

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ESTRATÉGIAS DE GERENCIAMENTO DE BANDA IP/MPLS PARA
O TRANSPORTE EFICIENTE DE SERVIÇOS INTEGRADOS**

MÁRCIO AUGUSTO DE DEUS

ORIENTADOR: PAULO HENRIQUE PORTELA DE CARVALHO

CO-ORIENTADORA: PRISCILA SOLÍS MÉNDEZ BARRETO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PUBLICAÇÃO: PPGENE.DM – 043/2007

BRASÍLIA/DF: NOVEMBRO – 2007

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ESTRATÉGIAS DE GERENCIAMENTO DE BANDA IP/MPLS PARA
O TRANSPORTE EFICIENTE DE SERVIÇOS INTEGRADOS**

MÁRCIO AUGUSTO DE DEUS

TRABALHO SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

APROVADA POR:

**Prof. Paulo Henrique Portela Carvalho, Docteur (ENE/UnB)
(Orientador)**

**Prof. Rafael Timóteo de Sousa Jr., Docteur (ENE/UnB)
(Examinador Interno)**

**Prof. Rodrigo Pinto Lemos, Doutor (E.E.E/UFG)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA, 12 DE NOVEMBRO DE 2007

FICHA CATALOGRÁFICA

DEUS, MARCIO AUGUSTO DE

ESTRATÉGIAS DE GERENCIAMENTO DE BANDA IP/MPLS PARA O TRANSPORTE EFICIENTE DE SERVIÇOS INTEGRADOS.[Distrito Federal] 2007. xvii, 127p., 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Mestre, Engenharia Elétrica, Comunicação(2007).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Caracterização de Tráfego

2.Planejamento de Rede

3. IP/MPLS

4. Fractais

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DEUS, M.A. de (2007). Estratégias de gerenciamento de banda IP/MPLS para o transporte eficiente de serviços integrados. Publicação PPGENE.DM – 043/07, Departamento Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, DF, 127p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: MARCIO AUGUSTO DE DEUS.

TÍTULO: ESTRATÉGIAS DE GERENCIAMENTO DE BANDA IP/MPLS PARA O TRANSPORTE EFICIENTE DE SERVIÇOS INTEGRADOS.

GRAU: Mestre

ANO: 2007

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste trabalho modelo dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Márcio Augusto de Deus
SQSW 306 Bloco A, Ap.211
Brasília - DF

Combati o bom combate, acabei a carreira, guardei a fé.
Ap. Paulo a Timóteo.

“Quais foram os seus avanços esta semana?”
Dr. Paulo Henrique Portela.

*“Não se admitirão mais do que as coisas naturais, do que aquelas verdadeiras e
suficientes para explicá-las.”*
Sir Isaac Newton, *Principia Mathematica*.

DEDICATÓRIA

A minha esposa Ana Cláudia, minhas filhas Raíssa e Márcia e à minha D.Maria, minha mãe.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar sempre me direcionando para os melhores caminhos e me dando forças para continuar.

A minha esposa e filhas pela paciência comigo durante este período de grande ausência, mesmo estando presente.

Agradeço ao meu orientador, amigo e incentivador Prof. Dr. Paulo Henrique Portela pela paciência, direcionamento e principalmente pelo elevado grau de exigência na busca de resultados concretos e explicáveis.

Ao amigo Ricardo, Prof^ª. Dra. Priscila Solis Barreto, aos engenheiros Bruno e Breno, demais alunos e professores que nos ajudaram neste trabalho.

Ao engenheiro e mestre Paulo Ubiratan pela co-orientação, questionamentos e ponderações necessárias para a elucidação de questões importantes relacionadas com a aplicação prática deste trabalho.

A todos do Lemom, sem nenhuma exceção!

Muito, mas muito mesmo, obrigado!

“Se fui capaz de ver mais longe, é porque me apoiei nos ombros de gigantes.”
Sir Isaac Newton, *Principia Mathematica*.

RESUMO

ESTRATÉGIAS DE GERENCIAMENTO DE BANDA IP/MPLS PARA O TRANSPORTE EFICIENTE DE SERVIÇOS INTEGRADOS

Autor: Márcio Augusto de Deus

Orientador: Paulo Henrique Portela de Carvalho

Co-Orientadora: Priscila Solís Méndez Barreto

Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

Brasília, 12 de novembro de 2007.

A integração de serviços em redes *IP (Internet Protocol)* é uma possibilidade de se atingirem ganhos de escala e também de gerar novos serviços. No entanto, este é também um grande desafio, pois a falta de modelos matemáticos comprovadamente eficientes e que exprimam coerentemente as características destas redes dificulta a utilização eficiente dos recursos de rede disponibilizados.

Este trabalho propõe uma estratégia de gerenciamento de recursos de rede para aplicação em redes *IP/MPLS*. Para o desenvolvimento da metodologia são analisados os modelos de planejamento atuais e suas deficiências para a previsão do tráfego multimídia. Com base na teoria de auto-similaridade estatística são realizadas análises de tráfego de forma a caracterizá-lo e verificar a possibilidade da utilização do modelo de tráfego auto-similar para o auxílio a novas configurações de recursos. Devido à grande variedade de aplicações que se utilizam dos mesmos recursos, também é proposta uma metodologia de separação de aplicações com o conceito de diferenciação e integração de serviços.

Mostra-se neste trabalho que o conceito de engenharia de tráfego permite definir túneis *MPLS* que podem ser usados como infra-estrutura tecnológica para a separação eficiente de tipos de tráfegos. Propõe-se neste trabalho a associação desta infra-estrutura a um sistema de previsão de tráfego de forma a obter melhores configurações de capacidade para uma rede de telecomunicações. É realizada uma comparação entre o modelo de controle de banda fixo e o modelo proposto de forma a verificar a possibilidade de aplicação direta em redes *IP/MPLS* de operadoras de telecomunicações.

A metodologia proposta busca o atendimento de requisitos mínimos de qualidade e disponibilidade requeridos por tipo de serviço em um ambiente integrado.

ABSTRACT

ESTRATÉGIAS DE GERENCIAMENTO DE BANDA IP/MPLS PARA O TRANSPORTE EFICIENTE DE SERVIÇOS INTEGRADOS

Author: Márcio Augusto de Deus

Supervisor: Paulo Henrique Portela de Carvalho

Supervisor: Priscila Solís Méndez Barreto

Supervisor: Paulo Ubiratan Alves Ferreira

Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

Brasília, November of 2007

To use the network resources in the optimal efficiency one possibility is apply resource management policies that can be flexible and feasible as much as the time period can be. The converged networks are expected to deliver audio and video transmissions with quality as good as that of a circuit switching network. In order to make it possible, the network must offer a guarantee when it comes to bandwidth provisioning, delay, jitter and packet loss. These are the most important issues to solve in the IP/MPLS converged network. The provider backbones are the main mean of transport for all kind of applications with different behaviors which are aggregated in different links. The capacity planning becomes a hard task considering the multiple heterogeneous traffic sources such as video, voice, peer-to-peer applications and data file exchange, all with different QoS needs. The processes of traffic characterization and modeling are preponderant points of a feasible network project. A precise traffic modeling may allow the understanding and the best prediction model choice. In work a traffic generation and analysis will be done, after a characterization cycle will be done and applied to choose the best prediction model. This information will be returned to the network as a new bandwidth tunnels configuration. This will be start of a Service Provider IP/MPLS Backbone Bandwidth Management Strategies.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO.....	VI
ABSTRACT	VII
SUMÁRIO.....	VIII
LISTA DE TABELAS	X
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	2
1.2 OBJETIVOS DESTE TRABALHO.....	4
2 PLANEJAMENTO DE REDE.....	6
2.1 DEMANDAS E MATRIZ DE TRÁFEGO.....	12
2.2 DIMENSIONAMENTO DE BANDA PARA O TRANSPORTE DE VOZ UTILIZANDO REDES IP/MPLS COM O USO DE POISSON	16
2.3 CONCLUSÃO DESTE CAPÍTULO	18
3 CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM DE TRÁFEGO.....	19
3.1 MODELOS DE TRÁFEGO AUTO-SIMILAR	21
3.1.1 Auto-similaridade	23
3.1.2 Utilização do modelo auto-similar para a caracterização de tráfego em tempo discreto ..	26
3.3 MODELO DE TRÁFEGO MULTI-FRACTAL	31
3.1.1 MWM - Modelo de <i>Wavelets</i> Multiplicativo (<i>Multiplicative Wavelet Model</i>)	36
3.1.2 MMW - Modelo Multifractal baseado em <i>Wavelets</i>	38
3.1.3 Estimador de banda para a predição de tráfego	39
3.2 INFRA-ESTRUTURA TECNOLÓGICA PARA A DIFERENCIAÇÃO E TRANSPORTE DAS APLICAÇÕES	40
3.2.1 Túneis para o transporte de aplicações individualizadas	41
3.3 CONCLUSÃO DESTE CAPÍTULO	44
4 CARACTERIZAÇÃO DE UMA REDE REAL DE PACOTES.....	45
4.1 ANÁLISE DO TRÁFEGO	46
4.2 ANÁLISE DO TAMANHO DO PACOTE	49
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO REAL	52
4.3.1 Caracterização em escalas de 5(cinco) minutos	52
4.3.2 Caracterização em escalas iguais ou abaixo de 1(um) milissegundo	55
4.4 CONCLUSÃO DESTE CAPÍTULO	57
5 ESTRATÉGIAS DE IMPLANTAÇÃO	58
5.1 CONFIGURAÇÃO DE TÚNEIS EM AMBIENTE <i>IP/MPLS</i>	66
5.2 CONCLUSÃO DESTE CAPÍTULO	69
6 SIMULAÇÃO DE REDE	70
6.1 SIMULAÇÃO POR FLUXO USANDO TÚNEIS COM BANDA ADAPTATIVA	70
6.1 SIMULAÇÃO POR EVENTOS DISCRETOS	73
6.1.1 Utilização da Metodologia	76
6.2 CICLO COMPLETO DE GERENCIAMENTO DE BANDA	81
6.3 APLICAÇÕES PARA A METODOLOGIA PROPOSTA.....	95

7	CONCLUSÃO	96
8	ANEXO I - AUTO-SIMILARIDADE	104
9	ANEXO II - MPLS	112
9.1.1	Processos de Controle e Distribuição de <i>Labels</i>	115
9.1.2	<i>LDP</i> Protocolo de Distribuição de <i>Labels</i> – RFC 3036.....	116
9.1.3	Operação do <i>LDP</i>	116
9.1.4	O Protocolo <i>RSVP-TE</i>	117
9.1.5	Sinalização e Protocolos entre o LSR e o LER.	119
9.1.6	Sinalização entre um conjunto de <i>LSR</i>	119
9.1.7	Sinalização entre um conjunto de <i>LER</i>	119
10	ANEXO III - CONFIGURAÇÃO DO OPNET	123
11	ANEXO IV : GEOMETRIA DE FRACTAIS.....	126

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-1 – Banda média de um provedor de cabo calculado pelo volume consumido.....	3
Tabela 2-1 – Matriz de interesse de tráfego entre sistemas autônomos (em Mbps).....	13
Tabela 2-2 – Tráfego de entrada e saída com relação ao AS em análise	14
Tabela 2-3 – Matriz de demanda de serviços	15
Tabela 2-4 - Parâmetros de Banda para sinalização e exemplos para CODEC	18
Tabela 4-1 - Estimativas do Parâmetro de Hurst para o tráfego total, escala 5 min.....	52
Tabela 4-2 – Estimativas do parâmetro de Hurst para as aplicações http.....	53
Tabela 4-3 - Estimativas do parâmetro de Hurst para as aplicações P2P, escala de 5 min.	54
Tabela 5-1 – Configuração de túneis para uso em Engenharia de Tráfego(TE) Diffserv ...	66
Tabela 5-2 – Estimação fixa dos túneis para HTTP e P2P	68
Tabela 6-1 – Túneis e-LSP para tráfego http e p2p estimado pelo pico.....	71
Tabela 6-2 – Túneis e-LSP para tráfego http e p2p dinamicamente estimados.	72
Tabela 6-3 – Túneis e-LSP para tráfego http e p2p dinamicamente estimados	72
Tabela 6-4 – Túneis e-LSP para tráfego http e p2p dinamicamente estimados.	72
Tabela 6-5 – Túneis e-LSP para tráfego http e p2p dinamicamente estimados	73
Tabela 6-6 – Túneis e-LSP para tráfego http e p2p dinamicamente estimados.	76
Tabela 6-7 – Parâmetros Calculados.	83
Tabela 6-8 – Cálculo do parâmetro de Hurst.....	84
Tabela 6-9 – Configuração de um túnel na rede, comandos por roteador Cisco 12410.....	87
Tabela 10-1 – Comparação de Label Switching Paths.....	122

LISTA DE FIGURAS

Fig. 2-1 – Processo de Planejamento.....	7
Fig. 2-2 – Agrupamento de serviços em quantidade de portas e rede	10
Fig. 2-3 – Metodologia de Planejamento de Capacidade	11
Fig. 2-4 – Dimensionamento de banda de voz para a rede IP	17
Fig. 3-1 – Modelo de Caracterização.....	21
Fig. 3-2 – Comparação entre um tráfego real e outro <i>poissoniano</i>	22
Fig. 3-3 – Realizações de processos fBm com diferentes <i>H</i>	30
Fig. 3-4 –Exemplo do espectro de Legendre para um tráfego auto-similar	35
Fig. 3-5 – Árvore Multiescala (Melo, 2004)	37
Fig. 3-6 – Árvore Multiescala gerada pelo MWM	38
Fig. 3-7 – Domínio MPLS: inserção, troca e retirada do label.....	41
Fig. 3-8 – Mensagens <i>RSVP</i>	42
Fig. 3-9 – Marcação <i>DiffServ</i> para o mapeamento com <i>IntServ</i>	43
Fig. 4-1 – Topologia típica de rede de pacotes em operadoras de telecomunicações	45
Fig. 4-2 – Consumo de banda por serviço medido no sentido rede para o cliente	47
Fig. 4-3 – Consumo de banda por serviço medido no sentido rede para o assinante	48
Fig. 4-4 – Tráfego medido percentual no sentido rede para o usuário	49
Fig. 4-5 – Distribuição da probabilidade de tamanho de pacotes.....	50
Fig. 4-6 – Distribuição da probabilidade de protocolos na rede.....	50
Fig. 4-7 – Amostra de HTTP, Cálculo do Expoente de Hölder	54
Fig. 4-8 – Amostras P2P, Cálculo do Expoente de Hölder	55
Fig. 4-9 – Expoente de Hölder de amostras <i>HTTP</i> abaixo de 1(um) milisegundo.....	56
Fig. 4-10 – Expoente de Hölder de amostras <i>P2P</i> abaixo de 1 (um) milisegundo.....	56
Fig. 5-1 – Fluxo geral da estratégia de planejamento e curto(início via fase T.A.)	59
Fig. 5-2 – Processo inicial de caracterização de tráfego.....	60
Fig. 5-3 – Computação de banda passante	62
Fig. 5-4 – Curva de Estimação de Banda Passante 108Mbps	64
Fig. 5-5 – Curva de Estimação de Banda Passante 1Mbps e $\sigma = 0,50$	65
Fig. 5-7 – Predição de tráfego HTTP e P2P com base na equação 6.1.	69
Fig. 6-1 – Rede para a simulação do <i>DiffServ</i> com <i>IntServ</i>	71
Fig. 6-2 – Rede de referência para teste de conceito do uso restritivo de túneis MPLS ...	73
Fig. 6-3 – Amostra de tráfego <i>p2p</i> real inserido na ferramenta de simulação.....	74

Fig. 6-4 – Amostra de tráfego <i>http</i> real inserido na ferramenta de simulação.	74
Fig. 6-5 – Tráfego real <i>http</i> com túnel fixado em 274Mbps.....	75
Fig. 6-6 – Tráfego real <i>p2p</i> com túnel fixado em 300Mbps (valor de pico).	76
Fig. 6-7 – Amostras de tráfego real <i>p2p</i>	77
Fig. 6-8 – Tráfego <i>p2p</i> ingresso e egresso do <i>e-lsp</i> e tempo de resposta.	78
Fig. 6-9 – Perda de pacotes (a perda inicial é devida ao tempo de estabelecimento (<i>lsp</i>)..	79
Fig. 6-10 – Amostras de tráfego <i>http</i> real.....	79
Fig. 6-11 – Tráfego <i>http</i> ingresso e egresso do <i>e-lsp</i> e tempo de resposta.	80
Fig. 6-12 – Perda de pacotes no túnel analisado.....	80
Fig. 6-13 – Fase de coleta de dados.....	81
Fig. 6-14 – Amostras de tráfego real retiradas de uma rede real.....	82
Fig. 6-15 – Fase de análise (caracterização).....	82
Fig. 6-16 – Amostras reais de tráfego a serem usadas para a aplicação da metodologia. ...	83
Fig. 6-17 – Fase de predição de banda.	85
Fig. 6-18 – Predição de banda para a configuração dos túneis dinâmicos	86
Fig. 6-19 – Fase de retorno com a nova configuração para a rede.....	87
Fig. 6-20 – Rede em análise, configuração retirada de uma rede real.....	88
Fig. 6-21 – Rede em análise, configuração retirada de uma rede real (elementos).....	89
Fig. 6-22 – Simulação com túnel configurado pelo pico.....	90
Fig. 6-23 – Perda de pacotes referente à simulação da Fig. 6-22.....	90
Fig. 6-24 – Primeira simulação com os valores dos túneis calculados.....	92
Fig. 6-25 – Simulação após a nova configuração dos túneis.....	92
Fig. 6-26 – Simulação pelo Pico.....	93
Fig. 6-27 – Segunda simulação com os valores dos túneis calculados.....	94
Fig. 6-28 – Simulação após a nova configuração dos túneis.....	94
Fig. 6-29 – Perda de pacotes após nova configuração.....	95
Fig. 10-1 – MPLS <i>Label</i>	113
Fig. 10-2–MPLS Bits de informação do <i>label</i>	113
Fig. 10-3 – Domínio MPLS: inserção, troca e retirada do <i>label</i>	114
Fig. 10-4 – Mensagens <i>RSVP</i>	118
Fig. 10-5 – Protocolos de sinalização entre equipamentos em uma rede <i>MPLS</i>	120
Fig. 10-6 – <i>TOS (Type of Service)</i>	120
Fig. 10-7 – <i>DSCP</i>	121
Fig. 10-8 – Marcação <i>DiffServ</i> para o mapeamento com <i>IntServ</i>	122

Fig. 11-1 – Configuração de demanda de tráfego com tipo de serviço <i>EF</i> .	123
Fig. 11-2 – Configuração de demanda de tráfego com DSCP marcado como BE.	123
Fig. 11-3 – Console de simulação de eventos discretos.	124
Fig. 11-4 – Configuração do túnel <i>e-lsp</i> classe <i>EF</i> para o tráfego <i>p2p</i> .	124
Fig. 11-5 – Configuração do túnel <i>e-lsp</i> classe <i>default</i> para o tráfego <i>http</i> .	125
Fig. 12-1 – Formação do floco de neve Koch nível 1 e 2.	127
Fig. 12-2 – Formação do floco de neve Koch nível 2 e 3.	127
Fig. 12-3 – Formação do floco de neve Koch nível 4 e 5.	127

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMECLATURAS E ABREVIACÕES

a	– Fator de escala do tráfego auto-similar
α_q	– Expoente de cascateamento, caso multifractal
μ	– Média
v	– Variância
$\gamma_k^{(m)}$	– Auto-covariância
$\rho_{G(k)}$	– Coeficiente de auto-correlação
H	– Parâmetro de Hurst
$h(t)$	– Expoente de Hölder
$E(X(t))$	– Esperança do processo estocástico $X(t)$
$R(t_1, t_2)$	– Correlação entre t_1 e t_2
$\zeta(q)$	– Função cascateamento
q	– Ordem dos momentos, caso multifractal
Ω	– Grau de liberdade de atuação da ferramenta na banda definida por túnel
3G	– Terceira geração de comunicação móvel sem fio
4G	– Quarta geração de comunicação móvel sem fio
ASSINANTE	– Consumidor de serviços prestados pela operadora de telecomunicações
AAA	– <i>Authentication, Authorization and Accounting</i>
ADSL	– <i>Assymmetric Digital Subscriber Line</i>
ATM	– <i>Assynchronous Transfer Mode</i>
BBT	– <i>Bidirectional Traffic Trunk</i>
BER	– <i>Bit Error Rate</i>
BGP	– <i>Border Gateway Protocol</i>
BRAS	– <i>Broadband Router Access Server</i>
CBR	– <i>Constant Bit Rate</i>
CLI	– <i>Command Line Interface</i>
CLIENTE	– Ver assinante
CODEC	– <i>Encoder and Decoder</i>
Diffserv	– <i>Differentiated Services</i>
DWDM	– <i>Dense Wavelength Division Multiplexing</i>
fBm	– <i>Fractional Brownian Motion</i>
eBGP	– <i>External BGP</i>
ETSI	– <i>European Telecommunications Standards Institute</i>

FEC	– <i>Forwarding Equivalence Class</i>
FGN	– <i>Fractional Gaussian Noise</i>
FIB	– <i>Forwarding Information Base</i>
GTAR	– Gerador de tráfego e análise de <i>QoS</i> na Rede
HMM	– Hora de maior movimento
HTTP	– <i>Hyper Text Transfer Protocol</i>
iBGP	– <i>Internal BGP</i>
IEEE	– <i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
IETF	– <i>Internet Engineering Tasking Force</i>
IMS	– <i>IP Multimedia Subsystem</i>
INTERNET	– Rede mundial de computadores que usa o protocolo <i>IP</i>
IP	– <i>Internet Protocol</i>
IS-IS	– <i>Intermediate System to Intermediate System</i>
ITU	– <i>International Telecommunications Union</i>
ITU-T	– <i>International Telecommunications Union (antigo CCITT)</i>
LAN	– <i>Local Area Network</i>
LDP	– <i>Label Distribution Protocol</i>
LDPp	– <i>Label Distribution Protocol peer</i>
LER	– <i>Label Edge Router</i>
LFIB	– <i>Label Forwarding Information Base</i>
LPM	– <i>Least Prefix Match</i>
LSP	– <i>Label Switched Path</i>
LSR	– <i>Label Switch Router</i>
mBm	– <i>Multifractional Brownian Motion</i>
MOS	– <i>Mean Opinion Score</i>
MCP	– <i>Minimum Critical Path</i>
MMW	– <i>Modelo Multifractal baseado em Wavelet</i>
MPLS	– <i>Multiprotocol Label Switching.</i>
MPLS-TE	– <i>MPLS Traffic Engineering</i>
MST	– <i>Minimum Spanning Tree</i>
MWM	– <i>Multiplicative Wavelet Model</i>
NP	– <i>Non Polynomiam</i>
NS	– <i>Network Simulator</i>
OSI	– <i>Open System Interconnect</i>

OSPF	– <i>Open Shortest Path First</i>
P2P	– <i>Peer-to-Peer</i>
P Router	– <i>Provider Router</i> vide LSR
PE Router	– <i>Provider Edge Router</i> vide LER
PoP	– <i>Point of Presence</i>
PPM	– Período de maior movimento
PPP	– <i>Point to Point Protocol</i>
QoS	– <i>Quality of Service</i>
RCS	– <i>Rate Controlled Service</i>
RSVP	– <i>Resource Reservation Protocol</i> (ver <i>IntServ</i>)
RTPC	– Rede de Telefonia pública comutada
RTT	– <i>Round Trip Time</i>
SDH	– <i>Synchronous Digital Hierarchy</i>
SIP	– <i>Session Initiation Protocol</i> .
SLA	– <i>Service Level Agreements</i>
SONET	– <i>Synchronous Optical Network</i>
TCP	– <i>Transmission Control Protocol</i>
T.A.	– Tratamento e Análise
TE	– <i>Traffic Engineering</i>
TIA	– <i>Telecommunications Industry Association</i>
WDM	– <i>Wavelength Division Multiplexing</i>
UDP	– <i>User Datagram Protocol</i>
UMTS	– <i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
UPLINK	– Conexão direcionada à subida de tráfego numa comunicação entre dois sistemas hierárquicos entre si
VBR	– <i>Variable Bit Rate</i>
VoIP	– <i>Voice over IP</i>
VPN	– <i>Virtual Private Network</i>
VTP	– <i>Variance Time Plot</i>

1 INTRODUÇÃO

No passado recente para cada serviço de telecomunicações existia uma rede específica para o seu suporte. Com a evolução na formação de redes de computadores, estes serviços, onde cada rede tratava de um único tipo de aplicação, passaram a ser providos com o uso do *IP (Internet Protocol)* (POSTEL, 1981) em um ambiente integrado. O desafio deste momento é conseguir uma rede onde todos os serviços possam compartilhar o uso dos seus recursos e ainda assim conseguir entregar ao assinante as aplicações com os níveis de qualidade necessários individualmente.

O efeito desta escolha pode ser positivo devido ao fato de aumentar a integração dos diversos tipos de aplicações, porém gera uma dificuldade no dimensionamento, uma vez que passa a ser necessário a verificação do relacionamento entre os serviços, que por sua vez estarão fazendo uso comum dos recursos da rede.

Este trabalho se propõe, inicialmente, a validar uma proposta para se garantir níveis de serviço necessários para cada aplicação em um ambiente de rede de serviços integrados. Para atingir este objetivo será necessário conhecer o perfil de tráfego das aplicações e a partir deste conhecimento elaborar modelos de predição de tráfego que possam garantir *a priori* a máxima eficiência no uso dos recursos.

Neste ponto surge um grande problema, pois os únicos modelos matemáticos em uso atualmente, principalmente nas operadoras de telecomunicações, são baseados em modelos de *Poisson* (TAKINE; OKAZAKI; MAZUAMA, 2004) e estes não conseguem exprimir matematicamente o comportamento do tráfego nas redes de pacotes, gerando distorções na predição de tráfego.

Este procedimento pode ser usado para melhorar a eficiência no planejamento de capacidade das grandes redes, uma vez que as previsões serão realizadas com base em modelos matematicamente explicáveis.

Os modelos de tráfego podem também ser utilizados para definir novos serviços que possam aproveitar a baixa utilização da rede em períodos de menor movimento, lançando mão de novos conceitos de planejamento de capacidade, diferentes dos atualmente adotados.

Neste trabalho as características estatísticas que podem gerar os modelos e que terão uma atenção especial são as de primeira e segunda ordem, as de similaridade escalar (tanto ao

nível do processo de chegadas como do processo do tamanho dos pacotes) e a correlação entre eles.

Caso existam modelos que possam ser usados para o planejamento de rede das operadoras de telecomunicações passarão a prever o crescimento das redes sem a necessidade de sobre dimensionamento de recursos, salvaguardando os investimentos e produzindo efeitos de gestão mais rentáveis para os seus acionistas. Esta ação pode resultar em menor custo do serviço oferecido aos clientes.

Seguindo o mesmo pensamento, os modelos de tráfego podem também ser utilizados para definir políticas de cobrança que promovam a utilização da rede nos períodos com baixa utilização, permitindo um melhor gerenciamento dos recursos da rede.

Finalizando, com um ambiente controlado será possível se obter vantagens econômicas para as empresas de telecomunicações, uma vez que a utilização de apenas uma rede integrando todos os serviços pode ter um efeito positivo no custo de operação e manutenção.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

É importante, antes de definir o problema, mostrar que o modelo de *Erlang* ((TAKINE; OKAZAKI; MAZUAMA, 2004) para o tráfego telefônico, de fato estima a quantidade de canais de voz e não a banda necessária para suportar o tráfego e com diferentes necessidades em termos de tempo de retenção e taxa de bloqueio. No primeiro caso a banda de cada canal de voz é fixada na taxa básica do CODEC (*Encoder and Decoder*) e esta não varia, desta forma quando ocorre a comutação do circuito este ocupará a taxa básica (64 kbps, 32 kbps ou outro valor) do início ao fim da chamada.

De forma mais ampla, o problema atual é a falta de modelos matemáticos que possam auxiliar na previsão do crescimento de redes de pacotes em um ambiente de prestação de serviços integrados em uma única rede, incluindo os serviços multimídia e do transporte dos serviços telefônicos comutados por circuitos. Por outro lado, um modelo de tráfego só existe como tal quando uma estrutura matemática pode representar um procedimento de inferência eficiente e com o máximo de rigor para os parâmetros desta estrutura (CHWIF; MEDINA, 2006).

Isto aliado ao grande número de novos serviços que estão sendo direcionados para as redes *IP* gera um ambiente com grande potencial de problemas de gerenciamento de capacidades e necessidades de crescimento.

Evans, em (EVANS, 2007), exemplifica diversos problemas relacionados ao uso de medidas simples para efeito de planejamento, isto faz com que as premissas de cálculo de capacidades de processamento e de banda sejam definidas para patamares de 50% (cinquenta por cento) de utilização levando todos os sistemas a situação de excesso de capacidade.

No caso da telefonia *IP* é importante notar que o problema em questão é o dimensionamento das necessidades de banda relacionadas ao canal e não com relação ao dimensionamento do número de canais para telefonia. No modelo proposto por *Erlang* o canal tem banda constante, sendo que a variação ocorre na taxa de utilização do canal em função do tempo de retenção e taxa de bloqueio esperada.

Uma situação de extrema dificuldade para se executar previsões também está relacionada com as médias de uso de banda por cliente. Usando um exemplo de uma operadora de telecomunicações por cabo, conforme Tabela 1-1 é fácil notar que o cálculo da banda média não gera informação confiável dos períodos de maior movimento e tampouco dos tipos de serviços que farão uso dos recursos que estão sendo dimensionados. Desta forma o cálculo das capacidades necessárias para o funcionamento dos serviços da rede se torna uma tarefa extremamente complicada, pois ao se trabalhar apenas pela média ou apenas pico, perde-se informação, neste caso, de outros fatores inerentes ao tráfego, tais como rajadas, tempo de resposta e disponibilidade.

Tabela 1-1 – Banda média de um provedor de cabo calculado pelo volume mensal consumido

Parâmetro	Valor	Unidade
Volume mensal	20	GBytes
Volume mensal	160.000.000	Kbits
Período(1 mês)	2.592.000	S
Banda média por assinante	62	Kbps

Nestes casos a estimação por banda média levará a um erro relativo ao grau de agregação que a rede em análise estiver sofrendo, conforme será analisado neste trabalho.

A previsão pelo pico, por outro lado leva ao clássico problema de superestimar os recursos de rede, também indesejado no ambiente das operadoras, pois neste caso a remuneração que os serviços teriam não bastaria para o correto retorno do investimento.

Neste tipo de situação é importante verificar que a predição apenas com o uso da informação da banda média não resolve o problema, pois também gera um erro de interpretação do fenômeno físico em análise.

No caso do tráfego comutado por circuito a dificuldade é estimar o comportamento dos usuários para o acesso à rede, na comutação por pacotes, o objetivo é a utilização dos recursos do canal de forma mais eficiente, assim, não basta o conhecimento do comportamento apenas do acesso do usuário à rede. Após o acesso à rede o usuário tem diversas formas distintas de utilização dos recursos de rede, cada uma com a sua peculiaridade específica. Desta forma, verifica-se a necessidade de conhecimento do tipo de tráfego com a sua caracterização matemática de forma a ser possível a previsão de comportamento otimizando a utilização dos recursos de rede.

1.2 OBJETIVOS DESTE TRABALHO

Neste trabalho serão analisados os modelos de tráfego que podem ser aplicados a uma rede IP real de uma operadora de telecomunicações no Brasil. O objetivo é possibilitar uma estratégia de aplicação dos modelos matemáticos para o uso quase ótimo dos recursos de rede em curto prazo.

Um efeito que será analisado é o grau de agrupamento de usuários nos diversos pontos de acesso da rede de forma a verificar a possibilidade de melhorar a gestão de recursos também com base nas coletas de amostras e sua análise estatística. A previsão do tráfego gerado por um grupo de clientes com um determinado comportamento pode ser feita com o uso de modelos de tráfego inferidos.

Para a utilização de um modelo de tráfego faz-se necessário que sejam coletadas amostras de tráfego da rede e, a partir destas, encontrar um procedimento de inferência de parâmetros que exprima as suas principais características. Após esta caracterização, um

perfil de utilização da rede poderá ser inferido de forma a ser possível a predição de quantidade e a qualidade do tráfego que poderá ser tratado pela rede, fazendo a sua separação por tipo de aplicação ou serviço. Estas fases também serão analisadas no desenvolvimento deste trabalho.

Ainda como meta, as capacidades de previsão do modelo de tráfego auto-similar em curto prazo (atuação em períodos de 60 minutos) serão exploradas no controle da rede. De maneira mais concreta, o conceito da auto-similaridade estatística será aplicado em métodos de atribuição de recursos e em estratégias de encaminhamento de pacotes que possam ser adaptativos aos recursos da rede.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em sete capítulos, no primeiro capítulo é apresentado o problema que será analisado, os objetivos a serem atingidos e uma descrição geral do trabalho.

No capítulo 2 é realizada uma análise dos procedimentos de planejamento em empresas de telecomunicações e suas deficiências.

No capítulo 3 é apresentada a base teórica que será utilizada para a caracterização do tipo de tráfego e as bases tecnológicas para infra-estrutura de separação do tráfego e seu controle eficiente.

No capítulo 4 uma rede real de pacotes é caracterizada com base na teoria apresentada no capítulo anterior.

No capítulo 5 é apresentada a estratégia que será usada para a implantação da proposta em redes de telecomunicações.

No capítulo 6 são realizadas diversas simulações para a análise da proposta de estratégia. No capítulo 7 são realizadas as conclusões.

Os capítulos 10, 11 e 12 são anexos com o objetivo de servir de fonte de consulta para melhoria do entendimento da base matemática e de tecnologia MPLS. As configurações do simulador são apresentadas no capítulo 12.

1.4 PLANEJAMENTO DE REDE

O planejamento de rede, em provedores de serviços, é uma tarefa contínua que tem por objetivo gerar as especificações técnicas adequadas às necessidades dos produtos (KOTLER, 1998) oferecidos. Aqui é importante notar que o melhor projeto não é necessariamente aquele em que a rede funcione sem atingir os limites de capacidade, com folga de capacidade. A função objetivo de eficiência operacional é atingida quando o serviço planejado pela empresa provedora é oferecido tal qual foi concebido e oferecido aos consumidores de serviço.

Em redes de telecomunicações os prazos de construção são elevados, pois tratam de obras de grande complexidade, muitas vezes envolvendo o lançamento de fibras em trechos de mar aberto ou em grandes distâncias terrestres. Surge então a necessidade da função planejamento ser bem executada com o melhor grau de acerto possível. Neste ponto o erro cometido tem o mesmo efeito se acima ou abaixo dos valores coerentes com o grau de qualidade esperado para o serviço planejado. Ações que demandem construção de rede são demoradas e dificilmente são realizadas em prazos inferiores a três meses. Esta situação ocorrerá sempre que for necessária a ampliação de capacidade de elementos de rede compostos por roteadores, comutadores, servidores de aplicação de rede, e ainda dos serviços de lançamento de fibra óptica, implantação de sistemas de gerencia de rede.

Segundo (EVANS; FILSFILS, 2007) o planejamento de capacidade do núcleo da rede é o processo que assegura que exista capacidade em termos de recursos de forma a ser possível garantir que os acordos de nível de serviço, *SLA (Service Level Agreements)* – sejam cumpridos em função de parâmetros pré-definidos. Estes parâmetros são: a variação do Atraso (*Jitter*), atraso (*Delay*), perdas de pacotes (*Loss*) e disponibilidade de rede.

Neste estudo será focado o gerenciamento do tráfego de rede, porém não é desejável planejar o crescimento da rede em longo prazo sem pensar na estratégia da utilização dos elementos que suportam o tráfego, mesmo que não diretamente, como em alguns dos casos citados.

Na Fig. 1-1 um processo de planejamento é apresentado sendo este relativo a uma empresa provedora de serviços em função das suas entradas e saídas. A partir deste processo serão analisados diversos problemas com relação a esta atividade e possibilidades de

encaminhamento de soluções, mais adiante também será mostrado um processo definido por Evans em (EVANS; FILSFILS, 2007).

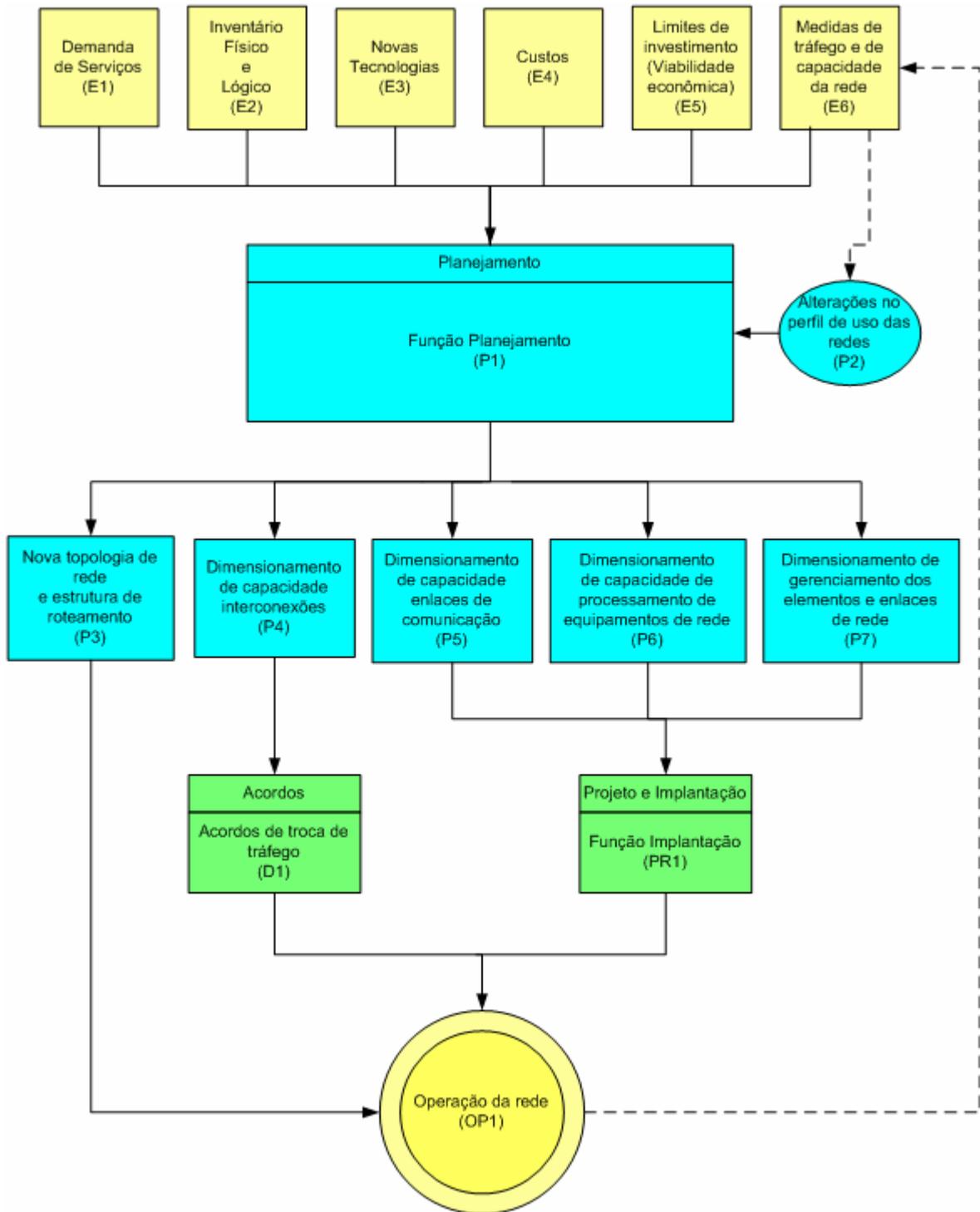


Fig. 1-1 - Processo de Planejamento

As entradas E1 a E5 são os dados iniciais no processo de planejamento da rede, estes necessários e obrigatórios para a primeira fase do processo. A entrada E6 é de extrema importância, porém só existirá após a implantação da rede. Esta entrada, neste trabalho,

será de extrema importância, pois fará parte do processo de caracterização do tipo de tráfego existente na rede.

Os processos P1 a P7 estão relacionados com a atividade de predição, neste caso, principalmente para longo prazo, envolvendo a construção da rede ou ainda a sua ampliação em termos de recursos físicos (roteadores, comutadores, fibras ópticas). A saída P3 deste processo está relacionada com a geração da melhor topologia física para atendimento às necessidades de rede e seu roteamento.

O processo de acordos de troca de tráfego D1 é alimentado pelo processo de planejamento onde foram definidas as capacidades necessárias em termos de interconexão com as demais redes existentes e com interesse de tráfego mútuo.

No processo PR1 são elaborados os cronogramas de implantação e aquisição de recursos para a construção das redes.

A seguir serão descritas as funções de cada módulo funcional do diagrama de planejamento:

E1 – Demanda de Serviços – Em grandes provedores o conceito da demanda é efetivamente o plano de vendas dos produtos disponíveis, sempre associado a um período. Em casos onde não existe a venda de produtos, podem ser consideradas necessidades internas à corporação. É necessário que seja feita uma tradução da quantidade de clientes e tipo de serviço, em tipo de recursos de rede a serem usados. Na Fig. 1-2 esta operação é exemplificada.

E2 – Inventário Físico e Lógico – O inventário físico são os equipamentos, redes de cabos metálicos, cabos de fibra óptica, bandas de frequência disponíveis, prédios. O inventário lógico são as topologias de interconexão das redes, fluxos de gerenciamento de serviços, entre outros.

E3 – Novas Tecnologias – Estudo contínuo das tecnologias em evolução em função de novas pesquisas ou ainda por questões regulatórias.

E4 – Custos – Preços de bens e serviços que compõem o investimento total das empresas.

E5 – Limites de Investimentos – Em função do EVA (*Economic Value Added*) (EVA, 2007) são efetuados cálculos com o objetivo de verificar se o retorno do investimento será positivo, caso sejam negativos os projetos, normalmente, são cancelados.

E6 – Medidas de tráfego e de capacidade de rede – Coleta de dados de rede em forma de relatórios para servirem de entrada no processo de planejamento de capacidade.

P1 – Planejamento – É a área onde são realizadas as análises de crescimento e desempenho da rede. O melhor desempenho é conseguido quando a construção da rede está espelhando exatamente o que foi especificado como produto final. Nesta fase são realizadas as funções de alterações de topologia física ou lógica com base no crescimento ou devido a novas tecnologias. O dimensionamento de capacidades de processamento, enlaces de comunicação, serviços de base para o funcionamento da rede (*DNS, DHCP, ENUM, AAA*). Nesta fase são tomados os cuidados relativos ao cálculo de disponibilidade de rede de forma a ser possível a venda de serviços baseados em *SLA* ou acordos de nível de serviço. A decisão de investir em novas capacidades é tomada nesta fase onde são analisados os aspectos financeiros das expansões necessárias para suprir às demandas de serviços. No entanto, a construção de rede é uma tarefa demorada, visto a necessidade de construção física de dutos, lançamento de fibras ópticas e cabos de cobre, aquisição de equipamentos de formação de rede e configuração. A decisão de planejamento quando não tomada no tempo correto pode acarretar em falta ou excesso de capacidades, sendo um problema em qualquer caso.

P2 – Monitoração de alterações de perfil de uso da rede – No planejamento são existe um processo recorrente que independe de novas demandas de serviços, que é a monitoração contínua do perfil de consumo de recursos de rede. Esta monitoração pode levar a necessidade de modificações físicas ou lógicas na rede, visando o desempenho ótimo.

P3 – Nova topologia de rede e estrutura de roteamento – É a fase onde, em função das novas capacidades, devem ser tomadas as decisões de melhor encaminhamento das rotas existentes ou novas a serem criadas.

P4 – Dimensionamento de capacidades de interconexões – Para a interconexão com outras redes autônomas, AS (*Autonomous Systems*) (HAWKINSON; BATES, 1996) e acordos de troca de tráfego.

P5 – Dimensionamento de capacidade de enlaces de comunicação – Interconexões entre equipamentos ou sub-redes internas ao AS analisado.

P6 – Dimensionamento de capacidade de processamento de equipamentos de rede – Este dimensionamento diz respeito às capacidades de processamento interno dos elementos que compõem a rede, ou seja, capacidades de hardware e software específicos para o elemento.

P7 – Dimensionamento de capacidade de gerenciamento dos elementos e enlaces de rede – Diz respeito ao gerenciamento da rede.

D1 – Acordos de interconexão de rede – Negociação entre provedores de serviço visando a troca de tráfego.

PR1 – Projeto e Implantação – Aplicação do plano de trabalho em ações concretas de aquisição e implantação, as contratações ocorrem nesta área.

OP1 – Operação da rede – Após a implantação a área de operações recebe a rede funcionando e a opera em função dos parâmetros determinados pelo Planejamento.

Na Fig. 2-2 é mostrada a função planejamento que é ação de cálculos baseados nas premissas de planejamento e levando em consideração as demandas relacionadas a quantidade de clientes por tipo de serviço.

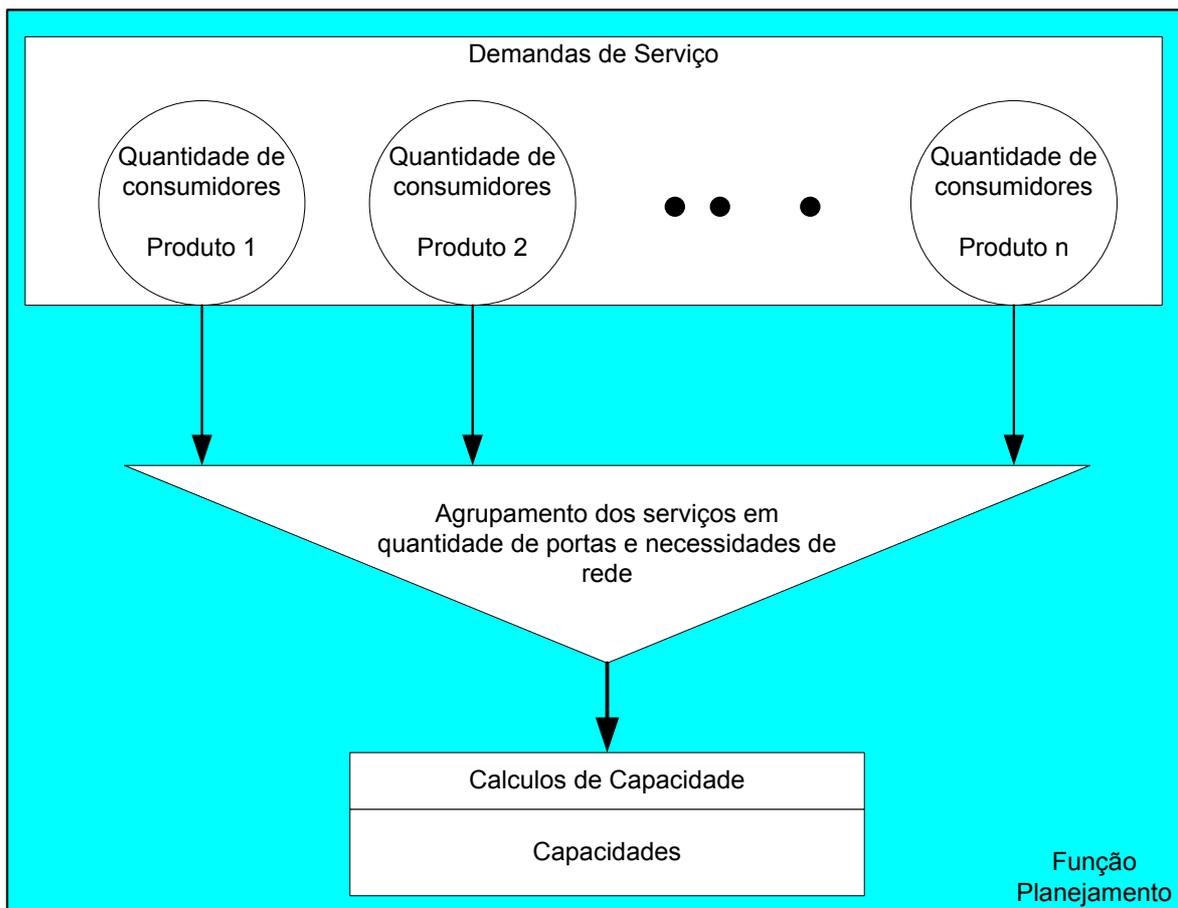


Fig. 1-2 – Agrupamento de serviços em quantidade de portas e rede para cálculo de capacidade

Esta função planejamento não será objeto de otimização neste trabalho, porém é de extrema importância na determinação das capacidades iniciais da rede, principalmente em casos onde não existam dados estatísticos que possam caracterizar algum modelo específico para um dimensionamento. Neste caso o dimensionamento de recursos é feito com base apenas nos dados dos serviços e produtos.

