



**UNIVERSIDADE SALVADOR - UNIFACS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM REDES DE COMPUTADORES**  
**MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM REDES DE COMPUTADORES**

**MERCIA ELIANE BITTENCOURT FIGUEREDO**

**ESTUDO E IMPLANTAÇÃO DE QUALIDADE DE SERVIÇO NA**  
**REDE NACIONAL DE ENSINO E PESQUISA**

**Salvador**  
**2006**

**MERCIA ELIANE BITTENCOURT FIGUEREDO**

**ESTUDO E IMPLANTAÇÃO DE QUALIDADE DE SERVIÇO NA  
REDE NACIONAL DE ENSINO E PESQUISA**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Redes De Computadores, Universidade Salvador - UNIFACS, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: José Augusto Suruagy Monteiro

**Salvador  
2006**

Ficha Catalográfica  
(Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da Universidade Salvador - UNIFACS)

Figueredo, Mercia Eliane Bittencourt

Estudo e implantação de qualidade de serviço na rede nacional de ensino e pesquisa / Mercia Eliane Bittencourt Figueredo. – Salvador, 2006.

128 p. : il.

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Redes de Computadores da Universidade Salvador – UNIFACS, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre.

Orientador a: Prof. Dr. José Augusto Suruagy Monteiro.

1 Redes de computadores. 2. Rede Nacional de Ensino e Pesquisa. I. Monteiro, José Augusto Suruagy, orient. II. Universidade Salvador – Unifacs. III. Título.

CDD: 004.62



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E ARQUITETURA  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE COMUNICAÇÃO  
MESTRADO EM REDES DE COMPUTADORES

**MÉRCIA ELIANE BITTENCOURT FIGUEREDO**

**ESTUDO E IMPLANTAÇÃO DE QUALIDADE DE SERVIÇO NA REDE  
NACIONAL DE ENSINO E PESQUISA**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em  
Redes de Computadores, Universidade Salvador - UNIFACS, do Curso de Mestrado  
Profissional em Redes de Computadores, pela seguinte banca examinadora:

**Prof. José Augusto Suruagy Monteiro (Orientador)**

Doutor em Computer Science, University of California Los Angeles, U.C.L.A., Estados Unidos.  
Universidade Salvador - UNIFACS

**Prof. Michael Anthony Stanton**

Doutor em Matemática. University of Cambridge, CAMBRIDGE, Inglaterra.  
Universidade Federal Fluminense - UFF  
Rede Nacional de Ensino e Pesquisa - RNP

**Prof. Joberto Sérgio Barbosa Martins**

Doutor em Informatique, Université de Paris VI (Pierre et Marie Curie), U.P. VI, França.  
Universidade Salvador - UNIFACS

Salvador, 23 de setembro de 2006

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho ao Coração de Meu Deus, Pai de Amor(Javé). E a todos os filhos dEle que caminharam por esta terra, tiveram seus corações purificados por Ele, no purgatório, e hoje vivem em Sua Companhia. A eles a minha alegria e o meu coração .

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus a graça de ter participado deste trabalho e dos experimentos que o envolveram. Agradeço a Deus por todas as coisas que aprendi durante este tempo, tanto ao nível profissional como para minha vida. Agradeço a Deus a graça de ter podido concluir este trabalho. Agradeço a minha Rainha e Mãe Maria por seu auxílio e socorro. Agradeço aos Anjos e Santos de Deus que intercederam por mim em todas as minhas dificuldades. Agradeço a minha família e aos meus amigos, que me ajudaram do jeito que foi possível. Agradeço aos meus colegas de trabalho pela ajuda que me deram também. Agradeço a RNP por minha participação no grupo de trabalho em QoS e aos técnicos desta instituição pelo auxílio na execução dos experimentos. Agradeço aos técnicos da UFSC pelo auxílio na execução dos experimentos. Agradeço ao meu orientador pela paciência, compreensão e pela ajuda que me deu. Resumindo: Agradeço a Deus o Seu grande Amor por mim.

## Epígrafe

Para todos a entrada na vida é a mesma e a partida é semelhante. Assim implorei e a inteligência me foi dada; supliquei e o Espírito de Sabedoria veio a mim. Eu a preferi aos cetros e tronos, e avaliei a riqueza como um nada, ao lado da sabedoria (Sabedoria 7, 6-8).

## Resumo

Diferentemente das aplicações usuais da Internet, as aplicações avançadas de rede que envolvem a transmissão em tempo real de som e imagem, para funcionarem bem, precisam que a rede ofereça o grau necessário de qualidade de serviço e atenda aos seus requisitos de funcionamento. A Qualidade de Serviço (QoS) em redes pode ser traduzida como sendo o tratamento dado a determinado tráfego, pelos mecanismos disponíveis nos diversos elementos da rede, com o objetivo de garantir os requisitos necessários ao funcionamento da aplicação. Assim como tem acontecido em outras Redes, as instituições ligadas à RNP (Rede Nacional de Ensino e Pesquisa) começaram a desenvolver ou utilizar aplicações multimídia de tempo real ou sob demanda, tais como aplicações de telemedicina, Videoconferência, Vídeo sob demanda e Voz sobre IP (VoIP). A partir desta demanda a RNP realizou estudos preliminares para avaliar e testar QoS IP em seu *backbone*. O resultado destes experimentos foi uma proposta de implementação da arquitetura de serviços diferenciados, com os serviços Olímpico e Premium. O presente trabalho está inserido no escopo do projeto piloto de QoS do GT-QoS2. A proposta deste projeto piloto foi de estender os experimentos de QoS com os serviços Premium, Assegurado, Melhor Esforço e Cata-lixo (*Scavenger*), somente para o tráfego de Vídeo, Voz e o tráfego gerado pelo serviço de medições passivas com Netflow. Os resultados dos experimentos mostraram que, nas condições da rede daquele período de testes, os serviços com QoS foram um pouco melhor que o serviço de melhor esforço. Todos os serviços testados estiveram numa faixa que atendia aos requisitos das aplicações VoIP e de fluxos contínuos de Vídeo. A exceção foi para os resultados com perdas de pacotes, por causa de problemas encontrados na infraestrutura da rede. Como contribuição era esperada uma solução de QoS para as aplicações de Voz e Vídeo da RNP, porém os resultados recomendaram novos testes. De antemão é possível perceber que, sanado os problemas de perdas de pacotes, estas aplicações devem funcionar bem numa rede com sobra de banda e com o serviço de melhor esforço. Provavelmente, o cenário mudará de figura com o aumento da utilização da rede e do número de aplicações multimídia em uso. Por isso, é necessário que a rede seja instrumentada para poder medir a QoS e recuperar rapidamente os resultados.

Palavras-chave: QoS IP, DiffServ, Aplicações Avançadas de Rede.



## **Abstract**

Differently from the usual Internet applications, advanced network applications, which include real time audio and video transmissions, require that the network provides a given quality of service and meets their operating requirements. Quality of service (QoS) in networks can be translated as the treatment given to a specific traffic, by the mechanisms available in various network elements, aiming at guaranteeing the application use requirements. As it has happened in other national research and education networks (NRENs), the institutions connected to RNP (the Brazilian NREN) started to develop or use real time or on demand multimedia applications, such as telemedicine, video conference, video on demand, and Voice over IP (VoIP). Based on this demand, RNP started a project to evaluate and test QoS IP in its backbone. The result of these experiments was a recommendation for the implementation of the differentiated services architecture, offering the so called Olympic and Premium services. The work presented in this dissertation is in the scope of a QoS pilot project proposed by the QoS2 Working Group. The proposal of this pilot project was to extend the QoS experiments with the implementation of Premium, Assured, Best-effort, and Scavenger (less than best effort) services, used only for video, voice and the Netflow passive measurements service generated traffic. The experiments results showed that in the network conditions during that period of tests, the services with QoS performed a little better than the best effort one. All tested services fulfilled the requirements for VoIP and video streaming applications. The exception was for packet loss results, because of network infrastructure problems. As a contribution it was expected a QoS solution for voice and video applications at RNP. However, the results recommended a new round of tests. It is possible to notice that fixed the packet loss problems, these applications should work well in an over provisioned network even using the best effort service. Probably, this scenario will change with network utilization growth and the number of multimedia applications in use. For these reasons, it is necessary that the network be instrumented to be able to measure the achieved QoS and quickly retrieve these results.

Key-words: QoS IP, DiffServ, Advanced Internet Applications.

## Lista de Figuras

Figura 1.1 - Cenário dos experimentos com a aplicação Torcida Virtual .....	9
Figura 2.1 - Funcionamento do Algoritmo Balde de Fichas .....	12
Figura 2.2 - Modos do policiamento do srTCM .....	14
Figura 2.3 - Modos do policiamento do mecanismos trTCM .....	15
Figura 2.4 - Exemplo de estrutura hierárquica do CBQ .....	18
Figura 2.5 - Combinação do CBWFQ e LLQ .....	21
Figura 2.6 - Gráfico utilizado pelo algoritmo RED para descartes de pacotes .....	22
Figura 2.7 - Descritor de fluxos de dados .....	23
Figura 2.8 - Estrutura de referência da arquitetura Intserv .....	25
Figura 2.9 - Estrutura do byte DS .....	26
Figura 2.10 - Visão geral do processo de diferenciação de serviços em um roteador .....	27
Figura 2.11 - Funcionamento do DSD .....	37
Figura 3.1 - Cenário dos experimentos na RNP .....	41
Figura 3.2 - Cenário de configuração dos serviços de rede .....	46
Figura 4.1 - Cenário dos testes .....	53

Figura 4.2 - Funcionamento do Serviço VoIP .....	53
Figura 4.3 - Esquema de medição baseado na RFC 3432 .....	54
Figura 4.4 - Funcionamento geral do OWAMP .....	55
Figura 4.5 - Resultados de atraso obtidos pelo OWAMP nos dias 01 e 08/07/2004 .....	59
Figura 4.6 - Resultados de atraso obtidos pelo OWAMP nos dias 14 e 20/07/2004 .....	60
Figura 4.7 - Resultados de atraso obtidos com o OWAMP nos dias 24 e 25/08 .....	62
Figura 4.8 - Histogramas com a Variação de Atraso para os dias 01 e 08/07/2004 .....	63
Figura 4.9 - Histogramas com a Variação de Atraso para o dia 21/07/2004 .....	63
Figura 4.10 - Histogramas com a Variação de Atraso para o dia 25/08/2004 .....	64
Figura 4.11 - Percentual de perdas dos dias 01, 05, 07 e 08/07 medidas com o OWAMP .	66
Figura 4.12 - Percentual de perdas encontradas nos testes com as ferramentas OpeNam e CallGen de 05 e 07 .....	67
Figura 4.13 - Percentual de perdas coletadas nos dias 14 e 20 com o OWAMP .....	68
Figura 4.14 - Percentual de perdas coletadas nos dias 02 e 09/08/2004 com o OWAMP .	70
Figura 4.15 - Contagem de percentuais de perdas por tipo de serviço .....	72
Figura 4.16 - Contagem de percentuais de perdas por hora de teste .....	73
Figura 5.1 - Cenário inicial para os experimentos com o serviço de vídeo da RNP .....	78
Figura 5.2 - Cenário de testes com os medidores OWAMP .....	78

Figura 5.3 - Resultados de atraso médio obtidos nos dias 16 e 20/07	82
Figura 5.4 - Resultados de atraso obtidos com dois fluxos de vídeo, nos dias de 21 e 22/07/2004	83
Figura 5.5 - Percentual de perda nos dias 16 e 20/07/2004	86
Figura 5.6 - Percentuais de perda obtidos com dois fluxos de vídeo, nos dias 21 e 22/07/2004	87
Figura 5.7 - Resultados de Vazão média nos dias 16 e 20/07/2004	89
Figura 5.8 - Resultados de Vazão média obtidos com dois fluxos, no período de 21 e 22/07/2004	89
Figura 5.9 - Resultados de atraso médio para os testes de 256 kbps nos dias 21 e 28/10 e 04 e 09/11/2004	91
Figura 5.10 - Resultados de atraso médio para os testes de 2 Mbps nos dias 12 e 24/11/2004	92
Figura 5.11 - Resultados de perda média para os testes de 256 kbps nos dias 21 e 28/10 e 04 e 09/11	93
Figura 5.12 - Resultados de perda média fim-a-fim para os testes de 2 Mbps, nos dias 12 e 24/11	95
Figura 5.13 - Ocorrência de perdas por horário	96
Figura 5.14 - Percentual de perdas nos pontos intermediários para os testes a 256 kbps	97
Figura 5.15 - Percentual de perda nos pontos intermediários para os testes a 2 Mbps	97
Figura 5.16 - Cenário dos experimentos com o serviço Cata-lixo	100
Figura 5.17 - Cenário dos experimentos com o serviço Cata-lixo	101

Figura A.1 - Estatísticas de Vazão para a coleta de tráfego com o Netramet nos dias 16 e 19/07/2004 .....	119
Figura A.2 - Estatísticas de Vazão para a coleta de tráfego com o Netramet nos dias de 20 e 23/07/2004 .....	120
Figura B.1 - Estatísticas de utilização de banda para o serviço Cata-lixo no dia 16/07 ..	122
Figura B.2 - Utilização de banda coletada na interface de saída para rede do POP-BA ..	123
Figura B.3 - Utilização de banda coletada na interface de saída para o POP-RJ .....	124
Figura B.4 - Utilização de banda coletada na interface de saída para o POP-BA .....	125
Figura C.1 - Utilização da banda dos <i>links</i> do caminho de testes no dia 14/07/2004 ....	127
Figura C.2 - Utilização da banda dos <i>links</i> do caminho de testes no dia 19/07/2004 ....	128
Figura C.3 - Utilização da banda dos <i>links</i> do caminho de testes no dia 20/07/2004 ....	129
Figura C.4 - Utilização da banda dos <i>links</i> do caminho de testes no dia 21/07/2004 ....	130
Figura C.5 - Utilização da banda dos <i>links</i> do caminho de testes no dia 22/07/2004 ....	131
Figura C.6 - Latência observada nos <i>links</i> do caminho de testes no dia 16/07/2004 .....	132
Figura C.7 - Latência observada nos <i>links</i> do caminho de testes no dia 20/07/2004 .....	133
Figura C.8 - Latência observada nos <i>links</i> do caminho de testes no dia 21/07/2004 .....	134
Figura C.9 - Latência observada nos <i>links</i> do caminho de testes no dia 22/07/2004 .....	135

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1	Códigos padronizados para os serviços de Melhor Esforço, Cata-lixo, AF e EF. ....	33
Tabela 3.1	Configuração dos serviços. ....	42
Tabela 3.2	Resumo dos testes com QoS realizados. ....	49
Tabela 4.1	Resultados de atraso médio obtidos no período de 01 a 08/07/2004, no sentido UNI → SC. ....	58
Tabela 4.2	Resultados de atraso médio obtidos no período de 14 a 22/07/2004, no sentido UNI → SC. ....	59
Tabela 4.3	Resultados de atraso médio obtidos no período de 14 a 22/07, no sentido SC → UNI ....	60
Tabela 4.4	Resultados de atraso médio obtidos no período de 25 a 31/08/2004 , no sentido UNI → SC ....	61
Tabela 4.5	Resultados de atraso médio obtidos no período de 25 a 31/08/2004 , no sentido SC → UNI ....	61
Tabela 4.6	Resultados de perda média obtidos no período de 01 a 08/07/2004, no sentido UNI → SC. ....	66
Tabela 4.7	Resultados de perda média obtidos com o OpeNam nos dias 05, 06 e 07/07/2004. ....	67
Tabela 4.8	Resultados de perda média obtidos no período de 14 a 22/07/2004, no sentido UNI → SC. ....	67

Tabela 4.9	Resultados de perda média obtidos no período de 14 a 22/07, no sentido SC → BA. ....	68
Tabela 4.10	Resultados de perda média obtidos no período de 02 a 09/08/2004, no sentido UNI → SC. ....	70
Tabela 4.11	Resultados de perda média obtidos no período de 02 a 09/08/2004, no sentido SC → UNI. ....	70
Tabela 4.12	Resultados de perda média obtidos no período de 25 a 31/08/2004, no sentido UNI → SC. ....	71
Tabela 4.13	Resultados de perda média obtidos no período de 25 a 31/08, no sentido SC → BA. ....	71
Tabela 5.1	Valores de configuração dos parâmetros do OWPING nos testes de vídeo. ..	80
Tabela 5.2	Resultados de atraso médio obtidos no período de 14 a 20/07/2004, no sentido UNI → SC. ....	81
Tabela 5.3	Resultados de atraso médio obtidos no período de 14 a 20/07/2004, no sentido SC → UNI ....	81
Tabela 5.4	Resultados de perda média obtidos no período de 14 a 20/07/2004, no sentido UNI → SC. ....	85
Tabela 5.5	Resultados de perda média obtidos no período de 14 a 20/07, no sentido SC → BA ....	85
Tabela 5.6	Resultados de Vazão média obtidos no período de 14 a 20/07/2004 .....	88
Tabela 5.7	Resultados de atraso médio obtidos nos testes com taxa de 256 kbps, no período de 19/10 a 10/11/2004. ....	90
Tabela 5.8	Resultados de atraso médio obtidos nos testes com taxa de 2 Mbps, no período	

de 11 a 25/11/2004. .... 91

Tabela 5.9 Percentuais perda média obtidos nos testes a 256 kbps, no período de 19/10 a 10/11/2004 ..... 93

Tabela 5.10 Percentuais perda média obtidos nos testes a 2 Mbps, no período de 11 a 25/11/2004. .... 94



## Lista de siglas

ABE	<i>Alternative Best Effort</i> (melhor esforço alternativo)
ACL	<i>Access Control List</i> (lista de controle de acesso)
AF	<i>Assured Forwarding</i> (encaminhamento assegurado)
AMIQ	Ambiente de Monitoração IP QoS/DiffServ
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i> (modo de transferência assíncrono)
BA	<i>Behavior Aggregate</i> (comportamento para um agregado de tráfego)
BE	<i>Best Effort</i> (melhor esforço)
BEDS	<i>Best-Effort Differentiated Service</i> (serviço diferenciado de melhor esforço)
BoD	<i>Bandwidth on Demand</i> (largura de banda sob demanda)
CAR	<i>Committed Access Rate</i> (taxa de acesso comprometida)
CBQ	<i>Class-Based Queuing</i> (enfileiramento baseado em classes)
CBR	<i>Constant Bit Rate</i> (taxa constante de bits)
CBS	<i>Committed Burst Size</i> (tamanho comprometido de rajada)
CBWFQ	<i>Class-Based Weighted Fair Queuing</i> (enfileiramento justo por pesos baseado em classes)
CIR	<i>Committed Information Rate</i> (taxa comprometida de informação )
CS	<i>Class Selector</i> (seletor de classe)
DiffServ	<i>Differentiated Services</i> (serviços diferenciados)
DS Field	Campo de diferenciação de serviço
DS	<i>Differentiated Services</i> (serviços diferenciados)
DSCP	<i>Differentiated Service Code Point</i> (código do serviço diferenciado)
DSD	<i>Duplicated Scheduling with Deadlines</i> (escalonamento duplicado com prazos)
DWDM	<i>Dense Wavelength Division Multiplexing</i> (multiplexação por divisão de comprimento de onda)
EBS	<i>Excess Burst Size</i> (tamanho máximo da rajada)
ECN	<i>Explicit Congestion Notification</i> (notificação explícita de congestionamento)

EF	<i>Expedited Forwarding</i> (encaminhamento expresso)
FEC	<i>Forward Error Correction</i> (correção antecipada de erros)
FIFO	<i>First In First Out</i> (o primeiro a chegar é o primeiro a sair)
Géant	<i>pan-European multi-gigabit research network</i> (rede de pesquisa pan-européia multi-gigabit)
GPS	<i>Global Positioning System</i> (sistema de posicionamento global)
GT QoS2	Grupo de trabalho QoS2
GT VD2	Grupo de trabalho de Vídeo2
GT VoIP	Grupo de trabalho VoIP
HDTV	<i>High Definition Television</i> (televisão de alta definição)
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i> (protocolo de transferência de hipertexto)
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i> (força tarefa de engenharia da Internet)
IntServ	<i>Integrated Services</i> (serviços integrados)
IOS	<i>Integrated Operational Support</i> (suporte operacional integrado)
IP	<i>Internet Protocol</i> (protocolo Internet)
IPv4	Protocolo IP versão 4
IPv6	Protocolo IP versão 6
IST	<i>Information Society Technologies</i> (tecnologias da sociedade de informação)
LLQ	<i>Low Latency Queuing</i> (enfileiramento com baixa latência)
MDRR	<i>Modified Deficit Round Robin Queuing</i> (enfileiramento por rodízio com déficit modificado)
MMS	<i>Microsoft Media Server</i> (servidor de media Microsoft)
MIB	<i>Management Information Base</i> (base de informação de gerenciamento)
MPLS	<i>Multiprotocol Label Switching</i> (comutação de rótulos multiprotocolo)
MQC	Modular QoS Command Line (linha de comando QoS modular)
MRTG	<i>Multi Router Traffic Grapher</i> (gráfico de tráfego multi roteadores)
MTU	<i>Maximum Transmission Unit</i> (unidade máxima de transmissão)
Netramet	<i>Network Traffic Flow Measurement Tool</i> (ferramenta de medição de fluxos de tráfego de rede)
NTP	<i>Network Time Protocol</i> (protocolo de tempo de rede)
OWAMP	<i>One-Way Active Measurement Protocol</i> (protocolo de medição ativa em um sentido)

OWPING	<i>One-way Ping</i> (ping em um sentido)
PBS	<i>Peak Burst Size</i> (tamanho de pico da rajada)
PDB	<i>Per Domain Behavior</i> (comportamento por domínio)
PDH	<i>Plesiochronous Digital Hierarchy</i> (hierarquia digital plesiócrona)
PHB	<i>Per Hop Behavior</i> (comportamento por salto)
PIR	<i>Peak Information Rate</i> (taxa máxima de dados)
PLC	<i>Packet Loss Concealment</i> (encobrimento de perdas de pacotes)
POP	<i>Point Of Presence</i> (ponto de presença)
PQ	<i>Priority Queuing</i> (enfileiramento com prioridade)
QoS	<i>Quality of service</i> (qualidade de serviço)
QPS	<i>QBone Premium Service</i> (serviço premium da Qbone)
RAM	<i>Random Access Memory</i> (memória de acesso aleatório)
RED	<i>Random Early Detection</i> (detecção antecipada aleatória)
RIO	<i>RED with In/Out bit</i> (RED com pacotes dentro e fora do perfil)
RNP	Rede Nacional de Ensino e Pesquisa
RSVP	<i>Reservation Protocol</i> (protocolo de reserva)
RTT	<i>Round Trip Time</i> (atraso de ida e volta)
SBRC	Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos
Sequin	<i>Service Quality across Independently Managed Networks</i> (qualidade de serviço através de redes administradas independentemente)
SLS	<i>Service Level Specification</i> (especificação de nível de serviço)
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i> (protocolo simples de gerenciamento de rede)
srTCM	<i>Single Rate Three Color Marker</i> (marcador tricolor com taxa única)
TCA	<i>Traffic Conditioning Agreement</i> (contrato de condicionamento de tráfego)
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i> (protocolo de controle de transmissão)
TDM	<i>Time-Division multiplexing</i> (multiplexação por divisão de tempo)
TOS	<i>Type of Service</i> (tipo de serviço)
trTCM	<i>Two Rate Three Color Marker</i> (marcador tricolor com duas taxas)
UDP	<i>User Datagram Protocol</i> (protocolo de datagrama de usuário)
UTC	<i>Coordinated Universal Time</i> (tempo universal coordenado)
VIP	<i>Versatile Interface Processor</i> (processador de interface versátil)

VLC *VideoLAN Client* (cliente VideoLAN)  
WFQ *Weighted Fair Queueing* (enfileiramento justo ponderado)  
WRED *Weighted Random Early Detection* (detecção antecipada aleatória ponderada)

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	OBJETIVOS	3
1.2	QoS IP NA INTERNET2	4
1.3	QoS IP NA REDE GÉANT	5
1.4	PRIMEIROS EXPERIMENTOS COM QoS NA RNP	7
1.5	ROTEIRO DA DISSERTAÇÃO	9
<b>2</b>	<b>ARQUITETURAS DE SERVIÇOS COM QoS PARA REDES IP</b>	<b>10</b>
2.1	INTRODUÇÃO	10
2.2	MECANISMOS PARA POLICIAMENTO E CONDICIONAMENTO	11
2.2.1	<b>O Algoritmo Balde de Fichas</b>	11
2.2.2	<b>srTCM e trTCM</b>	13
2.3	ESCALONADORES	16
2.3.1	<b>O Primeiro a chegar é o Primeiro a sair (FIFO — <i>First-In First-Out</i>)</b>	16
2.3.2	<b>Enfileiramento com Prioridade (PQ — <i>Priority Queuing</i>)</b>	16
2.3.3	<b>Enfileiramento com baixa latência (LLQ — <i>Low Latency Queuing</i>)</b>	16
2.3.4	<b>Enfileiramento Baseado em Classes (CBQ — <i>Class-based Queuing</i>)</b>	17
2.3.5	<b>Enfileiramento por Rodízio com Déficit Modificado (MDRR — <i>Modified Deficit Round Robin Queuing</i>)</b>	19
2.3.6	<b>Enfileiramento Justo Ponderado Baseado em Classes (CBWFQ — <i>Class-Based Weighted Fair Queuing</i>)</b>	20
2.4	GERENCIAMENTO ATIVO DE FILAS	21
2.5	ARQUITETURA DE SERVIÇOS INTEGRADOS	23
2.6	ARQUITETURA DE SERVIÇOS DIFERENCIADOS	26
2.6.1	<b>PHB — Comportamento por salto</b>	28
2.6.2	<b>PDB — Comportamento por Domínio</b>	29
2.6.3	<b>Classes de Serviço DiffServ</b>	30
2.7	SERVIÇOS ALTERNATIVOS	34
2.7.1	<b>Serviço ABE — <i>Alternative Best Effort</i></b>	35
2.7.2	<b>Serviço BEDS — <i>Best-Effort Differentiated Service</i></b>	37
2.7.3	<b>Serviço Scavenger (Cata-lixo)</b>	38

2.8	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	38
<b>3</b>	<b>EXPERIMENTOS COM QoS NA RNP .....</b>	<b>40</b>
3.1	INTRODUÇÃO .....	40
3.2	DEFINIÇÃO DAS CLASSES DE SERVIÇO .....	41
3.3	CONFIGURAÇÃO DOS SERVIÇOS .....	42
3.3.1	<b>Definições para os roteadores de Borda da Rede .....</b>	<b>42</b>
3.3.2	<b>Definições para os roteadores de Núcleo da Rede .....</b>	<b>44</b>
3.3.3	<b>Aplicação das configurações na rede .....</b>	<b>44</b>
3.4	MÉTRICAS E ESTATÍSTICAS .....	48
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS do CAPÍTULO .....	49
<b>4</b>	<b>EXPERIMENTOS COM A APLICAÇÃO DE VOZ SOBRE IP.....</b>	<b>50</b>
4.1	INTRODUÇÃO .....	50
4.1.1	<b>Requisitos exigidos pelo tráfego de voz .....</b>	<b>51</b>
4.2	DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS .....	52
4.2.1	<b>Medições com o OWAMP .....</b>	<b>54</b>
4.2.2	<b>Testes com Callgen e OpeNam .....</b>	<b>57</b>
4.3	RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS .....	58
4.3.1	<b>Resultados de Atraso .....</b>	<b>58</b>
4.3.2	<b>Resultados da Variação de Atraso .....</b>	<b>62</b>
4.3.3	<b>Resultados de Perdas .....</b>	<b>65</b>
<b>5</b>	<b>EXPERIMENTOS COM VÍDEO .....</b>	<b>74</b>
5.1	INTRODUÇÃO .....	74
5.1.1	<b>Requisitos exigidos pelo tráfego de Vídeo .....</b>	<b>75</b>
5.2	DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS .....	77
5.2.1	<b>Testes com <i>traces</i> de Vídeo .....</b>	<b>79</b>
5.2.2	<b>Medições com o OWAMP .....</b>	<b>80</b>
5.3	RESULTADOS DOS TESTES COM <i>TRACES</i> DE VÍDEO .....	80
5.3.1	<b>Resultados de Atraso Médio .....</b>	<b>81</b>
5.3.2	<b>Resultados de Variação de Atraso .....</b>	<b>84</b>
5.3.3	<b>Resultados com Perda de Pacotes .....</b>	<b>85</b>
5.3.4	<b>Resultados de Vazão .....</b>	<b>88</b>
5.4	RESULTADOS DOS TESTES COM O SERVIÇO DE VÍDEO DA RNP .....	90
5.4.1	<b>Resultados de Atraso Médio fim-a-fim .....</b>	<b>90</b>
5.4.2	<b>Resultados de Perda Fim-a-fim .....</b>	<b>92</b>

5.4.3	<b>Resultados de Perdas entre os POPs</b>	96
5.5	<b>EXPERIMENTOS COM O SERVIÇO CATA-LIXO</b>	99
5.5.1	<b>Descrição dos Experimentos</b>	99
5.5.2	<b>Resultados e Conclusões</b>	100
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>102</b>
6.1	<b>AVALIAÇÃO DOS SERVIÇOS</b>	103
6.1.1	<b>Experimentos com o Serviço Premium (EF)</b>	104
6.1.2	<b>Experimentos com Serviço Assegurado (AF)</b>	105
6.1.3	<b>O Serviço Cata-lixo</b>	106
6.1.4	<b>Problemas Encontrados e Soluções Propostas</b>	107
6.2	<b>CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO</b>	108
6.3	<b>PROPOSTA PARA A CONTINUAÇÃO DOS EXPERIMENTOS</b>	109
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>113</b>
	<b>Apêndice A – GRÁFICOS DO NETRAMET</b>	<b>118</b>
	<b>Apêndice B – GRÁFICOS DO AMIQ</b>	<b>121</b>
	<b>Apêndice C – ESTATÍSTICAS DE BANDA E LATÊNCIA COLETADAS PELA RNP126</b>	
	<b>Apêndice D – CONFIGURAÇÃO DOS ROTEADORES</b>	<b>136</b>
D.1	<b>CONFIGURAÇÃO DO ROTEADOR BA7507</b>	136
D.2	<b>CONFIGURAÇÃO DO ROTEADOR RJ7507</b>	137
D.3	<b>CONFIGURAÇÃO DO ROTEADOR RJ12000</b>	138
D.4	<b>CONFIGURAÇÃO DO ROTEADOR SP12000</b>	138
D.5	<b>CONFIGURAÇÃO DO ROTEADOR RS7507</b>	139

# 1 INTRODUÇÃO

A crescente utilização da Internet em todo o mundo tem motivado o desenvolvimento de novas aplicações de rede. Estas aplicações emergentes exploram o paradigma de comunicação acrescentado pelas redes de computadores e, ao mesmo tempo, utilizam os principais recursos de comunicação já existentes, como a transmissão de som e imagem. Fazem parte deste grupo de novas aplicações a Videoconferência, as Transmissões de Rádio e TV, as aplicações Colaborativas Distribuídas, aplicações para Educação a Distância, etc. Diferentemente das aplicações usuais da Internet, tais como Correio Eletrônico e Transferência de arquivos, as aplicações avançadas de rede, para funcionarem bem, precisam que a rede ofereça o grau necessário de qualidade de serviço atendendo aos seus requisitos de funcionamento.

A Qualidade de Serviço (QoS) em redes pode ser traduzida como sendo o tratamento dado a determinado tráfego, pelos mecanismos disponíveis nos diversos elementos da rede, com o objetivo de garantir os requisitos necessários ao funcionamento da aplicação. Estes requisitos ao nível da rede são representados por parâmetros de QoS que indicam o comportamento do tráfego gerado pelas aplicações na rede. Os principais parâmetros de QoS da rede são:

- (a) Largura de banda: A capacidade dos canais de comunicação disponível para aplicação em todo caminho do seu fluxo de dados;
- (b) Atraso de transferência: O tempo que as informações geradas em uma aplicação levam para chegar ao destino;
- (c) Variação do atraso (*Jitter*): é causada principalmente pelo aumento da carga de tráfego nos roteadores, mas pode ser causada também por modificações de rota devido a falhas ou durante as alterações nas tabelas de rotas. Outros fatores relacionados com as aplicações podem influenciar o aumento da variação de atraso, tais como sistema operacional e processos de codificação;
- (d) Perda de pacotes: Normalmente é consequência de congestionamento na rede.



Sabe-se que o serviço de redes oferecido pela Internet, o de Melhor Esforço (BE — *Best Effort*), não atende aos requisitos de aplicações de tempo real por não garantir o valor mínimo para a banda, e valores máximos para o atraso e a variação do atraso. O atraso, por exemplo, é um fator crítico para aplicações de tempo real, como a telefonia IP e que pode inviabilizar sua utilização, caso os seus valores não correspondam aos requisitos da aplicação.

Como forma de atender à demanda dessas aplicações emergentes, o IETF (*The Internet Engineering Task Force*) propôs duas arquiteturas de serviços: a arquitetura de Serviços Integrados (IntServ) e a de Serviços Diferenciados (DiffServ).

A arquitetura IntServ permite, aos micro-fluxos de tráfego, a reserva de recursos em todo o caminho da rede entre a fonte e o destino. A arquitetura DiffServ oferece qualidade de serviços para agregados de fluxos, se mostrando uma solução mais escalável que a IntServ.

Além das arquiteturas de serviços propostas pelo IETF, foram também propostos os serviços: ABE (*Alternative Best Effort*) que pretende aproveitar as facilidades e simplicidade do serviço BE, adicionando a capacidade de tratamento diferenciado para aplicações elásticas e inelásticas. O serviço BEDS (*Best-Effort Differentiated Service*) que propõe a separação do tráfego TCP do tráfego UDP em filas diferentes e, finalmente, o serviço (*Scavenger*) que propõe um serviço de menor prioridade que o de melhor esforço, para aplicações TCP não interativas que gerem grande volumes de dados. Os serviços propostos pelo IETF bem como os alternativos serão descritos no capítulo 2.

Assim como tem acontecido em outras redes, as instituições ligadas à RNP (Rede Nacional de Ensino e Pesquisa) começaram a desenvolver ou utilizar aplicações multimídia de tempo real ou sob demanda, tais como aplicações de telemedicina, videoconferência, vídeo sob demanda e voz sobre IP (VoIP). A RNP, desde 2001, vem observando o aparecimento de demanda para aplicações avançadas em sua rede. Além disso, a RNP, em conjunto com o CNPq/ProTeM, lançou em 2001 um edital para aplicações avançada de redes (RNP, 2006) (CNPQ, 2006). O objetivo deste edital foi estimular a demanda para estas aplicações. Em consequência destes fatos, em junho do mesmo ano, a RNP iniciou um projeto piloto para avaliar e testar QoS IP na rede troncal RNP2 (vide seção 1.4). Outra motivação para o desenvolvimento deste trabalho foram as pesquisas e experimentos com QoS realizados nas redes de alta velocidade dos EUA e Europa. As seções 1.2 e 1.3 tratam destes experimentos.

O principal objetivo deste trabalho é o de estudar a viabilidade de implantação de Qualidade de Serviço na RNP, dando assim continuidade aos experimentos iniciados em 2001. Para alcançar este objetivo, várias atividades foram realizadas: Estudo das aplicações que demandam QoS; Estudo dos serviços de rede oferecidos atualmente; Estudo dos mecanismos e infra-estruturas necessárias; Experimentos e Análise dos resultados obtidos. O principal resultado esperado é a recomendação de uma solução de QoS que atenda às necessidades de uma

rede acadêmica como a RNP.

Este capítulo está organizado da seguinte forma: a seção 1.1 lista os objetivos de cada atividade deste trabalho; a seção 1.2 resume os experimentos com QoS na Internet2; a seção 1.3 resume os experimentos com QoS na rede européia GÉANT, a seção 1.4 resume os experimentos com QoS na RNP; e, finalmente, a seção 1.5 descreve o roteiro da dissertação.

## **1.1 OBJETIVOS**

Esta seção descreve as atividades desenvolvidas para a execução do piloto de experimentos com QoS, realizado na rede RNP.

### **Estudo das aplicações que demandam QoS**

Um dos objetivos secundários deste trabalho foi o de estudar as aplicações que necessitam de um tratamento especial da rede. Este estudo visou conhecer as aplicações e os parâmetros indicadores de QoS para elas. As aplicações alvo escolhidas foram a telefonia sobre IP, mais conhecida como VoIP e a Transmissão de vídeo ao vivo. A escolha destas aplicações foi motivada pelos trabalhos desenvolvidos no GT VoIP e no GT de Vídeo da RNP.

### **Estudo dos serviços de rede oferecidos atualmente**

Para a realização dos experimentos foi necessário conhecer alguns serviços de rede oferecidos atualmente, como também conhecer os trabalhos realizados nesta área por grandes redes acadêmicas. Com este levantamento foi possível escolher os serviços adequados para as aplicações de interesse.

### **Estudo dos mecanismos e infra-estruturas necessárias**

O principal objetivo desta atividade foi verificar que funcionalidades presentes nos roteadores de teste, poderiam ser usadas para a implementação do serviço. O outro objetivo foi descobrir qual a infra-estrutura necessária, em termos de controle dos serviços da rede, para a execução dos experimentos.

### **Experimentos e Análise dos resultados obtidos**

Esta atividade englobou as configurações de serviços, montagem dos cenários de teste, execução dos experimentos e análise dos resultados obtidos.

## 1.2 QoS IP NA INTERNET2

O QBone foi um ambiente de testes entre domínios baseado na arquitetura DiffServ definido pelo Grupo de Trabalho de QoS da Internet2, para dar suporte às aplicações avançadas de rede (TEITELBAUM, 1999). A este ambiente foram adicionados recursos na forma de uma infra-estrutura de medições e procedimentos para o estabelecimento do serviço de QoS. O QBone foi definido para ser um grupo de domínios contíguos, formando assim uma região *DS*<sup>1</sup>.

Cada rede participante do QBone era um domínio DS que interoperava com outra rede do QBone, a fim de prover um serviço QBone fim-a-fim. Cada rede QBone deveria ter um limite administrativo bem definido. Por causa disso, as especificações de serviços (SLS — *Service Level Specification*) foram definidas entre domínios QBone adjacentes.

O QBone oferecia o serviço Premium (QPS — *QBone Premium Service*). O processo de reserva de serviço do QPS oferecia a garantia *simplex* de um pico de banda e a extensão de reserva de banda podia ser feita dentro de um domínio ou entre domínios. O QPS era baseado no serviço de encaminhamento expresso da arquitetura DiffServ (vide subseção 2.6.3).

Para iniciar o processo de reserva e contrato de serviço, para uma taxa de pico de um determinado tráfego era necessário especificar a unidade máxima de transmissão (MTU — *Maximum Transmission Unit*), o limite máximo de variação de atraso, a rota domínio-DS a domínio-DS e o intervalo de tempo. Por exemplo: {Origem, Destino, Rota, Tempo-início, Tempo-final, Taxa de Pico, MTU, Limite de Variação de Atraso}. Que significa que, para um determinado tráfego, o serviço inicia em tempo-início e termina em tempo-final, entre uma origem e um destino, em uma determinada rota de domínio DS e com um limite máximo de variação de atraso.

O tráfego *Premium* ingressava na origem e era moldado para um tráfego de perfil com taxa de bits constante (CBR — *Constant Bit Rate*), parametrizado pela taxa de pico e MTU desejados através de um algoritmo balde de fichas<sup>2</sup>. As garantias de serviço oferecidas pelo QPS eram: baixa perda, baixa latência e baixo limite de variação de atraso.

Uma arquitetura de medições foi incluída à arquitetura do serviço QPS. O objetivo desta adição foi permitir que o serviço fosse acompanhado para estudo, auditoria e solução de problemas. Para isso foram realizadas medições ativas, através de injeção de tráfego de teste na rede e medições passivas através da captura de pacotes na rede.

Os trabalhos com o QBone tiveram início em 1998 e, na época, se esperava uma grande explosão na demanda para as aplicações avançadas de rede. Em 2001, quatro anos depois, a tecnologia de infra-estrutura da Internet2 evoluiu muito, a rede conservava uma situação de

---

<sup>1</sup>DS — *Differentiated Services*.

<sup>2</sup>O algoritmo balde de fichas será descrito na seção 2.1.

“superdimensionamento” (havia mais largura de banda instalada do que a soma da demanda total) e a demanda por aplicações avançadas não cresceu como o esperado. Além do mais, não estavam equacionados alguns aspectos logísticos necessários, como veremos a seguir. Como resultado, os experimentos com o QPS foram desativados.

Para se conseguir uma implementação em larga escala do serviço Premium, é necessário que todos os roteadores envolvidos, possuam suporte a DiffServ. A dificuldade de atualização de todos os roteadores da rede, bem como o alto custo associado a esta atualização foi um dos problemas que motivaram a desativação do serviço.

As limitações de suporte para o serviço nas soluções disponíveis comercialmente e toda a complexidade operacional, como controle de admissão, gerenciamento de banda, etc., também foram empecilhos para a implantação do serviço. Porém, um dos principais fatores para a descontinuidade do serviço foi mesmo a alta capacidade disponível nos canais de comunicação, em relação a pouca demanda de aplicações. Foi observado que todos os problemas durante o funcionamento destas aplicações apontaram para erros nas configurações locais da rede ou da aplicação e não tinham relação com o provisionamento dos canais.

A partir desta constatação, a Internet2 voltou-se para implantação dos chamados serviços de rede “não elevados” (TEITELBAUM, 2001), que são serviços que oferecem qualidade inferior ao melhor esforço.

### 1.3 QoS IP NA REDE GÉANT

A Géant (Rede pan-européia Gigabit de comunicação de dados) deu início às suas atividades com QoS IP no projeto SEQUIN (*Service Quality across Independently Managed Networks*) (CAMPANELLA, 2001). Este projeto foi executado por oito parceiros de sete países e co-financiado pelo programa IST (*Information Society Technologies*) da Comunidade Européia. O projeto SEQUIN adotou a arquitetura DiffServ para implementação de um serviço fim-a-fim de encaminhamento expresso, entre diversos domínios interconectados. O chamado serviço Premium IP.

O serviço foi instalado em pequena escala para a verificação de sua viabilidade, em termos de funcionalidades existentes nas tecnologias disponíveis, implantação em domínios heterogêneos e benefícios para as aplicações. Atualmente o serviço está em produção na rede GÉANT (DANTE, 2004).

Após o final do projeto os experimentos continuam a ser executados como forma de evoluir o sistema de provisão do serviço. Os serviços oferecidos pela rede GÉANT atualmente são o de Melhor esforço, o serviço Premium IP e o serviço *Scavenger*. Além destes serviços, a rede GÉANT está trabalhando em duas atividades de pesquisa que envolvem qualidade de

serviço. São elas a BoD (*Bandwidth on Demand*) (GÉANT2, 2006a) e a *End-to-End Service Provision* (GÉANT2, 2006b). A principal motivação para a criação da BoD foi atender à demanda de alguns usuários da rede GÉANT que necessitavam de banda garantida e dedicada, em particular, os projetos de pesquisa que envolvem aplicações com tecnologia de computação em grade (GRID). A atividade BoD está dividida em três áreas de trabalho: avaliação de usuários e requisitos de aplicações; *middleware* baseado em requisitos genéricos extraídos da avaliação de usuários; e avaliação da tecnologia necessária para a provisão do serviço.

As tecnologias potenciais para uso nesta atividade são: MPLS (*Multiprotocol Label Switching*); Canais nativos da camada 2 (Ethernet, por exemplo); Canais TDM (*Time-division multiplexing*); e Comprimento de onda sobre fibra ótica (Lambdas).

A implementação do serviço BoD necessitará da integração de tecnologias subjacentes diferentes, em diferentes domínios. O Premium IP (PIP) será uma das tecnologias usadas para a obtenção do caminho dedicado e, possivelmente, em alguns lugares da rede, será o único mecanismo disponível.

A construção de um sistema protótipo BoD, permitirá a reserva de banda dedicada de forma manual, dentro de um único domínio. Porém, espera-se que o processo de identificação e adaptação dos *softwares* componentes do sistema, permita a formação de um retrato dos desafios que devem ser encarados para a obtenção de um serviço mais ambicioso: a criação de um protótipo BoD Fim-a-Fim que faça a provisão dinâmica do serviço.

A outra atividade de pesquisa da rede GÉANT é a *End-to-End Service Provision*. Para o desenvolvimento desta atividade, algumas NRENs (*National Research and Education Networks*) estão trabalhando em conjunto com a DANTE *Delivery of Advanced Network Technology to Europe* (EUROPE, 2006), no desenvolvimento de uma ferramenta que permita aos usuários receber o serviço Premium IP e também um *helpdesk* para a identificação e solução de problemas de desempenho da rede.

Esta atividade está dividida em três áreas de trabalho:

- a Provisão: A provisão é o foco central da atividade. Os trabalhos desta área auxiliam no desenvolvimento de um sistema para gerenciar todo o processo de provisionamento do serviço: a partir da solicitação do usuário até a configuração dos elementos de rede envolvidos. Inicialmente este processo será feito manualmente, mas a idéia é que se torne semi ou completamente automático.
- b Sistema de medições: A outra área é a implementação de um sistema de medições para a demonstração de que o serviço está funcionando conforme o esperado. Inicialmente será implementado um único sistema. Porém, futuramente, o sistema de medições poderá ser multidomínio, o que permitirá às redes individuais escolher que ferramentas querem

desenvolver.

- c Suporte direto aos problemas de desempenho do serviço: A última área é a incorporação dos resultados das medições para a provisão de suporte e solução dos problemas de desempenho do serviço.

O primeiro serviço fim-a-fim oferecido será o Premium IP. Para que o serviço alcance toda a Europa, todas as NRENs deverão implementar o modelo DiffServ. Porém, uma rede que não implemente este modelo poderá participar do PIP QoS se sua rede for superdimensionada e, se seus roteadores não alterarem o campo DSCP dos pacotes e, finalmente, se implementar corretamente o sistema de provisão projetado pela atividade *End-to-End Service Provision*.

## 1.4 PRIMEIROS EXPERIMENTOS COM QoS NA RNP

Os primeiros experimentos da RNP com QoS ocorreram em junho de 2001, com um projeto piloto para avaliar e testar QoS IP na rede troncal RNP2. O resultado destes experimentos foi uma proposta de implementação da arquitetura DiffSev com os serviços Olímpico e Premium, configurados de forma estática nos roteadores e à medida que surgisse demanda para estes serviços.

As limitações encontradas durante os experimentos foram: restrições no controle de admissão do serviço, que por ser estático, limita a admissão de tráfego. Restrições de segurança, pois usuários maliciosos poderiam marcar pacotes para os serviços e degradá-los ou usá-los indevidamente. Foram encontradas, também, dificuldades no suporte para QoS em algumas versões de IOS dos roteadores da RNP2. Maiores detalhes sobre os experimentos podem ser encontrados em (OYAMA; LUCENA, 2002).

Em Junho de 2002, o Grupo de Trabalho de Qualidade de Serviço da RNP, ou simplesmente, GT-QoS, foi criado com dois objetivos principais: a definição/detalhamento de uma arquitetura de serviços com diferenciação de QoS para a RNP2 e a implementação de uma infraestrutura de medições com a finalidade de monitorar a QoS oferecida para as diversas classes de serviços.

Em relação aos serviços diferenciados foi escolhido para os experimentos o serviço Premium, cuja implementação foi baseada nas definições feitas pelo projeto SEQUIN. Esta escolha foi motivada pela semelhança entre a infra-estrutura da rede GÉANT e da RNP, em termos de tecnologia. Na época dos experimentos do projeto SEQUIN, a rede GÉANT usava o modo de transferência assíncrono (ATM — *Asynchronous Transfer Mode*) em seus *links* para interligar seus roteadores. O serviço Scavenger, definido pela Internet2 também foi incluído no piloto. De janeiro do mesmo ano até julho de 2003, a rede foi configurada e foram realizados

os experimentos.

Foram utilizados dois cenários de testes. O primeiro para configuração e testes de configurações dos serviços Scavenger, Premium e de Melhor esforço. Os POPs da RNP envolvidos no primeiro cenário foram: o POP-BA, POP-SP e POP-DF. Os computadores clientes para geração de tráfego estavam localizados no NUPERC/UNIFACS, Núcleo de Campinas da RNP e na rede local do POP-DF.

O segundo cenário de testes envolveu a implementação do serviço Premium para dar suporte à aplicação de Vídeo “Torcida Virtual”. Esta aplicação deveria ser apresentada no IV Workshop RNP2, realizado no 21º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC 2003).

Tal aplicação consiste em um vídeo de jogo de futebol (ou outro esporte) gerado com MPEG-2, permitindo que usuários participem remotamente da torcida, entrando na versão interativa e escolhendo um assento em um mapa de um estádio de futebol. Após a escolha do assento, o áudio capturado na máquina do torcedor é enviado para o servidor de torcida, que mixa o áudio recebido dos torcedores sentados próximos e devolve o som da torcida (som mixado) para os torcedores.

A aplicação “Torcida virtual” disponibiliza algumas medidas (vazão, perda, atraso e variação de atraso) que podem ser usadas na avaliação do desempenho do serviço da rede. Somente o serviço Premium foi avaliado nesta etapa. O desempenho da aplicação deveria ser avaliado com e sem QoS. Para isso dois clientes acessariam simultaneamente o servidor de vídeo. Um utilizaria o serviço Premium e o outro o de Melhor esforço.

O servidor de vídeo do jogo estava localizado na UFRN e um servidor refletor no POP-SP. A partir do refletor o vídeo deveria ser transmitido para os clientes (torcedores) na USP, UFSC, PUC/RJ e UNIFACS. O fluxo de vídeo em direção à PUC-RJ teria QoS até o POP-SP, pois no POP- RJ não havia a possibilidade de implementação de QoS, por limitações de hardware do roteador. A Figura 1.1 ilustra o cenário para estes experimentos. O QoS configurado nas rotas do experimento está representado pela linha pontilhada na figura.

Os resultados dos experimentos não foram conclusivos, por causa das diversas dificuldades encontradas durante a execução do piloto. As principais dificuldades foram:

- a Limitações de hardware dos roteadores. Somente as interfaces VIP (*Versatile Interface Processors*) suportam a configuração de QoS. Para configurar a arquitetura DiffServ era necessário configurar as outras interfaces não VIP. Por causa destas limitações não foi possível implementar completamente o serviço Premium.
- b Configurações de QoS instáveis nos roteadores com IOS 12.2(2)T2 e 12.2(14). Alguns roteadores envolvidos nos testes deixaram de executar algumas ações de QoS, tais como

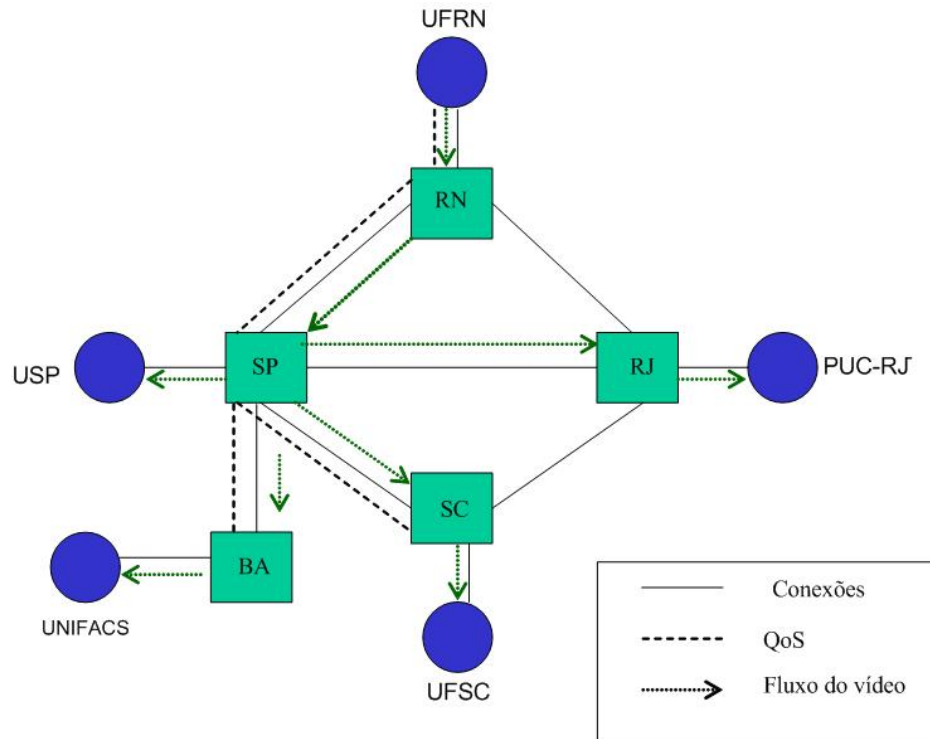


Figura 1.1: - Cenário dos experimentos com a aplicação Torcida Virtual

marcação e classificação.

- c Problemas de pacotes corrompidos no *link* entre o POP-RN e o POP-SP. Este problema impossibilitou os testes de QoS com a aplicação Torcida Virtual do GT de Vídeo, pois cada vez que a aplicação percebia um pacote com erro abortava a conexão.

Durante os experimentos, foi percebida a necessidade de monitoração dos roteadores, para verificação do funcionamento da QoS em cada um deles. Então, além das medições passivas para caracterização do tráfego e da injeção de tráfego de teste, era também importante a monitoração dos elementos responsáveis pelo fornecimento da QoS. Por conta disso um novo projeto piloto foi submetido à RNP e foi contemplado no GT-QoS2. Esta dissertação relata os experimentos realizados no escopo do GT-QoS2.

