

**ESCOLA SUPERIOR ABERTA DO BRASIL - ESAB
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM
REDES DE COMPUTADORES**

ADRIANO ANTUNES PRATES

OTIMIZAÇÃO DE REDES WAN POR MEIO DO MPLS

**JANUÁRIA - MG
2011**

ADRIANO ANTUNES PRATES

OTIMIZAÇÃO DE REDES WAN POR MEIO DO MPLS

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Redes de Computadores da Escola Superior Aberta do Brasil como requisito para obtenção do título de Especialista em Redes de Computadores, sob orientação da Professora Msc. Beatriz Christo Gobbi.

**JANUÁRIA - MG
2011**

ADRIANO ANTUNES PRATES

OTIMIZAÇÃO DE REDES WAN POR MEIO DO MPLS

Monografia aprovada em de 2011.

Banca Examinadora

**JANUÁRIA - MG
2011**

Dedico esta obra primeiramente a DEUS por conceder-me mais esta conquista. A meus queridos pais Mariano e Terezinha, e a meu irmão Rafael.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial aos meus colegas do IFNMG campus Januária, aos meus alunos, meus familiares e amigos por toda a confiança e apoio incondicional.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARP	Address Resolution Protocol
AS	Autonomous System
ATM	Asynchronous Transfer Mode
CR-LDP	Constraint Based Routed – Label Distribution Protocol
DiffServ	Differentiated Service
DLCI	Data Link Connection Identifier
DS	Differentiated Service
FDDI	Fiber Distributed Data Interface
FEC	Forwarding Equivalence Class
FDDI	Fiber Distributed Data Interface
FIB	Forwarding Information Base
FR	Frame Relay
HDLC	High Level Data Link Control
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IETF	Internet Engineering Task Force
IntServ	Integrated Service
IGP	Interior Gateway Protocol
IP	Internet Protocol
ISP	Internet Service Provider
ITU-T	International Telecommunication Union
LAN	Local Area Network
LDP	Label Distribution Protocol
LANE	Lan Emulation

LER	Label Edge Router
LIFO	Last In First Out
LSP	Label Switching Path
LSR	Label Switching Router
MAN	Metropolitan Area Network
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MPOA	Multiprotocol over ATM
NHLFE	Next Hop Label Forwarding Entry
OSI	Open Systems Interconnection
PAN	Personal Area Network
PPP	Point-to-point Protocol
QoS	Quality of Service
RFC	Request for Comments
RIP	Routing Information Protocol
RSVP	Resource Reservation Protocol
SL	Service Level
TCP	Transmission Control Protocol
TE	Traffic Engineering
TTL	Time to Live
VCI	Virtual Channel Identifier
VoIP	Voice Over IP
VPI	Virtual Path Identifier
VPN	Virtual Private Network
WAN	Wide Area Network

RESUMO

Palavras-Chave: MPLS, Qualidade de Serviço, Redes de Computadores, Engenharia de Tráfego.

Este trabalho teve como objetivo investigar as principais tecnologias de rede de computadores existentes no cenário atual, seus desafios e evoluções, com especial atenção à proposta do protocolo MPLS para otimização de redes de comunicação distribuídas geograficamente, principalmente baseadas na arquitetura TCP/IP, base de funcionamento da Internet.

Para tal, foram realizadas pesquisas exploratórias através de livros, sites especializados na grande rede, trabalhos e artigos científicos sobre diversas tecnologias e conceitos relacionados ao tema principal.

Ao final do estudo podemos perceber a importância do desenvolvimento de novos modelos e técnicas de forma a permitir a contínua disponibilidade, em quantidade e qualidade, das redes de comunicações para transporte dessa fabulosa quantidade de dados a nível mundial.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	11
1.1 - O PROBLEMA DA PESQUISA.....	12
1.2 - OBJETIVOS.....	12
1.2.1 Objetivo Geral.....	12
1.2.2 Objetivos Específicos	12
1.3 - METODOLOGIA	13
CAPÍTULO 2 - AS REDES DE COMPUTADORES.....	14
CAPÍTULO 3 - QUALIDADE DE SERVIÇO (QOS).....	17
3.1 - PARÂMETROS DE QoS	18
3.1.1 Vazão / Bandwidth.....	19
3.1.2 Latência (Atraso)	19
3.1.3 Jitter.....	20
3.1.4 Perdas	21
3.1.5 Disponibilidade.....	22
CAPÍTULO 4 - TECNOLOGIAS CONVENCIONAIS	23
4.1 - A CAMADA DE ENLACE.....	23
4.1.1 Serviço sem Conexão e sem Confirmação	24
4.1.2 Serviço sem Conexão com Confirmação	24
4.1.3 Serviço Orientado a Conexão com Confirmação	25
4.2 - CAMADA DE REDE	25
4.3 - MODELO INTERNET: REDE NÃO ORIENTADA A CONEXÃO	27
4.4 - MODELO ATM: REDES ORIENTADAS A CONEXÃO	28
4.5 - REDES DE CIRCUITOS VIRTUAIS x REDES DE DATAGRAMAS.....	32
CAPÍTULO 5 - MPLS.....	35
5.1 - O MODELO OVERLAY	36
5.2 - A PROPOSTA DO MPLS	37
5.3 - CONCEITOS BÁSICOS	39
5.3.1 Label.....	39
5.3.1.1 Label Stacks.....	41