Evans e Filfils (2007), apresentam um modelo de planejamento similar ao aqui mostrado na Fig. 1-3, a preocupação com a saúde financeira dos produtos de planejamento é tratada como ação imprescindível para a sua implantação.

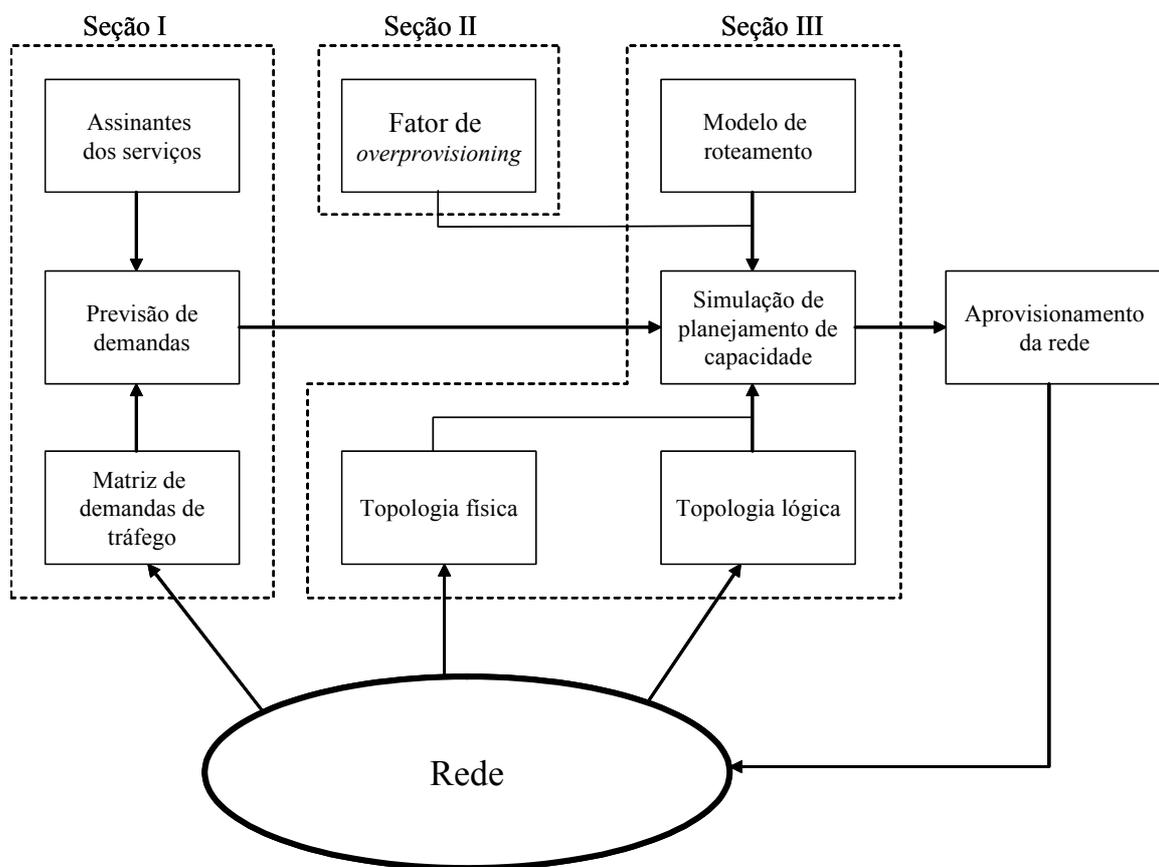


Fig. 1-3 – Metodologia de Planejamento de Capacidade, adaptado de (Evans e Filfils, 2007)

Este modelo em termos de planejamento de capacidade está abaixo descrito:

- I. Coleta de tráfego através de uma matriz (tráfego agregado e por tipo de serviço ou classe), adicionando as previsões em termos de tráfego de forma a criar uma previsão de demandas.

- II. Determinação das capacidades de banda e processamento baseadas em fatores de *overprovisioning* agregado ou por tipo de serviço ou classe, relacionados com as demandas de tráfego medidas e visualizadas pelas matrizes de tráfego de entrada e saída.
- III. Simulações de diversas capacidades de tráfego de forma a ser possível a geração de cenários focados em cada uma das previsões de demandas de tráfego sobrepostas à topologia. Isto é necessário para que as cargas de cada enlace possam ser determinadas.

Na primeira seção é mostrado o processo de coleta de informações da matriz da demanda de tráfego. As informações que compõem a matriz de tráfego podem ser medidas ou estimadas em diferentes níveis de agregação podendo ser por prefixo IP, por roteador, por PoP (*point of presence*). Na segunda os fatores de sobre provisionamento (*overprovisioning*) são utilizados de forma a ser possível o ganho estatístico e a reutilização da banda distribuída ao longo do tempo. Este fator irá se confundir com a banda média por assinante dos serviços disponibilizados. Por último, na terceira sessão, são estimadas as novas capacidades necessárias para a rede em função dos requerimentos de roteamento, topologia física e lógica. Para isto é preconizada a simulação para a tomada de decisão, antes de retornar com as novas configurações para a rede.

Também não basta que se calcule, em uma rede de pacotes, a capacidade dos enlaces de comunicação, no caso de equipamentos que tratam pacotes a capacidade de processamento destes é muito sensível ao tamanho do pacote, este é um dado de extrema relevância e que também deve ser considerado. No capítulo 5, relacionado à caracterização do tráfego, é também realizada uma análise do tamanho dos pacotes presentes na rede.

2.1 DEMANDAS E MATRIZ DE TRÁFEGO

Para uma análise coerente da rede é necessário que sejam coletados dados de tráfego de entrada e de saída entre os diversos pontos da rede. Matrizes de tráfego podem ser medidas ou ainda estimadas em diversos níveis de agregação: sub-rede *IP*, roteador, ponto de presença ou ainda por sistema autônomo. Gerando-se uma matriz de tráfego conforme exemplo mostrado na Tabela 2.1, neste caso apresentando o interesse de tráfego entre sistemas autônomos de forma poder se gerar a melhor opção em termos de crescimento de

capacidade de rede. A leitura desta tabela deve ser feita das linhas para as colunas, quando o objetivo for encontrar o tráfego entrante no AS (*Autonomous System*). Esta matriz somente terá efeito, se todos os elementos presentes na rede puderem ser representados como elementos. Os valores foram preenchidos apenas como exemplo, não sendo valores reais.

Atualmente a principal informação usada em termos de banda são os picos máximos, pois todo o dimensionamento, assim como nos sistemas de telefonia tradicionais, usa a HMM (hora de maior movimento) ou PMM (período de maior movimento) para a tomada de decisão em termos de crescimento de capacidade de rede.

Tabela 2-2 – Matriz de interesse de tráfego entre sistemas autônomos (em *Mbps*)¹

	AS65000	AS65001	AS65002	AS65003	AS65004	AS65005	AS65006	AS65007
AS65000	-	3	3	2	5	2	433	23
AS65001	10	-	4	3	5	3	4	321
AS65002	30	2	-	4	3	5	21	2
AS65003	20	3	5	-	4	9	23	334
AS65004	5	1	5	5	-	7	4	65
AS65005	100	2	54	3	4	-	2	332
AS65006	20	3	3	2	32	6	-	1
AS65007	40	4	45	34	134	56	31	-

Informações relativas ao tráfego de entrada e saída da rede em análise, conforme Tabela 2-2, são imprescindíveis, porém não são as únicas informações necessárias para o dimensionamento, principalmente quando estão em análise funções de trânsito *internet* para outras operadoras e tipos de serviços diferenciados. Nesta tabela é informado um perfil de interesse de tráfego, saindo e entrando, do AS 6500 para os demais, portanto esta serve apenas para efeito de planejamento de capacidade deste AS.

¹ Dados gerados aleatoriamente, apenas para efeito demonstrativo, análises reais serão executadas nos capítulos específicos.

Tabela 2-3 – Tráfego de entrada e saída com relação ao AS em análise²

Tráfego de saída em Mbps									
	AS65001	AS65002	AS65003	AS65004	AS65005	AS65006	AS65007	AS65008	AS65009
AS65000	3	3	2	5	2	433	23	5	7

Tráfego de entrada em Mbps									
	AS65001	AS65002	AS65003	AS65004	AS65005	AS65006	AS65007	AS65008	AS65009
AS65000	10	30	20	5	100	20	40	35	50

Na Tabela 2-3 é apresentada uma matriz de entrada de parâmetros de qualidade para serviços de rede. A utilização de matrizes de tráfego com estas informações melhora a análise da rede principalmente por criar um modelo que pode ser analisado matematicamente com base na matriz e resultados diretos de tráfego por caminho percorrido, neste caso linhas ou colunas.

Analisando as duas matrizes da Tabela 2-2 e Tabela 2-3, é possível que se consiga uma boa predição do crescimento futuro, porém neste ponto, ainda faltam modelos que possam gerar uma ambiente coerente para o crescimento da rede.

Outras informações de extrema importância para a análise da rede são tecnologias disponíveis para a configuração dos consumos de recursos por tipo de serviço, por exemplo, caso seja possível a utilização do *Diffserv (Differentiated Services)*, uma configuração por classes (CARVALHO et al., 2007) de serviço podem ajudar na entrega dos recursos em acordo com o solicitado pelo cliente. Os valores relativos ao preenchimento da Tabela 1-4 são apenas para referência.

² Dados gerados aleatoriamente.

Tabela 1-4 – Matriz de demanda de serviços³

	<i>Nº Assinantes</i>	<i>Probabilidade</i> <i>Perda de Pacotes</i>	<i>Atraso</i> <i>máximo</i> <i>(ms)</i>	<i>Banda</i> <i>média</i> <i>(Mbps)</i>	<i>Disponibilidade</i> <i>de rede</i>
Serviço 1	10.000	1,0E-07	100	2	99,999%
Serviço 2	5.000	1,0E-07	50	3	99,999%
Serviço 3	3.000	1,0E-07	20	2	99,999%
Serviço 4	4.000	1,0E-07	40	2	99,999%
Serviço 5	5.000	1,0E-07	10	2	99,999%
Serviço 6	3.000	1,0E-07	10	1	99,98%
Serviço 7	4.000	1,0E-07	30	3	99,98%
Serviço 8	6.000	1,0E-07	20	4	99,98%
Serviço 9	7.000	1,0E-07	40	5	99,98%

Outras informações importantes são as ocupações de rede por períodos, estas podem dar ao planejador a possibilidade de fornecimento de capacidade de rede para serviços em diferentes períodos de uso da rede. Nos capítulos seguintes serão analisados diversos gráficos com este tipo de informação.

Caso a rede em análise esteja transportando todos os serviços, conforme exemplo da Tabela 1-4 a disponibilidade da rede não poderá ser menor que a maior disponibilidade exigida a qualquer um dos serviços transportados.

Para os casos mostrados nas Tabelas 2.1, 2.2 e 2.3 pode ser visto que para cada tipo de serviço que utiliza os recursos de rede existem necessidades distintas e apesar do ambiente em uso ser único para todos os serviços, faz-se necessário o tratamento diferenciado de cada uma destas necessidades. Caso não se atinja o grau de separação necessário o planejador será obrigado a oferecer o mesmo nível de percepção de qualidade para todos os serviços. Por outro lado, se houver um dimensionamento maior que o necessário, a rentabilidade do Produto oferecido será prejudicada. Isto irá gerar uma contribuição negativa para o resultado financeiro da empresa no final de um período fiscal, fazendo com

³ Valores de referência.

que nos períodos subseqüentes o grau de investimentos seja minimizado ou mesmo extinto para aquele serviço. É possível perceber, que o erro em qualquer situação contribui negativamente, deixando para o Planejador a tarefa de acertar incondicionalmente.

2.2 DIMENSIONAMENTO DE BANDA PARA O TRANSPORTE DE VOZ UTILIZANDO REDES IP/MPLS COM O USO DE POISSON

O dimensionamento de redes de pacotes para transporte de voz sobre IP é uma tarefa que atualmente leva em consideração os mesmos critérios estabelecidos com o uso das tabelas de Erlang (TANENBAUM, 1999). Pode-se notar que o tráfego de voz terá dois comportamentos distintos, um relacionado à canalização do mesmo na rede de pacote e o outro mais relacionado com o uso efetivo do serviço pelo usuário final, isto é, a chamada de voz conforme já estabelecido na RTPC.

O transporte nas redes TDM (*Time Division Multiplex*) pode ser substituído facilmente pela reserva de recursos equivalentes às necessidades dos CODECS (*Encoder and Decoder*). O comportamento de uso do usuário final, em termos de número de ligações telefônicas, tempo de retenção e taxa de bloqueio pode usar o modelo proposto por Erlang (TANENBAUM, 1999) e bastante sólido para o cálculo de capacidade em termos de número de canais.

Na Fig. 1-4 é apresentado o modelo em uso em grandes provedores de serviço de telecomunicações. Neste modelo as duas fases estão bem descritas, sendo a primeira relacionada com o cálculo do número de canais, baseado na teoria de tráfego telefônico e a segunda fase baseada nas informações relativas ao tipo de *CODEC*, matriz de interesse de tráfego e no tipo de sinalização que será usado.

Não é difícil perceber que neste caso a teoria de tráfego telefônico se aplica de forma bastante direta, uma vez que a rede de transporte poderá ser dimensionada com base nos parâmetros conhecidos (número de clientes, taxa de bloqueio e tempo de retenção).

Desta forma, se o número de canais estiver bem dimensionado a eficiência de uma rede de pacotes e de uma rede RTPC (Rede de Telefonia Pública Comutada) com base em transporte TDM será igual.

Este dimensionamento é realizado sempre que novas demandas de serviços de voz, com acréscimo clientes, ocorrem. A questão a ser respondida é se não é possível o aumento da

eficiência com relação a banda equivalente e protegida de forma a ser possível a utilização de recursos com alocação dinâmica baseada em premissas de separação de serviços.

Com isto poderá ser possível a liberação de recursos reservados para o transporte de serviços de maior prioridade, em períodos de baixa utilização destes, para outros serviços de menor prioridade.

Com esta atividade é bastante razoável inferir uma possibilidade de ganho direto em termos da eficiência do uso da rede ao longo dos diversos períodos de maior movimento durante os dias e sazonalidades ao longo de semanas e meses.

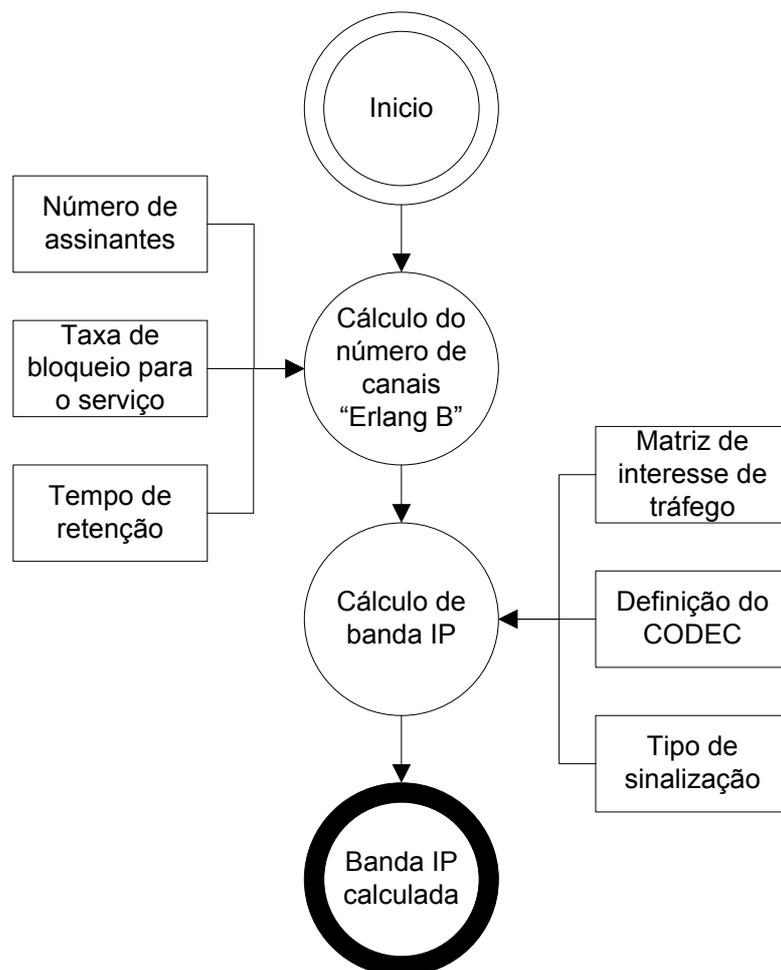


Fig. 1-4 – Dimensionamento de banda de voz para a rede IP

Na Tabela 2-4 são apresentados alguns parâmetros para o dimensionamento de banda em ambientes de telefonia IP (*VoIP*). Com base no fluxo da Fig. 2-4, estes são dados de entrada estão relacionados à alguns tipos de CODECs (*Encoder and Decoder*) e à sinalização.

Tabela 1-5 - Parâmetros de Banda para sinalização e exemplos para CODEC (HALBACH, 2007)

<i>Tipo</i>	<i>Banda necessária na Rede IP (kbps)</i>	<i>Banda necessária no Ethernet (802.1q) (kbps)</i>	<i>Banda necessária no Ethernet (802.1q) c/ RTPx (kbps)</i>	<i>Tamanho médio do pacote (bytes)</i>	<i>Atraso de Processamento (ms)</i>
Sinalização H.323	2,00	2,08	2,41	1,00	-
Sinalização H.248	2,00	2,08	2,41	1,00	-
Sinalização SIP	2,00	2,08	2,41	1,00	-
Roteamento OSPF	2,00	2,08	-	1,00	-
Roteamento BGP	2,00	2,08	-	1,00	-
VPN MPLS LDP	2,00	2,08	-	1,00	-
Acesso VoIP/Telef. IP CODEC G.711	84,00	96,80	100,80	210,00	20,13
Acesso VoIP/Telef. IP CODEC G.729	25,20	40,80	42,00	63,00	40,00
Acesso VoIP/Telef. IP CODEC G.729a	25,20	40,80	42,00	63,00	40,00

2.3 CONCLUSÃO DESTE CAPÍTULO

Os métodos utilizados atualmente para o planejamento de redes de pacotes não conseguem exprimir com exatidão o comportamento real destas redes, desta forma faz-se necessário que novas metodologias sejam desenvolvidas de forma a aumentar a eficiência do transporte de aplicações e serviços em redes integradas.

2 CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM DE TRÁFEGO

Neste capítulo serão descritos métodos de caracterização que possam ser usados para representar o comportamento do tráfego da rede. Na caracterização serão extraídos parâmetros da rede através de medidas diretas de tráfego que servirão como base para a geração do modelo de predição de tráfego.

Devido à necessidade de se conhecer o comportamento do tráfego em grandes redes que utilizam o protocolo *IP* como meio de transporte, faz-se necessário que os ambientes reais possam ser caracterizados. O objetivo é difícil de ser alcançado, pois, constantemente, surgem novas aplicações demandas por novos serviços e que irão utilizar a mesma rede para transporte, isto gera um ambiente em constante mutação, fazendo com que a sua caracterização estática não faça sentido. Uma caracterização que possa ser utilizada em ambientes reais deverá levar em consideração a evolução e a parcela de variação dos tipos de serviço, incluindo aqui os agentes de comportamento social, principais condutores desta situação.

Para que exista um bom modelo de tráfego, faz-se necessário que existam modelos matemáticos com os quais seja possível permitir, na sua estrutura matemática, a reprodução do tráfego com maior impacto no desempenho da rede. A eficiência na caracterização do tráfego será dada pelo grau de acerto do modelo em comparação com as situações medidas diretamente na rede. Segundo (TAKINE; OKAZAKI; MAZUYAMA, 2004) um modelo de tráfego só pode existir se existir um procedimento de inferência eficiente e rigoroso para os parâmetros dessa mesma estrutura matemática.

Os modelos de tráfego serão utilizados, neste trabalho, como possibilidade de dimensionamento de sistemas complexos de telecomunicações. A caracterização do tráfego é a principal fonte de informação para a correta interpretação matemática do tráfego da rede. Uma vez caracterizado, o tráfego poderá ser reproduzido em escalas e períodos distintos e inserido em simuladores de rede. O processo de simulação pode reproduzir o comportamento de tráfego por tipo de aplicação, por partes da rede, por grupos de clientes ou mesmo de interconexões com outras redes, abrindo as possibilidades de aumento conhecimento da rede e assim tornando possível um controle extremo dos recursos de rede.

O tipo de tráfego que está sob análise possui um nível muito alto de agregação, conforme analisado em (MELO, 2004), esta ocorrência pode ser verificada em maior ou menor grau dependendo do horário que estiver sendo medido, em grandes e em pequenas escalas de tempo, porém sem prejuízo para a caracterização matemática.

A caracterização do tráfego deve ser feita de forma que se possam extrair, com o maior grau de aderência possível, parâmetros a partir dos quais o tráfego poderá ser reproduzido em um ambiente computacional coerente com as necessidades de predição.

O modelo auto-similar (PERLINGUEIRO; LING, 2005), (BERAN, 1994) será a base para a predição de tráfego neste trabalho, porém também serão realizadas algumas análises com o modelo Monofractal e o Multifractal (MELO, 2004), (MASUYAMA; TAKINE; OKAZAKI, 2004).

Na Fig. 3-1 é apresentada uma proposta de fluxo completo para a caracterização de tráfego onde os dados coletados podem ser submetidos a processos para o cálculo de parâmetros estatísticos. Os parâmetros necessários para a caracterização serão detalhados no capítulo referente à caracterização do tráfego.

Caso não seja possível a caracterização com os modelos propostos e atualmente em desenvolvimento, significa ser necessário a procura por novos modelos que possam caracterizar e exprimir matematicamente o tráfego em uso nas redes.

Neste caso a “Caracterização não possível” não tem um significado de impossibilidade, mas de necessidade de busca de novos modelos que possam satisfazer as necessidades em termos de aderência aos processos reais.

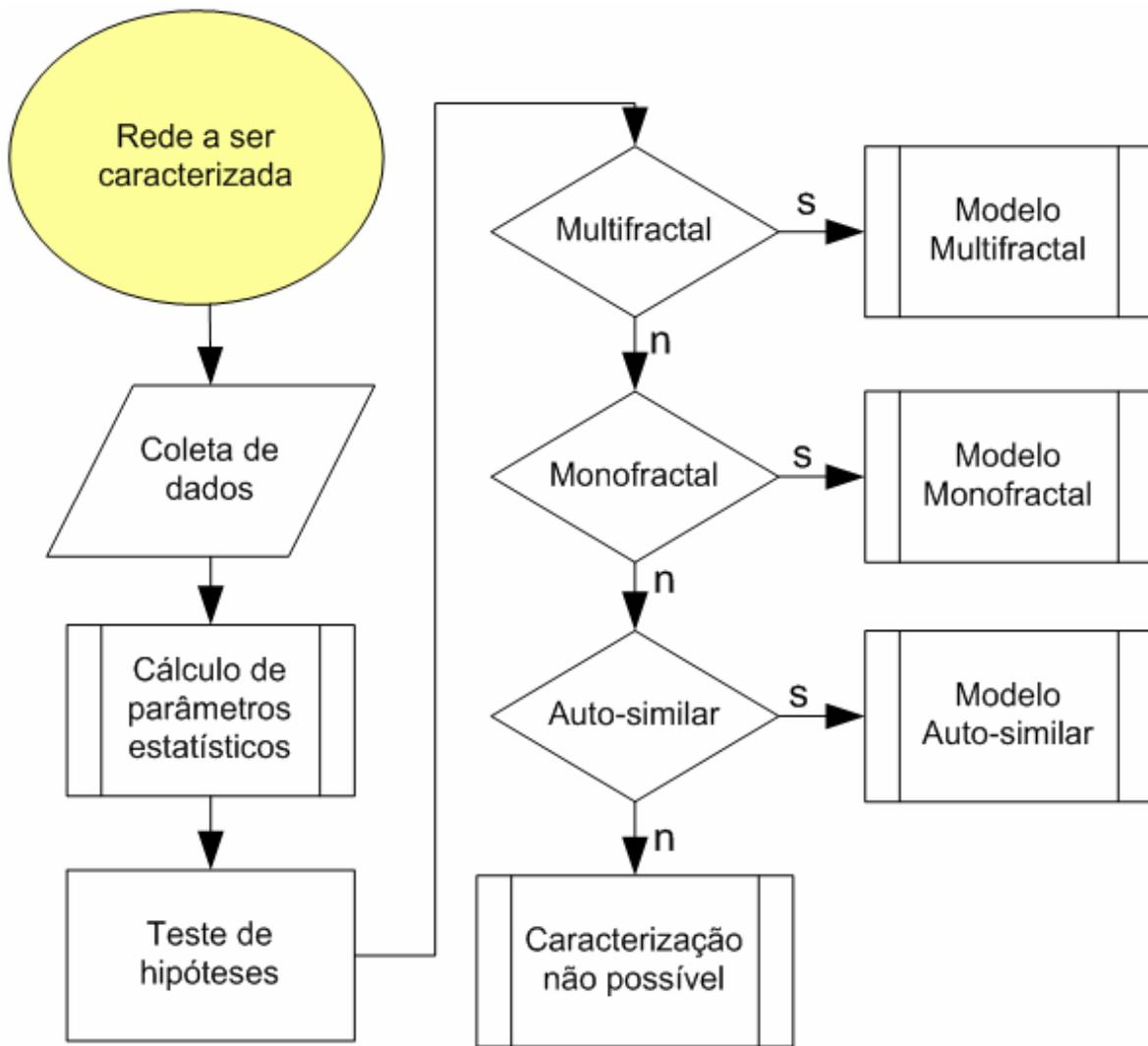


Fig. 2-1 - Modelo de Caracterização

3.1 MODELOS DE TRÁFEGO AUTO-SIMILAR

O fenômeno estatístico DLD (Dependência de Longa Duração) ou LRD (*Long-Range Dependence*) tem recebido muita atenção nos últimos anos devido a possibilidade de seu uso em telecomunicações. Uma série temporal é descrita como um processo DLD se o seu grau de correlação persiste em todas as escalas de tempo. Em (LELAND, 1994) é descrito com detalhes um sumário para uso em telecomunicações.

Até meados da década passada o modelo M/M/1 era utilizado para o dimensionamento de redes de comunicação de dados por pacotes, inclusive. Leland, em (LELAND, 1994), conseguiu resultados diferentes, assim a utilização do modelo M/M/1 passou a ser

questionada. Este estudo mostrou que o tráfego de uma rede *ethernet* possuía duas propriedades que não eram compatíveis com o modelo de tráfego até então utilizado.

A auto-similaridade estatística é uma característica relacionada à manutenção das propriedades estatísticas em diferentes escalas de tempo, e dependência de longa duração. É possível perceber pela Fig. 3.2 que, à medida que aumentamos a escala de tempo, as propriedades estatísticas do tráfego de Poisson se degeneram muito mais rapidamente que as do tráfego real estudado. Em particular, percebe-se visualmente que a variância do tráfego de Poisson se degenerou muito mais que a do tráfego real. Para escalas grandes de tempo o tráfego caracterizado como Poisson se mantém praticamente constante, enquanto o tráfego real ainda possui um grande número de “picos” de tráfego. Outro argumento forte para a utilização de modelos auto-similares de tráfego é o fato de que, em muitos casos, o tráfego de uma rede pode ser visto como uma superposição de várias fontes independentes *ON/OFF* que possuam uma distribuição de cauda pesada para o período *ON*.

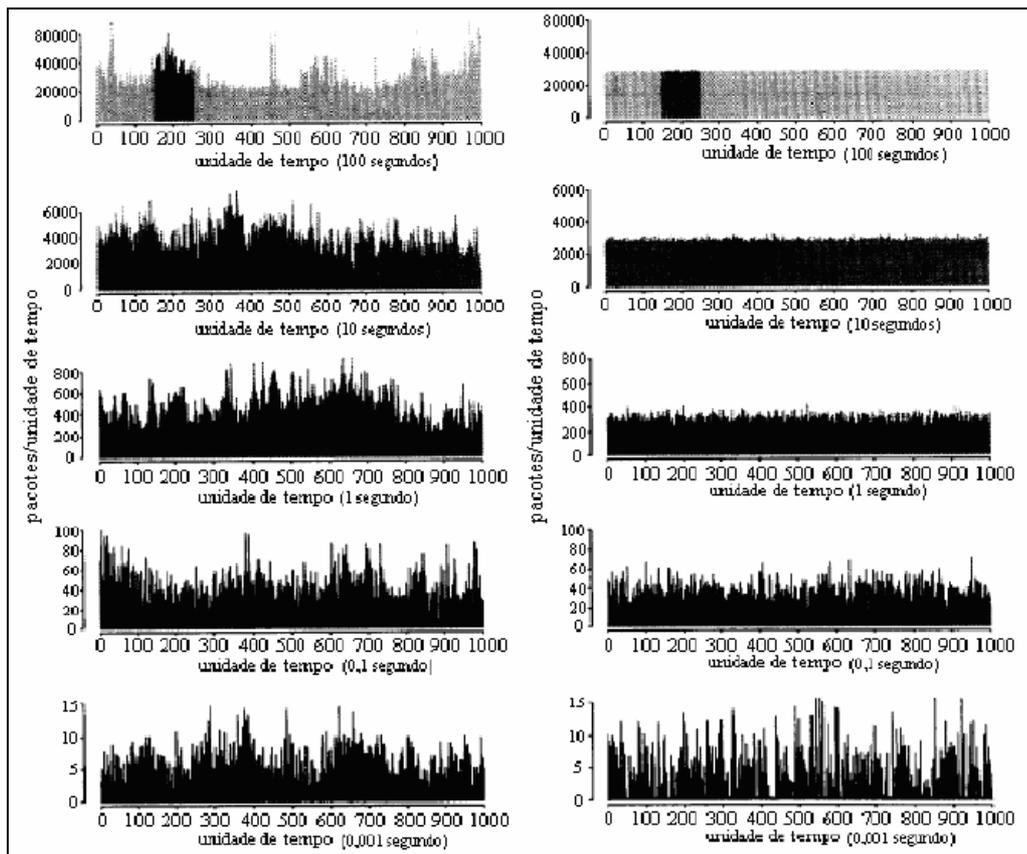


Fig. 2-2 – Comparação entre um tráfego real (à direita) e outro *poissoniano* (à esquerda) adaptado de (Queiroz e Carneiro, 2006).

Em (SILVA, 2005) é sugerido que a agregação de tais fontes converge para um processo gaussiano auto-similar. Essa característica de invariância à escala pode ser útil para que se tenha uma noção melhor de como caracterizar esse efeito de rajada dos tráfegos.

Esse efeito é importante, pois níveis altos de rajadas levam a uma maior utilização de recursos de rede para uma mesma qualidade de serviço e gera um impacto no planejamento e na administração da rede. Nesse capítulo será definido matematicamente a auto-similaridade estatística e algumas de suas propriedades, mostrando sua relação com a dependência de longa duração.

3.1.1 Auto-similaridade

A auto-similaridade pode ser definida como sendo um conjunto de características que o tráfego possui de manter as propriedades estatísticas em diferentes escalas de tempo, e dependência de longa duração.

Um traço de um tráfego auto-similar coletado a uma escala de tempo possui as mesmas características estatísticas que uma versão apropriadamente escalada do tráfego a uma escala de tempo diferente (NICHOLS et al., 1998). Sob o ponto de vista matemático a auto-similaridade para um processo estocástico em tempo contínuo é definida na Eq. 3.1. Um processo em tempo contínuo $X(t)$ é considerado exatamente auto-similar se:

$$X(t) \stackrel{d}{=} a^{-H} X(at), a > 0 \quad (2.1)$$

Onde a igualdade da Eq. 3.1 possui sentido probabilístico. Isso quer dizer que as funções amostras de um processo $X(t)$ e as de sua versão escalada $a^{-H}X(at)$, obtidas comprimindo-se o eixo do tempo por fator a e o eixo das amplitudes por um fator a^H , não podem ser distinguidas estatisticamente. Ou seja, os momentos de ordem n de $X(t)$ são iguais aos momentos de ordem n de $X(at)$ escalonados por a^{-Hn} . Caso o processo tenha as características de auto-similaridade para as estatísticas de segunda ordem ele é chamado de exatamente auto-similar de segunda ordem e seus momentos de primeira e segunda ordem são dados por:

$$E(X(t)) = \frac{E(X(at))}{a^H} \quad (2.2)$$

$$\nu(X(t)) = \frac{\nu(X(at))}{a^{2H}} \quad (2.3)$$

$$R(t_1, t_2) = \frac{R(at_1, at_2)}{a^{2H}} \quad (2.4)$$

A caracterização da dependência de longa duração (CLEGG, 2006), segue as seguintes regras, para a caracterização de um processo estocástico:

◆ **Para $1/2 < H < 1$** , o processo tem dependência de longa-duração.

◆ **Para $H \leq 0,5$** , este processo possui dependência de curta duração ou independência.

Para estes casos e observando a equação 3.1, pode-se verificar que todos os momentos de ordem n de $X(t)$, se existirem, terão um comportamento respeitando uma determinada lei de potência em função do tempo:

$$E|X(t)|^n = E|X(1)|^n |t|^{nH} \quad (2.5)$$

Os processos auto-similares com incrementos estacionários (H-sssi) são modelos executáveis de processos com incrementos estacionários. Desta forma o processo de incremento $Y(\delta, t)$ é de tal que:

$$\{Y(\delta, t) = Y\delta(t) = X(t + \delta) - X(t), t \in R\} \stackrel{d}{=} \{X(\delta) - X(0)\}, \quad \forall \delta \quad (2.6)$$

Neste caso, sendo este um processo H-sssi, o parâmetro de Hurst está sempre contido no intervalo: $0 < H < 1$. A função de correlação, caso esteja definida, será da seguinte forma, conforme demonstrado a seguir:

$$E|X(t_2) - X(t_1)|^2 = E|X(t_2)|^2 + E|X(t_1)|^2 - 2E|X(t_1)||X(t_2)| \quad (2.7)$$

$$E|X(t_1)||X(t_2)| = R_X(t_1, t_2) = \frac{1}{2} \{E|X(t_1)|^2 + E|X(t_2)|^2 - E|X(t_2) - X(t_1)|^2\} \quad (2.8)$$

Considerando que $X(t)$ possui incrementos estacionários:

$$E|X(t_2) - X(t_1)|^2 = E|X(t_2 - t_1)|^2 \quad (2.9)$$

Desta forma a função de autocorrelação de $X(t)$ será:

$$R_X(t_1, t_2) = \frac{1}{2} \{E|X(t_1)|^2 |t_1|^{2H} + E|X(t_2)|^2 |t_2|^{2H} - E|X(t_2 - t_1)|^2 |t_2 - t_1|^{2H}\} \quad (2.10)$$

$$R_X(t_1, t_2) = \frac{E|(X(1))|^2}{2} \{|t_1|^{2H} + |t_2|^{2H} - |t_2 - t_1|^{2H}\} \quad (2.11)$$

A função de autocorrelação do processo de incrementos de $X(t)$ é:

$$R_{Y_\delta}(\tau) = \frac{E|(X(1))|^2}{2} \{|\tau + \delta|^{2H} + |\tau - \delta|^{2H} - 2|\tau|^{2H}\} \quad (2.12)$$

A demonstração é de fácil compreensão:

$$R_{Y_\delta}(\tau) = E|Y_\delta(t) - Y_\delta(t + \tau)|^2 = E[(X(t + \delta) - X(t))(X(t + \delta + \tau) - X(t + \tau))] \quad (2.13)$$

$$R_{Y_\delta}(\tau) = E[X(t+\delta)X(t+s+\delta)] - E[X(t+\delta)X(t+s)] \\ - E[X(t)X(t+s+\delta)] + E[X(t)X(t+s)] \quad (2.14)$$

$$R_{Y_\delta}(\tau) = \frac{E|X(1)|^2}{2} \{ |t+\delta|^{2H} + |t+s+\delta|^{2H} - |s|^{2H} - |t+\delta|^{2H} - |t+s|^{2H} \\ + |s-\delta|^{2H} - |t|^{2H} - |t+s+\delta|^{2H} + |s+\delta|^{2H} + |t|^{2H} + |t+s|^{2H} - |s|^{2H} \} \quad (2.15)$$

$$R_{Y_\delta}(\tau) = \frac{E|X(1)|^2}{2} \{ |t+\delta|^{2H} + |t-\delta|^{2H} - 2|\tau|^{2H} \} \quad (2.16)$$

A auto-similaridade de $X(t)$ passará para seus incrementos tal que⁴:

$$Y(\delta, t) \stackrel{d}{=} a^{-H} Y(a\delta, at) \quad (2.17)$$

$$E|Y(\delta, t)|^n = E|X(t+\delta) - X(t)|^n = E|X(1)|^n |\delta|^{nH} \quad (2.18)$$

1.1.2 Utilização do modelo auto-similar para a caracterização de tráfego em tempo discreto

A auto-similaridade para processos estocásticos em tempo discreto pode ser definida a partir de um processo $Y(\delta, t)$ para um valor fixo em δ , conforme a seguir:

$$G(k) = Y(k\delta) = X((k+1)\delta) - X(k\delta) \quad (2.19)$$

Se a função de auto-correlação do processo estacionário exatamente auto-similar de segunda ordem é a equação 3.19 e se a equação 3.12 for derivada, ter-se-á:

$$r_G(k) = E[G(n)G(n+k)] = E[G(n\delta)G(n\delta+k\delta)] \quad (2.20)$$

$$r_G(k) = \frac{E[X(1)]^2}{2} \{ |k\delta + \delta|^{2H} + |k\delta - \delta|^{2H} - 2|k\delta|^{2H} \} \quad (2.21)$$

$$r_G(k) = \frac{E[X(1)]^2 |\delta|^{2H}}{2} \{ |k+1|^{2H} + |k-1|^{2H} - 2|k|^{2H} \} \quad (2.22)$$

$$r_G(k) = \frac{E[G(n)]^2}{2} \{ |k+1|^{2H} + |k-1|^{2H} - 2|k|^{2H} \} \quad (2.23)$$

Neste caso o coeficiente de correlação do processo $G(k)$ será:

$$\rho_G(k) = \frac{E[(X(n) - \mu) - (X(n+k) - \mu)]}{E[(X(n) - \mu)]^2} = \frac{1}{2} \{ |k+1|^{2H} + |k-1|^{2H} - 2|k|^{2H} \} \quad (2.24)$$

Se o processo obedecer a equação 3.25, este poderá ser chamado de auto-similar em tempo discreto exatamente auto-similar, sendo $\rho^{(m)}(k)$ o coeficiente de auto-correlação do processo m-agregado de $G(k)$ conforme equação 3.37.

$$\rho_G(k) = \rho^{(m)}(k) = \frac{1}{2} \{ |k+1|^{2H} + |k-1|^{2H} - 2|k|^{2H} \} \quad \forall m, k \quad (2.25)$$

$$G^{(m)}(k) = \frac{1}{m} \sum_{i=km}^{(k+1)m-1} G(i) \quad (2.26)$$

Cada valor de $G^{(m)}(k)$ é formado pela média dos m valores consecutivos de $G(k)$ a partir de $m*k$, conforme equação 3.27.

⁴ Onde a igualdade tem sentido estatístico.

$$G^{(m)}(k) = \frac{1}{m} [G(km) + G(km+1) + G(km+2) + \dots + G(km+m-1)] \quad (2.27)$$

De fato, a dependência de longa duração nos processos auto-similares implica em um decaimento muito lento da variância que os processos com dependência de curta duração. Para o processo que foi definido pela equação 3.19.

$$\nu(G^{(m)}(0)) = \nu\left(\frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} G(i)\right) = \nu\left(\frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} (X((i+1)\delta) - X(i\delta))\right) = \nu\left(\frac{1}{m} (X(m\delta) - X(0))\right) \quad (2.28)$$

Com $X(0) = 0$, ter-se-á:

$$\nu(G^{(m)}(0)) = \nu\left(\frac{1}{m} X(m\delta)\right) = \nu\left(\frac{m^H}{m} X(\delta)\right) = \nu(m^{H-1} G(0)) = m^{2H-2} G(0) \quad (2.29)$$

Como o processo $G(k)$ é estacionário, a variância de $G^{(m)}(k)$, para qualquer k , assume a forma:

$$\nu(G^{(m)}(k)) \sim m^{2H-2} \quad (2.30)$$

É possível que a melhor característica de um processo auto-similar seja a simplicidade de sua representação, pois o processo todo é controlado apenas pelo parâmetro H (Hurst). Por outro lado, esta simplicidade gera um grande problema, pois dificilmente na natureza serão encontrados processos que sejam exatamente auto-similares. E em conformidade com a definição, a auto-similaridade existe para qualquer escala, ou seja, uma relação entre os fatores de escala manter-se-á constante para qualquer escala. Em situações de eventos naturais já estudadas (LELAND, 1994) e (TAQQU; WILLINGER; SHERMANM, 1997), foi verificado que a auto-similaridade somente existe para um número finito de escalas e a relação entre os seus fatores mantém-se constantes apenas assintoticamente para diferentes escalas.

Com efeito, a auto-similaridade implica que, em acordo com a eq. 3.5 pela qual todo momento de ordem n (se existir) será controlado por um único parâmetro H . Na maioria das vezes (TAKINE; OKAZAKI; MASUYAMA, 2004) e (SILVA, 2005) os modelos auto-similares, com parâmetro único definido, somente poderão ser aplicados em escalas grandes (MELO, 2004), (FERREIRA, 2005). Este comportamento foi verificado, no caso em estudo, em escalas de 1 e 5 minutos (CARVALHO et al., 2007).

Dois modelos podem generalizar os processos auto-similares com relação à escala, o processo forte assintoticamente auto-similar de segunda ordem e o processo assintoticamente auto-similar de segunda ordem. O processo chamado de forte assintoticamente auto-similar de segunda ordem quando as variâncias de seus processos agregados seguem a seguinte condição na equação 3.31, onde o limite da variância de um processo agregado com m igual a (1, 2, 3, ...) tendendo ao infinito é estatisticamente igual a m elevado a β , sendo esta uma relação com o H , conforme representado na Eq. 3.31.

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \nu(X^{(m)}) \sim m^{-\beta}, \quad \text{com } H = 1 - \frac{\beta}{2} \quad (2.31)$$

Os processos auto-similares podem ser usados como ferramenta para a caracterização de tráfego em redes de pacotes, principalmente relacionadas a tráfego em nível de agregação elevado. Em (Perlingeiro e Ling, 2005) é realizado um estudo de tráfego demonstrando características de auto-similaridade em pontos de uma rede com alto grau de agregação, isto é, quanto mais alto o nível de agregação em termos de tráfego, maior o H .

Por outro lado, em (MELO, 2004) e (BARRETO, 2006) é verificado que quando se utilizam modelos auto-similares existe uma tendência de superestimar, desta forma em (PERLINGUEIRO; LING, 2005) foi apresentado um coeficiente de normalização de resultado de estimação de banda passante.

Apesar do modelo, em uso atualmente, não satisfazer às necessidades dos planejadores em termos de previsão coerente, também não é aceitável que se passe a utilizar novos modelos que não possam se provar melhor adaptados às necessidades das novas redes, incluindo as preocupações relativas aos serviços, cada vez mais menos previsíveis. Aqui não serão trabalhados os conceitos relativos à identificação do tipo de tráfego que circula pela *internet*, mas sem dúvida esta também é uma preocupação a ser levada em consideração. Não é interessante que se mencione o ato de planejar sem o conhecimento do comportamento dos serviços que estão fazendo uso dos recursos, desta forma não existe nenhuma possibilidade de acertos sem o profundo conhecimento do tipo de tráfego em movimento na rede.

3.2 – MODELO DE TRÁFEGO MONOFRACTAL

O tráfego auto-similar pode também ser considerado um caso particular de tráfego caracterizado como monofractal. Para caracterizar um processo monofractal, será utilizado um conceito de regularidade de Hölder (SEURET; GILBERT, 2000), que descreve a regularidade das realizações dos processos estocásticos, fazendo uma comparação local com uma lei polinomial. Este conceito está intimamente ligado ao da similaridade escalar no limite das menores escalas. O expoente da lei polinomial, $h(t)$, é chamado de expoente (local) de Hölder e depende normalmente do tempo e da realização do processo estocástico (FERREIRA, 2005).

Se $\{X(t), t \in \mathbb{R}\}$ designar um processo estocástico estacionário, com $h > 0$, quando $\delta \rightarrow 0$, desta forma para pequenos incrementos de X , teremos:

$$E[(X(t + \delta) - X(t))^2] \approx |\delta|^{2h}, \delta \rightarrow 0 \quad (2.32)$$

Onde δ é o desvio padrão e h o expoente de Hölder. Esta relação mostra a regularidade do processo X uma vez que a condição $h > 0$ garante a continuidade.

Os processos para os quais o expoente de Hölder $h(t)$ é o mesmo para qualquer t declaram uma regularidade constante para as suas realizações e são geralmente chamadas de processos monofractais.

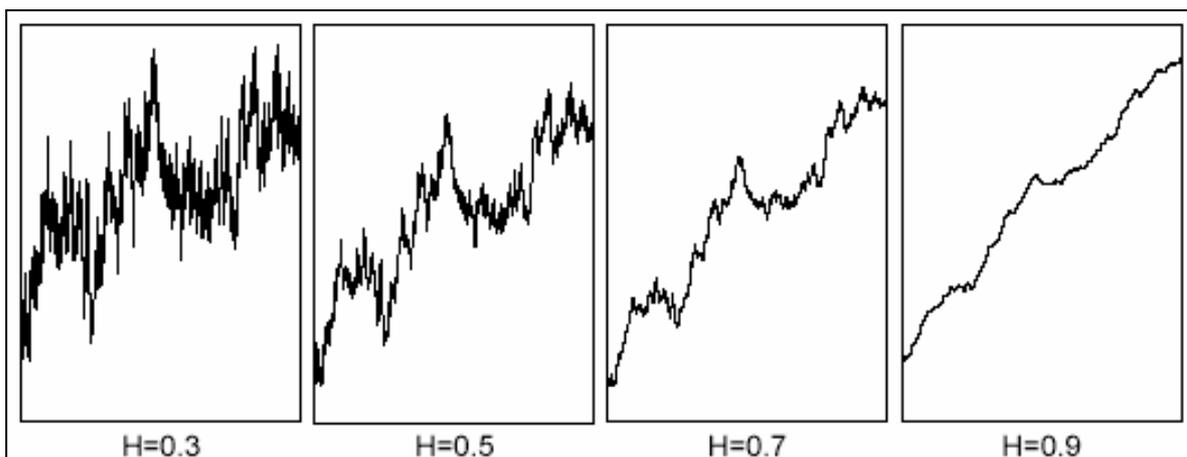


Fig. 2-3 – Realizações de processos fBm com diferentes H , extraído de (Ferreira, 2005)

O expoente de Hölder $h(t)$ proporciona a quantificação da regularidade local de uma função. Uma realização de um processo estocástico mostra uma menor variabilidade quando $h(t)$ aumenta de 0 até 1. Na Fig. 2-3 é mostrado um processo monofractal com base no movimento Browniano fractal (fBm), sendo este um exemplo onde o $h(t) = H$, isto é o Hurst é igual ao Hölder.