## 1.5 ROTEIRO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação foi organizada da seguinte forma: este Capítulo faz a introdução a este trabalho. O Capítulo 2 trata das arquiteturas de serviços para redes IP. O Capítulo 3 trata das definições e configurações dos serviços nos equipamentos da rede. O Capítulo 4 descreve os experimentos com as aplicações VoIP e seus resultados. O Capítulo 5 descreve os experimentos com vídeo e seus resultados e, finalmente, o Capítulo 6 descreve as conclusões deste trabalho.



## 2 ARQUITETURAS DE SERVIÇOS COM QoS PARA REDES IP

Este capítulo trata das arquiteturas de serviços com QoS para redes IP e soluções alternativas. Antes de apresentar as novas arquiteturas propostas, serão descritos alguns mecanismos que são usados para a provisão de qualidade de serviço, controle de congestionamento e outras ações em roteadores. Estes mecanismos podem ser usados para montar diferentes arquiteturas de serviços. A seguir são apresentadas as arquiteturas de serviços IntServ, DiffServ e outras alternativas de serviço e, finalmente, são apresentadas as considerações finais sobre este tópico.

### 2.1 INTRODUÇÃO

Conforme apresentado no Capítulo anterior, sabe-se que o serviço de redes oferecido pela Internet, o de Melhor Esforço (BE — *Best Effort*), normalmente não atende aos requisitos de aplicações de tempo real por não garantir o valor mínimo para a banda, e valores máximos para o atraso e a variação do atraso.

Como forma de atender à demanda dessas aplicações emergentes, o IETF (*The Internet Engineering Task Force*) propôs duas novas arquiteturas de serviços: a arquitetura de Serviços Integrados (IntServ) e a de Serviços Diferenciados (DiffServ).

A arquitetura IntServ permite, aos micro-fluxos de tráfego, a reserva de recursos em todo o caminho da rede entre a fonte e o destino. A arquitetura DiffServ oferece qualidade de serviço para agregados de fluxos, se mostrando uma solução mais escalável que a IntServ.

Além das arquiteturas de serviços propostas pelo IETF, foram também propostos os serviços: ABE (*Alternative Best Effort*) que pretende aproveitar as facilidades e simplicidade do serviço BE, adicionando a capacidade de tratamento diferenciado para aplicações elásticas e inelásticas. O serviço BEDS (*Best-Effort Differentiated Service*) que propõe a separação do tráfego TCP do tráfego UDP em filas diferentes e, finalmente, o serviço (*Scavenger*) que propõe um serviço de menor prioridade que o de melhor esforço, para aplicações TCP não interativas

que gerem grande volumes de dados.

Antes de apresentar as novas arquiteturas propostas, serão descritos alguns mecanismos que são usados para a provisão de qualidade de serviço, controle de congestionamento e outras ações em roteadores. Estes mecanismos podem ser usados para montar diferentes arquiteturas de serviços.

Nas próximas seções são descritos os mecanismos que devem estar presentes nos roteadores para a provisão dos serviços de rede IP. A seção 2.2 descreve os mecanismos para policiamento e condicionamento dos fluxos de tráfego, enquanto a seção 2.3 descreve alguns tipos de escalonadores, ou seja, mecanismos que selecionam (escalonam) o próximo pacote a ser transmitido de acordo com as suas prioridades, instante de chegada, etc. Finalmente, a seção 2.4 descreve alguns algoritmos para gerenciamento ativo de filas.

A seguir são descritas as arquiteturas de serviços com QoS para redes IP propostas pelo IETF e também alguns serviços alternativos propostos na literatura. A seção 2.5 descreve a arquitetura de serviços integrados. A seção 2.6 descreve a arquitetura de serviços diferenciados e, finalmente, a seção 2.7 descreve alguns tipos de serviços alternativos aos propostos pelo IETF.

## **2.2 MECANISMOS PARA POLICIAMENTO E CONDI- ONAMENTO**

O policiador e o moldador são mecanismos utilizados para a provisão de QoS. O policiador de tráfego verifica se os pacotes classificados estão de acordo com o perfil de tráfego. Os algoritmos srTCM e trTCM podem ser usados para a implementação do policiador. Neste trabalho foi usado o esquema srTCM para a configuração dos roteadores Cisco (vide “configurações dos roteadores” no D).

O moldador é um mecanismo usado para controlar a quantidade e a taxa de tráfego de dados transmitidos. O algoritmo balde de fichas foi usado na implementação do condicionamento de tráfego, nos experimentos deste trabalho. As próximas subseções tratam destes mecanismos.

### **2.2.1 O Algoritmo Balde de Fichas**

O Balde de Fichas (*Token bucket*) é um algoritmo usado no mecanismo de controle do tráfego de entrada em algumas arquiteturas de redes de computadores. A figura 2.1 baseada em (KAMIENSKI; SADOK, 2000) mostra o funcionamento geral deste algoritmo. O balde de fichas recebe fichas a uma taxa  $r$  e possui profundidade  $b$ . Quando os pacotes chegam é verificado se há fichas suficientes para que eles sejam encaminhados. Ou seja, é feita uma comparação entre o tamanho do pacote e a quantidade de fichas, se não houver fichas suficientes

o pacote é enfileirado até que haja fichas. A isto se chama de suavização ou moldagem (*shaping*) de tráfego. Quando o tamanho da fila de suavização for zero e não houver fichas suficientes, o tráfego fora do perfil será descartado, ou marcado como de baixa prioridade. Temos então um processo de policiamento.

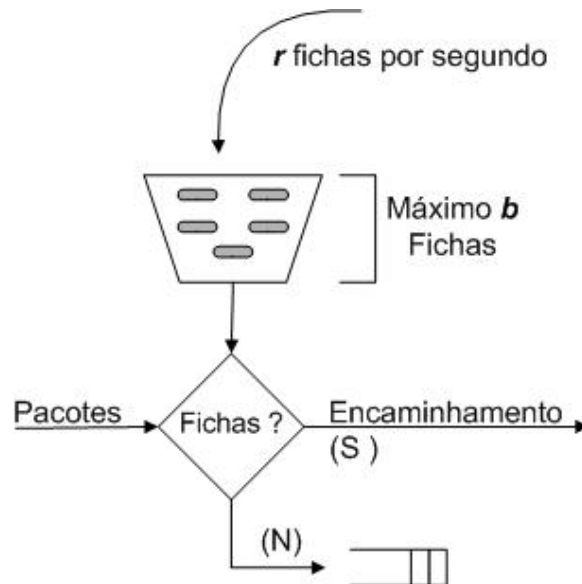


Figura 2.1: - Funcionamento do Algoritmo Balde de Fichas

Na prática, a implementação do balde de fichas é feita com um contador de fichas. O contador é incrementado de uma unidade a cada  $\Delta t$  e é decrementado em uma unidade sempre que um pacote for enviado. Quando o contador alcança o valor zero nenhum pacote pode ser enviado ou o pacote será enviado com baixa prioridade. Há uma versão do algoritmo que conta  $k$  bytes a cada  $\Delta t$  e quando o pacote é enviado, o contador é decrementado pelo comprimento do pacote enviado (TANENBAUM, 2003).

Podem existir até  $b$  fichas no balde. A taxa de geração de fichas é  $r$ . Então, o número máximo de pacotes que podem entrar na rede, através do mecanismo policiador, num intervalo de tempo  $t$  é  $rt + b$ . O perfil do balde de fichas (*Token Bucket Profile*) contém três parâmetros: uma taxa média (*average rate*), uma taxa de pico ou taxa máxima (*peak rate*) e o tamanho da rajada (*burst size*) (MANTAR, 2000).

O parâmetro *taxa média* é usado para limitar a taxa média a longo prazo (*the long-term average rate*), em que os pacotes podem ser enviados na rede. O ponto principal deste parâmetro é o intervalo de tempo sobre o qual a taxa média será policiada. Por exemplo (MANTAR, 2000), um fluxo a taxa de 10.000 pacotes/s é mais flexível que um fluxo que contém 10 pacotes/ms. Apesar de possuírem a mesma taxa média, eles têm comportamentos diferentes. O fluxo com taxa 10.000 pacotes/s pode enviar 100 pacotes em um milissegundo enquanto que o fluxo de 10 pacotes/ms não pode.

O parâmetro *taxa de pico* define a taxa máxima na qual os pacotes podem ser enviados em um curto intervalo de tempo. Por exemplo, para o fluxo com taxa de 10.000 pacotes/s em um longo intervalo de tempo, a taxa de pico pode ser limitada em 200 pacotes/s.

O parâmetro *tamanho da rajada* é o número máximo de pacotes que podem ser transmitidos em um intervalo de tempo curto. Por exemplo, quando o intervalo de tempo se aproxima de zero, o parâmetro tamanho da rajada limita o número de pacotes que podem ser transmitidos para a rede. Porém, se o intervalo de tempo não for considerado como zero, o tamanho da rajada depende da profundidade do balde  $b$  e da velocidade máxima do *link* de saída.

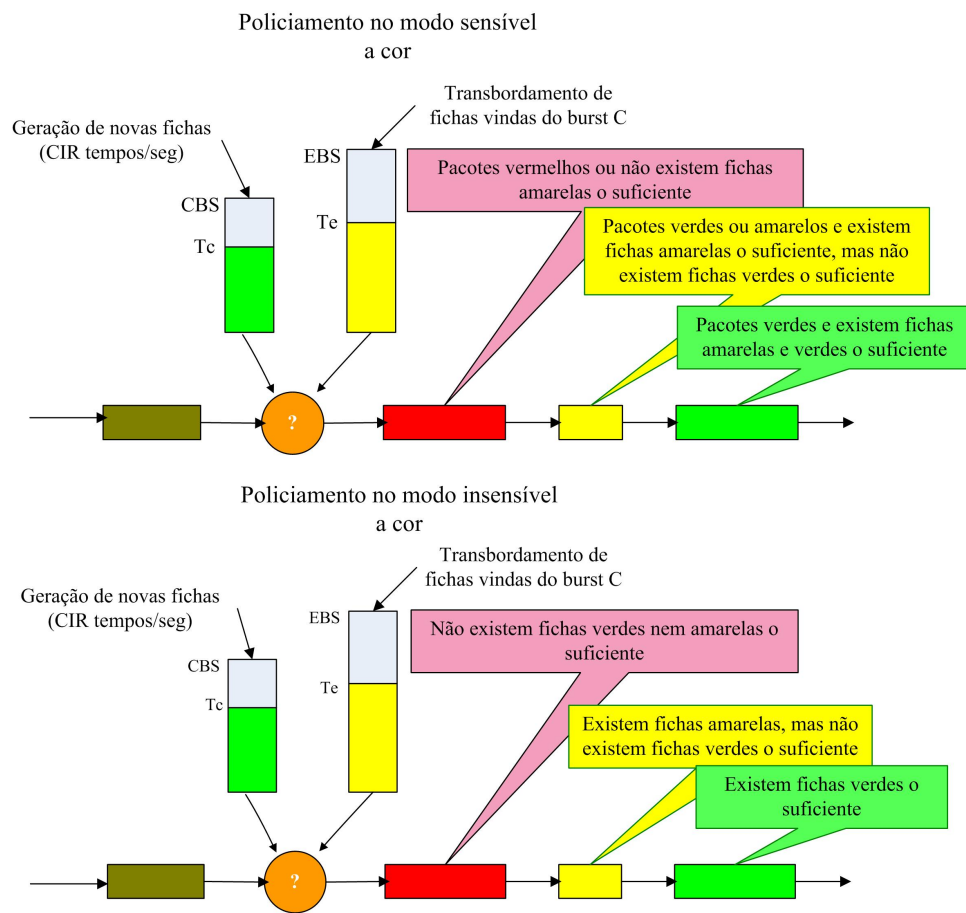
### 2.2.2 srTCM e trTCM

O esquema srTCM (HEINANEN; GUERIN, 1999) (*Single Rate Three Color Marker*) policia os pacotes e marca-os com verde, amarelo ou vermelho e esta marcação é feita de acordo com a CIR (*Committed Information Rate*) e dois tamanhos de rajadas: o CBS (*Committed Burst Size*) e o EBS (*Excess Burst Size*). O pacote recebe a marca verde se não exceder o CBS e amarela se exceder o CBS mas não o EBS. Se ele exceder o EBS será marcado como vermelho.

O esquema trTCM (HEINANEN; FINLAND; AND, 1999) (*Two Rate Three Color Marker*) policia e marca um fluxo de pacotes baseado em duas taxas: a PIR (*Peak Information Rate*) e a CIR, além de dois tamanhos de rajadas: o PBS (*Peak Burst Size*) e o CBS. Um pacote será marcado com vermelho se exceder a PBS e será marcado como amarelo se exceder o CBS. Se não exceder o tamanho dos dois *bursts* ele é marcado como verde. O trTCM pode ser usado para policiamento do tráfego de ingresso a um determinado serviço.

O policiador de pacotes funciona em dois modos: o primeiro é chamado de *Color-Blind* (daltônico). Neste modo, o policiador supõe que o fluxo de pacotes está descolorido. O segundo é o modo *Color-Aware* que assume que os pacotes já vêm marcados com verde, amarelo ou vermelho. Se for necessário, o marcador remarca os pacotes de acordo com os resultados do policiamento. A cor é traduzida para o código DSCP e marcada no campo *DS* do pacote IP.

As Figuras 2.2 e 2.3 ilustram o funcionamento dos mecanismos srTCM e trTCM nos dois modos de policiamento. Como é possível observar, quando o modo não é sensível a cor, o policiador verifica como está a situação das rajadas em termos de fichas disponíveis. Se não houver fichas verdes ou amarelas os pacotes são marcados com a cor vermelha. Se houver fichas amarelas suficientes, mas fichas verdes insuficientes, o tráfego é marcado com a cor amarela. Se existirem fichas verdes em abundância, os pacotes são marcados com verde. No modo sensível a cor, o processo é semelhante ao descrito anteriormente, com a diferença de que o policiador verifica também a cor dos pacotes.



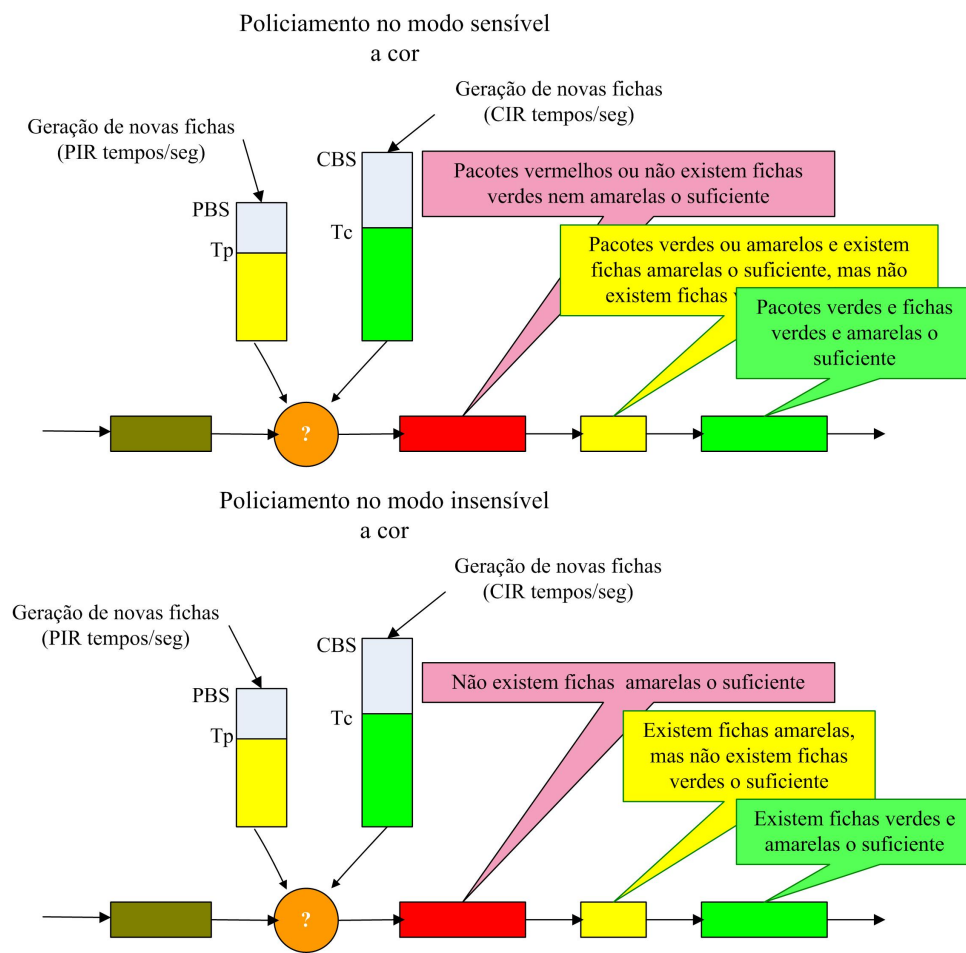


Figura 2.3: - Modos do policiamento do mecanismos trTCM

## 2.3 ESCALONADORES

O mecanismo escalonador é responsável pelo gerenciamento das filas no roteador, ele decide que pacotes devem ser atendidos em determinado momento. Este mecanismo é comum a todas as arquiteturas de serviço de rede. Esta seção inicia descrevendo o funcionamento de alguns destes mecanismos básicos: FIFO e enfileiramento com prioridade e enfileiramento com baixa latência (LLQ).

A seguir são apresentados escalonadores baseados em taxa (*rate queuing*) que consistem em um conjunto de filas e um mecanismo escalonador que esvazia cada fila a uma determinada taxa. O atraso sofrido pelos pacotes que usam este sistema depende do estado de ocupação da fila e da taxa de atendimento configurada em cada fila.

### 2.3.1 O Primeiro a chegar é o Primeiro a sair (FIFO — *First-In First-Out*)

O escalonador FIFO funciona da seguinte forma: Se houver algum pacote sendo transmitido, os pacotes que chegam são colocados na fila de saída. Se não houver *buffers* suficientes, os pacotes que chegarem são descartados. Os pacotes são selecionados para transmissão no *link* de saída, na mesma ordem em que chegam na fila.

### 2.3.2 Enfileiramento com Prioridade (PQ — *Priority Queuing*)

Um sistema de enfileiramento por prioridade consiste em um conjunto de filas e um mecanismo escalonador que atende a cada fila em seqüência de prioridade (BAKER; BABIARZ; CHAN, 2006). O problema desse sistema é a possibilidade de nunca atender as filas de menor prioridade, caso as filas mais prioritárias tenham sempre tráfego. Por isso, este tipo de sistema deve suportar mecanismos para controle de taxa e de tamanho de rajadas. Os pacotes manipulados por este sistema terão tanto maior atraso quanto menor for sua prioridade.

Neste algoritmo os pacotes que chegam são distribuídos em duas ou mais classes de prioridade, na fila de saída. Tipicamente cada classe tem sua própria fila e estas classes são identificadas por uma marca explícita no cabeçalho do pacote. Esta marca pode ser o par de endereços fonte/destino, o DSCP (*Differentiated Service Code Point*), etc. O escalonador PQ irá atender a fila de prioridade mais alta, até que não haja mais nenhum pacote na fila. E só então atenderá a outra fila de prioridade imediatamente inferior.

### 2.3.3 Enfileiramento com baixa latência (LLQ — *Low Latency Queuing*)

É um mecanismo criado pela Cisco (CISCO, 2006) para atendimento de filas cujos tráfegos necessitam de prioridade estrita. O LLQ (CISCO, 2004, 2006a) usa o algoritmo balde

de fichas, para fazer o policiamento de tráfego e isto permite que o atendimento da fila de maior prioridade não interrompa o atendimento das demais.

Na prática teremos uma única fila LLQ que atenderá a cada tráfego até o limite de banda configurada para cada um e o excedente será descartado. Então se forem configurados 100kbps para o tráfego de voz e 400kbps para o tráfego de vídeo, teremos uma fila LLQ com 500kbps.

O tráfego de voz será atendido até 100kbps e, a partir daí, o tráfego de vídeo será atendido até 400kbps. A taxa configurada é a taxa máxima permitida. Porém, é possível configurar um limite máximo para a rajada antes de começar o descarte de pacotes. É indicada a utilização deste mecanismo para tráfego com taxa de bits constante (CBR — *Constant Bit Rate*), como é o caso do tráfego de voz. Se o tráfego não for tipo CBR, deve-se configurar uma banda grande o suficiente para conter as rajadas de dados.

### 2.3.4 Enfileiramento Baseado em Classes (CBQ — *Class-based Queuing*)

O mecanismo de escalonamento CQB é um algoritmo composto por dois escalonadores. Um deles, o escalonador genérico, tem o objetivo de garantir ao tráfego de tempo real, com baixos valores de atraso nas filas. O outro escalonador é responsável pelo compartilhamento do *link* e tem o objetivo de garantir banda para as classes de tráfego configuradas e o aproveitamento do excedente de banda para as classes que necessitarem. Por exemplo, se em um dado momento o tráfego cessar ou diminuir para alguma classe, a banda que sobrar será disponibilizada para as demais classes.

O CBQ é baseado numa estrutura hierárquica, em árvore, das classes de tráfego. A Figura 2.4 mostra um exemplo da estrutura hierárquica do CBQ. À raiz da árvore é atribuído 100% da banda. Duas classes de tráfego são criadas, as classes *A* e *B*, a elas são atribuídos, respectivamente, 40 e 60% da largura de banda do *link*.

Para cada classe são criadas subclasses que levam em consideração o tipo de tráfego que cada uma receberá. A elas são atribuídos um percentual de banda e uma prioridade. A subclasse vídeo, da classe Rede B, recebe 10% de banda e prioridade 1, enquanto que a subclasse FTP tem banda de 15% e prioridade 2, a subclasse WWW recebe 35% da banda e prioridade 2 igual à sub-classe FTP.

Quando o tráfego chega ao roteador que implementa o CBQ, cada pacote é classificado e associado às classes de tráfego nas folhas da estrutura hierárquica. As folhas da estrutura são as únicas destinadas ao transporte de tráfego. As classes ascendentes apenas definem como deve ser feita a distribuição da banda não utilizada. Por exemplo, se a subclasse Vídeo que está ligada à Classe “Rede B”, estiver usando menos que 10% de banda, a estrutura hierárquica do CBQ especifica que outra subclasse ligada à classe “Rede B” receba o excedente de banda.



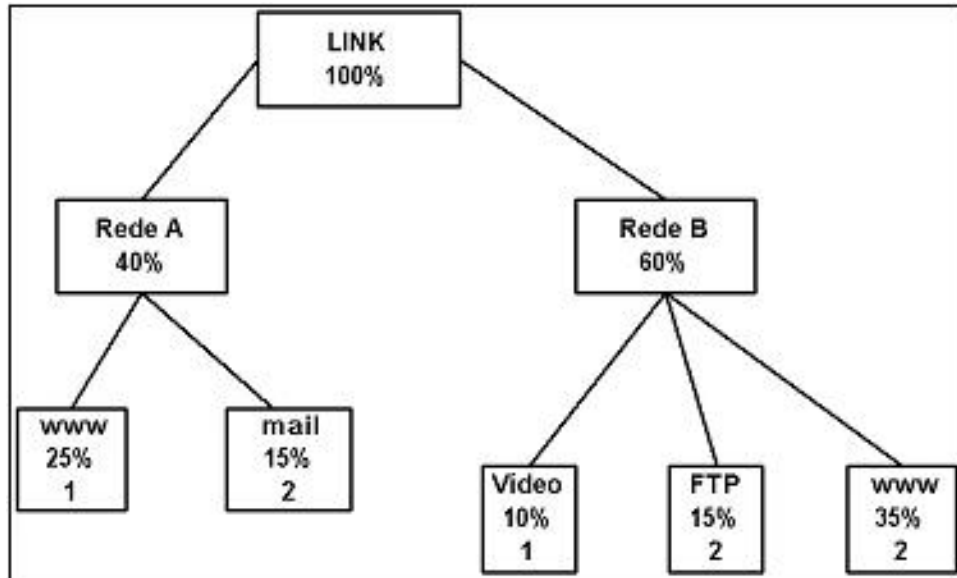


Figura 2.4: - Exemplo de estrutura hierárquica do CBQ

O nível de uma classe na estrutura é contado a partir da classe terminal (folha) até a raiz da árvore. Na Figura 2.4, por exemplo, do lado esquerdo da árvore, a classe *www* tem nível um, a classe *Rede A* nível dois e a classe *link* (raiz) possui nível três.

O CBQ utiliza um estimador para verificar, em intervalos de tempo razoáveis, se cada classe tem recebido ou não a banda que lhe foi atribuída. O estimador baseia-se numa variável que representa a diferença entre o instante de início da transmissão do pacote e o instante previsto para a transmissão do mesmo, levando-se em consideração a banda configurada para a classe.

A partir disso é calculada uma média móvel para a classe. Quando essa média é positiva, a classe está transmitindo acima da banda configurada. Com base neste resultado é decidido qual dos algoritmos vai controlar o escalonamento para aquela classe. As duas condições para a utilização do escalonador genérico são:

- (a) A classe não está transmitindo acima da banda configurada
- (b) A classe possui uma classe ascendente que não está transmitindo acima da banda configurada e não existem subclasses para esta classe ascendente que estejam recebendo menos banda do que lhes foi atribuída.

Quando estas condições não são satisfeitas, entra em ação o escalonador de compartilhamento. O mecanismo escalonador CBQ pode ser utilizado em conjunto com o algoritmo de descarte aleatório RED (vide seção 2.4) para oferecer controle de congestionamento. Maiores detalhes sobre a CBQ podem ser encontrados em (FLOYD; JACOBSON, 1995).

### 2.3.5 Enfileiramento por Rodízio com Déficit Modificado (MDRR — *Modified Deficit Round Robin Queuing*)

O MDRR (CISCO, 2002) é um mecanismo escalonador de filas criado pela Cisco, que usa um algoritmo *round robin*. Durante o atendimento de uma fila uma quantidade de dados fixa é desenfileirada e a próxima fila passa a ser atendida.

O algoritmo guarda, para cada fila, a quantidade de bytes que foram desenfileirados em excesso ao valor configurado. Quando esta fila voltar a ser atendida, menos dados serão desenfileirados para compensar o excesso computado anteriormente. É esperado que a média de dados desenfileirados por fila seja, aproximadamente, o valor configurado. O MDRR mantém a ordem de prioridade das filas no atendimento.

As duas variáveis chaves do algoritmo são o valor do *quantum*, que é o número médio de bytes atendidos em cada ciclo (*round*) e a variável *deficit counter*, que, por sua vez, conta o saldo de bytes transmitidos em cada ciclo. A variável *deficit counter* é inicializada pelo valor do *quantum*.

A cada pacote atendido a variável *deficit counter* é decrementada com o valor correspondente ao tamanho do pacote transmitido. Se esta variável chegar ao valor zero ou negativo, a fila não será mais atendida. A cada novo ciclo, a variável *deficit counter*, das filas que não estão vazias, é incrementada com o valor do *quantum* correspondente.

Cada fila do MDRR pode receber um peso relativo, sendo que uma das filas deve ser definida como fila de prioridade (fp). O peso atribui uma banda relativa para cada fila, nas situações de congestionamento. Se houver pacotes nas filas para serem atendidos, o algoritmo MDRR atenderá pela ordem dos pesos: 0-1-2-3-4-5-6-0-1-2-3-4-5-6... Durante cada ciclo, uma fila pode desenfileirar o valor de um *quantum* baseado em sua configuração de peso. Por exemplo, nas interfaces Cisco *Engine 0* e *Engine 2*, o valor 1 equivale a dar à interface o peso de sua MTU. Para cada incremento acima de 1, o peso da fila é aumentado em 512 bytes. A fórmula de cálculo de banda para o MDRR é  $D = MTU + (Peso - 1) \times 512$ . Se a MTU de uma interface for de 4.470 bytes e o peso da fila for 3, a cada ciclo é permitido desenfileirar  $4.470 + (3 - 1) \times 512 = 5.494$  bytes. Porém, para o IOS 12.0.(21)S/ST e interface *Engine 4* a fórmula é diferente, por isso é importante observar a versão do IOS para configurar os pesos corretamente e obter a banda MDRR adequada.

O MDRR tem embutido um algoritmo *Priority Queuing* que pode ser usado em dois modos: o Alternado e o de Prioridade Estrita. No modo de prioridade estrita, a fila tem prioridade máxima em relação às demais. Este modo de funcionamento permite valores baixos de atraso e variação de atraso, mas, por outro lado, é possível que seja paralisado o atendimento das demais filas. No modo alternado, a prioridade é alternada entre a fila de prioridade e as

demais, mas pode haver um aumento do atraso e da variação de atraso para o tráfego.

O modo alternado controla menos o atraso e a variação de atraso. Se o escalonador MDRR iniciar servindo pacotes de uma fila sem prioridade e chegar um pacote para uma fila de prioridade, o MDRR serve a fila sem prioridade até que o valor da variável *deficit counter* chegue a zero. Depois disso é que a fila de prioridade será atendida.

No modo de prioridade estrita, o escalonador terminaria de enviar o pacote corrente e passaria a atender a fila de prioridade e só voltaria a atender a fila sem prioridade, quando a fila de prioridade estivesse vazia. É importante notar que, neste modo, a fila de prioridade é atendida mais de uma vez por ciclo e, dessa forma, recebe mais banda que as outras filas com o mesmo peso nominal. Por exemplo, se o MDRR tiver três filas configuradas, a fila de prioridade será servida duas vezes a mais, na mesma frequência de atendimento das outras filas e enviará duas vezes o seu peso por ciclo.

Se quatro filas forem definidas com os pesos: 0, 1, 2 e a fila de prioridade (fp); e se todas elas estiverem congestionadas, no modo alternado o atendimento seria: 0, fp, 1, fp, 2, fp, 0, fp, 1... Onde cada vez que a fila é servida, ela pode enviar a quantidade de bytes igual ao seu peso configurado. A quantidade mínima de banda que a fila de prioridade pode receber neste modo é dada pela fórmula:  $BW \times n \times WL / (n \times WL + \sum_{i=0}^n W_i)$ , onde  $WL$  é o peso da fila fp,  $W_i$  são os pesos das filas sem prioridade e  $BW$  é a largura de banda do *link*.

As diretrizes para a configuração do MDRR são:

- (a) É melhor configurar o peso da classe que tem menor requisito de banda com o valor 1, para manter os valores de atraso e a variação de atraso tão baixos quanto for possível;
- (b) Selecionar valores de peso tão pequenos quanto for possível. Por exemplo, para duas classes configuradas com 50% de banda, o valor dos pesos devem ser 1 para cada uma. Lembrar que quanto maior for o peso, maior será o atraso;
- (c) Um peso de pequeno valor para a fila de prioridade é muito importante, especialmente no modo alternado, para não adicionar atraso e variação de atraso.

### 2.3.6 Enfileiramento Justo Ponderado Baseado em Classes (CBWFQ — *Class-Based Weighted Fair Queuing*)

O Enfileiramento Justo Ponderado (WFQ — *Weighted Fair Queuing*) implementado pela Cisco é um algoritmo de escalonamento dinâmico, baseado em fluxos, para prover alocação de banda justa para todo o tráfego da rede. Este mecanismo identifica os fluxos de tráfego por protocolo, endereços IP, etc. Após a classificação, é atribuído um peso ou prioridade aos fluxos. O WFQ é um algoritmo que simultaneamente escalona fluxos interativos para a frente

da fila e compartilha o restante da banda, de forma justa, com os demais fluxos. Por exemplo, uma aplicação de acesso remoto pode receber maior prioridade em relação a uma aplicação de transferência de arquivos (CISCO, 2006b).

O CBWFQ (*Class-Based Weighted Fair Queuing*) (CISCO, 2006) é uma solução da Cisco que estende o mecanismo WFQ para suporte a classes de tráfego, definidas pelo usuário. O CBWFQ permite a classificação de tráfego por diversos critérios, tais como: DSCP, listas de acesso, protocolos, interfaces de entrada, etc. Após a classificação, cada classe de tráfego é alocada em uma fila e a esta fila é atribuída uma largura de banda, um peso e o tamanho máximo da fila. A banda configurada é a banda mínima que a classe de serviço conseguirá em situação de congestionamento.

A Figura 2.5 (CISCO, 2004) mostra o funcionamento dos mecanismos de escalonamentos descritos acima. Como é possível observar, o tráfego que entra é classificado e direcionado para o mecanismo adequado. O tráfego de voz é agrupado na classe tráfego de voz PQ para ser tratado por um mecanismo de escalonamento PQ. O tráfego de controle de voz foi agrupado na classe “Controle de voz” e será tratado pelo CBWFQ. Os demais fluxos de tráfego passam por um mecanismo de escalonamento justo por peso (WFQ) e, somente depois, são agrupados na classe default para serem tratados pelo mecanismo CBWFQ. O tráfego proveniente do CBWFQ antes de ser enviado é fragmentado para redução do tamanho dos pacotes. Este processo aumenta o atraso dos pacotes vindos do CBWFQ. Depois, os pacotes tratados com os mecanismos PQ e CBWFQ são intercalados e transmitidos.

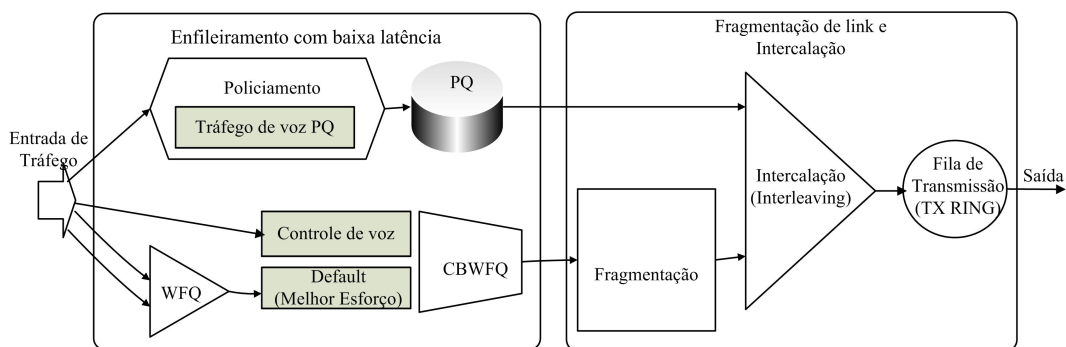


Figura 2.5: - Combinação do CBWFQ e LLQ

## 2.4 GERENCIAMENTO ATIVO DE FILAS

O gerenciamento ativo de fila (*Active Queue Management*) é um mecanismo usado para gerenciar o tamanho das filas. O exemplo bastante conhecido deste tipo de mecanismo é o RED (*Random Early Detection*) (FLOYD; JACOBSON, 1993).

Quando em um nó da rede a vazão de chegada de pacotes for maior que a vazão de

saída, significa que a fila de saída para aquele *link* permanecerá cheia e todo pacote que chegar será descartado. Para lidar com o problema de gargalo e, conseqüente descarte de pacotes, foi desenvolvido o algoritmo RED.

O RED calcula o tamanho médio da fila de espera e o compara com dois limites: um tamanho mínimo e um tamanho máximo. Sempre que a média for menor que o limite mínimo nenhum pacote será marcado para descarte. Porém, se a média ultrapassar o limite máximo, todo pacote que chegar será marcado. Por outro lado, quando o tamanho médio da fila estiver entre os limites mínimo e máximo, os pacotes que chegarem serão marcados para descarte com uma probabilidade  $P_a$ , onde  $P_a$  é uma função do tamanho médio da fila. A Figura 2.6 ilustra o gráfico de funcionamento do algoritmo RED.

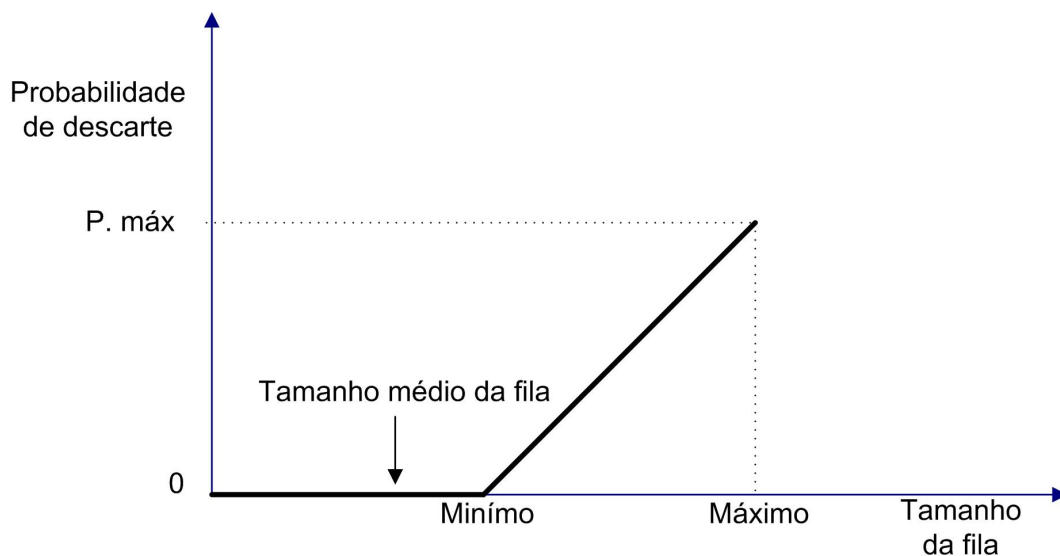


Figura 2.6: - Gráfico utilizado pelo algoritmo RED para descartes de pacotes

Em um ambiente de serviços diferenciados não é interessante a distribuição justa de perdas. Por isso, a utilização do RED não é recomendada. Os algoritmos mais conhecidos para este fim são: o RIO (*RED with In/Out bit*) (CLARK; FANG, 1998) e o WRED (*Weighted Random Early Detection*) (CISCO, 2003c) todos variantes do algoritmo RED.

O RIO diferencia a probabilidade de perda entre os pacotes dentro do perfil (*In profile*) e fora do perfil (*Out of profile*), utilizando dois mecanismos RED com diferentes parâmetros para cada tipo de pacote. O RIO permite que pacotes fora do perfil sejam descartados primeiro, quando a rede estiver sob leve congestionamento. Os pacotes dentro do perfil, só serão descartados em situações de grave congestionamento.

O WRED adiciona a Precedência IP às funcionalidades do algoritmo de controle de congestionamento RED. A precedência IP torna possível ao RED, tratar de maneira diferenciada pacotes de tráfegos distintos. Assim é possível descartar mais pacotes de prioridade baixa, quando a interface de rede começa a ficar congestionada. Os pacotes de precedência IP com

valor mais alto, têm também a prioridade mais alta e maior probabilidade de serem entregues.

## 2.5 ARQUITETURA DE SERVIÇOS INTEGRADOS

A IntServ (*Integrated Service*) é a arquitetura de serviços integrados (BRADEN; CLARK; SHENKER, 1994), padronizada pelo IETF para prover qualidade de serviço para sessões individuais de uma aplicação. Foi construída a partir da extensão do modelo de “Melhor Esforço”, com o objetivo de adicionar mecanismos que oferecessem um serviço de redes adequado para as aplicações de tempo real.

A arquitetura Intserv é dividida em duas partes: um modelo de serviço estendido, chamado de Serviços Integrados, e uma estrutura de referência para a implementação do serviço.

O modelo IntServ fornece reserva de recursos por fluxos e, a cada fluxo, é atribuído um descritor cuja função é definir as características do tráfego e da qualidade de serviço para um determinado fluxo de pacotes de dados. O descritor de fluxo consiste de uma especificação de filtro e uma especificação de fluxo. A Figura 2.7 ilustra o esquema do descritor de fluxos de dados.

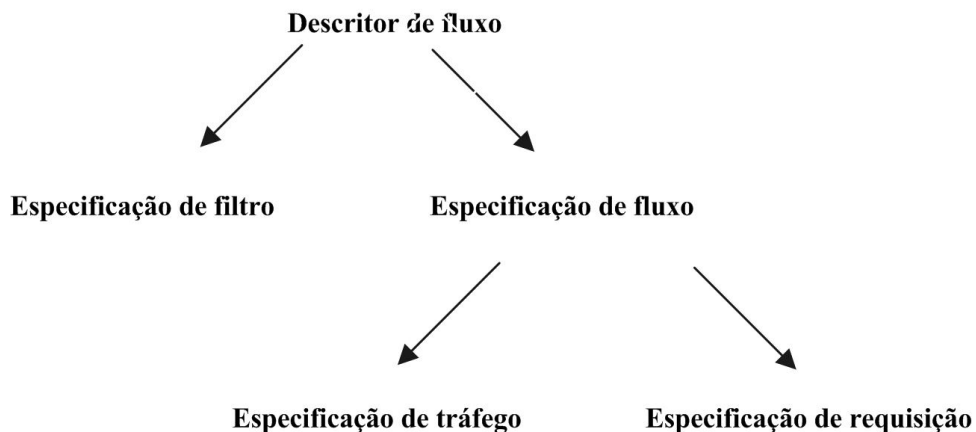


Figura 2.7: - Descritor de fluxos de dados

A especificação de filtro tem a função de identificar os pacotes que pertencem a um fluxo específico com o mesmo endereço IP e a mesma porta origem. A especificação de fluxo contém as informações sobre a QoS solicitada (MICROSOFT, 2009; MURHAMMER et al., 2000). Estas informações podem ser divididas em dois grupos: Especificação de Tráfego (*Tspec*) e Especificação de Requisitos (*Rspec*).

A *Tspec* descreve as características do tráfego do serviço requisitado. O controle da *Tspec* é implementado através do algoritmo “Balde de fichas”. Este algoritmo permite um controle preciso de intervalo entre dois pacotes de dados. O balde de fichas é configurado com os parâmetros  $(r, b)$ , onde  $r$  é a taxa de geração de fichas, em bytes por segundo, e  $b$

a profundidade do balde, estes parâmetros devem ter valores positivos. O tráfego que passa pelo filtro do balde de fichas precisa obedecer à regra de que durante intervalos de tempo  $t$ , o montante de dados enviados não deve exceder  $rt + b$ . O filtro possui ainda os seguintes parâmetros: a taxa de pico  $p$ ; a unidade policiada mínima  $m$  que especifica o tamanho mínimo do datagrama IP e o tamanho máximo de pacote  $M$ , que especifica o tamanho máximo dos datagramas IP que estão de acordo com as especificação do tráfego.

A *Rspec* especifica a qualidade de serviço que o aplicativo deseja requisitar para um fluxo específico. Esta especificação depende do tipo de serviço e das necessidades do aplicativo que solicita a QoS. Esta especificação pode consistir de uma largura de banda mínima, um retardo máximo de pacote, taxa de perda máxima, dentre outros parâmetros (MURHAMMER et al., 2000).

O modelo IntServ é composto por dois tipos de serviços: o garantido e o de carga controlada. O Serviço Garantido, concebido para aplicações de tempo real, provê funcionalidades para a garantia do tempo de entrega dos datagramas. A RFC 2212 (SHENKER; PARTRIDGE; GUERIN, 1997) especifica que os pacotes deverão ser submetidos a baixos valores de atraso nas filas dos roteadores. Para tanto, a especificação do tráfego é feita de um balde de fichas. O nível de serviço do fluxo de tráfego é caracterizado por uma taxa de serviço  $R$ . E o atraso máximo é controlado pela relação  $b/R$  contanto que  $R$  não seja menor que  $r$  ( $b$  e  $r$  são, respectivamente, a profundidade do balde de fichas e a taxa de geração de fichas).

O Serviço de Carga Controlada (WROCLAWSKI, 1997) foi criado para aplicações elásticas. Uma sessão de carga controlada receberá a QoS semelhante ao que um fluxo recebe quando está em uma rede com pouca carga. A entrega de pacotes é garantida e o atraso de trânsito para um percentual alto de pacotes, não irá exceder muito o atraso mínimo de trânsito. A diferença entre este serviço e o de melhor esforço é que os pacotes sob este serviço, não são deteriorados quando a carga da rede aumenta. O serviço de carga controlada não faz controle do valor do atraso, nem da perda, nem da largura de banda. As reservas de QoS são feitas através de uma especificação de tráfego com os parâmetros  $r$  e  $b$  do balde de fichas, com a unidade  $m^1$  policiada mínima, o tamanho máximo de pacote  $M$  e a taxa de pico  $p$ . Não é necessária a utilização da especificação de requisição, pois o serviço de carga controlada não oferece funções para reservar largura de banda fixa ou garantir atrasos mínimos.

A estrutura de referência para implementação do modelo da arquitetura, Figura 2.8, é composta por quatro elementos: o escalonador de pacotes, a rotina de controle de admissão, o classificador e o protocolo de reserva de recursos (RSVP).

O escalonador tem a função de reordenar a fila de saída dos pacotes com base em

---

<sup>1</sup>a unidade mínima policiada é um inteiro medido em bytes. Todo datagrama IP menor que  $m$  será contado quando for policiado.

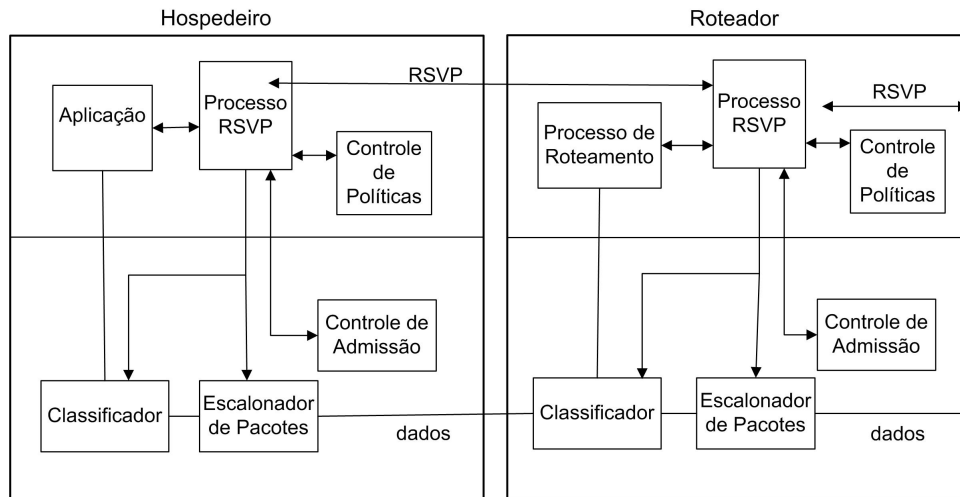


Figura 2.8: - Estrutura de referência da arquitetura Intserv

diversos mecanismos. Um exemplo destes mecanismos é o enfileiramento com prioridades (*Priority Queuing*) que atribui prioridade de atendimento absoluta a alguns pacotes em relação aos demais.

O controle de admissão possui a funcionalidade de determinar se há recursos suficientes para o estabelecimento do serviço. Se ele recebe uma requisição de serviço para um novo fluxo de dados e a rede não possui recursos suficientes para atender a QoS especificada, a requisição é rejeitada. Caso a reserva seja aceita, o escalonador e classificador de pacotes são acionados para auxiliar na reserva de recursos. O controle de admissão é realizado em todo o percurso do fluxo e a reserva só é feita se a solicitação for aceita por todos os roteadores envolvidos.

O classificador faz a identificação dos pacotes que irão receber o tratamento com QoS e os mapeia para a classe de serviço correspondente. A escolha da classe de serviço é baseada nos endereços IP origem/destino e portas do cabeçalho do datagrama IP.

O protocolo de reserva de recursos (RSVP — *Reservation Protocol*) é o mecanismo de sinalização utilizado pelo IntServ, para realizar o gerenciamento de recursos em todo o caminho por onde passará o tráfego. Ele cria uma espécie de circuito virtual na rede.

O RSVP permite às aplicações fazerem reserva de banda para seus fluxos de dados. Ele é usado para encaminhar as solicitações de recursos entre os roteadores, no caminho de tráfego entre os *hosts* origem e destino do tráfego. Outro aspecto importante é que o RSVP é orientado ao receptor (*receiver-oriented*) o que implica que o receptor inicia e mantém as reservas de recursos para aquele fluxo.

A Figura 2.8 mostra o funcionamento da arquitetura IntServ. A aplicação solicita ao processo RSVP local uma reserva de recursos para seu tráfego. O protocolo RSVP, por sua vez, tenta fazer a reserva de fluxo com a QoS solicitada. Esta reserva será aceita se estiver de



acordo com as restrições do plano de ação e os roteadores envolvidos puderem lidar com a QoS requisitada. O protocolo RSVP informa ao classificador e ao escalonador de pacotes, de cada nó, para processarem os dados destes fluxos adequadamente. Quando a aplicação começa a enviar os pacotes, estes são classificados em uma classe de serviços adequada e identificados pelo endereço IP do aplicativo emissor. O elemento classificador envia os dados para o programador de pacotes e este encaminha os dados para o próximo roteador ou *host* final, conforme seja o caso.

O maior problema desta arquitetura é a escalabilidade, pois os roteadores precisam manter os estados de cada fluxo que os atravessa. À medida que aumenta a quantidade de fluxos simultâneos, aumenta também o processamento nos roteadores e isto pode causar um “*crash*” na rede, se os roteadores não tiverem mais como armazenar todos os estados de sinalização.

## 2.6 ARQUITETURA DE SERVIÇOS DIFERENCIADOS

A arquitetura de serviços diferenciados (DiffServ) é baseada no controle de QoS para fluxos agregados e não no controle de fluxos individuais como na arquitetura Intserv. Os agregados são criados pela classificação dos micro-fluxos, através do valor do DSCP (*Differentiated Service Code Point*) existente no chamado campo DS (byte TOS do IPv4 e Classe de Serviço do IPv6).

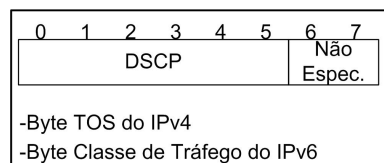


Figura 2.9: - Estrutura do byte DS

Na arquitetura DiffServ os aplicativos não precisam fazer reserva de recursos para seu fluxo de dados. Todas as redes capazes de diferenciação de serviços oferecerão uma QoS específica para aquele fluxo, a depender da classe de serviço para a qual ele foi mapeado. O campo *DS* está ilustrado na Figura 2.9. Os seis primeiros bits formam o DSCP e os dois últimos bits serão utilizados para outra finalidade.

Além do DSCP, o Seletor de classe (CS — *Class Selector*) pode ser também usado para a classificação de tráfego. O CS é definido como sendo os três primeiros bits do código DSCP. O objetivo de sua utilização é compatibilizar as redes que anteriormente faziam classificação de tráfego pelos 3 bits de Precedência IP, com os domínios DiffServ. É necessário fazer o mapeamento entre o seletor de classe e os serviços correspondentes.

O modelo de arquitetura do DiffServ é aquele no qual o tráfego que entra na rede é

classificado, possivelmente condicionado<sup>2</sup> nas bordas da rede e destinado a um tipo de comportamento específico BA (*Behavior Aggregate*). Cada BA é identificado através de um código DSCP. No núcleo da rede, os pacotes são roteados de acordo com o comportamento por salto (PHB — *Per Hop Behavior*) associado a eles através do DSCP.

O funcionamento geral do modelo é ilustrado pela Figura 2.10 (BLAKE et al., 1998), onde são mostradas as etapas do processo envolvido na implementação do serviço dentro de um roteador. Os pacotes são recebidos em uma interface de ingresso do roteador, passando primeiramente por um processo de classificação. A depender do resultado da classificação ele pode ser marcado/remarcado ou medido quanto à taxa de envio contratada. A próxima etapa é a moldagem do tráfego com o conseqüente descarte de pacotes para o tráfego que exceder a taxa de pico configurada.

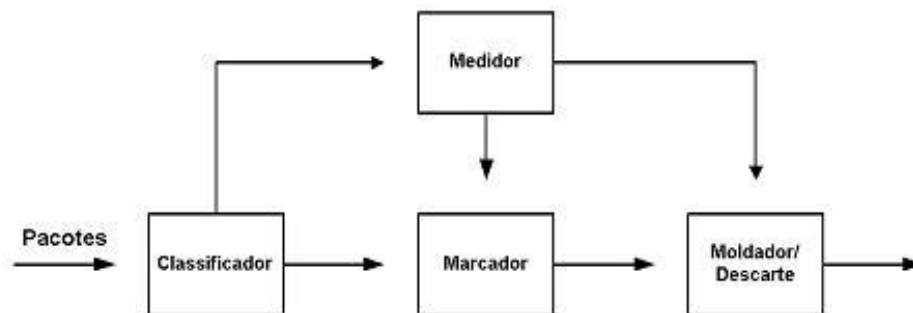


Figura 2.10: - Visão geral do processo de diferenciação de serviços em um roteador

O elemento classificador seleciona os datagramas baseado em informações de seus cabeçalhos. São possíveis dois tipos de classificadores. O primeiro classifica os datagramas somente pelo byte *DS*. O segundo tipo faz uma combinação de mais de um campo do cabeçalho do datagrama. Este tipo de classificador é chamado de multicampo (MF — *Multi-Field*).

O medidor de tráfego verifica se os pacotes classificados estão de acordo com o perfil de tráfego, especificado em um contrato de serviço entre provedor e cliente. O medidor tem ainda a função de repassar informações de estado para os elementos funcionais, a fim de que seja realizada alguma ação normalmente sobre o pacote que não estiver dentro do perfil.

