10 - Enfileiramento WFQ.	58
Figura 11 - Protocolo de tolerância à falha dos HAs usando redundância de hardware.	63
Figura 12 - Agentes Estrangeiros em uma topologia de rede hierárquica.	65
Figura 13 - Arquitetura de Rede.	70
Figura 14 - Caminhos Lógicos.	76
Figura 15 - Falha de um Agente Estrangeiro.	77
Figura 16 - Listas de BTSs que possuem como primeira opção de membro de backup os HA2 e HA3.	90
Figura 17 - Listas de BTSs organizadas por ordem crescente quanto aos retardos.	90
Figura 18 - Primeira falha (falha do FA02): porcentagens de perdas dos pacotes do serviço FTP.	104
Figura 19 - Primeira falha (falha do FA02): porcentagens de perdas dos pacotes do serviço de Vídeo Conferência.	104
Figura 20 - Primeira falha (falha do FA02): Retardos médios medidos até o roteador de borda (Edge01).	106
Figura 21 - Primeira falha (falha do FA02): Retardos médios medidos até as BTS5, BTS6, BTS7 e BTS8.	106
Figura 22 - Gráfico da figura anterior em uma faixa de tempo menor (105 à 135s).	107
Figura 23 - Primeira falha (falha do FA02): Retardos médios medidos até BTS5.	108
Figura 24 - Primeira falha (falha do FA02): Retardos médios medidos até BTS6.	109
Figura 25 - Primeira falha (falha do FA02): Retardos médios medidos até BTS7.	109
Figura 26 - Primeira falha (falha do FA02): Efeito do mecanismo RED sobre o link FA01 Edge01.	110

Figura 27 - Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço de Vídeo Conferência para três cenários simulados.	112
Figura 28 - Primeira falha (falha do FA02): porcentagens de perdas dos pacotes do serviço FTP.	113
Figura 29 - Primeira falha (falha do FA02): porcentagens de perdas dos pacotes do serviço VoIP.	113
Figura 30 - Primeira falha (falha do FA02): Retardos médios medidos até o roteador de borda (Edge03).	114
Figura 31 - Primeira falha (falha do FA02): Retardos médios medidos até BTS8.	116
Figura 32 - Primeira falha (falha do FA02): Efeito do mecanismo RED sobre os pacotes do serviço FTP.	117
Figura 33 - Primeira falha (falha do FA02): Efeito do mecanismo RED sobre os pacotes do serviço Vídeo Conferência.	118
Figura 34 - Primeira falha (falha do FA02): Efeito do mecanismo RED sobre os pacotes do serviço VoIP.	119
Figura 35 - Probabilidade de descarte de pacotes monitorada no buffer do FA03.	120
Figura 36 - Primeira falha (falha do FA02): Efeito do mecanismo RED sobre o link FA03 Edge03.	121
Figura 37 - Número de pacotes que chegam ao FA05 em duas situações diferentes.	123
Figura 38 - Segunda falha (falha do FA04): Retardos médios medidos até Edge05 e as diferentes BTSs.	123
Figura 39 - Gráfico da figura anterior em uma faixa de tempo menor.	124
Figura 40 - Segunda falha: Efeito do mecanismo RED sobre os pacotes do serviço FTP.	126
Figura 41 - Segunda falha: Efeito do mecanismo RED sobre os pacotes do serviço de Vídeo Conferência.	126
Figura 42 - Segunda falha: Efeito do mecanismo RED sobre os pacotes do serviço VoIP.	126
Figura 43 - Número de pacotes que chegaram ao FA05 até o instante 240s da simulação.	127
Figura 44 - Probabilidade de descarte de pacotes monitorada no buffer do FA05.	128
Figura 45 - Segunda falha: Efeito do mecanismo RED sobre o link FA05 Edge05.	128
Figura 46 - Terceira falha (falha do FA03): porcentagens de perdas dos pacotes do serviço FTP.	131
Figura 47 - Terceira falha (falha do FA03): porcentagens de perdas dos pacotes do serviço de Vídeo Conferência.	132
Figura 48 - Terceira falha (falha do FA03): porcentagens de perdas dos pacotes do serviço VoIP.	133
Figura 49 - Terceira falha (falha do FA03): Retardos médios medidos até o roteador de borda (Edge01).	134
Figura 50 - Terceira falha (falha do FA03): Retardos médios medidos até BTS8.	134