A utilização deste modelo é baseada em estudos⁵ iniciados por Karl Weierstrass (1872), que pesquisando funções, encontrou um tipo com a propriedade de não ter nenhuma parte diferenciável, porém ser contínua em todo seu domínio. O gráfico desta função é chamado de fractal. Contudo Helge von Koch (1904), entendendo ser a definição de Weierstrass muito abstrata e analítica, procurou e encontrou uma definição mais geométrica de uma função similar, atualmente conhecida como floco de neve de Koch (*Koch snowflake*), que é o resultado de infinitas adições de triângulos ao perímetro de um triângulo inicial. Cada vez que novos triângulos são adicionados, o perímetro cresce, e fatalmente se aproxima do infinito, assim o fractal abrange uma área finita dentro de um perímetro infinito.

3.3 MODELO DE TRÁFEGO MULTI-FRACTAL

Na equação 3.5, substituindo, por conveniência, o n por q para representar os momentos estatísticos temos a definição de um processo $X(t)$ monofractal ou auto-similar. Esta definição impõe restrições com relação à uniformidade das variações ou explosividade (*burstness*) de $X(t)$ em diferentes instantes de tempo, isto é, não é admitido variação do H em diferentes instantes de tempo.

Um processo multifractal não apresenta restrição com relação à uniformidade nas suas variações e tem os seus momentos estatísticos definidos por (ABRY et al., 2002):

$$E|X(t)|^q = E|X(1)|^q |t|^{\zeta(q)} \quad (2.33)$$

onde, $\zeta(q)$ é a função cascadeamento. Esta função apresenta um comportamento não-linear para diferentes momentos de q , caracterizando a multifractalidade.

Já no domínio de *wavelets*, a relação estabelecida na equação (3.33) é definida como a seguir:

$$E|d_x(j,k)|^q \approx 2^{j\zeta(q)} \quad j \rightarrow -\infty \quad (2.34)$$

onde $d_x(j,k)$ é a série de incrementos obtidos pela decomposição do processo $X(t)$ usando a transformada de *wavelet* discreta. A função cascadeamento $\zeta(q)$ é definida por:

$$\zeta(q) = \alpha_q - \frac{q}{2} \quad (2.35)$$

onde, α_q é o expoente de cascadeamento. Este expoente tem o seu valor relacionado à explosividade do tráfego, que no caso dos processos multifractais varia para os diferentes momentos estatísticos q .

Em (ABRY et al. 2002) é descrito um método para a detecção de ocorrência de multifractalidade em um processo estocástico. Basicamente, neste método, é verificado o comportamento da função $\zeta(q)$ em relação aos momentos estáticos q . Neste caso basta que a função seja não-linear para que o comportamento seja confirmado como multifractal.

Para se estimar os valores da função $\zeta(q)$ é necessária a determinação do expoente de cascadeamento α_q em acordo com a equação 3.48, fazendo uso do método diagrama LD (*Logscale Diagram*) (ABRY, 1995), (VEITCH, 2007) do q -ésimo momento. Usando esta metodologia deve ser definida a inclinação da reta que mais se aproxima da curva gerada pela relação μ_j e $2j$ em escala logarítmica, este será o α_q . Os valores de μ_j serão dados por:

$$\mu_j = \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} |d_x(j,k)|^q \approx E|d_x(j,k)|^q \quad (2.36)$$

onde, n_j é o número de detalhes de $d_x(j,k)$, na escala de tempo j , gerados pela decomposição de $X(t)$, através de uma transformada de *wavelet* discreta.

A presença de multifractalidade pode ser detectada também analisando o comportamento do expoente de Hölder h_q (Hölder em relação aos momentos estatísticos q). O expoente assume a seguinte forma:

$$h_q = \frac{\alpha_q}{q} - \frac{1}{2} \quad (2.37)$$

⁵ Vide anexo I

ou ainda similarmente,

$$h_q = \frac{\zeta(q)}{q} \quad (2.38)$$

Em (ABRY et al., 2002) é descrito o método diagrama linear multiescala (*Linear Multiscale Diagram*), utilizado para determinar a ocorrência de multifractalidade em um processo. Neste método, avalia-se o comportamento da curva obtida com a estimativa do expoente de Hölder h_q e caso o seu comportamento seja não-horizantal é constatado a multifractalidade. Nos casos onde um único h_q controla todo o processo e explosividade (*burstness*) o Hölder equivale ao parâmetro de Hurst H .

Desta forma, quando expoente de Hölder h assume características próprias de uma função $h(t)$, esta altamente irregular, pode-se afirmar que este é um processo estocástico, assim chamado de multifractal.

A grande variação de $h(t)$ torna extremamente complexa a tarefa de caracterizar as variações em termos de tempo desta função, sendo melhor que a sua caracterização seja estatística. A caracterização estatística pode ser feita através do espectro multifractal da função $h(t)$. São usados dois tipos de análise espectral: o espectro multifractal de Hausdorff e o espectro multifractal de Legendre (SEURET; VÉHEL, 1995), (SEURET, 2000). O espectro multifractal de Hausdorff é a função $D(a)$ que corresponde à dimensão de Hausdorff do conjunto de pontos $t \in IR$ onde $h(t) = a$, onde a é o valor máximo assumido por $h(t)$, assim:

$$D(a) = \dim(t \in IR : h(t) = a) \quad (2.39)$$

onde $\dim(S)$ é a dimensão de Hausdorff do conjunto S .

O espectro de Legendre remete a uma das características dos processos multifractais à partir do qual o comportamento das chamadas funções de partição seguem uma lei polinomial com expoente $\zeta(q)$:

$$\int |X(t+\tau) - X(t)|^q dt \approx |\tau|^{\zeta(q)}, \tau \rightarrow 0, q \in IR \quad (2.40)$$

Desta forma o espectro multifractal de Legendre pode ser calculado através da transformada de Legendre de $\zeta(\tau)$, conforme equação 3.54.

$$D(h) = \min_q(qh - \zeta(q) + 1) \quad (2.41)$$

Cascatas multiplicativas são exemplos de processos multifractais (MELO, 2004), em (ERRAMILLI, 2001), (ERRAMILLI et al., 2001) é apresentado um modelo de tráfego chamado de cascata multiplicativa, este é capaz de verificar se amostras de tráfego possuem estatísticas multifractais. É mostrada uma escala de tempo θ a partir da qual um traço de tráfego apresenta características monofractais. Nesta mesma linha, para escalas ainda menores que θ , as estatísticas multifractais são encontradas, esta é a escala de tempo limitante (*cutoff scale*).

Na Fig.3-4 é apresentado um espectro de Legendre calculado através da ferramenta FRACLAB 2.0 (VÉHEL, 2006) para um traço de tráfego caracterizado como auto-similar. Observa-se neste exemplo que o expoente de Hölder varia muito pouco em todo o espectro.

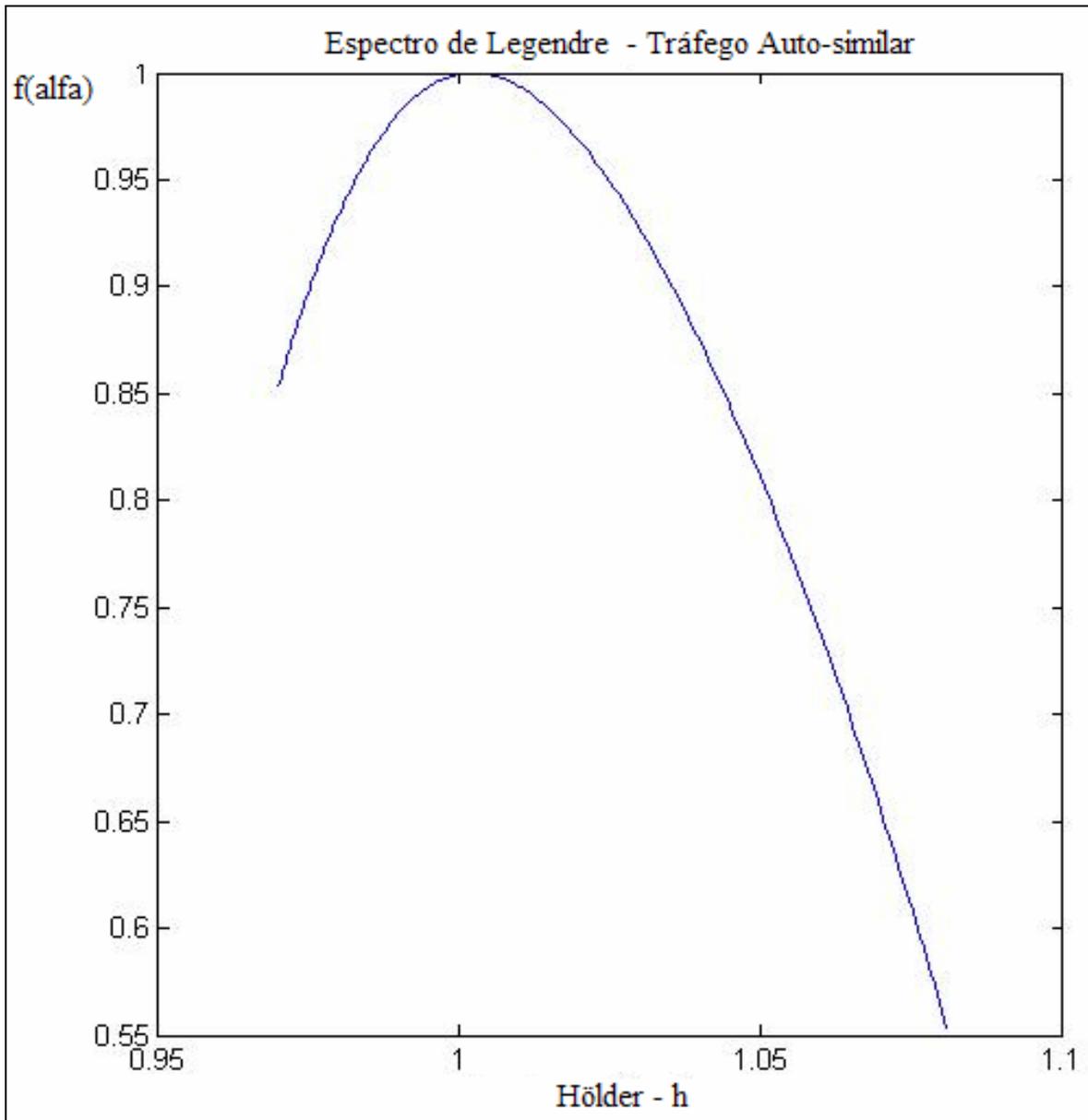


Fig. 2-4- Exemplo do espectro de Legendre para um tráfego auto-similar

O modelo de Cascata Multiplicativa caracteriza traços de tráfego em escala de tempo maiores ou iguais a θ usando um processo fBm. Nas escalas menores que θ é usado o método da cascata multiplicativa semi-randômica com parâmetro p , para o tráfego avaliado igual a 0,65. Neste caso são derivadas expressões para o planejamento de capacidade e controle de admissão, estas derivadas da teoria dos Grandes Desvios (VIEIRA, 2006). A definição destas expressões tem como requisito a computação dos diversos momentos do tráfego em análise. Quando as escalas de tempo são maiores ou iguais a θ , o q -ésimo momento é definido por:

$$E(A_{fBm}^q(\theta)) = \sum_{k=0}^{\lfloor \frac{q}{2} \rfloor} \binom{q}{2k} (m\theta)^{q-2k} (am\theta^{2H})^k (2k-1)!! \quad (2.42)$$

onde temos $A_{fBm}(\theta) = m\theta + (am)^{1/2} X_{fBm}(\theta)$, com $X_{fBm}(\theta)$ sendo uma variável gaussiana com média zero e variância θ^{2H} , $(2k-1)!!$ é um fatorial duplo: $(2k-1)!! = (2k-1)(2k-3) \dots 1$.

Os vários momentos de q do tráfego, nas escalas de tempo menor que θ , são aproximadas por:

$$E(A_{MFC}^q(t)) = E[A_{fBm}^q(\theta)] \left(\frac{t}{\theta}\right)^{1-\tau(q)} \quad (2.43)$$

onde $\tau(q)$ é a função estrutura.

Em (VIEIRA, 2006), o modelo Cascata Multiplicativa é utilizado para executar um sistema de fila que tem o seu mecanismo avaliado quando o fluxo que alimenta este sistema apresenta estatísticas com comportamento multifractal.

Em (MELO, 2004) foram avaliadas escalas de tempo limitante (*cutoff scale*) θ e verificou que para traços de tráfego IP a ordem é de 1 (um) milissegundo, o tempo de um RTT (*Round Trip Time*).

2.1.1 MWM - Modelo de *Wavelets* Multiplicativo (*Multiplicative Wavelet Model*)

O processo de construção de uma medida multifractal pode ser realizado através de uma árvore multiescala (MELO, 2004), que ocorre pela divisão sucessiva de uma medida inicial até uma resolução(ou condição) seja satisfeita. Nas análises a seguir, quanto maior a profundidade da árvore menor é a escala de tempo considerada, em outra visão pode-se fazer uma correspondência analítica entre as folhas desta árvore e a medida real coletada na menor escala de tempo.

Os nós em uma escala intermediária j descendem de outros que pertencem à escala $j-1$ e representam o tráfego agregado na escala de tempo 2^{-j} . Neste caso cada nó na escala j

possui descendentes na escala $j + 1$. Por sua vez, o nó raiz representa o tráfego agregado, agora na sua maior escala de tempo. O processo de construção da árvore multiescala, conforme Fig. 2-5, se aproxima muito fortemente a decomposição de sinais pelas transformadas das *wavelets*.

O modelo MWM é definido por (RIEDI et al., 2005), sendo que as considerações principais estão relacionadas a traços de tráfego coletados diretamente das redes. Neste caso os processos são, em seu âmago, processos positivos e sua função de distribuição é não-gaussiana(lognormal).

Neste caso, no MWM, cada nó da árvore multiescala é definida por:

$$V_{j+1,2k} = (V_{j,k} * M_{j,k}) \quad (2.44)$$

$$V_{j+1,2k+1} = (V_{j,k} *(1 - M_{j,k})) \quad (2.45)$$

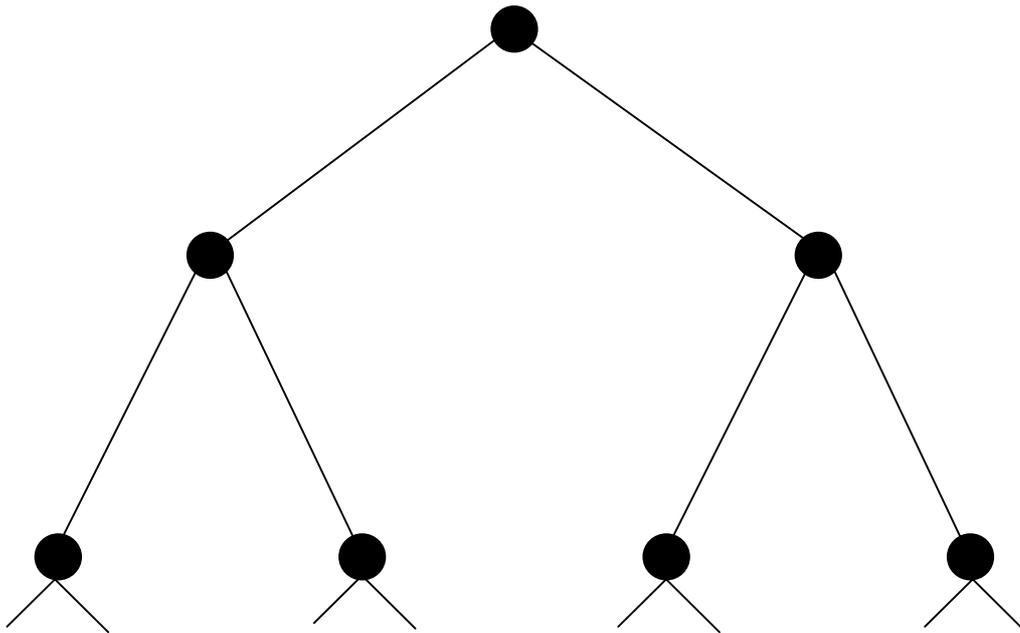


Fig. 2-5 – Árvore Multiescala (Melo, 2004)

onde $M_{j,k}$ é uma variável estatística definida no intervalo $[0, 1]$. Se o teorema do limite central for utilizado e se for considerado o efeito multiplicativo declarado pela variável $M_{j,k}$ é possível admitir que em uma escala j , com $j \rightarrow \infty$, a série de variáveis $V_{j,k}$ apresente função de distribuição lognormal.

A Fig. 2-6 apresenta o processo que é desenvolvido pelo MWM com o objetivo de geração de uma árvore multiescala. No seu trabalho, (RIEDI et al., 2005), mostram a distribuição β , cuja forma pode ser ajustável, sendo usada como função de distribuição das variáveis $M_{j,k}$.

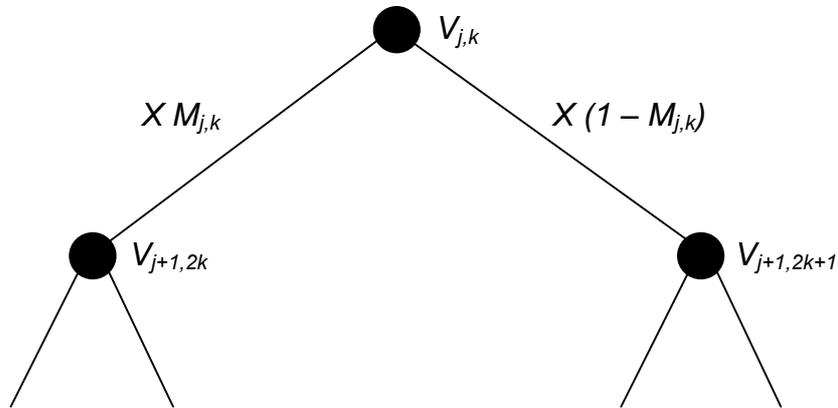


Fig. 2-6 – Árvore Multiescala gerada pelo MWM

Este novo MWM, agora chamado de β MWM, é bastante utilizado para a caracterização do tráfego em redes reais. Isto ocorre, pois o tráfego sintético gerado pelo β MWM é um processo positivo no sentido estrito e a sua distribuição marginal é não-gaussiana com forma assintoticamente similar àquela verificada no tráfego real. No mesmo trabalho (RIEDI et al., 2005), apresentam um algoritmo para a geração de traços de tráfego sintético a partir da caracterização realizada pelo MWM. Este algoritmo possui custo computacional de ordem linear com o tamanho da entrada.

2.1.2 MMW - Modelo Multifractal baseado em *Wavelets*

Um grande problema para a utilização dos modelos multifractais é o fato do expoente de Hölder ser apresentado sob a forma de uma equação, isto dificulta a geração de um modelo de tráfego com base nestas características para a estimação. Em (VIEIRA, 2006) é explorada a possibilidade de construção de um modelo que leve em consideração os parâmetros multifractais, porém fazendo uso de simplificações que próximas das usadas nos modelos auto-similares.

Este modelo é multifractal no domínio *wavelet* e explora propriedades das *wavelets*, em especial as da *wavelet* de Haar. Neste caso são derivados parâmetros do modelo MMW tais como expressões para seu parâmetro de escala global e para sua função de autocorrelação.

O modelo proposto visa capturar as propriedades multifractais representadas pelas funções de escala e pelo fator de momento de séries reais de tráfego, possuindo uma estrutura adequada para modelagem adaptativa de sinais. Em (VIEIRA, 2006) também é apresentado um modelo de utilização dos cálculos de banda efetiva para uso em tempo real, esta possibilidade é também explorada neste trabalho.

O modelo de tráfego MMW pode também ser encarado como uma cascata multifractal assim como o MWM, porém o primeiro requer um número menor de parâmetros em seu processo de síntese. Este modelo multifractal denominado de Modelo Multifractal baseado em Wavelets (MMW) é conseguido usando apenas a variância do traço de tráfego agregado e a média e a variância dos dados de tráfego. O modelo MMW simplifica o processo de síntese do modelo MWM anteriormente apresentado, ao incorporar o conhecimento dos parâmetros das funções de escala $\tau(q)$ e do fator de momento $c(q)$. As propriedades multifractais dos dados reais de tráfego são caracterizadas por suas correspondentes função de escala $\tau(q)$ e fator de momento $c(q)$. Desta forma um modelo multifractal geral deve ser capaz de ser caracterizado, através da captura destas duas propriedades multifractais O modelo proposto objetiva capturar tanto a função de escala como o fator de momento do processo a ser analisado.

Utilizando o conceito de cascatas multiplicativas, o modelo pode ser visualizado pelo produto de uma cascata positiva por uma negativa (VIEIRA, 2006). Para esta situação o modelo multifractal resultante pode ser visto como o produto da taxa de pico do fluxo Y , pela medida de rajada $\mu(\Delta t_N)$ na escala de tempo aplicada Δt_N . A variável Y é independente da medida da cascata $\mu(\Delta t_k)$, então a série obtida denotada por $X(\Delta t_N)$ satisfaz a relação:

$$E\left(X(\Delta t_N)^q\right) = E\left(Y^q\right)E\left(\mu(\Delta t_N)^q\right) = E\left(Y^q\right)\Delta t_N^{T_0(q)} \quad (2.46)$$

2.1.3 Estimador de banda para a predição de tráfego

Os estimadores de banda, atualmente conhecidos, usam um conceito introduzido por (KELLY; ZACHARY; ZIEDINS, 1996), onde existe uma dependência direta do tamanho do *buffer* e das escalas de tempo relacionadas com a possibilidade de transbordo deste.

O conceito está mostrado na Eq 3.47 onde $X[0,t]$ é a quantidade de bits que chegam em um intervalo $[0,t]$ e também assumindo que $X[0,t]$ possui incrementos estacionário. A letra b é o tamanho do *buffer* e o t tempo ou sua escala, BP é a capacidade em *bits* por segundo.

$$BP(b,t) = \frac{\log E[e^{bX[0,t]}]}{bt} \quad 0 < b, t < \infty \quad (2.47)$$

Com base nesta teoria, diversos estimadores de banda foram propostos e avaliados quanto a sua eficácia e complexidade de avaliação. Em (FONSECA; DRUMMOND; DEVETSIKIOTIS, 2005) uma avaliação do modelo de estimador *FEP* (*Fractal Envelope Process*) foi realizada com resultados muito promissores, sendo indicada para uso em redes de alta velocidade que necessitem de estimadores em tempo real (quase real). O grau de acerto está relacionado com o tipo de estimador do parâmetro de *Hurst*.

O estimador *FEP* é definido pela Eq.3.47, onde o *buffer* é aqui representado pela letra *K*, a letra *a* representa a média, o *H* é o parâmetro de *Hurst* o σ representa o desvio padrão das amostras, o P_{loss} representa a probabilidade da perda de dados por transbordo do *buffer*. Esta equação vale para o intervalo: $0,5 < H < 1$.

$$EN = \bar{a} + K^{\frac{H-1}{H}} * \left(\sqrt{-2 * \ln(P_{loss})} * \sigma \right)^{\frac{1}{H}} * H(1-H)^{\frac{1-H}{H}} \quad (2.48)$$

2.2 INFRA-ESTRUTURA TECNOLÓGICA PARA A DIFERENCIAÇÃO E TRANSPORTE DAS APLICAÇÕES

As funcionalidades básicas do *MPLS* (*Multi Protocol Label Switching*) serão utilizadas para o processo de diferenciação dos serviços e inserção destes em túneis específicos para o transporte. A razão do uso do *MPLS* é possibilidade de se poder efetuar a separação do tráfego por tipo, facilitando o seu controle dentro da rede.

À medida que os pacotes ingressam no domínio *MPLS*, conforme Fig. 3-7, eles recebem as etiquetas (*labels*). A partir de então apenas a informação contida na etiqueta será usada para o encaminhamento dos pacotes. A cada roteador ou comutador *MPLS* por onde o pacote passa o mesmo é substituído ou modificado, este processo de substituição é acompanhado pelo mapeamento das etiquetas de entrada com os de saída baseado numa tabela com as entradas para cada caminho (*path*) a ser seguido.

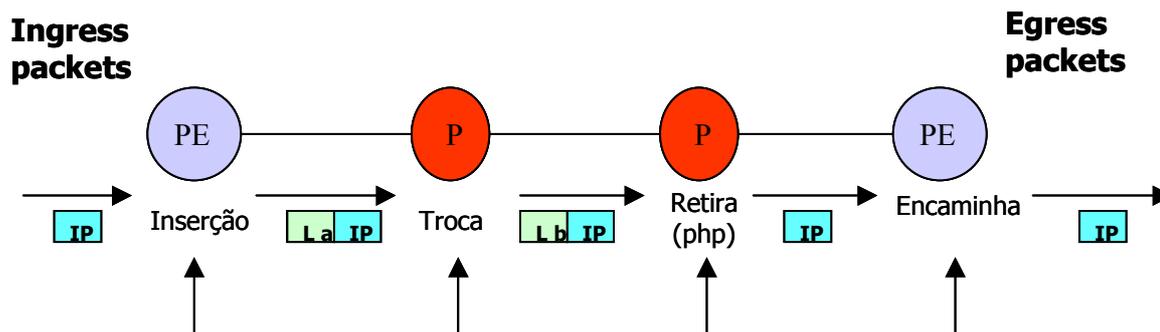


Fig. 2-7 – Domínio MPLS: inserção, troca e retirada do label

O *MPLS* é um processo “orientado a conexão” onde somente o primeiro pacote do fluxo (*stream*) é usado para o estabelecimento, após o caminho – *LSP* (*Label Switched Path*) – ter sido estabelecido todos os outros pacotes são encaminhados pelo mesmo caminho.

Como benefício para a rede tem-se uma melhor utilização de recursos, sendo que isto é conseguido através do uso de políticas que determinam de que forma os *LSP* são estabelecidos. Estas políticas devem estar completamente voltadas para os tipos de serviços que serão fornecidos pela rede, na operadora sob análise, serão observados os seguintes pontos para a elaboração das políticas:

- a) Recursos de Rede disponíveis;
- b) Classificação dos serviços a serem fornecidos a partir da marcação dos pacotes;
- c) Valor dos serviços a serem fornecidos;
- d) Endereçamento.

O estabelecimento de políticas que estejam em conformidade com os objetivos da rede é um fator que pode determinar o sucesso de toda a implementação, pois as políticas pré-estabelecidas são usadas pelos equipamentos que estejam configurados com o *MPLS* para o cálculo das *FECs* (*Forwarding Equivalency Class*). A importância deste processo tão grande, que quando um *LSP* é estabelecido ele é sempre associado a um *FEC*, a partir de então todo o fluxo é encaminhado através da rede usando um *FEC* e um *LSP* específico.

2.2.1 Túneis para o transporte de aplicações individualizadas

Para o estabelecimento dos túneis que transportarão as aplicações será usado o *RSVP* (*Resource Reservation Protocol*) (BRADEN; ZHANG; BERSON, 1994). Este é um protocolo definido na arquitetura *IntServ* (*Intergrated Services*) (BRADEN; CLARK;

SHENKER, 1994) e está relacionado com o controle e garantia de qualidade proposto por esta arquitetura. Esta arquitetura também especifica alguns requerimentos de funcionalidade que os elementos de rede devem executar, principalmente:

- a) Políticas de conformidade de tráfego e recursos: com a verificação das especificações de tráfego, *TSpecs (Traffic Specifications)* e Especificações de recursos, *RSpecs (Resources Specifications)* em relação a parâmetros pré-definidos e em caso de não conformidade o descarte dos pacotes;
- b) Controle de admissão: Verificação da existência de recursos necessários para o atendimento de uma determinada requisição;
- c) Classificação: Reconhecimento de pacotes que precisem de tratamento de Qualidade de Serviço diferenciada;
- d) Enfileiramento e agendamento (Queueing and Scheduling): Tomada de decisão sobre pacotes que devem ou não ser descartados verificando a consistência com os requisitos de qualidade de serviço previamente garantidos.

O principal ponto com relação a utilização da metodologia é manter o sistema o mais simples o possível, também por este motivo o *RSVP* foi escolhido, pois utiliza basicamente dois tipos de mensagens o *PATH* e o *RESV*. O primeiro é usado para repassar mensagens com informação de *TSpecs* e de classificação de um emissor a múltiplos receptores. As mensagens *RESV* são usadas quando um receptor recebe um *PATH* e necessita informar ao emissor a identificação da sessão para qual a reserva de recursos será feita incluindo a *RSpec* que indica o nível de *QoS* requerido pelo receptor. Após a reserva de recursos ter sido realizada, os equipamentos envolvidos passam a dar o tratamento solicitado para cada um dos pacotes pré-determinados. Na Fig. 2-8 é apresentado um exemplo do funcionamento da solicitação de reserva de recurso e a sua confirmação.

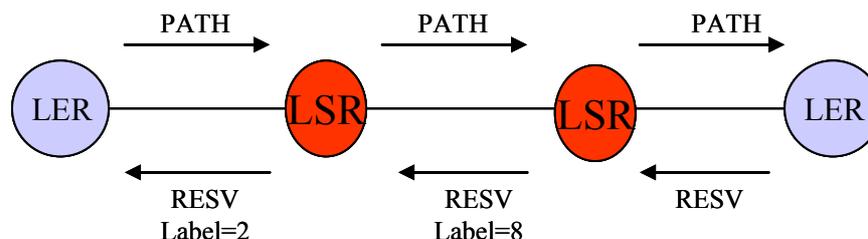


Fig. 2-8 – Mensagens *RSVP*

Fazendo uso do campo *TOS* (*type of service*) presente nos pacotes IP, serão aplicados os conceitos do *DiffServ* (NICHOLS; BLAKE; BAKER, 1998) e de acordo com as RFC 2474, RFC 2597 e RFC 2598 para a marcação do campo *DSCP* (*DiffServ Code Point*). É a partir desta marcação que este o processo, em termos, de qualidade de serviços é realizado.

Na Fig. 3-9 é mostrado uma descrição das fases de marcação e após a seleção do túnel indicado em função do *DSCP*. É importante comentar que a seleção deverá ser configurada em cada elemento de borda da rede, pois o uso do *DiffServ* faz com que a seleção de túneis ocorra localmente em cada roteador.

A questão relativa à confiabilidade dos pacotes entrantes deve ser verificada com bastante atenção, pois uma marcação errada compromete toda a cadeia de mecanismos responsáveis pela manutenção do ambiente.

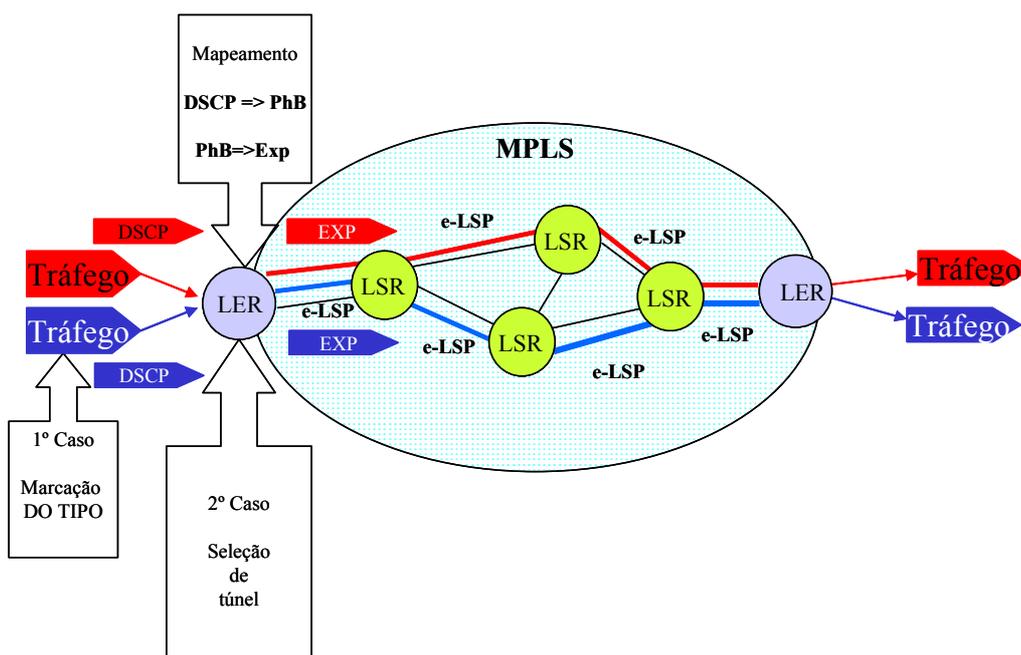


Fig. 2-9 – Marcação *DiffServ* para o mapeamento com *IntServ*

A melhor opção para este caso é ter apenas o *PHB* (*Per Hop Behavior*) sendo executado mapeando o campo *EXP* do *MPLS* com informações provenientes do campo *DSCP*.

2.3 CONCLUSÃO DESTE CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados alguns modelos matemáticos que podem servir como base para a caracterização da rede de pacotes em análise.

O efeito mais importante e o que será mais utilizado é o da auto-similaridade, pois a rede que será caracterizada apresenta alto grau de concentração, nos capítulos posteriores este conceito será aplicado com o objetivo de verificar se esta caracterização pode ser realizada e a partir desta fazer uso do modelo para a predição. O modelo multifractal foi apenas apresentado, não será objeto de caracterização neste trabalho, porém conforme mostrado, em escalas menores que 1 ms (um milissegundo) este é o modelo que melhor exprime as características de tráfego.

Também foi apresentado um modelo de predição de banda passante para uso em redes de alta velocidade previamente caracterizadas como auto-similares.

Finalizando foram apresentadas bases tecnológicas para a separação do tráfego, estas irão proporcionar o ambiente necessário e suficiente para a aplicação da estratégia.

3 CARACTERIZAÇÃO DE UMA REDE REAL DE PACOTES

Neste capítulo a rede de pacotes de uma operadora de telecomunicações baseada em *IP/MPLS* será caracterizada com base nos modelos fractais. Para esta fase serão utilizadas coletas de tráfego real (CARVALHO et al., 2007) retiradas da rede nos pontos indicados na Fig. 3-1.

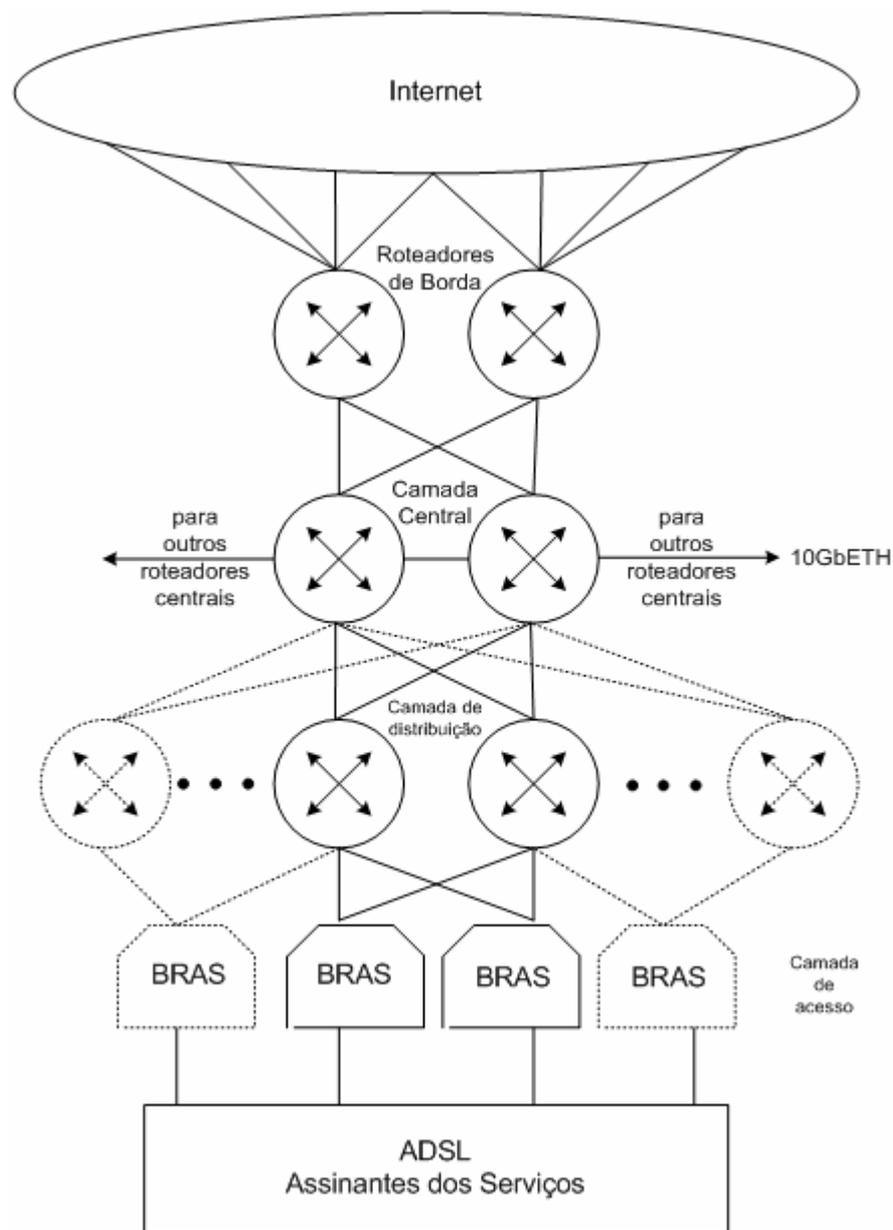


Fig. 3-1 – Topologia típica de rede de pacotes em operadoras de telecomunicações

Esta rede está dividida em camadas, iniciando pela camada de acesso, onde estão presentes os usuários que assinam os serviços e os primeiros elementos terminadores *BRAS* (*Broadband Remote Access Server*) que têm por principal função a terminação *PPPoX* (*Point-to-point protocol over ATM ou Ethernet*) ou ainda a atribuição direta de endereços através de *DHCP* (*Dynamic Host Configuration Protocol*), quando o endereço IP é atribuído diretamente sem a terminação *PPPoX*.

A camada de distribuição tem o objetivo de gerar um nível de agregação de tráfego que seja compatível com as necessidades de uso eficiente de recursos de rede. É também nesta camada que regiões distintas, a distâncias regionais trocam tráfego.

Na camada central da rede – *core* – são encaminhados os pacotes em nível inter-regional. Os elementos roteadores desta camada possuem alta capacidade de comutação de pacotes *IP* ou etiquetas (*labels*) *MPLS*.

O número mínimo de usuários ativos foi de 50.000 (cinquenta mil), quando da extração das medidas que foram usadas neste trabalho para a caracterização e aconteceram medidas de tráfego utilizando o sistema *e-Health* (CONCORD, 2007) para coletas em períodos de 5 (cinco) minutos. Para medidas com intervalos de amostras abaixo de 1(um) minuto o sistema *Ethereal* (ETHEREAL, 2007) e um computador com interface *Gigabit Ethernet* operando em modo promíscuo de forma a ser possível a coleta de dados diretamente da rede em análise. Na coleta de dados de rede não foram coletadas informações de carga útil (*payload*) do IP em nenhum momento, isto é, foi preservada a confidencialidade dos dados. As informações gravadas para análise restringiram-se a dados de volume, tempo de chegada dos pacotes, tipo de aplicação em nível 4 (modelo *OSI*) e marca do tempo (*time stamp*).

3.1 ANÁLISE DO TRÁFEGO

A fonte de tráfego mais significativa, nas coletas realizadas, foram o *http* (*hyper text transfer protocol*), seguido pelas aplicações do tipo *P2P* (*peer-to-peer*) sendo alguns conhecidos o *e-Donkey*, *Bitorrent*, *Kazaa* entre outros.

Uma conclusão importante com relação ao tráfego de rede é que os serviços de voz usando o protocolo *IP*, conforme Fig. 3-4, não representam parcela significativa em termos de tráfego de dados, pois os *CODECs* (*encoder/decoder*) usados pelos serviços não precisam de altas taxas para conseguirem bons parâmetros *MOS* (*Mean Opinion Score*) (ITU-T, 2007). De fato *CODECs* usados no Skype (Skype, 2007) que são o *iLBC* (*iLBC*, 2007) e o *iSAC* (*iSAC*, 2007) necessitam de bandas de até 13,33kbps, da mesma forma que diversas outras aplicações.

É interessante verificar que o problema com relação ao tráfego *VoIP* (*voice over Internet Protocol*) não está relacionado ao tráfego por ele gerado e sim pelo número de chamadas que são encaminhadas, este sim um problema de perda de receita para os grandes provedores de serviço.

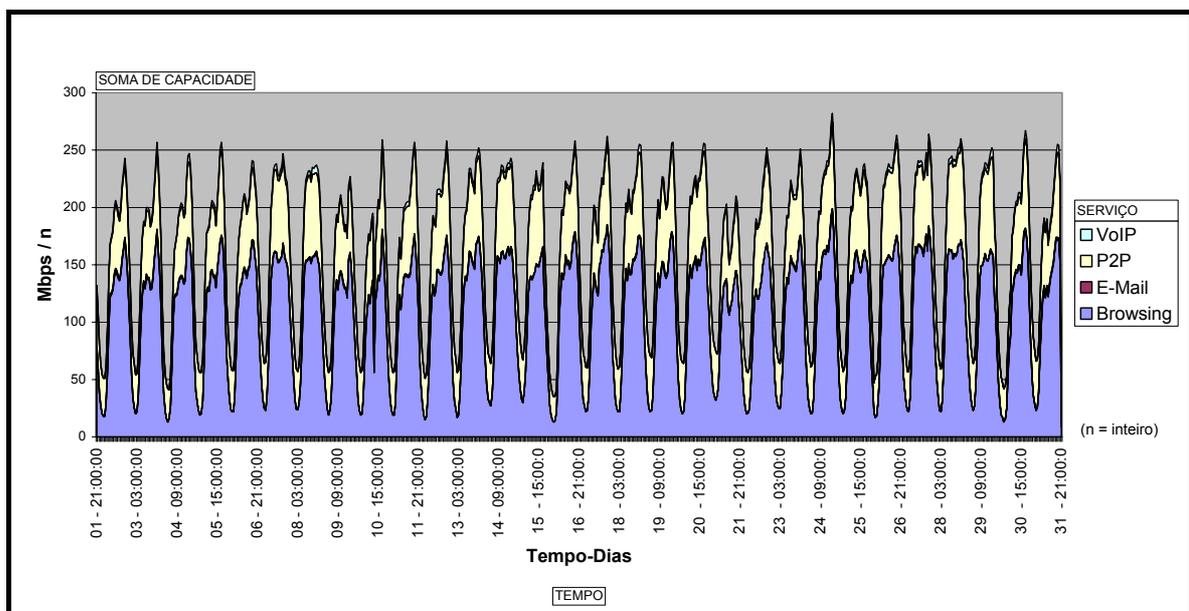


Fig. 3-2 – Consumo de banda por serviço medido no sentido rede para o cliente ou assinante, valores reais divididos por uma constante *n*, coleta de 31(trinta e um) dias

O serviço de *browsing* ou *http* é o serviço com a maior parcela de uso. Porém não se pode considerar este como resultado de uso apenas dos serviços do tipo *www* (*world wide web*), pois atualmente diversas aplicações (SKYPE, 2007) estão sendo mascaradas por trás deste tipo de serviço visando a não detecção por parte dos provedores, evitando assim que seja possível a sua identificação.

O uso desta informação não pode ser desqualificado em função da necessidade de se aplicar políticas para o gerenciamento de aplicações e serviços no interior da rede. Isto

torna-se uma possibilidade quando da aplicação de sistemas de gerenciamento de políticas de controle de qualidade.

A Fig. 5-3 mostra uma parcela de 07 (sete) dias do tráfego, desta forma mostrando que nos dias 07 (sete) e 08 (oito) existe um comportamento diferenciado, pois tratam-se de finais de semana.

A Fig. 5-4 mostra o percentual de cada serviço avaliado em 24 (vinte e quatro) horas de observação. É importante notar que o serviço descrito como *VoIP (Voice Over IP)* é apenas do tráfego que pôde ser identificado através das portas usuais e conhecidas. É importante notar que o tráfego possui um comportamento cíclico, esta característica é muito importante para a determinação de um modo de operação que possa garantir a melhor eficiência em termos do uso dos recursos.

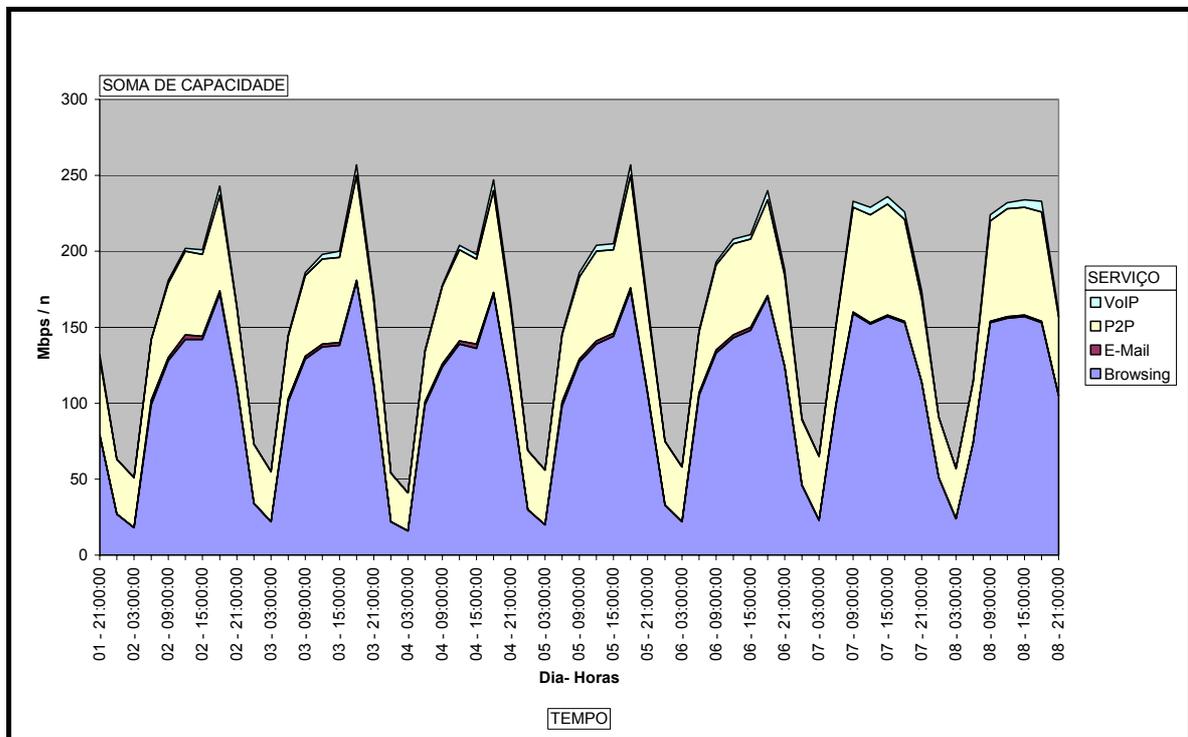


Fig. 3-3 - Consumo de banda por serviço medido no sentido rede para o assinante, valores reais divididos por uma constante n, coleta de 07 (sete) dias

Porém deve-se tomar cuidado adicional quando da inferência do parâmetro *Hurst* uma vez que este pode ser corrompido por este tipo de tráfego. Para estes casos as medidas devem ser são truncadas em períodos fixos

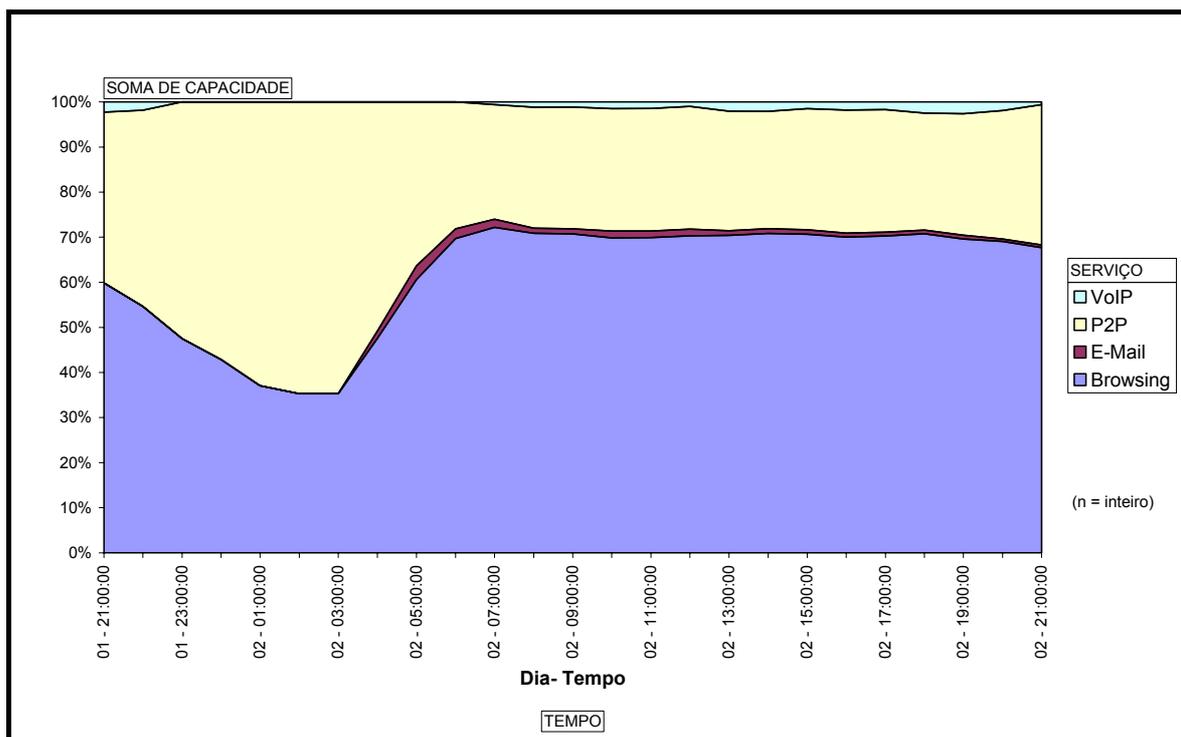


Fig. 3-4 – Tráfego medido percentual no sentido rede para o usuário

3.2 ANÁLISE DO TAMANHO DO PACOTE

O tamanho de pacote tem importância na análise do tráfego da rede uma vez que sua distribuição gera uma necessidade de processamento em função da carga de processamento exigida dos elementos da rede.