5.3.2 Forwarding Equivalence Class (FEC)	42
5.3.3 Label Switching Router (LSR)	44
5.3.4 Label Edge Router (LER)	44
5.3.5 Label Switching Path (LSP)	46
5.4 - BASES DE INFORMAÇÕES	47
5.5 - DETERMINAÇÃO DE FEC's	49
5.6 - MONTAGEM DE FIB's	50
5.7 - BINDING LOCAL ENTRE FEC's E LABEL's	51
5.8 - DISTRIBUIÇÃO DE LABELS	51
5.9 – MONTAGEM DE LFIB'S	52
5.10 - FASE DE TRANSMISSAO DE DADOS	54
CAPÍTULO 6 - ENGENHARIA DE TRÁFEGO (TE)	57
6.1 - LIMITAÇÕES DOS PROTOCOLOS TRADICIONAIS	58
6.2 - ENGENHARIA DE TRÁFEGO SOBRE MPLS (MPLS TE)	59
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES	61

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A humanidade tem experimentado nos últimos séculos grandes revoluções tecnológicas. Como exemplo, podemos citar a revolução industrial ocorrida no século XVIII e a invenção das grandes máquinas a vapor no século XIX. Este fato leva-nos a buscar e questionar qual o maior progresso vivido neste último, o século XX, e o que ainda poderemos aguardar em um futuro próximo.

Segundo Tanenbaum (2003) a maior conquista da humanidade no século XX, foi o desenvolvimento de novas tecnologias para a aquisição, processamento e distribuição da informação de maneira rápida e eficiente. Invenções como o rádio, a televisão, o lançamento de satélites, e por fim, dos computadores, e a miniaturização e interconexão destas tecnologias fizeram com que as barreiras físicas no mundo se quebrassem.

A conjunção destas duas tecnologias - comunicação e processamento de informações - veio revolucionar o mundo em que vivemos, abrindo as fronteiras com novas formas de comunicação, e permitindo maior eficácia dos sistemas computacionais (SOARES, 1995).

O rápido avanço tecnológico vivenciado e, conseqüentemente, o crescimento e evolução das comunicações, implicam no desenvolvimento de novas tecnologias e o aperfeiçoamento das já existentes, isto, para atender a novos requisitos: aumento do volume de transmissão de dados, processamento de alto desempenho e a melhoria da qualidade de serviço oferecido pelas aplicações (TANENBAUM, 2003).

Deste momento em diante, é de fundamental importância o desenvolvimento de novas tecnologias de transmissão, capazes de transmitir grandes volumes de dados em alta velocidade a grandes distâncias. Esta é a base condicional para o surgimento de uma futura geração de aplicações (ENNE, 2009).

O propósito deste trabalho é analisar uma destas tecnologias: o MPLS – *MultiProtocol Label Switching*, uma ferramenta que possibilita ampliar a performance

das tecnologias de rede já existentes, principalmente para as redes de comunicação geograficamente distribuídas.

O MPLS representa a evolução das arquiteturas de redes padronizadas, em especial às redes IP, base de funcionamento da Internet atual, atuando a partir das camadas do modelo de referência OSI de enlace e rede (TANENBAUM, 2003).

1.1 - O PROBLEMA DA PESQUISA

O MPLS tem sido apontado como grande tendência para o mercado de telecomunicações principalmente pelo potencial oferecido. Diante do exposto, pode-se propor a seguinte questão: "De que forma a implementação do MPLS pode ser útil na otimização de redes de longa distância e de alta velocidade?".

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 **Objetivo Geral**

Demonstrar a viabilidade do protocolo MPLS para otimização de redes de longa distância.

1.2.2 **Objetivos Específicos**

- Descrever os conceitos básicos sobre a tecnologia MPLS, sua arquitetura e funcionamento;
- Apresentar as vantagens do MPLS sobre as arquiteturas e tecnologias convencionais;
- Analisar a relevância do MPLS nas atuais redes de comunicação de dados.

1.3 - METODOLOGIA

Será utilizada, para a execução desta pesquisa, uma metodologia exploratória e aliada à técnica de pesquisa bibliográfica. A coleta de dados será realizada através de livros publicados, publicações técnicas dos manuais, normativos, artigos desenvolvidos sobre o tema, periódicos especializados, além dos conhecimentos adquiridos e sites especializados da Internet.