Figura 51 - Terceira falha: Efeito do mecanismo RED sobre os pacotes do serviço FTP.	137
Figura 52 - Terceira falha: Efeito do mecanismo RED sobre os pacotes do serviço de Vídeo Conferência.	137
Figura 53 - Terceira falha: Efeito do mecanismo RED sobre os pacotes do serviço VoIP.	137
Figura 54 - Probabilidade de descarte de pacotes monitorada no buffer do FA01.	138
Figura 55 - Terceira falha (falha do FA03): Efeito do mecanismo RED sobre o link FA01 Edge01.	139
Figura 56 - Terceira falha (falha do FA03): Retardos médios medidos até o roteador de borda (Edge05).	140
Figura 57 - Destaque da curva Carga_e_Retardo do gráfico da figura anterior.	141
Figura 58- Retardos médios medidos até Edge05 para o intervalo de 250 à 680s.	142
Figura 59 - Terceira falha (falha do FA03): Retardos médios medidos até BTS9.	143
Figura 60 - Terceira falha (falha do FA03): Retardos médios medidos até BTS10.	143
Figura 61 - Terceira falha (falha do FA03): Retardos médios medidos até BTS11.	144
Figura 62 - Terceira falha (falha do FA03): Retardos médios medidos até BTS12.	144
Figura 63 - Terceira falha (falha do FA03): Efeito do mecanismo RED sobre o link FA05 Edge05.	145
Figura 64 - Efeito do mecanismo RED na nova proposta na ocorrência de duas falhas.	146
Figura 65 - Efeito do mecanismo RED na nova proposta na ocorrência de três falhas.	146
Figura 66 - Primeira falha: lista criada para cada HA ativo como 1ª opção de backup.	151
Figura 67 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS2.	155
Figura 68 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS5.	156
Figura 69 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS6.	156
Figura 70 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS7.	157
Figura 71 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS8.	157
Figura 72 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS9.	158
Figura 73 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS10.	159
Figura 74 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS11.	159
Figura 75 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS12.	159
Figura 76 - Primeira falha: Retardos médios medidos até as diferentes BTSs.	160
Figura 77 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS13.	161
Figura 78 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS15.	162
Figura 79 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS2.	163
Figura 80 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS4.	163
Figura 81 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS5.	164
Figura 82 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS6.	164

Figura 83 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS7.	165
Figura 84 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS8.	165
Figura 85 - Segunda falha: Retardos médios medidos até as diferentes BTSs.	166
Figura 86 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS9.	167
Figura 87 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS10.	167
Figura 88 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS11.	167
Figura 89 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS12.	168
Figura 90 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS13.	169
Figura 91 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS14.	169
Figura 92 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS15.	169
Figura 93 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS16.	170
Figura 94 - Segunda falha: Retardos médios medidos até as BTS17 e BTS19.	171
Figura 95 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS2.	172
Figura 96 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS5.	173
Figura 97 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS6.	173
Figura 98 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS7.	173
Figura 99 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS8.	174
Figura 100 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS9.	175
Figura 101 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS10.	175
Figura 102 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS11.	175
Figura 103 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS12.	176
Figura 104 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS13.	177
Figura 105 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS14.	177
Figura 106 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS15.	177
Figura 107 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS16.	178
Figura 108 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS17.	179
Figura 109 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS19.	179
Figura 110 - Segunda falha: lista criada para cada HA ativo como 1ª opção de backup.	197
Figura 111 - Terceira falha: lista criada para cada HA ativo como 1ª opção de backup.	203