O marcador marca o pacote com o DSCP adequado de acordo com o resultado da classificação do mesmo.

O moldador faz a moldagem do tráfego, baseado em alguma propriedade configurada e especificada no contrato de serviço. Por exemplo, o tráfego pode ser moldado baseado em uma taxa de pico acordada entre cliente e provedor e os pacotes que não forem conformes serão descartados.

<sup>2</sup>O tráfego pode sofrer uma ação de policiamento, moldagem ou marcação.

O componente responsável pelo PHB é o escalonador de pacotes e sua função é gerenciar as filas de saída do roteador. Este componente é comum a qualquer arquitetura de serviços, por isso não está representado na Figura 2.10. Além dos componentes descritos acima, existem outras definições importantes para a implementação do modelo DiffServ. São elas:

- (a) *Domínio DiffServ*: O domínio de serviços diferenciados (domínio DS) é um grupo contíguo de nós com suporte DS que possuem em comum uma política de fornecimento de serviço e o mesmo conjunto de comportamentos definidos para cada roteador ou PHBs (vide Subseção 2.6.1). Um domínio DS consiste, normalmente, em uma ou mais redes sob a mesma administração.
- (b) *Nós de fronteira*: são aqueles que interconectam um domínio DS a outro domínio DS ou a um domínio sem suporte DS. E nós internos são aqueles que, dentro de um mesmo domínio, interconectam nós internos ou nós de fronteira.
- (c) *Nós de ingresso e de saída*: são nós por onde o tráfego entra e sai de um domínio DS, respectivamente. Os nós de fronteira desempenham estes dois papéis para diferentes direções de tráfego.
- (d) *Região DS*: é o conjunto de um ou mais domínios DS contíguos. Uma região DS pode dar suporte a diferentes grupos de PHB e diferentes mapeamentos do código DSCP para PHBs.

Fazem também parte deste modelo as definições de SLA (*Service Level Agreement*) que é um contrato de serviço entre cliente e provedor, onde estão especificados os parâmetros de QoS desejados pelo tráfego. E o acordo de condicionamento de tráfego (TCA — *Traffic Conditioning Agreement*), contrato onde são especificadas regras de classificação, perfis de tráfego e regras para medição, marcação e descarte de pacotes.

### 2.6.1 PHB — Comportamento por salto

O comportamento por salto, ou simplesmente PHB (*Per Hop Behavior*), é a descrição do tratamento de encaminhamento que cada pacote recebe em cada nó por onde passa. Cada roteador, de um domínio DiffServ, precisa saber mapear o tráfego marcado com um dado valor de DSCP para a classe de serviço correspondente. Cada classe de serviço terá um PHB específico.

Este tratamento diferenciado, que recebem as classes de serviço, é implementado por funções de escalonamento/gerenciamento de filas para priorização de pacotes e controle do tamanho das filas. Nas seções 2.3 e 2.4 foram descritos alguns mecanismos implementados em roteadores para o escalonamento e gerenciamento das filas, respectivamente.

## 2.6.2 PDB — Comportamento por Domínio

O comportamento por domínio, ou PDB (*Per Domain Behavior*) (NICHOLS; CARPENTER, 2001), é o tratamento que um grupo de pacotes marcado receberá a partir do nó de entrada, até o nó de saída (borda-a-borda) em um mesmo domínio.

A definição de PDBs é uma técnica de construção de blocos que juntam classificadores, condicionadores de tráfego, PHBs específicos e configurações particulares com o objetivo de criar um conjunto específico de atributos observáveis, os quais possam ser caracterizados de várias maneiras. Pretende-se que estas definições sejam uma ferramenta útil na configuração de domínios DiffServ.

A cada PDB está associado um conjunto de atributos quantificáveis, que descrevem o tratamento que seus pacotes devem sofrer, ao passar pelo domínio DiffServ. Estes parâmetros podem ser absolutos ou estatísticos. Por exemplo, um atributo de atraso pode ser definido como: 50% dos pacotes entregues podem sofrer até  $X$  ms de atraso. O PDB é destinado a um grupo de pacotes alvo que chega na borda do domínio onde são classificados.

Os pacotes alvo sofrem dois tipos de ações no PDB, a primeira é o condicionamento de tráfego e a outra é o tratamento que o grupo de pacotes sofre ao atravessar o domínio. A ação relacionada com o condicionamento depende da configuração do mesmo e do padrão de chegada do tráfego. Para a caracterização do tráfego PDB é necessário descrever o relacionamento entre os pacotes alvo de chegada e o tráfego agregado de saída. Por exemplo, a taxa de saída do tráfego agregado PDB será menor ou igual ao mínimo entre a taxa de chegada do tráfego alvo e a taxa  $X$  configurada no policiador.

A segunda ação está relacionada com o tratamento recebido pelo grupo de pacotes alvo, entre os roteadores de borda do domínio DS. Este tratamento pode ser caracterizado pela concatenação de todos os PHBs envolvidos no trânsito do tráfego até sua saída do domínio. Os DSCPs não devem ser mudados porque não existe condicionamento, nem marcação de tráfego no interior do domínio. Mesmo que o tráfego agregado seja dividido em fluxos diferentes nos nós internos e seja reagrupado na saída do domínio, a definição do PDB deve prevalecer.

### Especificação para o PDB

A RFC 3086 (NICHOLS; CARPENTER, 2001) sugere um formato para a especificação do PDB que deve conter as seguintes informações:

- (a) Declaração de aplicabilidade: onde devem ser descritos o uso, limitações e restrições para o PDB.
- (b) A especificação técnica: deve conter as regras para a criação do PDB. Neste campo deve-se listar a classificação e o condicionamento requerido e o PHB a ser usado. A

classificação inclui as ações para o controle de admissão ao serviço e o condicionamento inclui a moldagem, marcação e policiamento.

- (c) Atributos: os atributos descrevem o comportamento do tráfego sob condições ideais. É possível incluir taxa de perda, vazão e limites de atraso. Estes atributos podem ser representados por limites, limites estatísticos ou percentis.
- (d) Parâmetros: A caracterização de um PDB pode ser parametrizada usando vários tipos de informações da rede, tais como o número de *hops*, banda mínima, número total de pontos de entrada e saída do PDB vindo ou indo para uma rede DiffServ, atraso de trânsito nos elementos de rede, etc.
- (e) Suposições: na construção do PDB supõe-se a utilização de enlaces (*links*) com baixa perda, sem falhas e estáveis. Se houver necessidade da garantia de algum parâmetro, a redundância e a alocação de recursos devem ser explícitas no PDB. Por exemplo, se houver necessidade de disponibilidade de banda, o *link* de reserva deve estar incluído no PDB.
- (f) Exemplo de uso: Neste item é descrito a que tipo de tráfego se destina o PDB especificado.
- (g) Ambiente do domínio: meio físico, topologia, etc.
- (h) Considerações sobre a segurança: Neste item são descritas todas as considerações de segurança para o PDB.

### 2.6.3 Classes de Serviço DiffServ

Classe de Serviço “é a descrição do tratamento ao qual é submetido o tráfego do usuário em um domínio ou entre um grupo de domínios interconectados ou fim-a-fim” (BAKER; BABIARZ; CHAN, 2006). A descrição do serviço é composta por políticas administrativas, condicionadores de tráfego e mecanismos de gerenciamento de filas para a obtenção do comportamento por nó ao longo do domínio.

Os serviços originalmente definidos para a arquitetura DiffServ são o de encaminhamento assegurado (*AF — Assured Forwarding*), o de encaminhamento expresso (*EF — Expedited Forwarding*) e o encaminhamento *Default*.

O encaminhamento *default* é o serviço de melhor esforço. Este serviço permite que todos os pacotes sejam aceitos, mas nenhuma garantia é oferecida no tratamento, encaminhamento e entrega do tráfego. Para esta classe são necessários: um código DSCP para identificar o tráfego de melhor esforço, uma fila onde serão colocados os pacotes pertencentes a esta classe

e o gerenciamento ativo de filas para proteger a rede deste tráfego e limitar os atrasos. Espera-se que este tráfego seja elástico, em sua maioria, de forma que seja possível regular sua taxa de transmissão quando forem percebidas perdas de pacotes.

O serviço de encaminhamento assegurado (AF) é composto por classes distintas de serviço, as quais possuem subclasses com diferentes níveis de precedência em relação ao descarte de pacotes. É indicado para as aplicações que não sejam sensíveis ao atraso, e nem suportem perdas de pacotes.

O serviço de encaminhamento expresso (EF) é semelhante a uma linha privativa virtual (VLL — *Virtual Leased Line*) e indicado para aplicações de tempo real. Este serviço oferece um serviço de rede com baixas perdas, pequenos atrasos, baixas variação de atrasos e bandas garantidas. Nas subseções seguintes são detalhados os serviços EF e AF.

### **Serviço Expresso (EF)**

O serviço EF (*Expedited Forwarding*) é designado para aplicações que sejam sensíveis ao tempo (inelásticas)<sup>3</sup>. É implementado através de mecanismos de escalonamento que minimizam o atraso ou variação de atraso para estas aplicações. Estes mecanismos normalmente dão prioridade estrita ao tráfego EF em relação aos demais. Por isso, o encaminhamento expresso pode ocasionar efeitos negativos, tais como congestionamento na rede ou interrupção dos outros serviços, se não for controlado o seu uso. Portanto, é necessário que seja realizado o policiamento ou moldagem do seu tráfego.

O tráfego EF deve ser moldado ou policiado de maneira que a taxa de chegada nunca exceda a taxa de serviço. Em consequência disso, em cada nó a taxa de serviço deve ser fixa e independente de outros tráfegos.

Para alcançar seus objetivos, o serviço EF deve dar prioridade de atendimento ao seu tráfego de forma que este não fique enfileirado ou permaneça pouquíssimo tempo na fila. A criação de um serviço como este, envolve configurar cada nó do domínio com uma taxa de saída que contemple todo o tráfego agregado EF, independentemente dos demais.

É também parte do serviço condicionar o tráfego agregado através de policiamento ou moldagem, para que a taxa de chegada do tráfego, em qualquer nó, seja sempre menor que a taxa de partida configurada no mesmo. O condicionamento do tráfego é realizado nas bordas do domínio, enquanto que no núcleo são realizadas ações de classificação e priorização.

Normalmente, os mecanismos adequados para a implementação do PHB EF são os que permitem atribuir um tratamento preferencial a um tráfego, em relação aos demais. Um exemplo deste tipo de mecanismo de escalonamento é o PQ (*Priority Queueing*). Porém, também é possível a utilização de outros mecanismos, tais como: o WFQ (*Weighted Fair Queueing*) e o

<sup>3</sup>Podem ser degradadas caso sejam submetidas a altos valores de atraso.

MDRR (*Modified Deficit Round Robin Queuing*).

Caso seja utilizado um mecanismo de escalonamento que dê prioridade absoluta ao tráfego EF, é necessário o uso de moldadores de tráfego, para que as outras classes não sejam prejudicadas. Este controle pode ser feito através de um algoritmo que limite a taxa do tráfego, como o balde de fichas.

A RFC 2598 (JACOBSON; NICHOLS; PODURI, 1999) recomenda ainda que o serviço EF não deve permitir reordenação de pacotes nos nós e não deve ter seu código DSCP remarcado. O código padrão recomendado é o 101110 (46). No que se refere à segurança do serviço, é necessário que a taxa de tráfego EF seja policiada nas bordas do domínio e os pacotes sejam descartados em caso de excesso. Como o policiamento de pacotes é feito na entrada do domínio, descartes observados depois deste ponto serão considerados erros de configuração ou violação de segurança.

### Serviço Assegurado (AF)

O serviço AF (*Assured Forwarding*) é destinado ao tráfego elástico<sup>4</sup>, capaz de ajustar a taxa de transmissão à medida que perceba perdas de pacotes. Múltiplos valores de DSCP são usados e o tráfego dividido em subclasses que ocupam uma mesma fila. O tráfego é policiado no ingresso e pode ser marcado ou descartado, caso ultrapasse a taxa de envio contratada.

O objetivo do serviço assegurado é oferecer diferentes níveis de garantias, para o tratamento de pacotes IP que passam por um domínio DiffServ. Para isso foram definidas quatro classes genéricas de serviços e três níveis de descarte. Para cada classe são atribuídos recursos de banda e armazenamento (*buffer*) nos roteadores.

Em cada classe os pacotes são marcados com um dos três níveis de precedência de descarte e, em situações de congestionamento, os pacotes são descartados. O nível de garantia de encaminhamento do pacote IP, depende da quantidade de recursos alocados para a classe de serviço que ele usa, da carga de tráfego e da precedência de descarte do pacote.

O grupo PHB AF permite o encaminhamento de pacotes IP em um número  $N$  de classes independentes. Em cada classe AF existem  $M$  níveis de precedência de descarte. Os requisitos necessários para a implementação do serviço AF são:

- (a) É sugerido que o nó *DS* implemente todas as quatro classes AF de uso geral: AF1, AF2, AF3 e AF4. Os pacotes de uma classe devem ser encaminhados independentemente das demais classes.
- (b) Um nó *DS* deve alocar um mínimo de largura de banda para as classes AF implementadas. Cada classe deve prover o serviço de forma que a taxa de serviço configurada seja

---

<sup>4</sup>O tráfego elástico suporta valores altos de atraso.

alcançada tanto para uma pequena quanto para uma grande escala de tempo.

- (c) Uma classe AF pode utilizar a banda excedente de outra classe ou grupo AF.
- (d) Em cada classe AF, um nó DS deve aceitar todos os três códigos de níveis de precedência de descarte e deve implementar pelo menos dois níveis de probabilidade de perda, sobretudo para as redes que sofrem pouco congestionamento.
- (e) Se um domínio DS implementar somente dois níveis diferentes de probabilidade de perda para uma classe x, o código AFx1 deve ter a mais baixa probabilidade de perda e os códigos AFx2 e AFx3 devem ter probabilidades de perdas maiores.
- (f) Não deve ocorrer reordenação de pacotes para o mesmo micro-fluxo dentro de uma classe, sem levar em consideração sua precedência de descarte.
- (g) Não há nenhum requisito de tempo associado à classe AF.
- (h) O grupo PHB AF pode ser usado para implementar o serviço fim-a-fim ou borda-a-borda entre domínios.

Tabela 2.1: Códigos padronizados para os serviços de Melhor Esforço, Cata-lixo, AF e EF.

<b>Serviço</b>	<b>Precedência IP</b>	<b>TOS</b>	<b>DSCP</b>
Melhor Esforço	0	0	0
Cata-lixo	1	32	8
Assegurado (AF11)	1	40	10
Assegurado (AF12)	1	48	12
Assegurado (AF13)	1	56	14
Assegurado (AF21)	2	72	18
Assegurado (AF22)	2	80	20
Assegurado (AF23)	2	88	22
Assegurado (AF31)	3	104	26
Assegurado (AF31)	3	112	28
Assegurado (AF33)	3	120	30
Assegurado (AF41)	4	136	34
Assegurado (AF42)	4	144	36
Assegurado (AF43)	4	152	38
Premium (EF)	5	184	46

O Quadro 2.1 mostra os códigos DSCP, TOS e Precedência IP para o serviço assegurado e para os serviços de melhor esforço, expresso e Cata-lixo (HEINANEN et al., 1999; JACOBSON; NICHOLS; PODURI, 1999; SHALUNOV; TEITELBAUM, 2001).



O tráfego AF necessita que sejam configuradas ações de controle nos roteadores, para verificar se está de acordo com o contrato de condicionamento de tráfego (TCA). Estas ações realizadas sobre o tráfego AF são feitas nos limites do domínio. São elas: moldagem, policiamento com descartes de pacotes, remarcação para outra classe AF, aumento ou diminuição de precedência de descarte. Contudo que estas ações não causem reordenação dos pacotes em um mesmo micro-fluxo.

O serviço AF deve ser implementado de maneira a minimizar os congestionamentos longos, dentro de uma classe e permitir os congestionamentos curtos proveniente das rajadas de tráfego. Por causa disso, é necessária a implementação de mecanismos de gerenciamento ativo de filas, como por exemplo, o RED (vide seção 2.4).

Uma implementação de PHB AF deve detectar congestionamentos longos, dentro de cada classe e reagir com descarte de pacotes. A resposta ao congestionamento curto, deve ser o enfileiramento de pacotes. Portanto, o nível de congestionamento deve ser monitorado. O algoritmo de descarte usa estas informações para determinar o momento de descartar os pacotes.

O algoritmo de descarte deve tratar identicamente, os pacotes dentro de uma mesma classe e nível de precedência. O que significa que a taxa de descarte de um micro-fluxo particular, com o mesmo nível de precedência, será proporcional à percentagem total do tráfego com aquele mesmo nível de precedência.

Cada nó *DS* fim deve ser notificado em situação de congestionamento. Dessa maneira, o nível de descarte para aquele fluxo será gradual e não abrupto. Isto permite que a rede alcance um ponto de operação estável. É possível alcançar este estado usando um algoritmo para gerenciamento ativo de filas. Por exemplo, no RED são configurados dois limites de congestionamento e quando o primeiro nível é alcançado, os pacotes são marcados com uma probabilidade de descarte  $Pa$  (vide seção 2.4). Porém, quando o segundo limite é alcançado, todo pacote que chegar será descartado.

## 2.7 SERVIÇOS ALTERNATIVOS

Esta seção detalha alguns serviços diferentes dos apresentados pelas arquiteturas de serviços propostas pelo IETF e do serviço de melhor esforço. O serviço ABE pretende aproveitar as facilidades do serviço de melhor esforço, acrescentando a este serviço a capacidade de tratar o tráfego elástico de forma diferente do tráfego que é sensível ao atraso. O serviço BEDS pretende também aproveitar os benefícios do serviço de melhor esforço e propõe a separação dos tráfegos TCP e UDP em classes de serviço diferentes. O serviço *Scavenger* é um serviço de menor prioridade que o BE e é destinado a aplicações TCP que geram grande volumes de dados e não são interativas. Por isso, a transferência de dados destas aplicações podem acontecer mais

lentamente.

### 2.7.1 Serviço ABE — *Alternative Best Effort*

O serviço de melhor esforço alternativo (HURLEY et al., 2001) pretende aproveitar todos os benefícios que oferece o serviço de melhor esforço, acrescentando-lhe a capacidade de tratar de forma diferenciada o tráfego elástico e o tráfego que seja sensível ao atraso.

A idéia fundamental deste serviço é oferecer baixo atraso ao custo de uma menor banda ou maior descarte. Ou seja, as aplicações não elásticas serão atendidas primeiro que as outras, mas serão servidas com uma largura de banda menor ou poderão ser descartadas. O serviço ABE é definido da seguinte forma:

- (a) Os pacotes ABE são marcados de duas maneiras: verde e azul;
- (b) Os pacotes verdes são tratados de forma a receberem um atraso baixo e limitado a cada roteador;
- (c) Os pacotes verdes não devem afetar os pacotes azuis. Se os pacotes são marcados primeiramente como verdes e depois como azuis, a vazão deles deve se manter a mesma ou se tornar melhor (transparência para os pacotes azuis).
- (d) Todos os pacotes ABE são recebidos por uma única classe de serviço BE. Se o total de carga da rede for alto, cada fonte deve receber menos vazão para seu tráfego, sendo que o tráfego azul terá maior vazão que o verde.

Os pacotes verdes são mais sujeitos ao descarte em momentos de congestionamento que os pacotes azuis. Mas é possível também a utilização da mensagem ECN (*Explicit Congestion Notification*)<sup>5</sup> para que a origem do tráfego ajuste a vazão do tráfego e assim diminua o descarte.

A marcação verde é destinada a aplicações que requisitam baixo atraso, porém não têm requisitos fortes de perda ou vazão. Já a marcação azul é feita para aplicações elásticas, tais com FTP, HTML, etc., que requisitam uma maior vazão, mas não se preocupam com o atraso. Porém, a aplicação pode fazer uso de uma solução mista com a utilização das duas marcações, conforme sua necessidade. O serviço ABE foi idealizado para fluxos multimídia adaptativos.

O serviço ABE ainda não possui implementação em roteadores. Os requisitos para que um roteador ofereça o serviço são:

---

<sup>5</sup>Não é aconselhável a utilização da mensagem ECN, pois os fabricantes de produtos de rede não estão mais incluindo o suporte a ECN (HARGREAVES; SITTAMPALAM, 2007).

- (a) O serviço ABE implementado no roteador deve prover atraso baixo e limitado para os pacotes verdes;
- (b) Prover transparência local para os pacotes azuis. Considerando um cenário de melhor esforço, onde o nó não tenha suporte ao serviço ABE, um nó com serviço de melhor esforço oferece a transparência local para os pacotes azuis:
  - (a) Se para cada pacote azul, o atraso oferecido neste nó não for maior que o oferecido pelo cenário ABE original;
  - (b) Se o pacote azul não for descartado no cenário de melhor esforço, ou marcado com uma notificação de congestionamento, então ele não será descartado nem marcado no cenário ABE original.
- (c) Pacotes verdes devem ter probabilidade de descarte superior à dos pacotes azuis. De forma que fluxos completos de pacotes verdes recebam vazão inferior, ou igual à que eles receberiam se fossem azuis;
- (d) Considerando os requisitos acima, minimizar o máximo possível as perdas para os pacotes verdes.

Em (HURLEY et al., 2001) é apresentado um modelo de implementação do serviço ABE em um roteador. Este modelo supõe que o roteador tenha apenas uma porta de saída e é baseado no escalonamento duplicado com prazos (*DSD — Duplicated Scheduling with Deadlines*). Este esquema de escalonamento usa o conceito de duplicatas: todos os pacotes que chegam são duplicados e enviados para uma fila virtual com um determinado tamanho de buffer. Caso a fila virtual esteja cheia o pacote não é inserido. A fila virtual usa um mecanismo FIFO para o atendimento dos pacotes a uma taxa  $C$ . No exemplo da Figura 2.11 é mostrado um esquema genérico do *DSD*, onde os pacotes chegam e são duplicados e encaminhados para as filas verde ou azul e a fila virtual.

Quando um pacote chega para uma fila azul, é verificado se sua duplicata pode ser admitida pela fila virtual. Se for possível então o pacote e sua duplicata são enfileirados e ao pacote azul é atribuído um tempo máximo para sua duplicata na fila virtual. Caso contrário, os dois pacotes são descartados. Um pacote azul sempre é atendido depois dos verdes, a não ser que seu tempo de espera esteja expirado.

Já o pacote verde é enfileirado tão logo chegue. Assim, uma duplicata é colocada na fila virtual, se houver espaço suficiente para ela. Aos pacotes verdes também é atribuído um tempo máximo de  $d$  segundos de permanência na fila, que é menor que o dos pacotes azuis. Se por acaso na cabeça da fila houver um pacote azul e seu prazo não tiver sido ultrapassado, o

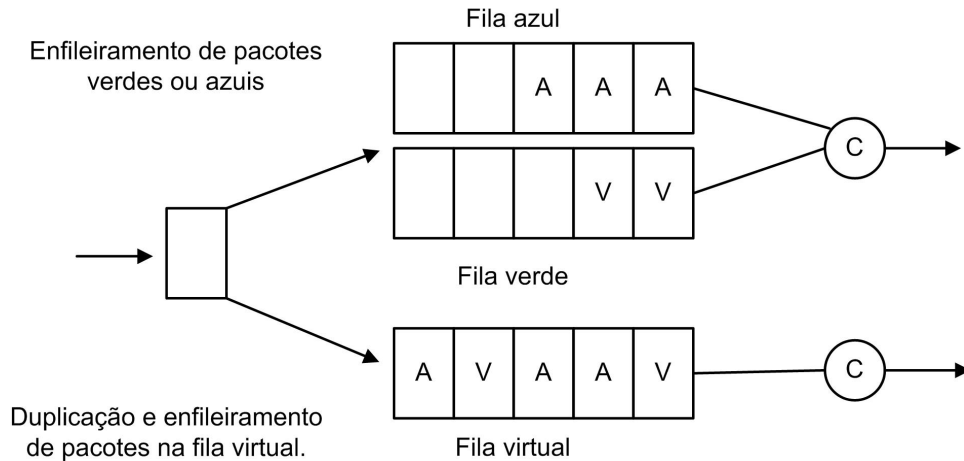


Figura 2.11: - Funcionamento do DSD

pacote verde será atendido primeiro. Os pacotes verdes que esperarem mais de  $d$  segundos de permanência são descartados.

### 2.7.2 Serviço BEDS — *Best-Effort Differentiated Service*

O serviço diferenciado de melhor esforço (FIROIU; ZHANG, 2000) é também uma proposta de diferenciação de serviços, que pretende manter a simplicidade da arquitetura do serviço BE. Mas de maneira diferente dos serviços ABE e BE, o tráfego TCP é separado do UDP de forma a terem tratamentos específicos. As aplicações são classificadas de acordo com sua sensibilidade ao atraso e a perdas.

Em (FIROIU; ZHANG, 2000) foi realizado um estudo sobre o comportamento de aplicações TCP e UDP em presença de congestionamento. Observou-se que o tempo médio de transferência para uma aplicação FTP é influenciado somente pela vazão do tráfego e que para aplicações de voz, a qualidade é dependente do codificador de voz, do atraso e da taxa de perda. O comportamento demonstrado pelas aplicações é a motivação principal para a criação do serviço BEDS.

A idéia fundamental para se alcançar o melhor desempenho para os tráfegos TCP e UDP foi a de separá-los em filas distintas para que o mecanismo de gerenciamento de filas pudesse ser configurado de diferentes formas, levando-se em consideração as características do tráfego.

Dessa maneira, a fila para o tráfego TCP é configurada como um serviço de conservação de perda (*loss-conservative*) que possui menor probabilidade de perda, porém está sujeito a um maior atraso. E o tráfego UDP com um serviço de conservação de atraso (*delay-conservative*), que, por sua vez, é configurado com maior probabilidade de perda e menor atraso. É necessário que os pacotes sejam marcados, para serem classificados e colocados na fila adequada.

Para a implementação estática deste serviço é proposta a utilização do escalonador WFQ (*Weighted Fair Queuing*) em conjunto com o mecanismo de gerenciamento de filas RED (*Random Early Detection*). Esta arquitetura é considerada adequada para redes com tráfego estável, para as quais o administrador da rede precise somente ajustar os parâmetros RED e pesos do WFQ, depois de longos períodos (dias, semanas). Caso o tráfego seja muito variável no tempo, esta configuração se torna injusta para os canais compartilhados com partições fixas para as duas classes de tráfego.

Em (FIROIU; ZHANG, 2000) são propostos também mecanismos para balancear dinamicamente a qualidade do encaminhamento entre estas duas classes de serviço. Os mecanismos para implementação estática são facilmente encontrados em roteadores fabricados atualmente.

### 2.7.3 Serviço *Scavenger* (Cata-lixo)

O serviço *Scavenger* (SHALUNOV; TEITELBAUM, 2001) é um serviço de prioridade menor do que o de melhor esforço, cuja finalidade é aproveitar a sobra de largura de banda que não esteja sendo utilizada pelos demais serviços. De qualquer modo, normalmente é alocada uma pequena fração da largura de banda do canal para esta classe.

O serviço funciona como uma rede virtual paralela com baixos recursos, mas que podem ser aumentados à medida que a classe de melhor esforço esteja sendo subutilizada. O maior ganho considerado é o descongestionamento do serviço BE, principalmente nos “gargalos” da rede.

As aplicações alvo para este serviço são aquelas não interativas baseadas em TCP ou amigáveis ao TCP (*TCP friendly*) que trabalhem com transferência de grandes volumes de dados e que suportem ser atendidas em um período mais longo. Para fazer uso deste serviço, as aplicações devem, se possível, fazer a marcação de pacotes com DSCP 8/TOS=32 (SHALUNOV; TEITELBAUM, 2001).

A política de marcação do tráfego deve ser fornecida pelo usuário, que deve indicar que aplicações devem ser marcadas para o serviço. A marcação dos pacotes pode ser feita pela aplicação ou no roteador de borda mais próximo do *host* de origem.

## 2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de QoS em redes IP é essencial para o funcionamento de aplicações multimídia e de voz, quando esta rede tem uma alta taxa de utilização. O IETF propôs duas arquiteturas de serviços para atender a estas aplicações: a arquitetura IntServ e a DiffServ.

A arquitetura IntServ oferece reserva de recursos em todo o caminho do tráfego alvo, equivalente a um circuito virtual. O maior problema desta arquitetura é que os roteadores, que

fazem parte deste caminho, precisam manter informações sobre estes fluxos. Então, à medida que aumenta o número de aplicações, aumenta também o número de fluxos e, conseqüentemente, o processamento nestes roteadores, tornando esta solução não escalável.

A arquitetura DiffServ resolveu o problema de escalabilidade da arquitetura IntServ pois é baseada no controle de QoS para agregados de fluxos e não para fluxos individuais. O agrupamento de fluxos de tráfego em classes é feito através do código DS (antigo TOS) presente no cabeçalho do datagrama IP.

A rede DiffServ é formada por domínios que, por sua vez, são compostos de um grupo de nós contíguos que implementam os serviços DiffServ. As bordas dos domínios são os locais onde há o maior processamento nos roteadores. Os roteadores de borda fazem a classificação<sup>6</sup>, policiamento, moldagem de tráfego e marcação de pacotes. Os roteadores de núcleo apenas identificam as classes de tráfego através do código DSCP, o que torna a arquitetura DiffServ mais simples que a IntServ.

Além dos serviços propostos pelo IETF, existem soluções alternativas que pretendem manter a simplicidade do serviço de melhor esforço, adicionando algumas funcionalidades para tratar aplicações de tempo real e elásticas, como é o caso do serviço ABE ou a diferenciação do tráfego por protocolo de transporte, proposta pelo serviço BEDS. A última alternativa apresentada, o serviço Cata-lixo, propõe que algumas aplicações que possam causar congestionamento na rede, e usem o protocolo TCP ou similar, sejam colocadas numa classe de menor prioridade que possa receber mais banda à medida que outras classes de tráfego estejam sendo pouco utilizadas.

A arquitetura DiffServ foi escolhida como foco principal deste trabalho por ser escalável e de possível implementação nos roteadores da RNP. O serviço Cata-lixo (*Scavenger*), proposto pela Internet2, foi também testado nestes experimentos. O Capítulo 3 descreve o cenário, as definições, a aplicação das configurações de QoS nos roteadores da RNP.

---

<sup>6</sup>As funções de controle de admissão estão embutidas na classificação (BLAKE et al., 1998).

## 3 EXPERIMENTOS COM QoS NA RNP

Este capítulo apresenta os experimentos com QoS na RNP. Primeiramente é descrita a experiência com o primeiro grupo de trabalho em QoS (GT-QoS). Depois são detalhadas todas as definições, métricas, infra-estrutura usada, configurações e cenário de testes, no escopo do GT-QoS2.

Este capítulo está organizado da seguinte forma: a seção 3.1 faz a introdução aos experimentos do Piloto de Serviços na RNP, a seção 3.2 descreve as definições das classes de serviços testadas, a seção 3.3 descreve as configurações de QoS da rede, a seção 3.4 descreve as métricas e estatísticas usadas nos experimentos, e, finalmente, a seção 3.5 descreve as considerações finais sobre este capítulo.

### 3.1 INTRODUÇÃO

O projeto piloto de serviços desde o GT-QoS (período de 2002 a 2003), teve o objetivo de avaliar se a RNP poderia oferecer um serviço de rede, capaz de atender às aplicações que necessitam de um tratamento melhor que o oferecido pela Internet tradicional (o serviço de Melhor Esforço). A demanda para estas aplicações vem sendo identificada pela RNP desde o ano de 2001, quando foi lançado o edital para Aplicações Avançadas de rede.

Os resultados obtidos através deste primeiro projeto piloto mostraram que a implantação de Qualidade de Serviço numa rede como a RNP não é uma tarefa trivial, pois é necessário ter-se um maior controle da rede através da inclusão de novos elementos tanto internos, como externos aos roteadores. Dentre os elementos internos a serem adicionados podem ser citados novos mecanismos de gerenciamento de filas; enquanto que para os elementos externos a serem incluídos, podem ser citados medidores de tráfego passivos ou ativos.

A proposta do segundo projeto piloto (GT-QoS2) foi de estender os experimentos de QoS com os serviços Premium (EF), Assegurado (AF), Melhor Esforço (BE) e Cata-lixo (*Scavenger*), somente para o tráfego de Vídeo, Voz e o tráfego gerado pelo serviço de medições pas-

sivas com Netflow (CISCO, 2006). Para melhor controlar o ambiente foi incluída a monitoração dos roteadores com SNMP (*Simple Network Management Protocol*) via ferramenta AMIQ (Ambiente de Monitoração IP QoS) (CARLSON, 2005). Também foram realizadas medições ativas para atraso unidirecional, com a ferramenta OWAMP (*One-Way Active Measurements Protocol*) (INTERNET2, 2004) e medições na rede local de testes, com a ferramenta de medição de fluxos de tráfego de rede NETRAMET (*Network Traffic Flow Measurement Tool*) (BROWN-LEE, 2006). Um outro elemento novo, em relação aos experimentos do primeiro piloto, foi o aumento das capacidades dos enlaces da rede troncal da RNP.

Os experimentos foram realizados no período de 01/07 a 25/11/2004 da UNIFACS até o POP-SC e da UNIFACS até o POP-RS, conforme cenário mostrado na Figura 3.1<sup>1</sup>. Entre a UNIFACS e o POP-SC foram testados os serviços Premium, Assegurado e Melhor Esforço. Os testes realizados entre a UNIFACS e o POP-RS foram somente para o serviço Cata-lixo, embora o serviço de Melhor esforço estivesse também configurado.

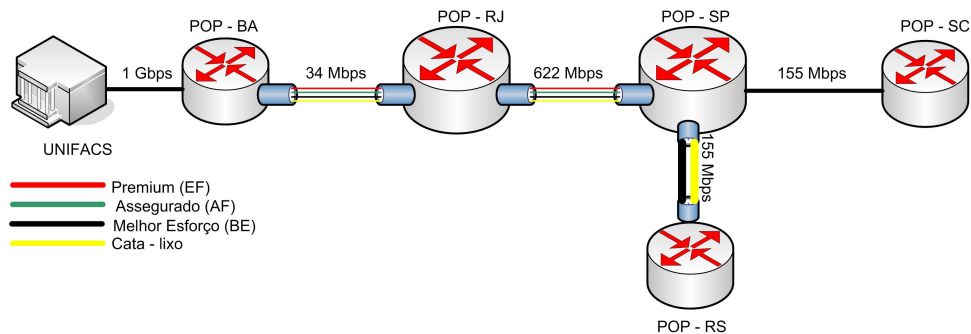


Figura 3.1: - Cenário dos experimentos na RNP

As descrições e cenário dos experimentos se encontram nas seções 4.2 para os testes com Voz, 5.2 para os testes com Vídeo e 5.5.1 para os testes com o serviço Cata-lixo.

## 3.2 DEFINIÇÃO DAS CLASSES DE SERVIÇO

Foram definidas quatro classes de serviço para testes de acordo com as aplicações alvo (vide Tabela 3.1). Esta definição foi baseada em experimentos de laboratório com estas classes e aplicações, realizados na UFSC pela equipe do projeto IQoM (MONTEIRO et al., 2004).

Como mostra a Tabela 3.1, o serviço Premium foi definido para o tráfego de voz, o serviço Assegurado para o tráfego de vídeo e o Cata-lixo para a transferência de dados gerados pelo serviço de medições passivas com Netflow. Na tabela também são mostrados os códigos DSCPs definidos para cada serviço. Nos roteadores Cisco 12000 utilizou-se o número de Precedência IP, por não suportarem classificação por DSCP.

<sup>1</sup>Por questão de simplificação, o POP-RJ está sendo representado por apenas um símbolo roteador, mas, na verdade, existiam dois roteadores envolvidos neste POP.



Tabela 3.1: Configuração dos serviços.

Serviço	DSCP	Precedência IP	Aplicação
Premium (EF)	46 (101110)	5	VoIP
Assegurado (AF22)	20 (010100)	2	Vídeo
Cata-lixo	8 (001000)	1	Dados do Netflow
Melhor Esforço (BE)	0	0	Demais tráfegos

O problema com o mapeamento entre DSCP e Precedência IP é que o número de Precedência IP equivale aos três primeiros bits do DSCP e isto significa um aumento na granularidade da classificação de pacotes. Por exemplo, pacotes marcados com os DSCPs 101100 (44) e 101110 (46) serão classificados para o mesmo serviço, nos pontos em que a classificação for feita pelo número de precedência IP. Não houve problema com os DSCPs escolhidos visto que os números de precedência IP são diferentes. Como se pode observar a classe de serviço de Melhor Esforço recebeu Precedência IP inferior ao serviço Cata-lixo. Como esta classe de serviço teve maior largura de banda definida, isto não deve ter afetado as aplicações usuárias deste serviço.

### 3.3 CONFIGURAÇÃO DOS SERVIÇOS

Nesta seção são descritas as definições de QoS para a rede e como foram aplicadas aos roteadores envolvidos nos experimentos do Piloto de Serviços. A subseção 3.3.1 descreve como devem ser implementados os serviços nos roteadores de borda do domínio DiffServ. A subseção 3.3.2 descreve as definições para a implementação dos serviços nos roteadores de núcleo. E, finalmente, a subseção 3.3.3 descreve como foi feita a implementação destas definições nos roteadores da RNP.

#### 3.3.1 Definições para os roteadores de Borda da Rede

Nesta subseção são apresentadas as definições para as tarefas que fazem parte dos serviços Premium, AF e Cata-lixo nos roteadores de borda do domínio DiffServ.

**Marcação:** A marcação deve ser realizada o mais próximo possível da fonte de tráfego. Quando não for possível realizar esta marcação dentro do domínio do usuário, o roteador de borda da rede troncal RNP mais próximo da fonte deve efetuar a marcação.

Nos experimentos realizados com os serviços VoIP e Vídeo, por uma questão de simplificação, foi preferível fazer a marcação na aplicação, a criar grandes listas de controle de acesso (ACL — *Access Control List*) com os endereços IPs de todos os *gatekeepers*. Mas, o

recomendado é que seja feito o controle de admissão nas bordas do domínio da RNP para os serviços. Para o serviço Cata-lixo, a marcação pode ser feita pela aplicação, por se tratar de um serviço de baixa prioridade.

**Policimento:** O policiamento dos micro-fluxos deve ser feito no roteador de borda mais próximo da fonte do tráfego. Deve ser baseado nos endereços origem/destino e na taxa de envio. Os pacotes que excederem a taxa de envio contratada para o serviço EF deverão ser descartados.

Se o serviço em questão for o AF, a ação para os pacotes que excederem a taxa de envio deverá ser a remarcação para o serviço de melhor esforço. O serviço Cata-lixo não necessita de policiamento devido à sua baixa prioridade.

**Controle de admissão e classificação:** O controle de admissão deve ser feito no roteador de borda mais próximo da fonte de tráfego e deverá ser feito através dos endereços IP origem e destino. Caso o pacote não passe pelo controle de admissão, o pacote deverá ser remarcado para o serviço de Melhor Esforço.

É recomendável que todos os roteadores de borda sejam configurados para permitir o acesso aos serviços com QoS, somente para o tráfego que tem direito a estes serviços. O serviço Cata-lixo não deverá sofrer controle de admissão. Porém, se a aplicação usuária não for capaz de fazer a marcação, é necessário que este tráfego seja classificado e receba a marcação no roteador de borda da rede troncal da RNP.

**Moldagem:** A moldagem de tráfego é recomendada na aplicação do usuário a fim de se evitar o descarte ou remarcação de pacotes nos roteadores e/ou acréscimo de retardo ao micro-fluxo. Quando o domínio do usuário não for capaz de efetuar a moldagem, os roteadores de entrada da RNP podem<sup>2</sup> desempenhar esta função.

**Escalonamento:** Para o serviço Premium, os escalonadores adequados são os que possibilitam dar prioridade a um tipo de tráfego em relação a outro. Alguns exemplos de escalonadores que podem ser usados são: o PQ; o CBWFQ com LLQ em roteadores Cisco 7507; e o MDRR nos modos *Alternate Mode* ou *Strict Priority Mode*, em roteadores 12008.

O serviço Assegurado e Cata-lixo precisam de um escalonador que, além de limitar a banda para as classes de serviço, possibilite o uso da banda que sobra nas outras classes. Os escalonadores que podem ser usados para este serviço são o WFQ, o CBWFQ e o MDRR.

---

<sup>2</sup>A administração da rede pode preferir fazer o policiamento, com a remarcação dos pacotes fora do perfil para outras classes de serviço.

### 3.3.2 Definições para os roteadores de Núcleo da Rede

Nesta subseção são apresentadas as definições para as tarefas que fazem parte dos serviços Premium, AF e Cata-lixo nos roteadores de núcleo do domínio DiffServ.

**Classificação:** No núcleo da rede, a classificação do tráfego deve ser feita apenas pelo DSCP. Porém, devido à topologia da RNP ter um formato de malha, com entrada de tráfego em todos os pontos do domínio, esta regra será aplicada somente para as interfaces de entrada que recebem tráfego que já passou por controle de admissão no nó anterior.

Para domínios clientes confiáveis, a marcação pode ser efetuada exclusivamente no domínio de origem e, portanto, o roteador de borda efetuará a classificação apenas pelo valor do DSCP. Nos roteadores 12008 a classificação deve ser feita através da precedência IP. Porém, é recomendável que as interfaces nos roteadores sejam atualizadas para suportar a classificação por DSCP.

**Escalonamento:** Como no caso dos roteadores de borda, os mecanismos escalonadores escolhidos foram o CBWFQ com LLQ em roteadores Cisco 7507 e o MDRR nos roteadores Cisco 12008.

### 3.3.3 Aplicação das configurações na rede

Antes de realizar a configuração no caminho de rede usado no piloto, foram pesquisadas as funcionalidades de QoS presentes nos roteadores da rede troncal da RNP. Depois deste levantamento foi observado que o serviço Assegurado e o serviço Premium não poderiam ser implementados 100% em conformidade com a arquitetura DiffServ, por causa das limitações encontradas nos equipamentos.

O IOS (Sistema Operacional) dos roteadores CISCO 7507 (12.2(14)S3) suportavam todas as funcionalidades necessárias, porém estas configurações estavam restritas às interfaces VIP (*Versatile Interface Processor*). As demais interfaces não suportavam QoS.

Nos locais onde os roteadores tinham estas limitações existiram “portas abertas”, por onde puderam passar tráfego não autorizado ou onde foi somente possível oferecer o serviço de Melhor Esforço. Este é o caso de muitas interfaces Ethernet e seriais que estavam presentes nos roteadores 7507 da rede troncal. Nestas interfaces não foi possível classificar, policiar ou realizar qualquer tarefa de QoS.

Existiram também limitações de configuração nos roteadores Cisco 12008 GSR (IOS 12.0 (21)S7), envolvidos nos testes. Não foi possível fazer a marcação e nem classificar os pacotes através de listas de controle de acesso. Portanto, nestes roteadores não foi possível controlar o acesso de pacotes e realizar remarcações, caso o tráfego não tivesse direito ao serviço.

A implementação de QoS nos roteadores Cisco serie 12000, também dependem do tipo de cartão de rede instalados nos roteadores. Nos roteadores 12008 da rede troncal, as placas POS (*Packet Over Sonet*) instaladas eram do tipo *engine 0*. Estas placas só suportam a classificação por precedência IP e a configuração do MDRR através do software “Linha de Comando QoS Modular” (MQC — *Modular QoS Command line*).

O MQC somente pode configurar o MDRR no modo de prioridade estrita. Como forma de proteger as demais classes de serviço, não foi criada uma classe de serviço Premium com prioridade. A única maneira de se fazer isso, seria usando um mecanismo de policiamento para controlar a banda utilizada pelo serviço Premium. Mas a interface POS *engine 0* não suporta este mecanismo. Para minimizar o problema, foi atribuído a esta classe um maior percentual de banda<sup>3</sup>.

Em testes realizados pela operação da rede, foi tentada uma configuração alternativa para atender à demanda do serviço de Voz sobre IP (OYAMA, 2004). Esta tentativa consistiu em configurar um mecanismo PQ (*Priority Queuing*) nestas interfaces. Porém o desempenho do roteador foi afetado e sua CPU chegou a atingir 90% de utilização. Portanto, esta alternativa foi abandonada. Um exemplo de configuração do mecanismo PQ no roteador 12008 é apresentado a seguir:

```
class-map match-all Premium
  match access-group 175

policy-map QOS-VOIP-BB
  class Premium
    priority 800
  set ip dscp ef
  class class-default
    set ip dscp default

interface Serial4/1/0
  description PE > RJ
  service-policy output QOS-VOIP-BB
```

Comparando-o com as configurações do Anexo D, observa-se que este exemplo não é muito diferente dos comandos para configuração da *Priority Queuing* nos roteadores Cisco 7507.

As interfaces FastEthernet dos roteadores 12008 eram do tipo *engine 1*. Este tipo de placas não suporta a configuração de QoS, por isso não foi possível realizar ações de QoS (CISCO, 2003a) nelas. Estas placas eram usadas na ligação entre os roteadores 7507 e 12008 do POP-RJ, portanto esta ligação ficou sem QoS.

---

<sup>3</sup>Por causa desta adaptação, o serviço Premium configurado foi composto por um misto de PHB EF e AF.

Outra limitação encontrada diz respeito ao roteador 7507 do POP-SC. Na fase de configuração do piloto, este roteador começou a apresentar problemas quando era feita alguma ação de configuração de qualidade de serviço. Existia a suspeita de que fosse por deficiência de memória. Por ser este um roteador de produção, as configurações de QoS foram suspensas e neste roteador não foram efetivadas as configurações de QoS.

Em dezembro de 2004 os recursos de memória foram atualizados, porém este roteador apresentou problema de “*reload*” na placa VIP, quando eram configuradas algumas funcionalidades disponíveis. O funcionamento das configurações de QoS não foram testadas.

Por causa desse problema no roteador do POP-SC, os serviços AF e EF ficaram com configurações diferentes nos dois sentidos de teste. No sentido UNIFACS até o POP-SC, o roteador de ingresso foi configurado para fazer policiamento das taxas dos fluxos de tráfego. No sentido POP-SC até a UNIFACS não houve policiamento, nem nenhuma configuração de QoS no roteador de ingresso ao domínio DiffServ.

A Figura 3.2 mostra o esquema de configuração do caminho de testes. As setas em dois sentidos indicam que a configuração de QoS foi aplicada na ida e volta do caminho, as setas em um sentido, indicam a configuração em apenas um sentido. Esta forma de configuração foi devida às limitações relatadas.

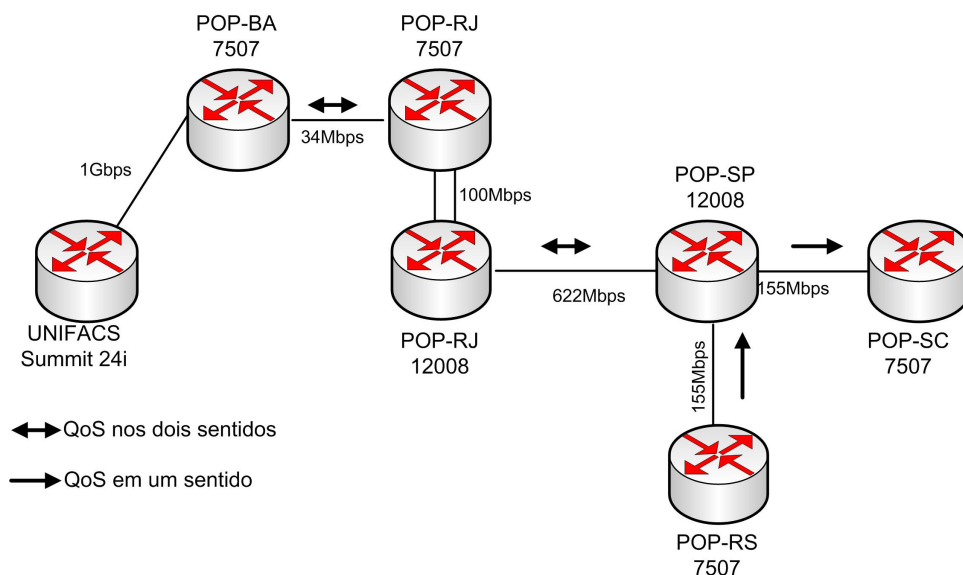


Figura 3.2: - Cenário de configuração dos serviços de rede

O serviço mais prejudicado pelas limitações encontradas foi o serviço Premium: a priorização de tráfego foi feita somente no roteador 7507 do POP-BA e do POP-RJ, nas interfaces de saída de tráfego. Nos roteadores 12008 o tráfego Premium foi tratado como serviço assegurado, pois, como explicado anteriormente, nestes roteadores só foi possível fazer a reserva de banda mínima para o serviço Premium. Não houve configuração de QoS na UNIFACS, nem

no POP-SC. Nestes pontos o tráfego foi tratado como de Melhor Esforço.

Em outubro de 2005 estes roteadores foram trocados por roteadores Juniper M320 e M40. Segundo as informações disponíveis sobre os equipamentos (JUNIPER, 2003) os dois modelos suportam a configuração de QoS nas camadas de rede 2 e 3.

A alocação de banda para os serviços foi realizada da seguinte forma:

(a) BA  $\leftrightarrow$  RJ:

- Classe EF: 6%
- Classe AF22: 15%
- Classe Cata-lixo: 3%
- Classe *Default*: 76%

(b) RJ  $\leftrightarrow$  SP:

- Classe EF: 3%
- Classe AF22: 2%
- Classe Cata-lixo: 1%
- Classe *Default*: 94%

(c) SP  $\rightarrow$  SC

- Classe EF: 5%
- Classe AF22: 4%
- Classe Cata-lixo: 1%
- Classe *Default*: 90%

(d) RS  $\rightarrow$  SP

- Classe *Default*: 99%
- Classe Cata-lixo: 1%

A alocação de banda feita para o serviço Premium teve como base a solicitação de banda feita pelo serviço de Voz sobre IP da RNP, o tráfego de teste e o tráfego real usaram a mesma classe de serviço. Para o serviço Cata-lixo foi definida uma banda mínima em cada *link*. Porém, com a possibilidade de ter acréscimo de banda nos momentos de menor carga para as outras classes de serviço. Para o tráfego de vídeo foi usada somente uma classe do serviço AF, com banda suficiente para testes com vídeos de alta e baixa qualidade.

### 3.4 MÉTRICAS E ESTATÍSTICAS

A Medição é definida pela Metrologia como “um conjunto de operações que tem por objetivo determinar o valor de uma grandeza” (IPEMSP, 2006). Uma grandeza pode ser definida como um atributo ou uma característica de um corpo<sup>4</sup>. Em (AMOREIRA, 2005) vemos que “grandeza” pode ser também definida como um sistema ou estado de um sistema. As redes de computadores podem ser consideradas como sistemas que, para serem caracterizados, precisam da medição de alguns valores. Estes valores característicos são chamados de medidas ou métricas.

Para se determinar se a qualidade de serviço oferecida pela rede, atende ou não a uma determinada aplicação é preciso definir que tipo de medida caracteriza o atendimento da necessidade da aplicação. Estas medidas podem ser obtidas diretamente na rede ou através da própria aplicação.

As métricas utilizadas para este trabalho estão definidas abaixo. As métricas de 1 a 4 foram utilizadas para verificação do desempenho fim-a-fim das aplicações, usando os serviços com e sem QoS. Estas medidas foram obtidas através de medição ativa com o OWAMP e geradores de tráfego. As métricas 5, 6 foram coletadas via medições passivas e SNMP para observação do funcionamento do serviço em alguns roteadores e pontos de medições no caminho de testes.

- (a) Atraso em um sentido (*OWD – One-Way Delay*). Esta métrica é medida pelo tempo de fio<sup>5</sup> em que o primeiro *bit* do pacote, visto pelo gerador do tráfego, chega no *link* IP, até o tempo de fio que o último *bit* do pacote é visto pelo receptor na máquina destino (ALMES; KALIDINDI; ZEKAUSKAS, 1999). Ou seja, a diferença entre o tempo de chegada, marcado pela aplicação destino e o tempo de partida marcado pela aplicação origem.
- (b) Vazão (*Throughput*). Quantidade de dados transferidos, do hospedeiro origem até o hospedeiro destino, por unidade de tempo.
- (c) Variação de Atraso (*IPDV — IP Delay Variation*). É obtida pela diferença entre os valores de OWDs de pacotes consecutivos (DEMICHELIS; CHIMENTO, 2002).
- (d) Perda. Percentual de perdas de pacotes.

<sup>4</sup>Tudo que tem extensão e forma (RIOS, 1999).

<sup>5</sup>Seja um host H, um *link* L e um dado pacote P, o **tempo de fio na chegada** de P é o primeiro tempo T, no qual qualquer *bit* de P é visto pelo hospedeiro H, na posição L. Para um dado pacote P, o **tempo de fio de saída** de um pacote P, do hospedeiro H, é o primeiro tempo T, em que todos os *bits* de P são vistos por H, na posição L (PAXSON et al., 1998).

### 3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS do CAPÍTULO

Para a montagem do cenário de testes foram definidas três classes de serviços: a classe Premium, a classe AF22 e a classe Cata-lixo. Foram também definidas as tarefas a serem desempenhadas pelos roteadores, em relação ao seu papel no cenário de testes e com base na arquitetura DiffServ.