CAPÍTULO 2 - AS REDES DE COMPUTADORES

Uma rede de computadores é uma tecnologia constituída de um conjunto de módulos processadores capazes de trocar informações e compartilhar recursos, interligados por meio de um sistema de comunicação (SOARES, 1995).

Segundo Tanenbaum (2003), um dos critérios para a classificação das redes de computadores é quanto a sua escala de abrangência geográfica. Neste contexto, podemos classificar as redes de comunicações como:

- Rede de área pessoal – PAN;
- Rede de área local – LAN;
- Rede de área metropolitana – MAN;
- Rede geograficamente distribuída – WAN;

As redes de área pessoal (PAN) são caracterizadas pelas comunicações realizadas entre dispositivos localizados num curto raio de abrangência, geralmente através de dispositivos móveis, como PDA's, *smartphones*, notebooks, *tablets* e outros. Um exemplo conhecido de tecnologia de rede PAN é o *Bluetooth*, atualmente presente na maioria dos dispositivos móveis.

As LAN's, ou redes de área local, são redes privadas, presentes em um único edifício ou campus universitário, com até alguns quilômetros de extensão. As LAN's são amplamente utilizadas para se interconectar computadores pessoais e estações de trabalho em escritórios, para prover o compartilhamento de recursos (impressoras, arquivos) além da troca de informações (TANENBAUM, 2003).

Existem diversas tecnologias que possibilitam a configuração e interconexão de computadores para uma rede do tipo local - LAN, embora a mais reconhecida e utilizada no mundo seja o padrão IEEE 802.3, também conhecido como *Ethernet*.

A *Ethernet* é uma tecnologia desenvolvida a partir da década de 70, pela cooperação de empresas como a DEC, a Intel e a Xerox. Sua proposta de funcionamento é tratar a rede como um grande canal de difusão com controle descentralizado. Neste esquema, cada computador em uma rede *Ethernet* pode transmitir sempre que desejar, e caso ocorra uma colisão de dados, o computador terá que aguardar um tempo aleatório para realizar uma nova tentativa posteriormente (TANENBAUM, 2003).

Embora a *Ethernet* (e variações) seja atualmente a mais popular dentre as tecnologias de rede de área local, vale ressaltar que não é a única. Existem demais tecnologias como *Token-Ring*, IEEE 802.11 / *Wi-Fi*, FDDI entre outras.

As redes metropolitanas, ou redes MAN, abrangem a área aproximada de uma cidade. Um exemplo de rede de comunicação do tipo MAN é a rede de televisão a cabo disponível em muitas cidades. Desenvolvimentos recentes para acesso à Internet de alta velocidade sem fio resultaram em outro projeto de rede de área metropolitana, padronizado pela IEEE através da norma 802.16, também conhecida como *WiMax* (TANENBAUM, 2003).

As redes do tipo WAN (*Wide Area Network*), ou redes geograficamente distribuídas, configuram o objeto principal de estudo deste trabalho. Estas redes são caracterizadas pela abrangência de uma grande área geográfica, com frequência um país ou continente inteiro (TANENBAUM, 2003).

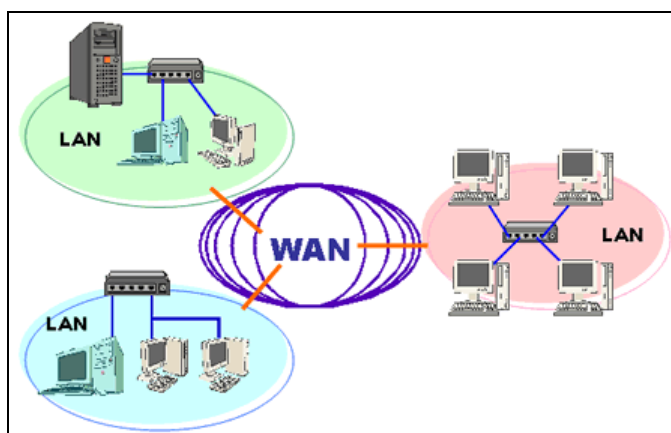


Figura 01 - Representação Gráfica de uma Rede WAN
Fonte: GTA URFJ (2011)

Segundo Tanenbaum (2003), as principais características de uma rede geograficamente distribuída - WAN são:

- Os equipamentos da rede (*host's*) estão dispersos geograficamente;
- Os serviços de conexão (*links*) - sistema de comunicação - e equipamentos geralmente são contratados e/ou alugados de provedores de telecomunicações, como companhias telefônicas e/ou provedores de serviços da Internet (ISP's);

Contudo, o grande desafio ocasionado pela evolução dessa tecnologia é a crescente demanda de recursos, desempenho e segurança das aplicações, cada vez mais sofisticadas, exigindo desta forma, maior qualidade de serviços oferecidos pelas operadoras de telecomunicações (ROSS e KUROSE, 2010).