Tal requerimento tem tanta importância no dimensionamento, quanto o dimensionamento dos enlaces de comunicação uma vez que, se mal dimensionado, influenciarão negativamente na taxa de perda de pacotes aferida nos fluxos de comunicação da rede.

Analisando a rede de um grande provedor de serviços de telecomunicações foram verificados que grande parte do tráfego é notoriamente multimídia, na figura 1, é mostrado que o tamanho médio do pacote medido em um ponto central da rede tem uma probabilidade de ocorrência de mais de 50% para tamanhos menores que 100 bytes. Isto é uma indicação que grande parte do tráfego é multimídia, porém não necessariamente voz.

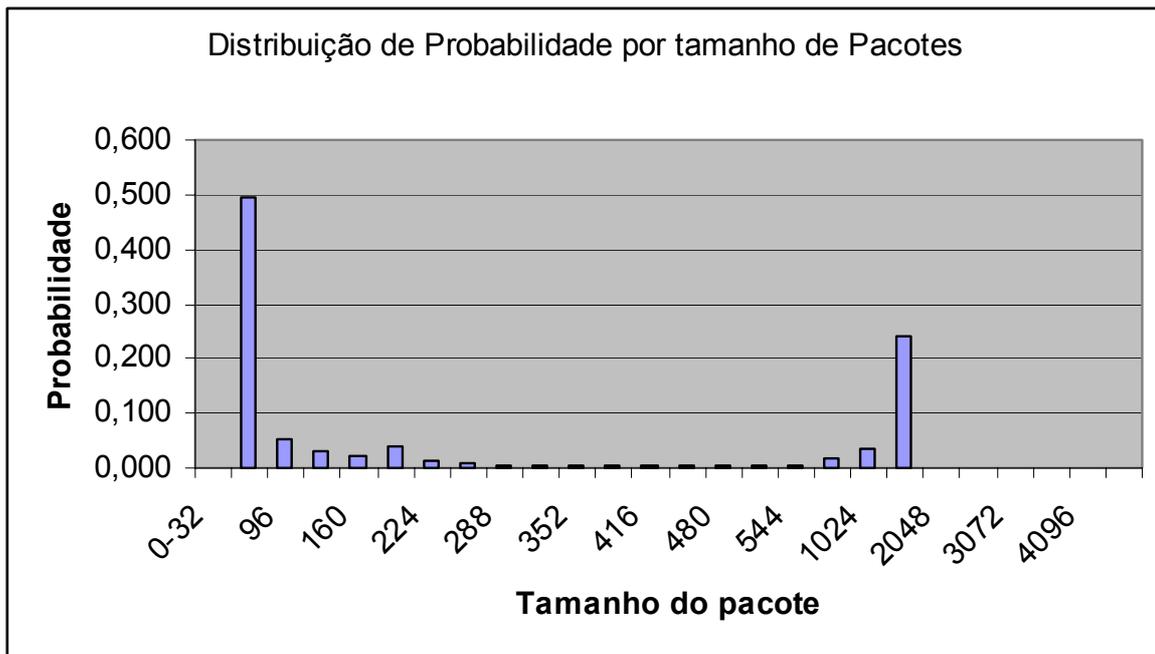


Fig. 3-5 – Distribuição da probabilidade de tamanho de pacotes.

Em outra análise verifica-se que uma parcela de tráfego muito grande é gerada pelo tráfego *html TCP (Transport Control Protocol) – WWW (World Wide Web)* indicado na figura 2.

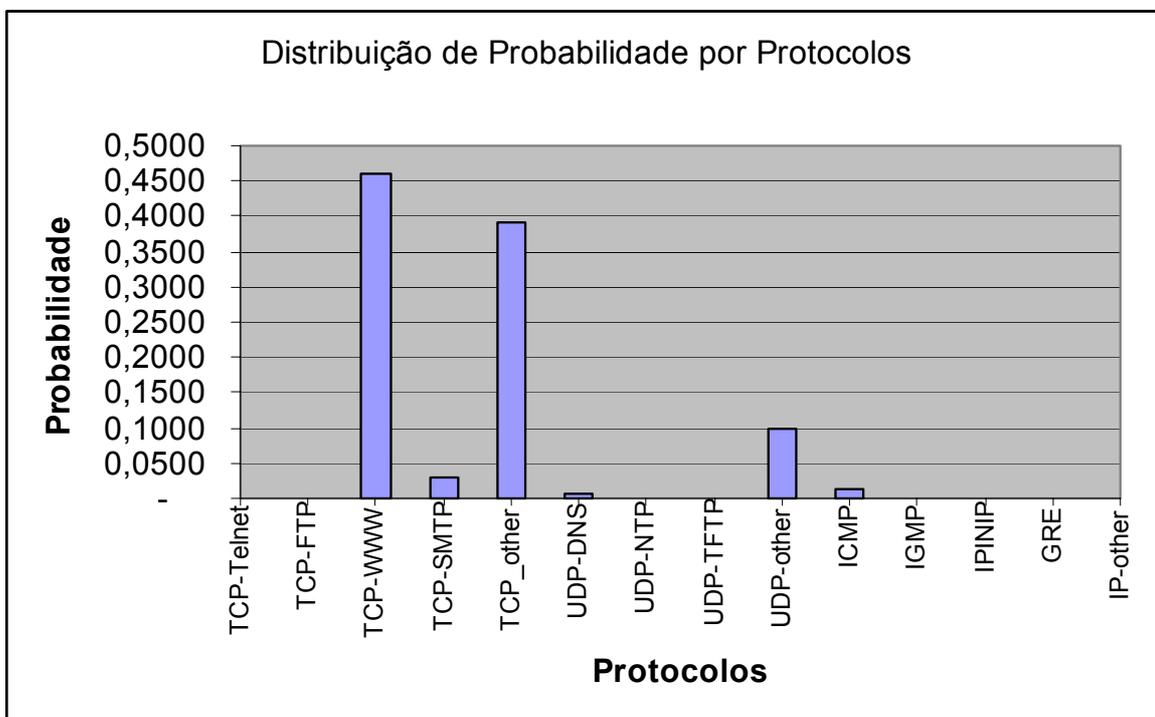


Fig. 3-6 – Distribuição da probabilidade de protocolos na rede.

Estas medidas mostram que existe muito tráfego com tamanho médio de pacote muito pequeno usando protocolos *TCP (Transport Control Protocol) – WWW (World Wide Web)*, uma indicação da dificuldade de separação e identificação do tipo de tráfego por aplicação.

Diversas novas aplicações estão usando este artifício para gerar um ambiente onde seja muito oneroso para o provedor identificar o tipo de aplicação que esteja sendo encaminhada através das redes. Uma vez que devido ao tamanho dos pacotes é possível que parcela do tráfego que esteja usando estas aplicações *html (hypertext markup language)* de fato seja tráfego de voz, sugerindo que os tráfego não deve ser considerado apenas por parâmetros conhecidos das camadas de rede e de transporte, mas sim analisando-se também a camada de aplicação.

No dimensionamento da rede, a necessidade por capacidade de processamento de pacotes é inversamente proporcional ao tamanho do pacote presente na rede. Assim, pode-se afirmar que um modelo de interconexão deve levar em conta este parâmetro. Por outra análise, o dimensionamento de capacidade limitando-se apenas à capacidade de enlaces e túneis de engenharia de tráfego, trarão resultados de perda de pacotes não controlados e portanto não interessantes para o planejador dos serviços suportados e transportados por esta rede.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO REAL

A caracterização da rede foi realizada com base da estimativa do parâmetro de *Hurst* e do expoente de Hölder de coletas de traços de tráfego.

3.3.1 Caracterização em escalas de 5(cinco) minutos

A primeira análise realizada foi com relação ao parâmetro de Hurst estimado através de três métodos Kettani-Gubner (KETTANI E GUBNER, 2002), Whittle (CLEGG, 2006) e *Variance-Time Plot* (ZHANG; SHU; YANG, 1997). Para a análise do grau de significância foi aplicado o método do χ^2 – Qui-quadrado – (CHWIF; MEDINA, 2006) como forma de verificar o grau de similaridade das distribuições encontradas. Este teste baseia-se no cálculo dos desvios entre as frequências acumuladas observadas em cada classe e as frequências teóricas nas mesmas classes.

As amostras foram retiradas de roteadores que não estavam experimentando nenhuma situação de congestionamento no momento das coletas, no pior caso os enlaces experimentavam 70%(setenta por cento) de carga. O tráfego foi analisado por aplicação de forma a gerar uma possibilidade de utilização desta informação para a caracterização do tipo de serviço e poder se gerar um ambiente onde seja possível a aplicação do conceito de priorização de tráfego baseado em políticas definidas por tipo.

Tabela 3-1 - Estimativas do Parâmetro de Hurst para o tráfego total, escala 5(cinco) minutos

Day	Hurst (<i>Variance-Time Plot</i>)	Hurst (Kettani-Gubner)	Chi-Square (Gaussian Distribution)
1	0,928	0,965	47,618
2	0,951	0,976	70,653
3	0,944	0,967	51,924
4	0,916	0,943	37,069
5	0,91	0,943	16,403
6	0,911	0,941	26,306
7	0,955	0,974	42,451
8	0,945	0,973	31,903
9	0,955	0,979	46,972
10	0,939	0,964	48,694
11	0,887	0,944	21,354
12	0,916	0,947	52,785
13	0,954	0,978	35,132
14	0,947	0,97	51,924
15	0,948	0,973	45,25
16	0,951	0,975	23,722
17	0,938	0,966	38,146

Na Tabela 4-1 são apresentados resultados de diversos cálculos realizados para se estimar o parâmetro de Hurst em escala de 5 (cinco) minutos, nesta tabela o tráfego não está separado por aplicação.

Conforme pode ser verificado durante todo o período analisado o parâmetro de Hurst está sempre muito próximo de 0,9. Isto se traduz em um alto grau de auto-similaridade do tráfego. O teste do Qui-quadrado para uma distribuição Gaussiana, mostra uma adequada aceitação da hipótese.

Na Tabela 3-2 é apresentada uma estimativa do parâmetro de Hurst para aplicações *http*. Conforme pode ser verificado o parâmetro varia conforme: $0,67 \leq H \leq 0,93$. Onde o menor valor aparece em apenas um dia de medição. Na Tabela 5-3 o parâmetro de *Hurst* varia em conformidade com: $0,86 \leq H \leq 0,96$, mostrando um altíssimo grau de auto-similaridade, isto pode ser traduzido diretamente no alto volume de assinantes utilizando este tipo de aplicação, mostrando um alto grau também de agregação dos fluxos.

Tabela 3-2 – Estimativas do parâmetro de *Hurst* para as aplicações *http*, escala de 5(cinco) minutos.

Day	Hurst (Variance-Time Plot)	Hurst (Kettani-Gubner)	Chi-Square (Gaussian Distribution)
1	0,843	0,895	31,042
2	0,812	0,878	71,299
3	0,901	0,926	38,146
4	0,9	0,934	52,569
5	0,815	0,879	32,549
6	0,816	0,904	62,042
7	0,865	0,906	17,91
8	0,87	0,916	39,653
9	0,907	0,935	28,028
10	0,867	0,919	21,785
11	0,869	0,906	27,167
12	0,671	0,861	35,778
13	0,878	0,909	36,208
14	0,839	0,894	44,604
15	0,874	0,907	30,611
16	0,753	0,85	23,292
17	0,851	0,914	40,299

As amostras também foram usadas para o cálculo do expoente de Hölder, conforme Fig. 4-7, para este cálculo foi usado o software *Fraclab 2.0* (Véhel, 1995). Comparando com a anterior é verificado que o Hölder permanece constante, indicando que o $h(t) = H$, com base

nesta análise, pode-se afirmar que o tráfego HTTP é também monofractal, além de auto-similar.

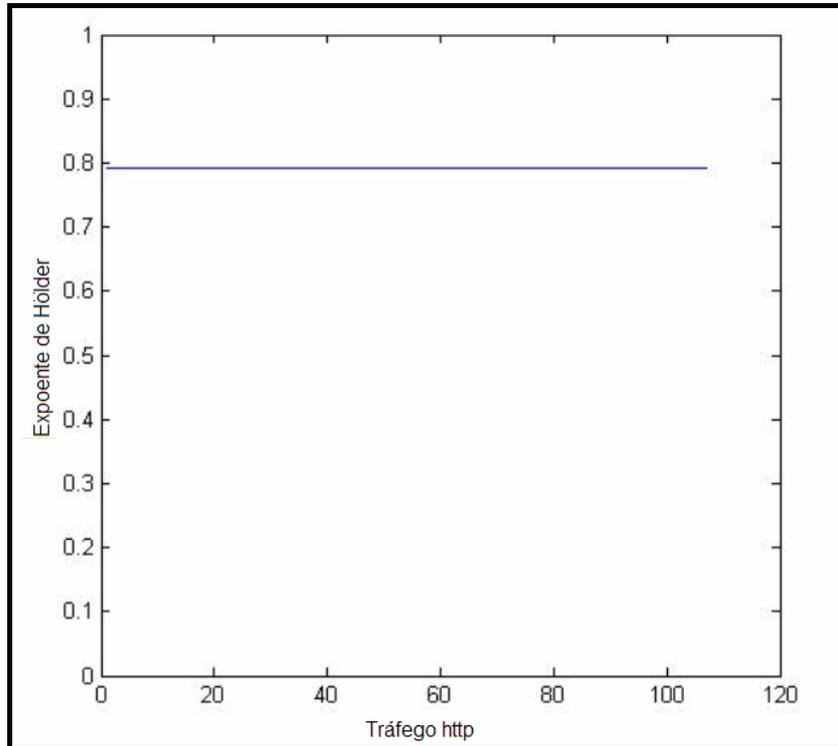


Fig. 3-7 – Amostra de HTTP, Cálculo do Exponente de Hölder (método *local Hölder Oscillation Based*)

Tabela 3-3 - Estimativas do parâmetro de Hurst para as aplicações P2P, escala de 5(cinco) minutos

Day	Hurst (<i>Variance-Time Plot</i>)	Hurst (<i>Kettani-Gubner</i>)	Chi-Square (<i>Gaussian Distribution</i>)
1	0,915	0,948	63,549
2	0,942	0,962	49,771
3	0,937	0,963	45,25
4	0,902	0,935	28,243
5	0,902	0,928	20,708
6	0,901	0,942	30,181
7	0,939	0,964	43,258
8	0,932	0,964	52,354
9	0,937	0,968	39,007
10	0,922	0,948	38,576
11	0,86	0,926	37,5
12	0,904	0,942	33,84
13	0,937	0,965	55,799
14	0,922	0,958	46,972
15	0,935	0,963	46,757
16	0,935	0,967	49,986
17	0,933	0,964	37,285

Conforme Fig. 3-8 e Tabela 3-3, é verificado que o Hölder permanece com valor maior que 0,5 e menor que 1, assim como o H , sendo ambos maiores que 0,5. Com base nesta análise, pode-se afirmar que o tráfego $p2p$ é auto-similar.

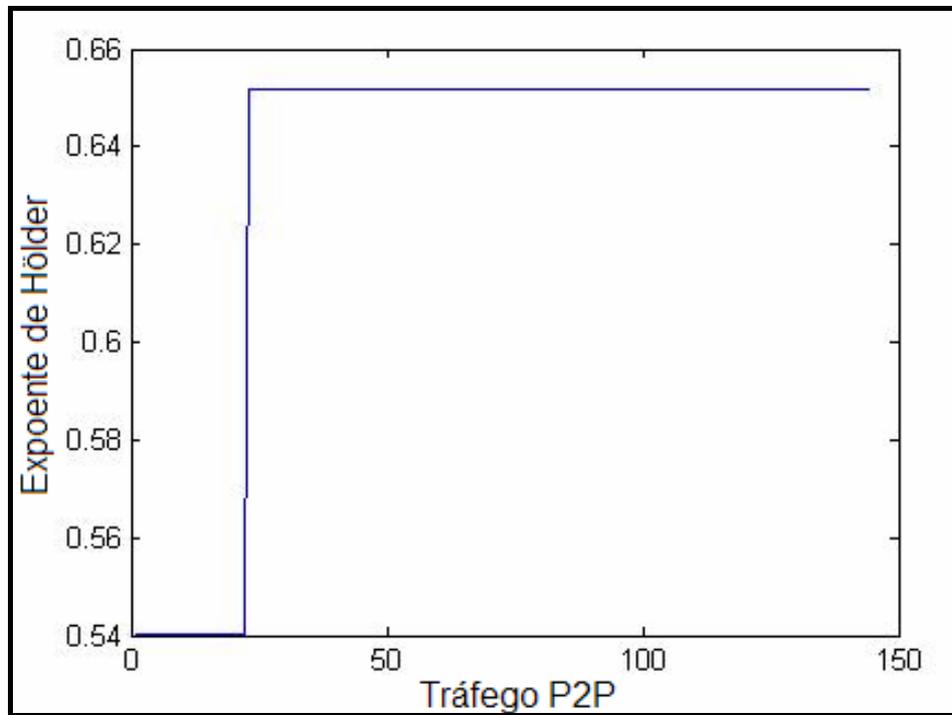


Fig. 3-8 – Amostras P2P, Cálculo do Exponente de Hölder pelo método *local Hölder Oscillation Based*

3.3.2 Caracterização em escalas iguais ou abaixo de 1(um) milissegundo

Um grande desafio na caracterização de tráfego é a escolha dos intervalos de medidas e sua aplicação coerente com as necessidades do ambiente amostrado. Segundo (MELO, 2004) o período de 1ms (um milissegundo) é o valor crítico para a análise de dados multifractais.

Processos auto-similares de segunda ordem ou, mais genericamente, monofractais, apresentam regularidade e comportamento em escalas constantes no tempo, e normalmente depende apenas de um único parâmetro, o parâmetro de Hurst H . Por outro lado, processos multifractais permitem que tais características variem no tempo, portanto, possibilitando maior flexibilidade em descrever fenômenos irregulares localizados no tempo.

Na Fig. 4-9 observase que o expoente de Hölder varia muito em diversos momentos distintos, indicando que estas amostras de tráfego possuem comportamento multifractal para escalas abaixo de 1 (um) milissegundo.

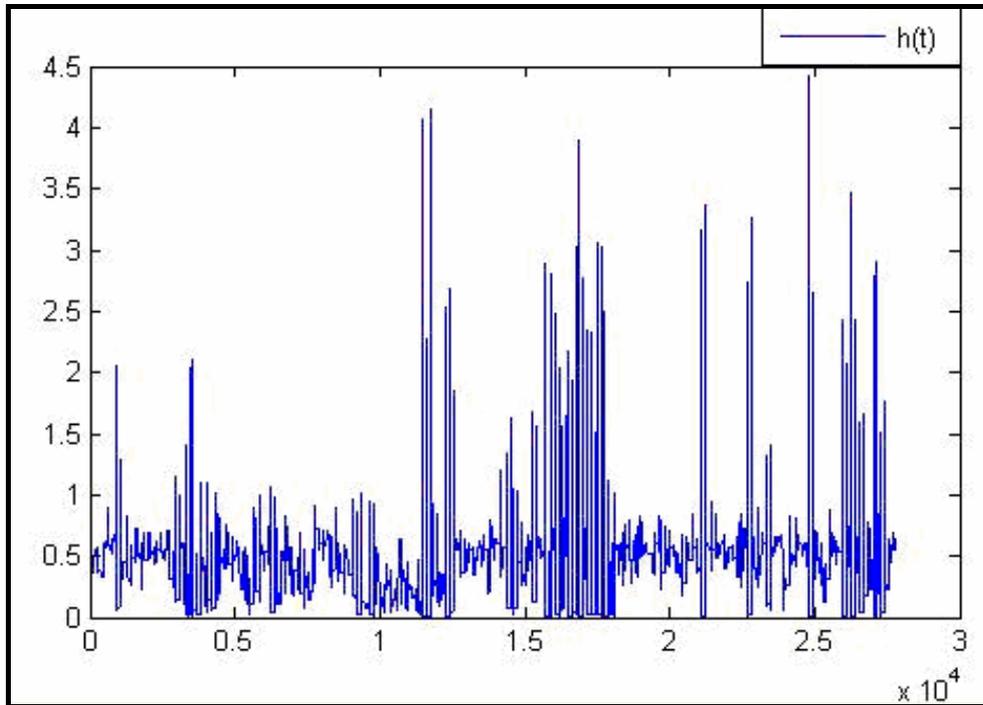


Fig. 3-9 – Expoente de Hölder de amostras *HTTP* abaixo de 1(um) milissegundo

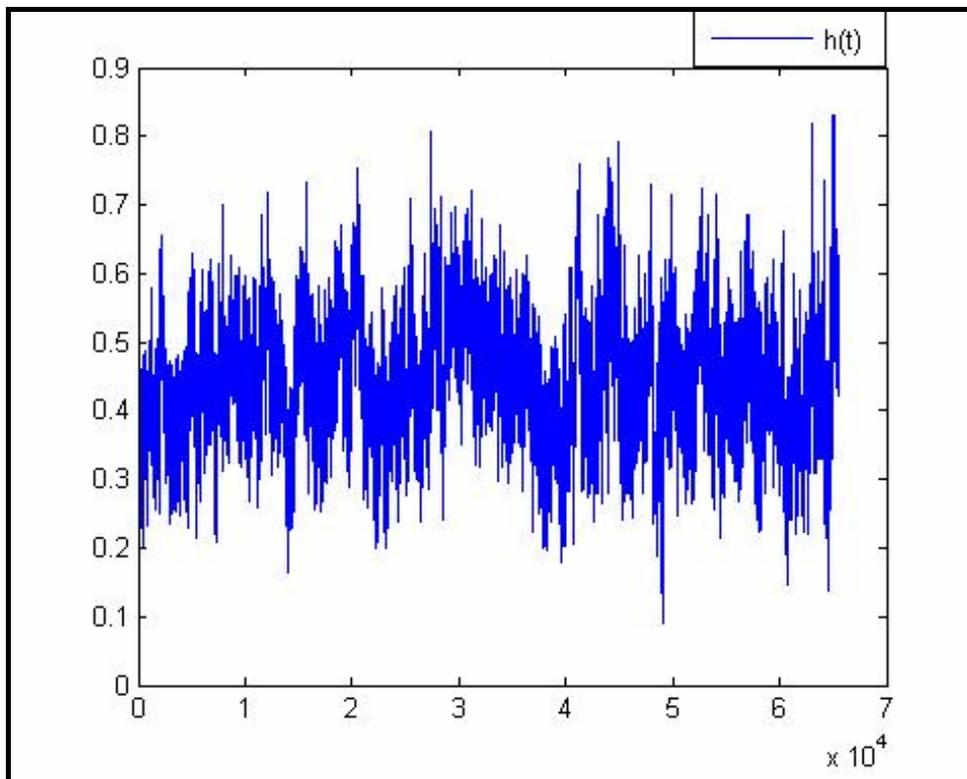


Fig. 3-10 – Expoente de Hölder de amostras *P2P* abaixo de 1 (um) milissegundo.

Observa-se na Fig. 4-10 a alta variação do expoente de Hölder indicando que esta amostra possui comportamento multifractal para escalas abaixo de 1 (um) milissegundo.

4.4 CONCLUSÃO DESTE CAPÍTULO

Neste capítulo após a coleta de dados de uma rede real foi possível a sua caracterização. Os pontos mais importantes a serem observados foram a análise executada por tipo de aplicação, a caracterizações do tamanho do pacote existente na rede e a inferência do parâmetro de *Hurst* e do expoente de *Hölder*.

A análise por tipo de aplicação revela a possibilidade do uso desta informação para a separação do tráfego. O tamanho do pacote dá uma idéia de requisitos de processamento para o dimensionamento dos elementos roteadores ou comutadores de pacotes. A possibilidade da caracterização do tráfego mostra que é possível a utilização do modelo auto-similar para tomada de decisão em escalas superiores a 5 (cinco) minutos.

4 ESTRATÉGIAS DE IMPLANTAÇÃO

O objetivo de uma rede de uma operadora de telecomunicações é o de oferecer serviços adequados às necessidades dos assinantes e em absoluto manter as características acordadas durante todo o período de prestação de serviços. Desta forma, não é interessante que a rede tenha as suas características alteradas constantemente sem que para isto exista a garantia que o ambiente sofrerá instabilidades.

Um grande problema é se definir, em função dos parâmetros exemplificados na Tabela 1-4, quais são os melhores períodos de atuação, de forma que o amortecimento da instabilidade ocorra de forma a contribuir com a otimização.

Uma proposta para a solução do problema apresentado é a possibilidade da separação do tráfego. Para a definição da separação será usado o conceito do *DiffServ (Differentiated Services)* (NICHOLS; BLAKE; BAKER, 1998). O passo mais importante da estratégia é definir qual será o melhor modelo a ser aplicado em função da necessidade de predição. O modelo apresentado na Fig.5-1 engloba as funções de planejamento de crescimento de rede em longos períodos. Porém, a proposta apresentada aqui está relacionada com a possibilidade da utilização em curtos períodos, levando-se em consideração o retorno imediato das novas configurações imediatamente após a análise e inferência dos parâmetros estatísticos capturados.

Na fase de tratamento e análise (T.A.) são efetuadas as coletas de dados através dos sistemas disponíveis podendo ser *Netflow* (CISCO, 2007), *e-Heath* (CONCORD, 2007) ou ainda coletas efetuadas diretamente nas interfaces de rede dos roteadores.

A fase de classificação é importante para a análise possa ser efetuada de forma diferenciada, isto é, cada aplicação deve ter as suas amostras separadas de forma a ser possível uma análise por tipo de serviço. Na fase de análise os parâmetros H , média e variância ou desvio padrão são inferidos.

Após a finalização da fase T.A. os parâmetros são inseridos em um estimador de banda onde é determinada a necessidade por tipo de aplicação ou serviço. Com base nesta informação os túneis serão configurados através de uma ferramenta que fará a tradução das novas configurações em comandos diretos nos elementos de rede.

As função de otimização é também alimentada pela fase de estimação de banda, porém somente irá atuar na rede em longos períodos, após uma fase de simulação onde poderão

ser detectadas novas necessidades de ampliação de recursos de rede (aumento de capacidade de transmissão, aumento da capacidade de processamento). Esta fase também é sensível à necessidade de aumento de capacidade por novas demandas de serviços e também por novos tipos de serviços. Neste caso a rede será realimentada por novas definições de parâmetros de desempenho que afetarão diretamente a fase de otimização de recursos.

Para que o processo de otimização possa existir os custos de rede deverão ser compatíveis com as necessidades de crescimento e apenas se for atingida a viabilidade econômica é que o processo terá continuidade.

No processo de simulação são testadas as possibilidades de falha no processo de otimização e caso sejam positivos para a empresa, terão continuidade com a aprovação para a aquisição e implantação dos novos recursos.

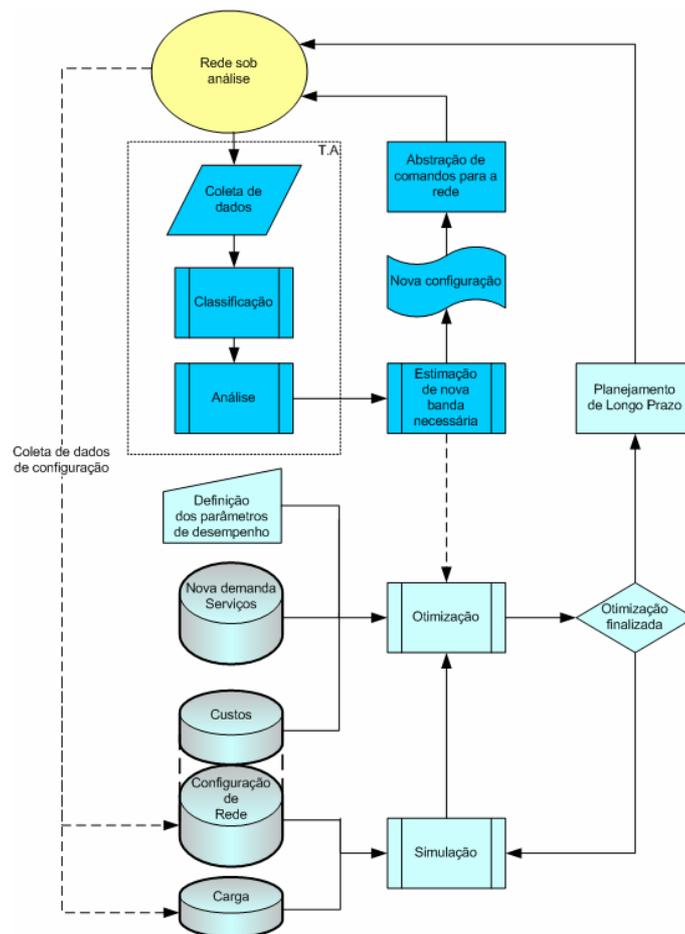


Fig. 4-1 – Fluxo geral da estratégia de planejamento e curto(início via fase T.A.) e longo prazo

Este trabalho está direcionado para a possibilidade de modificação da configuração da rede durante a sua operação. Para que isto seja possível será usado o fluxo apresentado na Fig. 4-1, neste caso a fase T.A. (tratamento e análise) será o início seguido pelas funções de estimação, nova configuração e abstração dos comandos na rede

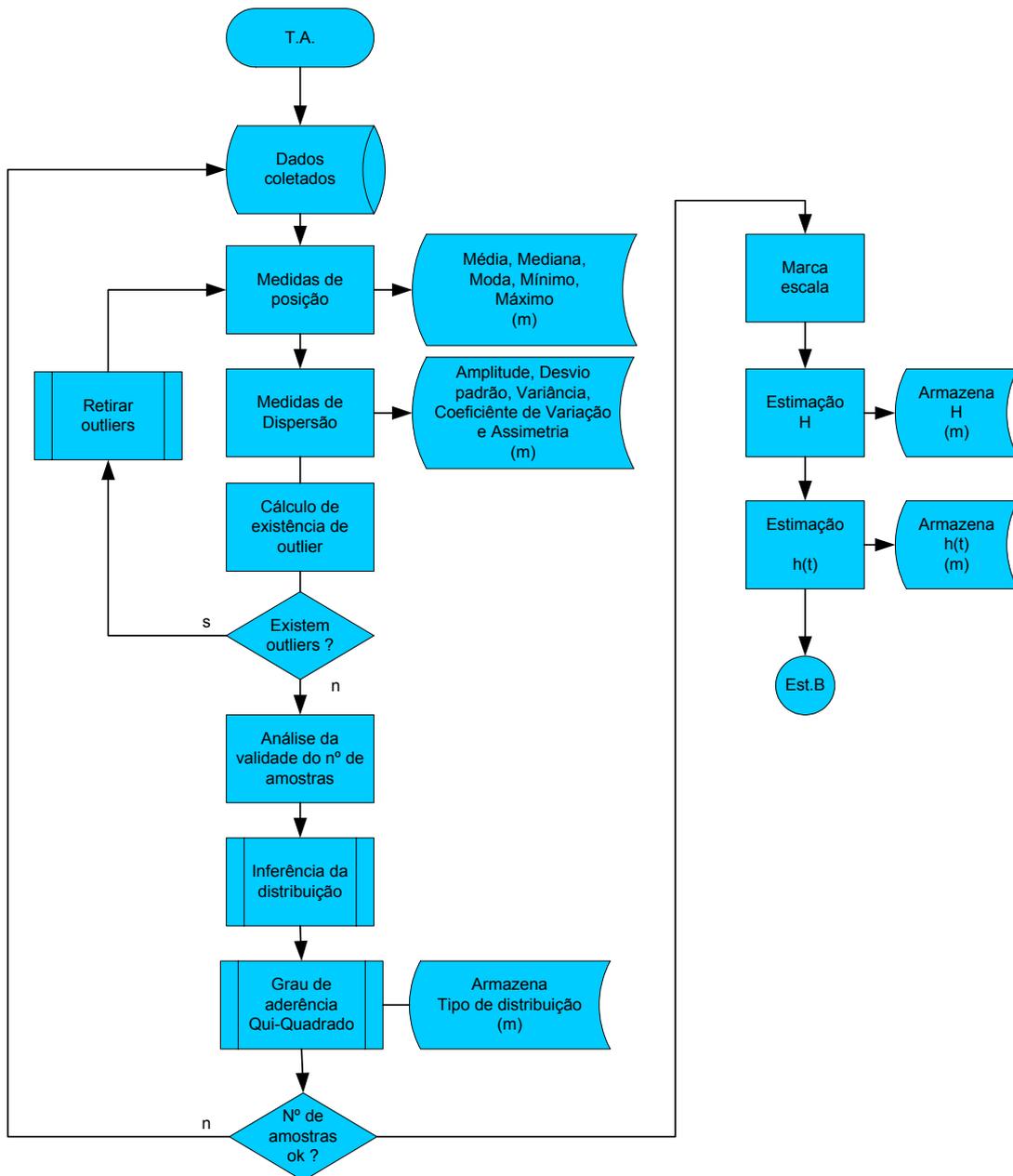


Fig. 4-2 – Processo inicial de caracterização de tráfego

O processo relativo à fase T.A. (tratamento e análise) está descrito na Fig 5-2. Um ponto importante com relação às medições é a relação da sua validade com os pontos distantes que podem ser erros de medida (*outliers*) (CHWIF; MEDINA, 2006), estes são na verdade medidas realizadas que devem ser desprezadas. Isto evitará que sejam tomadas decisões com base em erros ou medidas de eventos completamente descorrelacionados com os processos sob medida.

Na Fig. 5-2, após os dados terem sido coletados são efetuados os cálculos de medida de posição (média, mínimo, máximo), logo após são feitas as medidas de dispersão representadas pelo desvio padrão ou variância, coeficientes de variação e assimetria. Caso existam *outliers* estes deverão ser retirados. A análise seguinte está relacionada com a inferência do tipo de distribuição, esta será realizada através do teste do Qui-quadrado. Esta informação será armazenada. Neste momento os parâmetros para a caracterização do tipo de tráfego serão inferidos através de no mínimo duas técnicas distintas.

Pseudocódigo “A” para a proposta de planejamento e realimentação rápida

1. De T.A.
2. Coleta de dados e armazenamento para uso imediato
3. $i \leftarrow 0, k \leftarrow$ Classificação dos dados “todas as amostras”
4. Repetir
 - Selecionar a amostra a_i
 - Diferenciar
 - Armazenar a amostra na base separada
 - $i = i + 1$, até k
5. Medidas de posição (média, máximo, mínimo)
6. Medidas de dispersão (amplitudes, v, σ)
7. $i \leftarrow 0, k \leftarrow$ Existem outliers “todas as amostras”
8. Repetir
 - Selecionar a amostra a_i

Retirar

Armazenar a amostra na base separada

$i = i + 1$, até k

9. Inferência do tipo de distribuição
10. Determinação da escala de trabalho
11. $H \leftarrow$ Estimação do parâmetro de *Hurst*
12. $h(t) \leftarrow$ Estimação do expoente de Hölder
13. Vai para Pseudocódigo B

A estrutura em quadros (*framework*) aqui apresentada pode utilizar qualquer modelo, desta forma não em acordo com a evolução dos métodos de computação de banda poderão ser utilizados outros modelos que se mostrem mais eficazes. O cálculo de banda é apresentado na Fig. 4-3 e é representado por *BP*.

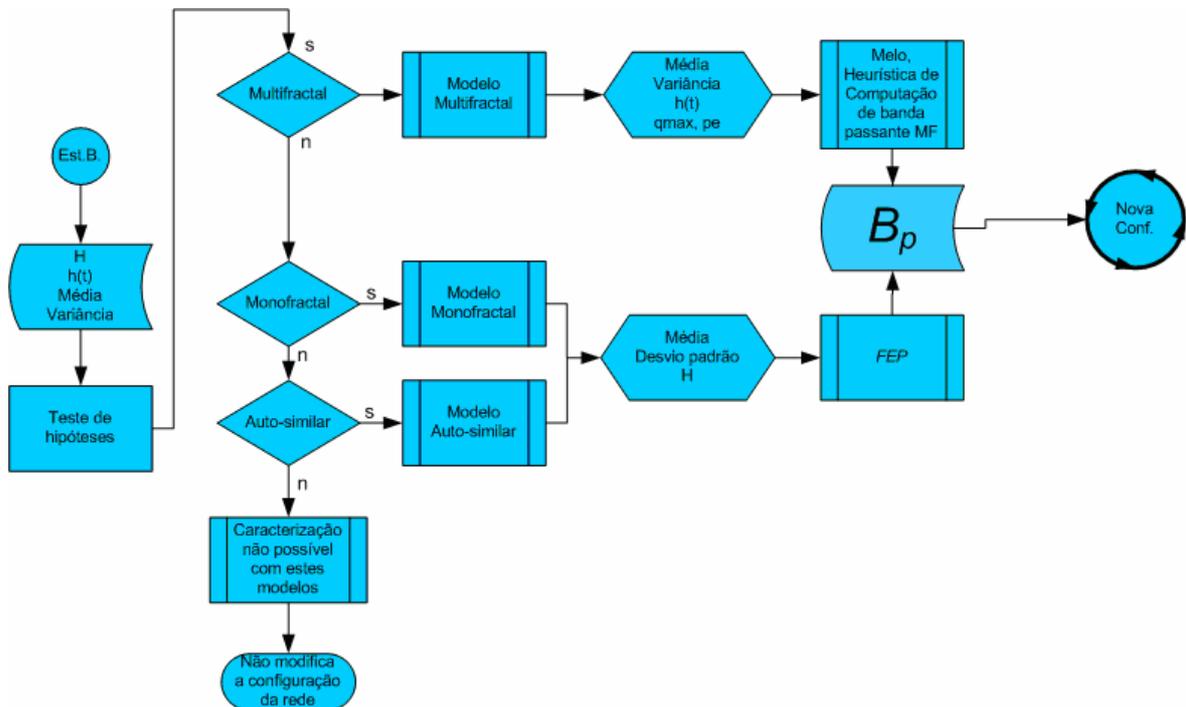


Fig. 4-3 – Computação de banda passante

Pseudocódigo “B” para determinação da banda passante.

14. De Pseudocódigo A

15. Testar $h(t)$ e H
16. Se $h(t)$ não é constante
 - Se $H > 1$ e $H < 0,5$
17. Ir para o passo 20
18. Modelo auto-similar ou monofractal
19. Usar os valores (H , média, σ) para a estimação da banda ← B_p
20. Modelo multifractal
21. Usar os modelos MMW ou MWM para a determinação da banda
22. Retorno para a rede

Neste trabalho, no entanto, para a computação de banda passante foi utilizada uma variação do método desenvolvido por Norros (NORROS, 1995), este método chamado de Processo Envelope do Movimento Browniano Fracionado foi avaliado em (FONSECA; DRUMMOND; DEVETSIKIOTIS, 2005) e é representado pela sigla *FEP* (*Fractal Envelope Process*). Para dependência de longa duração este método gerou estimativas com um grau de confiabilidade, inclusive em situações de necessidade de uso interferente em tempo quase real.

Nota-se que para valores de memória de curta duração (*buffer*) aqui representado pela letra K na equação 6.1, a letra a representa a média, o H é o parâmetro de *Hurst* o σ representa o desvio padrão das amostras, o P_{loss} representa a probabilidade da perda de dados por transbordo do *buffer*. Esta equação vale para o intervalo: $0,5 < H < 1$.

$$EN = \bar{a} + K^{\frac{H-1}{H}} * \left(\sqrt{-2 * \ln(P_{loss})} * \sigma \right)^{\frac{1}{H}} * H(1-H)^{\frac{1-H}{H}} \quad (4.1)$$

Não será tratado, neste trabalho, do modelo multifractal como uso direto na predição de banda, em trabalhos futuros o assunto será tratado no sentido de verificar se em ambientes de grande volume de tráfego esta caracterização tem vantagens substanciais com relação ao modelo auto-similar.

Com o objetivo de visualizar a aplicação da Eq.4.1 foram traçadas diversas curvas representadas nas Fig. 4-4 e Fig. 4-5.

Na Fig. 4.4 podemos observar uma grande dependência do tamanho do *buffer*, neste caso foram traçadas curvas de 0,5 segundos até 5 minutos. Pode-se notar que o H aqui representa de forma bem clara o grau de agregação e explosividade (*burstness*), isto é quanto mais próximo de 1 (um) maior a necessidade de banda para um mesmo tamanho de *buffer*.

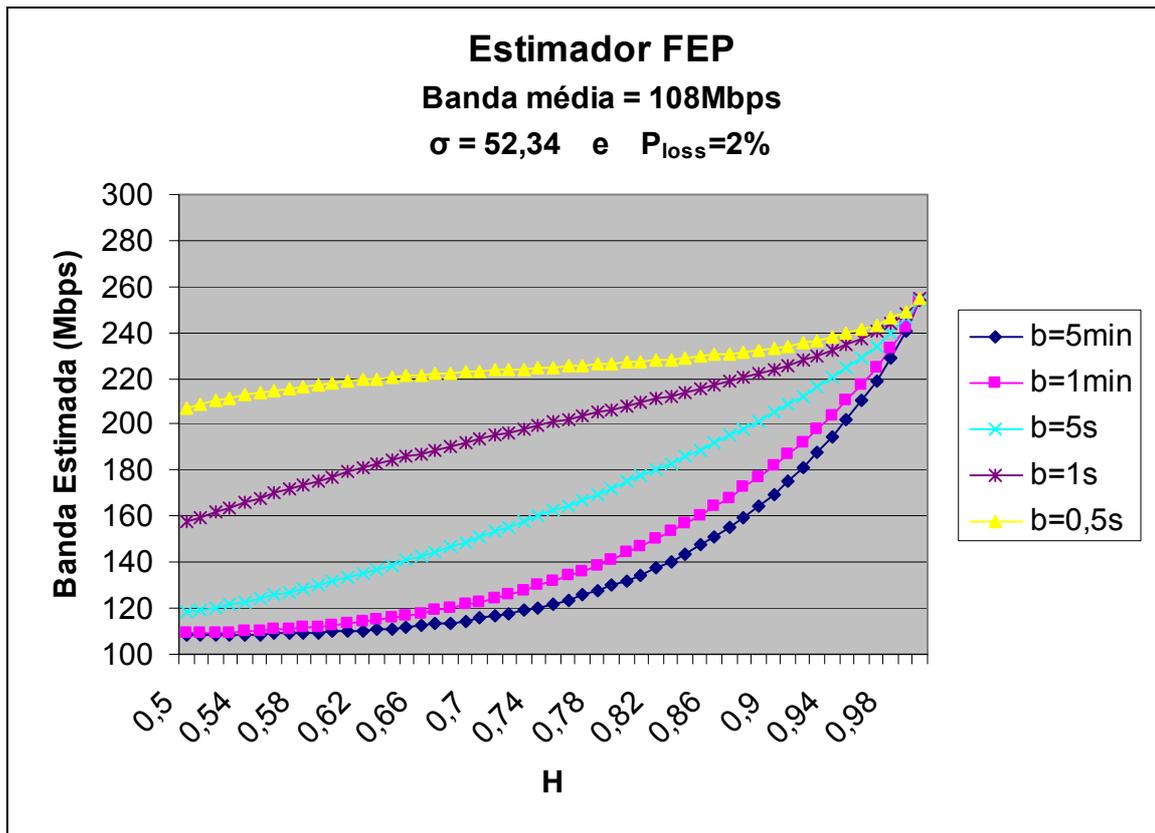


Fig. 4-4 – Curva de Estimação de Banda Passante 108Mbps

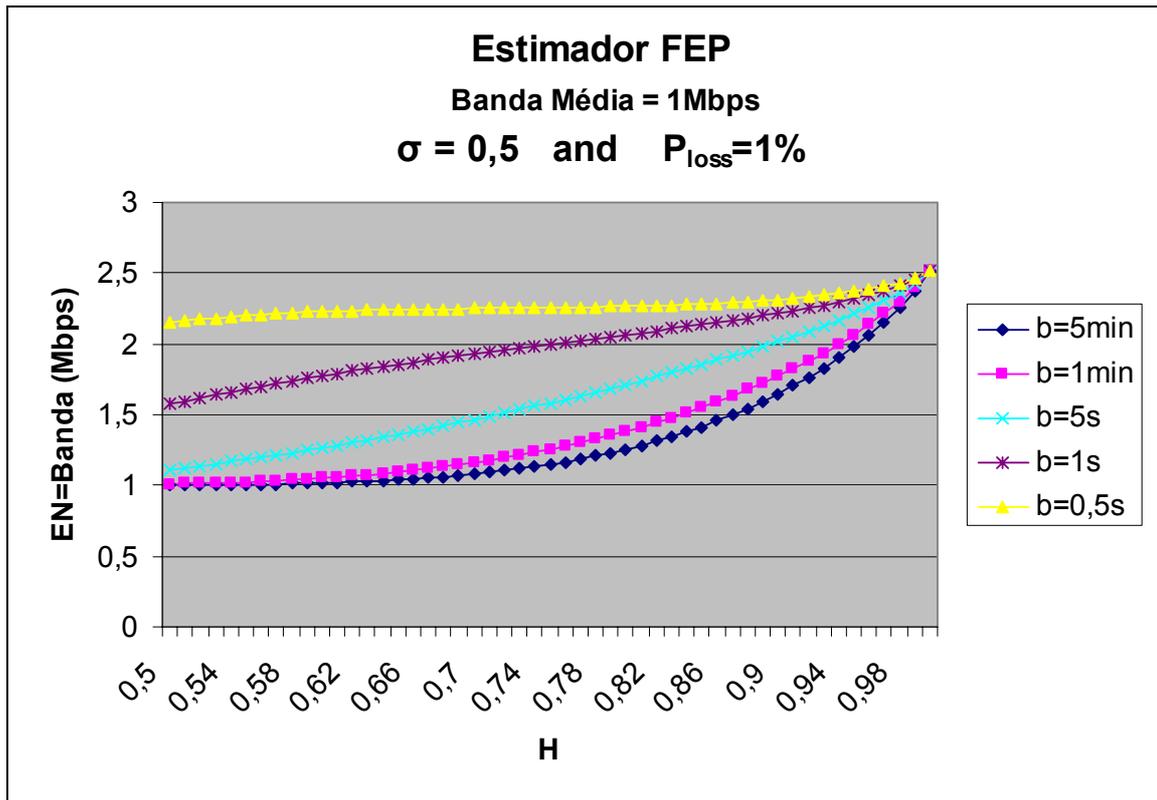


Fig. 4-5 - Curva de Estimação de Banda Passante 1Mbps e $\sigma = 0,50$

Após a análise dos gráficos mostrados nas Fig. 4-4 e Fig. 4-5, nota-se que existe uma dependência muito forte do tamanho da memória de curta duração (*buffer*) quando o H está mais próximo de 0,5 (meio), sendo que para H mais próximos de 1 (um) existe uma independência com relação a esta memória de curta duração.