Antes de realizar a configuração no caminho de rede usado no piloto, foram pesquisadas as funcionalidades de QoS nestes roteadores e descobriu-se que não seria possível implementar todas as tarefas definidas para o serviço DiffServ, por causa de limitações de *hardware* e *software* encontradas nos roteadores. Os roteadores foram configurados da melhor maneira possível, para obtenção de resultados parciais.

Tabela 3.2: Resumo dos testes com QoS realizados.

	Primeira Parte	Segunda Parte
VoIP	Testes com OWAMP e CallGen/OpeNam	—
Vídeo	Testes com <i>traces</i> de Vídeo	Testes com OWAMP e Servidores de Vídeo
Cata-lixo	Testes com o tráfego gerado pelo Netflow	—

Um resumo dos testes realizados é apresentado na Tabela 3.2. Os testes com VoIP foram feitos com a ferramenta para medições ativas OWAMP e as ferramentas para geração de chamada de voz e secretária eletrônica CallGen (LINUX, 2005) e OpeNam (OPENH323, 2004). Os testes com Vídeo foram divididos em duas partes: a primeira com o gerador de tráfego a partir de *traces* de vídeo MPEG2 e a segunda parte com o medidor OWAMP instalados nos serviços de Vídeo da RNP. Os testes com o serviço Cata-lixo foram feitos usando-se o tráfego de medições passivas gerados com o Netflow.

A descrição e resultados dos testes com VoIP são apresentados no capítulo 4. As descrições dos testes com a aplicação de vídeo e seus resultados assim como a descrição dos experimentos com o serviço Cata-lixo e seus resultados são apresentados no capítulo 5.



## 4 EXPERIMENTOS COM A APLICAÇÃO DE VOZ SOBRE IP

Este capítulo descreve os experimentos com a aplicação Voz sobre IP (VoIP). Ele está estruturado da seguinte forma: a seção 4.1 faz uma introdução às aplicações VoIP; a seção 4.2 descreve os experimentos realizados e a seção 4.3 descreve os resultados obtidos com estes experimentos.

### 4.1 INTRODUÇÃO

A rede telefônica tradicional está implantada em todo o mundo. Atualmente é funcional e de custo acessível à maioria das pessoas<sup>1</sup>. Porém, os sistemas de comunicação já há alguns anos vêm mudando os seus paradigmas com a utilização das redes de dados como meio de transmissão. A aplicação de Voz sobre IP é uma convergência da aplicação de telefonia tradicional para a telefonia sobre redes IP.

A grande vantagem desta aplicação é o baixo custo das ligações locais, interurbanas e até mesmo internacionais pelo aproveitamento da infra-estrutura de rede já existente. Em contraste, a complexidade da aplicação é maior, pois é necessário adaptar a aplicação tradicional, que funciona sobre a tecnologia de comutação de circuitos, para que seja possível o seu uso sobre a tecnologia das redes IP.

Para esta adaptação é necessária a inclusão de novos elementos tais como o *Gateway* VoIP responsável pela conversão do sinal e controle das chamadas e o *Gatekeeper* que faz a gerência de equipamentos e autenticação das chamadas.

Além dos elementos citados também é necessário garantir algumas características da rede para que a aplicação VoIP funcione adequadamente. Por ser interativa, a Voz sobre IP requer baixo atraso fim-a-fim, baixa variação de atraso e baixa perda de pacotes. Por conta disso, esta aplicação foi escolhida como umas das aplicações alvo para os testes do piloto de

---

<sup>1</sup>Exceto a telefonia a longa distância.

serviços.

A outra razão para esta escolha é que a RNP possui um serviço de Voz sobre IP, implantado pelo Grupo de Trabalho VoIP (RNP, 2005b). O uso do serviço foi iniciado em 2002 em caráter experimental. Mas atualmente encontra-se em produção com o nome de Serviço fone@RNP. O objetivo dos nossos experimentos com esta aplicação foi o de verificar se a QoS oferecida pela RNP atendia a este serviço.

#### 4.1.1 Requisitos exigidos pelo tráfego de voz

O funcionamento da aplicação de Voz sobre IP pode ser influenciado pelos seguintes parâmetros: atraso, variação de atraso e perda de pacotes.

Existem vários pontos de introdução de atraso para a aplicação VoIP. Estes pontos são os vários estágios de funcionamento da aplicação: placa de captura de som, nos módulos de codificação e encapsulamento em pacotes, o atraso da transmissão da rede, a latência dos roteadores, o armazenamento no receptor, a decodificação e execução do sinal de voz. O valor do atraso está associado à qualidade de voz percebida pelo usuário final.

Como reportado em (MIRAS, 2002), o atraso inferior a 150 ms não é detectado pelo usuário. Numa faixa de 150 a 250 ms, a qualidade é aceitável, porém o atraso é perceptível através de alguns momentos de silêncio na conversação. E acima de 250 ms a qualidade da conversação se torna inaceitável.

A variação de atraso pode fazer com que os pacotes que chegam muito tarde sejam considerados perdidos causando momentos de silêncio na conversação ou impedir a correta reconstrução do pacote de voz, causando uma conversação confusa. Os requisitos de variação de atraso apresentados por (MIRAS, 2002) mostram que a variação de atraso inferior a 40 ms não é perceptível pelo usuário. Numa faixa de 40 a 75 ms tem-se uma boa qualidade, porém é percebida alguma desordem na conversação. Acima de 75 ms a qualidade da conversação se torna inaceitável.

O efeito da perda de pacotes depende de vários fatores, entre eles estão: o compressor de áudio usado, se é utilizada alguma técnica para o “encobrimento” ou correção de erro, o padrão de perdas de pacotes e o tamanho dos pacotes. Perdas de pacotes isoladas são mais fáceis de recuperar que perdas em rajadas. Os erros causados por perda de pacotes pequenos podem ser rapidamente aliviados com a utilização de técnicas de ocultamento (*concealment*) de erros. Em (MIRAS, 2002) são apresentados os requisitos de perda em função do tipo de compressor de áudio usado, para os compressores G.711, G.729A e G.723.1A. Na maioria dos casos o percentual de perda suportado está entre 1 a 2% com atraso de 150 ms.

## 4.2 DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS

O objetivo dos testes realizados com a ferramenta OWAMP, em conjunto com as ferramentas OpeNam (OPENH323, 2004) e CallGen (LINUX, 2005), foi o de medir o desempenho da aplicação VoIP no serviço Premium oferecido pela RNP. O OWAMP (*One-Way Active Measurements Protocol*) é um protocolo de medições ativas unidirecionais. Tem como principais métricas o atraso e a perda em um único sentido. Nestes experimentos foi utilizada uma implementação desse protocolo feita pela Internet2 com o mesmo nome (INTERNET2, 2004).

O cenário de testes foi montado para atender tanto aos testes de Voz quanto aos de Vídeo (vide Figura 4.1). Para os testes de VoIP foram usados um cliente de Voz na Unifacs e outro no POP-SC. Foram utilizados dois medidores OWAMP na UNIFACS, um para os testes com serviço BE e outro para o serviço EF, e um medidor OWAMP no POP-SC atendendo a ambos os testes BE e EF. Um medidor passivo com a aplicação Netramet (BROWNLEE, 2006) foi instalado na UNIFACS e teve o objetivo de caracterizar o tráfego da rede local.

A utilização do serviço VoIP foi feita através dos *gatekeepers* instalados na UNIFACS e na UFSC. O cliente da UNIFACS fazia a autenticação do usuário no *gatekeeper* da UNIFACS e solicitava uma ligação com o outro cliente. O *gatekeeper* da UNIFACS localiza o *gatekeeper* destino e este, por sua vez, contacta o cliente destino (vide Figura 4.2).

As ferramentas utilizadas para testar o serviço VoIP foram o *CallGen*, que é um realizador de chamadas de Voz sobre IP e a secretária eletrônica *OpeNam*, que recebe o tráfego de voz enviado pelo *CallGen*. Para gerar as chamadas, o *Callgen* usa um arquivo de áudio no formato “wav” e o *OpeNam* atende a chamada e grava o que foi recebido.

Ao serem executadas, essas ferramentas automaticamente geram um registro para cada ligação, sendo que esse registro ao decorrer da ligação é alimentado com informações que são trocadas entre as ferramentas. Esse registro é finalizado com uma totalização dos dados contendo informações sobre a ligação, tais como: quantidade de perdas, média da variação de atraso e o total de pacotes fora de ordem.

Em paralelo à execução das ferramentas CallGen e OpeNam foi montado um esquema de medição ativa com o OWAMP seguindo a metodologia da RFC3432 (*Network performance measurement with periodic streams*) (RAISANEN; GROTEFELD; MORTON, 2002), que propõe um método de amostragem para a medição de aplicações multimídia. Esta sistemática contorna o problema de sincronização e previsibilidade da amostragem periódica, iniciando aleatoriamente os testes e limitando a duração do fluxo no intervalo de testes.

A Figura 4.3 mostra, de modo geral, o funcionamento do esquema de medição. O cenário é composto pela aplicação que pode ser de voz ou vídeo e, em paralelo à aplicação, o medidor ativo que faz a injeção de tráfego na rede com as mesmas características da aplicação.

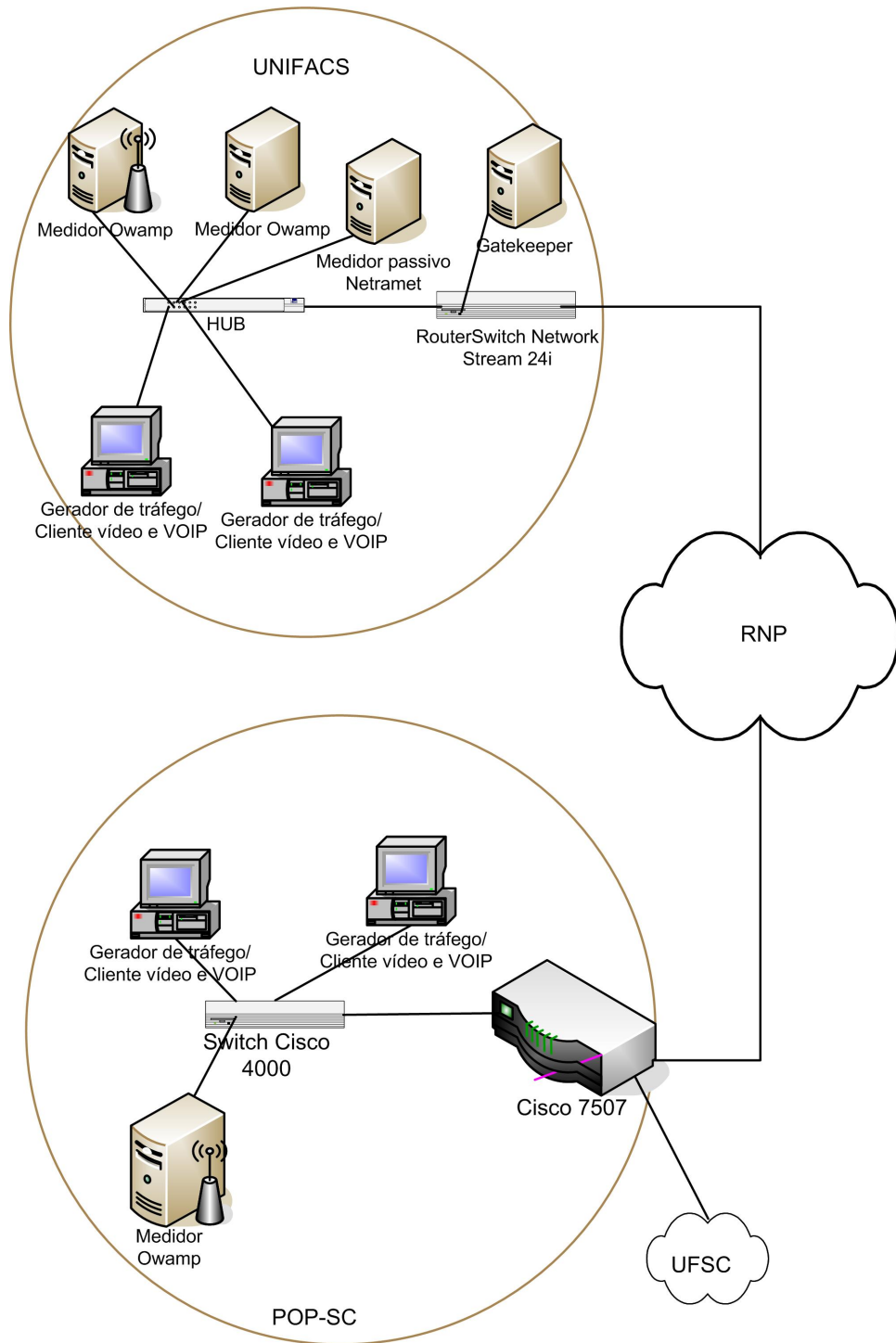


Figura 4.1: - Cenário dos testes

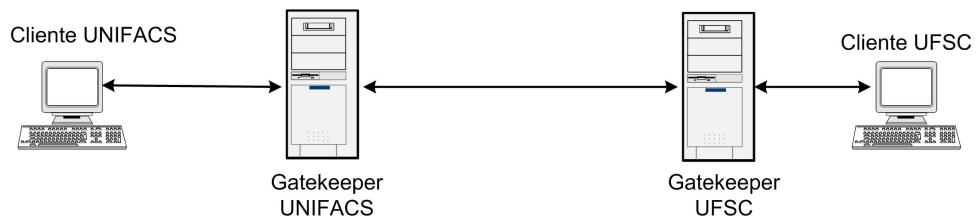


Figura 4.2: - Funcionamento do Serviço VoIP

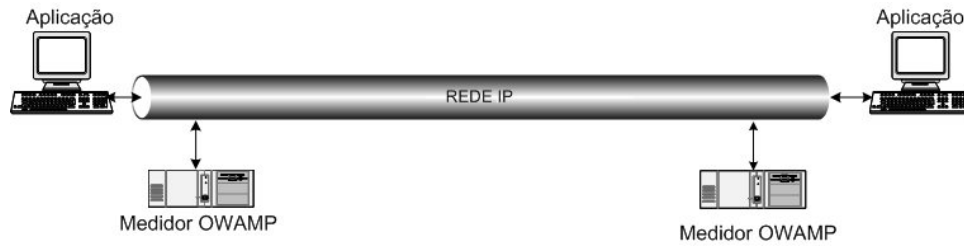


Figura 4.3: - Esquema de medição baseado na RFC 3432

Nos experimentos com a aplicação VoIP foram usados dois medidores OWAMP no lado da UNIFACS, um para o tráfego de melhor esforço e o outro para o tráfego do serviço Premium.

Havia somente um cliente de aplicação porque os pacotes do serviço VoIP saem marcados do *gatekeeper* para o serviço Premium. Mesmo que houvesse dois clientes, o tráfego sairia marcado para o serviço Premium. As seções 4.2.1 e 4.2.2 detalham os testes com o medidor OWAMP e com as aplicações OpeNam e CallGen.

Para a sincronização dos relógios dos computadores foram usados o protocolo NTP (*Network Time Protocol*) e também o GPS (*Global Positioning System*). O NTP é um protocolo para sincronização de relógios de sistema de computadores em uma rede de computadores. A sincronização de relógio é importante para o cálculo do tempo que uma informação leva para ser transmitida do computador origem até o computador destino. A sincronização é também importante para a segurança das informações e do acesso aos recursos da rede, pois é possível registrar os horários em que acontecem os eventos e as transações na rede (PROJECT, 2007b). O protocolo NTP foi projetado sincronizar relógios através da rede. Para isso são usados grupos de computadores clientes e servidores NTP. Os relógios dos computadores clientes são configurados pelos servidores, através de mensagens NTP (MILLS; LINKABIT, 1985).

O GPS é um Sistema de Posicionamento Global com 28 satélites operado pelos Estados Unidos da América. O Departamento de Defesa dos Estados Unidos é o responsável pela operação do sistema. O sistema GPS é principalmente usado para a navegação e pode localizar qualquer coisa em três dimensões: Latitude, Longitude e Altitude (ENDRUN, 2007; DILÃO, 2007). Uma outra habilidade do GPS é fornecer a hora corrente com alta precisão. A precisão do sistema é dada pelo modo de decodificação do sinal do GPS. Existem dois modos: o modo Preciso, de uso militar e o modo Padrão (Standard), de uso civil. A precisão de tempo para o modo preciso é de 200 nanosegundos e a para o modo padrão é de 340 nanosegundos (DILÃO, 2007).

#### 4.2.1 Medições com o OWAMP

O OWAMP é dividido em dois módulos, um usado para fazer o controle da conexão e outro para fazer os testes de medições. O módulo de controle (*OWAMP-Control*) é usado

para inicializar, encerrar as sessões de testes e capturar os resultados obtidos por elas, enquanto que o módulo de testes (*OWAMP-Test*) faz as medições reais entre dois *hosts* que estão sendo monitorados.

Diferentes modelos lógicos podem ser usados pelos módulos de controle e testes para que haja uma grande flexibilidade. Porém geralmente é usado o modelo da Figura 4.4.

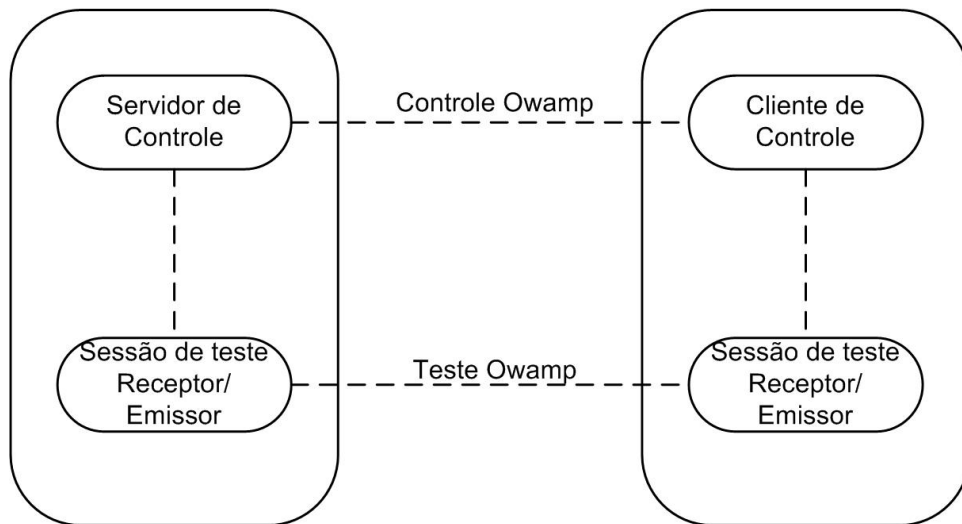


Figura 4.4: - Funcionamento geral do OWAMP

Como visto anteriormente, o módulo de controle faz o controle das sessões de medições e captura os resultados obtidos. Como este módulo precisa fazer todo controle de conexão e precisa ser confiável, ele utiliza o TCP como camada de transporte. Já o módulo de testes é usado para fazer a troca de pacotes de testes de medições na Internet. Então, é fundamental que este módulo seja executado em cima de uma camada de transporte rápida. Por este motivo o UDP foi escolhido. A implementação do OWAMP é bastante simples, ele funciona no esquema cliente-servidor e utiliza o protocolo NTP (PROJECT, 2007a) para sincronizar o relógio local do sistema e obter as medidas de forma precisa. A seguir são descritos os experimentos realizados com uso do OWAMP.

### Experimentos com o uso do OWAMP:

Para a automatização dos testes com o OWAMP foram criados *scripts* de forma que os testes fossem iniciados de 15 em 15 minutos, das 08 às 20hs, de segunda a sexta-feira. Nos períodos de: 01 a 08/07/2004, 14 a 22/07/2004, 02 a 08/08/2004 e 24 a 31/08/2004.

A cada início de teste, gerou-se um valor aleatório de espera para o início da primeira amostragem e, ao seu final, foi novamente gerado outro valor aleatório de espera para a próxima amostragem e assim sucessivamente, até que fosse atingido o tempo máximo dos testes de VoIP/Vídeo. A distribuição utilizada para a geração dos valores foi a Uniforme em um intervalo

de [0,30] segundos.

O início aleatório das amostragens foi realizado para evitar os problemas ocasionados pela amostragem periódica (RAISANEN; GROTEFELD; MORTON, 2002). O tempo máximo utilizado para um teste foi de 300 segundos (5 minutos), com um valor aleatório máximo de espera de 30 segundos. Com esses tempos foram produzidas um mínimo de 9 amostras por teste. Os fluxos de testes (amostras com 139 pacotes) foram configurados para uma taxa de aproximadamente 80 kbps e duração de 3,5 segundos para cada fluxo.

O OWAMP possui uma ferramenta chamada *owping* que realiza os testes unidirecionais, e foi esta a ferramenta usada nos testes. Abaixo encontra-se o *script* usado nos testes com o *owping*:

```
#gera-owping.sh <IP> <TMV> <VAM>
```

IP = Endereço IP destino

TMV = Tempo máximo dos testes de VoIP/Video

VAM = Valor Aleatório Máximo

```
INICIO DOS TESTES OWAMP
```

```
ENQUANTO (MAX-TEMP) <TMV
```

```
{
```

```
Gera valor aleatório (VA) com valor máximo (VAM)
```

```
Contador (cont)
```

```
Espera (VA)
```

```
Início da (cont) Amostragem OWAMP <OWPING>
```

```
}
```

Parâmetros do OWPING:

-i = intervalo de espera entre o envio de pacote (segundos)

-s = tamanho do enchimento em cada pacote (bytes)

-c = quantidade de pacotes de testes

IP = endereço IP do destino

A escolha dos valores dos parâmetros *-i* e *-s* foi baseada na informação de que uma ligação de Voz do serviço VoIP da RNP, codificada com o padrão G.711, tem uma vazão aproximada de 80kbps. Este é o valor de referência, usado pelo GT-VoIP, para os canais de voz (AGUIAR et al., 2004). E o tamanho dos pacotes de uma ligação com este codificador possui

252 bytes.

O parâmetro `-i` foi configurado com o valor  $(252*8)\text{bits}/80000\text{bps}=0,0252$ . A ferramenta OWAMP insere 14 bytes em cada pacote de teste. Dessa forma, ao parâmetro `-s` foi atribuído o valor de  $252 - 14 = 238$  bytes. Estes valores foram confirmados no laboratório da UFSC com o uso do *sniffer* Ethereal que capturou os pacotes e foi possível observar o tamanho dos pacotes. Então os valores dos parâmetros usados para os testes com VoIP foram:

`-i = 0,0252`

`-s = 238`

`-c = 139`

## 4.2.2 Testes com Callgen e OpeNam

O OpeNam é um programa que atende chamadas telefônicas feitas via protocolo H.323 e grava as mensagens de voz no disco. Ele funciona como uma secretária eletrônica (OPENH323, 2004). Esta ferramenta aceita conexões com outros clientes de vídeo conferência H323, tais como o NetMeeting da Microsoft e o OhPhone do Projeto OpenH323 (OPENH.323, 2005). O CallGen323 é um aplicativo H.323 para geração de chamadas de voz (LINUX, 2005).

O Callgen e o OpeNam foram configurados para realizar ligações de 15 em 15 minutos, das 08 às 20hs, de segunda a sexta-feira. As ligações duraram 5 minutos e o intervalo entre elas foi de 10 minutos.

Os parâmetros usados para a execução da ferramenta CallGen foram:

```
#$./callgen323 -g 200.128.80.170 -m 1 -r 1 -ttt -o /home/ufsc/GTQoS2
/callgen/05-09/$NOME2$NOME.txt -0 /home/ufsc/GTQoS2/callgen
/testluiz.wav --tmincall 305 --tmaxcall 305
--tminwait 600 --tmaxwait 600 -u 03300180 0483316314
```

Onde o `-g 200.128.80.170`, é o endereço do GateKeeper, `-m 1 -r 1` significa realizar uma ligação sem repetir e sem ser simultânea, `-ttt` nível de detalhes no log, `-o` (caminho) é o caminho para o diretório onde será gravado o log, `-0` é o caminho para o arquivo de voz a ser reproduzido, `-tmincall 305 --tmaxcall 305` são os tempos máximo e mínimo de duração da ligação, `--tminwait 600 --tmaxwait 600` são os tempos máximo e mínimo de espera para que a ligação seja atendida e `-u 03300180 0483316314` são os números virtuais de quem envia e de quem recebe a ligação.

Os parâmetros usados para a execução da ferramenta Openam foram:

```
##.$/openam -d /home/ufsc/GTQoS2/openam/05-09/ -l 305 -ttt
-o /home/ufsc/GTQoS2/openam/05-09/$NOME2$NOME.txt
-g gk.ufsc.br 0 -u 0483316314
```



Onde `-d` (caminho) é onde serão gravados os sons recebidos, `-l 305` é o tempo máximo em segundos de gravação, `-ttt` é o nível de detalhes do log, `-o` (caminho) é o caminho para o diretório onde serão armazenados os logs, `-g gk.ufsc.br` é o endereço do GateKeeper e `-u 0483316314` é o número virtual local.

## 4.3 RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos com os testes com aplicação VoIP. A subseção 4.3.1 descreve os resultados obtidos com o atraso bem como as considerações acerca destes resultados. A subseção 4.3.2 descreve os resultados e considerações sobre a variação do atraso e, finalmente, a subseção 4.3.3 descreve os resultados com as perdas obtidas e as considerações acerca destes resultados.

### 4.3.1 Resultados de Atraso

Os resultados dos atrasos médios mínimo e máximo em cada dia de teste, obtidos no período de 01 a 08/07/2004, estão dispostos na Tabela 4.1 e a Figura 4.5 mostra o atraso médio experimentado pelos pacotes de voz nos dias 01 e 08/07/2004.

Tabela 4.1: Resultados de atraso médio obtidos no período de 01 a 08/07/2004, no sentido UNI → SC.

Data	EF (UNI → SC)		BE (UNI → SC)	
	Mínimo (ms)	Máximo (ms)	Mínimo (ms)	Máximo (ms)
Dia 01/07	23,9	31,7	28,7	31,8
Dia 02/07	28,6	30,8	25,9	32,9
Dia 05/07	28,1	32,2	26,1	31,5
Dia 06/07	28,8	33,2	26,5	32,6
Dia 07/07	28,7	32,3	19,3	33,1
Dia 08/07	28,7	31,7	24,3	34,6

Como pode ser visto na Tabela 4.1 e na Figura 4.5, o atraso médio dos pacotes de voz esteve numa faixa de aproximadamente 20 a 40 ms. Os resultados para as classes de serviço BE e EF estiveram muito próximos. Isto, provavelmente, devido à folga de banda para a classe BE em todo o caminho de testes. Outro fator importante a se considerar é que o que chamamos aqui de “serviço Premium”, como visto no capítulo 3, não foi a implementação completa do serviço, pois não havia priorização de pacotes nos roteadores Cisco 12008 para este serviço.

Na Figura 4.5 encontram-se somente os testes no sentido UNIFACS (UNI) até o POP-SC (SC), devido a um problema de remarcação de pacotes ocasionado por um *routerswitch* do POP-SC. O equipamento remarcaria o campo DSCP dos pacotes para valor zero e não houve,

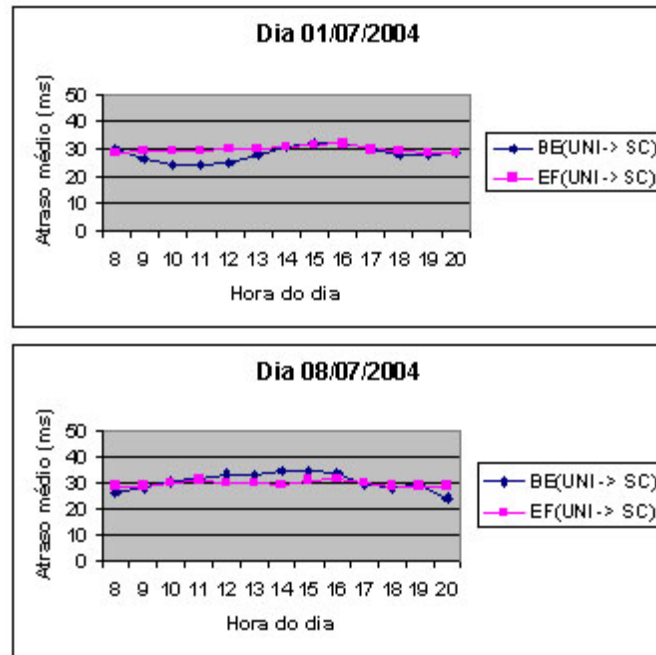


Figura 4.5: - Resultados de atraso obtidos pelo OWAMP nos dias 01 e 08/07/2004

portanto, pacotes marcados para o serviço EF. Após a reconfiguração do equipamento, novos testes foram realizados no período de 14 a 22/07. As Tabelas 4.2 e 4.3 mostram os atrasos médios obtidos neste período, por dia de teste e a Figura 4.6 mostra os atrasos médios obtidos nos dias 14 e 20/07/2004 por horário de teste.

Tabela 4.2: Resultados de atraso médio obtidos no período de 14 a 22/07/2004, no sentido UNI → SC.

Data	EF (UNI → SC)		BE (UNI → SC)	
	Mínimo (ms)	Máximo (ms)	Mínimo (ms)	Máximo (ms)
Dia 14/07	28,7	33,0	21,2	34,4
Dia 20/07	28,8	105,1	25,3	268,5
Dia 21/07	28,9	59,2	25,9	67,8
Dia 22/07	37,0	72,3	38,2	75,9

É observado que os valores dos atrasos médios aumentaram em relação aos testes da Figura 4.5, mas não excederam o limite de tolerância de atraso para o tráfego de voz, com exceção das 14hs do dia 20/07, onde a média de atraso foi de 268,5 ms para o serviço BE.

O Apêndice D contém as medições do atraso de ida e volta (RTT — *Round Trip Time*) obtidas pela RNP neste dia. O gráfico deste dia (vide Figura C.7), no horário das 14 às 16hs, mostra as estatísticas descritas a seguir para os *links* envolvidos nos testes.

O RTT entre POP-BA e POP-RJ esteve numa faixa aproximada de 50 a 300 ms. O RTT entre POP-RJ e POP-SP esteve numa faixa aproximada de 4 a 7,5 ms. O RTT entre

Tabela 4.3: Resultados de atraso médio obtidos no período de 14 a 22/07, no sentido SC → UNI

Data	EF (SC → UNI)		BE (SC → UNI)	
	Mínimo (ms)	Máximo (ms)	Mínimo (ms)	Máximo (ms)
Dia 14/07	28,7	40,1	23,1	46,7
Dia 20/07	29,1	42,3	25,3	56,7
Dia 21/07	29,4	75,8	30,0	68,5
Dia 22/07	26,0	50,1	22,8	60,3

POP-SP e POP-SC esteve numa faixa aproximada de 25 a 350 ms. Como é visível na Figura 4.6, os resultados de atraso no sentido POP-SC até UNIFACS não são superiores a 100 ms e isto indica que os maiores valores que compõem o RTT estão no sentido UNIFACS até o POP-SC. Provavelmente, o valor de atraso de 268,5 ms mostrado na Figura 4.6 é justificado pelo estado da rede neste dia, no *link* POP-BA até POP-RJ e no *link* POP-SP até POP-SC. O tráfego para a classe EF foi também afetado neste horário porque, no POP-SC, não havia nenhuma configuração de QoS. Portanto, o tráfego marcado para o serviço EF recebeu o mesmo tratamento que o do BE.

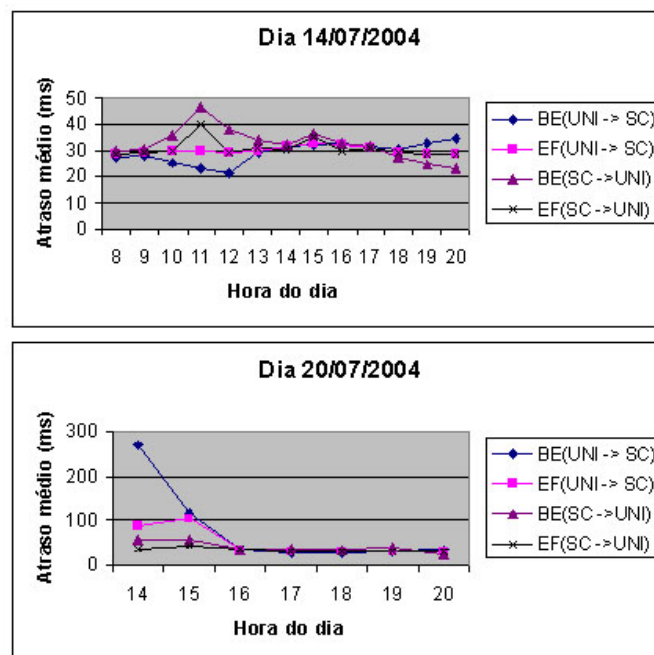


Figura 4.6: - Resultados de atraso obtidos pelo OWAMP nos dias 14 e 20/07/2004

O aumento das médias, neste período (14 a 22/07), foi devido a uma modificação no cenário de testes pela inclusão dos experimentos de vídeo. Desta vez os testes de VoIP foram feitos em paralelo aos testes com traces de vídeo MPEG2 mas, estes últimos, usaram o serviço assegurado. O aumento do atraso é consequência do aumento do número de classes de serviço

a serem atendidas pelo mecanismo gerenciador. No Apêndice A, onde estão os resultados de coleta passiva com o Netramet, é possível observar a inclusão do tráfego de vídeo<sup>2</sup> na classe AF22 com vazão superior a 1 Mbps.

Um dos problemas com as medições de atraso unidirecional é a sincronização dos relógios das máquinas que fazem a medição. Recomenda-se que se use o GPS (*Global Positioning System*) para se obter medições mais precisas (MONTEIRO; SAMPAIO; FIGUEREDO, 2002). No período de 02 a 08/08/2004 os testes foram descartados porque o equipamento GPS apresentou problemas de funcionamento. No período de 25 a 31/08/2004 foram realizadas novas medições com a sincronização feita através de GPS e em paralelo aos testes com as ferramentas CallGen/OpeNan.

As Tabelas 4.4 e 4.5 mostram os resultados de atraso médio obtidos nestes período, por dia de teste. Enquanto que a Figura 4.7 mostra os resultados de atraso médio obtidos nos dias 24 e 25/08 por horário de teste.

Tabela 4.4: Resultados de atraso médio obtidos no período de 25 a 31/08/2004 , no sentido UNI → SC

Data	EF (UNI → SC)		BE (UNI → SC)	
	Mínimo (ms)	Máximo (ms)	Mínimo (ms)	Máximo (ms)
Dia 25/08	28,8	33,9	27,9	35,6
Dia 27/08	28,7	31,5	23,2	33,6
Dia 30/08	26,9	31,7	26,1	35,6
Dia 31/08	28,8	33,2	23,3	32,7

Tabela 4.5: Resultados de atraso médio obtidos no período de 25 a 31/08/2004 , no sentido SC → UNI

Data	EF (SC → UNI)		BE (SC → UNI)	
	Mínimo (ms)	Máximo (ms)	Mínimo (ms)	Máximo (ms)
Dia 25/08	29,0	45,0	29,6	47,0
Dia 27/08	28,7	32,8	25,2	39,3
Dia 30/08	26,8	32,3	25,2	39,3
Dia 31/08	28,8	36,7	26,1	41,7

Como é possível observar nas Tabelas 4.4 e 4.5 e também na Figura 4.7, os resultados de atraso para os dois serviços estiveram na faixa de 20 a 50 ms sendo que para o serviço BE, sentido POP-SC até a UNIFACS, o atraso foi um pouco maior.

<sup>2</sup>Os experimentos com vídeo estão descritos no capítulo 5.

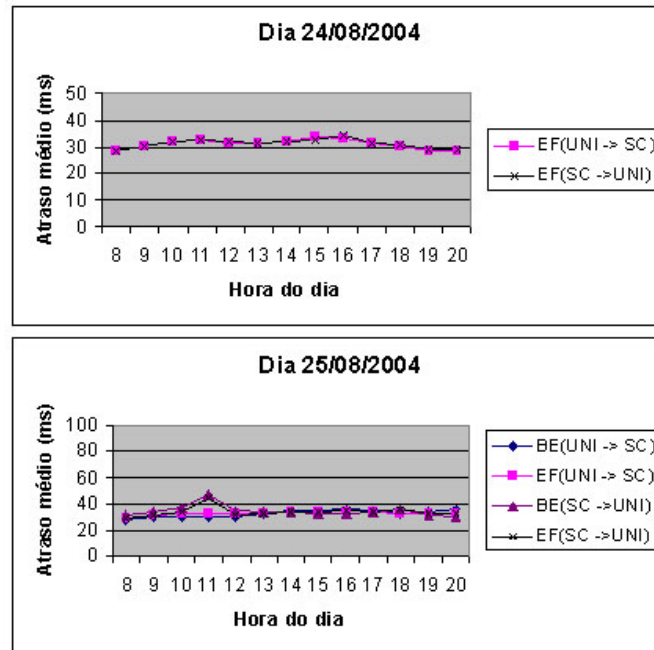


Figura 4.7: - Resultados de atraso obtidos com o OWAMP nos dias 24 e 25/08

### Considerações sobre os resultados de atrasos

Em média, os resultados observados em todas as classes de serviço foram satisfatórios para as aplicações de voz, cujo limite máximo suportado é de 250 ms. Acima deste valor a qualidade da conversação é considerada inaceitável. A maioria dos resultados obtidos nos experimentos foram inferiores a 100 ms, segundo (MIRAS, 2002) o atraso inferior a 150 ms não é percebido pelo usuário. Como os gráficos mostraram, os resultados de atraso médio entre as classes foram muito próximos, com exceção de alguns horários de teste. O que foi explicado por causa da folga de banda para o serviço de Melhor Esforço e a falta de priorização de pacotes no serviço Premium dos roteadores Cisco 12008.

### 4.3.2 Resultados da Variação de Atraso

As Figuras 4.8, 4.9 e 4.10 mostram os gráficos com o histograma da variação de atraso para os dias 01 e 08/07/2004, 21/07/2004 e 25/08/2004, respectivamente. No eixo das ordenadas está o número de pacotes e na abscissa as faixas de variação de atraso. O intervalo entre as faixas de valores neste eixo é de 0,5 ms. O período de coleta foi das 08 às 20hs do dia.

A Figura 4.8 mostra que, nos dias 01/07 e 08/07/2004, sentido UNI → SC, o tráfego para o serviço EF apresenta um desempenho um pouco melhor que o tráfego do serviço BE. É visto que, para o serviço EF, há uma maior incidência de pacotes com variação de atraso na faixa de 0 a 0,5 ms. Esta diferença pequena possivelmente é devida à folga de banda para o serviço BE no período dos testes.

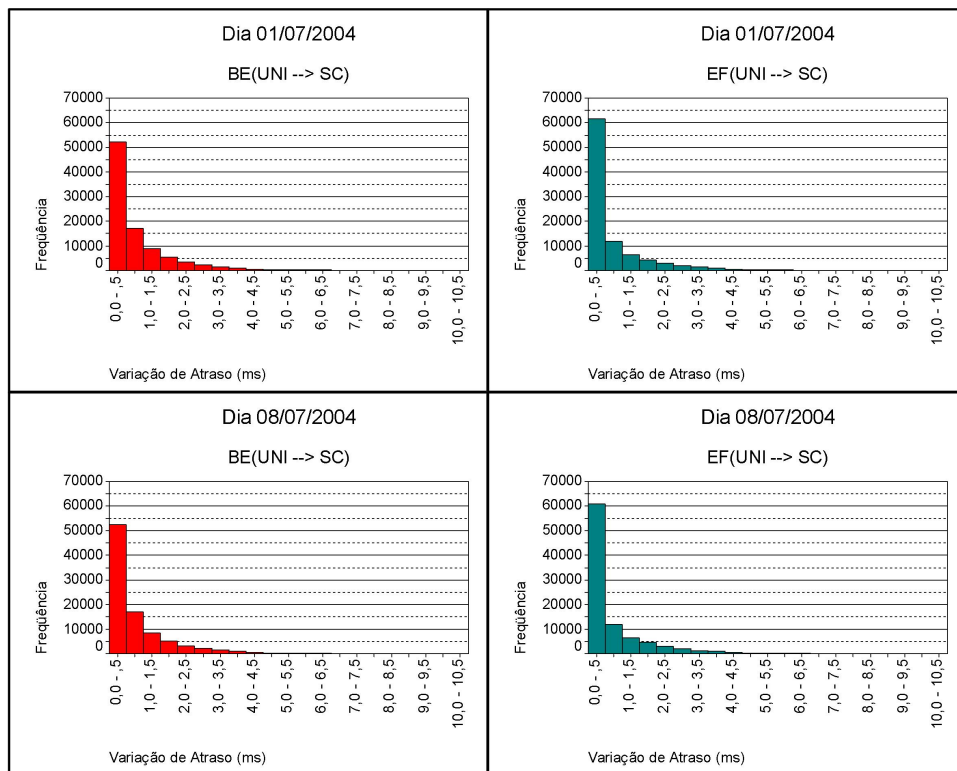


Figura 4.8: - Histogramas com a Variação de Atraso para os dias 01 e 08/07/2004

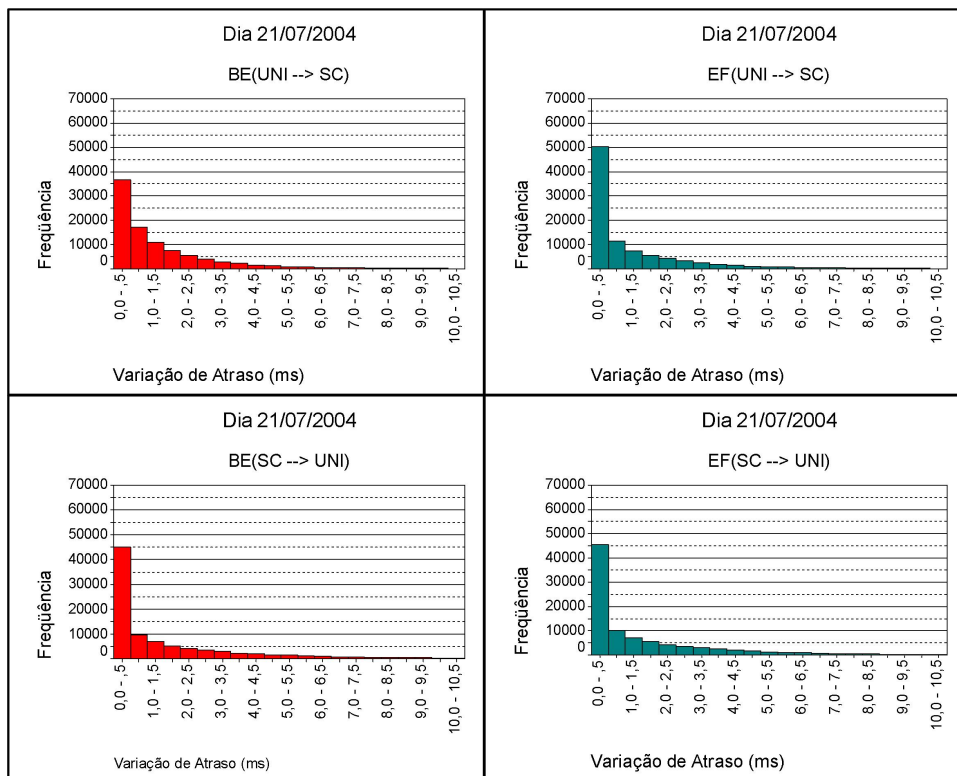


Figura 4.9: - Histogramas com a Variação de Atraso para o dia 21/07/2004

Na Figura 4.9 o tráfego para o serviço EF, no sentido UNI → SC, apresenta ainda o seu desempenho melhor que o tráfego oriundo do serviço BE. No sentido contrário, o desempenho para o tráfego dos dois serviços foi aproximadamente o mesmo. Porém, surgiram faixas de valores maiores para o tráfego EF (SC → UNI), pois foram registradas ocorrências de variação de atraso na faixa de 8,5 a 9,0 ms. A maior faixa para o serviço BE (SC → UNI) foi de 7,5 a 8,0 ms.

Comparando-se o tráfego EF (UNI → SC) com o EF (SC → UNI), observa-se que o tráfego EF (UNI → SC) apresenta desempenho melhor que o tráfego EF (SC → UNI). Como foi visto na Figura 3.2, a configuração de QoS não foi feita em todo o caminho de testes e nos dois sentidos (vide Seção 3.3.3). Provavelmente é este o motivo desta diferença.

No sentido UNI → SC existe priorização de pacotes somente no roteador de ingresso do POP-BA e no roteador 7507 do POP-RJ. No restante do caminho há somente banda reservada para o tráfego e no roteador do POP-SC não há nenhuma configuração de QoS. No sentido contrário (SC → UNI) o roteador de ingresso não possui configuração de QoS e o tráfego EF somente recebe reserva de banda no POP-SP e no roteador 12008 do POP-RJ. A partir do roteador 7507 do POP-RJ é que começou a haver a priorização deste tráfego. Isto explica, provavelmente, a diferença de desempenho para o serviço Premium nos dois sentidos de teste. Na verdade foram serviços diferentes por causa das limitações na configuração.

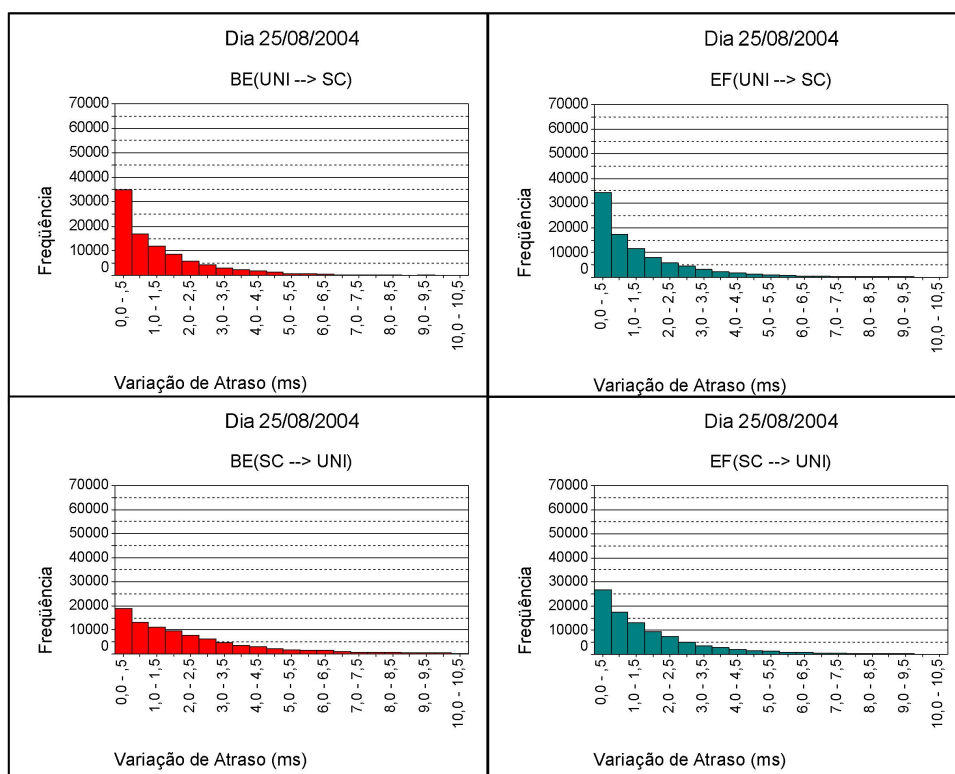


Figura 4.10: - Histogramas com a Variação de Atraso para o dia 25/08/2004

Os gráficos do dia 25/08/2004, Figura 4.10, mostram que no sentido UNI → SC, os

tráfegos para os serviços EF e BE tiveram desempenho aproximadamente igual. No sentido contrário, o tráfego EF (SC → UNI) teve um desempenho um pouco melhor que o BE (SC → UNI). Porém, em relação aos testes realizados no mês de Julho houve uma queda no desempenho dos tráfegos dos dois serviços.

Como é possível observar nas figuras apresentadas e em todos os histogramas, a maior incidência de valores de variação de atraso esteve na faixa de 0,0 a 0,5 ms para os dois serviços testados e nos dois sentidos de teste (UNI ↔ SC). É possível observar também que o serviço EF teve maior quantidade de valores nesta faixa que o serviço BE.

Ao compararmos os resultados em todos os dias de testes é possível ver que o número de valores da faixa 0,0 a 0,5 ms vai diminuindo e as outras faixas vão aumentando. O que mostra que os valores de variação de atraso aumentaram ao longo dos dias, nos meses 07 e 08/2004, possivelmente por causa do aumento de utilização da rede neste período.

A conclusão que se pode tirar deste comportamento do tráfego é que à medida que a carga da rede aumenta, a variação de atraso também aumenta. Nos testes do piloto, os valores de variação de atraso obtidos foram muito pequenos, da ordem de milissegundos. A tendência é que se a rede chegar a um nível de utilização alto, se torne inviável para a utilização de aplicações multimídia interativas. Por outro lado, os testes mostraram que o serviço EF também sofreu alteração ao longo do tempo. Porém, como não foi implementada a priorização em todos os roteadores, não é possível dizer o quanto o aumento da carga na rede prejudicaria o serviço. Para se ter obter uma conclusão melhor se faz necessária a realização de novos testes para complementação dos resultados. Porém, como recentemente a infra-estrutura do *backbone* foi modificada tanto em termos de enlaces quanto de equipamentos isto não será mais possível.

### **Considerações sobre os Resultados de Variação de Atraso**

Como descrito na subseção 4.1.1, a aplicação de Voz sobre IP requisita um limite máximo para a variação de atraso de 75 ms. Acima disso a qualidade da conversação se torna inaceitável. Os resultados obtidos durante os testes mostraram que, no estado da rede do período de testes, tanto o serviço EF quanto o BE ofereceram valores de variação de atraso adequados para esta aplicação.

### **4.3.3 Resultados de Perdas**

A Tabela 4.6 mostra os resultados obtidos com percentuais de perda, no período de 01 a 08/07/2004, das 08 às 20hs.

Como é possível observar nos resultados da Tabela 4.6, os percentuais de perdas para o serviços EF foram inferiores a 1%. Para o serviço BE a única ocorrência de resultado superior a 1% aconteceu no dia 02/07. A Figura 4.11 apresenta os resultados de perda média de pacotes



Tabela 4.6: Resultados de perda média obtidos no período de 01 a 08/07/2004, no sentido UNI → SC.

Data	EF (UNI → SC)		BE (UNI → SC)	
	Mínimo (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
Dia 01/07	0,0	0,04	0,0	0,04
Dia 02/07	0,0	0,11	0,0	1,5
Dia 05/07	0,0	0,4	0,0	0,3
Dia 06/07	0,0	0,6	0,0	0,7
Dia 07/07	0,0	0,2	0,0	0,2
Dia 08/07	0,0	0,1	0,0	0,1

para os dias 01, 05, 07 e 08/07 por horário de teste.

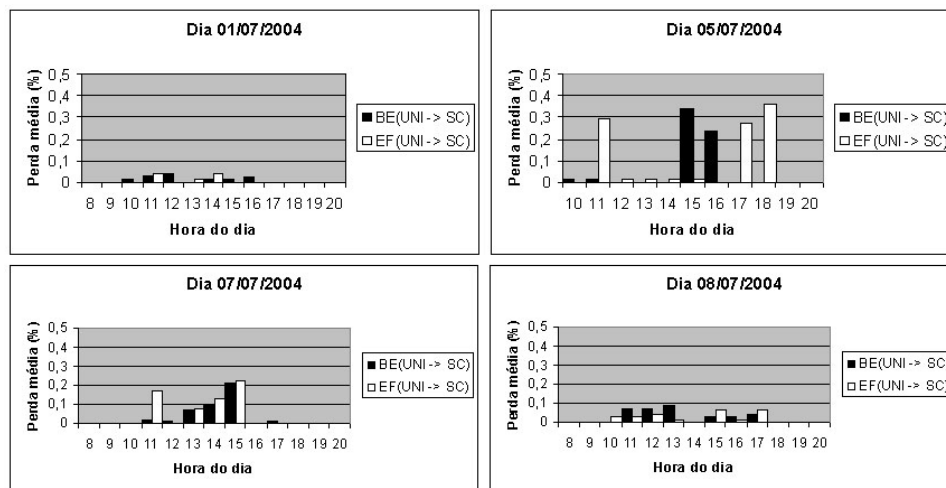


Figura 4.11: - Percentual de perdas dos dias 01, 05, 07 e 08/07 medidas com o OWAMP

Paralelamente às medições ativas, foram feitos testes com as ferramentas OpeNam e CallGen. A Tabela 4.7 apresenta os resultados destes testes e a Figura 4.12 mostra as estatísticas de perdas de pacotes no serviço Voz sobre IP da RNP, nos dias 05 e 07/07 do período de testes de 05 a 07/07/2004.

Os gráficos da Figura 4.12 mostram que o percentual de perda médio para o serviço EF foi inferior a 1%, o que confirma os resultados de perdas da Figura 4.11, medidos com o OWAMP.

As Tabelas 4.8 e 4.9 mostram os resultados de perda obtidos no período de 14 a 22/07/2004 e a Figura 4.13 mostra os resultados de perda média obtidos nos dias 14 e 20/07/2004 deste período.

Como é possível observar nos resultados e nos gráficos da Figura 4.13, os fluxos de tráfego BE (SC → UNI) tiveram perdas superior a 1% nos horários das 14 às 17hs do dia 14/07 e de 15 às 17hs do dia 20/07. Os fluxos de tráfego BE (UNI → SC) somente tiveram o percentual

Tabela 4.7: Resultados de perda média obtidos com o OpeNam nos dias 05, 06 e 07/07/2004.