São exemplos destas novas aplicações:

- Telefonia e Fax sobre IP (VoIP – Voice over IP);
- Comércio Eletrônico (e-commerce);
- Vídeos sobre IP;
- Educação à Distância (e-learning);
- Vídeo Conferência;
- Aplicações Multimídia e de Tempo Real;
- Aplicações Colaborativas e de Grupo;

CAPÍTULO 3 - QUALIDADE DE SERVIÇO (QoS)

O termo QoS (Quality of Service) ou qualidade de serviço refere-se a capacidade de se oferecer um serviço conforme às exigências e expectativas de um determinado usuário em termos do tempo de resposta e da qualidade.

As exigências do usuário são muitas vezes subjetivas, e dependem necessariamente da infra-estrutura da rede, traduzidos em parâmetros indicadores do desempenho, como por exemplo, o atraso máximo sofrido pelo tráfego da aplicação entre o computador de origem e destino (MARTINS et al, 2011).

A QoS é garantida pela rede, seus componentes, protocolos e equipamentos utilizados, sendo tipicamente expressa e solicitada em termos de um contrato de serviço, ou SLA (Service Level Agreement). Podemos destacar 03 modelos ou níveis de serviço (Service Level – SL) oferecidos pelas principais redes de computadores (MARTINS et al, 2011):

- **Melhor esforço (Best Effort):** não oferece nenhuma diferenciação entre vários fluxos/aplicações de redes. O pacote que chegar primeiro, será o primeiro a ser tratado e encaminhado. Portanto, a princípio, não oferece garantias de QoS; Um exemplo clássico é o tráfego gerado na Internet, onde todos os pacotes são tratados como de igual importância;
- **Serviços Integrados (guaranteed service ou intServ):** QoS baseada em fluxos. Consiste em reservar recursos da rede para certos tipos de fluxos/aplicações específicas, a partir de unidifusão ou multidifusão. Um exemplo de transmissão multidifusão seria uma aplicação de TV digital que transmite seus programas na forma de fluxos de pacotes IP para vários receptores em diversos locais diferentes.
- **Serviços Diferenciados (differentiated service ou diffServ):** QoS baseada em classes. Utiliza mecanismos de marcação para definir níveis de prioridade

para diferentes classes de tráfego na rede, e desta maneira tratar cada pacote independentemente, contudo, sem fornecer uma garantia estrita.

Para tornar mais evidente a diferença entre a QoS baseada no fluxo (intServ) e a QoS baseada na classe (diffServ), vamos tomar como exemplo, o tráfego gerado pelas chamadas telefônicas realizadas pela Internet.

Com um esquema de QoS baseado no fluxo, cada chamada telefônica obtém seus próprios recursos e garantias próprias. Em um esquema de QoS baseado na classe, todas as chamadas telefônicas juntas, obtêm os recursos reservados para a classe de telefonia. Esses recursos não podem ser utilizados por outras classes de tráfego e nenhuma chamada telefônica obterá mais privilégios sobre outras chamadas telefônicas, por também pertencerem a mesma classe (TANENBAUM, 2003).

Segundo Dias (2011), torna-se imperativo a adoção de novas políticas operacionais que suportem, por exemplo, estratégias de diferenciação de serviços, adicionando flexibilidade e eficiência à infra-estrutura de comunicações. O gerenciamento da Qualidade de Serviços (QoS) desponta neste cenário como uma alternativa vital ao sobre-provisionamento de recursos.

3.1 - PARÂMETROS DE QoS

Como citado anteriormente, a qualidade de serviço é um requisito das aplicações, que se traduz em determinados parâmetros e que estes, estejam dentro de limites bem especificados (valores mínimos e máximos a serem respeitados).

Em seguida discutiremos quais são os principais parâmetros de QoS, e em quais tipos de aplicações são mais críticos, segundo a visão de Martins (2011).

3.1.1 Vazão / Bandwidth

A vazão, largura de banda (bandwidth) ou banda disponível é o parâmetro mais básico e crítico da QoS, sendo muitas vezes, o gargalo para a adequada operação de qualquer aplicação (SANTANA, 2011).

3.1.2 Latência (Atraso)

A latência (delay) pode ser entendida como a soma de todos os atrasos gerados pela rede de comunicação e equipamentos utilizados. Do ponto de vista da aplicação, a latência (soma dos atrasos) gera um tempo de resposta para a aplicação (SANTANA, 2011).

Os principais fatores que influenciam na latência de uma rede são:

- Atraso de propagação do sinal no meio de transmissão (Propagation Delay);
- Velocidade de transmissão;
- Tempo de processamento nos equipamentos da rede;

O atraso de propagação refere-se ao tempo gasto para a propagação do sinal elétrico ou óptico através meio utilizado (satélite, fibra óptica, cobre, etc), portanto, é um tempo imutável, e sem influência do administrador da rede (MARTINS, 2011).