Listas de tabelas

Tabela 1 - Registro executado com sucesso.	43
Tabela 2 - Agente Estrangeiro não aceita o registro.	44
Tabela 3 - Agente de Origem não aceita o registro.	44
Tabela 4 - Desempenho esperado para os usuários finais: Classe conversacional.	48
Tabela 5 - Desempenho esperado para os usuários finais: Classe interativa.	50
Tabela 6 - Desempenho esperado para os usuários finais: Classe streaming.	51
Tabela 7 - Valores para os parâmetros relativos ao FA2 ativo.	78
Tabela 8 - Valores para os parâmetros relativos ao FA3 ativo.	78
Tabela 9 - Execução do primeiro passo empregando as informações relativas ao FA2 ativo.	79
Tabela 10 - Execução do primeiro passo empregando as informações relativas ao FA3 ativo.	79
Tabela 11 - Alocações das BTSs para o FA3 ativo.	81
Tabela 12 - Valores para os parâmetros relativos aos HAs ativos.	85
Tabela 13 - Valores para os parâmetros relativos mencionados nos itens b) e c).	85
Tabela 14 - Identificação do serviço usufruído pela estação móvel.	86
Tabela 15 - Carga de tráfego disponível nos HA2 e HA3.	87
Tabela 16 - Retardo médio total (ms) entre o conjunto de BTSs do FAX e o HAY.	87
Tabela 17 - Retardos médios totais organizados por ordem crescente.	89
Tabela 18 - Valores dos parâmetros utilizados na simulação dos serviços de dados.	94
Tabela 19 - Valores dos parâmetros de propagação.	96
Tabela 20 - Valores relativos para o FA01 como opção de membro de backup.	98
Tabela 21 - Valores relativos para o FA03 como opção de membro de backup.	98
Tabela 22 - Valores relativos para o FA04 como opção de membro de backup.	98
Tabela 23 - Valores relativos para o FA05 como opção de membro de backup.	98
Tabela 24 - Primeira falha: BTSs organizadas por ordem crescente no FA01.	99
Tabela 25 - Primeira falha: BTSs organizadas por ordem crescente no FA03.	99

Tabela 26 - Primeira falha: BTSs organizadas por ordem crescente no FA04.	99
Tabela 27 - Primeira falha: BTSs organizadas por ordem crescente no FA05.	99
Tabela 28 - Primeira falha: FAs organizadas por ordem decrescente.	100
Tabela 29 - Primeira falha: FA01 primeira opção de membro de backup.	100
Tabela 30 - Primeira falha: BTS não configurada para operar com o FA01.	100
Tabela 31 - Primeira falha: BTS não configurada para operar com o FA05.	101
Tabela 32 - BTS configurada para operar com o FA03 (3ª. opção de backup).	101
Tabela 33 - Configuração encontrada para ocorrência da primeira falha.	102
Tabela 34 - Primeira falha: Configuração realizada para a proposta 2.	102
Tabela 35 - Primeira falha (falha do FA02): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço de Vídeo Conferência.	111
Tabela 36 - Primeira falha (falha do FA02): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço FTP.	112
Tabela 37 - Primeira falha (falha do FA02): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço de Vídeo Conferência.	118
Tabela 38 - Segunda falha (falha do FA04): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço FTP.	125
Tabela 39 - Segunda falha (falha do FA04): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço de Vídeo Conferência.	125
Tabela 40 - Segunda falha (falha do FA04): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço VoIP.	125
Tabela 41 - Terceira falha (falha do FA03): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço FTP.	131
Tabela 42 - Terceira falha (falha do FA03): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço Vídeo Conferência.	132
Tabela 43 - Terceira falha (falha do FA03): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço FTP.	135
Tabela 44 - Terceira falha (falha do FA03): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço de Vídeo Conferência.	136
Tabela 45 - Terceira falha (falha do FA03): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço VoIP.	136
Tabela 46 - Parâmetros monitorados até ocorrência da primeira falha.	148
Tabela 47 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS2.	149
Tabela 48 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS5.	149
Tabela 49 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS6.	149