EF (UNI → SC)		
Data	Mínimo (%)	Máximo (%)
Dia 05/07	0,0	0,4
Dia 06/07	0,0	0,2
Dia 07/07	0,0	0,1

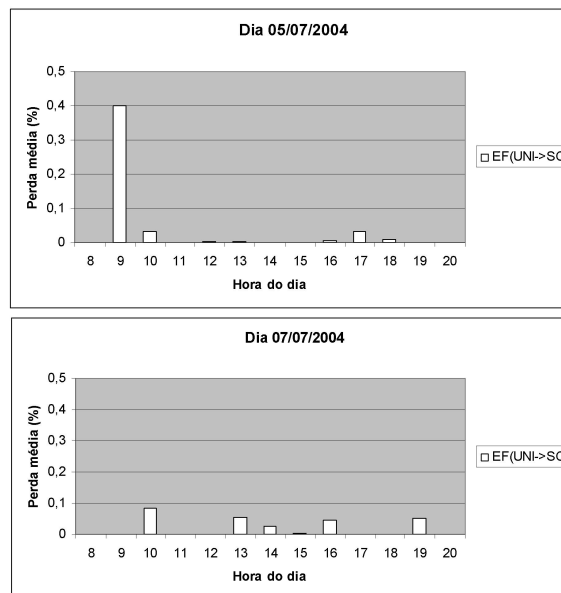


Figura 4.12: - Percentual de perdas encontradas nos testes com as ferramentas OpeNam e Call-Gen de 05 e 07

Tabela 4.8: Resultados de perda média obtidos no período de 14 a 22/07/2004, no sentido UNI → SC.

Data	EF (UNI → SC)		BE (UNI → SC)	
	Mínimo (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
Dia 14/07	0,0	0,4	0,0	0,7
Dia 20/07	0,0	1,2	0,0	3,8
Dia 21/07	0,0	0,6	0,0	1,0
Dia 22/07	0,01	1,2	0,05	1,4

Tabela 4.9: Resultados de perda média obtidos no período de 14 a 22/07, no sentido SC → BA.

Data	EF (SC → UNI)		BE (SC → UNI)	
	Mínimo (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
Dia 14/07	0,0	1,2	0,0	6,4
Dia 20/07	0,0	2,0	0,0	2,9
Dia 21/07	0,0	4,8	0,0	4,4
Dia 22/07	0,0	0,0	0,0	5,1

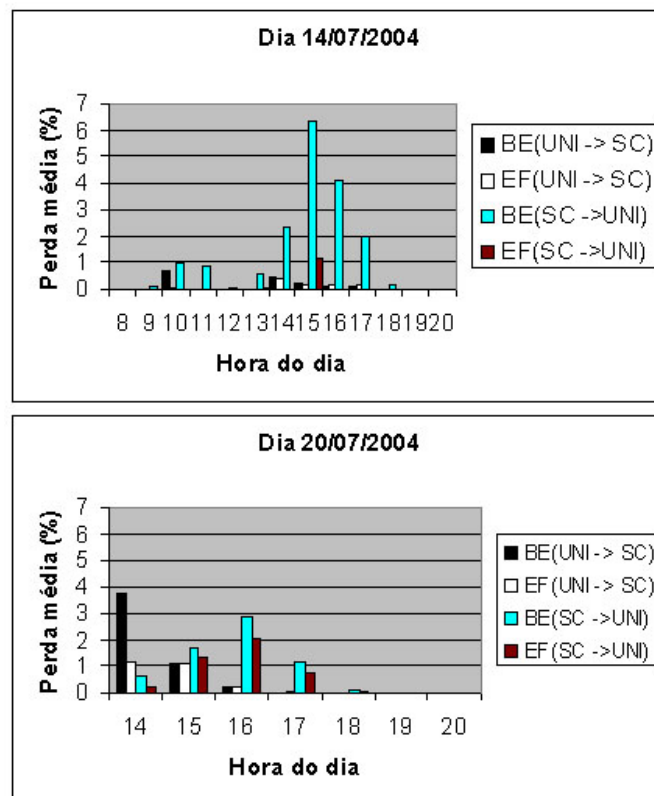


Figura 4.13: - Percentual de perdas coletadas nos dias 14 e 20 com o OWAMP

de perda médio superior a 1% às 14hs do dia 20/07. Os fluxos de tráfego para o serviço EF (SC → UNI) tiveram perdas superiores a 1% às 15hs do dia 14/07 e das 15 às 16hs do dia 20/07. Os fluxos de tráfego EF (UNI → SC) tiveram percentual de perda superior a 1% somente às 14 horas do dia 20/07.

Se observarmos as estatísticas de utilização dos *links* no gráfico MRTG (OETIKER; RAND, 2006), Figura C.1 do Apêndice C, veremos que na ligação POP-RJ → POP-BA, no intervalo das 12 às 17 hs, o tráfego de saída do POP-RJ teve uma utilização de banda na faixa de, aproximadamente, 22 a 30 Mbps de um total de 34Mbps disponíveis. E na ligação POP-SC → POP-SP, no horário das 15hs houve um pico de, aproximadamente, 140Mbps de utilização na interface de entrada do POP-SP. Isto pode explicar o alto percentual de perdas para o serviço BE neste dia.

No gráfico MRTG para o dia 20/07, Figura C.3, na ligação POP-RJ → POP-BA, na saída do POP-RJ é observada uma utilização de 25 a 30 Mbps, nos horários das 14 às 17hs. Estes picos de utilização nestes horários explicam em parte as perdas de pacotes mostradas nos gráficos da Figura 4.13. Porém, não é somente esta a fonte de descarte de pacotes. Na subseção de Considerações sobre as perdas será relatada outra fonte de perdas localizada na ligação entre os roteadores CISCO 7507 e 12008 do POP-RJ.

Para analisar as ocorrências de perdas para o tráfego do serviço EF é importante considerar que este tráfego somente recebe tratamento de serviço Premium, na ligação POP-BA ↔ POP-RJ, nos demais POPs ou recebe tratamento de serviço Assegurado (POP-SP) ou de Melhor Esforço (POP-SC).

A Figura 4.13 mostra uma perda de 2% para este tráfego, no sentido SC → UNI às 16hs do dia 20/07. Os gráficos MRTG deste dia, Figura C.3, não mostram situações de alta utilização nas ligações POP-RJ ↔ POP-SP e POP-SP ↔ POP-SC. Na ligação POP-BA ↔ POP-RJ, apesar da utilização alta, é esperado que haja prioridade de atendimento para este tráfego. Possivelmente estas perdas aconteceram por causa do problema na ligação entre os roteadores CISCO 7507 e 12008 do POP-RJ.

As Tabelas 4.10 e 4.11 apresentam os resultados dos testes realizados no período de 02 a 09/08/2004. Estes resultados mostram a evolução das perdas de pacotes para o serviço BE, sentido SC → UNI.

A Figura 4.14 mostra os gráficos com o percentual de perda média obtidos nos dias 02 e 09/08/2004.

Como é possível observar nos resultados mostrados deste período de testes, houve um aumento das perdas para o tráfego do serviço BE, sentido POP-SC até a UNIFACS, em quase todos os horários de testes, principalmente no dia 09/08. Novos testes foram realizados dias 25, 27, 30 e 31/08, as Tabelas 4.12 e 4.13 apresentam estes resultados.

Tabela 4.10: Resultados de perda média obtidos no período de 02 a 09/08/2004, no sentido UNI → SC.

Data	EF (UNI → SC)		BE (UNI → SC)	
	Mínimo (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
Dia 02/08	0,0	0,3	0,0	0,2
Dia 03/08	0,0	0,3	0,0	0,3
Dia 04/08	0,0	1,2	0,0	0,8
Dia 05/08	0,0	0,2	0,0	0,2
Dia 06/08	0,0	0,1	0,0	0,05
Dia 09/08	0,0	0,2	0,0	0,2

Tabela 4.11: Resultados de perda média obtidos no período de 02 a 09/08/2004, no sentido SC → UNI.

Data	EF (SC → UNI)		BE (SC → UNI)	
	Mínimo (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
Dia 02/08	0,0	0,9	0,0	6,1
Dia 03/08	0,0	1,6	0,0	8,4
Dia 04/08	0,0	5,1	0,0	5,3
Dia 05/08	0,0	3,6	0,0	4,0
Dia 06/08	0,0	0,9	0,0	4,1
Dia 09/08	0,0	1,9	0,0	10,0

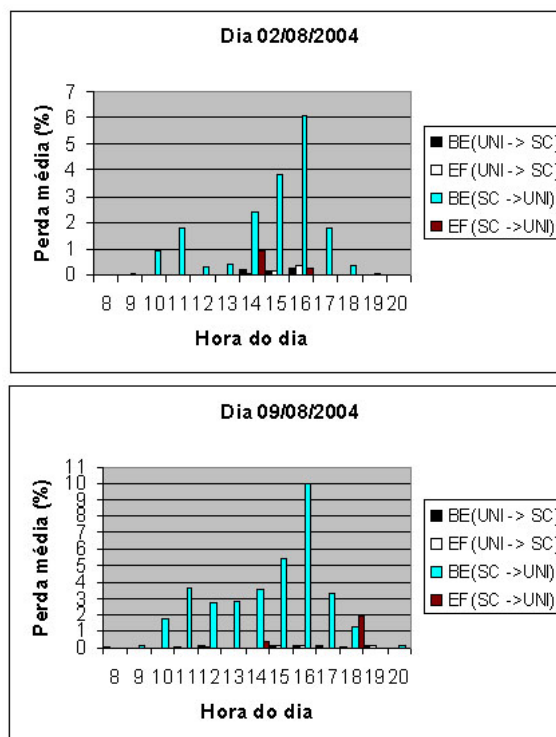


Figura 4.14: - Percentual de perdas coletadas nos dias 02 e 09/08/2004 com o OWAMP

Tabela 4.12: Resultados de perda média obtidos no período de 25 a 31/08/2004, no sentido UNI → SC.

Data	EF (UNI → SC)		BE (UNI → SC)	
	Mínimo (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
Dia 25/08	0,0	2,4	0,0	2,1
Dia 27/08	0,0	0,3	0,0	0,04
Dia 30/08	0,0	0,4	0,0	0,4
Dia 31/08	0,0	0,4	0,0	0,3

Tabela 4.13: Resultados de perda média obtidos no período de 25 a 31/08, no sentido SC → BA.

Data	EF (SC → UNI)		BE (SC → UNI)	
	Mínimo (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
Dia 25/08	0,0	3,4	0,1	3,9
Dia 27/08	0,0	2,4	0,0	2,2
Dia 30/08	0,0	7,7	0,0	6,7
Dia 31/08	0,0	6,5	0,0	5,9

Como pode ser visto, as perdas para o serviço EF e BE, sentido POP-SC até a UNIFACS, apresentaram valores acima do aceitável pela aplicação de Voz sobre IP. Na próxima subseção são apresentadas as conclusões acerca dos percentuais de perdas encontradas nos testes com VoIP.

### Considerações sobre as perdas de pacotes

Em (MIRAS, 2002) são levantados os limites percentuais de perda, para a obtenção de uma boa qualidade na ligação de voz e os valores percentuais dependem do tipo do compressor utilizado. Nos testes realizados com o CallGen e OpeNam foi utilizado o Compressor G.711 U-law<sup>3</sup>. De acordo com (MIRAS, 2002), os limites percentuais para uma boa ligação de voz, com 150 ms de latência, varia de 1 a 2% dependendo se o compressor funciona com PLC (Encobrimento de Perdas de Pacotes) (NORTEL, 2001) ou não.

Para verificação do desempenho obtido com os serviços EF e BE, nos dois sentidos de teste, foram contadas<sup>4</sup> a quantidade de perdas superiores a 2%<sup>5</sup> obtidas nos testes. Os resultados mostraram que o percentual de perdas com valor menor que 2% foi de 82%. Isto significa que 18% dos resultados obtidos, ultrapassaram o limite de 2% de perdas para o tráfego de voz. A distribuição destes 18% entre os serviços testados é ilustrada na Figura 4.15.

<sup>3</sup>U-law é uma versão do Codec G.711 para o Padrão T1 usado nos EUA e no Japão.

<sup>4</sup>Nesta contagem foram considerados os resultados a partir do dia 14/07/2004, excetuando-se o dia 20/07/2004.

<sup>5</sup>As perdas que ultrapassaram o limite de bom desempenho para o tráfego de Voz.



Figura 4.15: - Contagem de percentuais de perdas por tipo de serviço

Como pode ser visto, todos os serviços apresentaram percentual de perdas acima do limite máximo. E a maior ocorrência deste tipo de perdas foi para os serviços EF e BE, sentido POP-SC até a UNIFACS. Nos dias de 20 e 23/08 foram identificadas 2 a 3% de perdas de pacotes dentro do POP-RJ, através da ferramenta PING, a partir de máquinas localizadas no POP-BA e no POP-RJ. O suporte da RNP foi questionado sobre as perdas e nos reportou um problema de perdas de pacotes, na ligação entre os roteadores 12008 e 7507 do POP-RJ. Este problema deveria ser resolvido com a atualização das interfaces FastEthernet, que ligavam os dois roteadores. O suporte técnico da RNP informou que o problema foi localizado em um dos módulos do roteador 7507, do POP-RJ. A razão é que o módulo era antigo e com baixo desempenho. Esta deve ser uma das fontes de perda encontradas nos testes dos meses de Julho e Agosto de 2004. Este módulo foi substituído em dezembro de 2004 e o problema de perdas foi solucionado.

Os roteadores do POP-RJ e BA foram monitorados com a ferramenta AMIQ (Ambiente de Monitoração IP QoS/DiffServ) (CARLSON, 2005), para verificação de descarte de pacotes nas classes de serviço. Nos resultados coletados, não foram observados descartes de pacotes nestes roteadores. Um exemplo destas estatísticas para o dia 25/08 pode ser visto no Apêndice B. Com relação aos roteadores 12008, não foi possível observar se houve descarte de pacotes, pois estes roteadores não puderam ser monitorados, por não suportarem a MIB CISCO-Class-Based-QoS e o *hardware* da interface instalada (POS OC-12c/STM-4 SM, engine 0) não suporta contadores para *policy-maps*. Portanto, nestes roteadores não foi possível saber se houve descarte de pacotes para os serviços.

Outro ponto a ser considerado é que no POP-SC, o roteador 7507 só oferece o serviço BE para todo o tráfego de entrada e saída, por causa das limitações de configuração do mesmo. Em algum momento de congestionamento esta pode também ter sido uma das fontes de perdas de pacotes.

Com o objetivo de identificar em quais horários aconteciam as perdas acima do limite suportado, foram também contabilizadas as perdas superiores a 2%, por horário de teste e os resultados podem ser vistos na Figura 4.16. Como é possível observar, o maior número de perdas com percentual acima do limite máximo aconteceu nos horários das 10, 11hs e na faixa de horário das 13 às 17hs.

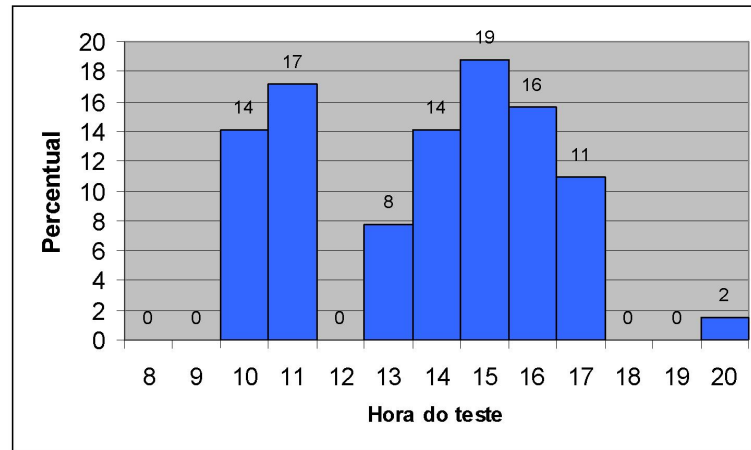


Figura 4.16: - Contagem de percentuais de perdas por hora de teste

Em resumo, foi observado que as perdas de pacotes não estão somente ligadas ao desempenho dos serviços, mas também ao grau de utilização dos *links* e às condições dos equipamentos da rede. Por isso, não foi possível dar prioridade aos pacotes em todos os pontos do caminho e a garantia de entrega dos pacotes foi precária.



## 5 EXPERIMENTOS COM VÍDEO

Este capítulo descreve os experimentos realizados com a aplicação de Vídeo. Ele está organizado da seguinte forma: a seção 5.1 faz uma introdução sobre as aplicações de vídeo e sobre os experimentos; a seção 5.2 descreve os experimentos com vídeo; a seção 5.3 descreve os resultados obtidos com os testes com traces de vídeo; a seção 5.4 mostra os resultados obtidos com o serviço de vídeo da RNP e, finalmente, a seção 5.5 descreve os experimentos com o serviço Cata-lixo e seus resultados.

### 5.1 INTRODUÇÃO

As aplicações de vídeo estão entre as que mais consomem recursos da rede, porém os requisitos de QoS dependem do tipo da aplicação. As aplicações de vídeo podem ser de Telepresença ou Teledados, interativas ou não interativas (MIRAS, 2002).

As aplicações de *telepresença* fazem a imersão do usuário em um ambiente virtual ou permitem que o usuário participe de eventos remotos, como se estivesse presente no local. As aplicações de *teledados* fazem a transferência de dados dos arquivos de vídeo ou áudio para o usuário. É o caso das aplicações de fluxos contínuos (*stream*) de áudio ou vídeo.

As aplicações de fluxos contínuos de vídeo foram escolhidas como tráfego alvo, para os experimentos de vídeo. O motivo para esta escolha é que a RNP possui um serviço de distribuição de vídeo sob demanda e ao vivo, implementado pelo grupo de trabalho de vídeo digital (GT-VD2) (RNP, 2005a).

O principal objetivo do GT-VD2 foi disponibilizar uma infra-estrutura composta por servidores, equipamentos de vídeo e suporte técnico para permitir a utilização de aplicações de vídeo digital que explorassem ao máximo o potencial das redes de alta velocidade no Brasil. A subseção 5.1.1 descreve os requisitos de QoS de que necessitam as aplicações de vídeo destes experimentos.

### 5.1.1 Requisitos exigidos pelo tráfego de Vídeo

A qualidade do vídeo digital é afetada principalmente por dois fatores: o primeiro é o processo de compressão a que o vídeo é submetido para poder ser transmitido pela rede. Através da compressão, a taxa de transmissão do vídeo é reduzida a um nível suportado pela rede.

A compressão se dá pela eliminação de redundância temporal e espacial de informações e também pela eliminação de redundância psico-visual. Na redundância espacial os valores dos *pixels* não são independentes, mas correlacionados com seus vizinhos do mesmo quadro (*frame*). A correlação feita entre quadros consecutivos é chamada de redundância temporal. A redundância psico-visual é baseada no princípio de funcionamento do olho e cérebro humano. A eliminação de informações deste tipo de redundância, leva em consideração os limites de resolução do olho humano tanto para acompanhar movimentos rápidos, quanto ao número de detalhes que é possível de captar (CASTRO; CASTRO, 2001). As informações que excedem estes limites são eliminadas e daí tem-se a compressão.

O segundo fator é a perda de qualidade do vídeo em decorrência das condições da rede. Para se manter a qualidade do vídeo é preciso controlar o atraso, a variação do atraso, a perda de pacotes e oferecer a banda adequada para o escoamento do vídeo.

As aplicações de vídeo interativas como videoconferência, ambientes de colaboração virtual e ensino a distância necessitam de baixo atraso para que a interatividade seja mantida. Os requisitos de vazão dependem da tecnologia de vídeo utilizada. Uma videoconferência com a tecnologia H.323, requisita de 384 a 800 kbps. Para MPEG2 o requisito passa a ser de 2 a 10 Mbps. Uma videoconferência com qualidade HDTV precisa de 19,2 Mbps a 1,5 Gbps.

Os valores de atraso e variação de atraso para estas aplicações devem ser pequenos, para não prejudicar a sincronização entre os fluxos de vídeo e áudio e assim viabilizar a comunicação. De acordo com (MIRAS, 2002), uma aplicação de vídeo interativa é aceitável com atraso de 200 a 400 ms. Porém, o desejável é que tenha atraso inferior a 200 ms.

Altos valores de atraso ou variação de atraso podem também aumentar o percentual de perdas médio de pacotes, pois pacotes com estes valores chegam muito tarde e são considerados perdidos. Aplicações interativas de vídeo podem suportar altas taxas de perdas de pacotes, de acordo com (MIRAS, 2002) e (UKERNA, 2001) é possível suportar até 20% de perdas, se forem implementadas técnicas de redundância ou proteção contra perda tais como: correção de erro (FEC — *Forward Error Correction*) e ocultamento de perdas (NORTEL, 2001). Porém, videoconferências com H.323 não devem ter percentual de perdas médio superior a 5%.

As aplicações de fluxos contínuos de vídeo fazem transporte de vídeo em tempo real ou de vídeo armazenado, mas sem a característica de interatividade. Com exceção de aplicações que proporcionam interatividade para controle da exibição do vídeo, com funções tais como

*parada, pausa, etc.*

O requisito de vazão para estas aplicações vai depender da qualidade do vídeo a ser transmitido. Aplicações que usam vídeos considerados de “modesta” qualidade, como: *Real-Video*, MS AF (*Vídeo for Windows Microsoft Advanced Streaming Format*) e *Quicktime*, necessitam de até 1 Mbps de vazão para a transmissão do vídeo.

Uma aplicação de vídeo sob demanda com qualidade igual, ou melhor, que VHS para o codificador MPEG-1 requer de 1 a 3 Mbps de vazão. Com o compressor MPEG-2 é necessária uma vazão acima de 10 Mbps. É possível obter a mesma qualidade de vídeo com vazões mais baixas com o uso do compressor MPEG-4. Aplicações de alta resolução como HDTV, TV aberta de alta qualidade, etc. a depender do compressor usado, possuem altos requisitos de vazão, com valores que vão de 19,4 Mbps a 1,5 Gbps.

As aplicações de fluxos contínuos de vídeo possuem requisitos de atraso relaxado, por causa de sua baixa ou nenhuma interatividade. Na maioria dos casos, o atraso inicial é absorvido por uma memória (*buffer*) no cliente de vídeo, antes do início da transmissão. E esta mesma memória é usada para diminuir os efeitos da variação de atraso.

De acordo com (MIRAS, 2002), o usuário de aplicações de fluxos contínuos de vídeo podem esperar até 10 s ou mais, para o início da execução no cliente. Quanto ao requisito de variação de atraso, até 500 ms é aceitável para este tipo de aplicação.

A perda de pacotes pode degradar a qualidade do fluxo contínuo de vídeo, mesmo se o percentual de perdas médio for pequeno, devido à interdependência temporal entre os quadros de vídeo. Esta interdependência é criada no processo de compressão do vídeo. No caso dos vídeos MPEG, por exemplo, uma seqüência de quadros contém quadros do tipo I, do tipo P e do tipo B. Os quadros I (*I-frames*) são imagens codificadas independentemente dos outros quadros e são usados como referência para os quadros do tipo P (*P-frames*) e B (*B-frames*).

Os quadros P são codificados por estimativa (preditivamente), a partir do quadro anterior mais próximo. Aqui é explorado o fato de que as imagens mudam pouco, de um quadro para outro. Os quadros tipo B são codificados bidirecionalmente a partir de quadros tipo I ou P, anteriores ou sucessores.

O processo de decodificação de um fluxo contínuo de vídeo comprimido depende principalmente de receber os quadros de referência I e em menor grau os quadros P. A perda de um ou mais pacotes de referência em um quadro, pode degradar sua qualidade e o pior problema é a propagação de erro para os quadros dependentes.

Em (NEVE et al., 2003) é feito um estudo sobre perdas de pacotes em fluxos contínuos de vídeo e os resultados mostram que a qualidade do vídeo é afetada pela vazão e pelas perdas de pacotes. Isto ocorre porque à medida que se aumenta a vazão, há um aumento de qualidade. Porém, aumentando-se o percentual de perda a qualidade do vídeo cai, mesmo para um vídeo

que escoo a alta vazão. Isto é explicado pelo fato de que vídeos codificados para altas taxas de transmissão possuem quadros com muitos pacotes e quanto maior o número de pacotes, maior a probabilidade do quadro ser danificado.

De acordo com (MIRAS, 2002), o requisito de perda para as aplicações de fluxo contínuo de vídeo é que este percentual seja inferior a 2 ou 3%. Porque os usuários dos serviços de fluxos contínuos de vídeo atuais toleram baixa vazão e perdas de pacotes. Porém, para serviços de vídeo avançados, distorções nas imagens e perdas de pacotes são facilmente percebidas. Por isso, é necessário manter uma alta vazão e perdas mínimas de pacotes.

A tolerância a perdas para as aplicações de fluxos contínuos de vídeo depende do tipo de codec (se for implementado algum tipo de proteção contra perda), do tamanho dos pacotes e do padrão de perdas (vide Seção 4.1.1).

## 5.2 DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS

O Serviço de vídeo da RNP implantado pelo GT-VD2 possui um módulo de vídeo sob demanda e um módulo para transmissão de vídeo ao vivo. Nestes experimentos foi somente envolvida a parte de vídeo ao vivo. Para avaliar se a QoS oferecida pela RNP atende a esta aplicação, foram idealizados dois tipos de experimentos: o primeiro com *traces* de vídeo coletados a partir de um fluxo contínuo de vídeo MPEG2 e o segundo, semelhante aos testes com VoIP, usando o medidor OWAMP em paralelo aos fluxos de tráfego de vídeo.

A Figura 4.1 ilustra tanto o cenário para os testes de voz como para os de vídeo. Para os testes com *traces* de vídeo foram usadas duas máquinas geradoras e receptoras de tráfego, tanto na UNIFACS quanto no POP-SC. Uma máquina gerava tráfego para o serviço Assegurado e a outra para o serviço de Melhor Esforço.

Os testes com o serviço de vídeo foram inicialmente esquematizados conforme a Figura 5.1. O vídeo deveria ser capturado por uma câmara de vídeo em um dos clientes do POP-SC e enviado para o refletor de vídeo do POP-SC com o protocolo de transporte MMSH<sup>1</sup>. A partir daí, o vídeo passaria por todos os refletores do caminho até chegar ao refletor do POP-BA, que é o mais próximo do cliente. O protocolo de transporte entre os refletores seria o UDP e a partir do refletor do POP-BA, o vídeo seria transmitido via protocolo HTTP.

Em paralelo aos fluxos do tráfego de vídeo seriam iniciados os fluxos do medidor ativo, semelhante ao esquema usado nos testes com VoIP (vide Figura 4.3). Os experimentos não foram realizados da forma descrita por causa do problema de perdas entre os roteadores 7507 e 12008, do POP-RJ (vide subseção 4.3.3). Durante os testes preliminares o cliente de vídeo (*Windows Media Player*) abortava a conexão, sempre que percebia a perda de pacotes.

---

<sup>1</sup>MMS (*Microsoft Media Server*).

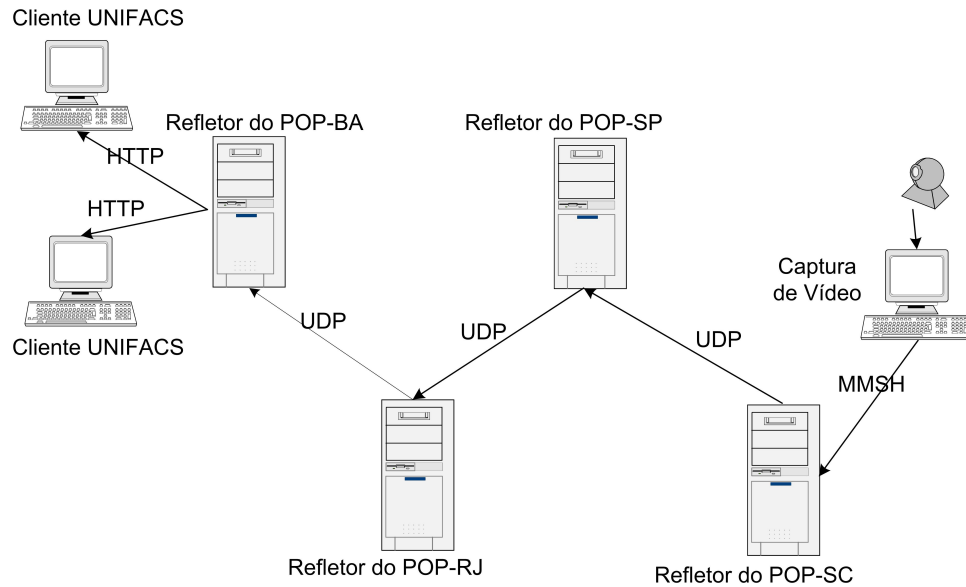


Figura 5.1: - Cenário inicial para os experimentos com o serviço de vídeo da RNP

Por conta disso, o serviço de vídeo foi configurado para transferência de vídeo entre os refletores via HTTP.

Como solução alternativa, somente os testes com os medidores OWAMP foram realizados. O cenário de testes é exibido na Figura 5.2. Desta vez, além dos testes fim-a-fim foram feitos testes entre os refletores envolvidos no experimento. Para isso em cada refletor de vídeo foi instalado o medidor OWAMP.

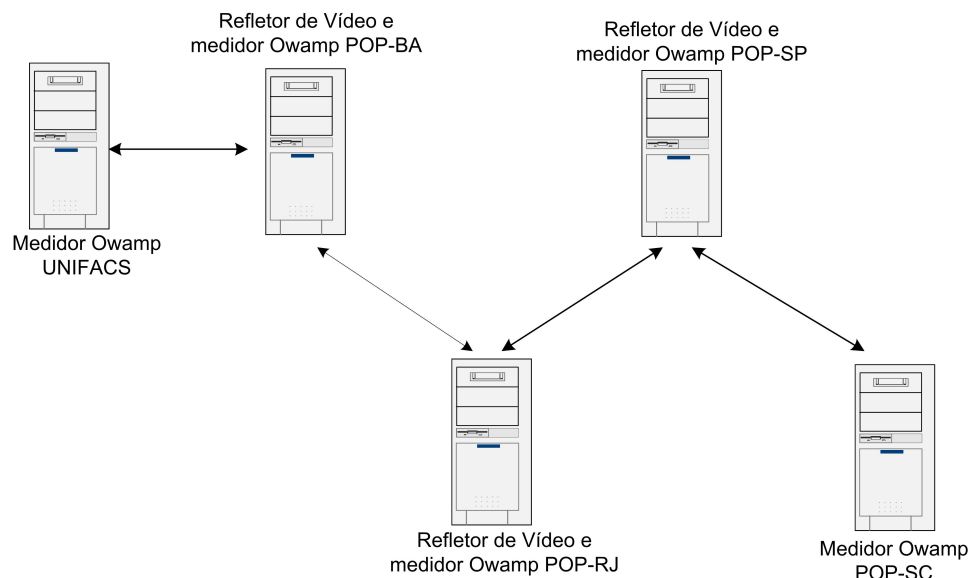


Figura 5.2: - Cenário de testes com os medidores OWAMP

Entre os refletores intermediários somente foi possível coletar estatísticas sobre perdas de pacotes porque os refletores não possuíam GPS. A sincronização dos relógios destes refletores foi feita através do protocolo NTP. Os relógios dos servidores de vídeo foram sincronizados

através dos servidores NTP *Stratum 2* da RNP mais próximos destes computadores. Por causa da baixa precisão, muitos resultados tiveram valor de atraso negativo e foram descartados. As subseções 5.2.1 e 5.2.2 detalham estes experimentos. Não faremos aqui nenhuma recomendação sobre uma solução para a sincronização dos relógios, pois não estava no escopo deste trabalho fazer um estudo sobre isto.

### 5.2.1 Testes com *traces* de Vídeo

Os *traces* de vídeo foram criados a partir do tráfego de um vídeo MPEG2 codificado com taxa de 6Mbps. O cliente de vídeo usado foi o cliente VideoLan (VLC — *VideoLAN Client*) (PROJECT, 2005), com configuração para fazer moldagem (*shaping*) e reduzir a taxa de transmissão. O tráfego foi capturado com a ferramenta TCPDUMP (TCPDUMP, 2004) na mesma máquina. Foram capturados cinco *traces* com duração de três minutos aproximadamente e a taxa obtida foi de 3,9 Mbps para cada *trace*. O tráfego capturado correspondeu ao mesmo trecho do vídeo nos cinco *traces*. Os relógios das máquinas foram sincronizados via NTP, a partir dos servidores *Stratum 1* localizados nas redes locais dos clientes.

Os testes foram realizados de 10 em 10 minutos a partir das 08 até às 20hs, no período de 14 a 23/07/2004. Foram realizados testes, tanto no sentido UNIFACS até o POP-SC, quanto no sentido inverso. Inicialmente foram gerados dois fluxos em duas máquinas distintas, um para o serviço de Melhor Esforço e outro para o serviço Assegurado.

Os testes de ida e volta (nos dois sentidos do caminho) não foram feitos no mesmo momento. Primeiro eram executados os testes no sentido UNIFACS até o POP-SC e, somente depois de finalizar estes testes, eram executados os testes no sentido inverso. Depois foram realizados testes com dois fluxos de vídeo de iguais características, em cada máquina. O objetivo do aumento do número dos fluxos foi o de observar o comportamento do tráfego, quando o volume de vídeo ultrapassava a banda configurada para o serviço Assegurado.

A ferramenta usada para a geração de tráfego foi o Rude/Crude (LAINE; SAARISTO; PRIOR, 2004). O script de geração de tráfego foi configurado da seguinte forma:

```
#Inicio Imediato
START NOW
#
T_Inicio ID_FLUXO Comando_on Porta_local IP_dest:P_Dest tipo nome_do_arq
0000 0001 ON 3001 200.135.0.19:12001 TRACE trace16m.txt
#Comando_ToS ID_Fluxo Número_Hexa
#TOS 0001 0x50
#
#T_Final ID_FLUXO Comando_OFF
120000 0001 OFF
```

#fim do script

### 5.2.2 Medições com o OWAMP

Os testes com a ferramenta OWAMP seguiram o mesmo esquema descrito na Figura 4.3. Os testes foram feitos de 15 em 15 minutos, das 08 às 20hs e de segunda a sexta-feira, nos períodos de 19/10 a 10/11/2004 e 11/11 a 25/11/2004. O tempo máximo de teste foi de 300 segundos, com um valor aleatório máximo de 30 segundos. Com esses tempos foram produzidos um mínimo de 9 amostras por teste.

Os testes foram divididos em duas partes. Na primeira o OWAMP foi configurado para enviar fluxos de 256kbps e na segunda 2Mbps. O objetivo foi de observar o comportamento de um fluxo de vídeo de baixa qualidade e outro com melhor qualidade. O algoritmo de funcionamento dos testes é o mesmo mostrado na subseção 4.2.1. A Tabela 5.1 mostra os valores de configuração dos parâmetros do OWPING nos testes com fluxos com taxas de 256kbps e 2Mbps.

Tabela 5.1: Valores de configuração dos parâmetros do OWPING nos testes de vídeo.

Parâmetro do OWPING	Fluxo com 256 kbps	Fluxo com 2Mbps
-i (segundos)	0,041125	0,005264
-s (bytes)	1316	1316
-c (número de pacotes)	300	300

O parâmetro `-s` foi configurado com o mesmo valor de tamanho de pacotes, usados nos *traces* de vídeo (vide subseção 5.2.1). Para o parâmetro `-c` foi escolhido um valor que não sobrecarregasse o serviço de vídeo. O valor do parâmetro `-i` foi calculado usando-se o tamanho dos pacotes e a taxa de vazão dos fluxos.

## 5.3 RESULTADOS DOS TESTES COM *TRACES* DE VÍDEO

Nesta seção são apresentados os resultados de atraso médio obtidos no experimento e as considerações acerca destes resultados. Depois, são apresentados os resultados obtidos com a variação de atraso. Em seguida, são apresentados os resultados de perda média e as considerações sobre estes resultados e, finalmente, são apresentados os resultados com a vazão média.

### 5.3.1 Resultados de Atraso Médio

Os testes com *traces* de vídeo foram feitos inicialmente com um fluxo de vídeo AF e outro BE. As Tabelas 5.2 e 5.3 mostram os resultados de atraso médio obtidos no período<sup>2</sup> de 14 a 20/07/2004. A Figura 5.3 mostra os resultados de atraso médio, por horário de teste, para os dias 16 e 20/07/2004.

Tabela 5.2: Resultados de atraso médio obtidos no período de 14 a 20/07/2004, no sentido UNI → SC.

Data	AF (UNI → SC)		BE (UNI → SC)	
	Mínimo (ms)	Máximo (ms)	Mínimo (ms)	Máximo (ms)
Dia 14/07	30,4	36,5	31,3	42,6
Dia 15/07	27,4	41,0	27,9	44,1
Dia 16/07	26,8	34,6	28,2	34,2
Dia 19/07	28,1	37,3	25,3	31,2
Dia 20/07	26,6	165,5	29,5	168,0

Tabela 5.3: Resultados de atraso médio obtidos no período de 14 a 20/07/2004, no sentido SC → UNI

Data	AF (SC → UNI)		BE (SC → UNI)	
	Mínimo (ms)	Máximo (ms)	Mínimo (ms)	Máximo (ms)
Dia 14/07	28,0	44,7	27,6	45,1
Dia 15/07	24,4	49,9	22,6	67,6
Dia 16/07	29,3	61,2	29,2	149,8
Dia 19/07	25,8	60,6	31,3	86,2
Dia 20/07	29,3	84,6	29,4	125,2

Como pode ser visto nas tabelas, os resultados de atraso médio, em sua maioria, não foram superiores a 100 ms. A exceção foi para os dias 16 e 20/07/2004 que alcançaram valores superiores. A Figura 5.3 ilustra os resultados de atraso obtidos nestes dois dias.

No gráfico do dia 16/07, às 15hs, aconteceram picos de atraso para os fluxos de testes no sentido POP-SC até a UNIFACS (SC até UNI). Porém, os fluxos que tiveram atraso médio mais alto foram os destinados ao serviço BE. Os resultados de RTT observados nos *links* de teste (vide a Figura C.6 do Apêndice C) mostram uma interrupção nas coletas de medidas neste horário. Dessa forma, não é possível verificar o estado dos *links* neste horário. Possivelmente, esta falha no gráfico é devido indisponibilidade do *link*, ou do servidor que faz a armazenagem

<sup>2</sup>Alguns testes foram perdidos nos dias 14 e 15/07 porque as máquinas da UFSC ficaram fora da rede. No dia 14 foram considerados os testes a partir das 15hs e no dia 15/07 a partir das 14:00hs



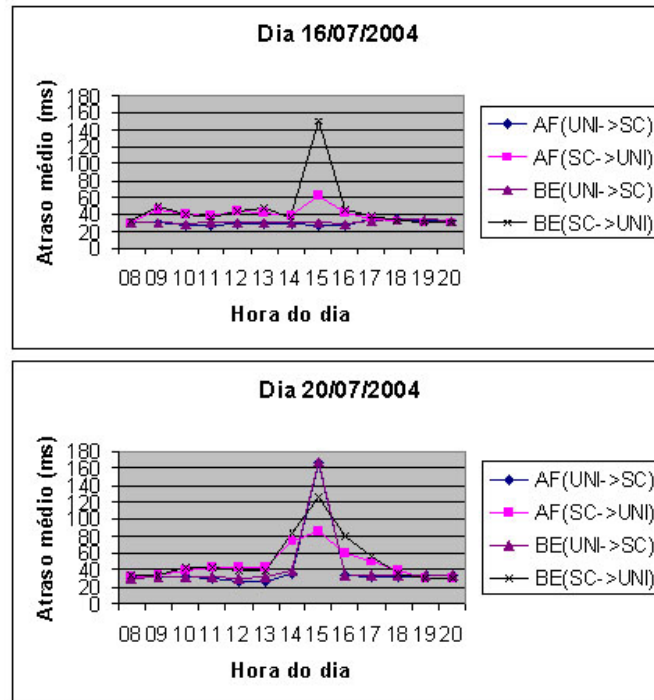


Figura 5.3: - Resultados de atraso médio obtidos nos dias 16 e 20/07

de dados. Infelizmente, a análise dos gráficos não foi realizada no mesmo dia do teste, então não foi possível recuperar informações sobre o problema junto à RNP. É recomendado em trabalhos futuros, que as estatísticas da rede sejam acompanhadas e armazenadas diariamente para identificação de problemas como estes.

No gráfico do dia 20/07, podem ser vistos picos de atraso médio para o tráfego das duas classes de serviço, nos dois sentidos de teste e no horário das 15hs. Este problema também foi detectado no gráfico da Figura 4.6. A Figura C.7 mostra que no dia 20/07, das 14 às 15hs, o *link* do POP-BA até o POP-RJ e o *link* do POP-SP até o POP-SC estiveram com valores altos de latência. O RTT entre o POP-BA e o POP-RJ esteve numa faixa aproximada de 50 a 300 ms. O RTT entre o POP-RJ e o POP-SP esteve numa faixa de 4 a 7 ms e o RTT entre o POP-SP e o POP-SC esteve numa faixa aproximada de 50 a 350 ms. Provavelmente, esta foi a causa dos valores altos de atraso mostrados no gráfico do dia 20/07 (Figura 5.3).

Nos dias 21 e 22/07/2004 foram realizados testes com dois fluxos de tráfego para os serviços BE e AF. O objetivo destes testes foi o de observar o comportamento do tráfego AF, quando este excedesse a banda limite configurada. Para isso, o roteador de borda no POP-BA foi configurado para remarcar o tráfego para o serviço BE, caso o tráfego AF excedesse a taxa limite configurada.

No dia 21/07 das 08 às 13hs, os testes foram realizados com um fluxo de tráfego para cada serviço. A partir das 14hs, mais um fluxo com as mesmas características de vazão e tamanho de pacotes foi adicionado para cada serviço. A Figura 5.4 mostra os resultados de

atraso médio destes testes.

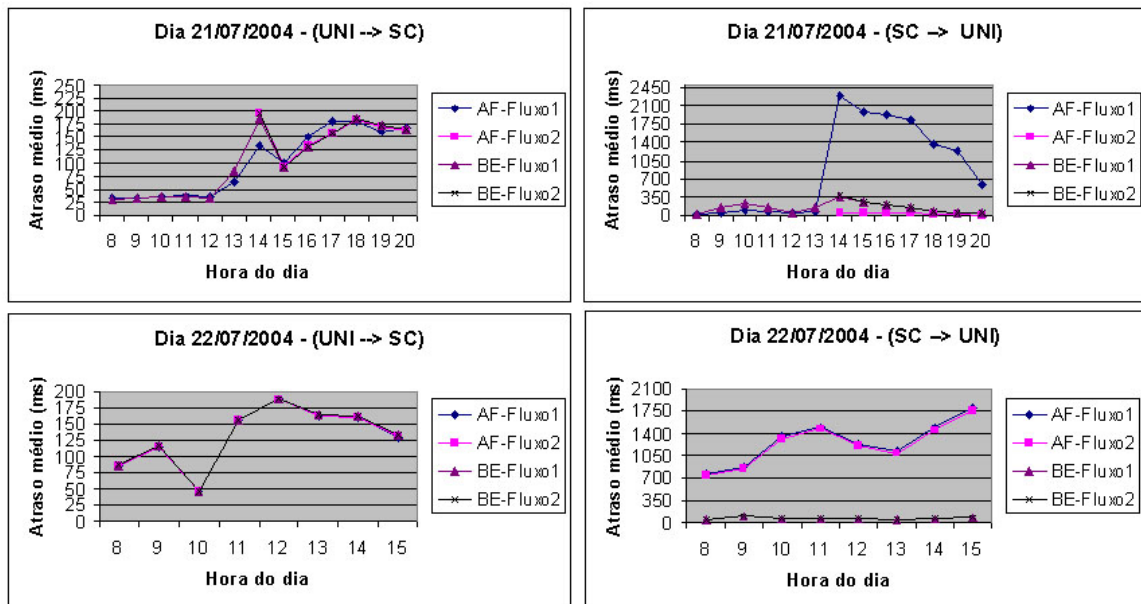


Figura 5.4: - Resultados de atraso obtidos com dois fluxos de vídeo, nos dias de 21 e 22/07/2004

Como pode ser observado na Figura 5.4, com o aumento do número de fluxos houve um aumento do atraso médio para os fluxos de tráfego, que já vinham sendo medidos desde as 08hs da manhã, nos dois sentidos de teste. As Figuras C.8 e C.9, mostram que o maior pico de latência no caminho de testes foi às 15hs, no *link* BA ↔ RJ, sendo a faixa de valores observada de RTT de 50 a 300 ms, aproximadamente. Os *links* RJ ↔ SP e SP ↔ SC apresentaram valores baixos de RTT.

Apesar dos resultados de RTT dos *links* não indicarem ser a rede a causadora dos atrasos elevados, comparando-se os dois sentidos de teste observa-se que os fluxos de tráfego do sentido SC → UNI tiveram aumento de atraso maior que os do sentido contrário. É importante recordar que existiram diferenças de configuração para o serviço AF, em cada sentido de tráfego. No sentido UNI → SC a taxa dos fluxos AF foi policiada na borda da rede e o excedente foi remarcado para o serviço BE. Dessa forma, o tráfego foi recebido pela máquina destinada ao tráfego AF, porém pode ter trafegado pelo serviço BE. No sentido SC → UNI não houve nenhuma regra de policiamento na borda (POP-SC). O tráfego entrou na classe AF somente no POP-SP. A partir do POP-SP, a classe AF solicitou banda “emprestada” às outras classes de serviço, sempre que o seu tráfego ultrapassou o limite configurado. Quando não houve sobra de banda nas outras classes o excedente foi descartado.

Analisando-se os resultados de atraso no sentido contrário, UNI → SC, é possível observar que os fluxos de tráfego para o serviço BE sofreram aumento de atraso proporcional ao atraso que sofreram os fluxos de tráfego AF. Mesmo para os testes com somente um fluxo (vide Figura 5.3), os resultados de atraso foram muito próximos. Com o aumento do número

de fluxos, os dois tipos de tráfego foram afetados de forma semelhante. Isso indica que o tratamento dado a estes tráfegos foi semelhante. Para entender porque o atraso do tráfego BE aumentou, é importante lembrar que o tráfego excedente foi realocado para a classe BE e que a máquina cliente do POP-SC que deveria receber somente o tráfego AF, recebeu tanto tráfego que usou o serviço AF como o serviço BE.

### **Considerações sobre os resultados de atraso médio**

Para os testes com apenas um fluxo de tráfego, os resultados de atraso médio para todas as classes de serviço estiveram numa faixa aproximada de 22 a 85 ms, com exceção dos resultados observados às 15hs dos dias 16 e 20/07. O requisito de atraso das aplicações de vídeo depende do tipo de aplicação: se ela é interativa ou não, se ela é sob demanda ou de transmissão ao vivo.

Aplicações interativas de vídeo funcionam de forma aceitável com atraso na faixa de 200 a 400 ms, sendo que o ideal é que seja inferior a 200 ms. As aplicações de fluxos contínuos de vídeo têm requisitos de atraso mais relaxados, elas podem esperar até 10 s para o início da sessão.

Os resultados obtidos nos experimentos do piloto, demonstraram que os serviços implementados no piloto atendem, neste requisito, às aplicações de fluxos contínuos de vídeo.

O objetivo dos testes com mais de um fluxo foi o de verificar os efeitos sobre atraso e perdas de pacotes dos fluxos da classe AF, quando esta classe recebe uma carga de tráfego maior do que sua configuração limite.

Os resultados demonstraram que a diferença de configuração nos dois sentidos de teste, comentada anteriormente, afetou os resultados para o serviço AF. No sentido POP-SC até a UNIFACS, os pacotes só tiveram tratamento com QoS a partir do POP-SP e, neste POP, foram acomodados no serviço AF. Para acomodar o excedente de tráfego, o serviço AF solicitou a folga de banda de outras classes de serviço. Provavelmente da classe de serviço BE, pois era a classe com maior folga de banda.

No sentido UNIFACS até o POP-SC, os pacotes foram policiados no roteador de borda e o excedente remarcado para o serviço BE. Aparentemente, o processo de solicitar banda emprestada, deve adicionar um atraso maior ao tráfego que o processo de fazer policiamento e remarcação de pacotes no roteador de borda da rede. Seria interessante a realização de novos testes para confirmação disso.

### **5.3.2 Resultados de Variação de Atraso**

Os resultados de variação de atraso foram calculados para as seguintes faixas:

- (a) *de 0 a 100 ms*
- (b) *superior a 100 até 200 ms*
- (c) *superior a 200 até 300 ms*
- (d) *superior a 300 até 400 ms*
- (e) *superior a 500 ms*

Em todos os dias do período de testes (14, 15, 16, 19 e 20/07), aproximadamente 100% dos resultados de variação de atraso para os serviços AF e BE, nos dois sentidos de testes, estiveram na faixa de 0 a 100 ms. Segundo (MIRAS, 2002), a variação de atraso de até 500 ms é aceitável para uma aplicação de fluxo contínuo de vídeo.

### 5.3.3 Resultados com Perda de Pacotes

As Tabelas 5.4 e 5.5 mostram os resultados de perdas para os testes realizados no período de 14 a 20/07/2004. A Figura 5.5 mostra os percentuais de perda, por horário de teste, obtidos nos dias 16 e 20/07/2004.

Tabela 5.4: Resultados de perda média obtidos no período de 14 a 20/07/2004, no sentido UNI → SC.

Data	AF (UNI → SC)		BE (UNI → SC)	
	Mínimo (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
Dia 14/07	0,1	0,8	0,2	1,1
Dia 15/07	0,1	1,5	0,3	1,8
Dia 16/07	0,0	0,8	0,1	0,6
Dia 19/07	0,0	0,8	0,1	0,7
Dia 20/07	0,0	1,7	0,0	1,6

Tabela 5.5: Resultados de perda média obtidos no período de 14 a 20/07, no sentido SC → BA

Data	AF (SC → UNI)		BE (SC → UNI)	
	Mínimo (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
Dia 14/07	0,2	5,1	0,4	6,6
Dia 15/07	0,3	1,8	0,4	2,0
Dia 16/07	0,3	0,6	0,3	0,7
Dia 19/07	0,2	7,8	0,5	9,6
Dia 20/07	0,2	1,2	0,5	2,8

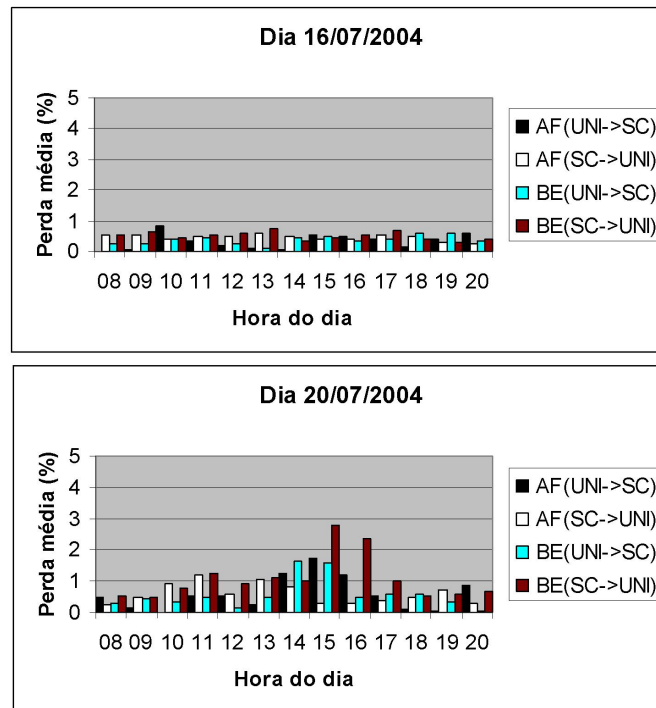


Figura 5.5: - Percentual de perda nos dias 16 e 20/07/2004

É possível observar nas Tabelas 5.4 e 5.5 que os maiores percentuais de perdas ocorreram para os fluxos AF e BE sentido POP-SC até a UNIFACS (SC  $\rightarrow$  UNI). Este comportamento é atribuído ao estado de carga do *link* RJ  $\rightarrow$  BA que, em diversos momentos do dia, chega até a ultrapassar 30 Mbps de utilização (vide os gráficos do Apêndice C). Outro fator de perdas importante foi o problema na ligação entre os roteadores 7507 e 12008 já discutido na subseção 4.3.3. Como é possível observar na Figura 5.5 os percentuais de perda, de todos os fluxos de tráfego, foram inferiores a 3%.

A Figura 5.6 mostra os percentuais de perdas, para os testes contendo mais de um fluxo de tráfego. É possível observar o aumento da perda para todos os serviços nos dois sentidos de teste.

O grande percentual de descarte observado nos gráficos, sentido SC  $\rightarrow$  UNI, é explicado pela alta utilização do *link*, em alguns períodos do dia. É possível observar nos gráficos MRTG do Apêndice C, que o *link* RJ  $\rightarrow$  BA alcança, em vários momentos, a utilização de 30 Mbps. Enquanto que o máximo de banda disponível é de 34 Mbps. O serviço AF está configurado para suportar uma carga de tráfego de apenas 5 Mbps. Caso houvesse sobra de banda para as outras classes, o tráfego excedente deveria ser acomodado e não haver descarte.