A velocidade de transmissão por sua vez, pode ser administrada pelo gerente de rede, a fim de se obter uma melhoria na qualidade de transmissão dos dados a partir do maior fluxo de dados transmitido por unidade de tempo. Em se tratando de redes locais (LANs), a velocidade de transmissão normalmente são bastante elevadas, tipicamente superior a 10 Mbps por usuário. Considerando redes de longa distância

(WANs), as velocidades de transmissão são dependentes da escolha de tecnologia de rede: Linhas privadas, frame relay, satélite, ATM, etc (SANTANA, 2011).

Embora normalmente exista a possibilidade de contratação da velocidade de transmissão adequada a cada tipo de necessidade, observa-se que o custo aumenta proporcionalmente à de disponibilidade dessa velocidade. Em termos práticos, trabalha-se em WANs com vazões da ordem de megabits por segundo (Mbps), compartilhados para grupos de usuários (MARTINS, 2011).

O terceiro fator que influencia na latência de transmissão é o tempo gasto referente aos processamentos realizados nos equipamentos de rede. Por exemplo, em uma rede IP, os pacotes são processados ao longo do percurso origem - destino por: roteadores, switches, firewalls, entre outros equipamentos. Ainda nos casos dos hosts, este atraso depende de fatores como: disponibilidade de memória, capacidade de processamento, mecanismos de cachê, e outros.

O resultado das considerações levantadas até agora, leva a conclusão que a oferta de QoS é certamente mais crítica em redes WAN, pelos seguintes pontos:

- Opera-se com velocidades (vazão) mais baixas;
- A latência é muito superior comparada às redes de âmbito local;

3.1.3 Jitter

O jitter é o parâmetro que mede a variação estatística do atraso na entrega de dados em uma rede, ou seja, é a medida de variação do atraso dos pacotes recebidos sucessivamente (SANTANA, 2011).

Uma variação de atraso elevada produz uma recepção não regular dos pacotes, portanto, este parâmetro é de fundamental importância para os tipos de serviços em

que a operação adequada depende da garantia de que as informações devem ser processadas em intervalos de tempo bem definidos. Por exemplo, aplicações de voz, como VoIP (voz sobre IP), e aplicações de tempo real.

Do ponto de vista da rede de computadores, a ocorrência do jitter é resultado da variação do parâmetro de latência, e este, é variável devido a uma série de fatores, como visto anteriormente.

A figura 02 ilustra o efeito do jitter na entrega de pacotes em um destino. Observe que o jitter causa, eventualmente, a entrega de pacotes fora de ordem.

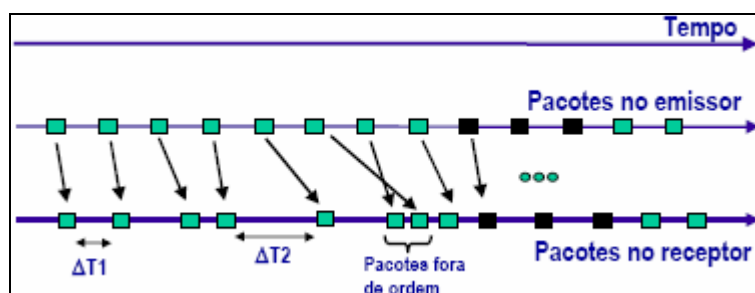


Figura 2 – Representação do *Jitter*
Fonte: MARTINS (2011)

Uma das maneiras de minimizar a variação do atraso é a utilização de buffer (buffering), o qual armazena os dados à medida que eles chegam e os encaminha para a aplicação segundo uma mesma cadência.

3.1.4 Perdas

As perdas de pacotes são inevitáveis em qualquer tipo de rede de comunicação, e ocorrem em função de fatores como:

- Erros ocorridos durante a transmissão, na camada de enlace, geralmente produto de interferências do meio externo;
- Descarte de pacotes nos dispositivos da rede, produto de congestionamentos.

De maneira geral, a perda de pacote em redes IP é um problema sério para determinadas aplicações. Entretanto, o que fazer em caso de ocorrência de perdas é uma questão específica de cada aplicação em particular.

Do ponto de vista da QoS da rede, a preocupação é no sentido de especificar e garantir limites razoáveis da taxa de perdas, que permitam uma operação adequada das aplicações (SANTANA, 2011).

3.1.5 Disponibilidade

A disponibilidade é um aspecto da QoS que referencia a medida da garantia de execução da aplicação ao longo do tempo, e depende de fatores como:

Disponibilidade da rede de comunicação, geralmente pública, quando a mesma é utilizada. (Operadoras de telecomunicações, ISPs, etc).

Disponibilidade dos equipamentos utilizados na rede proprietária (roteadores, servidores, etc);

Uma vez que as companhias e organizações dependem cada vez mais das redes de comunicação para a viabilização dos seus negócios, a disponibilidade é um fator crítico e bastante rígido.

É muito comum ter requisitos de disponibilidade acima de 99% do tempo para aplicações baseadas na WEB.

CAPÍTULO 4 - TECNOLOGIAS CONVENCIONAIS

Este capítulo apresenta os principais modelos oferecidos pela camada de enlace e rede para provimento da comunicação “fim-a-fim” entre um host origem e um host destino, bem como as principais tecnologias existentes para estas abordagens.