4.1 CONFIGURAÇÃO DE TÚNEIS EM AMBIENTE IP/MPLS

A idéia central relativa ao controle, para o caso em análise é a possibilidade de controle de túneis formados por engenharia de tráfego configurando enlaces de alta velocidade. Nos casos em análise a banda nominal das interfaces será de 10Gbps (dez *gigabits* por segundo) em ambiente *Ethernet* (TANENBAUM, 1999). Os túneis podem ser configurados em conformidade com as configurações mostradas na Tabela 4-1, utilizando para isto os requisitos de configuração de elementos de rede Cisco, aqui baseados em interfaces de comando de linha *CLI* (*Command Line Interface*).

Tabela 4-1 – Configuração de túneis para uso em Engenharia de Tráfego(TE) com *Diffserv*

	Comando (CLI)	Propósito
Passo 1	configure <i>Prompt(config)# configure</i>	Habilita o modo de configuração nos roteadores.
Passo 2	rsvp <i>Prompt(config)# rsvp</i>	Habilita o modo de configuração do <i>RSVP</i> .
Passo 3	interface type number <i>Prompt(config-rsvp)# interface pos0/6/0/0</i>	Seleciona a interface <i>RSVP</i> .
Passo 4	bandwidth total-bandwidth max-flow sub-pool sub-pool-bw <i>Prompt(config-rsvp-if)# bandwidth 100 150 sub-pool 50</i>	Configura o valor global máximo do tunnel <i>RSVP</i> , e a banda disponível para cada <i>sub-pool</i> nesta interface.
Passo 5	interface tunnel-te tunnel-id <i>Prompt(config-rsvp-if)# interface tunnel-te 1</i>	Habilita o modo de configuração <i>MPLS TE</i> . Neste caso, na interface 1 do túnel.
Passo 6	bandwidth {bandwidth sub-pool bandwidth} <i>Prompt(mpls-if)# bandwidth sub-pool 10</i>	Configura a banda disponível nesta interface.
Passo 7	end ou commit <i>Prompt(mpls-if)# end</i> ou <i>Prompt(mpls-if)# commit</i>	Grava as configurações.

Após a configuração e seleção dos túneis a serem utilizados por tipo de aplicação, neste caso representado pelo campo *DSCP* do cabeçalho IP ou do campo *EXP* do cabeçalho *MPLS*, é iniciado o processo com a configuração inicial dos túneis com base na utilização calculada em função de cada aplicação ou serviço, de forma estática, neste caso é normal se utilizar a banda média por usuário. Após este início os processos de coleta são iniciados, conforme Fig. 4-2. Neste momento é importante definir o grau de liberdade que a ferramenta poderá atuar de forma a modificar o parâmetro de banda (*bandwidth*) dos túneis em função das curvas mostradas nas Fig. 5.4 e 5.5 e definidas matematicamente pela equação 5.1.

Para que seja evitado a possibilidade de atuação da ferramenta de forma destrutiva, neste trabalho está sendo proposto que seja gerada a figura do *grau de liberdade* Ω , este será definido em conformidade com a equação 5.2, de forma empírica variando entre 0,01 e 1. Este fator definirá qual será o máximo valor a ser considerado para aplicação da rede e deve ser aplicado na última fase, antes de ser devolvido como realimentação para a rede.

$$BP_{GL} = \pm \Omega.(EN) \quad (4.2)$$

Um segundo fator de extrema importância é o período mínimo de atuação na rede que o sistema proposto poderá atuar sem comprometer a estabilidade da mesma. Neste trabalho não se atuará na rede em períodos menores que 60 (sessenta) minutos, pois as coletas de dados para análise ocorrerão em intervalos mínimos de 1 minuto.

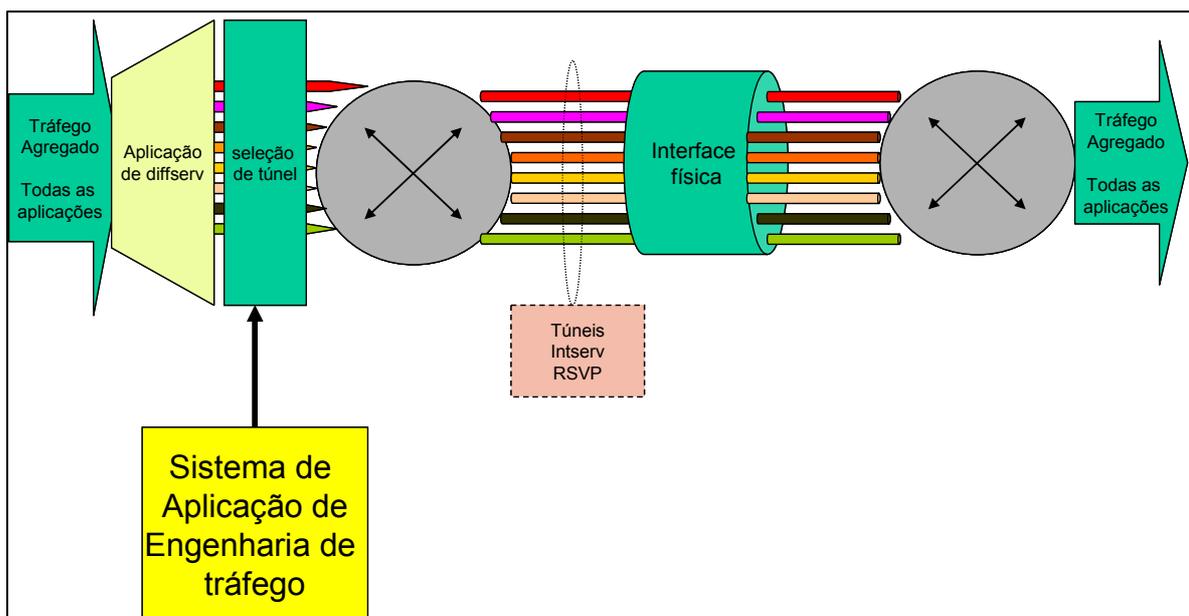


Figura 4-6 - Túneis estabelecidos e controlados pelo sistema proposto

O método de estimação mostrado na Fig. 4-1 possui diversos relatos de superestimação de banda. Em (PERLINGEIRO; LING, 2005) é introduzido um fator de otimização de banda, descrito pelas equações 4.3 e 4.4.

$$f_{op} = \frac{2}{5} \frac{EN}{\sqrt{b'} L} \quad \text{if } 0 < H \leq 0.7 \quad (4.3)$$

$$f_{op} = \frac{2}{75} \frac{EN}{\sqrt{b'} L} \quad \text{if } H > 0.7 \quad (4.4)$$

Onde f_{op} é a nova banda otimizada, b' é o *buffer* normalizado $b'=b/b_0$ and b_0 é o menor tamanho de *buffer* considerado. A letra L indica o máximo fator de rajada(*burst*).

Na Fig. 4-7 é mostrado o controle de banda baseado no estimador *FEP* e aplicando o fator de otimização proposto em (PERLINGEIRO; LING, 2005), conforme esperado, o controle automático pode melhorar o desempenho da rede de pois a rede pode ser configurada novamente em função da utilização dos tipos de aplicação que fazem uso da rede no momento. Isto pode gerar um efeito de deslocamento dos picos e vales mostrados na Fig. 3-2 de forma a preservar o grau de percepção dos usuários na melhor possível. Um exemplo do uso desta aplicação pode ser a completa liberação de recursos de rede, similarmente como ocorre em tráfego de voz aos fins semana no Brasil, durante períodos onde o tráfego corporativo não esteja ocorrendo.

Neste trabalho o uso dos estimadores Multifractais não foi usado, porém para controles em escalas menores que 1(um) minuto pode ser necessário o uso deste modelo. Neste caso, será necessária uma definição dos intervalos de atuação de forma a não se alterar o grau de disponibilidade com novas configurações desnecessárias ou atuantes em períodos que possam gerar instabilidades.

Na tabela 4-2 e na Fig.4-7 é feita uma comparação entre o cálculo de banda fixo para o estabelecimento dos recursos de rede contidos nos túneis e os estimadores dinâmicos.

Tabela 4-2 – Estimação fixa dos túneis para HTTP e P2P

Túnel por aplicação	Banda	Média	σ
Túnel P2P fixado pelo máximo	300	261	25
Túnel HTTP fixado pelo máximo	274	181	89

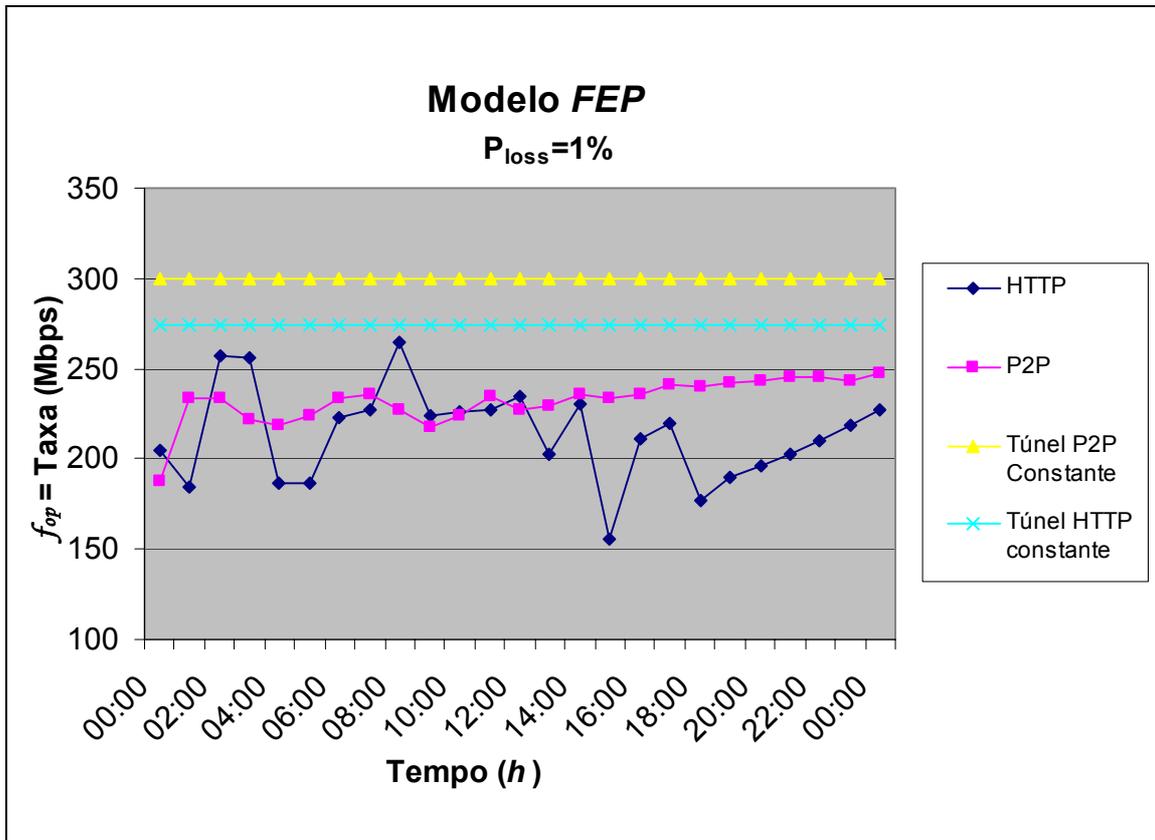


Fig. 4-7 – Predição de tráfego HTTP e P2P com base na equação 6.1.

Como pode ser visto na Fig. 5-7 o processo de estimação, após ter sido otimizado, gera um nível de estimação que pode ser usado para a determinação do parâmetro de banda (*bandwidth*) no estabelecimento dos túneis.

4.2 Conclusão deste capítulo

Neste capítulo foram apresentados as estratégias de implantação do controle de recursos na rede. Esta estratégia está baseada, neste trabalho, na possibilidade da estimação de banda através de modelos matemáticos que usam o princípio da auto-similaridade estatística. No próximo capítulo o modelo será colocado à prova através da simulação.

5 SIMULAÇÃO DE REDE

Uma ação importante com relação a tomada de decisão em relação a mudança de parâmetros de banda na rede é o teste de validação do modelo. A simulação será a ferramenta utilizada para a validação dos modelos propostos. A ferramenta de simulação escolhida para os testes é o *OPNET Modeler* e o *SP Guru* (OPNET, 2007), usados em conjunto para todas as simulações por fluxo e por eventos discretos (CHWIF; MEDINA, 2006).

6.1 SIMULAÇÃO POR FLUXO USANDO TÚNEIS COM BANDA ADAPTATIVA

A simulação por fluxo (Netflow, 2007) usou como base o estabelecimento das cargas em cada um dos enlaces e também na geração dos *LSPs* (*Label Switching Paths*) com base nas necessidades apontadas na Tabela 4-2.

Na Fig. 5-1 o primeiro ambiente de teste composto por roteadores *Cisco 12410* (CISCO, 2007) é apresentado. No primeiro momento foram estabelecidos dois túneis *MPLS* montados com o uso de engenharia de tráfego *TE* (*Traffic Engineering*). O primeiro foi classificado como *BE* (*Best Effort*) e marcado como classe padrão ou *default*, o segundo foi classificado como *EF* (*Express Forward*) com o *EXP* equivalente a 5 (cinco).

Na Fig. 5-1 é apresentado o diagrama topológico dos testes de avaliação da configuração, o primeiro teste foi realizado com a marcação do tráfego entre os nós: *RJ-CORE02* e *BH-CORE02*. Os túneis *LDP* (*Label Distribution Protocol*) foram estabelecidos usando o tipo *e-LSP* (*EXP LSP*) de forma a ser possível combinar a classificação *DiffServ* com a seleção do túnel, também chamado de *CBTS* (*Class Based Tunnel Selection*).

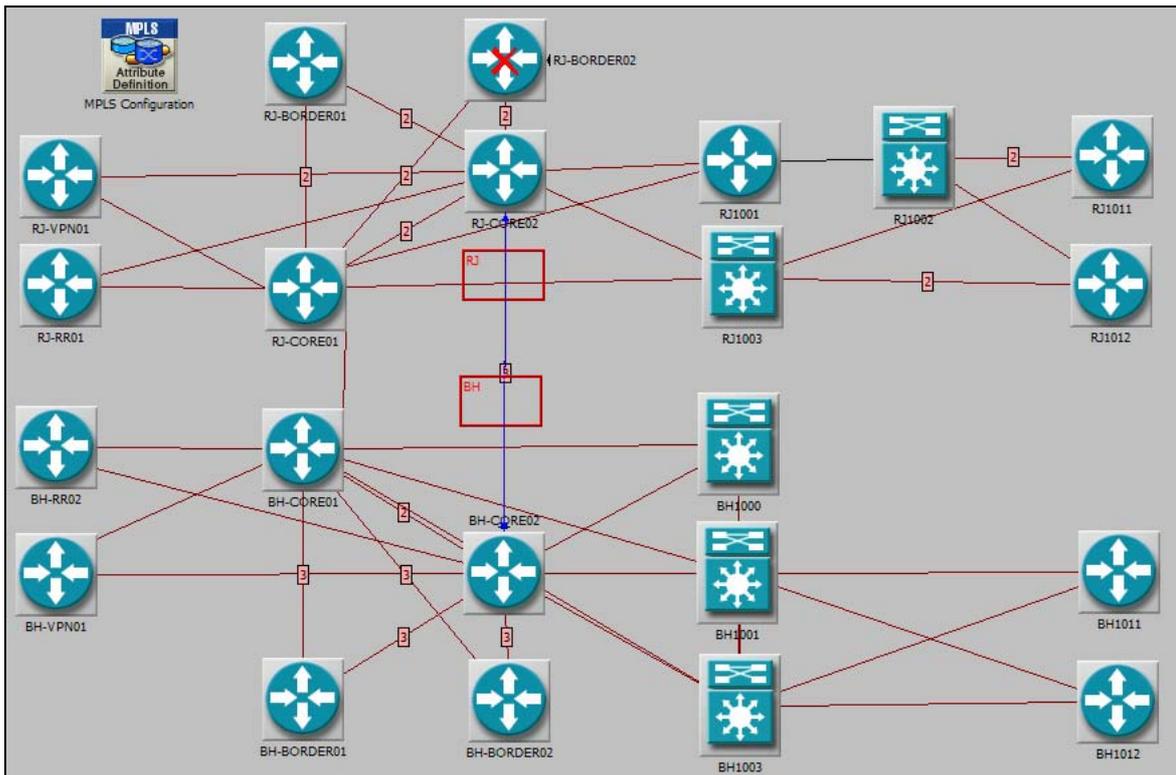


Fig. 5-1 – Rede para a simulação do *DiffServ* com *IntServ*.

Nos primeiros testes, foram aplicados aos túneis as configurações com base na estimativa do valor máximo, conforme Tabela 5-2. Os valores estão mostrados na Tabela 5-1. Observe que cada *e-LSP* é unidirecional e por isto em cada direção de tráfego foi estabelecido um túnel distinto.

Tabela 5-1 - Túneis *e-LSP* para tráfego http e p2p estimado pelo pico

Nome da Demanda (<i>e-LSP</i>)	Classe	Status	EXP	Média bps	Média atraso (msec)	Jitter fim-a- fim (msec)	Máxima Perda de pacotes (%)	Volume
HTTP_RJ-CORE02 --> BH-CORE02	AF21	Successful	2	300,000,000	0.007	0.003	0.0	251.457 GB
HTTP_BH-CORE02 --> RJ-CORE02	AF21	Successful	2	300,000,000	0.007	0.003	0.0	251.457 GB
P2P_BH-CORE02 --> RJ-CORE02	AF31	Successful	3	274,000,000	0.007	0.003	0.0	229.664 GB
P2P_RJ-CORE02 --> BH-CORE02	AF31	Successful	3	274,000,000	0.007	0.003	0.0	229.664 GB

Nos testes seguintes, apresentados através das tabelas 5-2, 5-3 e 5-4 foram aplicados em cada um dos túneis os valores estimados através da equação 5-1 e corrigida pelas equações 4-3 e 4-4, em conformidade com a Fig. 4-7.

Tabela 5-2 - Túneis e-LSP para tráfego http e p2p dinamicamente estimados pela Eq. 5-1.

Nome da Demanda (e-LSP)	Classe	Status	EXP	Média bps	Média atraso (msec)	Jitter fim-a- fim (msec)	Máxima Perda de pacotes (%)	Volume
HTTP_RJ-CORE02 --> BH-CORE02	AF21	Successful	2	205,000,000	0.005	0.001	0.0	171.829 GB
HTTP_BH-CORE02 --> RJ-CORE02	AF21	Successful	2	205,000,000	0.005	0.001	0.0	171.829 GB
P2P_BH-CORE02 --> RJ-CORE02 1	AF31	Successful	3	187,000,000	0.005	0.001	0.0	156.742 GB
P2P_RJ-CORE02 --> BH-CORE02 1	AF31	Successful	3	187,000,000	0.005	0.001	0.0	156.742 GB

Tabela 5-3 - Túneis e-LSP para tráfego http e p2p dinamicamente estimados pela Eq. 5-1 .

Nome da Demanda (e-LSP)	Classe	Status	EXP	Média bps	Média atraso (msec)	Jitter fim-a- fim (msec)	Máxima Perda de pacotes (%)	Volume
HTTP_RJ-CORE02 --> BH-CORE02	AF31	Successful	3	184,000,000	0.006	0.002	0.0	154.227 GB
HTTP_BH-CORE02 --> RJ-CORE02	AF31	Successful	3	184,000,000	0.006	0.002	0.0	154.227 GB
P2P_RJ-CORE02 --> BH-CORE02 1	AF21	Successful	2	233,000,000	0.006	0.002	0.0	195.298 GB
P2P_BH-CORE02 --> RJ-CORE02 1	AF21	Successful	2	233,000,000	0.006	0.002	0.0	195.298 GB

Tabela 5-4 - Túneis e-LSP para tráfego http e p2p dinamicamente estimados pela Eq.5-1.

Nome da Demanda (e-LSP)	Classe	Status	EXP	Média bps	Média atraso (msec)	Jitter fim-a- fim (msec)	Máxima Perda de pacotes (%)	Volume
HTTP_RJ-CORE02 --> BH-CORE02	AF21	Successful	2	257,000,000	0.006	0.002	0.0	215.415 GB
HTTP_BH-CORE02 --> RJ-CORE02	AF21	Successful	2	257,000,000	0.006	0.002	0.0	215.415 GB
P2P_BH-CORE02 --> RJ-CORE02 1	AF31	Successful	3	233,000,000	0.006	0.002	0.0	195.298 GB
P2P_RJ-CORE02 --> BH-CORE02 1	AF31	Successful	3	233,000,000	0.006	0.002	0.0	195.298 GB

A validação utilizando a simulação por fluxo não nos leva a conclusões interessantes para o modelo proposto. Nas tabelas 5-2, 5-3, 5-4 observa-se que o volume de dados apresentado está variando, isto significa que o fluxo sofreu um efeito adaptativo e não restritivo como deveria ter ocorrido. Não sendo possível se chegar a nenhuma conclusão.

Para o uso da ferramenta em situações relacionadas com a simulação de eventos faz-se necessário que os objetivos estejam muito bem definidos, caso contrário a possibilidade de se chegar a conclusões erradas aumenta significativamente.

O efeito de uma escolha errada, neste caso, pode comprometer toda a atividade de provimento de serviços, portanto qualquer possibilidade de erro deve sofrer análises por no mínimo duas fontes distintas, antes que se tome a decisão do uso efetivo na rede.

5.1 SIMULAÇÃO POR EVENTOS DISCRETOS

A validação utilizando a simulação por simulação de eventos discretos utilizou uma rede montada com roteadores Cisco de modelo 12410 e 7609. Para esta simulação foram extraídas amostras de tráfego da rede de uma operadora de telecomunicações. Este tráfego foi submetido a uma análise para a detecção de auto-similaridade estatística comprovada através do cálculo do parâmetro de Hurst, no intervalo $0,6 < H < 0,9$. A rede é apresentada na Fig. 5-2.

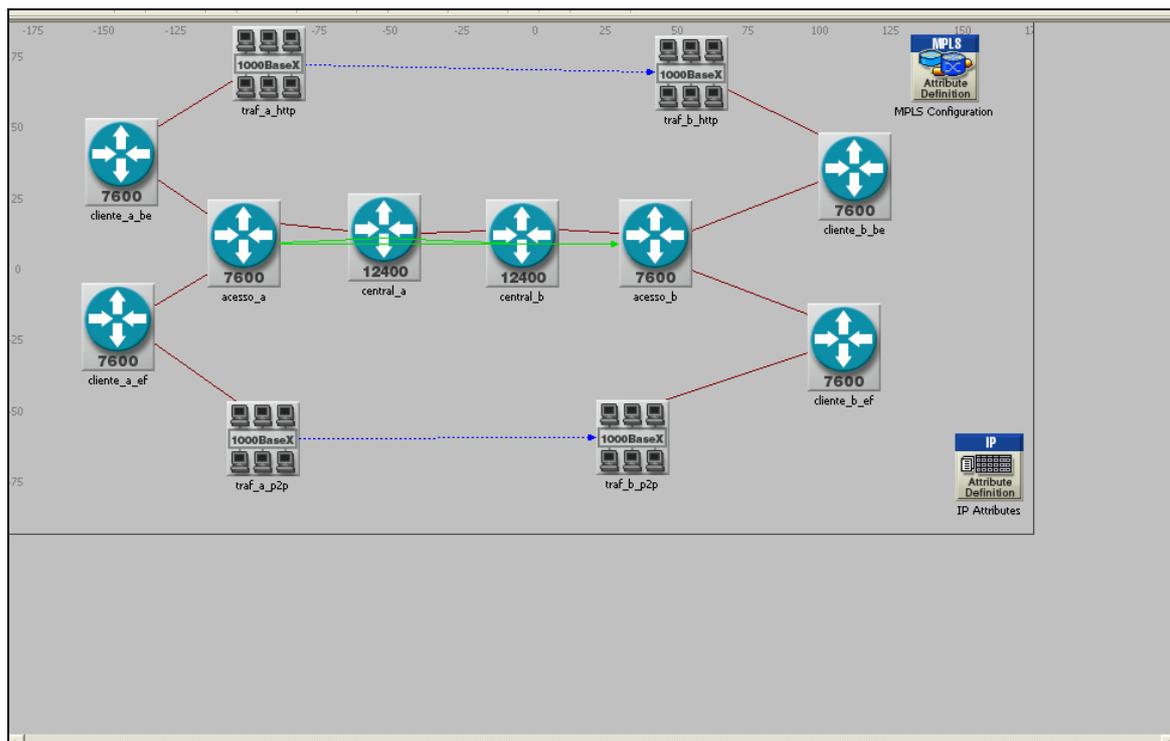


Fig. 5-2 - Rede de referência para teste de conceito do uso restritivo de túneis MPLS no gerenciamento de banda IP.

Foram configurados dois túneis conforme Tabela 5-5 em conformidade com a banda calculada pelo pico nas três primeiras horas de simulação.

Tabela 5-5 - Túneis e-LSP para tráfego http e p2p dinamicamente estimados pela Eq. 5-1

<i>Túnel e-LSP</i>	<i>Classe</i>	<i>EXP</i>	<i>Banda Calculada (Mbps)</i>
http	BE	1	274
p2p	EF	5	300

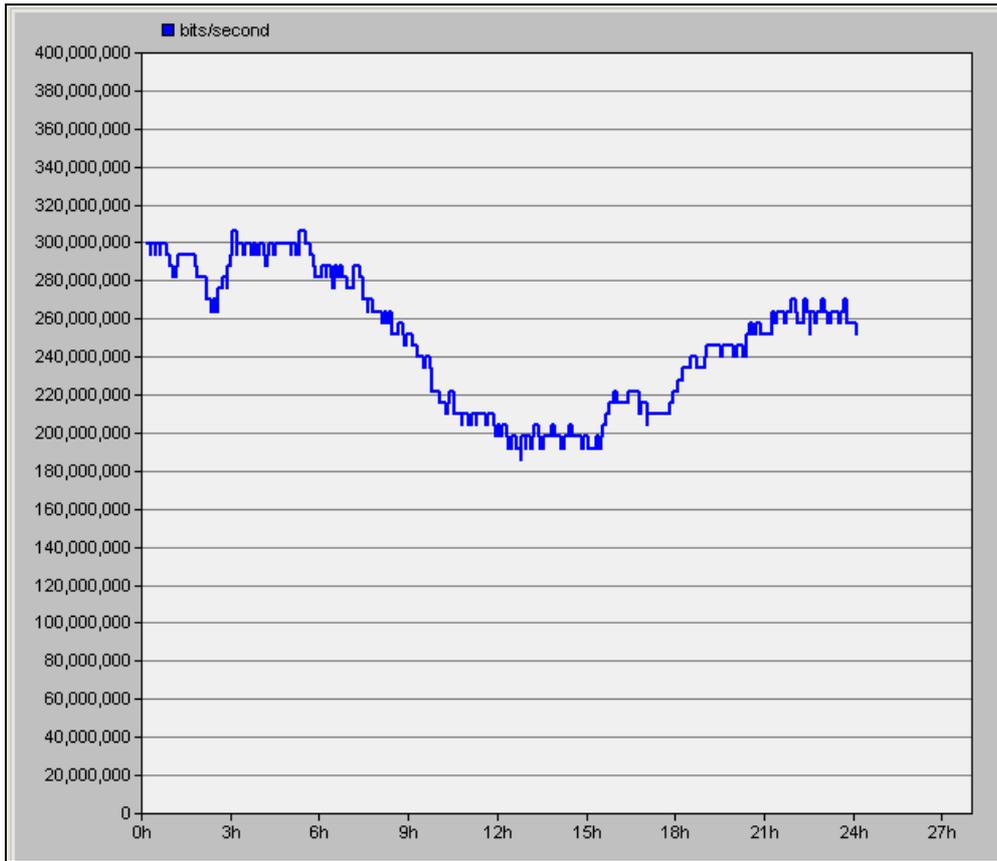


Fig. 5-3 - Amostra de tráfego *p2p* real inserido na ferramenta de simulação.

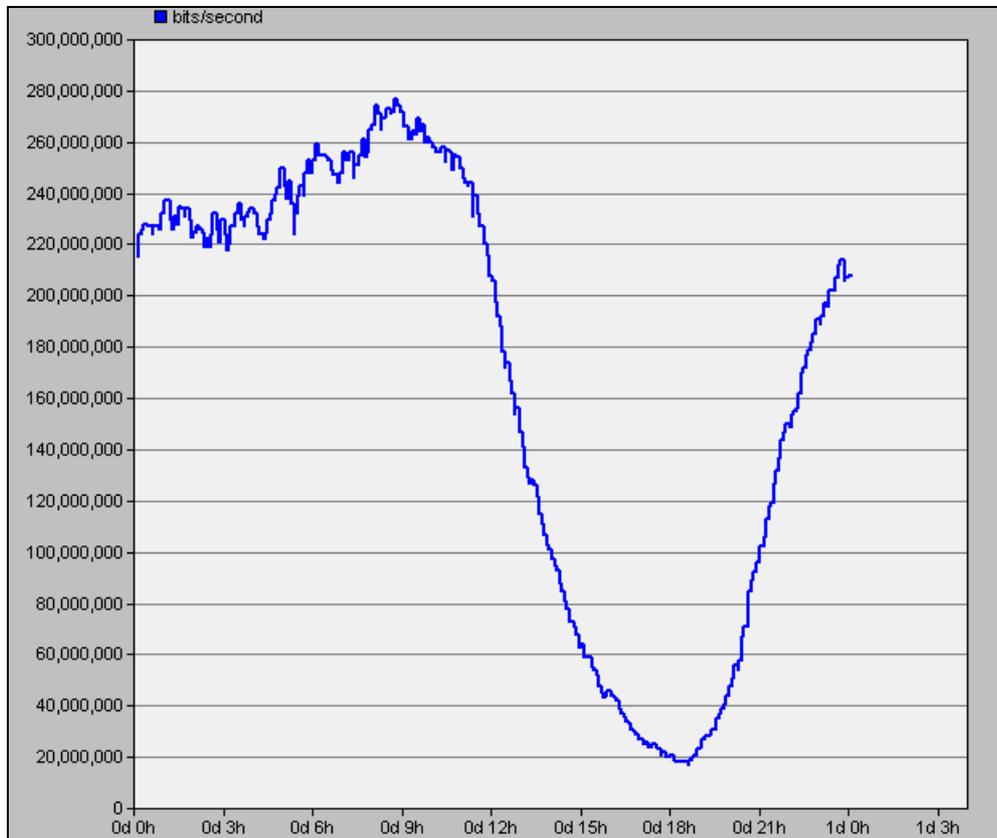


Fig. 5-4 - Amostra de tráfego *http* real inserido na ferramenta de simulação.

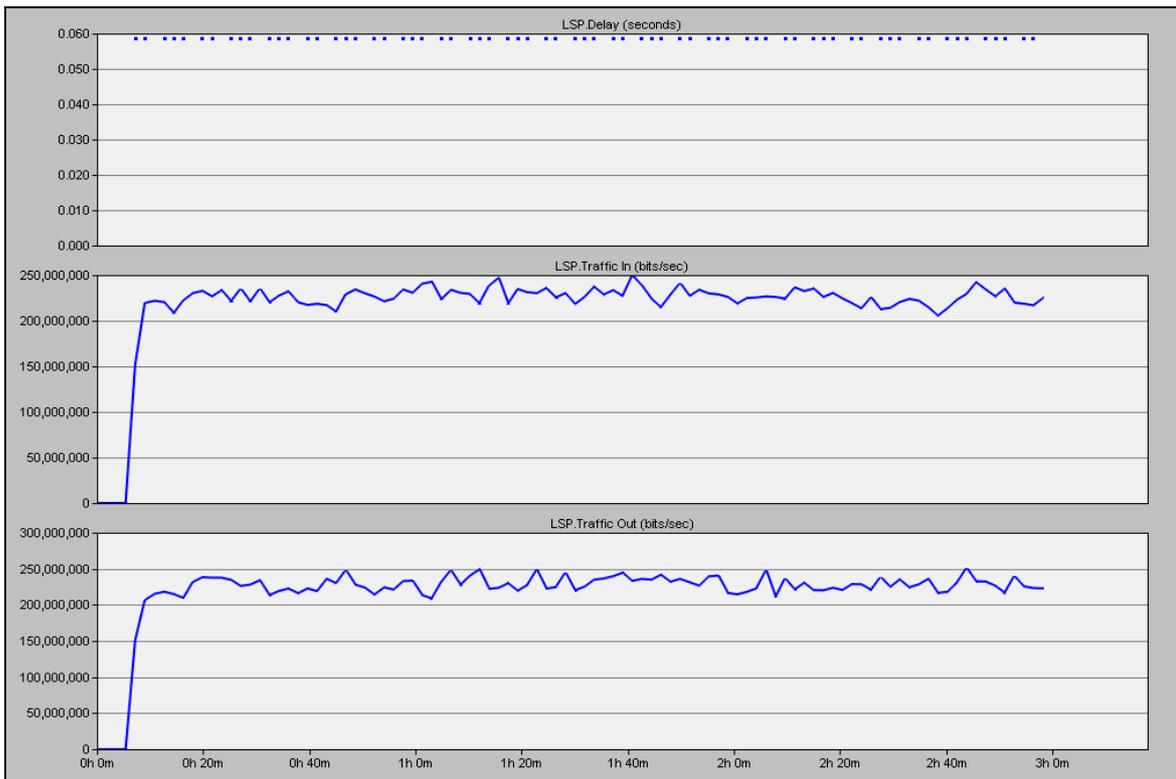


Fig. 5-5 – Tráfego real *http* com túnel fixado em 274Mbps.

Na Fig. 5-5 são mostrados dois túneis fixados em 274Mbps e 300Mbps em função do pico de banda encontrado na Tabela 5-5, estes valores, sem a metodologia, são valores fixos. Desta forma em períodos de baixa utilização os recursos de rede não poderiam ser aproveitados por outras aplicações.

Porém a simples tentativa de modificação dinâmica de necessidade de banda por túnel pode não ter o resultado esperado, caso não haja uma metodologia coerente com relação a previsibilidade em termos de necessidade de uso de recursos.

Neste caso o efeito pode ser o oposto ao desejado, por este motivo faz-se necessário que todas as possibilidades sejam validadas.

Na próxima seção a metodologia será testada para a validação da proposta em função da comparação do grau de efetividade de economia de recursos que possam ser usados por outros serviços.

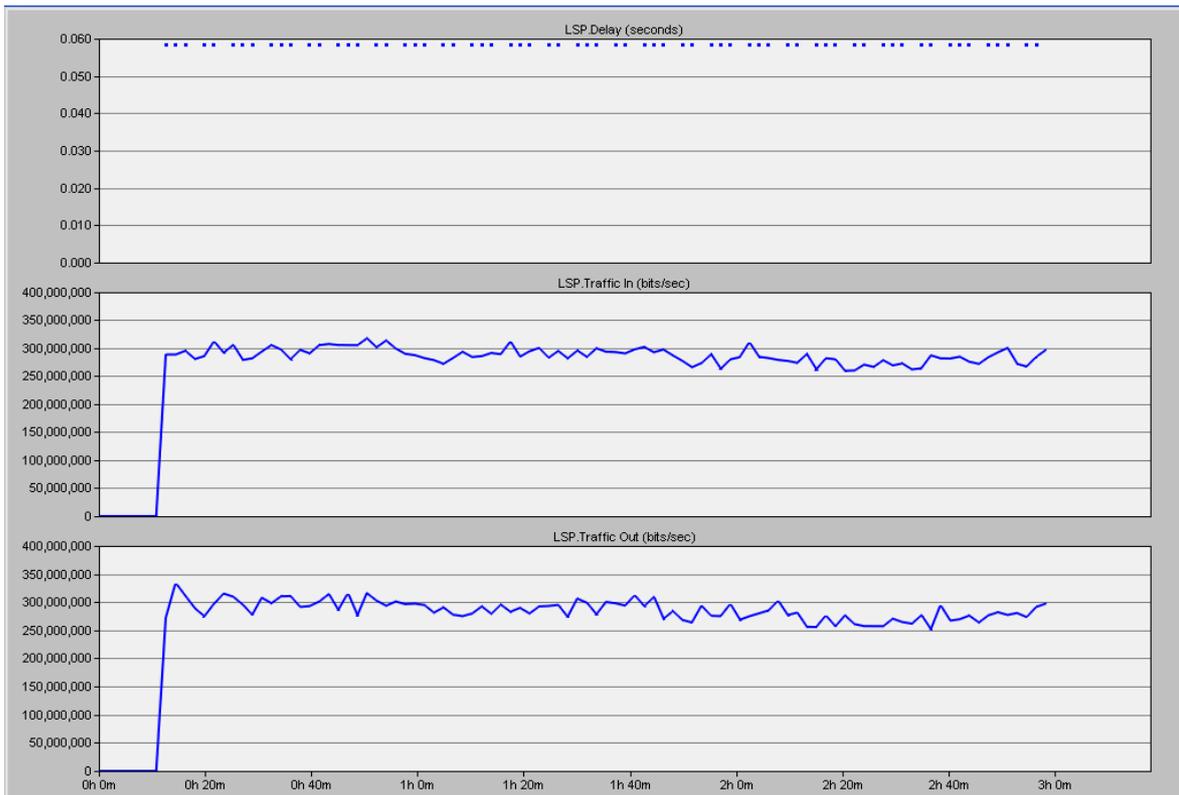


Fig. 5-6 – Tráfego real *p2p* com túnel fixado em 300Mbps (valor de pico).

5.1.1 Utilização da Metodologia

Para a comparação foram configurados dois túneis conforme Tabela 5-6 em conformidade com a banda calculada pela Eq. 4-1 nas três primeiras horas de simulação.

Tabela 5-6 - Túneis e-LSP para tráfego http e p2p dinamicamente estimados pela Eq. 6-1.

<i>Túnel e-LSP</i>	<i>Classe</i>	<i>EXP</i>	<i>Banda Calculada (Mbps)</i>
http	BE	1	210
p2p	EF	5	220

Nas figuras 5-7 a 5-9 é apresentado a configuração do túnel *p2p* com o tráfego correspondente ao período de 12:00 às 15:00h.

É importante notar que em nenhum dos casos mostrados apresenta perda de pacotes, conforme Fig. 5.9, outro ponto de atenção é que o *e-lsp* é estabelecido apenas 150 segundos após o início do estabelecimento da simulação. Este é um valor padrão do software utilizado e não foi alterado.

Na Fig. 5-7 uma amostra de 03 (três) horas do tráfego mostrado na Fig. 5-3 é submetida ao novo túnel dimensionado pela metodologia apresentada nos capítulos anteriores.

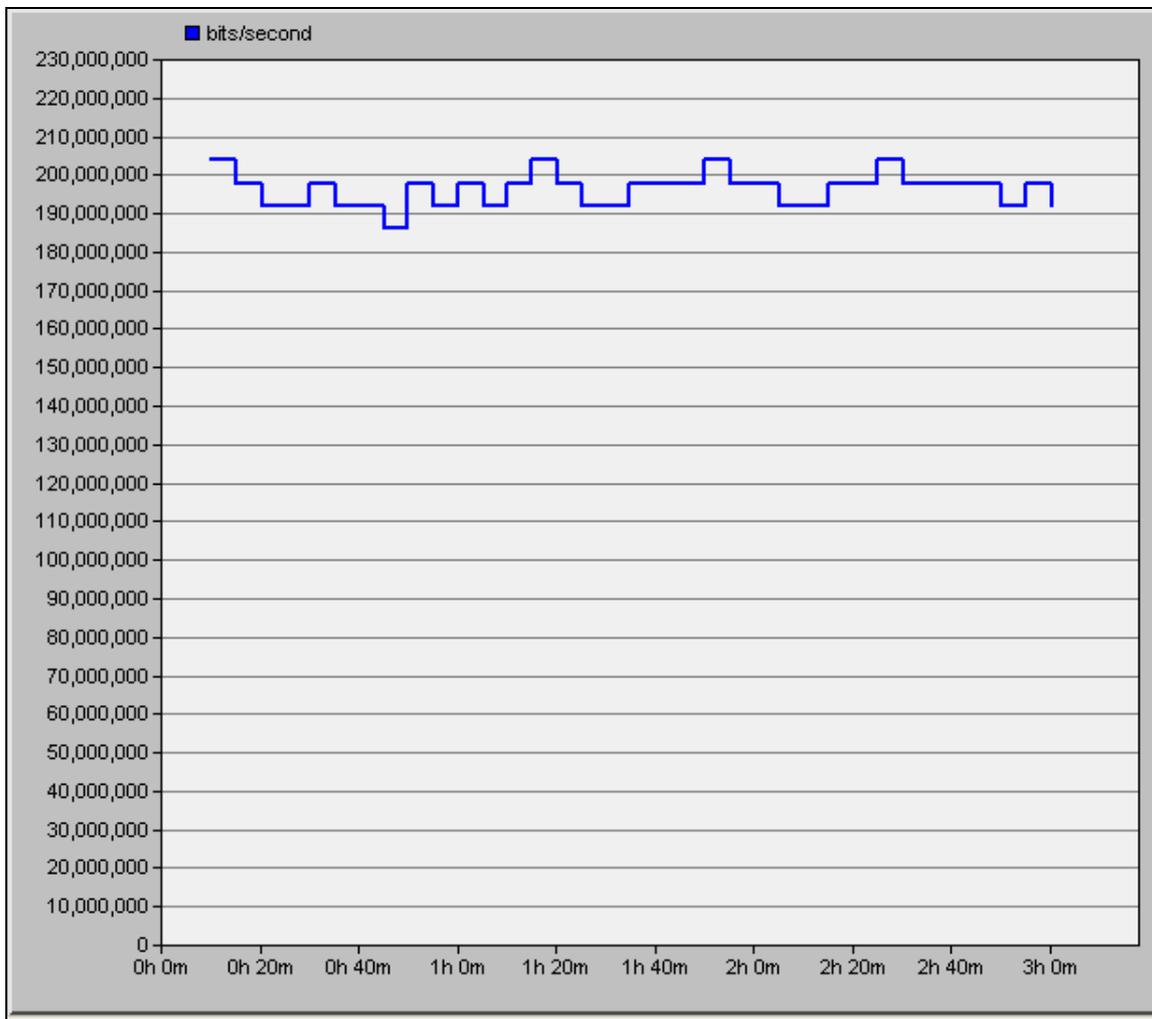


Fig. 5-7 - Amostras de tráfego real *p2p*

Na Fig.6-8 é mostrado o tráfego inserido e o tráfego amostrado na saída do túnel, comparando com a Fig. 6-6 é verificado que o atraso se mantém em valores muito próximos da condição onde os túnel havia sido estabelecido pelo pico.

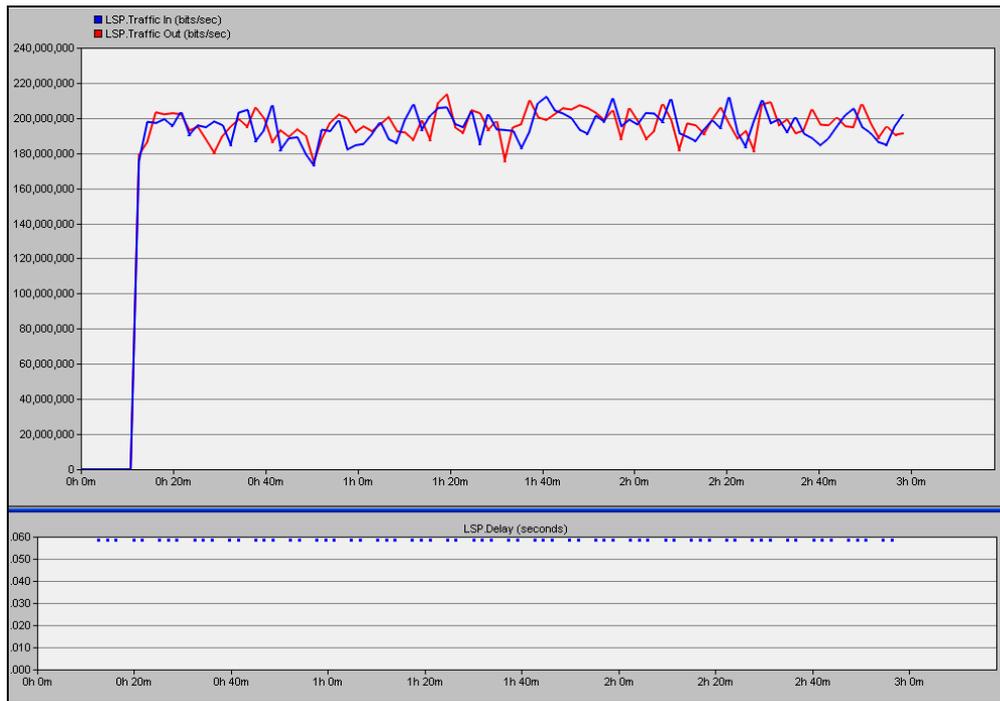


Fig. 5-8 - Tráfego *p2p* ingresso e egresso do *e-lsp* e tempo de resposta.

Na Fig. 5-9 é mostrado que não existem perdas de pacotes, a perda inicial mostrada abaixo é relativa ao período anterior ao estabelecimento do túnel.

Na Fig. 5-10 é apresentada a configuração do túnel *http* com o tráfego correspondente ao período de 12:00 às 15:00h.

É importante notar que em nenhum dos casos mostrados apresenta perda de pacotes, conforme Fig. 5-12, outro ponto de atenção é que o *e-lsp* é estabelecido apenas 150 segundos após o início do estabelecimento da simulação. Este é um valor padrão do *OPNET* (OPNET, 2007) e não foi alterado.

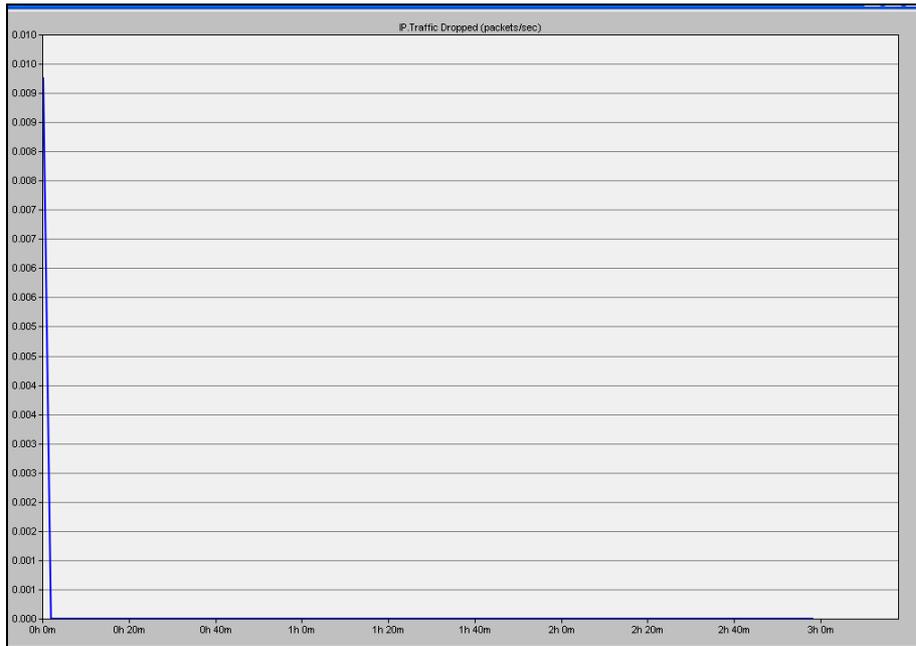


Fig. 5-9 - Perda de pacotes (a perda inicial é devida ao tempo de estabelecimento do *e-lsp*).