No sentido UNI  $\rightarrow$  SC, as perdas foram menores para os fluxos de tráfego dos serviços BE e AF. Como é visível nos gráficos do Apêndice C, a utilização do *link* BA  $\rightarrow$  RJ é mais baixa. Todo excedente do tráfego AF foi remarcado para o serviço BE. Dessa forma, no sentido UNI  $\rightarrow$  SC não é possível afirmar que os pacotes todos seguiram pelo serviço AF, já que o

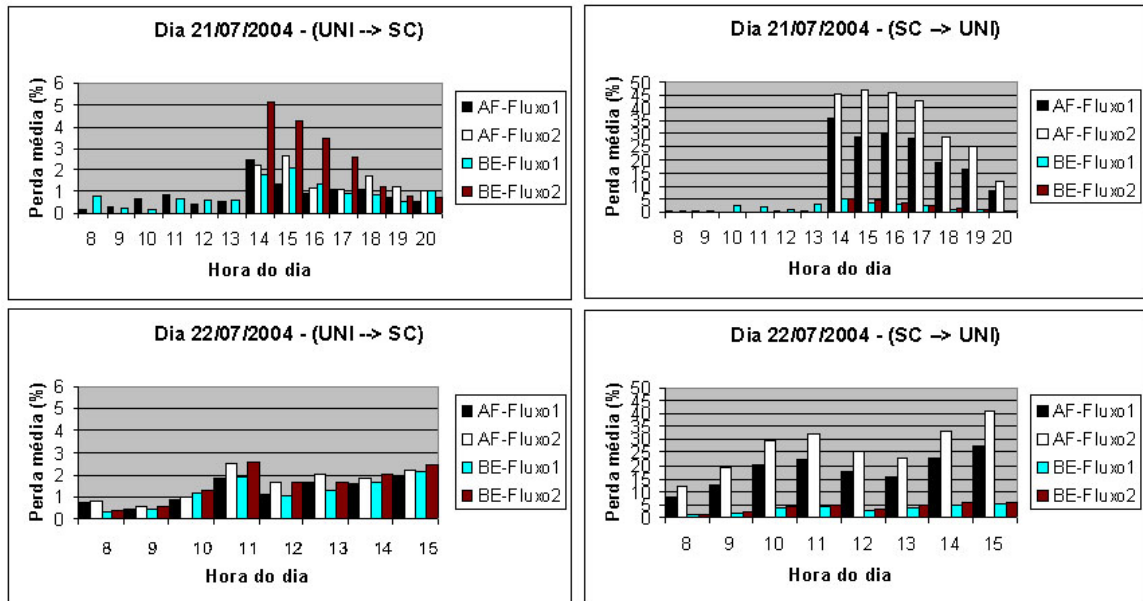


Figura 5.6: - Percentuais de perda obtidos com dois fluxos de vídeo, nos dias 21 e 22/07/2004

excedente foi remarcado para o serviço BE. Então os resultados registrados no gráfico como AF são, na verdade, uma mistura de resultados dos fluxos de tráfego que trafegaram tanto pelo serviço AF como pelo BE.

### Considerações sobre as perdas de pacotes nos testes com *traces* de vídeo

O requisito de perdas para aplicações de fluxo contínuo de vídeo, que fazem tratamento de erros é que o percentual seja inferior a 2 ou 3%.

Os testes realizados com apenas um fluxo de vídeo, mostraram que o caminho de testes esteve muito instável em relação às perdas. Chegando, em vários momentos do dia, a ser muito superior ao exigido pela aplicação. Os maiores percentuais de perdas foram encontrados no sentido POP-SC até a UNIFACS. Nos gráficos do Apêndice C é visível a ocorrência de picos até superiores a 30 Mbps no *link* RJ → BA. Os resultados mostraram que mesmo quando as estatísticas do *link* mostravam 4 Mbps de sobra de banda, houve ocorrência de perdas altas para as classes AF, BE e EF também (vídeo os testes com VoIP).

Um problema semelhante a este foi identificado nos testes de laboratório realizado na UFSC (MONTEIRO et al., 2004). Na fase em que a classe de melhor esforço era congestionada, ocorriam também perdas nas outras classes. Mesmo sendo a ocupação do tráfego destas classes, inferior à banda configurada para elas. Além disso, é importante considerar também a outra fonte de perdas identificada na ligação entre os roteadores 7507 e 12008 no POP-RJ.

Os testes realizados com mais de um fluxo de tráfego, mostram o comportamento da classe AF quando em situação de sobrecarga. No *link* BA → RJ há mais folga de banda e o policiamento realizado sobre o tráfego AF realoca o excedente para a classe BE. Esta é uma das

razões pelas quais, no sentido do tráfego UNIFACS até o POP-SC, o percentual de perda foi menor que no sentido oposto. Porém, não é possível afirmar que o tráfego marcado na origem para o serviço AF, tenha chegado ao POP-SC tendo passado somente pelo serviço AF em todo o caminho.

A banda alocada para o serviço AF foi de 5 Mbps nos dois sentidos de teste. Com o aumento do número de fluxos e, nos momentos de maior carga na rede, foram observadas perdas de mais de 60%, no sentido POP-SC até a UNIFACS. Nos horários de cargas mais baixas as perdas foram menores, pois a tendência é que a folga de banda seja aproveitada pelo tráfego excedente da classe AF.

### 5.3.4 Resultados de Vazão

A Tabela 5.6 mostra os resultados de vazão<sup>3</sup> obtidos no período de testes de 14 a 20/07/2004. E a Figura 5.7 mostra os resultados de vazão dos dias 16 e 20/07/2004.

Tabela 5.6: Resultados de Vazão média obtidos no período de 14 a 20/07/2004

Vazão Média (Mbps)				
Data	AF(UNI -> SC)	BE(UNI -> SC)	AF(SC -> UNI)	BE(SC -> UNI)
Dia 14/07	3,889±0,00025	3,889±0,00026	3,815±0,00218	3,810±0,00201
Dia 15/07	3,887±0,00039	3,885±0,00046	3,874±0,00048	3,870±0,00053
Dia 16/07	3,897±0,00009	3,895±0,00006	3,891±0,00006	3,894±0,00005
Dia 19/07	3,897±0,00008	3,896±0,00004	3,857±0,00138	3,854±0,00168
Dia 20/07	3,886±0,00036	3,887±0,00035	3,883±0,00021	3,874±0,00040

Os resultados obtidos mostram que, no período de testes, a vazão média dos fluxos foi muito próxima ou igual à taxa original dos fluxos, tanto para o serviço AF quanto para o BE. A Figura 5.8 exibe os gráficos de vazão média para os testes com mais de um fluxo de tráfego.

Como é possível observar nos gráficos para o sentido UNI → SC, os resultados de vazão média são muito próximos dos resultados da Figura 5.7. Isto mostra que os fluxos de tráfego AF que ultrapassaram a banda configurada para este serviço foram remarcados e acomodados na classe BE e que por causa da folga de banda para o serviço BE eles perderam pouca vazão.

Os resultados de vazão média obtidos no sentido oposto (SC → UNI), mostram o efeito das perdas de pacotes sobre o tráfego do serviço AF. À medida que foi adicionado o novo fluxo, o percentual de perda foi aumentado e a vazão caiu para todo o tráfego AF, sobretudo nos horários de maior utilização da rede. A vazão média dos fluxos BE foi pouco afetada por causa da folga de banda para esta classe.

<sup>3</sup>O nível de confiança usado para o cálculo dos intervalos de confiança foi de 95%.

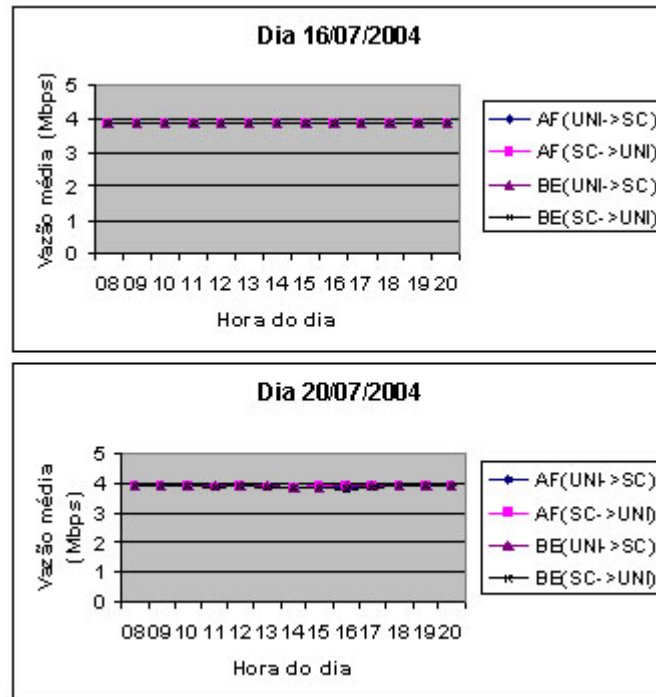


Figura 5.7: - Resultados de Vazão média nos dias 16 e 20/07/2004

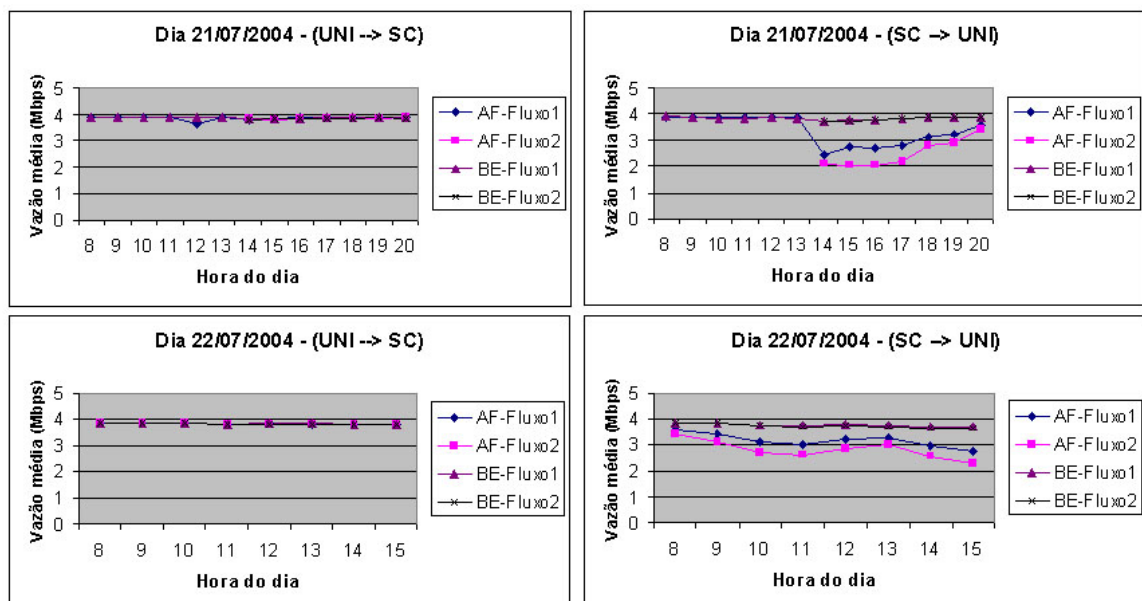


Figura 5.8: - Resultados de Vazão média obtidos com dois fluxos, no período de 21 e 22/07/2004



## 5.4 RESULTADOS DOS TESTES COM O SERVIÇO DE VÍDEO DA RNP

Os testes do serviço de vídeo foram realizados com a ferramenta de medição ativa OWAMP (vide cenário da Figura 5.2). Como somente nas máquinas cliente, havia o GPS para sincronização do relógio, nas máquinas intermediárias não foram considerados os resultados de atraso ou variação de atraso, mas apenas os percentuais de perdas.

Esta subseção trata dos resultados de atraso entre os medidores OWAMP localizados na UNIFACS e no POP-SC e as considerações sobre estes resultados. Logo após são apresentados os resultados de perda fim-a-fim e as considerações sobre estes resultados. E, finalmente, são apresentados os resultados de perda entre os POPs envolvidos nos experimentos.

### 5.4.1 Resultados de Atraso Médio fim-a-fim

Os resultados de atraso fim-a-fim são os resultados dos testes realizados entre a UNIFACS e o POP-SC. Os fluxos de tráfego foram medidos com duas taxas: 256 kbps e 2 Mbps. Os testes com 256 kbps foram realizados de 19/10 a 10/11/2004. No período de 11 a 25/11/2004 foram realizados os testes com 2 Mbps. As Tabelas 5.7 e 5.8 mostram os resultados destes testes.

Tabela 5.7: Resultados de atraso médio obtidos nos testes com taxa de 256 kbps, no período de 19/10 a 10/11/2004.

Data	AF (UNI → SC)		AF (SC → UNI)	
	Mínimo (ms)	Máximo (ms)	Mínimo (ms)	Máximo (ms)
Dia 19/10	31,0	31,3	31,3	35,7
Dia 20/10	30,9	34,6	31,3	45,5
Dia 21/10	31,0	34,9	31,2	39,3
Dia 27/10	29,9	29,9	30,0	34,5
Dia 28/10	29,8	29,9	29,9	48,7
Dia 29/11	29,2	29,9	30,0	34,0
Dia 01/11	29,7	29,7	29,6	29,8
Dia 04/11	29,8	29,9	30,1	35,8
Dia 05/11	28,8	29,9	30,0	35,6
Dia 08/11	29,8	31,6	29,9	36,7
Dia 09/11	29,8	30,1	30,0	38,6
Dia 10/11	29,8	29,9	30,5	34,6

A Figura 5.9 mostra os resultados de atraso médio para os testes do serviço de vídeo com taxa de 256 kbps, nos dias 21 e 28/10/2004 e 04 e 09/11/2004.

Como pode ser observado, os valores de atraso médio para o serviço, nos dois sentidos

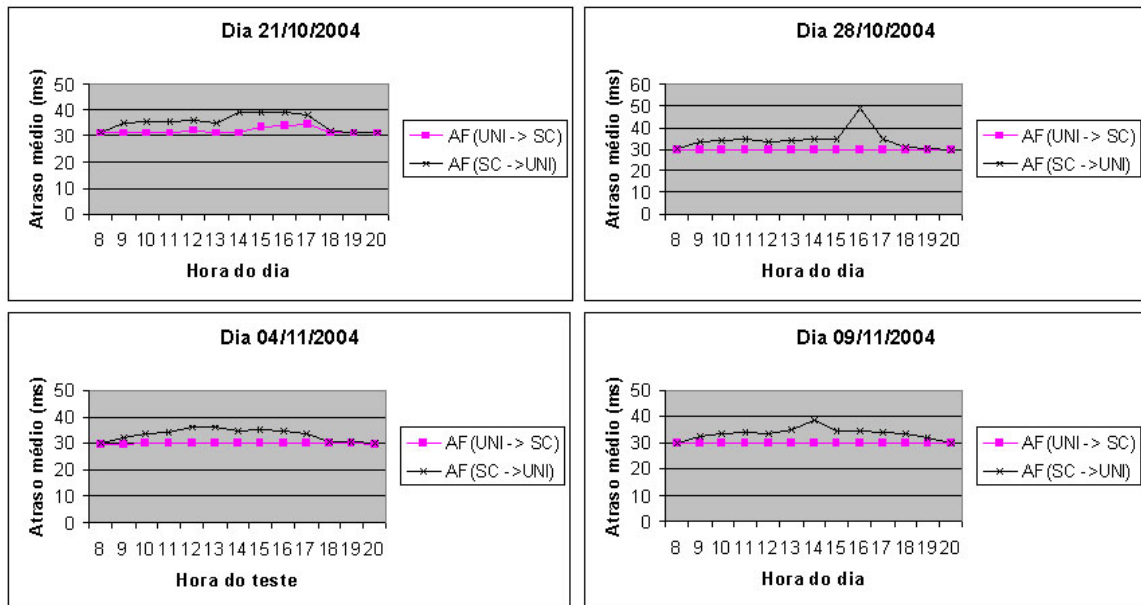


Figura 5.9: - Resultados de atraso médio para os testes de 256 kbps nos dias 21 e 28/10 e 04 e 09/11/2004

de teste, foram, em sua maioria, muito próximos e todos inferiores a 50 ms. No período de 11 a 25/11/2004 foram realizados novos testes aumentando-se a taxa dos fluxos AF. O objetivo foi o observar o comportamento do serviço de vídeo, com um fluxo de vídeo de melhor qualidade, nas mesmas condições de rede anteriores. A Tabela 5.8 mostra os resultados destes experimentos . A Figura 5.10 mostra os resultados de atraso médio para os testes do serviço de vídeo com taxa de 2 Mbps, nos dias 12 e 24/11.

Tabela 5.8: Resultados de atraso médio obtidos nos testes com taxa de 2 Mbps, no período de 11 a 25/11/2004.

Data	AF (UNI → SC)		AF (SC → UNI)	
	Mínimo (ms)	Máximo (ms)	Mínimo (ms)	Máximo (ms)
Dia 11/11	29,8	29,9	29,9	37,9
Dia 12/11	29,7	30,0	29,8	34,4
Dia 22/11	29,8	40,6	29,9	49,8
Dia 23/11	29,8	30,1	29,9	35,7
Dia 24/11	29,8	30,3	29,9	34,4
Dia 25/11	29,8	30,0	30,0	34,3

Como é possível ver, os resultados foram semelhantes aos obtidos com os fluxos de tráfego a 256 kbps. O que mostra que a taxa de envio não influenciou os resultados de atraso, nestas condições da rede.

### Considerações sobre os resultados de atraso Fim-a-Fim

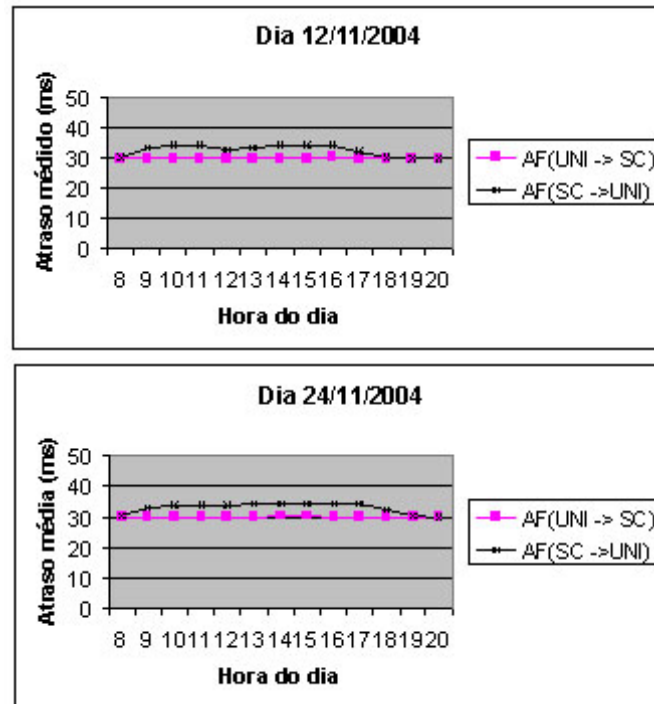


Figura 5.10: - Resultados de atraso médio para os testes de 2 Mbps nos dias 12 e 24/11/2004

Os resultados de atraso obtidos com os fluxos de 256 kps e 2 Mbps no serviço AF, para os dois sentidos de teste, na maioria dos casos esteve numa faixa de 20 a 40 ms. Como descrito em 5.1.1, estes valores atendem ao requisito de atraso para a aplicação de fluxo contínuo de Vídeo, pois o usuário pode suportar até 10 s para o início de uma sessão. Provavelmente, estes resultados atenderão a uma aplicação de vídeo interativa também, pois para esta aplicação ter boa qualidade necessita que seu atraso seja inferior a 200 ms. Porém, sua qualidade ainda é aceitável quando o atraso estiver entre 200 e 400 ms.

#### 5.4.2 Resultados de Perda Fim-a-fim

As Tabelas 5.9 e 5.10 mostram os resultados de perda média obtidos nos testes com fluxos de 256 kbps e 2 Mbps, respectivamente. E a Figura 5.11 mostra os gráficos com os resultados de perda média fim-a-fim para os dias 21/10, 28/10, 04/11 e 09/11.

Como pode ser observado na Tabela 5.9 e na Figura 5.11, a maioria das perdas ocorreu no sentido POP-SC até a UNIFACS. Os altos percentuais de perdas de pacotes neste sentido, foram também detectados nos testes com o serviço VoIP e nos testes com *traces* de vídeo e, provavelmente, foram causados pelo gargalo no *link* RJ → BA e também pelo problema de perdas na ligação entre os roteadores 7507 e o 12008.

A Figura 5.12 mostra os gráficos com resultados de perdas para os dias 22 e 24/11. Comparando-se as Figuras 5.11 e 5.12, percebe-se que as perdas continuaram altas para o

Tabela 5.9: Percentuais perda média obtidos nos testes a 256 kbps, no período de 19/10 a 10/11/2004

Data	AF (UNI → SC)		AF (SC → UNI)	
	Mínimo (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
Dia 19/10	0,0	0,0	0,0	6,2
Dia 20/10	0,0	0,0	0,0	8,9
Dia 21/10	0,0	0,0	0,0	7,6
Dia 27/10	0,0	0,0	0,0	4,6
Dia 28/10	0,0	2,5	0,0	8,4
Dia 29/11	0,0	0,0	0,0	4,6
Dia 01/11	0,0	0,02	0,0	0,0
Dia 04/11	0,0	0,4	0,0	5,7
Dia 05/11	0,0	0,2	0,0	7,3
Dia 08/11	0,0	1,3	0,0	7,5
Dia 09/11	0,0	0,0	0,0	6,2
Dia 10/11	0,0	0,0	0,0	0,0

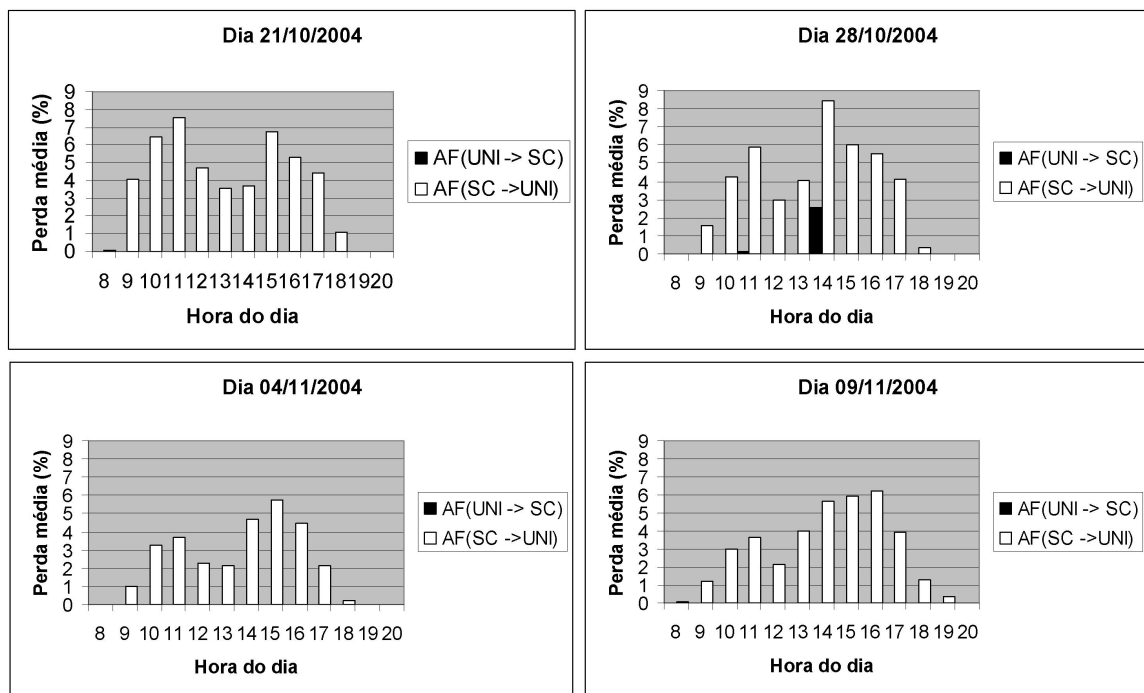


Figura 5.11: - Resultados de perda média para os testes de 256 kbps nos dias 21 e 28/10 e 04 e 09/11

Tabela 5.10: Percentuais perda média obtidos nos testes a 2 Mbps, no período de 11 a 25/11/2004.

Data	AF (UNI → SC)		AF (SC → UNI)	
	Mínimo (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
Dia 11/11	0,0	0,3	0,0	6,5
Dia 12/11	0,0	0,4	0,0	5,6
Dia 22/11	0,0	5,7	0,0	10,8
Dia 23/11	0,0	0,0	0,0	7,4
Dia 24/11	0,0	0,0	0,0	9,6
Dia 25/11	0,0	0,0	0,0	6,3

serviço AF, sentido POP-SC até a UNIFACS. Porém no dia 22/11 as perdas alcançaram valores mais altos.

Uma observação importante a ser considerada sobre a análise destes resultados é que, nesta fase de testes, não foram realizadas coletas através de medições passivas ou via SNMP. Estes testes foram feitos apenas com medições ativas. Foi sentida a necessidade de mais experimentos para confirmação, ou do uso de outra ferramenta de apoio para confirmação dos resultados como, por exemplo, os gráficos MRTG coletados pela RNP.

Esta coleta não foi feita durante os testes, mas a RNP disponibilizou as informações gravadas em banco de dados que poderiam ser acessadas através da ferramenta Cacti (BERRY; ROMAN; ADAMS, 2005). Infelizmente, os gráficos gerados perderam informações importantes, tais como os picos de uso de banda em determinados horários. Este problema foi comprovado através da comparação de gráficos coletados em alguns dias de teste e outros gerados através de informações gravadas no banco de dados.

### Considerações sobre as perdas fim-a-fim

O percentual desejável para um serviço de fluxo contínuo de vídeo, deve ser inferior a 2 ou 3% de perdas. Foram feitas a contagem de resultados com percentuais acima de 3%, para os testes a 256 kbps<sup>4</sup> e 2 Mbps<sup>5</sup>. Os testes com vídeo a 256 kbps tiveram 79% de perdas inferiores ao limite máximo de 3%. Isto significa que 21% dos resultados foram superiores ao limite máximo. Do número de percentuais de perda acima do limite suportado, 100% das perdas aconteceram para o serviço AF, sentido POP-SC até a UNIFACS.

Os testes com 2 Mbps apresentaram 71% de perdas inferiores ao limite máximo. O que significa que as perdas, acima do limite máximo, foram de 29%. Do número de perdas acima

<sup>4</sup>Somente foram considerados, os dias que tinham resultados para todas as horas de teste: 20 e 21/10, 28 e 29/10, 1, 4, 5, 8 e 9/11.

<sup>5</sup>Os dias considerados foram: 12/11 e de 22 a 25/11.

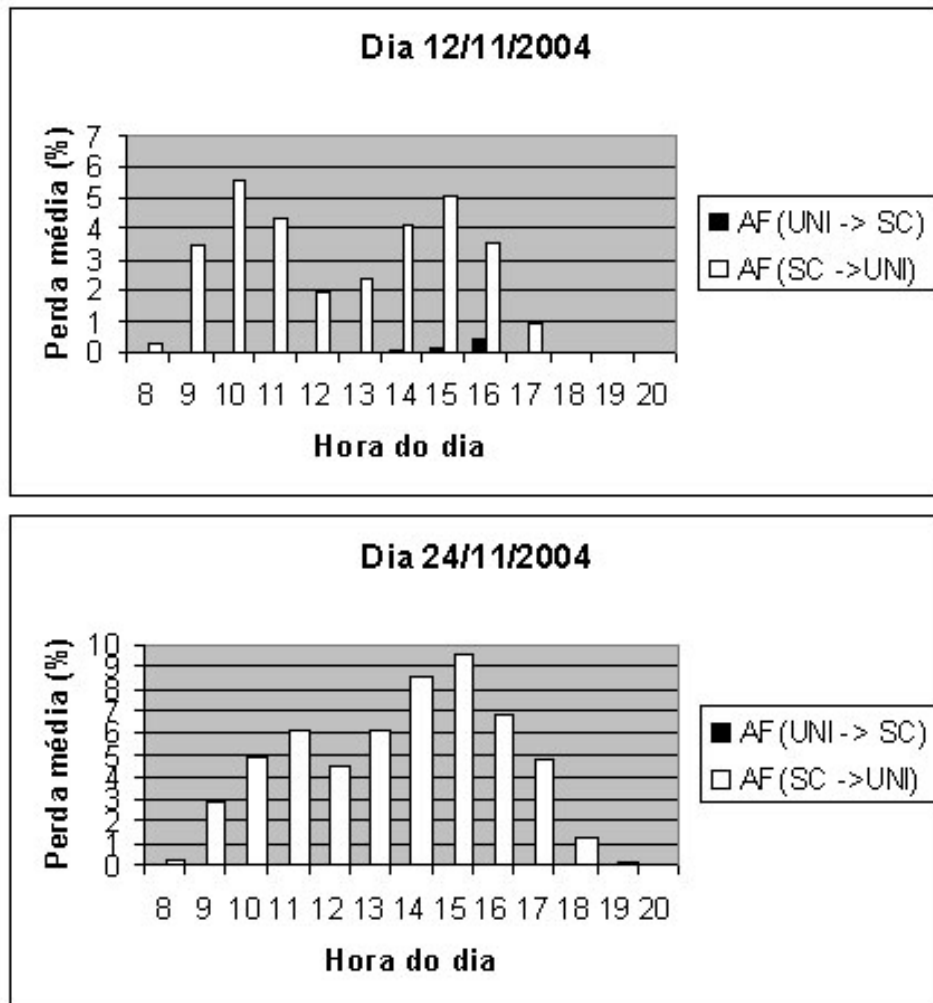


Figura 5.12: - Resultados de perda média fim-a-fim para os testes de 2 Mbps, nos dias 12 e 24/11

do limite, 97% foram para o serviço AF, sentido POP-SC até a UNIFACS.

A Figura 5.13 mostra o gráfico da contagem de perdas que apresentaram percentual superior a 3%, por horário de teste. Como pode ser visto na figura, os fluxos de tráfego com taxa de 256 kbps e 2 Mbps tiveram ocorrência de perdas acima do limite, em quase todos os horários de teste, somente não houve ocorrência deste tipo de perdas a partir das 18 hs. Não é possível comparar entre si os dois fluxos de testes, porque não foram feitos em paralelo e nem tiveram a mesma quantidade de dias de teste.

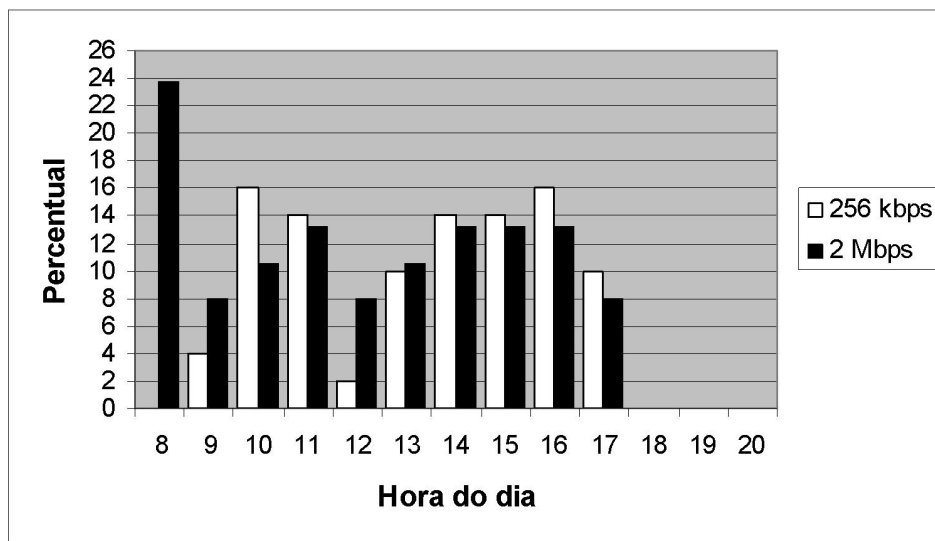


Figura 5.13: - Ocorrência de perdas por horário

Os resultados obtidos mostraram que a rede, no caminho de testes, não está adequada para o funcionamento de um serviço de fluxo contínuo de vídeo, devido à alta ocorrência de perdas, com valor acima do limite suportado, na maioria dos horários de testes.

### 5.4.3 Resultados de Perdas entre os POPs

Foram realizados testes entre os servidores de vídeo de cada POP ao longo do caminho de testes. Os trechos de teste foram: UNIFACS até o POP-BA, POP-BA até o POP-RJ, POP-RJ até o POP-SP e POP-SP até o POP-SC. Os testes foram realizados também no sentido inverso. Na maioria destes trechos o tráfego utilizou o serviço AF. A exceção foi o trecho UNIFACS até o POP-BA, na ligação entre os roteadores 7507 e 12008 do POP-RJ e também no trecho SC até o POP-SP, onde o serviço utilizado foi o de melhor esforço (BE).

A Figura 5.14 mostra os gráficos de perdas para os testes realizados a 256 kbps, nos dias 21/10, 04/11 e 09/11/2004.

A Figura 5.15 mostra os resultados de perdas para os testes realizados a 2 Mbps. Infelizmente, nesta série de testes só se conseguiu os resultados entre os POPs RJ e SP e os POPs SP e SC, por problemas com o medidor OWAMP do POP-BA.

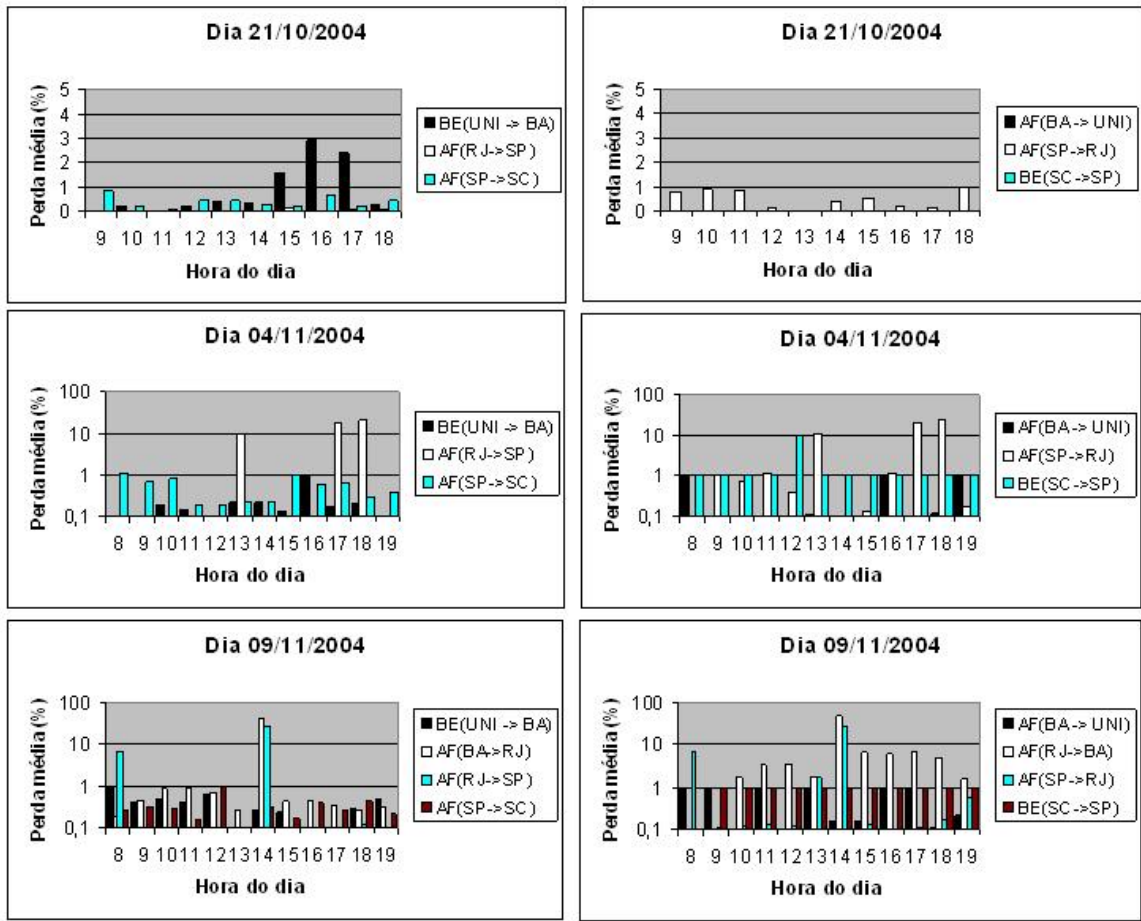


Figura 5.14: - Percentual de perdas nos pontos intermediários para os testes a 256 kbps

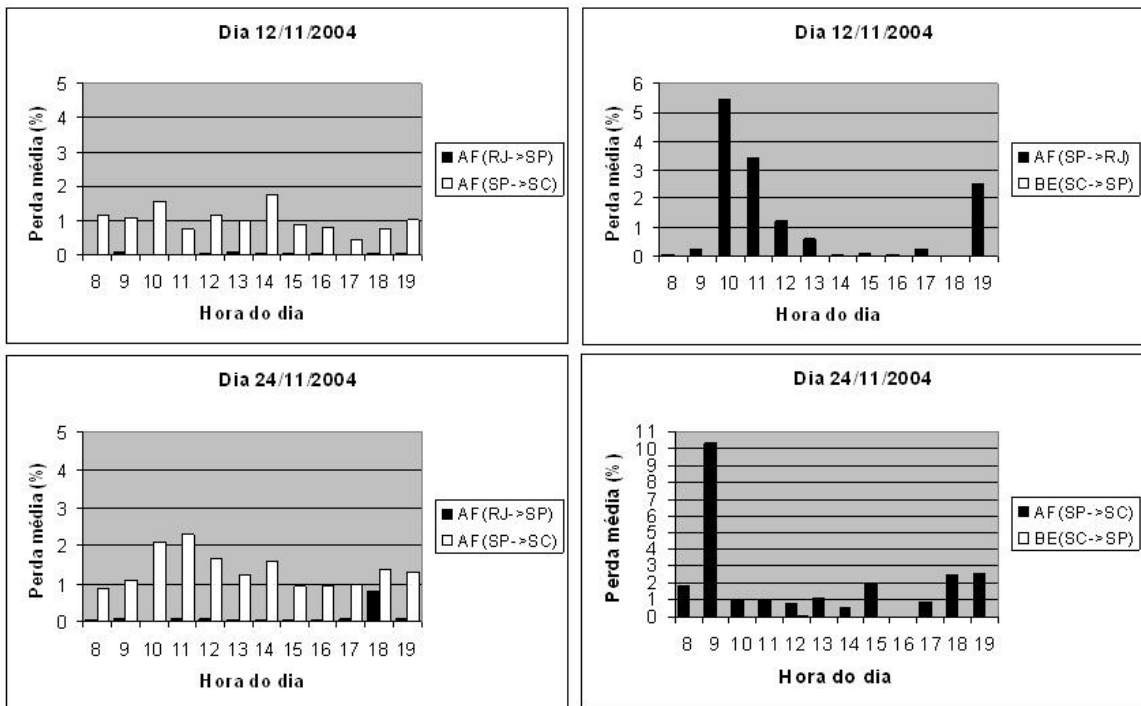


Figura 5.15: - Percentual de perda nos pontos intermediários para os testes a 2 Mbps



Comparando-se as Figuras 5.11 e 5.14, dos testes a 256 kbs, percebe-se que nos dias 21/10, 04/11 e 09/11/2004, a ocorrência de perdas acima de 3% foram registradas nos testes fim-a-fim, somente no sentido SC → UNI. Mas no dia 21/10, nos testes entre os POPs foi registrado perdas de 3% entre a UNIFACS e o POP-BA, no horário das 16 hs. Provavelmente, neste horário, existiu outra fonte de perda na rede local do medidor do POP-BA.

Observando-se o gráfico deste dia (Figura 5.14) é visto que, no sentido SC → UNI, os testes entre os POPs obtiveram perdas inferiores a 1%. Possivelmente, as perdas registradas na Figura 5.11, para este sentido, ocorreram entre o POP-BA e o POP-RJ que, nestes testes, não estavam incluídos nas medições. Aqui novamente voltamos a recordar os resultados dos testes anteriores com voz e vídeo e o problema de perdas identificado nestes resultados.

No dia 04/11 as perdas acima de 3% aconteceram entre POPs RJ e SP às 13, 17 e 18 hs, nos dois sentidos de teste. Nos testes entre os POPs SP e SC também foram encontradas perdas acima de 3% às 13, 17 e 18 hs. Provavelmente, as perdas encontradas para os POPs, que não foram visíveis nos testes fim-a-fim, têm outra fonte e, como no dia 21/10, podem ter ocorrido na rede local do servidor de vídeo. As perdas encontradas entre os POPs, no sentido SC → UNI, foram maiores que os percentuais encontrados nos testes fim-a-fim. Alguns resultados tiveram percentual superior a 10%. Possivelmente, estas perdas tiveram outra origem que não a carga da rede no *backbone*.

No dia 09/11 foram medidas também as perdas entre os servidores de vídeo do POP-BA e POP-RJ. Como é possível ver na Figura 5.14, no sentido UNIFACS até o POP-SC, somente houve perdas superiores a 3% às 8 e 14 hs. No sentido contrário, entre estes POPs, foi observado este percentual de perda em diversos horários. As perdas entre os POPs SP e SC diminuíram, mas foram encontradas perdas superiores a 3% entre os POPs RJ e SP. Os maiores percentuais de perdas estiveram entre os POPs RJ e BA e os POPs SP e RJ.

Nos testes realizados a 2 Mbps observa-se que os resultados da Figura 5.15 mostram perdas menores entre os POPs RJ e SP e os POPs SP e SC. Comparando-se com a Figura 5.12 observa-se que, no sentido UNIFACS até o POP-SC, as perdas apresentadas na Figura 5.15 são um pouco maiores no trecho SP → SC, isto indica a presença de fontes de perdas desconhecidas, possivelmente, na rede local do servidor de vídeo do POP-SP.

No sentido contrário (SC → UNI), há ocorrência de perdas acima de 3% somente entre os POPs RJ e SP. Em alguns horários as perdas são bem próximas dos resultados fim-a-fim, mas em outros as perdas são menores. O que indica que, possivelmente, houve perda nos outros POPs que compõem o caminho de teste.

Os resultados de perdas encontrados nos testes entre os POPs mostraram que a rede, em alguns horários, não estava adequada para o tráfego de fluxo contínuo de vídeo. Pois, as perdas estão muito acima do desejado. Os resultados também mostram que é necessária a

realização de testes locais nas redes dos servidores de vídeo para a averiguação das fontes de perdas desconhecidas.

## 5.5 EXPERIMENTOS COM O SERVIÇO CATA-LIXO

O serviço Cata-lixo (*Scavenger*) (SHALUNOV; TEITELBAUM, 2001) é um serviço de prioridade menor, do que o de melhor esforço e sua finalidade é aproveitar a sobra de largura de banda dos demais serviços. Normalmente garante-se uma pequena fração da largura de banda do canal para esta classe.

O serviço funciona como uma rede virtual paralela com poucos recursos, mas que podem ser aumentados à medida que a classe *default* (BE) esteja subutilizada. O maior ganho considerado é o descongestionamento do serviço BE, principalmente nos “gargalos” da rede.

As aplicações alvo para este serviço são aquelas não interativas baseadas em TCP ou amigáveis ao TCP (*TCP friendly*), que trabalhem com transferência de grandes volumes de dados e que suportem ser atendidas em um período mais longo.

A política de marcação do tráfego deve ser fornecida pelo usuário, que deve indicar que aplicações devem ser marcadas para o serviço. A marcação dos pacotes pode ser feita pela aplicação ou no roteador de borda mais próximo do *host* origem com DSCP 8/TOS=32.

O objetivo principal deste experimento foi, além de testar o funcionamento do serviço Cata-lixo na RNP, o de verificar a viabilidade do seu uso no *backbone*. Nos experimentos realizados pelo GT-QoS2, a aplicação alvo escolhida foi o tráfego gerado pelas medições passivas com Netflow. A transferência de arquivos foi feita com a aplicação Rsync (TRIDGELL; MACKERRAS, 2005) que é um utilitário para transferência incremental de arquivos. A subseção 5.5.1 descreve os experimentos com o serviço Cata-lixo e apresenta os resultados obtidos.

### 5.5.1 Descrição dos Experimentos

O cenário dos testes foi composto por um servidor Netflow, uma máquina de coleta passiva nas pontas e pelos roteadores presentes no caminho de testes (ver Figura 5.16). O módulo cliente Rsync da máquina coletora foi configurado para enviar o tráfego de medições, de 2 em 2 horas, para o módulo servidor Rsync, do servidor Netflow. A transferência era feita das 02hs até 22hs.

O roteador do POP-RS foi configurado para marcar o tráfego proveniente do coletor passivo e foi também criada a classe de serviço Cata-lixo para atender a este tráfego. Os roteadores dos POPs SP, RJ e BA também tiveram esta classe de serviço configurada porque, inicialmente, os servidores de coleta passiva destes POPs estavam incluídos nos testes. Porém,

nos POPs RJ e SP o roteador de ingresso deste tráfego não fazia marcação de pacotes e não foi possível configurar os coletores para fazer a marcação. O POP-SC também deveria participar dos testes, mas não foi possível fazer qualquer configuração de QoS nele. Os testes foram então realizados somente com o coletor do POP-RS.

Foi definido um mínimo de 1 Mbps de banda para a este serviço. Porém, como as capacidades dos *links* são diferentes e não foi possível configurar menos que 1% de banda, as configurações de banda para o serviço Cata-lixo variaram ao longo do caminho. No trecho RS ↔ SP a banda foi de 1,5 Mbps. No trecho SP ↔ RJ, a banda foi de 6,2 Mbps e no trecho RJ ↔ BA foi de 1,0 Mbps (vide a subseção 3.3.3 para a saber a configuração das outras classes).

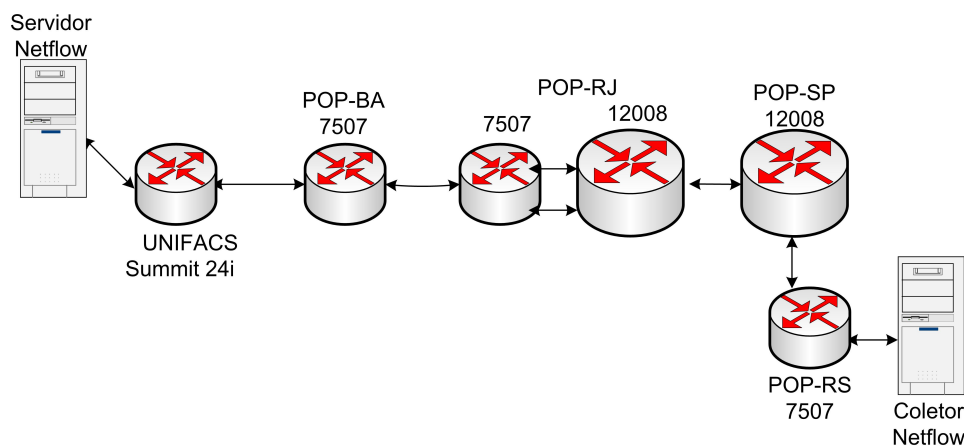


Figura 5.16: - Cenário dos experimentos com o serviço Cata-lixo

## 5.5.2 Resultados e Conclusões

A Figura 5.17 mostra alguns resultados obtidos nas transferências dos dados gerados pelo Netflow<sup>6</sup>. Como é possível observar, a vazão na maioria dos horários foi superior à menor banda configurada no caminho de testes (1 Mbps). É possível observar no gráfico que, em alguns horários, a banda alcançada chega a ser menor que a banda mínima, como é o caso dos gráficos dos dias 18 e 30/08/2004, nos horários das 14 às 16hs. Este comportamento é explicado pelos problemas de perdas de pacotes identificados nos testes de VoIP e Vídeo. O que acontece é que o controle de congestionamento do protocolo TCP quando percebe perda de pacotes, reduz pela metade a taxa de transmissão. É observada também uma queda na vazão às 02hs da manhã, em relação a outros horários de baixa carga na rede. Mas isto é explicado por causa das transferências de dados de outros coletores Netflow não envolvidos nos testes, que eram feitas neste horário e consumiam muito a banda do *link* RJ → BA (vide o Apêndice C).

As transferências de arquivos realizadas de 09 a 31/08/2004 tiveram a vazão média de  $6,3 \pm 2,6$  Mbps com um nível de confiança de 95%. Se compararmos este resultado com

<sup>6</sup>Os dados apresentados aqui foram coletados no nível da aplicação.

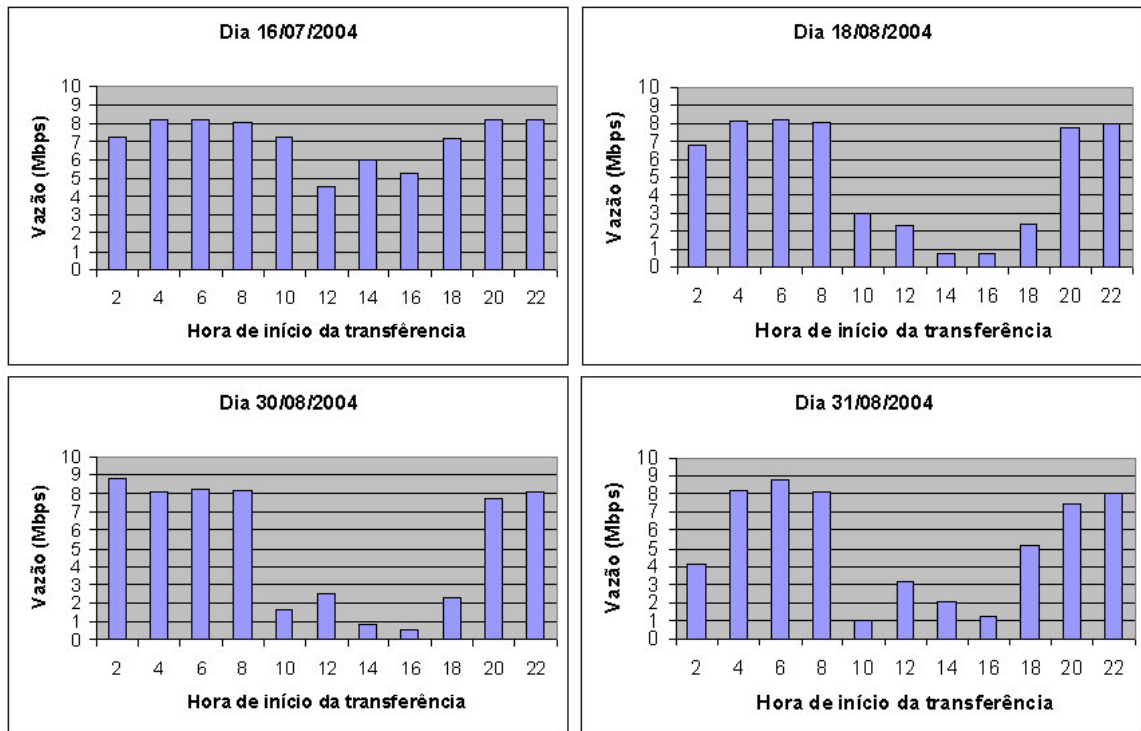


Figura 5.17: - Cenário dos experimentos com o serviço Cata-lixo

as configurações de banda para o serviço Cata-lixo, observamos que a vazão média é 320% superior à banda configurada no *link* RS ↔ SP, para o serviço Cata-lixo e 530% superior à banda configurada no *link* RJ ↔ BA. O Apêndice B contém os gráficos que mostram o comportamento da classe de serviço Cata-lixo, na interface de saída do roteador do POP-RS em direção ao POP-SP, para os dias 16/07/2004 e 18/08/2004.

Os resultados mostraram que é viável a utilização do serviço Cata-lixo para o tráfego gerado pelas medições com o Netflow e, conseqüentemente, para outras aplicações TCP que não sejam interativas e que gerem grande volume de dados. Foi observado que o problema de perdas de pacotes afetou também o desempenho deste serviço, pois, em alguns momentos, a vazão alcançada na transferência foi menor que o limite de banda configurado para o serviço.

## 6 CONCLUSÕES

A partir do cenário de experimentos (vide figura 3.1), foram realizados testes fim-a-fim entre a Unifacs e o POP-SC e a Unifacs e o POP-RS. Foram também realizados testes intermediários entre os POPS que ligam a Unifacs ao POP-SC. Foram definidas configurações para os serviços expresso (EF), o serviço assegurado (AF), o serviço catalixo e o serviço de melhor esforço. Só havia QoS configurada ente os PoPs BA, RJ e SP. A Unifacs e o POP-SC usaram o serviço de melhor esforço. Entre o POP-SP e o POP-RS foi configurado o serviço catalixo.

### Aplicação das configurações de QoS na rede

O serviço EF e AF não foram completamente implementado por limitações dos roteadores. O sistema operacional dos roteadores Cisco 7507, só suportava QoS nas interfaces VIP (*Versatile Interface Processor*). As demais interfaces ficaram sem configuração.

Nos roteadores 12008 GSR não foi possível fazer marcação nem classificar os pacotes através de listas de acesso (ACL — *Access Control List*). Portanto o controle de acesso aos serviços da rede ficou prejudicado.