4.1 - A CAMADA DE ENLACE

A camada de enlace de dados, ligação de dados ou link de dados é a segunda das sete camadas do modelo de referência ISO/OSI, responsável pela manutenção do link físico entre dois dispositivos de rede comunicantes.

Tanenbaum (2003) afirma que a função básica da camada de enlace é o fornecimento de uma interface de serviço bem definida à camada de rede, conseguindo administrar eventuais erros de transmissão e controlando o fluxo de dados, de tal forma que evite congestionamentos.

O serviço oferecido pela camada de enlace para a camada de rede, refere-se ao processo de transferência de dados da camada de rede, de uma máquina transmissora, e conseqüentemente, a entrega destes dados à camada de rede da máquina destino.

Segundo Tanenbaum (2003), existem três modelos básicos de serviços oferecidos pela camada de enlace à camada de rede. São eles:

- Serviço sem conexão e sem confirmação;
- Serviço sem conexão e com confirmação;
- Serviço orientado a conexão, com confirmações;

4.1.1 Serviço sem Conexão e sem Confirmação

No primeiro modelo, o serviço sem conexão e sem confirmação, a camada de enlace de dados opera enviando mensagens de dados independentes à máquina de destino, sem para isto, estabelecer algum tipo de conexão ou comunicação anterior.

Se alguma mensagem for perdida no processo de transmissão, não existe nenhum mecanismo de identificação ou recuperação desta falha.

Portanto, este modelo é apropriado quando a taxa de erros de transmissão é muito baixa, e a recuperação de possíveis falhas fica a encargo de camadas superiores.

Este modelo também é adequado para as classes de tráfego onde os dados atrasados causam mais problemas do que dados recebidos com falhas, a exemplo da transmissão de voz em tempo real.

Pelas suas características, a maioria das redes locais – LAN, utiliza serviços sem conexão e sem confirmação na camada de enlace de dados, a exemplo das redes Ethernet (TANENBAUM, 2003).

4.1.2 Serviço sem Conexão com Confirmação

Neste segundo modelo de serviço, a camada de enlace de dados também não estabelece conexões lógicas entre dispositivos comunicantes, porém, toda mensagem transmitida é individualmente confirmada. Desta forma, o transmissor obtém um feedback do receptor sobre o estado da mensagem na sua chegada.

Caso a mensagem tenha sofrido alguma interferência ou falha durante a transmissão, ou no caso em que o transmissor não receba o feedback de uma transmissão em um tempo estabelecido, a mensagem poderá ser enviada novamente.

Este tipo de serviço é adequado para os meios de transmissão não-confiáveis, como os sistemas sem fio (TANENBAUM, 2003).

4.1.3 Serviço Orientado a Conexão com Confirmação

Segundo Tanenbaum (2003), o serviço orientado a conexão é o modelo mais sofisticado oferecido pela camada de enlace à camada de rede para a entrega e recepção de dados.

O modelo propõe que as máquinas de origem e de destino, devem estabelecer uma conexão lógica antes do início da transmissão dos dados. Este processo é análogo ao mecanismo de comunicação em uma chamada telefônica.

Em uma segunda etapa, após o estabelecimento da conexão lógica, ambos os hosts (origem e destino), podem inicializar variáveis e recursos para o processo de controle da transmissão, e desta forma iniciar a transmissão dos dados relevantes.

Na terceira e última fase, a conexão é encerrada, fazendo-se liberar as variáveis de controle utilizadas, buffers e outros recursos alocados para a transmissão.

4.2 - CAMADA DE REDE

Segundo Tanenbaum (2003), a camada de rede é a camada mais baixa do modelo de referência ISO/OSI que lida com a transmissão “fim-a-fim”, em outras palavras, a camada de rede está relacionada ao processo de transferência de pacotes de dados de uma origem até a entrega em seu destino, sendo que para isto, o pacote tenha que percorrer vários roteadores intermediários, realizando saltos (hops) ao longo do percurso.

Essa idéia contrasta claramente com a função da camada de enlace, uma vez que esta tem um objetivo mais modesto, de apenas mover os dados de uma extremidade de um link de dados até a outra extremidade (TANENBAUM, 2003).

Outra função essencial da camada de rede é a de escolher rotas ou caminhos mais apropriados para o encaminhamento dos pacotes de dados, a fim de se conseguir atingir o receptor.

Estas rotas devem ser selecionadas de forma a evitar a sobrecarga de determinados links de comunicação, ou de roteadores intermediários, enquanto que outras rotas estão ociosas.

Para atender a todos estes objetivos, é imprescindível que a camada de rede conheça então a topologia da sub-rede de comunicação, ou seja, o conjunto de roteadores e links disponíveis para o alcance dos hosts finais (TANENBAUM, 2003).