A Fig 5-10 é a representação gráfica de uma amostra de 03 (três) horas de tráfego *http* real.

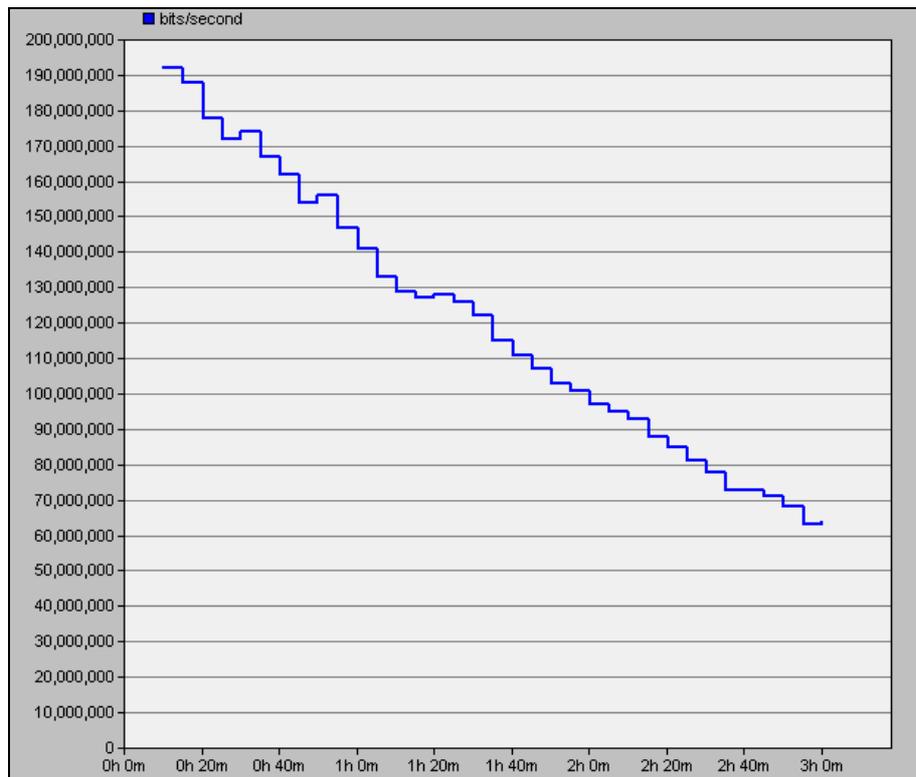


Fig. 5-10 - Amostras de tráfego *http* real.

Na Fig. 5-11 é mostrado o tráfego inserido e o tráfego amostrado na saída do túnel, comparando com a Fig. 5-12 nota-se que o atraso se mantém na mesma faixa verificada para a condição onde os túnel havia sido estabelecido pelo pico.

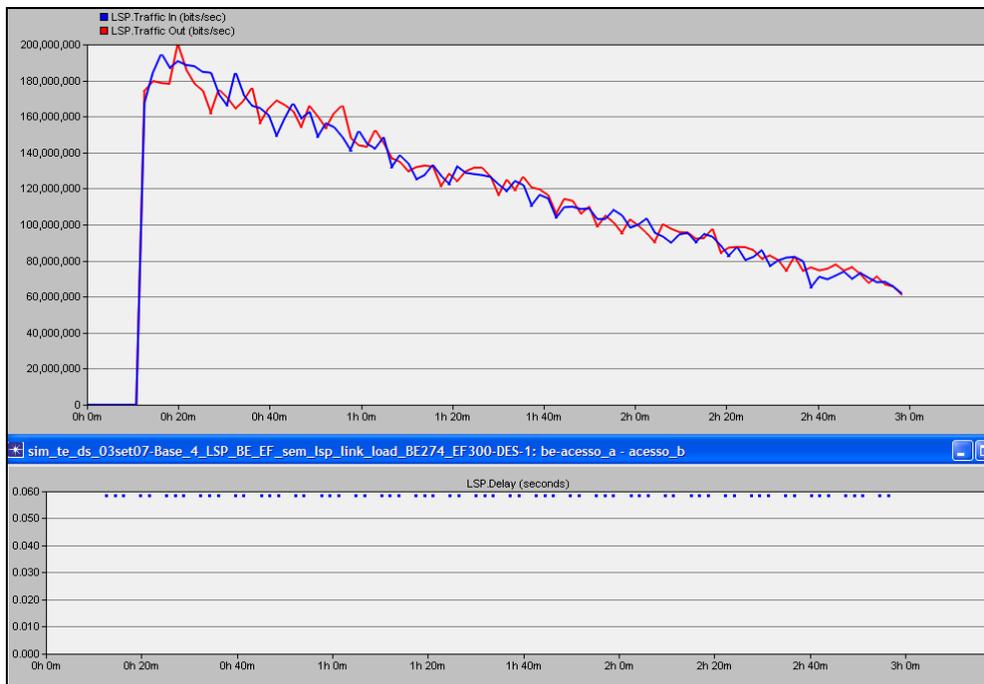


Fig. 5-11 - Tráfego *http* ingresso e egresso do *e-lsp* e tempo de resposta.

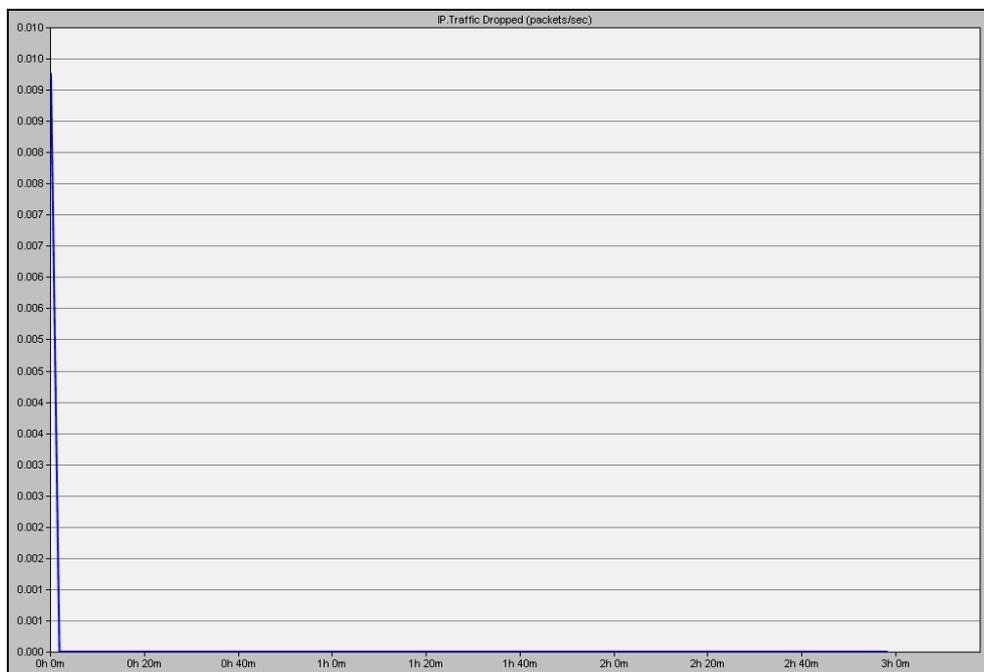


Fig. 5-12 - Perda de pacotes (a perda inicial é devida ao tempo de estabelecimento do *e-lsp*).

Em acordo com os dados coletados verifica-se que apesar do sistema proposto ter indicado uma necessidade de banda menor que aquela indicada na Tabela 5-5, não houve nenhum tipo de perda que pudesse gerar uma indicação de problema na aplicação da estimativa proposta.

5.2 CICLO COMPLETO DE GERENCIAMENTO DE BANDA

Para avaliar o comportamento da rede real quando submetida ao ambiente de gerenciamento de recursos será realizado um ciclo completo mostrado na Fig. 4-1, com especial atenção à fase T.A. (tratamento e análise), iniciando conforme mostrado na Fig. 5-13.

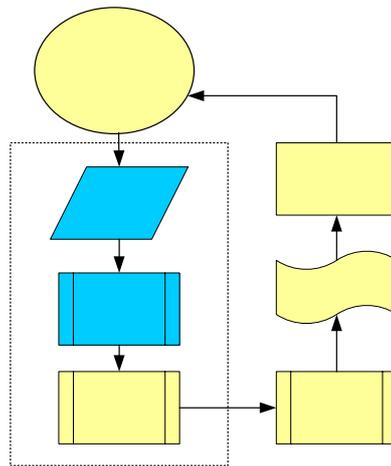


Fig. 5-13 - Fase de coleta de dados.

Os dados foram coletados na rede através do sistema de gerência dos elementos com base no *Netflow Cisco* (CISCO, 2007) e *Ethereal* (ETHERREAL, 2006) de forma a ser possível a identificação do tipo de aplicação para a separação dos fluxos, por tipo de aplicação, a serem analisados.

Os arquivos foram gerados em formato texto para poderem ser analisados pelo *GTAR* (CARVALHO et al., 2007) e pelo *Fraclab* (VÉHEL et al., 1995) e estão apresentados na Fig. 5-14.

Rede sob
análise

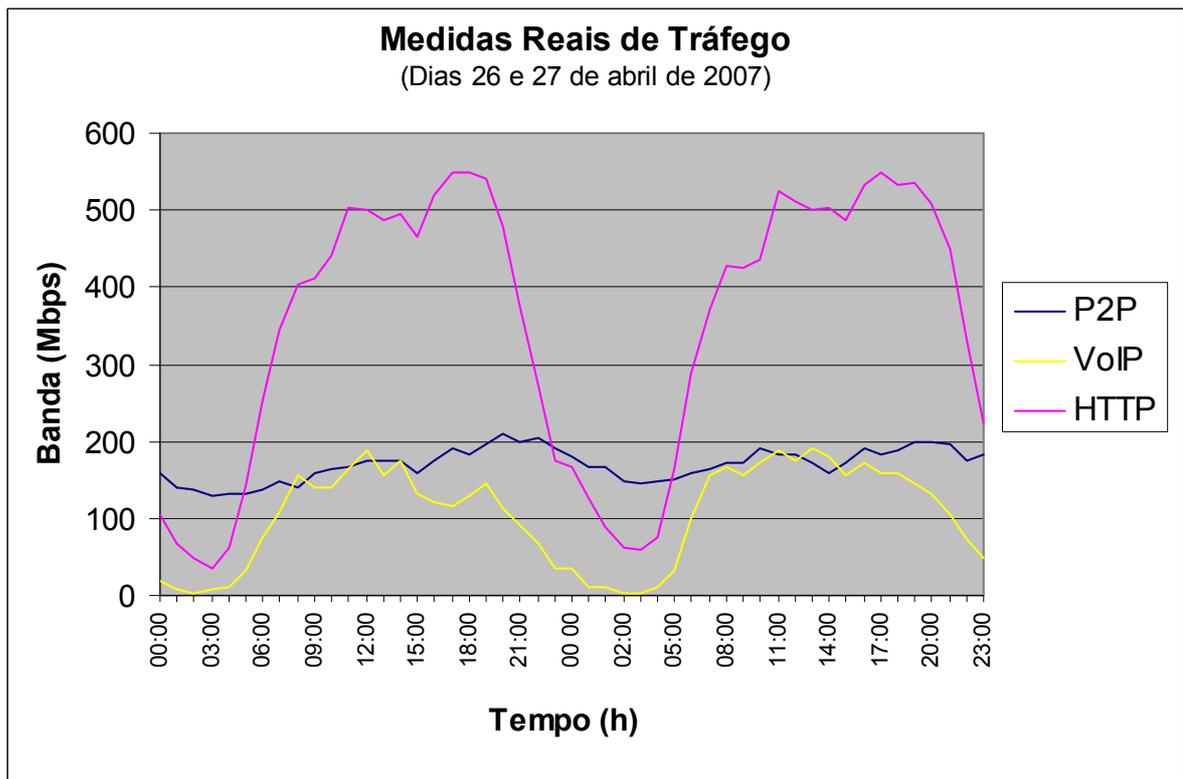


Fig. 5-14 - Amostras de tráfego real retiradas de uma rede real.

Após a fase de coleta e classificação, os arquivos foram submetidos à análise do analisador para o cálculo dos parâmetros que permitirão a caracterização do tráfego, sendo estes o *Hurst*, o *Hölder*, *média*, *desvio padrão* e *desvio padrão*, conforme mostrado na Fig. 5-15.

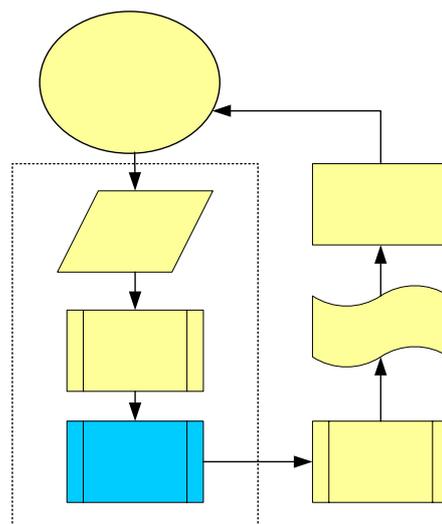


Fig. 5-15 - Fase de análise (caracterização).

O resultado da fase de análise são os parâmetros H , *média* e *desvio padrão*, calculados em função das amostras da Fig. 5-16 e com a Tabela 5-7 e 5-8.

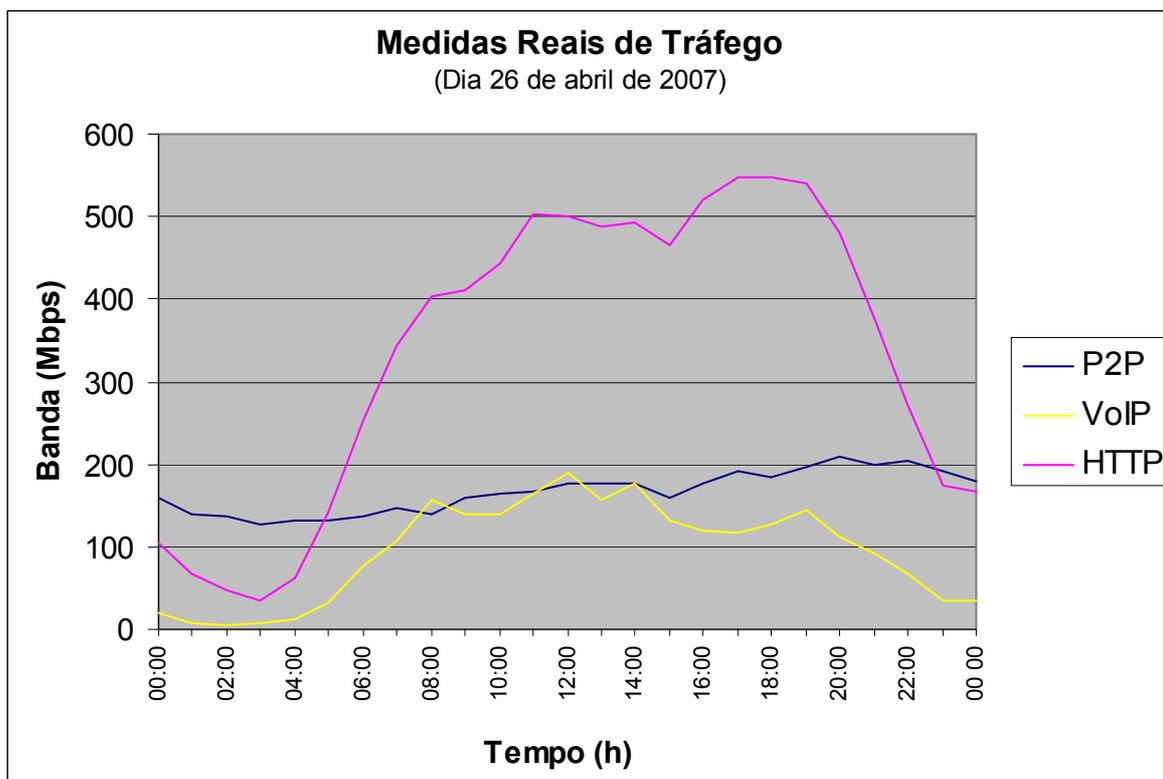


Fig. 5-16 - Amostras reais de tráfego a serem usadas para a aplicação da metodologia.

Estas amostras foram retiradas de um roteador posicionado na camada de distribuição, conforme Fig. 3-1. Os dados contém o tráfego de usuários de serviços residenciais (ADSL) e corporativos.

Tabela 5-7 - Parâmetros Calculados.

Parâmetro	P2P	HTTP	VoIP
Pico	200,00	548,00	192,00
σ	16,68	178,12	68,74
Média	174,17	362,83	113,00

Tabela 5-8- Cálculo do parâmetro de *Hurst*.

Medida	H		
	P2P	HTTP	VoIP
Quinta Abr 26 00:00:00 GMT-03:00 2006	0,898	0,723	0,680
Quinta Abr 26 01:00:00 GMT-03:00 2006	0,962	0,730	0,842
Quinta Abr 26 02:00:00 GMT-03:00 2006	0,963	0,709	0,843
Quinta Abr 26 03:00:00 GMT-03:00 2006	0,935	0,708	0,815
Quinta Abr 26 04:00:00 GMT-03:00 2006	0,928	0,710	0,808
Quinta Abr 26 05:00:00 GMT-03:00 2006	0,942	0,720	0,822
Quinta Abr 26 06:00:00 GMT-03:00 2006	0,964	0,790	0,844
Quinta Abr 26 07:00:00 GMT-03:00 2006	0,968	0,870	0,848
Quinta Abr 26 08:00:00 GMT-03:00 2006	0,948	0,907	0,828
Quinta Abr 26 09:00:00 GMT-03:00 2006	0,926	0,931	0,806
Quinta Abr 26 10:00:00 GMT-03:00 2006	0,942	0,940	0,822
Quinta Abr 26 11:00:00 GMT-03:00 2006	0,965	0,950	0,845
Quinta Abr 26 12:00:00 GMT-03:00 2006	0,948	0,950	0,828
Quinta Abr 26 13:00:00 GMT-03:00 2006	0,953	0,950	0,833
Quinta Abr 26 14:00:00 GMT-03:00 2006	0,967	0,952	0,847
Quinta Abr 26 15:00:00 GMT-03:00 2006	0,964	0,951	0,844
Quinta Abr 26 16:00:00 GMT-03:00 2006	0,967	0,957	0,847
Quinta Abr 26 17:00:00 GMT-03:00 2006	0,977	0,958	0,857
Quinta Abr 26 18:00:00 GMT-03:00 2006	0,975	0,960	0,855
Quinta Abr 26 19:00:00 GMT-03:00 2006	0,979	0,950	0,859
Quinta Abr 26 20:00:00 GMT-03:00 2006	0,981	0,902	0,861
Quinta Abr 26 21:00:00 GMT-03:00 2006	0,985	0,899	0,865
Quinta Abr 26 22:00:00 GMT-03:00 2006	0,984	0,890	0,864
Quinta Abr 26 23:00:00 GMT-03:00 2006	0,981	0,811	0,861
Quinta Abr 26 00:00:00 GMT-03:00 2006	0,900	0,790	0,861

Estes resultados são usados para a estimativa dos valores de banda que irão ser configurados os túneis respectivos para cada tipo de aplicação, na Fig. 5-17 o processo é posicionado dentro da sistematização.

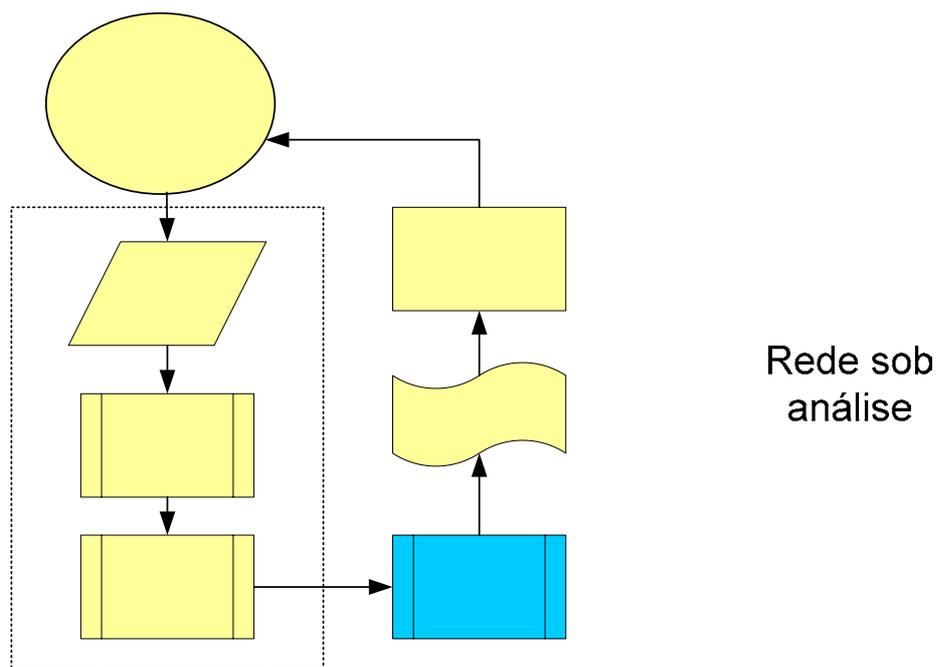


Fig. 5-17 - Fase de previsão de banda.

Rede sob
análise

Coleta de
dados

Na Fig. 5-18 a nova banda calculada é mostrada e também comparada com a banda que seria estabelecida com túneis estáticos, sem a utilização desta metodologia.

Estes valores servirão de base para a realimentação do sistema nas próximas fases. Nota-se que os valores calculados possuem grande dependência do tamanho de *buffer* utilizado. Para este trabalho, foram usados os valores padronizados pelo fabricante dos elementos roteadores aqui utilizados para a simulação.

Classificação

Se os valores apresentados na Fig. 5-18 forem comparados com os valores presentes na Tabela 5-7 com nota-se que os valores de pico são preservados e a curva acompanha a necessidade de recursos demandados pelas aplicações analisadas. A diferença, mostrada na Fig. 5-18, aproximadamente de 284 Mbps, pode ser usada para o transporte de outras aplicações ou ainda para o aumento dos recursos das aplicações correntes na rede.

Análise

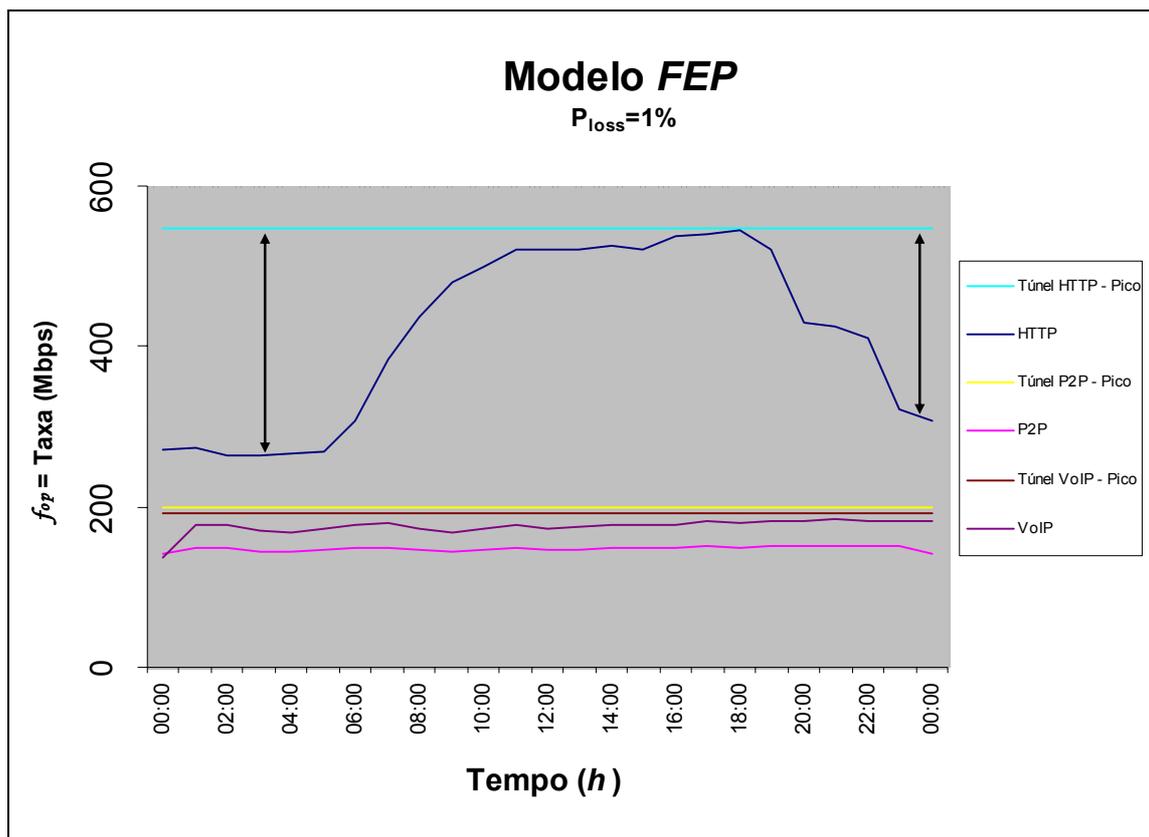


Fig. 5-18 – Predição de banda para a configuração dos túneis dinâmicos com o uso da equação 6-1.

É importante mencionar o fato que a Fig. 5-18 mostra a predição em um intervalo de 24 horas, porém sendo feito a cada intervalo de 60 minutos e não simultaneamente para todo o intervalo de tempo mostrado. Desta forma, a cada ciclo é realizado uma análise dos dados amostrados para a tomada de decisão.

Na Fig. 5-20 é apresentada uma configuração de rede exatamente igual à rede de uma operadora de telecomunicações, de forma mais objetiva, as configurações dos elementos foram retiradas e usadas para alimentar o modelo no *OPNET Modeler/SP* (OPNET, 2007).

Após o cálculo para a predição da banda os túneis são configurados com a nova banda Fig. 5-21, nesta fase o sistema irá encaminhar os comandos de linha para os equipamentos de forma a atribuir os novos valores dos túneis.

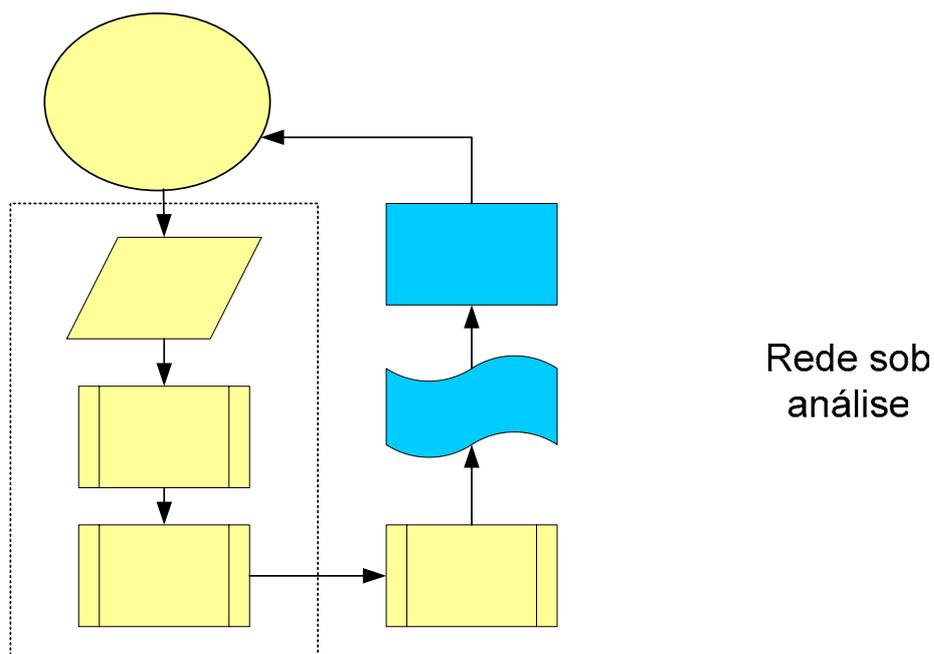


Fig. 5-19 – Fase de retorno com a nova configuração para a rede.

Para esta fase na Tabela 5-9 são mostrados como exemplo comandos para roteadores *Cisco 12410*, nas simulações os comandos para a montagem dos túneis foram realizados pela ferramenta do *OPNET* (OPNET, 2007).

Tabela 5-9- Configuração de um túnel na rede, comandos por roteador Cisco 12410 **Classificação**

Passo 1	configure <i>Prompt(config)# configure</i>	Habilita o modo de configuração nos roteadores.	
Passo 2	rsvp <i>Prompt(config)# rsvp</i>	Habilita o modo de configuração do <i>RSVP</i> .	
Passo 3	interface <i>type number</i> <i>Prompt(config-rsvp)# interface pos0/6/0/0</i>	Seleciona a interface <i>RSVP</i> .	Análise
Passo 4	bandwidth total-bandwidth <i>max-flow</i> sub-pool sub-pool-bw <i>Prompt(config-rsvp-if)# bandwidth 264 sub-pool 1</i>	Configura o valor global máximo do túnel <i>RSVP</i> , e a banda disponível para cada sub-pool nesta interface.	
Passo 5	interface tunnel-te <i>tunnel-id</i> <i>Prompt(config-rsvp-if)# interface tunnel-te http</i>	Habilita o modo de configuração <i>MPLS TE</i> . Neste caso, na interface 1 do túnel.	
Passo 6	bandwidth { <i>bandwidth</i> sub-pool <i>bandwidth</i> } <i>Prompt(mpls-if)# bandwidth sub-pool 264</i>	Configura a banda disponível nesta interface.	
Passo 7	end ou commit <i>Prompt(mpls-if)# end</i> ou <i>Prompt(mpls-if)# commit</i>	Grava as configurações.	

O retorno para rede está completado, neste ponto serão realizadas simulações com o *OPNET* para a validação do modelo.

Na Fig. 5-20 é apresentada uma rede completa que será simulada no *OPNET*, é importante notar que a configuração foi retirada de um ambiente real, cada símbolo  corresponde a uma sub-rede com no mínimo 6 (seis) e no máximo 20 (vinte) elementos.

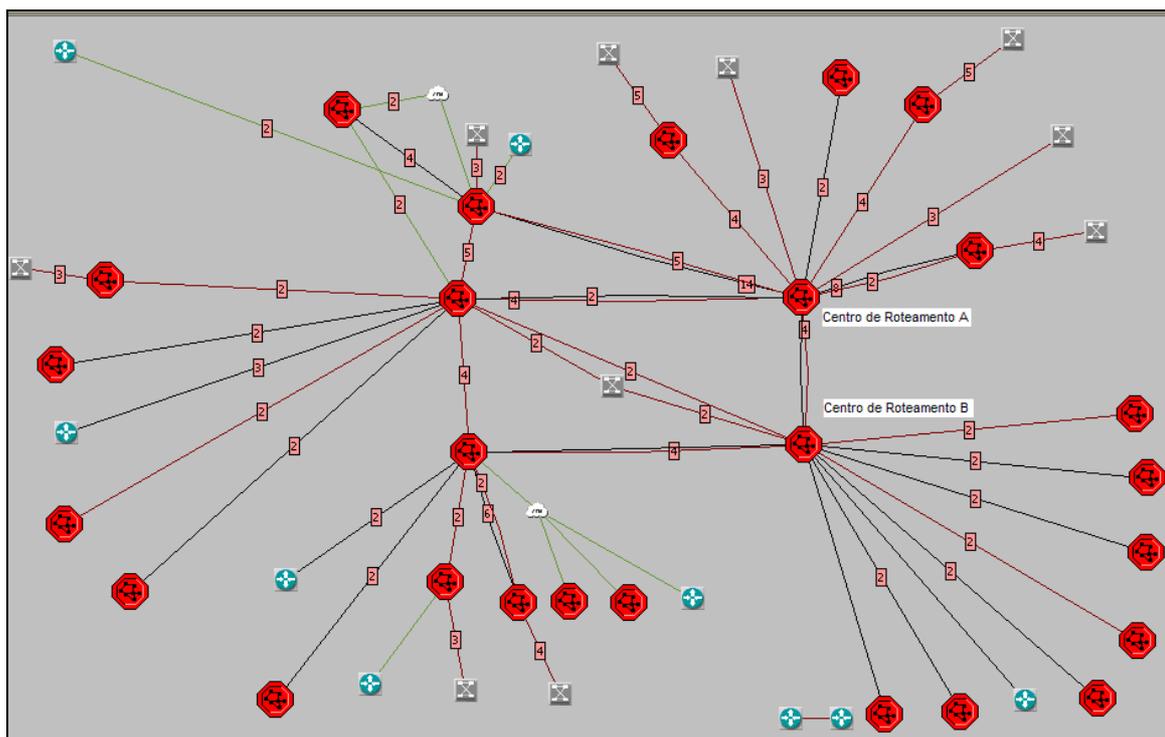


Fig. 5-20 – Rede em análise, configuração retirada de uma rede real.

O tráfego foi inserido do centro de roteamento “A” para o “B” e cada túnel para as aplicações (*http*, *p2p* e *VoIP*) foi inicialmente configurado com o valor de pico, no ambiente real estas sub-redes estão situadas a uma distância de 2.000km (dois mil quilômetros). A partir deste ponto a rede começa a ter os seus dados coletados e então após os primeiros 60 (sessenta) minutos é realizada a primeira inferência dos resultados, seguindo subsequentemente e indefinidamente.

Para verificar o nível de efetividade foi realizada uma simulação inicial com base nos dados de tráfego calculados pelo pico.

Na Fig. 5-21 é apresentada, com detalhes, a formação dos túneis mostrados na Fig. 5-20, sendo importante verificar que as distâncias reais não foram acrescentadas à simulação,

porém como as rotas para a formação dos túneis é sempre constante o atraso, para este caso, não deverá sofrer alterações significativas. Aqui está sendo levado em consideração que o transporte é realizado por uma rede SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) de nova geração

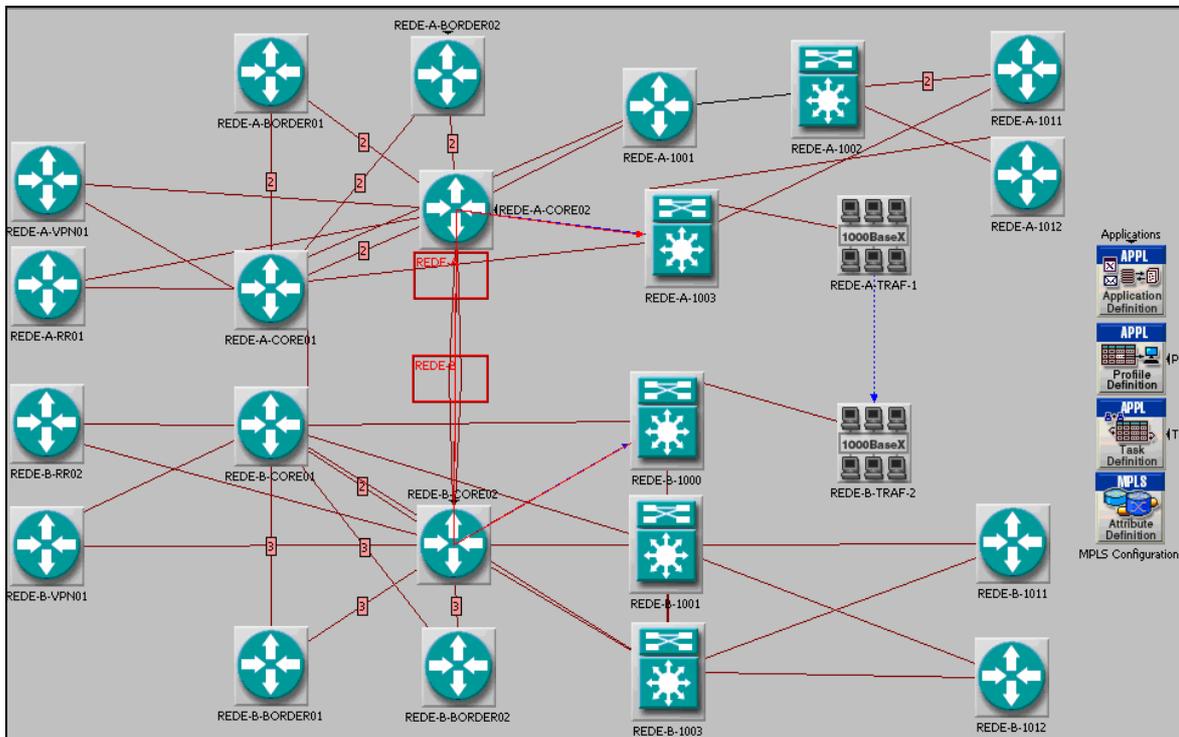


Fig. 5-21 - Rede em análise, configuração retirada de uma rede real (elementos).

Na primeira configuração os túneis foram configurados pelos valores de pico sendo o tráfego P2P (marcado como $AF=3$) igual a 200Mbps o tráfego HTTP (marcado como $BE=3$) igual a 548 Mbps e VoIP (marcado como $EF=5$) igual a 192 Mbps. Os resultados estão informados na Fig. 5-22.

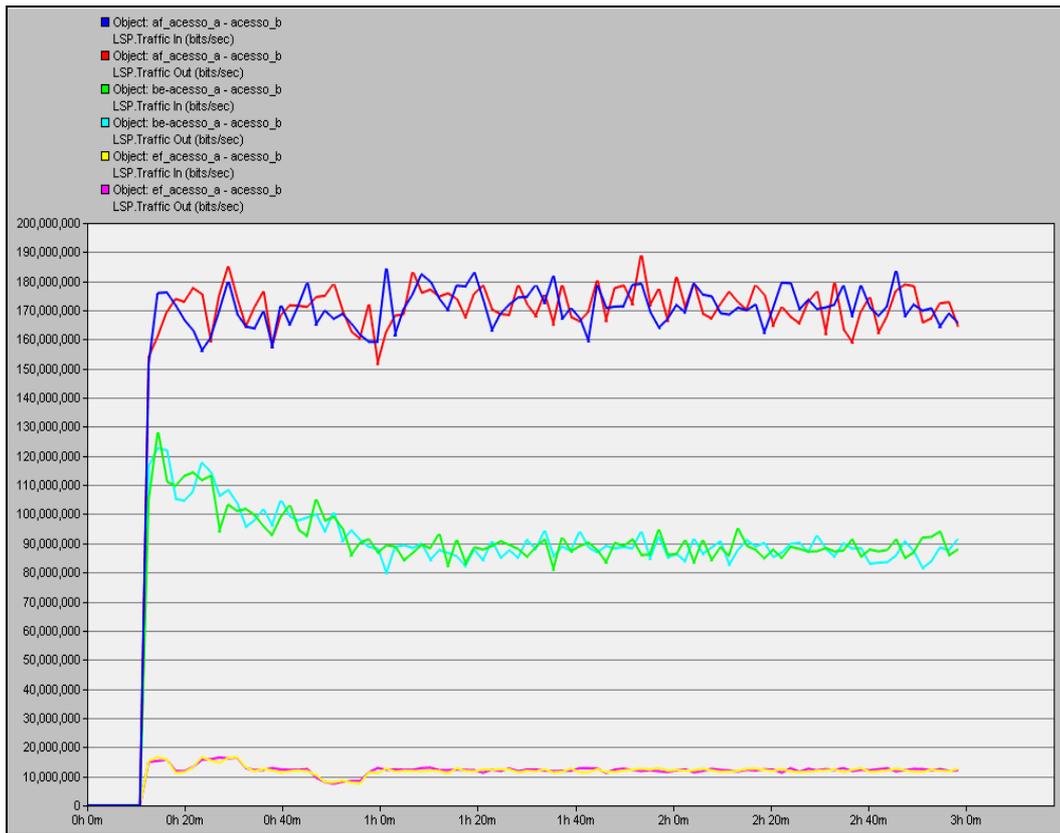


Fig. 5-22 - Simulação com túnel configurado pelo pico.

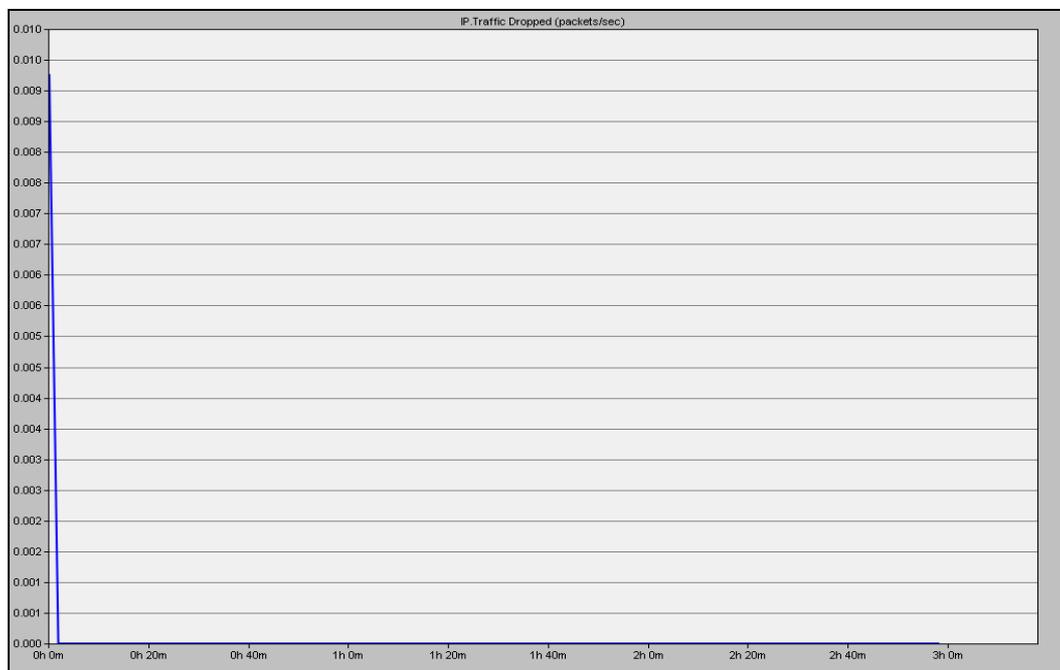


Fig. 5-23 - Perda de pacotes referente à simulação da Fig. 5-22.

Na segunda configuração os túneis foram configurados pelos valores inferidos pela equação 5.1, conforme

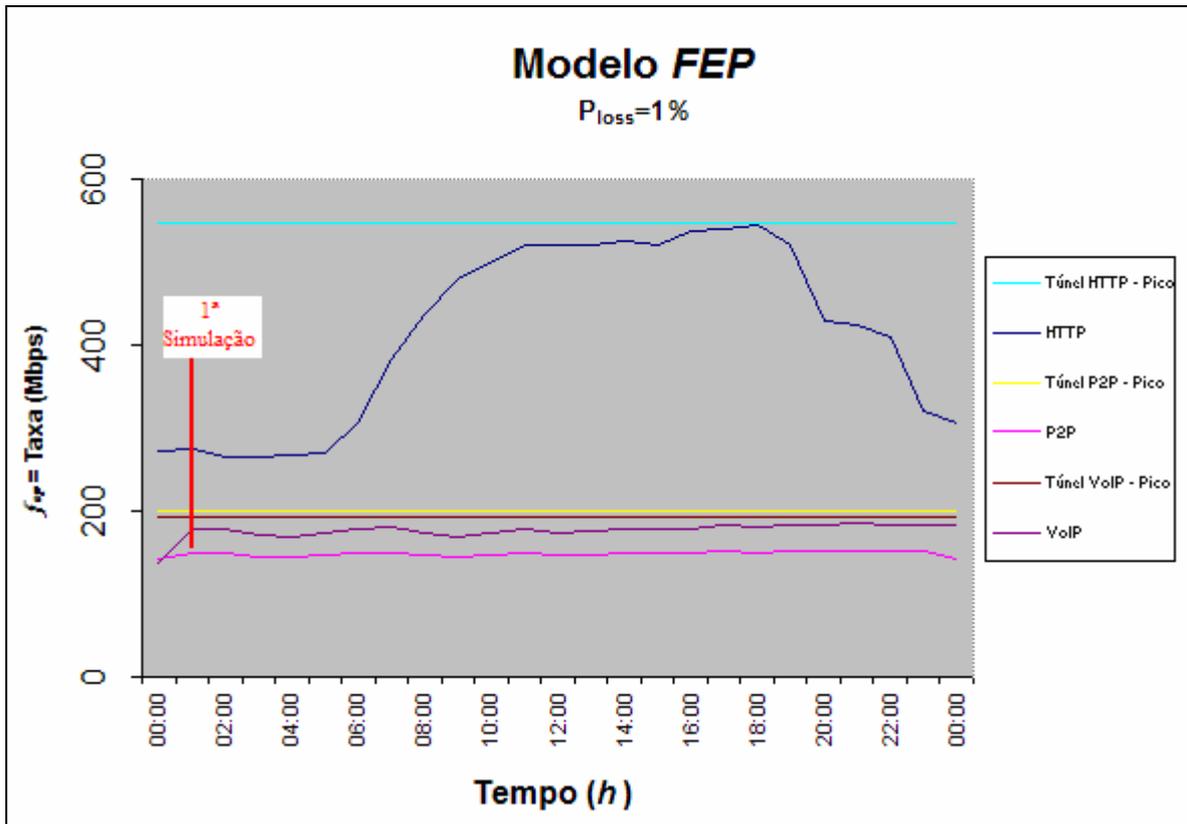


Fig. 5-24, sendo o tráfego P2P (marcado como $AF=3$) igual a 20Mbps o tráfego HTTP (marcado como $BE=3$) igual a 160 Mbps e VoIP (marcado como $EF=5$) igual a 20 Mbps.

Os resultados estão informados na Fig. 5-25. Representando uma economia de recursos de 656 Mbps ou 69,78% para este período de análise.

Valores típicos observados em rede reais para o P_{loss} estão entre 0,1% até 2% e representam a probabilidade de perda de pacotes.

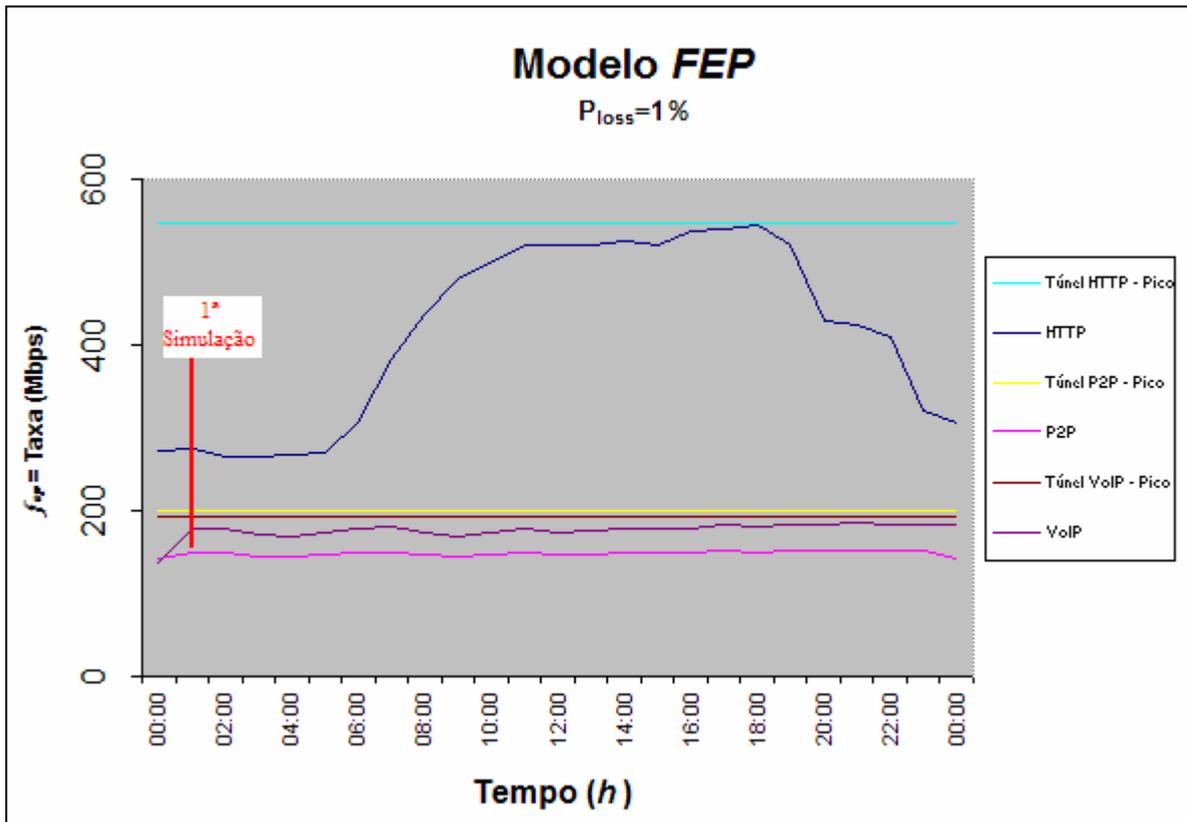


Fig. 5-24 – Primeira simulação com os valores dos túneis calculados.