Nos roteadores 12000, por limitações da placa de rede, não foi configurado o serviço EF. O Mecanismos MDRR, nas placas POS *engine 0*, só pode ser configurado no modo “prioridade estrita”. O suporte técnico da RNP preferiu não usar para não prejudicar as demais classes de serviços. Foi criada uma classe de serviço AF com maior banda para receber o tráfego EF.

Na rede local do POP-RJ havia necessidade de se configurar QoS entre um Cisco 7507 e um 12008, mas a interface FastEthernet não suportava configuração de QoS. Este trecho do caminho (dentro do POP-RJ) ficou sem configuração de QoS.

O roteador Cisco 7507 do POP-SC apresentou problemas técnicos e não possível configurar QoS.

### Testes com VOIP

Os testes com Voz sobre IP foram medidos com a ferramenta OWAMP e foram realizados entre a Unifacs e o POP-SC. Os testes foram realizados de 15 em 15 minutos das 08 às

20 hs. Durante um período dos meses de Julho e Agosto.

Em paralelo a estes testes, foram realizados testes com as ferramentas Callgen e Ope-nam. Estas ferramentas abrem e atendem ligações telefônicas sobre IP. Elas foram configurados para executarem de 15 em 15 minutos, das 08 às 20 hs, de segunda à sexta-feira. As ligações VOIP duraram 5 minutos e o intervalo entre elas foi de 10 minutos.

O Objetivo dos testes foi avaliar a rede para a utilização de aplicações Voz sobre IP do GT-VOIP. Através dos parâmetros atraso, variação de atraso e perda de pacotes.

Testes com Vídeo

Os testes com Vídeo foram realizados em duas etapas: Testes com o medidor OWAMP e testes com *traces* de vídeo.

Os testes com o owamp foram feito entre a Unifacs e o POP-SC fim-a-fim e também entre os computadores onde estavam instalados os refletores vídeo dos POPs. Os testes foram realizados de 15 em 15 minutos de segunda à sexta-feira e em alguns períodos de novembro a dezembro de 2004.

Foram realizados testes com *traces* de vídeo MPEG2, capturados com a ferramenta TCPDUMP. Foram utilizados 5 traces com duração de 3 minutos. Os testes foram realizados entre a Unifacs e o POP-SC (nos dois sentidos), de 10 em 10 minutos, das 08 até às 20hs e num período de Julho de 2004.

O Objetivo dos testes foi avaliar a rede para as aplicações de vídeo do GT-Vídeo. Através dos parâmetros atraso, variação de atraso e perdas de pacotes.

Testes com o serviço Catalixo

O cenário de testes possuía um servidor Netflow e uma máquina coletora do tráfego (vide figura 5.16). Um servidor Rsync instalado no computador servidor Netflow recebia o tráfego de medições de duas em duas horas, a partir do cliente Rsync na máquina coletora Netflow. A transferência era feita das 02 às 22hs.

O Objetivo dos testes foi o de avaliar viabilidade do uso do serviço no backbone da RNP. O parâmetro medido foi a vazão de transferência do tráfego do Netflow.

Este capítulo apresenta os resultados destes experimentos e uma breve avaliação do Piloto de QoS realizado na RNP. A seção 6.1 descreve os resultados obtidos e sugestões para experimentos futuros nesta rede e a seção 6.2 faz uma avaliação do projeto e suas contribuições e benefícios.

## 6.1 AVALIAÇÃO DOS SERVIÇOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos com testes assim como recomendações para experimentos futuros para os serviços Premium, Assegurado e Catalixo, respectivamente

nas subseções 6.1.1, 6.1.2 e 6.1.3. Finalmente, a subseção 6.1.4 descreve os problemas enfrentados durante o piloto e as soluções propostas para superá-los.

### 6.1.1 Experimentos com o Serviço Premium (EF)

Os resultados obtidos com o atraso mostraram um desempenho muito próximo entre os serviços de Melhor Esforço e o Serviço Premium configurado nos testes. A maioria dos resultados para os dois serviços foi inferior a 100 ms e segundo (MIRAS, 2002), o atraso inferior a 150 ms não é percebido pelo usuário da aplicação VoIP.

Os resultados com a variação de atraso também foram muito próximos entre os serviços testados e atenderam aos requisitos da aplicação, que suporta um limite máximo de 75 ms. Os histogramas mostraram que os resultados obtidos no primeiro mês de testes, tiveram a maior ocorrência inferior a 0,5 ms. Porém, no segundo mês de testes, houve um aumento da variação de atraso e conseqüente aumento da ocorrência de valores em faixas com limites maiores.

As capacidades dos *links*, bem como a topologia da rede troncal da RNP, tinham sido atualizadas a partir de março de 2004 e, inicialmente, o excedente de banda era maior. A conclusão é que a variação de atraso aumentou com o crescimento gradual da utilização da rede.

O desempenho próximo entre os dois serviços era esperado por causa do excesso de banda nos *links* da RNP, após o aumento das velocidades nos enlaces da rede troncal. É importante considerar também que o serviço a que chamamos de Premium foi, na verdade, um misto de serviço EF e AF. Em alguns roteadores havia priorização de pacotes e garantia de banda e, em outros roteadores, somente a garantia de uma banda mínima. Como nos resultados de atraso obtidos no laboratório realizado na UFSC (MONTEIRO et al., 2004), o serviço Premium teve o desempenho um pouco superior aos outros serviços testados. Porém, para se fazer uma comparação mais exata na rede de produção, seria necessária a configuração plena do serviço EF em todos os roteadores da rede.

O grande problema identificado na rede, que afetou o desempenho de todos os serviços foi a perda de pacotes. Não foi observado nenhum descarte de pacotes para o serviço Premium nos roteadores que puderam ser monitorados com a ferramenta AMIQ (Ambiente de Monitoração IP QoS) (CARLSON, 2005). Porém, não é garantido que não houve descarte nos roteadores 12008, pois apesar dos fluxos de testes nunca ultrapassarem a banda configurada, é possível que outros fluxos de voz ou outros tipos de tráfego, marcados como EF tenham usado o serviço nos momentos dos testes.

Como visto na subseção 4.3.3, foi observado um problema de perdas de pacotes na ligação entre os roteadores 7507 e 12008 do POP-RJ, que afetou todos os testes. Foi também identificado um gargalo na ligação POP-RJ → POP-BA, em alguns horários do dia, que afetou

muito o serviço de melhor esforço (BE). O roteador 7507 do POP-SC pode também ter sido um dos pontos de perdas, pois não houve configuração de QoS e o único serviço oferecido foi o BE.

É recomendado que os experimentos com o serviço Premium sejam continuados com a implementação completa do PHB EF em todos os enlaces da rede troncal. Dessa vez, sugere-se que os testes sejam realizados com mais de uma aplicação interativa como tráfego alvo, por exemplo, VoIP e Vídeo Conferência, para se observar o comportamento do serviço quando atende aplicações de tempo real diferentes e o seu efeito no desempenho destas aplicações. Sugere-se que os testes sejam realizados envolvendo mais pontos de presença (PoPs) e que sejam monitorados todos os equipamentos envolvidos.

Seria importante o uso de uma ferramenta de monitoração que guardasse o histórico do período de testes, com os gráficos gerados e de fácil recuperação de resultados. A ferramenta QPM da Cisco (CISCO, 2003b) possui estas características e foi usada em laboratório no piloto GTQoS2. Por questões operacionais, não foi possível usá-la nos testes na rede de produção porque era necessário o acesso à conta e senha do usuário administrador dos roteadores. Por questões de segurança a RNP não permite este tipo de testes.

### **6.1.2 Experimentos com Serviço Assegurado (AF)**

Para os testes realizados com *traces* de vídeo, os resultados de atraso obtidos nos experimentos mostraram que os serviços AF e BE atendem aos requisitos de aplicações de fluxo contínuo de Vídeo e, possivelmente, atenderão a uma aplicação de vídeo interativa. Em relação à vazão do tráfego, tanto o serviço AF como o BE conseguiram manter a vazão do tráfego próximas da taxa gerada originalmente. Com exceção para os momentos em que houve perdas de pacotes.

Nos testes com mais de um fluxo de vídeo, foi observada uma diferença entre os resultados do serviço AF nos dois sentidos de tráfego, por causa dos diferentes tratamentos a que foram submetidos estes pacotes em cada sentido de teste. Os resultados mostraram que, numa situação de alta utilização do serviço AF, houve um menor aumento de atraso para o tráfego policiado e remarcado para o serviço BE, que para o tráfego do serviço AF que recebeu banda emprestada das outras classes.

As perdas foram maiores no sentido de teste POP-SC até a UNIFACS por conta da ligação entre os roteadores 7507 e 12008 do POP-RJ e também por causa do gargalo no enlace POP-RJ → POP-BA conforme relatado na subseção 5.4.2. Nos testes com mais de um fluxo, as perdas foram menores no sentido de teste UNIFACS até o POP-SC, onde o serviço AF fez policiamento da taxa do tráfego recebido, remarcando o excedente para o serviço de melhor esforço. Esta pode ser uma opção viável de policiamento para o serviço AF, pois os resulta-



dos de atraso estiveram dentro dos limites aceitáveis e as perdas foram menores que as perdas encontradas para este serviço, no sentido POP-SC até a UNIFACS.

Os resultados de atraso e perda obtidos com o medidor OWAMP e os servidores de vídeo confirmaram os resultados obtidos com os testes de trace. Os serviços AF e BE foram adequados para as aplicações de vídeo em termos de atraso e de variação de atraso, mas não em relação às perdas. Como os testes demonstraram, o problema de perdas não está diretamente ligado aos serviços, mas ao subdimensionamento do *link* entre o POP-RJ e o POP-BA, em alguns horários e, também, às condições físicas na ligação entre alguns equipamentos. Houve também indícios de outras fontes de perdas nas redes dos servidores de vídeo, pois os resultados foram diferentes dos obtidos fim-a-fim. A perda de pacotes foi o fator determinante para o baixo desempenho das aplicações de vídeo e de voz.

Em junho de 2005 os roteadores Cisco foram trocados por Roteadores Juniper M320 e M40. Recomenda-se a continuação dos experimentos com o serviço AF, na nova infra-estrutura da RNP. Sugere-se que sejam utilizadas aplicações elásticas diferentes na mesma classe de serviço e sejam implementados os três níveis de precedência de descarte com o protocolo *Weighted Random Early Detection* (WRED) (CISCO, 2005), para avaliação do comportamento destas aplicações nas situações de congestionamento da classe.

### 6.1.3 O Serviço Cata-lixo

Os resultados obtidos nos testes com o serviço Cata-lixo demonstraram que tanto a rede como a transferência dos dados gerados pelo Netflow foram beneficiadas pelo uso deste serviço. Os gráficos de vazão mostraram que quando houve sobra de banda, o tráfego Cata-lixo alcançou uma alta vazão, enquanto que nos momentos de maior utilização das outras classes de serviço, ele usou a banda mínima. O problema de perdas de pacotes também afetou estes testes, pois, em alguns horários, o tráfego Cata-lixo usou uma banda menor que a disponível para ele por causa do controle de congestionamento do protocolo TCP (vide a subseção 5.5.2).

Como só foi possível a implementação do serviço para um coletor Netflow, um estudo sobre o dimensionamento do serviço para este tráfego não foi realizado. Recomenda-se que estes testes sejam estendidos com a inclusão do tráfego dos outros coletores, para observação do comportamento do serviço e se os dados chegam a tempo de serem processados na infra-estrutura de medições. Sugere-se também a inclusão gradual de outras aplicações não interativas e observação do serviço e o nível de satisfação dos usuários para uma possível implantação do serviço numa escala maior.

### 6.1.4 Problemas Encontrados e Soluções Propostas

Tivemos alguns problemas com as medições ativas com OWAMP, pois alguns dos testes agendados não produziram o resultado esperado. Foi descoberto que a ferramenta OWAMP atende a um número limitado de solicitações de testes. Os testes realizados pelo piloto de serviços utilizaram os mesmos equipamentos do piloto de medições e aconteceu a coincidência de testes dos dois pilotos em alguns dias e horários. Por conta disso, alguns resultados foram perdidos porque o OWAMP não suportou todas as solicitações. Recomenda-se que seja feita uma avaliação na ferramenta OWAMP para se descobrir se o número de solicitações é um parâmetro configurável e até quantas solicitações a ferramenta suporta.

O projeto GigaQoM: Infra-Estrutura de Medições para a Rede GIGA, realizado em parceria pelas universidades UFF, UFSC, UFRGS, FURG, CPqD, e Netwatch; e financiado pela RNP-Funttel-FINEP, está desenvolvendo um serviço chamado Protetor de Recursos que tem o objetivo de proteger os recursos da rede. Isso possibilita ao ponto de medição controlar o número de testes agendados (MONTEIRO, 2006).

Outra dificuldade encontrada foi com as ferramentas de medições passivas que estavam sendo testadas e customizadas ao mesmo tempo em que o piloto de serviços estava sendo realizado. Existiam dois pilotos: um de medições e um de serviços funcionando em paralelo. Por isso não foi possível aproveitar muito o seu potencial como esperado no primeiro momento. Recomenda-se que, para testes futuros, estas ferramentas estejam já implantadas e em uso.

Sobre as ferramentas de monitoração dos equipamentos da rede, recomenda-se que sejam escolhidas ferramentas que possam guardar o histórico de um período de testes e a partir destas informações seja possível a geração de gráficos automaticamente. Alguns exemplos deste tipo de ferramenta são: A ferramenta QPM *Cisco QoS Policy Manager* para monitoração dos roteadores e das políticas de serviço (CISCO, 2003b). A ferramenta AMIQ (Ambiente de Monitoração IP QoS) que é uma ferramenta de código aberto, desenvolvida para gerenciamento de classes de serviço e adaptada para roteadores Cisco 7507 com a MIB *Class-based QoS*. Os roteadores Juniper possuem um agente mestre SNMP e um agente MIB II com suporte a SNMPv1 e SNMPv2 para monitoração dos equipamentos. Qualquer ferramenta de monitoração com suporte a SNMP e à MIB II poderá ser usada para monitorar estes roteadores (JUNIPER, 2007b) (JUNIPER, 2007a).

Foi necessária a recuperação de informações do uso de banda nos *links* para o período de testes de 2004. A RNP disponibilizou um acesso a estes dados, através da ferramenta Cacti (BERRY; ROMAN; ADAMS, 2005). Porém, os gráficos gerados não continham as mesmas informações dos gráficos originais, gerados com o MRTG no dia do experimento. A ferramenta Cacti gerou dados resumidos daquele período. A solução para este tipo de problema, seria

armazenar as informações completas por um período de tempo.

Finalmente, uma grande dificuldade enfrentada nestes experimentos foi o tratamento dos dados de testes. Pois, avaliar o desempenho dos serviços Premium, Assegurado e Catalixo em uma rede como a RNP, envolve grande quantidade de testes e, conseqüentemente, um grande volume de dados para tratar. Como o esquema de medição com o OWAMP (vide Seções 4.1 e 4.2.1) foi um pouco diferente do que estava em serviço no piloto de medições, não foi possível usar os recursos de visualização gráfica, disponíveis na infra-estrutura de medições, naquele momento.

Os dados obtidos com o rude/crude causaram a mesma dificuldade, pois geraram grande volume de dados para tratar e gerar gráficos manualmente. Recomenda-se que, antes do início de um experimento como este, seja desenvolvida uma ferramenta flexível para tratamento e visualização de dados originados a partir de ferramentas de medições diferentes. As métricas escolhidas dependerão do objetivo do trabalho. Neste trabalho, as métricas que necessitaram de visualização foram o percentual de perda, o atraso em um sentido, a variação de atraso e a vazão.

## 6.2 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Como foi visto na seção anterior, os resultados dos experimentos mostraram que, nas condições do cenário de testes, não foi possível afirmar a necessidade de uma solução de QoS para as aplicações de Voz e Vídeo porque os resultados entre os serviços testados foram muito próximos e estiveram na faixa dos requisitos necessários às aplicações. Mas, também não foi possível afirmar que a QoS plenamente configurada, não apresentasse um desempenho superior ao serviço de melhor esforço.

Porém, a realização dos experimentos possibilitaram a identificação de um problema grave de perdas de pacotes que não dependiam dos mecanismos, nem da solução de QoS adotada, mas, foi conseqüência do estado físico dos equipamentos e do dimensionamento das capacidades de um dos *links*.

A maior contribuição esperada deste trabalho seria a composição de uma solução de QoS customizada para o caso da RNP, voltada para as aplicações multimídia. Mas, os resultados mostraram a necessidade de novos experimentos para alcançar este objetivo em particular agora com a troca de equipamentos e nova atualização das capacidades dos enlaces da rede troncal.

Apesar de não se ter obtido uma solução de QoS para as aplicações de Voz e Vídeo para a RNP, é inegável que todas as partes envolvidas na execução do projeto foram beneficiadas com o conhecimento adquirido com o piloto. Além do conhecimento teórico das técnicas e mecanismos usados para a obtenção de QoS e controle de tráfego, foi possível conhecer a

complexidade da implementação do serviços diferenciados na RNP.

Avaliando o piloto enquanto projeto, foram observadas algumas falhas que servem como experiência para trabalhos futuros. A primeira foi o funcionamento do piloto de QoS em paralelo com o piloto de medições. Foi observado que seria mais adequado que os experimentos de medições fossem realizados antes dos testes de QoS e, somente depois das ferramentas estudadas, instaladas, customizadas e a rede instrumentada, deveriam ser executados os experimentos com QoS. Algumas dificuldades de ordem administrativa também prejudicaram o piloto, tais como a dificuldade de acesso a alguns servidores de medições e as limitações de segurança no acesso aos equipamentos roteadores. Não é possível fazer muitos testes numa rede em produção e, mais difícil, quando a equipe de avaliação não faz parte do corpo técnico da rede.

### **6.3 PROPOSTA PARA A CONTINUAÇÃO DOS EXPERIMENTOS**

A partir do ano de 2005, a rede da RNP teve seus enlaces e equipamentos atualizados. Os roteadores principais da rede são hoje do fabricante *Juniper Networks*. Os modelos instalados são os M320, M40, M10i e M7i que, de acordo com o seu fabricante (JUNIPER, 2005), têm suporte a qualidade de serviço. Atualmente, a RNP está estudando as características de QoS destes roteadores e criou um projeto interno para a definição de classes de serviço que atendam as demandas de QoS da rede.

Segundo informações da operação da rede, o projeto VoIP4ALL (RNP, 2007) solicitou a configuração de QoS no POP-TO (Ponto de presença Tocantins) e no POP-AM (Ponto de presença Amazônia). Estes dois POPs estão ligados à rede com enlaces de 4 e 16 Mbps de banda.

Ainda existem roteadores Cisco em operação fazendo a distribuição nos POPs ou localizados nos clientes. Segundo a RNP, os módulos dos roteadores Cisco 7507 do POP-RJ e POP-DF que causavam perdas de pacotes foram substituídos. As limitações de QoS continuarão a existir para os módulos destes roteadores que não suportarem QoS. Quanto aos roteadores Cisco 12008, eles não sofreram atualização de Hardware.

As recomendações para continuação dos experimentos feitas anteriormente foram baseadas na situação da rede na época dos experimentos. Mas, como pode ser visto, já há demanda de QoS para esta nova infra-estrutura da rede e a RNP já está se movimentando no sentido de atender a esta demanda. Como a rede é composta por roteadores Juniper na rede troncal e Cisco na distribuição de enlaces para os clientes, é necessário que o projeto de QoS da RNP atual leve em consideração as limitação já identificadas neste trabalho. Ou seja, além de verificar

o desempenho de QoS dos novos equipamentos é necessário tratar, na medida do possível, as limitações dos equipamentos antigos.

Descreveremos a seguir um esboço de como estes experimentos poderiam ser realizados. As atividades básicas recomendadas são:

- Planejamento dos experimentos:
  1. Escolher as aplicações alvo:
    - (a) Estudar suas características.
    - (b) Levantar os requisitos necessários para o seu funcionamento na rede.
  2. Levantamento dos recursos necessários: tais como roteadores, pontos de medição, máquinas para testes etc. E que tipo de acesso a estes recursos serão necessários. Para que o andamento dos experimentos não seja dificultado.
- Montar uma Equipe para os experimentos:
  1. Nivelamento da equipe: As pessoas devem ter conhecimento prévio dos objetivos e tarefas a serem executadas. Se for possível, os técnicos já devem ter conhecimento sobre o assunto. Caso contrário, este estudo deve ser realizado antes do início dos experimentos.
  2. Facilidade de comunicação: mesmo que a equipe não esteja fisicamente no mesmo local, é preciso contar com um meio ágil de comunicação. A dificuldade de comunicação pode atrasar em muito o andamento dos experimentos.
  3. A equipe deve estar dedicada aos experimentos de forma que o trabalho de cada membro seja um benefício para o outro.
- Selecionar ferramentas de medição e monitoração:
  1. Escolher ferramentas de medição já testadas e verificar as limitações das ferramentas para saber, entre outras coisas, o número de testes suportados. Sugerimos testes com as ferramentas utilizadas neste trabalho: o OWAMP para medições ativas, o Netramet para medições passivas e o AMIQ para monitoração via SNMP de alguns roteadores Cisco.
  2. Fazer testes voltados para medições de QoS. Ou seja, as ferramentas devem dar como retorno as métricas definidas para a análise do desempenho de QoS.
  3. Observar facilidade de tratamento de dados. Se possível, escolher ferramenta com interface amigável para manipulação dos dados gerados nas medições. Se não for

possível, desenvolver uma ferramenta para tratar os dados gerados pelas ferramentas de medições e também gerar os gráficos necessários.

- Ajustar ferramentas para os testes com QoS na Rede:
  1. Realizar testes para ajustar as ferramentas de medição para as métricas de interesse.
  2. Tratar os dados para a obtenção de gráficos de interesse.
  
- Montar cenário de testes:
  1. Ajustar as ferramentas de medições ao longo do caminho:
    - (i) Observar características das máquinas de medição; (ii) Instalar os softwares necessários (se for o caso); (iii) Sincronizar os pontos de medições de atraso em um sentido; (iv) Observar se a coleta de dados medidos está sendo feita ou se há algum problema ou erro. Ajustar a configuração, se for o caso; (v) Observar o tempo gasto para obtenção dos resultados.
  2. Hosts clientes:
    - (i) Escolher equipamentos adequados (HD, Softwares instalados, Memória). Verificar se a máquina possui espaço em disco suficiente para instalação de *softwares* e para armazenar os dados de testes, softwares necessários instalados e se a máquina possui quantidade de memória RAM (*Random Access Memory*) adequada para não tornar os testes lentos. O valor da memória necessária depende dos softwares instalados na máquina; (ii) Sincronizar os relógios através de GPS ou servidor NTP mais próximo.
  3. Configurar os serviços de QoS nos roteadores: (i) Estudar as funcionalidades de QoS dos roteadores; (ii) Configurar e testar configurações para identificação de limitações; (iii) Ajustar as configurações para atender aos experimentos, se for possível.
  
- Testar cenário de Testes:
  1. Fazer testes preliminares para observar o funcionamento do esquema de medições.
  2. Observar tempo gasto na obtenção dos resultados de medição. Se for possível, ajustar ferramenta para otimizar o tempo. Se for possível, ajustar o esquema de medições para otimizar o tempo.
  3. Observar tempo gasto no tratamento dos dados e geração de gráficos. Se for necessário, ajustar a ferramenta gráfica para otimizar o tempo.

4. Fazer monitoramento dos roteadores envolvidos.
  5. Monitorar a rede local dos roteadores.
  6. Monitorar as redes locais dos *hosts* clientes para identificação de possíveis problemas.
  7. Monitoração dos *hosts* clientes (memória, processamento, placa de rede).
- Realização dos experimentos:
    1. Dividir os experimentos em séries para melhor identificação de possíveis problemas.
    2. Ajustar as configurações de QoS para os experimentos, se for necessário.
    3. Iniciar os testes.
    4. Monitorar os roteadores durante a execução de cada teste.
    5. Monitorar a rede local dos clientes durante os testes.
    6. Monitorar os equipamentos clientes diariamente.
    7. Guardar histórico de todas as monitorações para futura análise.
    8. Guardar histórico dos experimentos.
    9. Analisar gráficos diariamente. Isto ajuda na identificação de problemas, correções e ajustes de configurações de QoS ou das máquinas clientes.
    10. Não iniciar nova série de experimentos enquanto não completar a análise da série anterior.
    11. Observar o tempo gasto entre cada série de testes para “otimização” do tempo.

## Referências Bibliográficas

AGUIAR, P. H. et al. *Projeto-Piloto VoIP: requisitos de produção*. [S.l.], Agosto 2004. Disponível em: <<http://www.voip.nce.ufrj.br/publication/2004/gt-voip-p51av2.pdf>>.

ALMES, G.; KALIDINDI, S.; ZEKAUSKAS, M. *A One-way Delay Metric for IPPM*. Setembro 1999. RFC 2679.

AMOREIRA, L. J. M. *Medições e Erros*. Março 2005. Disponível em: <<http://www.dfisica.ubi.pt/amoreira/lectnotes/flnts.pdf>>.

BAKER, F.; BABIARZ, J.; CHAN, K. H. *Configuration Guidelines for DiffServ Service Classes*. Agosto 2006. RFC 4594.

BERRY, I.; ROMAN, T.; ADAMS, L. *CACTI The Complete rrdtool-based graphing solution*. 2005. Disponível em: <<http://www.cacti.net/>>.

BLAKE, S. et al. *An Architecture for Differentiated Services*. Dezembro 1998. RFC 2475.

BRADEN, R.; CLARK, D.; SHENKER, S. *Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview*. Junho 1994. RFC 1633.

BROWNLEE, N. *The NeTraMet System*. 2006. Disponível em: <<http://www2.auckland.ac.nz/net/NeTraMet/>>.

CAMPANELLA, M. *D2.1 addendum 1: Implementation architecture specification for the Premium IP service*. [S.l.], Outubro 2001. Disponível em: <<http://www.dante.net/sequin/deliverables/SEQ-01-044.pdf>>.

CARLSON, A. C. *Ambiente de Monitoração IP QoS*. 2005. Disponível em: <<http://www.pop-sc.rnp.br/site/amiq.php>>.

CASTRO, M. C. F. de; CASTRO, F. C. C. de. *Capítulo V - Introdução ao Sistema MPEG de Codificação de Vídeo*. Junho 2001. Notas de Aula. Disponível em: <<http://www.ee.pucrs.br/decastro/pdf/cs5.pdf>>.

CISCO. *Understanding and Configuring MDRR/WRED on the Cisco 12000 Series Internet Router*. 2002. Artigo Técnico. Disponível em: <[http://www.cisco.com/warp/public/63/mdrr\\_wred\\_overview.html](http://www.cisco.com/warp/public/63/mdrr_wred_overview.html)>.

CISCO. *Cisco 12000 Series Internet Router Architecture: Line Card Design*. 2003. Artigo Técnico. Disponível em [http://www.cisco.com/en/US/products/hw/routers/ps167/linebreakproducts/\\_tech/\\_note09186a00801e1dbd.shtml](http://www.cisco.com/en/US/products/hw/routers/ps167/linebreakproducts/_tech/_note09186a00801e1dbd.shtml), year =2003.

CISCO. *QoS Analysis Tutorial*. 2003. Tutorial Técnico. Disponível em: <<http://www.cisco.com/>>.

CISCO. *Weighted Random Early Detection (WRED)*. 2003. Artigo Técnico. Disponível em: <<http://www.cisco.com/>>.



CISCO. *Service Provider Quality of Service Design Guide*. 2004. Artigo Técnico. Disponível em: <[http://www.cisco.com/en/US/netsol/ns341/ns396/ns172/ns103/networking\\_solutions\\_white\\_paper09186a00801b1c5a.shtml](http://www.cisco.com/en/US/netsol/ns341/ns396/ns172/ns103/networking_solutions_white_paper09186a00801b1c5a.shtml)>.

CISCO. *Configuring Weighted Random Early Detection*. 2005. Manual Técnico. Disponível em: <[http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/software/ios122/122cgcr/fqos\\_c/fqcprt3/qcfwred.pdf](http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/software/ios122/122cgcr/fqos_c/fqcprt3/qcfwred.pdf)>.

CISCO. *Cisco IOS NetFlow*. 2006. Disponível em: <[http://www.cisco.com/en/US/products/ps6601/products\\_ios\\_protocol\\_group\\_home.html](http://www.cisco.com/en/US/products/ps6601/products_ios_protocol_group_home.html)>.

CISCO. *Class-Based Weighted Fair Queueing*. 2006. Artigo Técnico. Disponível em: <[http://www.cisco.com/en/US/products/sw/iOSSwrel/ps1830/products\\_white\\_paper09186a0080087a84.shtml](http://www.cisco.com/en/US/products/sw/iOSSwrel/ps1830/products_white_paper09186a0080087a84.shtml)>.

CISCO. *Comparing the bandwidth and priority Commands of a QoS Service Policy*. 2006. Artigo Técnico. Disponível em: <[http://www.cisco.com/en/US/tech/tk543/tk757/technologies\\_tech\\_note09186a0080103eae.shtml](http://www.cisco.com/en/US/tech/tk543/tk757/technologies_tech_note09186a0080103eae.shtml)>.

CISCO. *Congestion Management Overview*. 2006. Artigo Técnico. Disponível em: <<http://www.cisco.com/>>.

CISCO. *Home Page da Cisco*. 2006. Disponível em: <<http://www.cisco.com/>>.

CLARK, D. D.; FANG, W. Explicit allocation of best-effort packet delivery service. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, v. 6, n. 4, p. 362–373, 1998. ISSN 1063-6692.

CNPQ. *Chamada de Projetos Cooperativos*. 2006. Página do CNPq sobre os projetos Cooperativos. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/servicos/editais/ct/chamredeavan.htm>>.

DANTE. *IP Quality of Service*. 2004. Disponível em: <<http://www.dante.net/server/show/conWebDoc.500>>.

DEMICHELIS, C.; CHIMENTO, P. *IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM)*. Novembro 2002. RFC 3393.

DILÃO, R. *GPS (Global Positioning System)*. 2007. Disponível em: <<http://www.cienciaviva.pt/latlong/anterior/gps.asp>>.

ENDRUN. *GPS Timing*. 2007. Disponível em: <<http://www.endruntechnologies.com/gps-timing.htm>>.

EUROPE, D. of Advanced Network Technology to. *DANTE Website*. Setembro 2006. Disponível em: <<http://www.dante.net/>>.

FIROIU, V.; ZHANG, X. *Best Effort Differentiated Services: Trade-off Service Differentiation for Elastic Applications*. [S.l.], Setembro 2000.

FLOYD, S.; JACOBSON, V. Random early detection gateways for congestion avoidance. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, v. 1, n. 4, p. 397–413, 1993. ISSN 1063-6692. Disponível em: <<http://www.aciri.org/floyd/papers/early.ps.gz>>.

FLOYD, S.; JACOBSON, V. Link-sharing and resource management models for packet networks. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, ACM Press, v. 3, n. 4, p. 365–386, 1995. ISSN 1063-6692.

GÉANT2. *Bandwidth on Demand*. 2006. Disponível em: <<http://www.geant2.net/server/show/nav.756>>.

GÉANT2. *End-to-End Service Provision*. 2006. Disponível em: <<http://www.geant2.net/server/show/conWebDoc.998>>.

HARGREAVES, D.; SITTAMPALAM, G. *ECN*. 2007. Disponível em: <<http://urchin.earth.li/ecn/>>.

HEINANEN, J. et al. *Assured Forward PHB Group*. Junho 1999. RFC 2597.

HEINANEN, J.; FINLAND, T.; AND, R. G. *A Two Rate Three Color Marker*. Setembro 1999. RFC 2698.

HEINANEN, J.; GUERIN, R. *A Single Rate Three Color Marker*. Setembro 1999. RFC 2697.

HURLEY, P. et al. ABE: Providing a low-delay service within best effort. *IEEE Network Magazine*, v. 15, n. 3, p. 60–69, Maio 2001.

INTERNET2. *One-way Latency Measurement*. 2004. Disponível em: <<http://e2epi.internet2.edu/owamp/>>.

IPEMSP. *Conceitos Básicos sobre Medição*. 2006. Disponível em: <<http://www.ipem.sp.gov.br/5mt/medir.asp?vpro=abe>>.

JACOBSON, V.; NICHOLS, K.; PODURI, K. *An Expedited Forward PHB*. Junho 1999. RFC 2598.

JUNIPER. *Juniper Networks M-series Multiservice Edge Routing Portfolio*. 2003. Disponível em: <<http://www.juniper.net/products/mseries/>>.

JUNIPER. *M-series Routing Platforms*. Fevereiro 2005. Disponível em: <<http://www.juniper.net/products/mseries/100042.pdf>>.

JUNIPER. *Basic Router Component Monitoring Tools*. Abril 2007. Disponível em: <<http://www.juniper.net/techpubs/software/nog/nog-hardware/html/monitor-methodology3.html>>.

JUNIPER. *Software Monitoring Tools*. Abril 2007. Disponível em: <<http://www.juniper.net/techpubs/software/junos/junos57/swconfig57-getting-started/html/software-overview19.html>>.

KAMIENSKI, C. A.; SADOK, D. *Qualidade de Serviço na Internet*. Julho 2000. Disponível em: <<http://www.cin.ufpe.br/cak/publications/jai2000.pdf>>.

LAINE, J.; SAARISTO, S.; PRIOR, R. *RUDE & CRUDE*. 2004. Disponível em: <<http://rude.sourceforge.net/>>.

LINUX, U. *H.323 Call Generator*. 2005. Disponível em: <<http://www.usinglinux.org/net/callgen.html>>.

- MANTAR, H. *Two Three Color Markers*. Junho 2000. Disponível em: <<http://qbone.internet2.edu/bb/Bucket.doc>>.
- MICROSOFT. *Flowspecs and Filterspecs*. Novembro 2009. Disponível em: <<http://technet.microsoft.com/en-us/library/cc959583.aspx>>.
- MILLS, D.; LINKABIT, M.-C. *Network Time Protocol (NTP)*. Setembro 1985. RFC 958.
- MIRAS, D. *Network QoS Needs of Advanced Internet Applications A Survey*. Novembro 2002. Disponível em: <<http://qos.internet2.edu/wg/apps/fellowship/Docs/Internet2AppsQoSNeeds.pdf>>.
- MONTEIRO, J. A. S. *GT Medições 2 - RT2: Proposta do protótipo*. Maio 2006. Disponível em: <<http://wiki.nuperc.unifacs.br/wiki/images/6/61/gt-med2-rt2.pdf>>.
- MONTEIRO, J. A. S.; SAMPAIO, L.; FIGUEREDO, M. *Qualidade de Serviço: Diagnóstico e Alternativas*. [S.l.], Outubro 2002.
- MONTEIRO, J. A. S. et al. *GT-QoS2: Documento de Avaliação dos Pilotos*. [S.l.], Julho 2004. Disponível em: <<http://www.nuperc.unifacs.br/gtqos2/planejamento.htm>>.
- MURHAMMER, M. W. et al. *TCP/IP Tutorial e Técnico*. [S.l.]: MAKROM, 2000. Livro Técnico. ISBN 85-346-1188-2.
- NEVE, P. D. et al. *MPEG video streamed over an IP-based network with packet loss*. 2003. Relatório Técnico. Disponível em: <[http://www.ibcn.intec.ugent.be/css\\_design/research/topics/2003/FTW\\_PhD29\\_PhilippeDeNeve.pdf](http://www.ibcn.intec.ugent.be/css_design/research/topics/2003/FTW_PhD29_PhilippeDeNeve.pdf)>.
- NICHOLS, K.; CARPENTER, B. *Definition of Differentiated Services Per Domain Behaviors and Rules for their Specification*. 2001. RFC 3086.
- NORTEL. *Packet Loss and Packet Loss Concealment*. Junho 2001. Artigo Técnico. Disponível em: <[http://www.nortel.com/products/01/succession/es/collateral/tb\\_pktloss.pdf](http://www.nortel.com/products/01/succession/es/collateral/tb_pktloss.pdf)>.
- OETIKER, T.; RAND, D. *The Multi Router Traffic Grapher*. 2006. Disponível em: <<http://mrtg.hdl.com/mrtg.html>>.
- OPENH323. *OpenAM H.323 answering machine*. 2004. Disponível em: <[http://www.openh323.org/bin/openam\\_20030308\\_linux\\_x86.tar.gz](http://www.openh323.org/bin/openam_20030308_linux_x86.tar.gz)>.
- OPENH.323. *What does OpenAM do?* 2005. Disponível em: <<http://www.openh323.org/fom-serve/cache/63.html>>.
- OYAMA, C. S. O. *Configuração QoS para VoIP*. [S.l.], Julho 2004.
- OYAMA, C. S. O.; LUCENA, S. C. de. *Considerações acerca do estabelecimento de QoS no RNP2*. Maio 2002. Boletim Bimestral sobre tecnologias de rede. Disponível em: <[http://www.rnp.br/newsgen/0205/qos\\_rnp.html](http://www.rnp.br/newsgen/0205/qos_rnp.html)>.
- PAXSON, V. et al. *Framework for IP Performance Metrics*. Maio 1998. RFC 2330.
- PROJECT, N. *NTP: The Network Time Protocol*. 2007. Disponível em: <<http://www.ntp.org/>>.
- PROJECT, N. P. S. *home of the NTP Public Services Project*. 2007. Disponível em: <<http://ntp.isc.org/bin/view/Main/WebHome>>.

- PROJECT, V. *VLC - the cross-platform media player and streaming server*. 2005. Disponível em: <<http://www.videolan.org/vlc/>>.
- RAISANEN, V.; GROTEFELD, G.; MORTON, A. *Network performance measurement with periodic streams*. Novembro 2002. RFC 3432.
- RIOS, D. R. *Novo Minidicionário Escolar da Língua Portuguesa*. [S.l.]: DCL, 1999. Dicionário. ISBN 85-7338-350-X.
- RNP. *GT Vídeo Digital 2*. 2005. Disponível em: <<http://www.rnp.br/pd/gts2003-2004/gt-vd2.html>>.
- RNP. *GT VoIP Avançado*. 2005. Disponível em: <<http://www.rnp.br/pd/gts2004-2005/voip.html>>.
- RNP. *Projetos cooperativos em redes avançadas*. 2006. Texto sobre os Projetos cooperativos. Disponível em: <<http://www.rnp.br/editais/redesavancadas.html>>.
- RNP. *RNP promove I Workshop do projeto VoIP4all*. Março 2007. Disponível em: <<http://www.rnp.br/noticias/2006/not-060525.html>>.
- SHALUNOV, S.; TEITELBAUM, B. *QBone Scavenger Service (QBSS) Definition*. Março 2001. Relatório Técnico. Disponível em: <<http://www.internet2.edu/qos/wg/wg-documents/qbss-definition.txt>>.
- SHENKER, S.; PARTRIDGE, C.; GUERIN, R. *Specification of Guaranteed Quality of Service*. Setembro 1997. RFC 2212.
- TANENBAUM, A. S. *Redes de Computadores*. [S.l.]: Campus, 2003. Livro Técnico. ISBN 85-352-1185-3.
- TCPDUMP. *TCPDUMP*. 2004. Disponível em: <<http://www.tcpdump.org/>>.
- TEITELBAUM, B. *QBone Architecture (v1.0)*. Agosto 1999. Internet2 QoS W.G. Disponível em: <<http://qbone.internet2.edu/arch/>>.
- TEITELBAUM, B. *Future Priorities for Internet2 QoS*. Setembro 2001. Disponível em: <<http://qos.internet2.edu/wg/documents-informational/20011002-teitelbaum-qos-futures.pdf>>.
- TRIDGELL, A.; MACKERRAS, P. *Rsync*. 2005. Disponível em: <<http://rsync.samba.org/>>.
- UKERNA. *Report of Quality of Service Think Tank*. Julho 2001. Relatório Técnico. Disponível em: <<http://www.ja.net/development/qos/qos-tt-report.pdf>>.
- WROCLAWSKI, J. *Specification of the Controlled-Load Network Element Service*. Setembro 1997. RFC 2211.

## APÊNDICE A – GRÁFICOS DO NETRAMET

Os gráficos apresentados a seguir, foram coletados na rede da UNIFACS, onde estavam localizados os clientes das aplicações geradoras de tráfego e medidores OWAMP (Vide a Figura 4.1). Os gráficos mostram a vazão para o tráfego de saída desta rede. Na abscissa estão representados os horários dos testes e, na ordenada do gráfico, a vazão em bits por segundo e em escala logarítmica.

A classificação do tráfego foi feita a partir dos códigos DSCPs, marcados nos pacotes IP (vide a Tabela 3.1) das aplicações de teste. É importante salientar que estas aplicações somente marcaram tráfego AF, BE e EF. O resíduo de tráfego com marcação para o serviço Cata-lixo, mostrado nos gráficos, é oriundo de outras máquinas presentes na rede.

As Figuras A.1 e A.2 mostram a utilização da rede no período de 16/07 a 23/07. Em todo o período é visível a presença de tráfego marcado para todas as quatro classes de serviço principais. Sendo que a maior parte do tráfego é marcado para o serviço de Melhor Esforço. O tráfego para o serviço EF mostra vazão aproximada de 10 kbps, porque para o cálculo de banda foi usado o intervalo de uma hora.

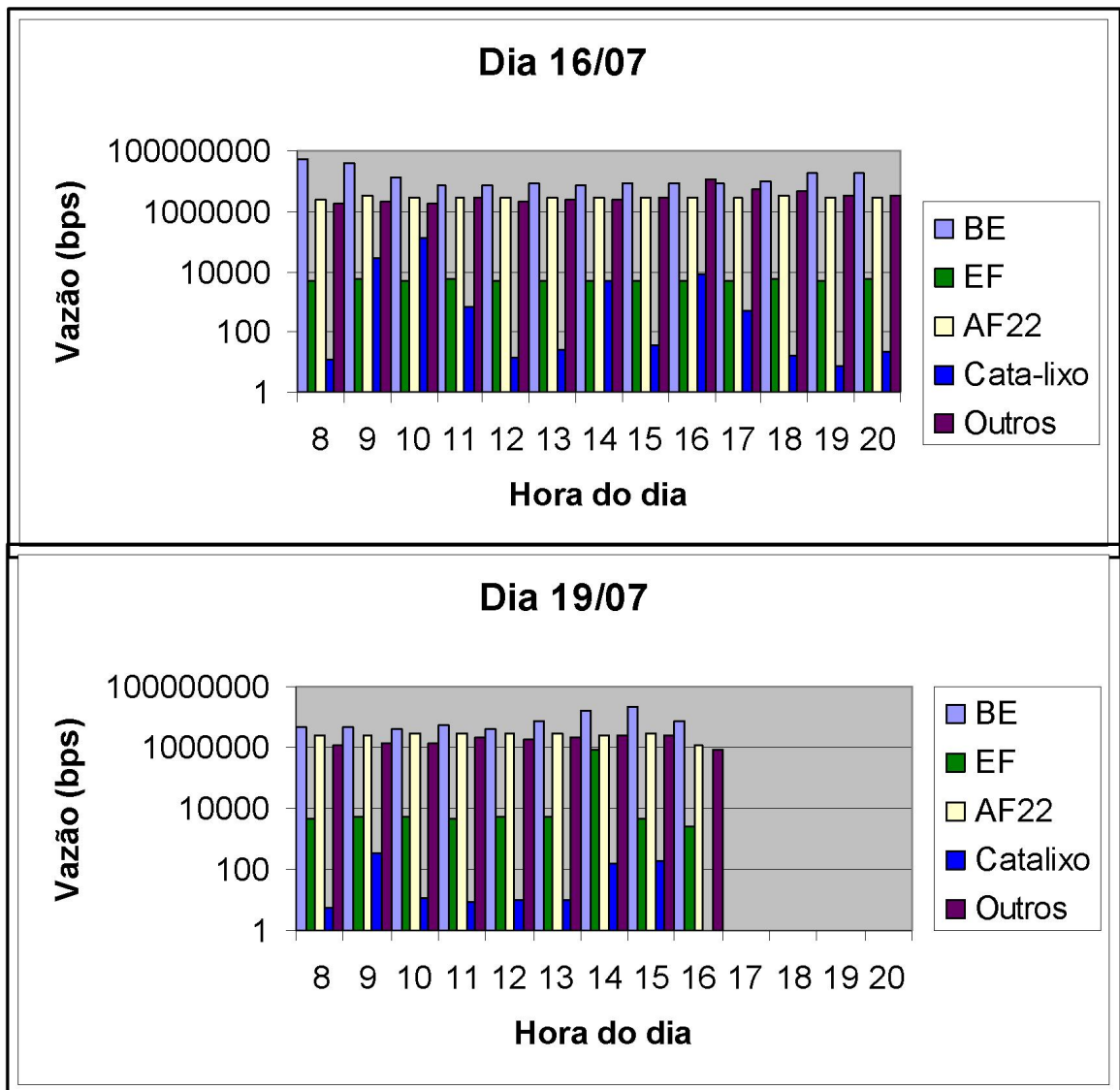


Figura A.1: - Estatísticas de Vazão para a coleta de tráfego com o Netramet nos dias 16 e 19/07/2004

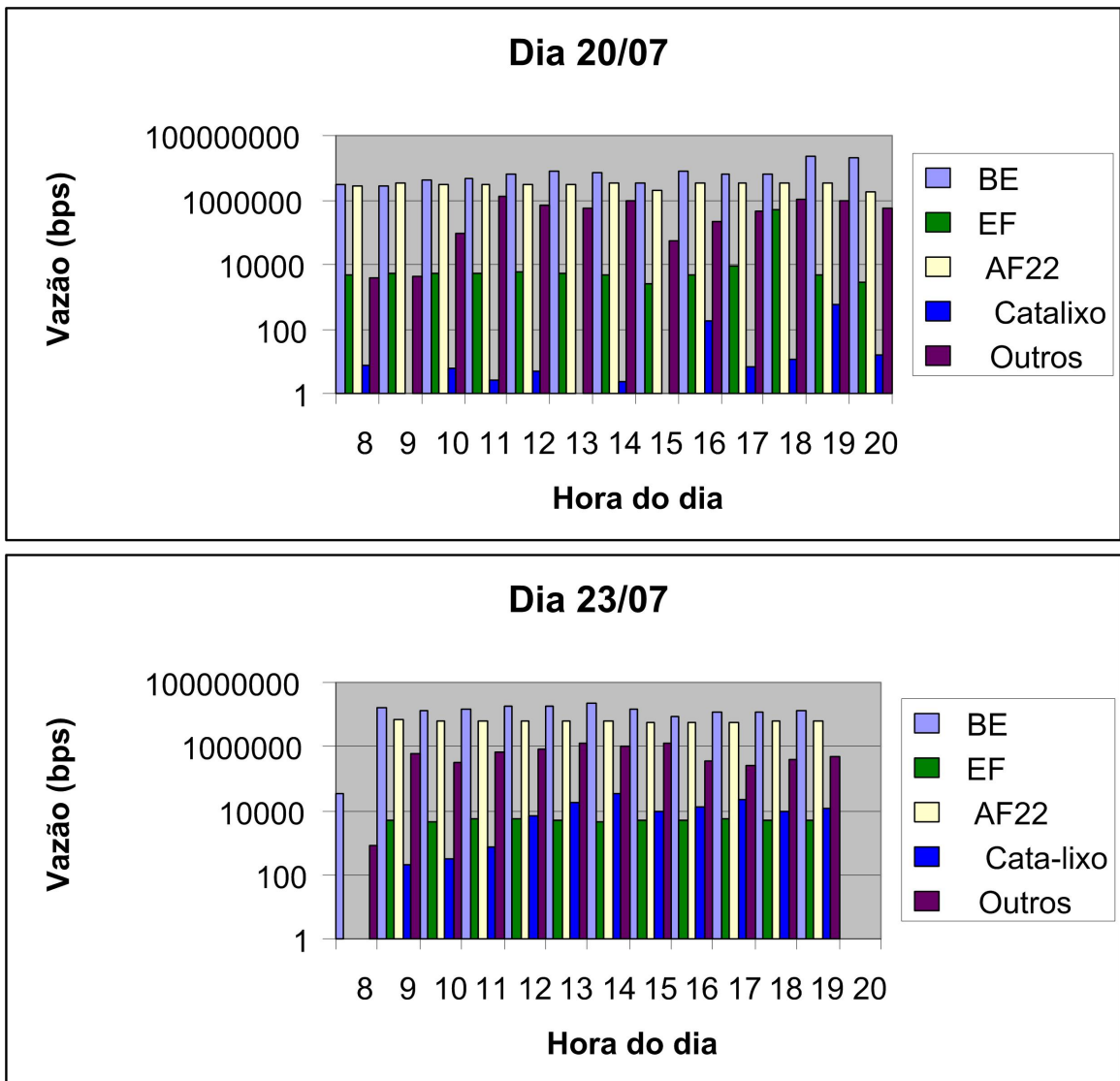


Figura A.2: - Estatísticas de Vazão para a coleta de tráfego com o Netramet nos dias de 20 e 23/07/2004

## APÊNDICE B – GRÁFICOS DO AMIQ

Neste apêndice são apresentados alguns gráficos gerados pela ferramenta AMIQ, desenvolvida na UFSC (CARLSON, 2005). A ferramenta AMIQ gera gráficos que mostram a utilização de banda das classes de serviços configuradas nos roteadores Cisco, que suportam a MIB CAR (*Committed Access Rate*) e a MIB CBQoS (*Class Based QoS*). A utilização de banda é calculada dividindo-se a quantidade de tráfego em bits ou pacotes, pelo menor intervalo de tempo mostrado no gráfico. São dois tipos de gráficos gerados: um com a utilização em bps (bits por segundo) x tempo e o outro em pps (pacotes por segundo) x tempo.

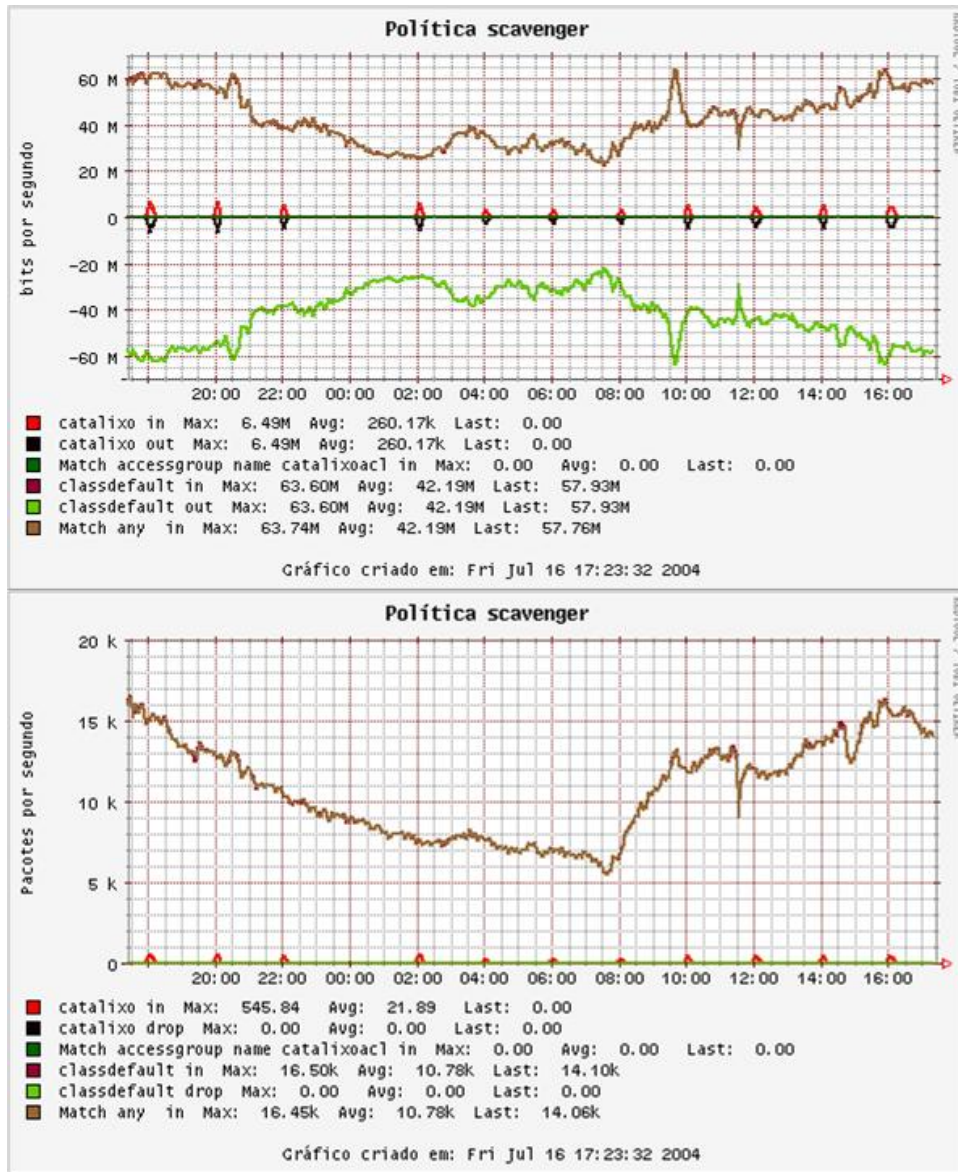
No gráfico em bps, o eixo Y positivo mostra a utilização de banda da classe de serviço, no sentido de entrada do tráfego (*in*) e eixo Y negativo mostra a utilização de banda quando o tráfego sai da classe (*out*). A perda de pacotes pode ser vista comparando-se os valores do eixo Y: se o que entra for igual ao que sai, não houve perda de pacotes. As linhas dos dois eixos são simétricas. O gráfico em pps tem um formato diferente e a ocorrência de perdas (*drop*) é relatada na legenda do gráfico. No gráfico a letra *K* significa kilo, o *M* significa mega, e o *m* significa mili.