Segundo Tanenbaum (2003), o modelo de serviços oferecidos pela camada de rede à camada superior - transporte - também é um grande ponto de discussão no meio técnico/científico, encontrando defensores de dois modelos básicos de comunicação na camada de rede: o modelo sem conexão e o modelo orientado a conexão.

A comunidade representativa do modelo Internet (protocolo TCP/IP) defende a tese que uma sub-rede de comunicações é inevitavelmente pouco confiável, portanto, os host's finais devem aceitar o fato, e fazerem por si próprio o controle de erros e o controle de fluxo, portanto, não se faz necessário o estabelecimento de conexões lógicas antes do envio de pacotes de dados.

De outro lado, representado pelas companhias telefônicas, e embasado pelos anos de experiência bem-sucedida com o sistema telefônico mundial, o sistema orientado a conexão ganha força. De acordo com esta visão, a qualidade de serviço é o fator dominante e, sem conexões em nível de rede, é muito difícil alcançar esta qualidade de serviço, em especial para classes de tráfego de tempo real, como a transmissão de áudio/vídeo.

Essas duas abordagens podem ser melhor entendidas e exemplificadas a partir das redes Internet, não orientadas a conexão, e redes ATM, orientadas a conexão. Veremos agora as especificidades de cada um destes modelos, suas principais vantagens e desvantagens.

4.3 - MODELO INTERNET: REDE NÃO ORIENTADA A CONEXÃO

No modelo de rede exemplificado pela rede Internet (TCP/IP), os pacotes de dados são distribuídos individualmente na sub-rede de comunicação, e roteados de maneira independente uns dos outros.

Isto quer dizer que para se realizar a transmissão de um pacote de dados, na camada de rede, não é necessário nenhum tipo de estabelecimento de conexão lógica com o destino (TANENBAUM, 2003).

Neste contexto, os pacotes de dados são geralmente denominados de datagramas, em analogia com o processo de envio de um telegrama convencional.

Como os datagramas são roteados de maneira independente pela sub-rede de comunicação, é necessário que todos contenham o endereço completo da sua origem e do seu destino final. Pode acontecer inclusive que dois determinados datagramas sigam por rotas ou caminhos diferentes, mesmo tendo o mesmo host como destino final.

A figura 3 exemplifica uma sub-rede de comunicação não orientada a conexão, na qual três datagramas tomam rotas distintas para o mesmo destinatário final.

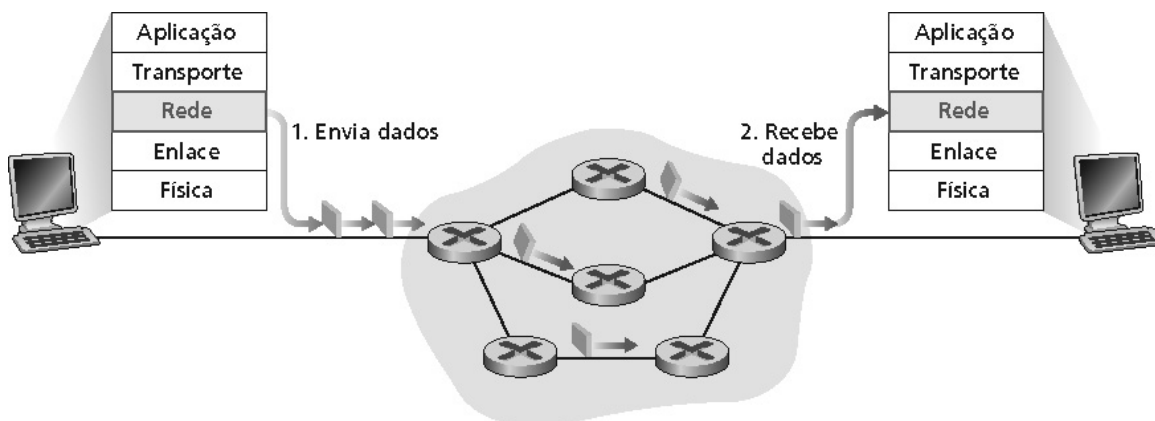


Figura 3 – Modelo de Rede não orientada a conexão
Fonte: Ross & Kurose (2010)

4.4 - MODELO ATM: REDES ORIENTADAS A CONEXÃO

A proposta do modelo de sub-rede orientado a conexão é o estabelecimento e configuração de circuitos virtuais antes do início do processo de comunicação, permitindo a definição de uma rota única para o envio de uma grande quantidade de pacotes de dados.

Desta forma, consegue-se evitar a necessidade de escolha de uma nova rota para cada pacote enviado de uma origem para um destino (TANENBAUM, 2003).

Depois de estabelecida uma conexão, cada pacote de dados transporta um identificador curto, que identifica apenas a qual circuito virtual ele pertence. Os roteadores intermediários devem possuir um controle sobre os circuitos virtuais e o estado das conexões que passam por eles.