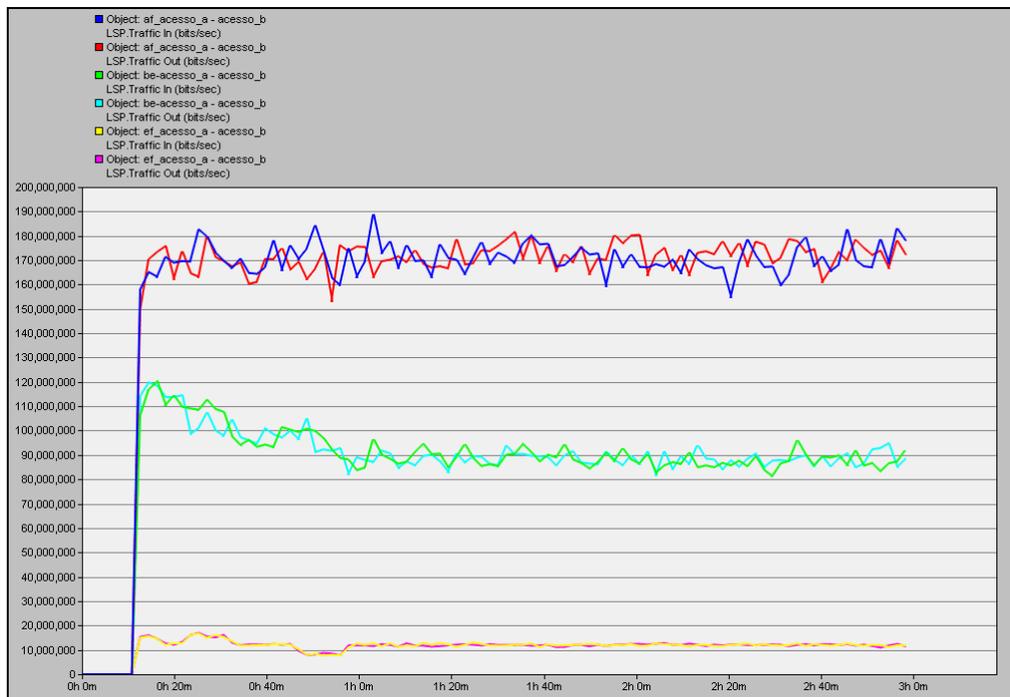


Fig. 5-25 – Simulação após a nova configuração dos túneis.

Na terceira configuração os túneis foram configurados pelos valores de pico sendo o tráfego P2P (marcado como $AF=3$) igual a 200Mbps o tráfego HTTP (marcado como $BE=3$) igual a 548 Mbps e VoIP (marcado como $EF=5$) igual a 192 Mbps. Os resultados estão informados na Fig. 5-26.

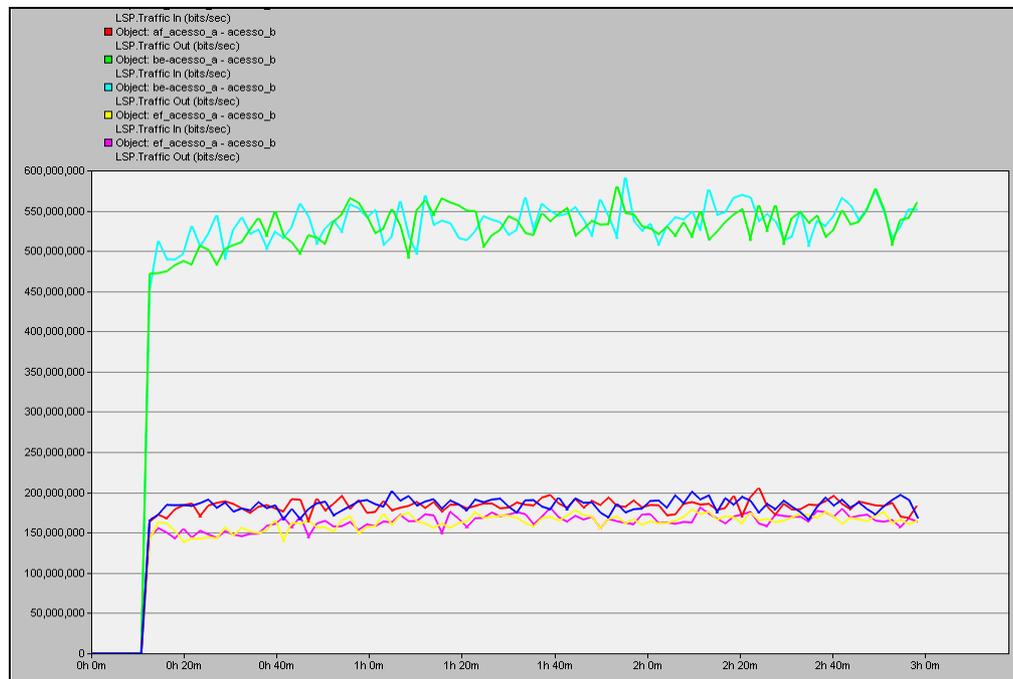


Fig. 5-26 - Simulação pelo Pico.

Na quarta configuração os túneis foram configurados pelos valores inferidos pela equação 6.1 sendo o tráfego P2P (marcado como $AF=3$) igual a 196Mbps o tráfego HTTP (marcado como $BE=3$) igual a 548 Mbps e VoIP (marcado como $EF=5$) igual a 176Mbps, conforme Fig. 5-27.. Os resultados estão informados na Fig. 5-28.

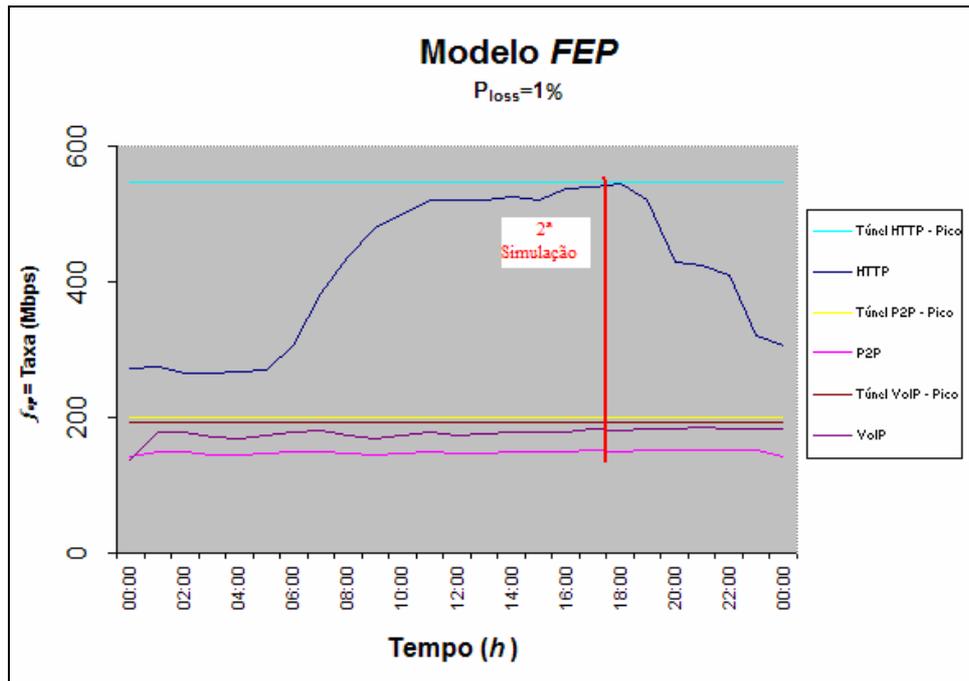


Fig. 5-27 - Segunda simulação com os valores dos túneis calculados.

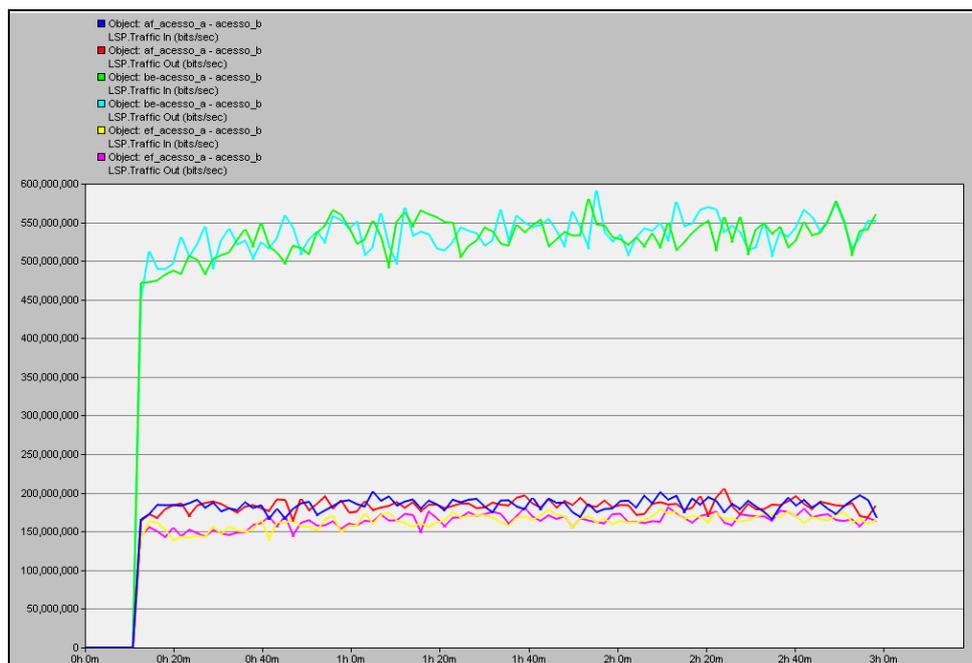


Fig. 5-28 - Simulação após a nova configuração dos túneis.

Este caso representa pouco em termos de economia de recursos, pois foram apenas 20Mbps ou 2% para este período de análise. Por outro lado esta medida demonstra que os períodos de congestionamento foram respeitados não havendo restrição de recursos para os períodos de maior tráfego. Na Fig. 5-29 é verificado que não existem perdas de pacotes

para as medidas efetuadas. A perda inicial deve-se ao tempo de estabelecimento dos túneis *LSP* pela ferramenta de simulação.

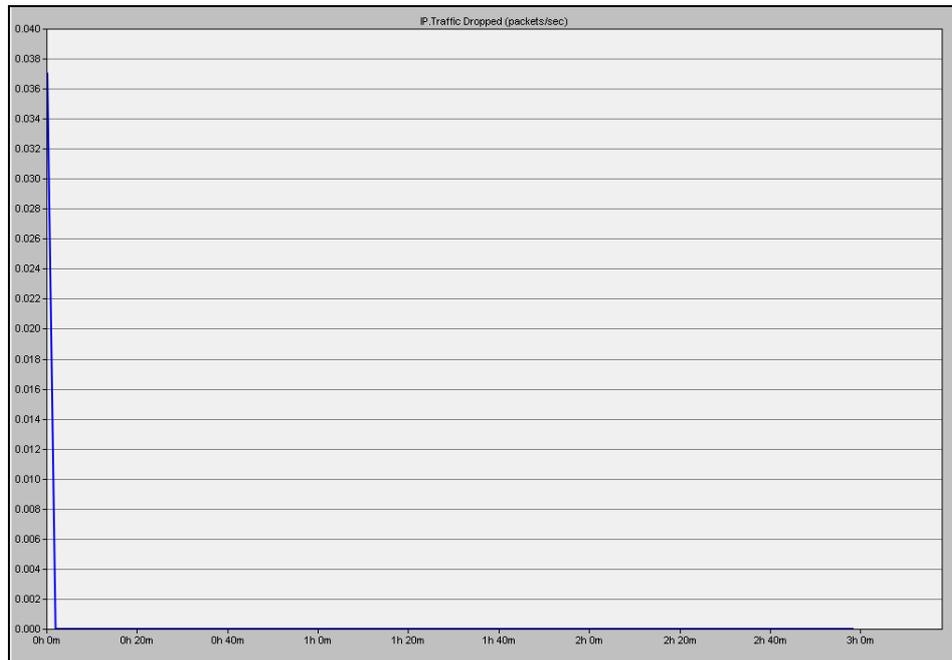


Fig. 5-29 - Perda de pacotes após nova configuração.

5.3 APLICAÇÕES PARA A METODOLOGIA PROPOSTA

Algumas aplicações que podem fazer uso deste conceito são:

- ◆ Sistema de controle de banda de saída internet..
- ◆ Sistema de controle dinâmico de banda IP/MPLS para uso em núcleos de rede.
- ◆ Controle de admissão sustentado por sistema de controle de banda.
- ◆ Dimensionamento de necessidade de crescimento de banda em planejamento de longo prazo.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho a situação atual em termos de ferramentas de planejamento de redes de pacotes foi analisada. A principal conclusão é que a falta de modelos matemáticos é um grande problema para a execução de grandes projetos de redes. O modelo tradicional baseado em *Poisson* não supre as necessidades atuais, pois é realizado sempre com base em poucos parâmetros, sendo o principal os valores máximos ou de pico. Por outro lado, quando foi analisado o modelo de planejamento para telefonia IP também fica evidente que a estimação da quantidade necessária de canais pode ser realizada com a clássica teoria de Erlang, principalmente pelo fato desta teoria prever o número de canais considerando que não existe variação na configuração deste. Porém, o grande desafio neste caso, é determinar o comportamento do canal e para isto uma nova abordagem se faz necessária.

Também foi realizada a caracterização de uma rede real, distinguindo as aplicações e possibilitando a sua caracterização por tipo, possibilitando a estratificação do tráfego de forma a ser possível a predição de capacidades por necessidades específicas.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, em função da análise do comportamento do canal dependendo do tipo de serviço que está sendo transportado, nota-se que a utilização da teoria auto-similar contribui positivamente para a melhoria da eficiência do uso do canal. O principal resultado atingido foi a conclusão que o uso da metodologia proposta indica fortemente uma melhoria na eficiência dos recursos de rede, uma vez que a banda economizada por um novo ciclo de atuação pode ser usado por uma outra aplicação.

Devido a necessidade de se manter a estabilidade das redes também foi proposta um grau de liberdade para a atuação do sistema de predição e ainda que não se deve atuar na rede em curtos espaços de tempo. Nos casos analisados a recomendação é de um intervalo de 60 (sessenta) minutos entre cada novo ciclo.

Uma aplicação para este trabalho é o gerenciamento e controle visando dar suporte aos novos ambientes, incluindo aqui o IMS (*IP Multimedia Subsystem*) e as novas redes 3G e 4G para os sistemas de telefonia móveis, além das aplicações já em uso.

A ferramenta de simulação também se mostrou bastante eficaz no tratamento de grandes redes e também para a possibilidade da simulação de eventos baseados em ambientes reais.

Neste trabalho a rede de uma operadora de telecomunicações foi totalmente importada para dentro do ambiente de simulação computacional.

Em trabalhos futuros serão explorados métodos para predição com base também em tráfego caracterizado em pequenas escalas utilizando o conceito matemático multifractal, neste trabalho denotado através do expoente de Hölder $h(t)$.

X – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRY P.,BARANIUK R.,FLANDRIN P.,RIEDI, R., VEITCH D. (2002). The Multiscale nature of network traffic discovery, analysis and modeling. IEEE Signal Processing Magazine, 19(3):28-46.
- ANDERSON, L., DOOLAN, P., FELDMAN, N., FREDETTE, A., THOMAS, B.(2001) RFC 3036, LDP Specification.. January 2001. (Format: TXT=274855 bytes)(Status: PROPOSED STANDARD)
- BARRETO, PRISCILA S. B. (2007). Otimização de Roteamento Adaptativo em Redes Convergentes com tráfego autosimilar. Tese de Doutorado, UnB.
- BERAN, J.(1994) Beran. Statistics For Long-Memory Processes. Chapman and Hall.
- BRADEN E., ZHANG, L., BERSON, S., HERZOG, S., JAMIN, S. (1997) RFC 2205 Resource ReSerVation Protocol (RSVP) - Version 1 Functional Specification. R. September 1997. (Format: TXT=223974 bytes) (Updated by RFC2750, RFC3936, RFC4495) (Status: PROPOSED STANDARD)
- BRADEN, R., CLARK, D., SHENKER, S. (1994) RFC 1633 Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview. June 1994. (Format: TXT=89691,PS=207016, PDF=201858 bytes) (Status: INFORMATIONAL)
- CARVALHO, P. H. P.,SOLIS P. A. B, DEUS, M., QUEIROZ, B.,CARNEIRO, B. (2007). A per Application Traffic Analysis in a Real IP/MPLS Service Provider Network. The 2nd IEEE IFIP/ International Workshop on Broadband Convergence Networks(IM2007/BCN2007), IEEE Communications Society , Munique, Alemanha, 21 a 25 de maio de 2007 ISBN: 1-4244-1297-8. Digital Object Identifier: 10.1109/BCN.2007.372751.
- CARVALHO, P.H.P., BARRETO, P. S., QUEIROZ, B., CARNEIRO, B.N. (2006). Modelagem, Geração e Análise de Tráfego em Redes Multiserviços, GTAR, LEMOM, UnB.
- CASTRO E SILVA, J. L. (2004). ProCon - Prognóstico de Congestionamento de Redes de Computadores usando Wavelets. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Recife, PE, Brasil.
- CHWIF, L., MEDINA, A. (2006). Modelagem e Simulação de eventos discretos: teoria e prática, São Paulo, Ed. dos autores, 2006, ISBN 85-905978-1-4

- CISCO, Roteadores GSR 12000 series, documentação disponível eletronicamente na página <http://www.cisco.com/en/US/products/hw/routers/ps167/>, acessada em 10/07/2007.
- CLEGG, R.(2006). A Practical Guide to Measuring the Hurst Parameter, International Journal of Simulation: Systems, Science & Technology 7(2) pp 3-14.
- CONDORD, CA Computer, E-Helth, <http://www.ca.com>, acessado em 20/01/2007.
- CUCCHIARA, J., SJOSTRAND, H., LUCIANI, J. (2004) RFC 3815 Definitions of Managed Objects for the Multiprotocol Label Switching (MPLS), Label Distribution Protocol (LDP). June 2004. (Format: TXT=215916 bytes) (Status: PROPOSED STANDARD)
- DAVIE, B. S., REKHTER, Y. (2000) MPLS: Technology and applications, Morgan Kofmann Ed. 19, may 2000, ISBN: 1-558-60656-4. Digital Object Identifier 10.1109/PACRIM.1997.620401
- ERRAMILI, A., NARAYAN, O., NEIDHART, A., SANIEE, I. (2001). Multi-scaling models of TCP/IP and sub-frame VBR vídeo traffic. Journal of Communications and Networks, 3(4):383-395.
- ERRAMILI, A., NARAYAN, O., NEIDHART, A., SANIEE, (2000). Performance impacts of multi-scaling in area TCP/IP traffic. In IEEE INFOCOM, pages 352-359.
- ETHERREAL, acessado em <http://www.ethereal.com/download.html> em 15/06/2006.
- EVA (2007), Economic Value Added, <http://www.sternstewart.com/evaabout/whatis>. acessado em 25 de maio 2007.
- EVANS, J., FILSFILS, C. (2007). Deploying IP and MPLS QoS for multiservice networks. Morgan Kaufmann, ISBN-13: 978-0-12-370549-5.
- FAUCHEUR , F. L., LAI, W. (2005). RFC 3564, Requirements for support of Differentiated Services-aware MPLS Traffic Engineering. (Format TXT=50808 bytes) (Status: INFORMATIONAL)
- FERREIRA, P. J. S. (2005) Modelação de tráfego em redes de telecomunicações: modelos Markovianos e baseados em sistemas de Lindenmayer. Tese de Doutorado. Universidade de Aveiro, Departamento de Electrónica e Telecomunicações, 2005.
- FONSECA N. L. S., DRUMMOND, A. C., DEVETSIKIOTIS, M. (2005). Uma Avaliação de Estimadores de Banda Passante Baseados em Medições. Instituto de Computação– Universidade Estadual de Campinas. Department of Electrical and Computer Engineering – North Carolina State University Raleigh, USA

- GUBNER, J. A. (2005). "Theorems and Fallacies in the Theory of Long-Range-Dependent Processes", IEEE Trans. Inf. Theory, vol 51, no 3, pp. 1234-1239.
- GUNTER, B., GREINER S., DE MEER G., TRIVEDI K. S. (1998) Queueing networks and Markov Chains. John Wiley & Sons, Inc.
- HALBACH, T., WIEN, M. (2007) CONCEPTS AND PERFORMANCE OF NEXT-GENERATION VIDEO COMPRESSION STANDARDIZATION, acessado em http://www.ncesd.org/vc/docs/H264_explained.pdf dia 15/08/2007.
- HAWKINSON, J., BATES, T. (1996). RFC 1930 Guidelines for creation, selection, and registration of an Autonomous System (AS). (Format: TXT=22073 bytes) (Also BCP0006) (Status: BEST CURRENT PRACTICE).
- ILBC codec. http://www.globalipsound.com/pdf/gips_iLBC.pdf, acessado em 11 de junho de 2007.
- iSAC codec. http://www.globalipsound.com/pdf/gips_iSAC.pdf, acessado em 11 de junho de 2007.
- ITU-T, P.800, (International Telecommunication Union – T)
- JEFFCONNOR-LINTON. (2006). Chi Square Tutorial accessed 10/18/2006 and available at: http://www.georgetown.edu/faculty/ballc/webtools/web_chi_tut.html
- KELLY, F.P., ZACHARY, S., ZIEDINS, I., editors (1996). Notes on Effective Bandwidth, pages 141–168. Oxford University Press.
- KETTANI, H., GUBNER, J.A. A. (2002). Novel Approach the Estimation of the Hurst Parameter in Self-similar Traffic, Proceedings of IEEE Conference on Local Computer Networks, Tampa, Flórida, November 2002.
- KOTLER, P. (1998). Administração de Marketing: análise, planejamento, implementação e controle. 5.ed. São Paulo: Atlas.
- LELAND W. (1994). On the self-similar nature of ethernet traffic (extended version), IEEE/ACM Trans. on Networking, vol. 2, no. 1, pp. 1--15.
- MASUYAMA, H., TAKINE, T., OKAZAKI, K., (2004). IP Traffic Modeling: Most Relevant Time-Scale and Local Poisson Property, Proceedings of the 12th International Conference on Informatics Research for Development of Knowledge Society Infrastructure (ICKS'04), 2004.
- MELO, C. A.V. (2004). Modelagem e Computação de Banda Passante Equivalente de Fluxos Multifractais. Tese de Doutorado. Unicamp.
- NADEAU, T., SRINIVASAN, C., VISWANATHAN, A. (2004). RCF 3814 Multiprotocol Label Switching (MPLS) Forwarding Equivalence Class To Next Hop Label

- Forwarding Entry (FEC-To-NHLFE) Management Information Base (MIB)..
(Format: TXT=87518 bytes) (Status: PROPOSED STANDARD), June 2004.
- NETFLOW CISCO SYSTEMS, <http://www.cisco.com> acessado em 10/02/2007.
- NICHOLS, K.,BLAKE, S.,BAKER, F.,BLACK,D. (1998). RFC 2474 Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers.. December 1998. (Format: TXT=50576 bytes) (Obsoletes RFC1455, RFC1349) (Updated by RFC3168, RFC3260) (Status: PROPOSED STANDARD).
- NORROS, ILKKA. (1995). On the use of fractional Brownian motion in the theory of connectionless networks. IEEE Journal of Selected Areas in Communications, 13(6):953-962.
- OPNET, Modeler, SP Guru, IT Guru Academic Edition. Documentação disponível eletronicamente em www.opnet.com.
- OSBORNE, E., SIMHA, A. (2003). Traffic Engineering with MPLS. Cisco Press, 2003
- PERLINGEIRO, F. R., E LING, L. L.. (2005). Estudo de Estimação de Banda Efetiva para Tráfego auto-similar com variância infinita, SBrT'05, 04-08 de setembro de 2005,Campinas, SP
- POSTEL, J. (1981). IETF RFC 0791. Disponível na página do IETF localizada eletronicamente em <http://www.ietf.org/rfc/rfc0791.txt?number=791>, September 1981, acessada em 01/09/2006.
- RIEDI, R. H., CROUSE, M. S., RIBEIRO, V. J., BARAIUK, R. G. (1999). A multifractal wavelet model with application to network traffic. IEEE Transactions on Information Theory, 45(4):992-1018,1999.
- SEURET S., VEHEL, L. J. (1995). The local Hölder function of a continuous function. Projet Fractales, INRIA Rocquencourt, B.P. 105, 78153 Le Chesnay Cedex, France E-mail address: {Stephane.Seuret, Jacques.LevyVehel}@inria.fr.
- SEURET, S., GILBERT, A. (2000). Pointwise Hölder exponent estimation in data network traffic. AT&T Labs-Research, ERNST, In ITC Specialist Seminar, Monterey, CA.
- SILVA, P. R. T.(2005) Silva. Estudo do Tráfego Auto-similar em Redes Multiserviço, Departamento de Engenharia Elétrica, UnB.
- SKYPE FAQ. http://www.skype.com/help_faq.html, acessado em 11 de junho de 2007.
- SONG, S.,KEE-YIN, J.,TANG B. (2004). “Some Results on the Self-Similarity Property in Communication Networks”, IEEE Trans. Communications, vol 52, no 10, pp. 1636-1642.

- SONG. S., NG J. K., TANG B. (2004). Some Results on the Self-similarity Property Communication Networks, IEEE Transactions on Communications, v. 52, n.10, in p.1636 - 1642, october 2004
- STEVENS, W. R. (1994). TCP/IP Illustrated, Volume 1. Addison Wesley Professional Computing Series, 1994, October, 2000. ISBN: 0-201-63346-9
- TAKINE. T., OKAZAKI, K., MASUYAMA, H. (2004). IP Traffic Modeling: Most Relevant Time-Scale and Local Poisson Property. Department of Applied Mathematics and Physics Kyoto University. (ICKS'04) Informatics Research for Development of Knowledge Society Infrastructure
- TANENBAUM, A.S. (1999). Computer Networks 3rd Edition
- TAQUU, M. S., WILLINGER, W., SHERMAN, B. (1997). Proof of a fundamental result in selfsimilar traffic modeling, Computer Communication Review, vol. 27, p. 5-23.
- VARADHAN, S. R. (2007). página pessoal disponível na New York University website, Mathematics Dept., <http://math.nyu.edu/faculty/varadhan/processes.html> acessada em 07 de junho de 2007.
- VÉHEL, J. L. (2006). FRACLAB tool. Inria. Disponível em <http://www.irccyn.ec-nantes.fr/hebergement/FracLab/about.html> , acessado em 18/06/2006.
- VEITCH, D. (2007) <http://www.cubinlab.ee.mu.oz.au/~darryl/> , acessado em 08 de juho de 2007.
- VIEIRA, F. H. T. (2006). Contribuições ao calculo de banda e de probabilidade de perda para trafego multifractal de redes, Tese de doutorado, Unicamp.
- VIEIRA, F.H.T. (2006). Queuing performance estimation for general multifractal traffic. Int. J. Commun. Syst., 2003., 16(2), 117–136
- VISWANATHAN, A., SRINIVASAN, C., NADEAU, T. (2004) RFC 3812, Multiprotocol Label Switching (MPLS) Traffic Engineering (TE) Management Information Base (MIB). C. June 2004. (Format: TXT=136475 bytes) (Status: PROPOSED STANDARD)
- VISWANATHAN, A., SRINIVASAN, C., NADEAU, T. (2004) RFC 3813, Multiprotocol Label Switching (MPLS) Label Switching Router (LSR) Management Information Base (MIB). June 2004. (Format: TXT=116120 bytes) (Status: PROPOSED)
- ZHANG, H.F., SHU, Y.T., YANG, O. (1997). Estimation of Hurst parameter by variance-time plots. Communications, Computers and Signal Processing, 1997. apos;10 Years PACRIM 1987-1997 - Networking the Pacific Rim apos;. 1997 IEEE

Pacific Rim Conference on Volume 2, Issue , 20-22 Aug 1997 Page(s):883 - 886
vol.2

7 ANEXO I – AUTO-SIMILARIDADE

Para um processo estocástico $X = (X_t : t = 0, 1, 2, \dots)$ ser estacionário de segunda ordem (no sentido amplo), é suficiente que exista uma média estacionária $\mu = E[X_t]$, uma variância $v = E[(X_t - \mu)^2]$, e uma função de auto-covariância estacionária associada com um processo de observações realizadas sucessivas k vezes, $k = \text{cov}(X_t, X_{t+k}) = E[(X_t - \mu)(X_{t+k} - \mu)]$, $k = 0, 1, 2, \dots$ que dependem exclusivamente de k e não de t . Neste caso, estão sendo considerados somente processos estacionários, desta forma quando se usa o termo auto-covariância, pode-se usar o termo auto-correlação (Vieria, 2006).

Atribuindo a um processo estocástico de tráfego de pacotes X consistindo de um conjunto $\{X_t\}$, onde X_t é o número de pacotes que estão chegando na t -ésima unidade de tempo. Fazendo $X^{(m)} = (X_j^{(m)} : j = 1, 2, 3, \dots)$ para cada $m = 1, 2, 3, \dots$, ser novamente estacionário de segunda ordem, obtidos pela média do processo original X sem blocos de tamanho m não sobrepostos. $X_j^{(m)} = (X_{jm-m+1} + X_{jm-m+2} + \dots + X_{jm}) / m$, com a variância v_m , a auto-covariância $\gamma_k^{(m)}$ e a auto-correlação $\rho_k^{(m)}$. Isto pode ser visto da seguinte forma:

$$v_m = \frac{v}{m} + \frac{2}{m^2} \sum_{k=1}^m (m-k) \gamma_k \quad (7.1)$$

ou

$$v_m = \frac{v}{m} + \frac{2}{m^2} \sum_{s=1}^{m-1} \sum_{k=1}^s \gamma_k \quad (7.2)$$

O processo estocástico X tem dependência de curta duração se $\sum_k \gamma_k$ converge, (exemplo dado: $\sum_k \gamma_k < \infty$), equivalente da equação (2.2):

$$v_m \approx \frac{v'}{m} \quad \text{com } v' \text{ finito, para } m \text{ grande} \quad (7.3)$$

O símbolo \approx indica que ambos os lados da expressão são assintoticamente proporcionais.

$$\gamma_k \approx r' a^k \quad \text{para } k, 0 < a < 1 \quad (7.4)$$

Assumindo que isto pode ser visto em $\gamma_k^{(m)} \rightarrow 0$, para $k=1,2,\dots$, para um m grande. Assim pode-se concluir que um processo $X(m)$ agregado (na média), derivado do processo com dependência de curta duração X , neste caso para um m tendendo para uma covariância (segunda ordem) do ruído branco (puro) estacionário.

Um processo estocástico X é possui dependência de longa duração se $\sum_k \gamma_k$ diverge, (exemplo dado: $\sum_k \gamma_k \rightarrow \infty$), equivalente da Eq. (9.5):

$$m\nu_m \rightarrow \infty, \text{ para } m \text{ grande} \quad (7.5)$$

Este processo é também chamado de processo estacionário com memória ou correlação de longa duração ou dependência forte. Um exemplo de processo estacionário de dependência de longa duração é um processo estocástico com função auto-covariância com decaimento hiperbólico, conforme equação 10.6.

$$\gamma_k \approx r' k^{-\beta}, \text{ para } k \text{ grande, } 0 < \beta < 1 \quad (7.6)$$

ou de forma equivalente:

$$\nu_m \approx \nu' m^{-\beta}, \text{ para } m \text{ grande, } 0 < \beta < 1 \quad (7.7)$$

A relação entre r' e ν' pode ser verificada na equação 2.1.

O tráfego agregado terá, nesta perspectiva, independência a escalas de tempo, quando em pequenas ou largas escalas, conforme equação 3.8.

$$\rho_k^{(m)} \rightarrow \rho_k, \text{ para } k \text{ e } m \text{ grandes} \quad (7.8)$$

Na equação 3.8 é mostrado que para k e m grandes o suficiente, a auto-correlação não dependerá de m , mas somente de k . Esta propriedade é chamada de auto-similaridade assintótica de segunda ordem. Desta forma, pode-se dizer que a dependência de longa duração implica em auto-similaridade assintótica de segunda ordem.

Por outro lado, um processo X é dito exatamente auto-similar de segunda ordem ou fractal se:

$$\rho_k^{(m)} = \rho_k, \text{ para todo } m, k \geq 0 \quad (7.9)$$

e

$$\nu_m = \nu' m^{-\beta}, \text{ para todo } m, k \geq 0 \quad (7.10)$$

Observando os dados acima, pode-se afirmar que os processos X e $X(m)$ têm estruturas de correlação idênticas.

O parâmetro usado, normalmente, como medida do grau de dependência de longa duração é o H , chamado Hurst e não o β , sendo a relação entre eles:

$$H = 1 - \frac{\beta}{2}, \text{ para todo } m, k \geq 0 \quad (7.11)$$

Um traço de um tráfego auto-similar coletado a uma escala de tempo possui as mesmas características estatísticas que uma versão apropriadamente escalada do tráfego a uma escala de tempo diferente. Agora será definido matematicamente a auto-similaridade para um processo estocástico em tempo contínuo. Um processo em tempo contínuo $X(t)$ é considerado exatamente auto-similar se:

$$X(t) \stackrel{d}{=} a^{-H} X(at), a > 0 \quad (7.12)$$

em que a igualdade acima possui sentido probabilístico. Isso quer dizer que as funções amostras de um processo $X(t)$ e as de sua versão escalada $a^{-H}X(at)$, obtidas comprimindo-se o eixo do tempo por fator a e o eixo das amplitudes por um fator a^H , não podem ser distinguidas estatisticamente. Ou seja, os momentos de ordem n de $X(t)$ são iguais aos momentos de ordem n de $X(at)$ escalonados por a^{-Hn} . Caso o processo tenha as características de auto-similaridade para as estatísticas de segunda ordem ele é chamado de exatamente auto-similar de segunda ordem e seus momentos de primeira e segunda ordem são dados por:

$$E(X(t)) = \frac{E(X(at))}{a^H} \quad (7.13)$$

$$\nu(X(t)) = \frac{\nu(X(at))}{a^{2H}} \quad (7.14)$$

$$R(t,s) = \frac{R(at,as)}{a^{2H}} \quad (7.15)$$

A caracterização da dependência de longa duração, segue as seguintes regras, para a caracterização de um processo estocástico:

- ◆ Para $1/2 < H < 1$, o processo tem dependência de longa-duração.
- ◆ Para $H \leq 0,5$, este processo possui dependência de curta duração ou independência.

Para estes casos e observando a equação 3.12, pode-se verificar que todos os momentos de ordem n de $X(t)$, se existirem, terão um comportamento respeitando uma determinada lei de potência em função do tempo:

$$E|X(t)|^n = E|X(1)|^n |t|^{nH} \quad (7.16)$$

Os processos auto-similares com incrementos estacionários (H-sssi) são modelos executáveis de processos com incrementos estacionários. Desta forma o processo de incremento $Y(\delta, t)$ é de tal que:

$$\{Y(\delta, t) = Y\delta(t) = X(t + \delta) - X(t), t \in R\} \stackrel{d}{=} \{X(\delta) - X(0)\}, \quad \forall \delta \quad (7.17)$$

Neste caso, sendo este um processo H-sssi, o parâmetro de Hurst está sempre contido no intervalo: $0 < H < 1$. A função de correlação, caso esteja definida, será da seguinte forma, conforme demonstrado a seguir:

$$E|X(t_2) - X(t_1)|^2 = E|X(t_2)|^2 + E|X(t_1)|^2 - 2E|X(t_1)||X(t_2)| \quad (7.18)$$

$$E|X(t_1)||X(t_2)| = R_X(t_1, t_2) = \frac{1}{2} \{E|X(t_1)|^2 + E|X(t_2)|^2 - E|X(t_2) - X(t_1)|^2\} \quad (7.19)$$

Considerando que $X(t)$ possui incrementos estacionários:

$$E|X(t_2) - X(t_1)|^2 = E|X(t_2 - t_1)|^2 \quad (7.20)$$

Desta forma a função de autocorrelação de $X(t)$ será:

$$R_X(t_1, t_2) = \frac{1}{2} \{E|X(t_1)|^2 |t_1|^{2H} + E|X(1)|^2 |t_2|^{2H} - E|X(1)|^2 |t_2 - t_1|^{2H}\} \quad (7.21)$$

$$R_X(t_1, t_2) = \frac{E|(X(1))|^2}{2} \{|t_1|^{2H} + |t_2|^{2H} - |t_2 - t_1|^{2H}\} \quad (7.22)$$

A função de autocorrelação do processo de incrementos de $X(t)$ é:

$$R_{Y_\delta}(\tau) = \frac{E|(X(1))|^2}{2} \{|\tau + \delta|^{2H} + |\tau - \delta|^{2H} - 2|\tau|^{2H}\} \quad (7.23)$$

A demonstração é de fácil compreensão:

$$R_{Y_\delta}(\tau) = E|Y_\delta(t)||Y_\delta(t + \tau)| = E[(X(\tau + \delta) - X(t))(X(t + s + \delta) - X(t + s))] \quad (7.24)$$

$$\begin{aligned} R_{Y_\delta}(\tau) &= E[X(t + \delta)X(t + s + \delta)] - E[X(t + \delta)X(t + s)] \\ &\quad - E[X(t)X(t + s + \delta)] + E[X(t)X(t + s)] \end{aligned} \quad (7.25)$$

$$R_{Y_\delta}(\tau) = \frac{E|X(1)|^2}{2} \{ |t+\delta|^{2H} + |t+s+\delta|^{2H} - |s|^{2H} - |t+\delta|^{2H} - |t+s|^{2H} \\ + |s-\delta|^{2H} - |t|^{2H} - |t+s+\delta|^{2H} + |s+\delta|^{2H} + |t|^{2H} + |t+s|^{2H} - |s|^{2H} \} \quad (7.26)$$

$$R_{Y_\delta}(\tau) = \frac{E|X(1)|^2}{2} \{ |t+\delta|^{2H} + |t-\delta|^{2H} - 2|t|^{2H} \} \quad (7.27)$$

A auto-similaridade de $X(t)$ passará para seus incrementos tal que⁶:

$$Y(\delta, t) \stackrel{d}{=} a^{-H} Y(a\delta, at) \quad (7.28)$$

$$E|Y(\delta, t)|^n = E|X(t+\delta) - X(t)|^n = E|X(1)|^n |\delta|^{nH} \quad (7.29)$$

1.1.3 Utilização do modelo auto-similar para a caracterização de tráfego em tempo discreto

A auto-similaridade para processos estocásticos em tempo discreto pode ser definida a partir de um processo $Y(\delta, t)$ para um valor fixo em δ , conforme a seguir:

$$G(k) = Y(k\delta) = X((k+1)\delta) - X(k\delta) \quad (7.30)$$

Se a função de auto-correlação do processo estacionário exatamente auto-similar de segunda ordem é a equação 3.30 e se a equação 3.23 for derivada, ter-se-á:

$$r_G(k) = E[G(n)G(n+k)] = E[G(n\delta)G(n\delta+k\delta)] \quad (7.31)$$

$$r_G(k) = \frac{E[X(1)]^2}{2} \{ |k\delta + \delta|^{2H} + |k\delta - \delta|^{2H} - 2|k\delta|^{2H} \} \quad (7.32)$$

$$r_G(k) = \frac{E[X(1)]^2 |\delta|^{2H}}{2} \{ |k+1|^{2H} + |k-1|^{2H} - 2|k|^{2H} \} \quad (7.33)$$

⁶ Onde a igualdade tem sentido estatístico.

$$r_G(k) = \frac{E[G(n)]^2}{2} \{ |k+1|^{2H} + |k-1|^{2H} - 2|k|^{2H} \} \quad (7.34)$$

Neste caso o coeficiente de correlação do processo $G(k)$ será:

$$\rho_G(k) = \frac{E[(X(n) - \mu) - (X(n+k) - \mu)]}{E[(X(n) - \mu)]^2} = \frac{1}{2} \{ |k+1|^{2H} + |k-1|^{2H} - 2|k|^{2H} \} \quad (7.35)$$

Se o processo obedecer a equação 3.36, este poderá ser chamado de auto-similar em tempo discreto exatamente auto-similar, sendo $\rho^{(m)}(k)$ o coeficiente de auto-correlação do processo m-agregado de $G(k)$ conforme equação 3.37.

$$\rho_G(k) = \rho^{(m)}(k) = \frac{1}{2} \{ |k+1|^{2H} + |k-1|^{2H} - 2|k|^{2H} \} \quad \forall m, k \quad (7.36)$$

$$G^{(m)}(k) = \frac{1}{m} \sum_{i=km}^{(k+1)m-1} G(i) \quad (7.37)$$

Cada valor de $G^{(m)}(k)$ é formado pela média dos m valores consecutivos de $G(k)$ a partir de $m*k$, conforme equação 7.38.

$$G^{(m)}(k) = \frac{1}{m} [G(km) + G(km+1) + G(km+2) + \dots + G(km+m-1)] \quad (7.39)$$

De fato, a dependência de longa duração nos processos auto-similares implica em um decaimento muito lento da variância que os processos com dependência de curta duração. Para o processo que foi definido pela equação 3.30.

$$\nu(G^{(m)}(0)) = \nu\left(\frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} G(i)\right) = \nu\left(\frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} (X((i+1)\delta) - X(i\delta))\right) = \nu\left(\frac{1}{m} (X(m\delta) - X(0))\right) \quad (7.40)$$

Com $X(0) = 0$, ter-se-á:

$$\nu(G^{(m)}(0)) = \nu\left(\frac{1}{m} X(m\delta)\right) = \nu\left(\frac{m^H}{m} X(\delta)\right) = \nu(m^{H-1} G(0)) = m^{2H-2} G(0) \quad (7.41)$$

Como o processo $G(k)$ é estacionário, a variância de $G^{(m)}(k)$, para qualquer k , assume a forma:

$$v(G^{(m)}(k)) \sim m^{2H-2} \quad (7.42)$$

É possível que a melhor característica de um processo auto-similar seja a simplicidade de sua representação, pois o processo todo é controlado apenas pelo parâmetro (H) Hurst. Por outro lado, esta simplicidade gera um grande problema, pois dificilmente na natureza serão encontrados processos que sejam exatamente auto-similares. E conformidade com a definição, a auto-similaridade existe para qualquer escala, ou seja, uma relação entre os fatores de escala manter-se-á constante para qualquer escala. Em situações de eventos naturais já estudadas, foi verificado que a auto-similaridade somente existe para um número finito de escalas e a relação entre os seus fatores mantém-se constantes apenas assintoticamente para diferentes escalas.

Com efeito, a auto-similaridade implica que, em acordo com a equação 10.16 pela qual todo momento de ordem n (se existir) será controlado por um único parâmetro H . Na maioria das vezes os modelos auto-similares, com parâmetro único definido, somente poderão ser aplicados em escalas grandes. Este comportamento foi verificado, no caso em estudo, em escalas de 1 e 5 minutos.

Dois modelos podem generalizar os processos auto-similares com relação à escala, o processo forte assintoticamente auto-similar de segunda ordem e o processo assintoticamente auto-similar de segunda ordem. O processo chamado de forte assintoticamente auto-similar de segunda ordem quando as variâncias de seus processos agregados seguem a seguinte condição na equação 3.43.

$$\lim_{m \rightarrow \infty} v(X^{(m)}) \sim m^{-\beta}, \quad \text{com } H = 1 - \frac{\beta}{2} \quad (7.43)$$

O processo assintoticamente auto-similar de segunda ordem tem suas características definidas quando a relação em 10.44 é válida somente assintoticamente. É mostrado em (Vieira, 2006) uma definição em termos de universo restritivo para cada um dos processos auto-similares.

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \rho^{(m)}(k) = \frac{1}{2} \{ |k+1|^{2H} + |k-1|^{2H} - 2|k|^{2H} \} \quad (7.44)$$

Os processos auto-similares podem ser usados como ferramenta para a caracterização de tráfego em redes de pacotes, principalmente relacionadas a tráfego em nível de agregação elevado.

Apesar do modelo, em uso atualmente, não satisfazer às necessidades dos planejadores em termos de previsão coerente, também não é aceitável que se passe a utilizar novos modelos que não possam se provar melhor adaptados às necessidades das novas redes, incluindo as preocupações relativas aos serviços, cada vez mais menos previsíveis. Aqui não serão trabalhados os conceitos relativos à identificação do tipo de tráfego que circula pela *internet*, mas sem dúvida esta também é uma preocupação a ser levada em consideração. Não é interessante que se mencione o ato de planejar sem o conhecimento do comportamento dos serviços que estão fazendo uso dos recursos, desta forma não existe nenhuma possibilidade de acertos sem o profundo conhecimento do tipo de tráfego em movimento na rede.

8 ANEXO II - MPLS

O *MPLS* (*Multi Protocol Label Switching*) é a tecnologia que tem todos os mecanismos necessários para uma evolução natural de convergência, pois suas bases estão calcadas em protocolos abertos que estão em uso na Internet, além de não ser necessária, via de regra, nenhum investimento substancial em novo hardware uma vez que para a implantação do MPLS não é necessária a aquisição de novo hardware.

A utilização do *MPLS* como solução de rede para redes virtuais está calcada nas vantagens que esta tecnologia pode gerar com relação aos métodos tradicionais de formação de redes virtuais através de tecnologias de nível dois (OSI). O ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) e o *Frame Relay* possuem na sua estrutura a funcionalidade SVC (*Switched Virtual Circuits*), apesar disto esta funcionalidade não chegou a ser implementada em nenhuma rede no País.

Fazendo uma análise das redes de comunicação modernas, é possível pensar que processos de roteamento são lentos e complicados e processos de comutação são simples e rápidos. É de conhecimento que o *IP* é um protocolo roteável, portanto que necessita grande carga de processamento para ser encaminhado de um ponto a outro, algumas tentativas de melhoria nos processos de encaminhamento de pacotes *IP* através de grandes redes distâncias já foram tentadas, uma delas foi o *IPswitching*. Isto fez com que durante esta evolução fosse aplicado o mesmo conceito de comutação de pacotes usados em comutadores ATM, com maior eficiência no encaminhamento de pacotes uma vez que deixa de ser necessário o processamento de encaminhamento pelo processo de roteamento. Nesta linha o *MPLS* pode, inclusive, ser considerado uma evolução do *IP switching*, pois os princípios básicos são os mesmos.

As primeiras tentativas bem sucedidas de implementação de processos próximos ao *MPLS* foram o *Tag Switching* da Cisco e o *ARIS* da IBM, pode-se dizer que o conhece-se hoje é uma evolução destes dois protocolos. O *Tag Switching* da Cisco ainda é utilizado por redes Cisco, o *ARIS* não é mais usado.