A Figura B.1 mostra os dois tipos de gráfico com a utilização das classes de serviço configuradas no roteador 7507 do POP-RS para o dia 16/07/2004. É possível observar na legenda dos dois gráficos, as estatísticas de uso da classe de serviço cata-lixo *Scavenger* e da classe *default*.

A linha *Match Accessgroup name* deveria mostrar as estatísticas de classificação do tráfego Cata-lixo, mas por algum problema não identificado, os campos apareceram zerados. O autor da ferramenta informou que este problema pode ter sido gerado por uma falha do AMIQ na coleta dos dados ou na geração do gráfico. A outra possibilidade é que a MIB do roteador não tenha disponibilizado esta informação. A linha *Match any* mostra as estatísticas de uso para tráfego classificado por qualquer critério de seleção. No caso dos gráficos da Figura B.1 são exibidas as estatísticas de uso do tráfego classificado para a classe *default*.

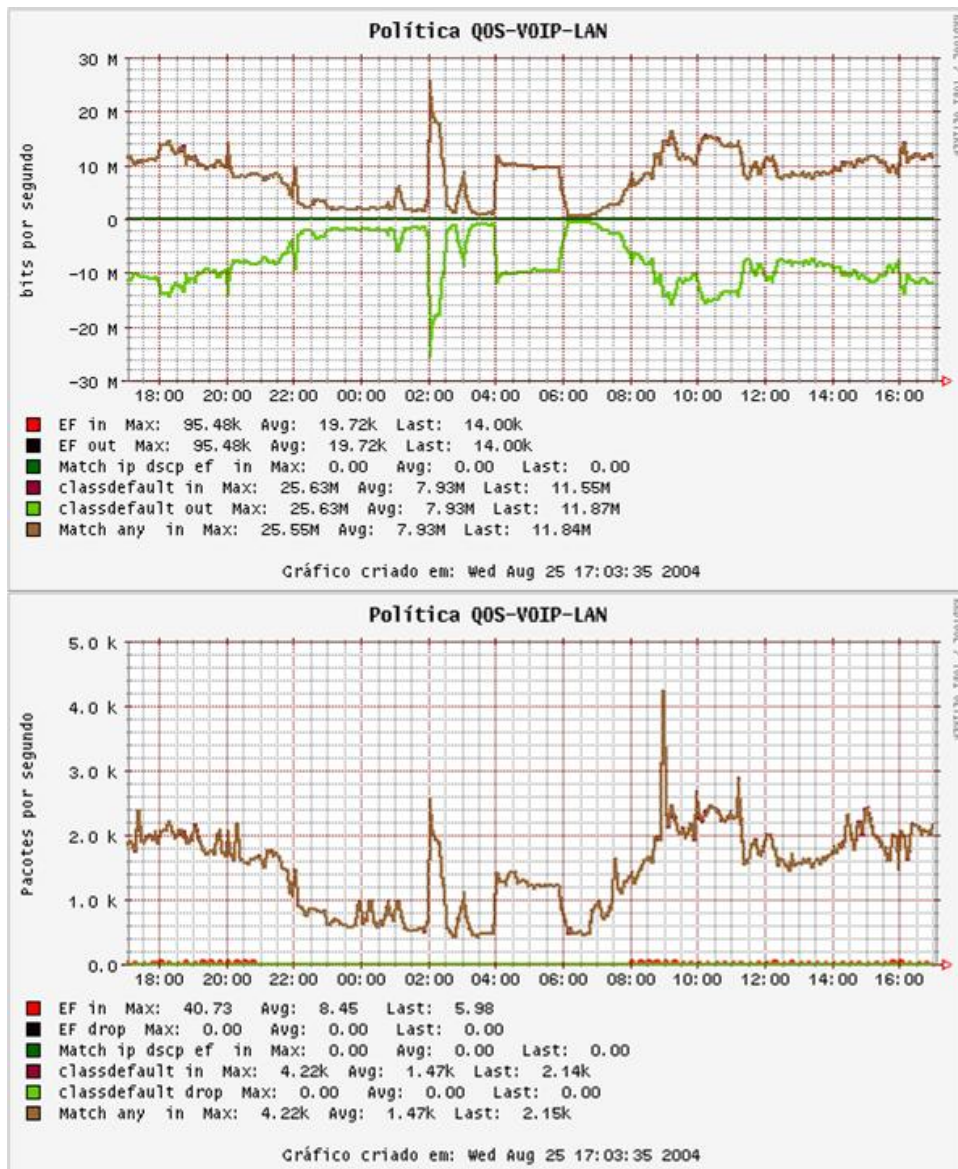


As Figuras B.2, B.3 e B.4 mostram o consumo de banda para as classes de serviço dos POPs BA e RJ. Nestes dois POPs também estão configurados os serviços EF e AF.



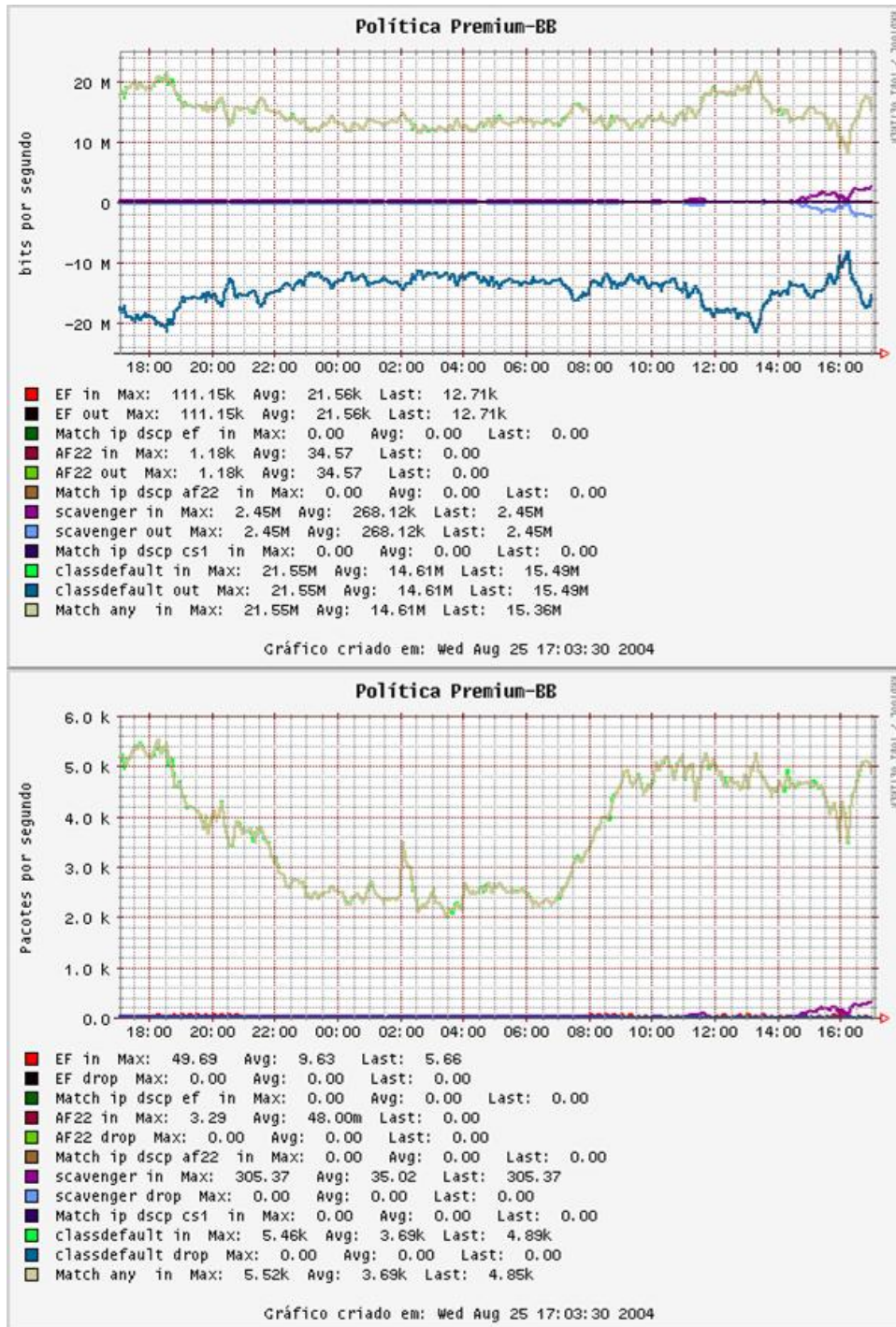
Interface de saída do POP-RS para o POP-SP

Figura B.1: - Estatísticas de utilização de banda para o serviço Cata-lixo no dia 16/07



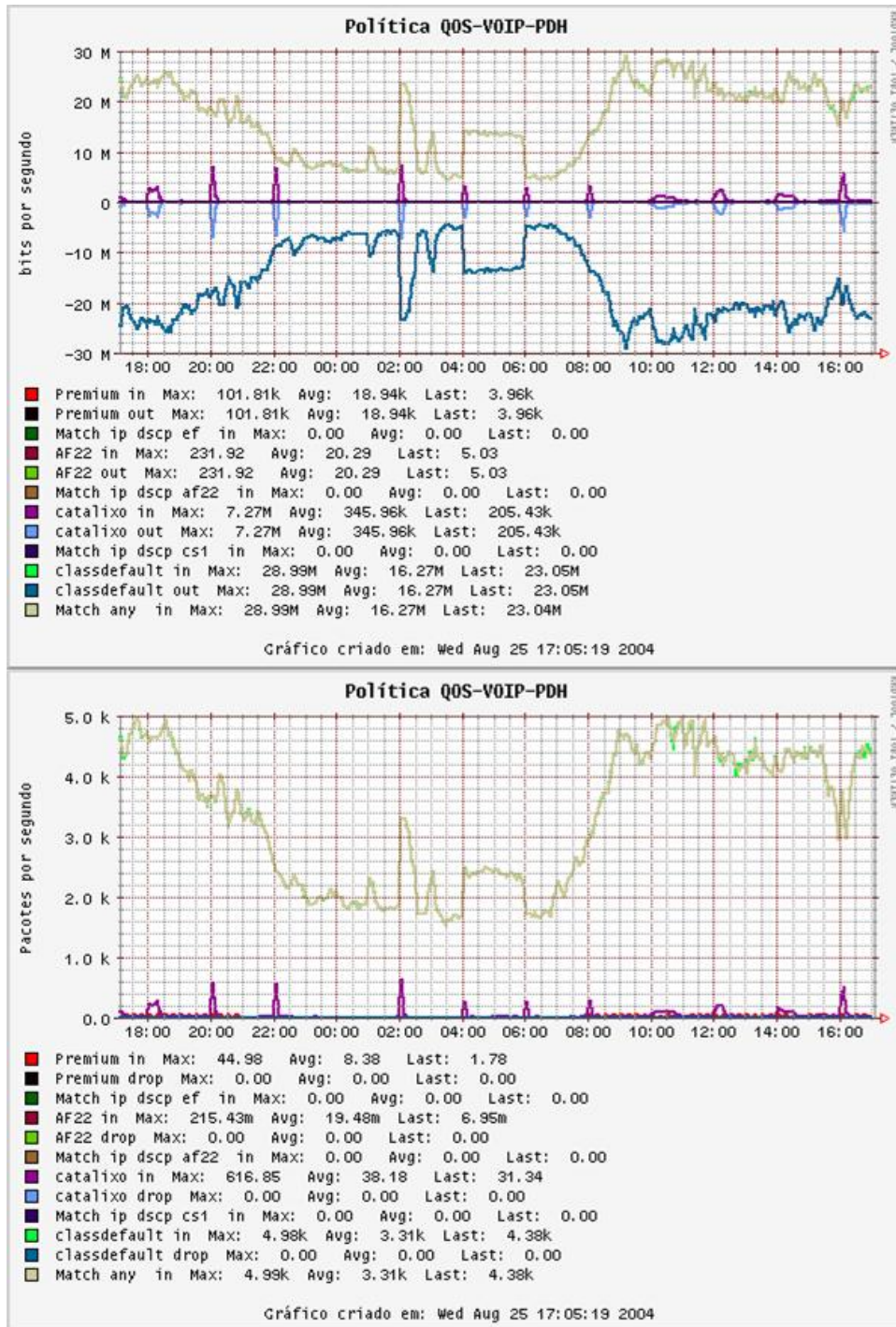
Interface de saída para a rede local do POP-BA

Figura B.2: - Utilização de banda coletada na interface de saída para rede do POP-BA



Interface de saída do POP-BA para o POP-RJ

Figura B.3: - Utilização de banda coletada na interface de saída para o POP-RJ



Interface de saída do POP-RJ para o POP-BA

Figura B.4: - Utilização de banda coletada na interface de saída para o POP-BA

## APÊNDICE C – ESTATÍSTICAS DE BANDA E LATÊNCIA COLETADAS PELA RNP

As estatísticas de banda e latência contidas neste apêndice foram coletadas pelo Centro de Engenharia e Operações da RNP (CEO) e disponibilizadas via Internet. Informações semelhantes podem ser acessadas para o dia corrente na URL: <http://www.rnp.br/ceo/trafego/>.

As Figuras C.1, C.2, C.3, C.4 e C.5 mostram os gráficos com a utilização de banda para os *links*: RJ ↔ BA, RJ ↔ SP, SP ↔ SC e SP ↔ RS nos dias 14, 20, 21 e 22/07/2004, respectivamente.

Nas Figuras, cada gráfico é referenciado pela data de geração do gráfico e o *link*. Por exemplo, a referência "14/07 - RJ ↔ BA" indica que o gráfico foi gerado no dia 14/07, no *link* RJ ↔ BA. A linha azul significa o que sai do POP-RJ para o POP-BA e a linha verde o que entra no POP-RJ vindo do POP-BA. Na ordenada dos gráficos tem-se a utilização da banda em bps (bits por segundo) e na abscissa o horário da medição. O intervalo de tempo é de uma hora.

Como pode ser observado nos gráficos das figuras, o consumo de banda é inferior à capacidade dos *links* (vide Figura 3.2). Porém, o *link* que apresenta um consumo maior é o RJ ↔ BA, sentido RJ até BA (linha azul), onde a partir das 09 hs há ocorrências de picos que vão de 25 a 30 Mbps. Outra particularidade são os picos de 27 Mbps que aparecem neste *link* às 02 hs. Este pico é explicado pela transferência dos dados coletados pelas medições passivas com o Netflow. Os servidores de coleta presentes nos POPs enviavam, às 02 hs da manhã, tudo o que foi coletado durante o dia para o servidor Netflow da UNIFACS.

As Figuras C.6, C.7 C.8 e C.9 mostram os gráficos com o RTT (*Round Trip Time*) para os *links* envolvidos nos testes nos dias 16, 20, 21 e 22/07/2004.

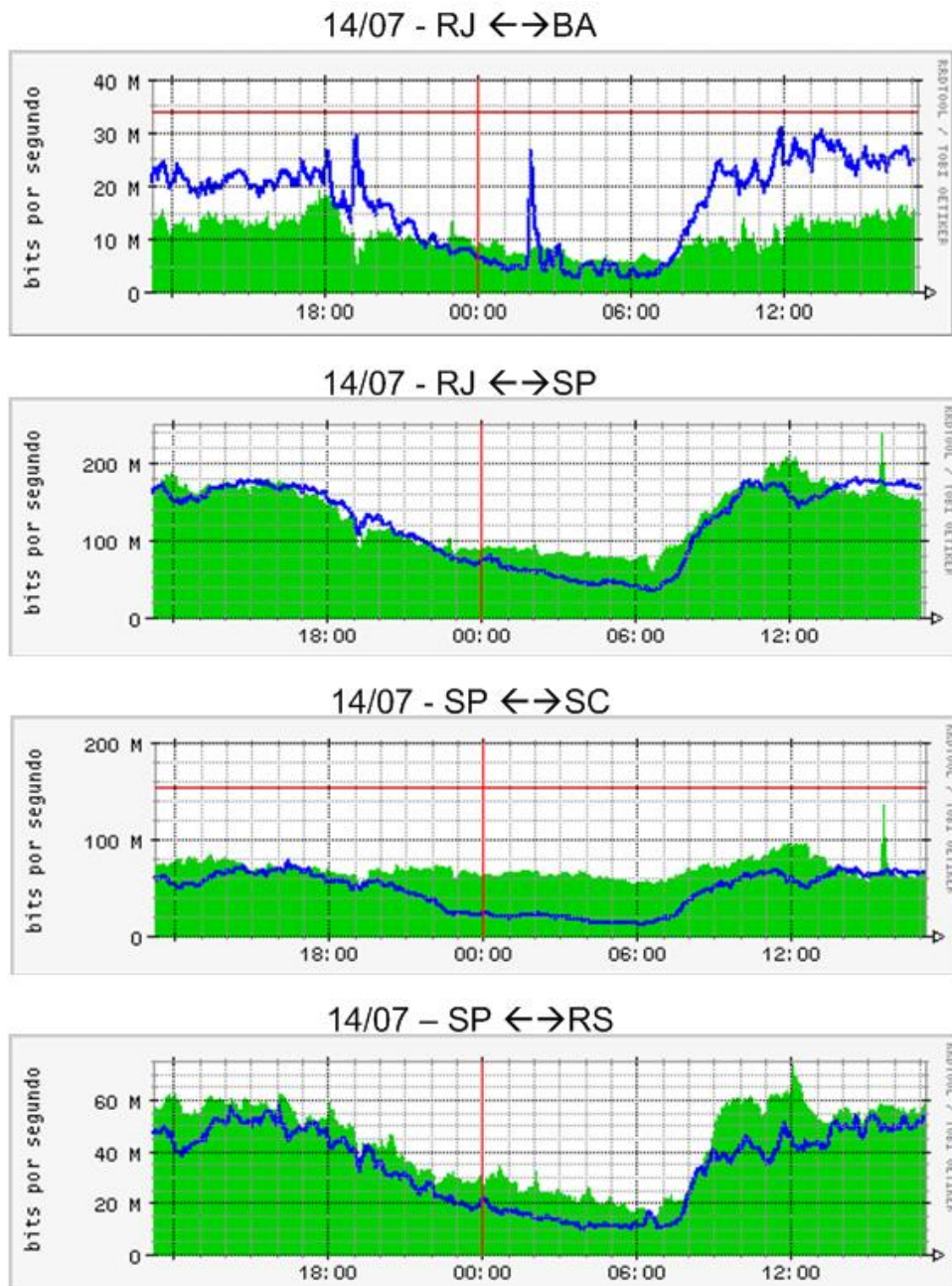


Figura C.1: - Utilização da banda dos *links* do caminho de testes no dia 14/07/2004

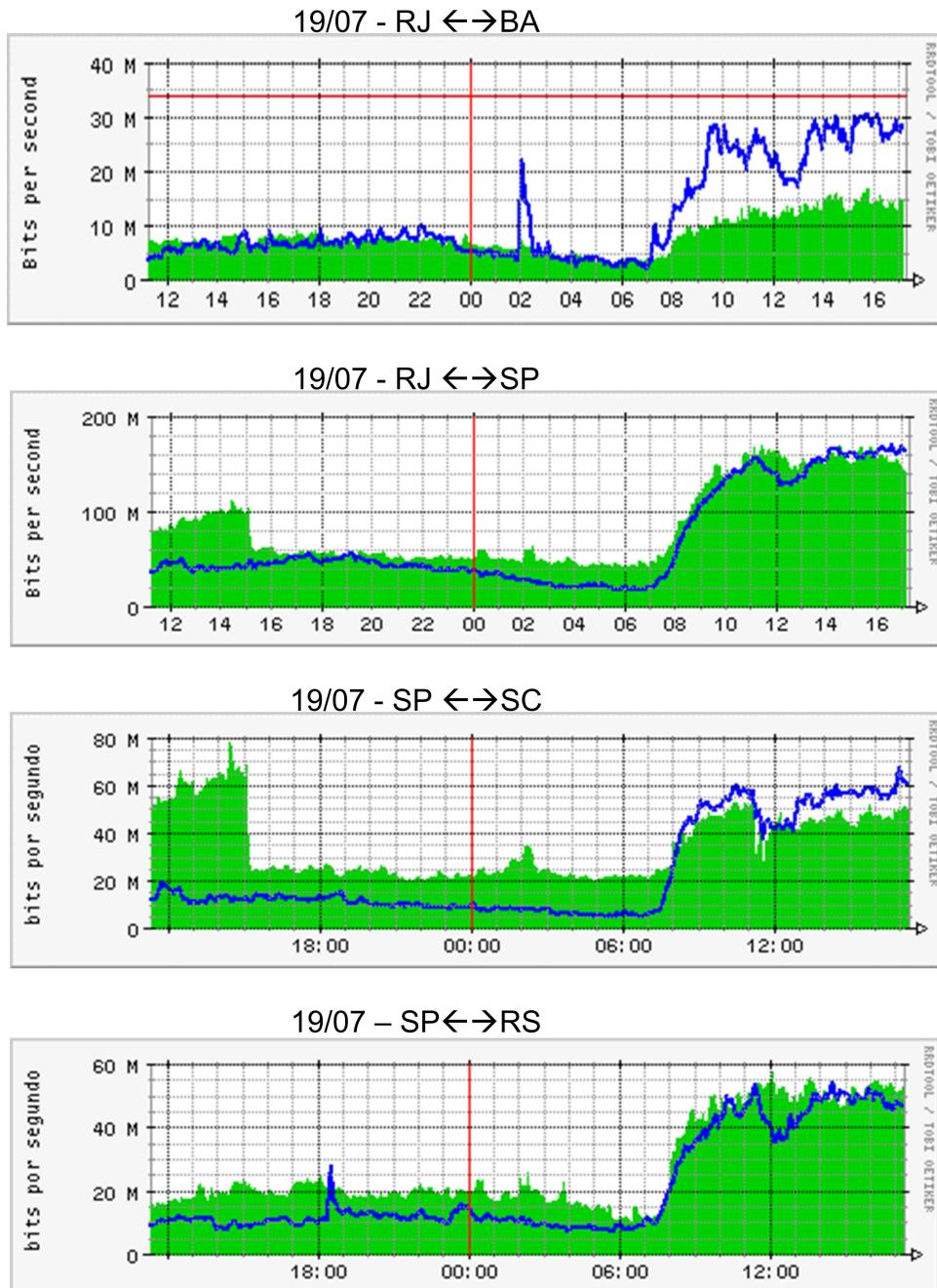


Figura C.2: - Utilização da banda dos *links* do caminho de testes no dia 19/07/2004

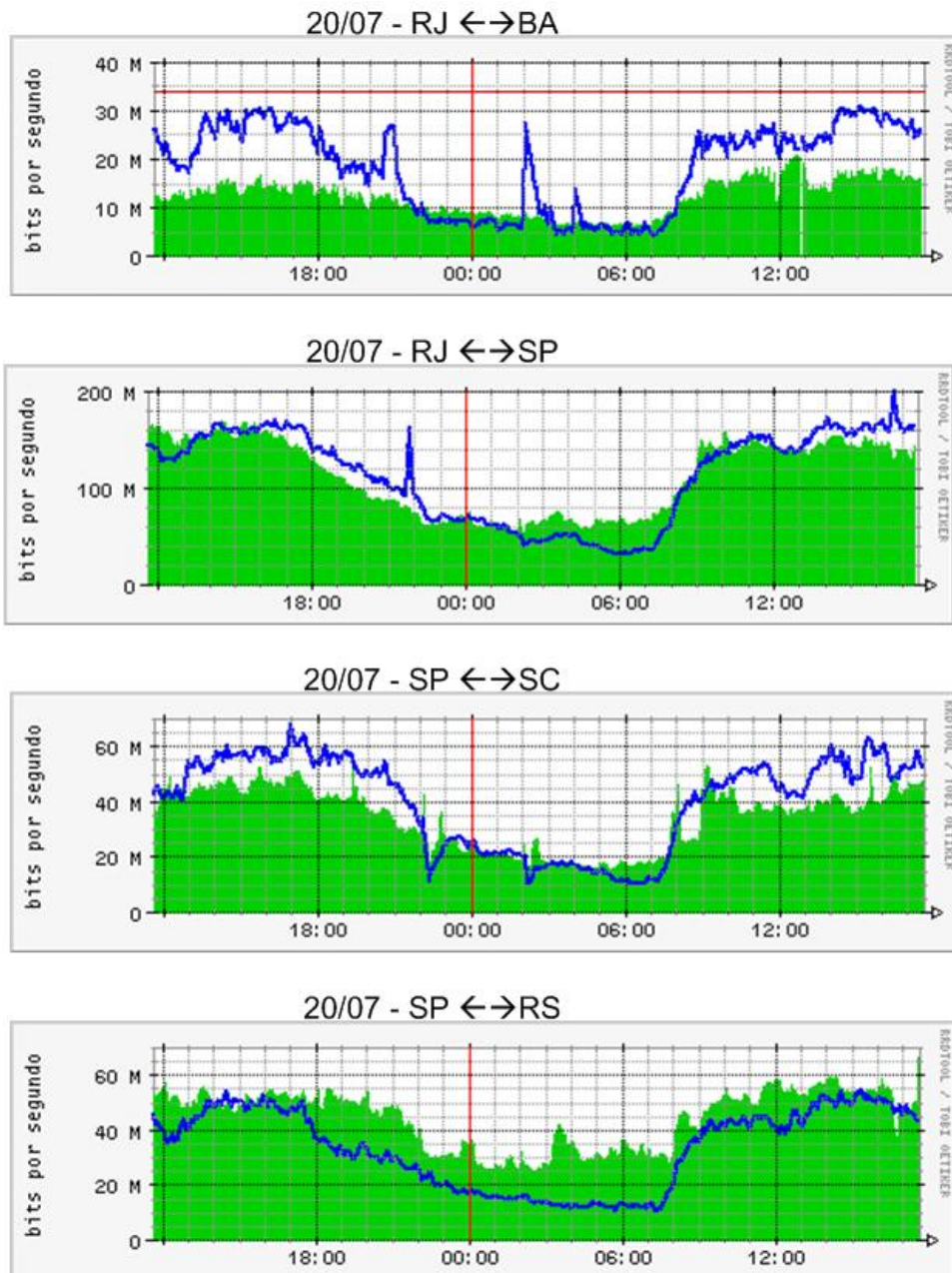


Figura C.3: - Utilização da banda dos *links* do caminho de testes no dia 20/07/2004



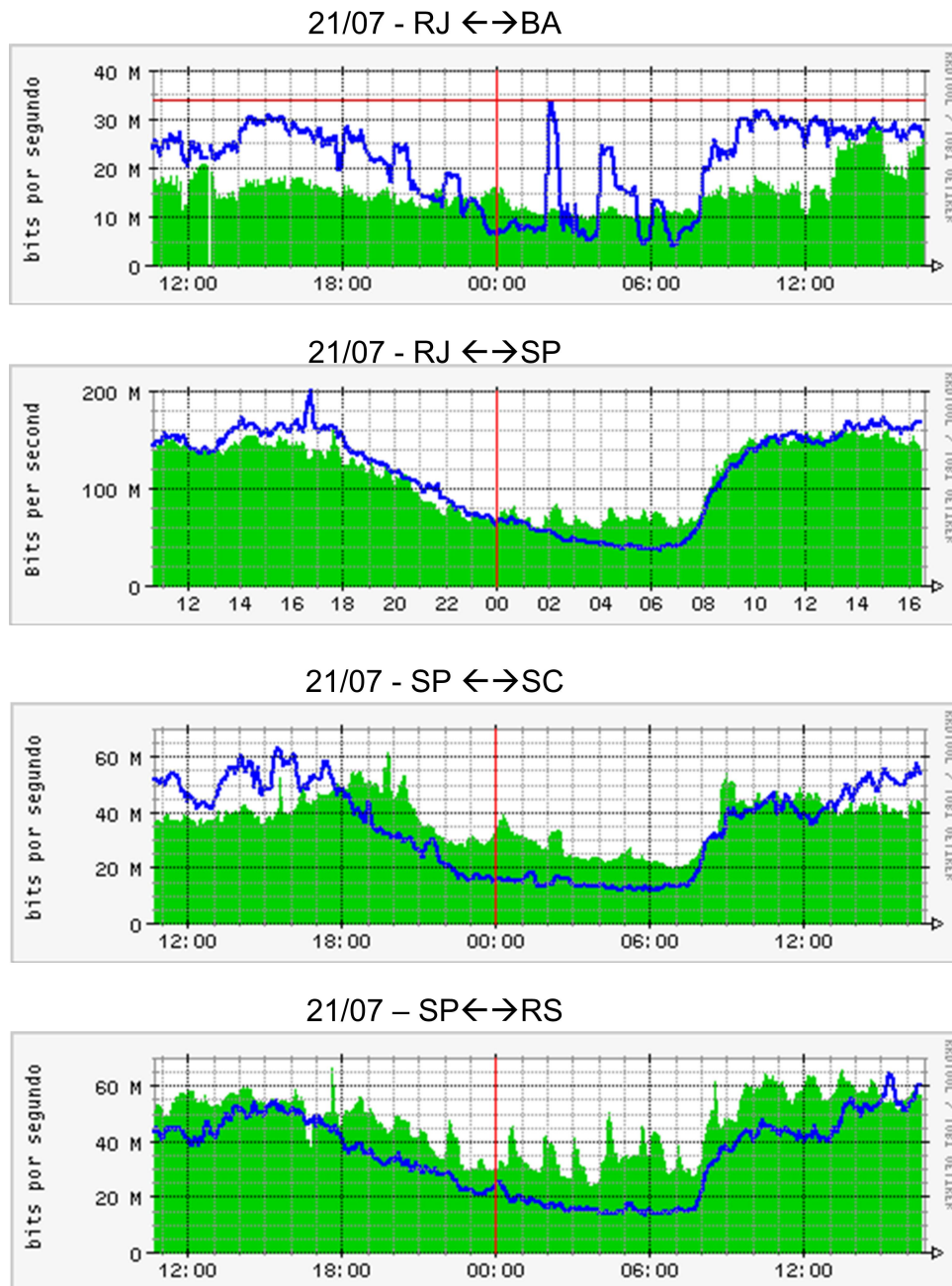


Figura C.4: - Utilização da banda dos *links* do caminho de testes no dia 21/07/2004

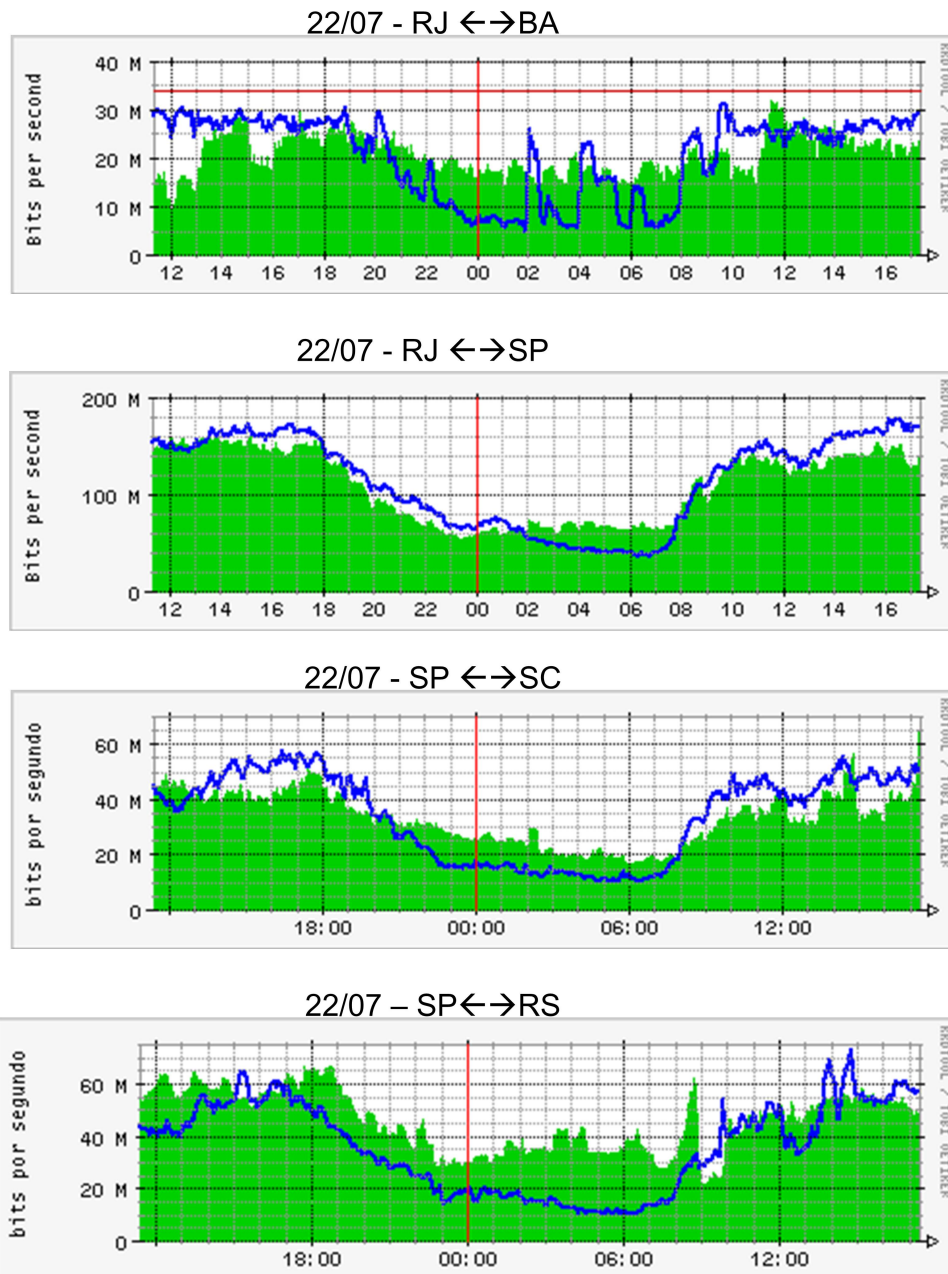


Figura C.5: - Utilização da banda dos *links* do caminho de testes no dia 22/07/2004

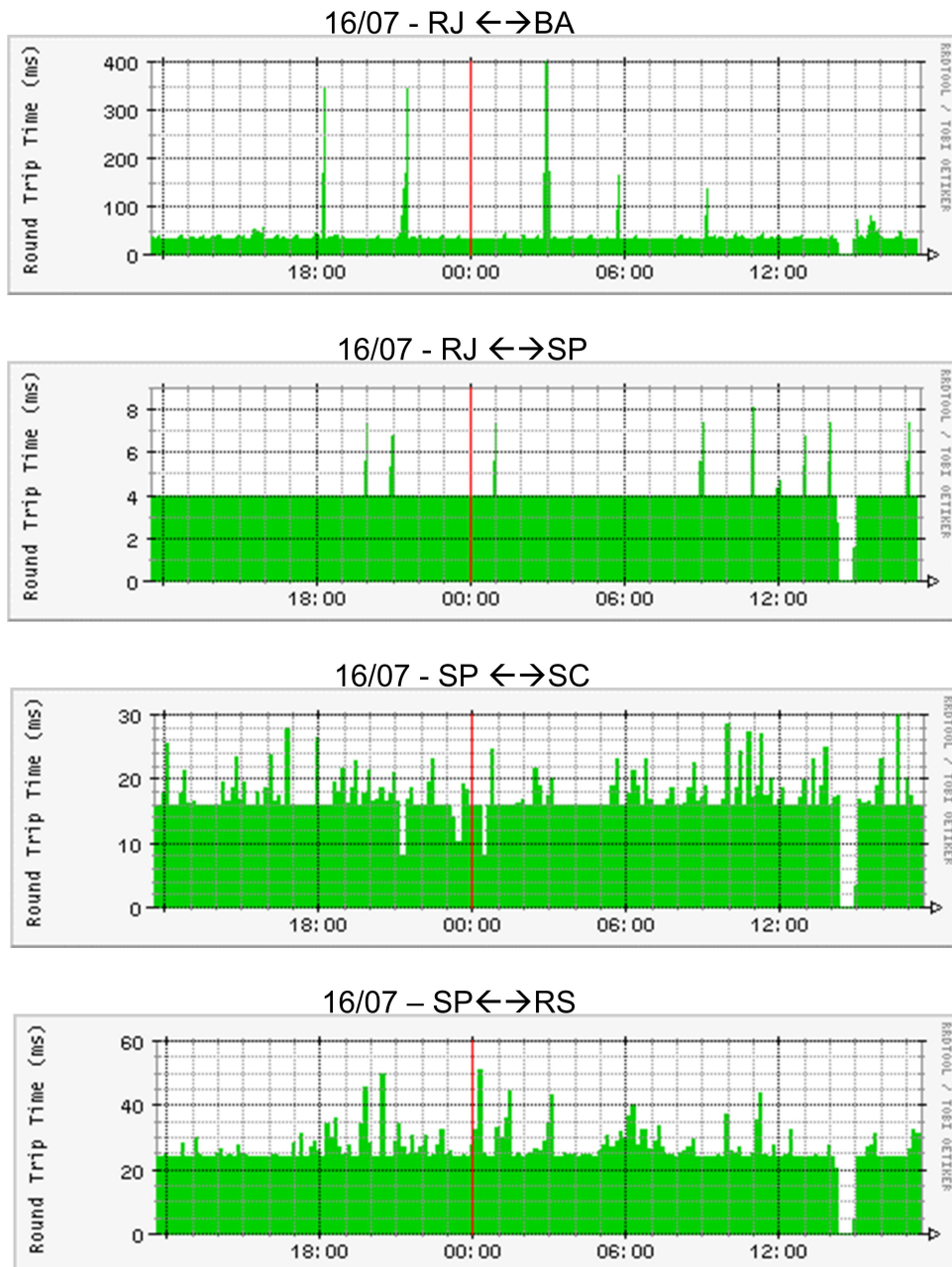


Figura C.6: - Latência observada nos *links* do caminho de testes no dia 16/07/2004

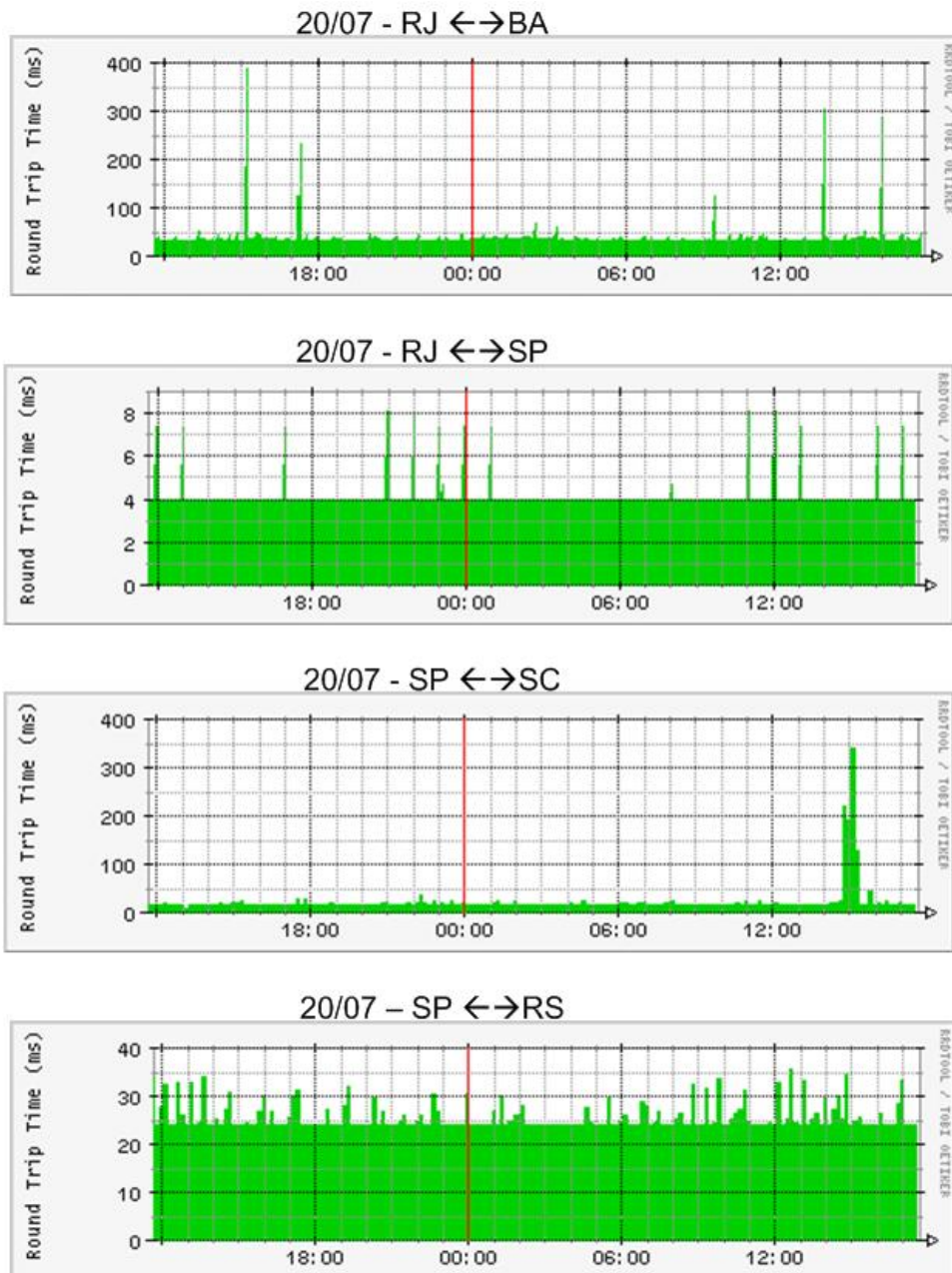


Figura C.7: - Latência observada nos *links* do caminho de testes no dia 20/07/2004

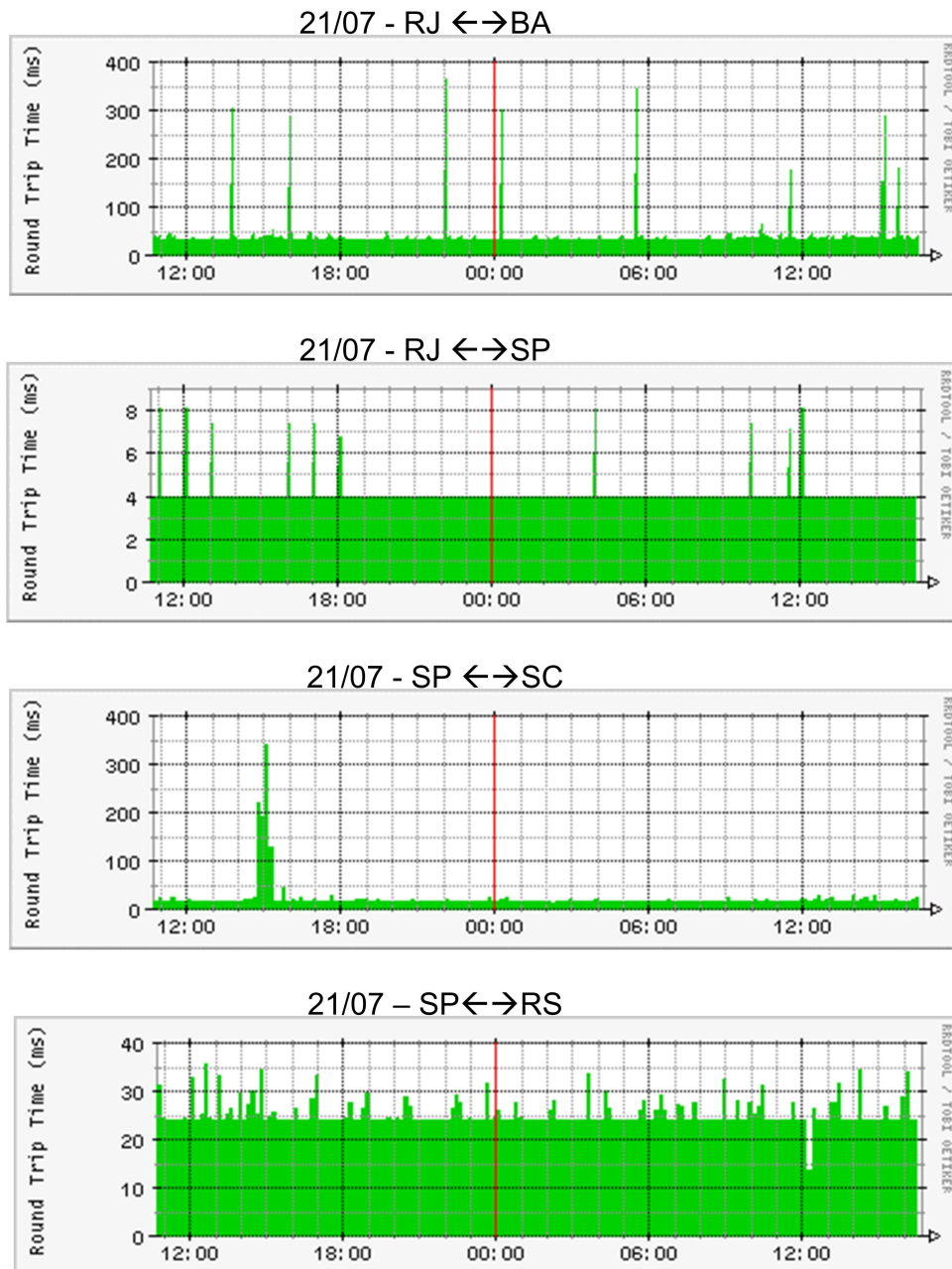


Figura C.8: - Latência observada nos *links* do caminho de testes no dia 21/07/2004

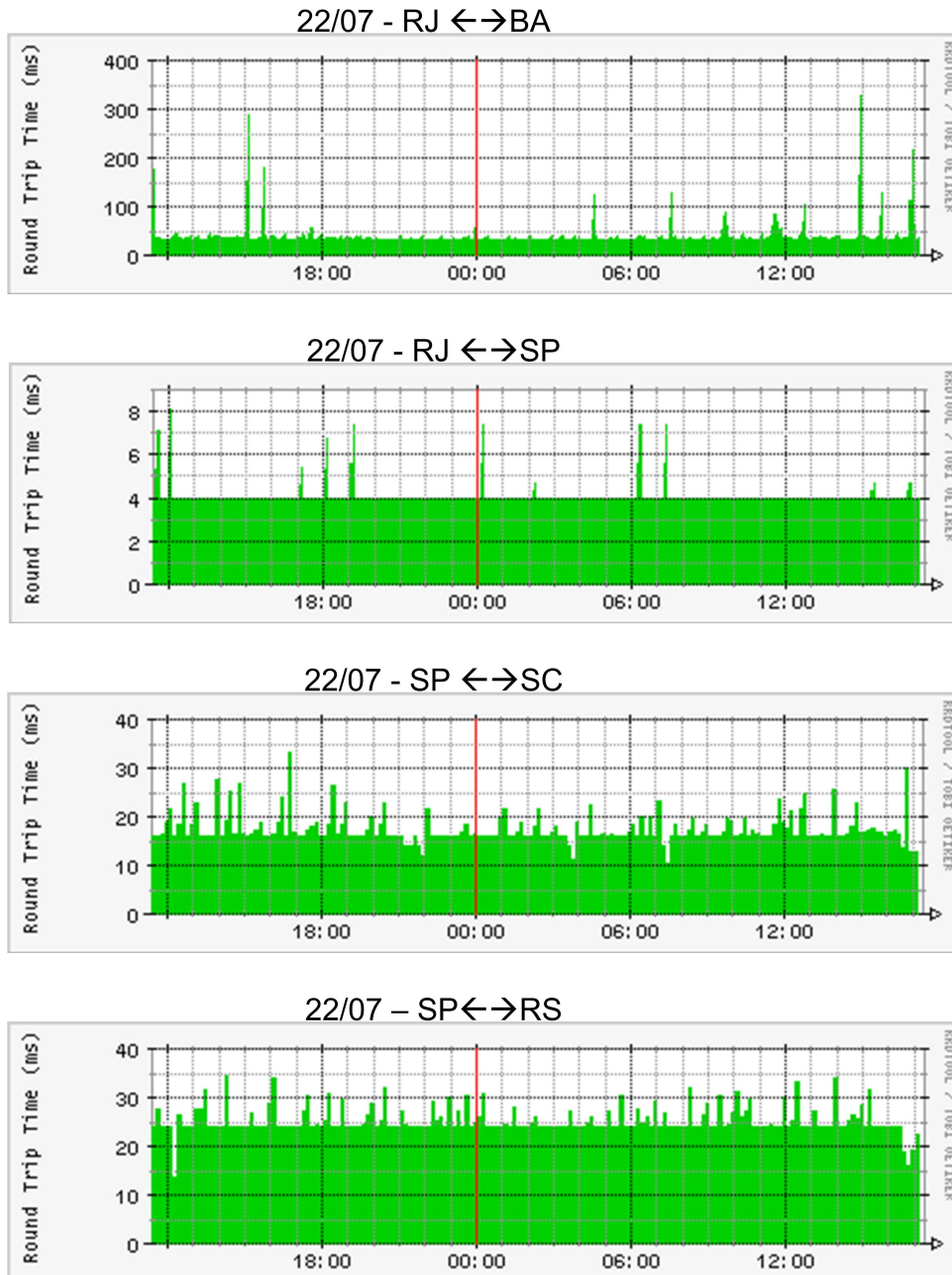


Figura C.9: - Latência observada nos *links* do caminho de testes no dia 22/07/2004

## APÊNDICE D – CONFIGURAÇÃO DOS ROTEADORES

### D.1 CONFIGURAÇÃO DO ROTEADOR BA7507

```
ip access-list extended AF22-ACL
  permit ip host 200.128.80.180 any

ip access-list extended Premium-ACL
  permit ip any host 200.135.0.8
!
class-map match-all EF
  match ip dscp ef
class-map match-all AF22
  match ip dscp af22
class-map match-all Premium
  match ip dscp ef
class-map match-all EF-INPUT
  match access-group name Premium-ACL
  match ip dscp ef

class-map match-all AF22-INPUT
  match access-group name AF22-ACL
class-map match-all scavenger
  match ip dscp cs1

policy-map SETQoS
  class EF-INPUT
    police 2000000 25000 25000 conform-action set-dscp-transmit ef
    exceed-action drop class AF22-INPUT
    police 5000000 25000 25000 conform-action set-dscp-transmit af22
    exceed-action set ip dscp 0 class class-default
```

```

policy-map Premium-BB
  class EF
    priority percent 6
  class AF22
    bandwidth percent 15
  class scavenger
    bandwidth percent 3
    random-detect
  class class-default
    set ip dscp default
!
interface FastEthernet1/0/0
  description BA LAN
  service-policy input SETQoS
  service-policy output Premium-BB

interface Serial4/1/0
  description BA > RJ|34M|TLMR|200.143.253.89
  service-policy output Premium-BB

```

## D.2 CONFIGURAÇÃO DO ROTEADOR RJ7507

```

class-map match-all AF22
  match ip dscp af22
class-map match-all cata-lixo
  match ip dscp cs1
class-map match-all Premium
  match ip dscp ef

policy-map QOS-VOIP-PDH
  class Premium
    priority percent 6
  class AF22
    bandwidth percent 15
  class cata-lixo
    bandwidth percent 3
    random-detect
  class class-default

interface Serial1/0/0
  description RJ7507 > BA|34M|TLMR|200.143.253.90
  service-policy output QOS-VOIP-PDH

```



## D.3 CONFIGURAÇÃO DO ROTEADOR RJ12000

```

class-map match-all AF22
  match ip precedence 2
class-map match-all cata-lixo
  match ip precedence 1
class-map match-all Premium
  match ip precedence 5
!
!
policy-map QOS-VOIP-622
  class Premium
  bandwidth percent 3
  class AF22
  bandwidth percent 2
  class cata-lixo
  bandwidth percent 1
  random-detect

interface POS2/0
service-policy output QOS-VOIP-622

```

## D.4 CONFIGURAÇÃO DO ROTEADOR SP12000

```

class-map match-all AF22
  match ip precedence 2
class-map match-all Premium
  match ip precedence 5
class-map match-all cata-lixo
  match ip precedence 1
!
!
policy-map QOS-VOIP-622
  class Premium
  bandwidth percent 3
  class AF22
  bandwidth percent 2
  class cata-lixo
  bandwidth percent 1

```

```

random-detect
policy-map QOS-VOIP-155
  class Premium
  bandwidth percent 5
  class AF22
  bandwidth percent 4
  class cata-lixo
  bandwidth percent 1
random-detect

interface POS0/2
description SP > SC|155M|EBT|200.143.253.113
service-policy output QOS-VOIP-155

interface POS2/0
description SP > RJ|622M|EBT|200.143.253.102
service-policy output QOS-VOIP-622

```

## D.5 CONFIGURAÇÃO DO ROTEADOR RS7507

```

class-map match-all cata-lixo
  match access-group name cata-lixo-acl

policy-map scavenger
  class cata-lixo
    bandwidth percent 1
    set ip dscp cs1
    random-detect
  class class-default
    set ip dscp default

interface POS4/1/0
description RS > SP|155M|EBT|200.143.253.110
service-policy output scavenger

ip access-list extended cata-lixo-acl
permit ip host 200.132.0.97 host 200.128.80.170

```