Tabela 50 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS7.	149
Tabela 51 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS8.	149
Tabela 52 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS9.	149
Tabela 53 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS10.	150
Tabela 54 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS11.	150
Tabela 55 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS12.	150
Tabela 56 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS13.	150
Tabela 57 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS15.	150
Tabela 58 - Distribuição das estações móveis atingidas pela falha do HA02.	152
Tabela 59 - Falha do HA02: HAs organizados por ordem decrescente.	154
Tabela 60 - Valores relativos para o FA01 como opção de membro de backup.	185
Tabela 61 - Valores relativos para o FA03 como opção de membro de backup.	185
Tabela 62 - Valores relativos para o FA05 como opção de membro de backup.	185
Tabela 63 - Segunda falha: BTSs organizadas por ordem crescente no FA01.	186
Tabela 64 - Segunda falha: BTSs organizadas por ordem crescente no FA03.	186
Tabela 65 - Segunda falha: BTSs organizadas por ordem crescente no FA05.	186
Tabela 66 - Segunda falha: FAs organizadas por ordem decrescente.	187
Tabela 67 - Segunda falha: FA05 primeira opção de membro de backup.	187
Tabela 68 - Valores relativos para o FA01 como opção de membro de backup.	189
Tabela 69 - Valores relativos para o FA05 como opção de membro de backup.	189
Tabela 70 - Terceira falha: BTSs organizadas por ordem crescente no FA01.	190
Tabela 71 - Terceira falha: BTSs organizadas por ordem crescente no FA05.	190
Tabela 72 - Terceira falha: FAs organizadas por ordem decrescente.	190
Tabela 73 - Terceira falha: BTSs não configuradas para operarem com o FA01.	191

Tabela 74 - Terceira falha: FA05 segunda opção de membro de backup.	191
Tabela 75 - Terceira falha: BTS não configurada para operar com o FA05.	191
Tabela 76 - BTS configurada para operar com o FA01 (novo retardo limiar).	192
Tabela 77 - Configuração encontrada para ocorrência da terceira falha.	192
Tabela 78 - Terceira falha: Configuração realizada para a proposta 2.	193
Tabela 79 - Parâmetros monitorados até ocorrência da segunda falha.	194
Tabela 80 - Segunda falha: opções de HAs como membro de backup para BTS2.	194
Tabela 81 - Segunda falha: opções de HAs como membro de backup para BTS4.	195
Tabela 82 - Segunda falha: opções de HAs como membro de backup para BTS5.	195
Tabela 83 - Segunda falha: opções de HAs como membro de backup para BTS6.	195
Tabela 84 - Segunda falha: opções de HAs como membro de backup para BTS7.	195
Tabela 85 - Segunda falha: opções de HAs como membro de backup para BTS8.	195
Tabela 86 - Segunda falha: opções de HAs como membro de backup para BTS9.	195
Tabela 87 - Segunda falha: opções de HAs como membro de backup para BTS10.	195
Tabela 88 - Segunda falha: opções de HAs como membro de backup para BTS11.	196
Tabela 89 - Segunda falha: opções de HAs como membro de backup para BTS12.	196
Tabela 90 - Segunda falha: opções de HAs como membro de backup para BTS13.	196
Tabela 91 - Segunda falha: opções de HAs como membro de backup para BTS14.	196
Tabela 92 - Segunda falha: opções de HAs como membro de backup para BTS15.	196
Tabela 93 - Segunda falha: opções de HAs como membro de backup para BTS16.	196
Tabela 94 - Segunda falha: opções de HAs como membro de backup para BTS17.	196
Tabela 95 - Segunda falha: opções de HAs como membro de backup para BTS19.	197
Tabela 96 - Distribuição das estações móveis atingidas pela falha do HA04.	198
Tabela 97 - Falha do HA04: HAs organizados por ordem decrescente.	199

Tabela 98 - Parâmetros monitorados até ocorrência da terceira falha.	200
Tabela 99 - Terceira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS2.	200
Tabela 100 - Terceira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS5.	201
Tabela 101 - Terceira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS6.	201
Tabela 102 - Terceira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS7.	201
Tabela 103 - Terceira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS8.	201
Tabela 104 - Terceira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS9.	201
Tabela 105 - Terceira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS10.	201
Tabela 106 - Terceira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS11.	201
Tabela 107 - Terceira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS12.	201
Tabela 108 - Terceira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS13.	202
Tabela 109 - Terceira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS14.	202
Tabela 110 - Terceira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS15.	202
Tabela 111 - Terceira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS16.	202
Tabela 112 - Terceira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS17.	202
Tabela 113 - Terceira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS19.	202
Tabela 114 - Distribuição das estações móveis atingidas pela falha do HA03.	203
Tabela 115 - Falha do HA03: HAs organizados por ordem decrescente.	204