Para comutar os pacotes o *MPLS* insere uma etiqueta (*label*) com apenas 4 bytes no cabeçalho do pacote *IP*, este *label* é então usado para o encaminhamento dos pacotes após a entrada do pacote no domínio *MPLS*, antes da saída do pacote do domínio *MPLS* a etiqueta é retirada, o que ocorre normalmente no último *LER* (*Label edge router*) - Para

otimizar o processo a operação de retirada do label nas implementações atuais ocorre no penúltimo hop - PHP - (*Penultimate Hop Popping*).

Na Fig.10-1 é dada uma visão da posição onde a etiqueta é inserida. A etiqueta também é chamado de cabeçaho (*shim header*) em alguns casos.

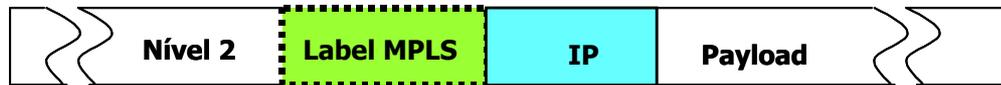


Fig. 8-1 – MPLS Label

Na Fig. 10-2 é mostrado o formato da etiqueta (*label*) MPLS com a separação dos diversos campos e a descrição de cada um deles.

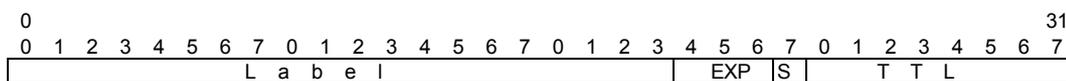


Fig. 8-2-MPLS Bits de informação do *label*

Label value– Este campo carrega o valor atual da etiqueta. Quando um pacote é recebido, é feito uma procura (*lookup*) no topo da pilha a partir do valor do *label*, como resultado pode-se ter duas situações:

- ◆ O próximo salto (*next hop*) para onde o pacote deverá ser enviado.
- ◆ A operação a ser realizada na pilha de etiquetas antes do encaminhamento(*forwarding*). Esta operação pode substituir ou retirar a entrada no início da pilha, ou ainda substituir uma entrada do topo da pilha de etiquetas ou mais entradas adicionais nesta.

Experimental use (EXP) - Este campo com três bits será usado, no caso da Operadora, para carregar as informações relativas ao *DSCP (Diffserv Code Point)* mapeadas ao *PHB (Per Hop Behavior)*. Este campo é de grande importância na formação dos *e-LSPs (Label Switching Paths)*.

Bottom of Stack (S) – Este bit é configurado para 1(um) quando para a última entrada na pilha de etiquetas e 0(zero) para todas as outras entradas na pilha.

Time to Live (TTL) – Campo com função de evitar ciclos de realimentação (*loops*) infinitos, possui 8 bits.

À medida que os pacotes ingressam no domínio *MPLS* eles recebem as etiquetas (*labels*). A partir de então apenas a informação contida na etiqueta será usada para o encaminhamento dos pacotes. A cada roteador ou comutador *MPLS* por onde o pacote passa o mesmo é substituído ou modificado, este processo de substituição é acompanhado pelo mapeamento das etiquetas de entrada com os de saída baseado numa tabela com as entradas para cada caminho (*path*) a ser seguido. Pode-se dizer que as etiquetas têm apenas significado local, assim como o *DLCI (Data Link Connection Identification)* do *Frame Relay* do mesmo dos *VPI/VCI (Virtual Path Identifier/Virtual Channel Identification)* do *ATM (Asynchronous Transfer Mode)*, devido a mudança que ocorre em cada roteador por onde o pacote passa. Conforme já dito anteriormente, nas implementações atuais, a etiqueta é retirada antes do último roteador para melhorar a performance *PHP (Penultimate hop Popping)*. Na rede da Operadora em análise esta funcionalidade está habilitada.

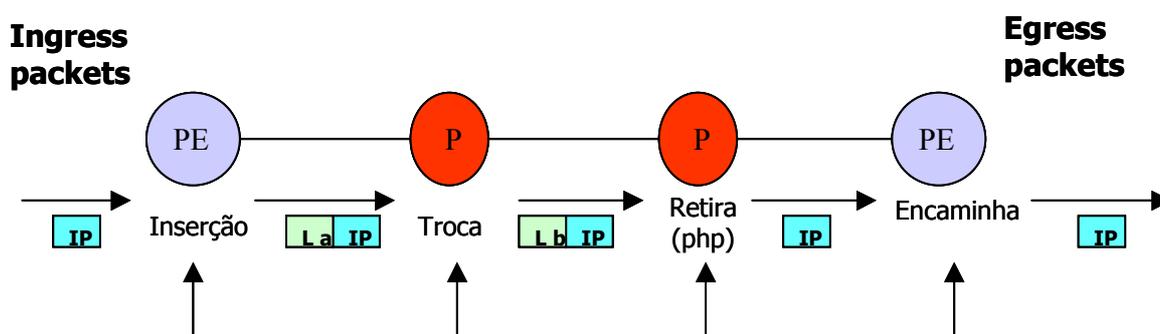


Fig. 8-3 – Domínio MPLS: inserção, troca e retirada do label

O campo etiquetas (*label*) pode ter mais de 1 (*um*) milhão de valores atribuídos, mas o uso massivo desta possibilidade afeta diretamente a capacidade de encaminhamento de pacotes, portanto as melhores implantações são aquelas que utilizam uma quantidade limitada e absolutamente necessária nas tabelas. Pode-se dizer que o axioma fundamental para a criação de etiquetas (*labels*) é o de quanto menor melhor.

Outro ponto importante a ser comparado é que o transporte *IP* é basicamente “não orientado a conexão”; desta forma cada roteador envolvido no transporte de uma sessão *TCP* por exemplo, deve receber os pacotes *IP*, ler o cabeçalho, identificar o endereço de destino e após fazer uma pesquisa na tabela de rotas para verificar para qual interface o pacote deverá ser enviado. Isto quer dizer que em uma seqüência de pacotes de uma

mesma sessão os pacotes poderão viajar por caminhos completamente diferentes até atingir o destino.

O *MPLS* é um processo, diferente do anterior, “orientado a conexão” onde somente o primeiro pacote do fluxo (*stream*) é usado para o estabelecimento, após o caminho – *LSP* (*Label Switched Path*) – ter sido estabelecido todos os outros pacotes são encaminhados pelo mesmo caminho.

Como benefício para a rede tem-se uma melhor utilização de recursos, sendo que isto é conseguido através do uso de políticas que determinam de que forma os *LSP* são estabelecidos. Estas políticas devem estar completamente voltadas para os tipos de serviços que serão fornecidos pela rede, na operadora sob análise, serão observados os seguintes pontos para a elaboração das políticas:

- e) Recursos de Rede disponíveis;
- f) Classificação dos serviços a serem fornecidos a partir da marcação dos pacotes;
- g) Valor dos serviços a serem fornecidos;
- h) Endereçamento;

O estabelecimento de políticas que estejam em conformidade com os objetivos da rede é um fator que pode determinar o sucesso de toda a implementação, pois as políticas pré-estabelecidas são usadas pelos equipamentos que estejam configurados com o *MPLS* para o cálculo das *FECs* (*Forwarding Equivalency Class*). A importância deste processo tão grande, que quando um *LSP* é estabelecido ele é sempre associado a um *FEC*, a partir de então todo o fluxo é encaminhado através da rede usando um *FEC* e um *LSP* específico.

8.1.1 Processos de Controle e Distribuição de *Labels*

Para que todo o processo de encaminhamento do *MPLS* seja executado é necessário que hajam trocas de sinalização entre todos os equipamentos envolvidos. Os controles de dados do *MPLS* são implementados através de três estruturas de dados, a *LIB* (*Label Information Base*) que é um banco de dados que armazena todos os *labels*.

A segunda é a *LFIB* (*Label Forwarding Information Base*). Esta tabela é usada no processo de encaminhamento e é parecida com a tabela *IP Forwarding*. A *LFIB* contém as informações relativas ao valor do entrante/saída (*ingress/egress Label*), prefixo da *FEC*, interface de saída, tipo de encapsulamento e próximo salto (*next-hop address*). A terceira estrutura de dados é a tabela de rotas normal do roteador, esta sendo usada para

determinar a informação de próximo *next-hop address forwarding* para a LFIB. A distribuição de *labels* é feita com a sua respectiva associação com os *FECs* (*Forwarding Equivalent Classes*). Para que seja possível a troca de informação entre as *LIBs* diversos protocolos são implementados, sendo os mais importantes o *LDP* (*Label Distribution Protocol*), o *RSVP* (*Resource Reservation Protocol*), o *MP-BGP* (*Multiprotocol Border Gateway Protocol*).

8.1.2 *LDP* Protocolo de Distribuição de *Labels* – RFC 3036

O *LDP* é o protocolo que é usado para troca de mapeamento *label-to-FEC* entre os equipamentos *MPLS*. Cada equipamento passa a atuar como um elemento *LDPe* (*LDP peer*) e podem estar conectados através de múltiplas interfaces, porém com apenas uma única sessão *LDP* estabelecida. O *TCP* é usado como meio de transporte e estabelecimento de sessão, porém todas as mensagens de descobrimento são transportadas via *UDP* (*user datagram protocol*). O *LDP* foi projetado para ser facilmente extensível, isto é, que seja facilmente especificado, esta funcionalidade é implementada através formato *TLV* (*type/length/value*). Existem quatro categorias de mensagens *LDP*, conforme a seguir:

- a) *Discovery Messages* – Usadas para anunciar e manter a presença de um equipamento *MPLS* na rede;
- b) *Session or Adjacency Messages* – Usadas para estabelecer, manter e terminar sessões entre portos *LDP* (*LDP peers*);
- c) *Label Advertisement Messages* – Usadas para criar, mudar e apagar mapeamento de da etiqueta para a classe equivalente de encaminhamento (*label-to-FEC*);
- d) *Notification Messages* – Usadas para prover informação de advertência e de sinalização de erro.

8.1.3 Operação do *LDP*

O processo de inicialização do *LDP* acontece através de um mecanismo onde os equipamentos *MPLS* que estejam conectados enviam mensagens *HELLO* para todos os outros presentes na mesma subrede, estas mensagens são enviadas via protocolo *UDP*

(Porta 646). Após a inicialização são mantidos pacotes de *KEEPALIVE* na ausência de outras mensagens.

As mensagens *LABEL MAPPING* fazem parte do processo mais importante da distribuição de etiquetas (*labels*), estas mensagens são usadas para a troca de informação de ligação (*binding*) entre o *FEC* e a etiqueta.

As mensagens *LABEL WITHDRAWAL* são usadas para reverter o processo de ligação gerado pelas mensagens de *MAPPING*.

As mensagens *LABEL RELEASE* são usadas quando um equipamento *MPLS* recebe uma mensagem de *LABEL MAPPING* mas não precisa mais da informação para aquele mapeamento. Os equipamentos *MPLS* podem operar no modo de distribuição e designação de baixa não solicitada (*unsolicited downstream*) ou no modo de baixa por demanda (*downstream-on-demand*), sendo que neste último os equipamentos podem solicitar o mapeamento de etiquetas dos seus vizinhos usando as mensagens de *LABEL REQUEST*.

Para o modo de retenção existem duas escolhas o modo liberal e o conservativo, quando o equipamento *MPLS* está operando no modo conservativo são retidas apenas as informações necessárias para mapeamento da etiqueta para a classe equivalente de encaminhamento (*label-to-FEC*) no momento atual da operação. No modo liberal são retidas todas as informações de mapeamento que foram repassadas ao equipamento em questão.

8.1.4 O Protocolo RSVP-TE

O RSVP (*Resource Reservation Protocol*) é um protocolo definido na arquitetura *IntServ (Integrated Services)* e está relacionado com o controle e garantia de qualidade proposto por esta arquitetura. Esta arquitetura também especifica alguns requerimentos de funcionalidade que os elementos de rede devem executar, principalmente:

- a) Políticas de conformidade de tráfego e recursos: com a verificação das especificações de tráfego, *TSpecs (Traffic Specifications)* e Especificações de recursos, *RSpecs (Resources Specifications)* em relação a parâmetros pré-definidos e em caso de não conformidade o descarte dos pacotes;
- b) Controle de admissão: Verificação da existência de recursos necessários para o atendimento de uma determinada requisição;

- c) Classificação: Reconhecimento de pacotes que precisam de tratamento de Qualidade de Serviço diferenciada;
- d) Enfileiramento e agendamento (*Queueing and Scheduling*): Tomada de decisão sobre pacotes que devem ou não ser descartados verificando a consistência com os requisitos de qualidade de serviço previamente garantidos.

O grupo de trabalho do *IntServ* definiu duas classes de serviço sendo a primeira a de Serviços Garantidos e a segunda a de Serviços com carga controlada. A primeira classe de serviços é usada para quem necessita de grande controle de largura banda e atrasos. A classe de serviços com carga controlada utiliza como base uma tentativa de acertar estatisticamente a carga para determinada aplicação se a mesma estivesse sendo utilizada em um ambiente sem carga.

O *RSVP* utiliza basicamente dois tipos de mensagens o *PATH* e o *RESV*. O primeiro é usado para repassar mensagens com informação de *TSpecs* e de classificação de um emissor a múltiplos receptores. As mensagens *RESV* são usadas quando um receptor recebe um *PATH* e necessita informar ao emissor a identificação da sessão para qual a reserva de recursos será feita incluindo a *RSpec* que indica o nível de *QoS* requerido pelo receptor. Após a reserva de recursos ter sido realizada, os equipamentos envolvidos passam a dar o tratamento solicitado para cada um dos pacotes pré-determinados. Na Fig. 2-8 é apresentado um exemplo do funcionamento da solicitação de reserva de recurso e a sua confirmação.

O *RSVP* tem um sério problema relativo a escalonamento, pois para o seu processo de estabelecimento solicita muito recurso de processamento da rede, portanto quando da sua implementação deve-se levar em consideração o uso apenas e absolutamente necessário. No caso da Operadora, o *LDP* será usada para a formação do serviço VPN assim como o *MP-BGP* ficando o *RSVP* restrito a implementação de Engenharia de Tráfego.

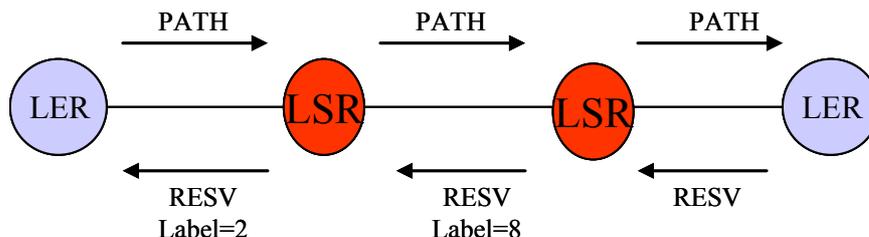


Fig. 8-4 – Mensagens *RSVP*

8.1.5 Sinalização e Protocolos entre o LSR e o LER.

A sinalização entre o *LSR* e o *LER* será de estabelecimento de *LSPs* (*Label Switched Paths*) e de troca de *labels*. O *LDP* é o protocolo que será usado para esta função, antes porém, os protocolos usuais de estabelecimento de conectividade *IP* (*BGP*, *OSPF*). O *RSVP* será usado quando da implantação de engenharia de tráfego.

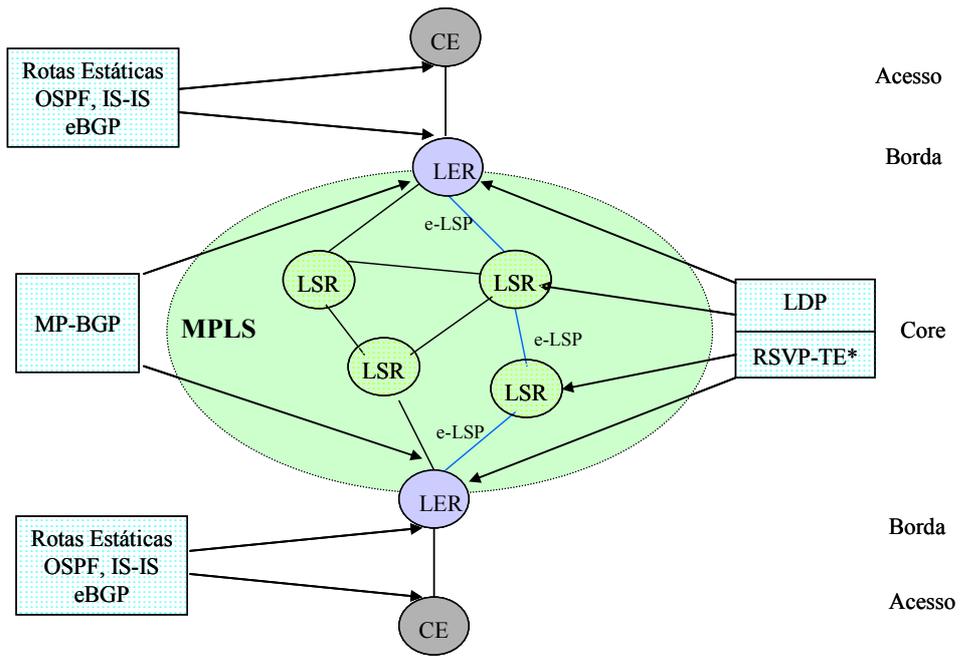
8.1.6 Sinalização entre um conjunto de LSR

Entre os roteadores *LSR* será usada a sinalização básica de conectividade *IP* e o protocolo *LDP* para a distribuição de *labels*. O *RSVP* será usado para a implementação de engenharia de tráfego.

8.1.7 Sinalização entre um conjunto de LER

Entre os *LERs* que estiverem participando da formação de *VPNs* deverão ter conectividade *MP-iBGP* (*multiprotocol internal border gateway protocol*), para a distribuição de *labels* deverão estar com *LDP* habilitado, o *RSVP* para engenharia de tráfego.

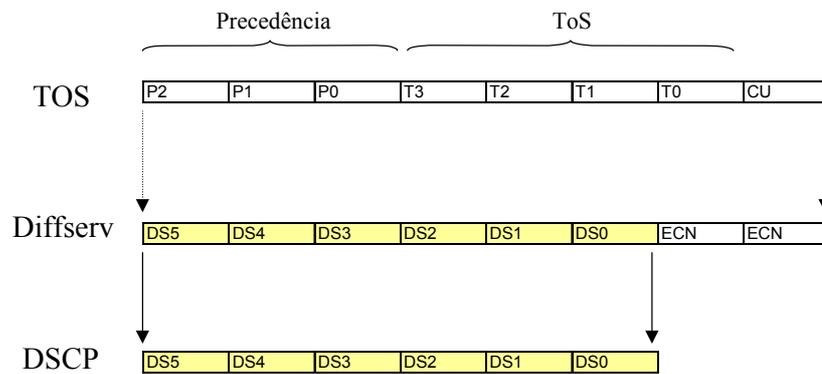
Fazendo uso do campo *TOS* (*type of service*) presente nos pacotes *IP*, serão aplicados os conceitos do *DiffServ* e de acordo com as RFC 2474, RFC 2597 e RFC 2598 para a marcação do campo *DSCP* (*DiffServ Code Point*). É a partir desta marcação que este o processo, em termos, de qualidade de serviços é realizado.



* Evolução para Engenharia de Tráfego, uso em conjunto com o LDP

Fig. 8-5 – Protocolos de sinalização entre equipamentos em uma rede MPLS

* Sinalização *RSVP-TE* será usada para a funcionalidade de engenharia de tráfego e não será usada em conjunto com o *LDP* a fim de gerar maior estabilidade a rede.



Classes	Bits			Bits DSCP			Probabilidade
	DS5	DS4	DS3	DS2	DS1	DS0	
TCL-7	1	1	1	0	1	0	Baixa
TCL-6	1	1	0	1	0	0	Media
TCL-5	1	0	1	1	1	0	Alta
TCL-4	1	0	0				
TCL-3	0	1	1				
TCL-2	0	1	0				
TCL-1	0	0	1				
TCL-0	0	0	0				

Fig. 8-6 – TOS (Type of Service)

A a seguir apresenta a estrutura genérica do byte *TOS* dentro do cabeçalho *IP*:

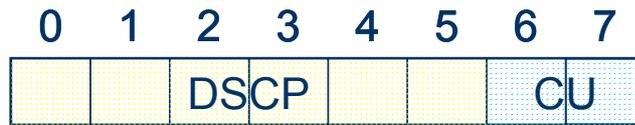


Fig. 8-7 - DSCP

DSCP: differentiated services codepoint.

CU: currently unused (não utilizado).

Para que a marcação de um determinado *DSCP* tenha efeito na rede *MPLS* esta deve identificar o *PHB* (*Per Hop Behavior*). Existem algumas classes padronizadas para o *PHB*:

Default – DF – Equivalente ao Best Effort, sem tratamento especial.

Expedited Forwarding – EF – Os pacotes marcados com *EF* serão tratados com o mínimo atraso e pelas rotas com as menores possibilidades de perda de pacotes. Isto pode ser realizado fazendo com que os pacotes em uma fila *EF* dedicada e ainda assegurando que a taxa de processamento de pacotes na fila do serviço não seja superior a taxa de chegada dos pacotes marcados.

Assured Forwarding – AF – Neste caso para cada *PHB* existe um conjunto associado de *AF_{xy}*, sendo o *x* referente a classe *AF* e o seu valor relativo a seleção da fila para o pacote. O *y* determina a preferência de descarte de pacotes. Seguindo estas definições, para um exemplo de classificação pacotes marcados com *AF11*, *AF12* e *AF13* devem ser colocados em uma mesma fila, porém os pacotes marcados com *AF13* terão uma possibilidade maior de descarte que aqueles marcados com *AF11*. Da mesma forma, pacotes marcados com *AF2y* serão classificados em outra fila.

O número máximo de *PHB* recomendados é 12 (doze), porém na operadora em análise existirão no máximo 8 possibilidades, pois o tipo de *LSP* estabelecido é o *e-LSP* (*EXP* = 8 possibilidades no máximo). Para que pudessem ser estabelecidos mais de 8 (oito) possibilidades os *LSPs* estabelecidos deveriam ser do tipo *l-LSP* (*l* = *Label*), sendo este tipo de estabelecimento necessário quando o cabeçalho (*shim header*) do *MPLS* não é usado para o encaminhamento de pacotes, um exemplo disto é quando são usados switches *ATM*.

Na figura abaixo, tem-se um quadro comparativo entre *e-LSP* e *l-LSP*, relacionados com o tipo de túnel utilizado e formas de utilização.

Tabela 8-1 – Comparação de *Label Switching Paths*

<i>E-LSP</i>	<i>L-LSP</i>
O <i>PHB</i> é determinado pelo <i>EXP</i>	O <i>PHB</i> é determinado pelo label ou pelo label mais o bit <i>Exp/CLP</i>
Não é necessário sinalização adicional	O <i>PHB</i> ou o <i>PHB Scheduling</i> é sinalizado no momento do estabelecimento do <i>LSP</i> (<i>LDP</i> ou <i>RSVP</i>)
É usado o mapeamento <i>EXP => PHB</i>	Sinalização Label => <i>PHB</i>
É requerido o <i>Shim Header</i> ; (O <i>e-LSP</i> não é possível em links <i>ATM</i>)	Sinalização <i>Exp/CLP => PHB</i> é também usada para <i>AF Shim</i> ou <i>Layer Header</i> são usados; (O <i>l-LSP</i> possibilita o uso em links <i>ATM</i>)
No máximo 8 <i>PHBs</i> por <i>LSP</i>	Um <i>PHB</i> por <i>LSP</i> , exceto para classes <i>AF</i> ; um <i>PHB Scheduling group</i> (2-3) para cada <i>LSP</i> por <i>AF</i> .

Na Fig. 4-8 é mostrado uma descrição das fases de marcação e após a seleção do túnel indicado em função do *DSCP*. É importante comentar que a seleção deverá ser configurada em cada elemento de borda da rede, pois o uso do *DiffServ* faz com que a seleção de túneis ocorra localmente em cada roteador.

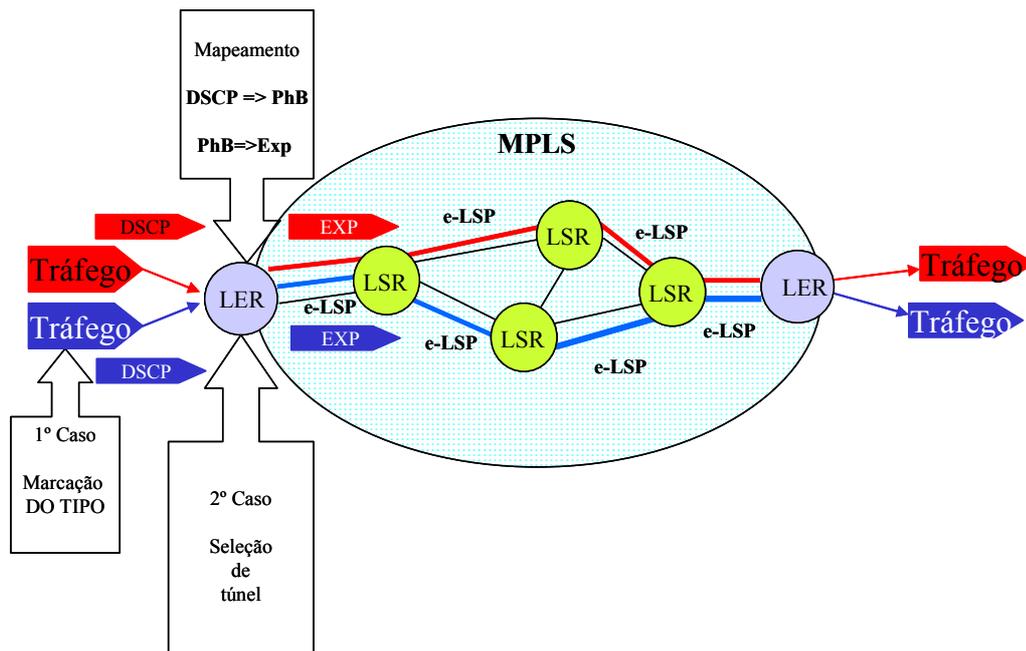


Fig. 8-8 – Marcação *DiffServ* para o mapeamento com *IntServ*

A questão relativa à confiabilidade dos pacotes entrantes deve ser verificada com bastante atenção, pois uma marcação errada compromete toda a cadeia de mecanismos responsáveis pela manutenção do ambiente. A melhor opção para este caso é ter apenas o *PHB* (*Per Hop Behavior*) sendo executado mapeando o campo *EXP* do *MPLS* com informações provenientes do campo *DSCP*.

9 ANEXO III - CONFIGURAÇÃO DO OPNET

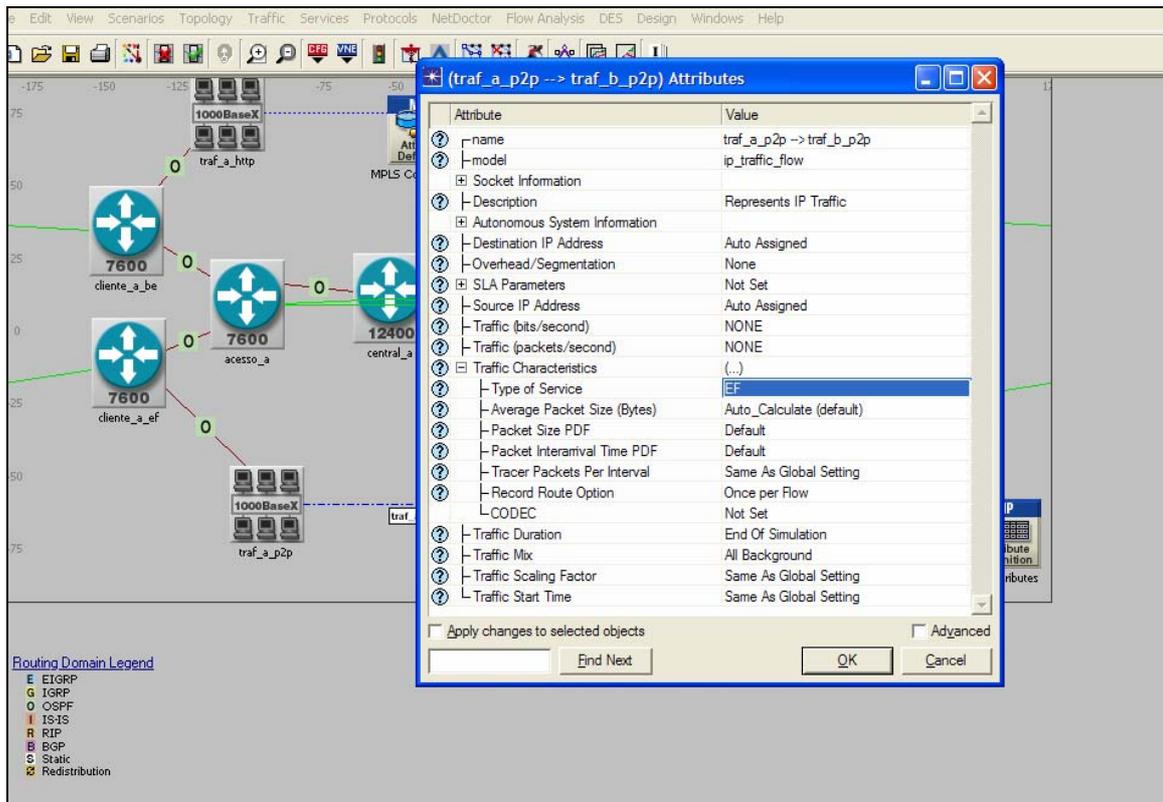


Fig. 9-1 - Configuração de demanda de tráfego com tipo de serviço marcado como *EF*.

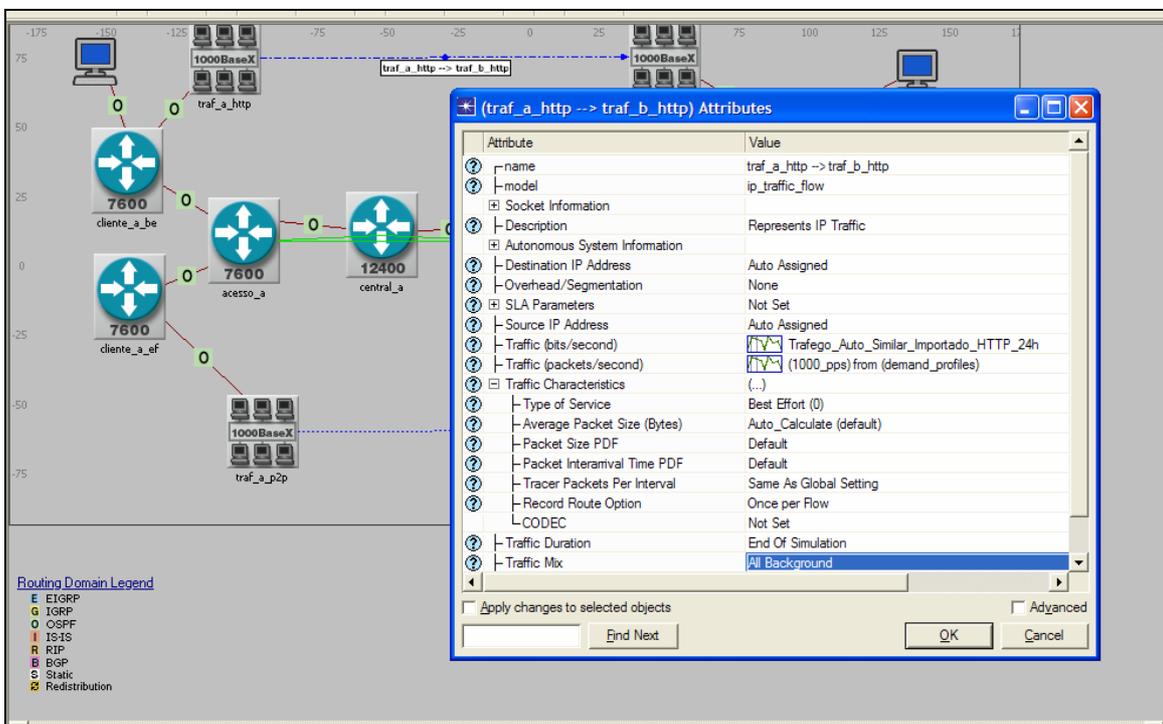


Fig. 9-2 - Configuração de demanda de tráfego com DSCP marcado como *BE (Default)*.

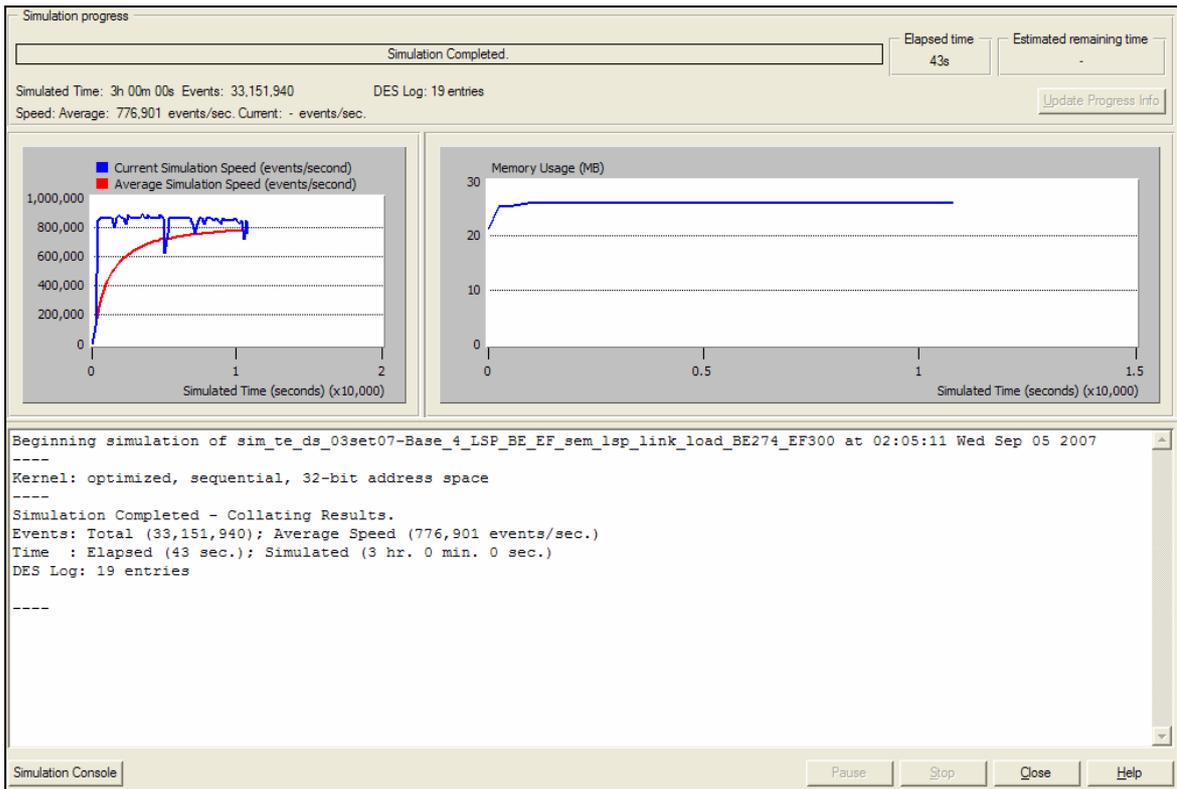


Fig. 9-3 - Console de simulação de eventos discretos.

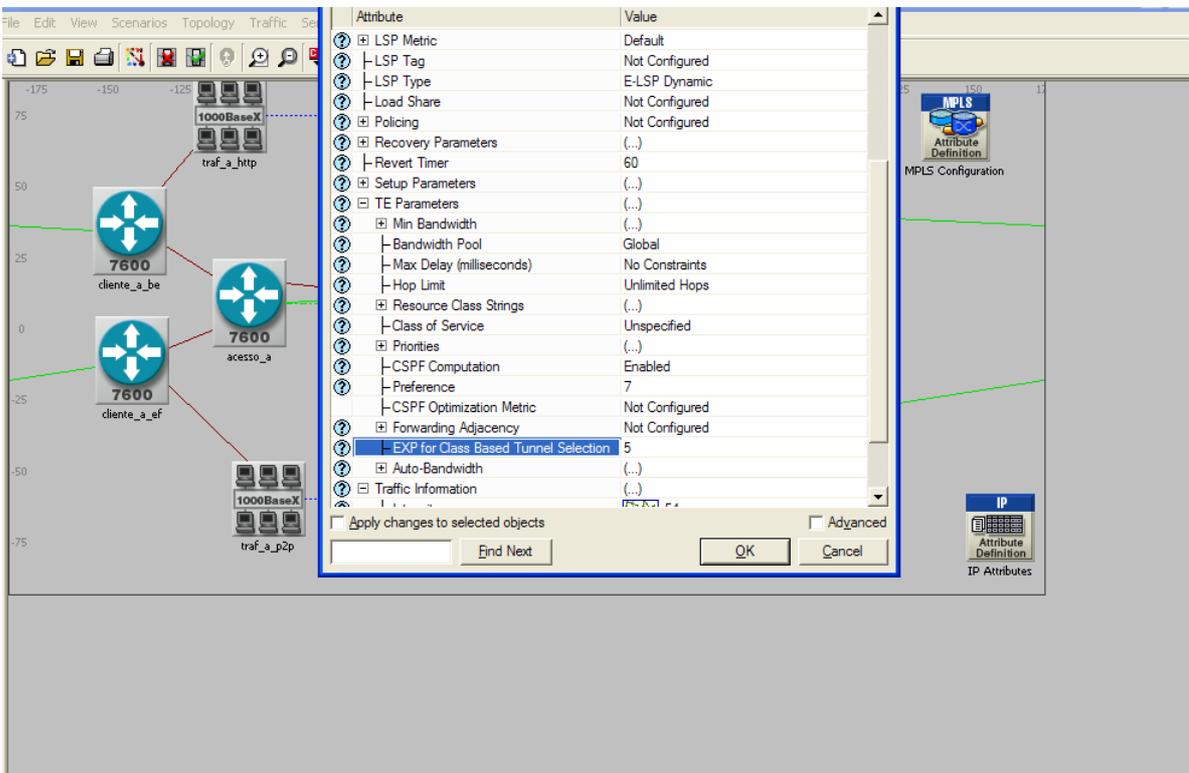


Fig. 9-4- Configuração do túnel *e-lsp* classe *EF* para o tráfego *p2p*.

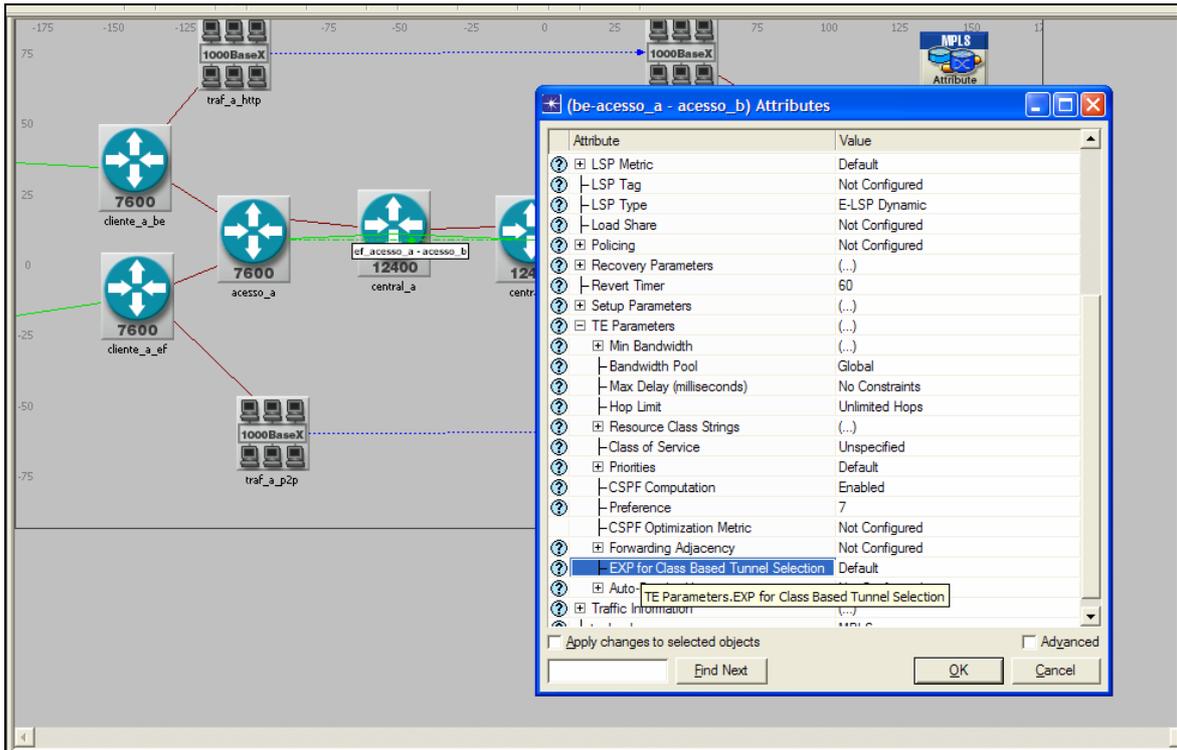


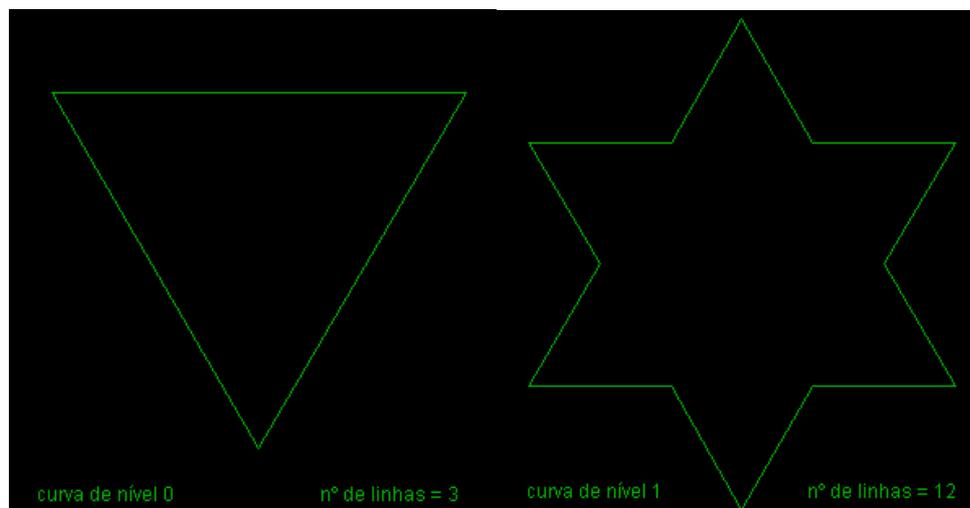
Fig. 9-5 - Configuração do túnel *e-lsp* classe *default* para o tráfego *http*.

10 ANEXO IV - GEOMETRIA DE FRACTAIS

O floco de neve de Koch⁷ é feito com 3 (três) curvas de Koch formando um triângulo equilátero. A curva de Koch, introduzida por Helge von Koch em 1904, é realizada do seguinte modo:

- 1º. É feito, primeiramente, com um segmento de reta e o mesmo é dividido em 3 (três) partes iguais.
- 2º. O segmento do meio é substituído por um triângulo equilátero e retira-se a base do mesmo, aumentando o comprimento total da linha que é $\frac{4}{3}$ do inicial.
- 3º. Este procedimento sucessivamente realizado.
- 4º. A linha resultante tem uma dimensão fractal (dimensão de Hausdorff Besicovitch) igual a $\frac{\ln(4)}{\ln(3)} = 1,2618$ porque em cada iteração se geram 4 vezes mais segmentos e cada segmento é 3 vezes menor.
- 5º. Nas Fig. 10-1, Fig. 10-2 e Fig. 10-3 é mostrado o processo até o nível 5.

Importante: Caso fosse realizada apenas a divisão sucessiva dos segmentos em três partes, mantendo todas as partes, obter-se-ia uma linha de uma dimensão: a dimensão seria $\ln(3)/\ln(3)=1$, porque em cada iteração se gerariam 3 vezes mais segmentos e cada segmento seria 3 vezes menor.



⁷ <http://to-campos.planetaclix.pt/fractal/koch.html>

Fig. 10-1 – Formação do floco de neve Koch nível 1 e 2

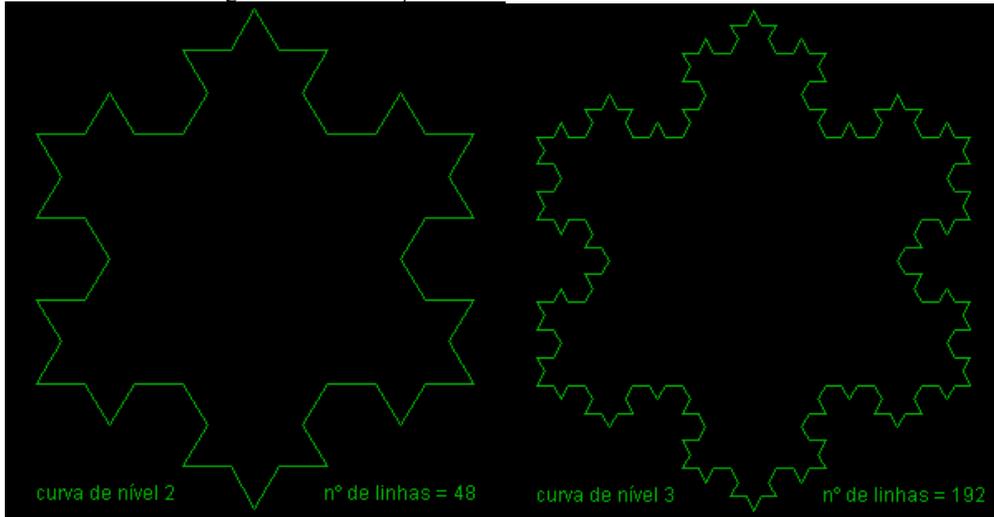


Fig. 10-2 - Formação do floco de neve Koch nível 2 e 3

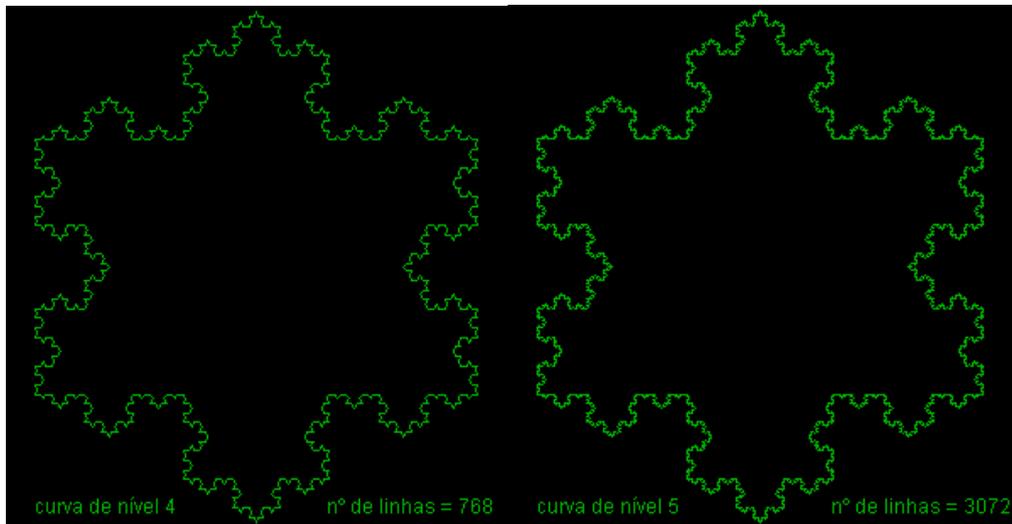


Fig. 10-3 - Formação do floco de neve Koch nível 4 e 5