Quando a transmissão é finalizada, a conexão é liberada e o circuito virtual também é encerrado.

A figura 04 exemplifica o processo de transmissão de dados em uma rede orientada a conexão.

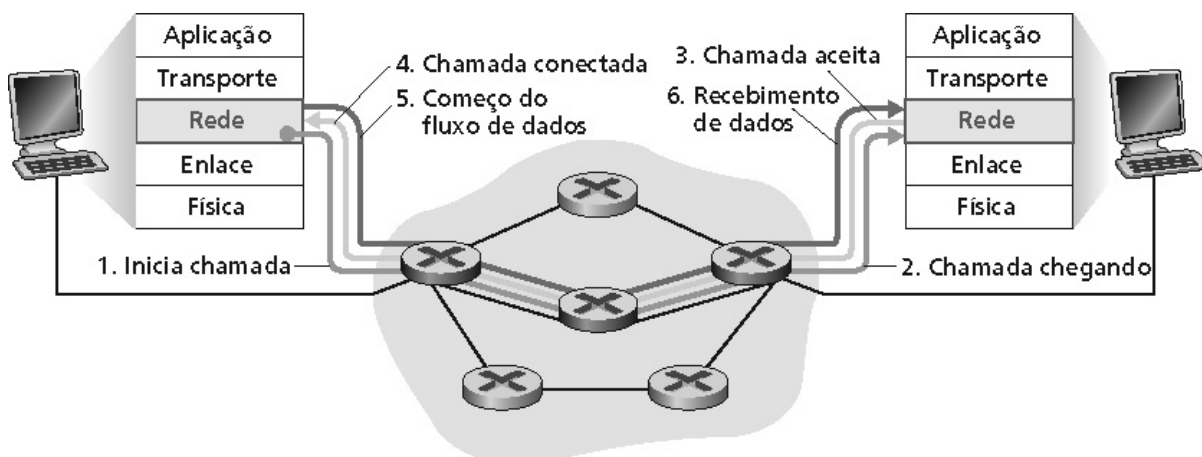


Figura 04 – Modelo de Rede Orientada a Conexão
Fonte: Ross & Kurose (2010)

A primeira tecnologia de rede orientada a conexão foi a tecnologia X.25, e também a primeira rede pública de dados. Foi desenvolvida na década de 70, auge do serviço telefônico mundial (TANENBAUM, 2003).

Para acessar a rede, um computador iniciava uma chamada telefônica para estabelecer uma conexão com um computador remoto. A esta conexão era atribuído um identificador, uma vez que o computador remoto poderia estabelecer várias conexões simultâneas.

Todos os pacotes transmitidos através desta conexão eram identificados pelo mesmo número de identificação da conexão, composto por 12 bits (TANENBAUM, 2003).

Já na década de 80, as redes X.25 foram gradualmente substituídas por um novo tipo de rede denominado Frame Relay.

O diferencial desta nova tecnologia é o fato de não implementar o controle de erros e nenhum controle de fluxo. Por se tratar de uma rede orientada a conexão, os pacotes de dados eram entregues em ordem (quando entregues).

Uma nova tecnologia de rede orientada a conexão, provavelmente a mais importante no cenário atual, projetada na década de 90, foi a denominada rede ATM.

A rede ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) prometia resolver todos os problemas de redes e telecomunicações do mundo, mesclando voz, dados, televisão a cabo, telex, telégrafo, pombo-correio, latas conectadas por barbantes, tambores, sinais de fumaça e todos os outros meios de comunicação em um único sistema integrado que poderia fazer tudo para todos (TANENBAUM, 2003).

Claramente pode-se perceber que não foi bem assim, contudo, atualmente a arquitetura de rede ATM é amplamente utilizada dentro das companhias telefônicas, até mesmo para movimentar pacotes de dados de tecnologias não orientadas a conexão, como o próprio IP. Desta forma, por ser utilizado principalmente pelas operadoras para transporte de dados internamente, muitas vezes os usuários não percebem sua existência, mas sem dúvidas, as redes ATM ainda estão vivas. (TANENBAUM, 2003).

Desde sua concepção, as redes ATM foram projetadas para integrar voz, vídeo e dados através de uma única rede. Para isto, a tecnologia trouxe conceitos diferentes daqueles utilizados em outras arquiteturas, como a *Ethernet*, são eles: célula, endereçamento e utilização de circuitos virtuais (SOARES, 1995).

A transmissão assíncrona baseia-se no seguinte aspecto: transmissão de pequenos pacotes de dados, de tamanho fixo, e estrutura definida, denominado células. As referidas células são transmitidas através de conexões de circuitos virtuais estabelecidos (SOARES, 1995).

Por ser uma rede orientada a conexão, o envio de pacotes de dados exige primeiro a configuração de uma conexão lógica. Esta conexão será realizada por meio dos roteadores intermediários entre a origem e destino, e que armazenarão em tabelas

internas as informações referentes a esta conexão, como os recursos reservados para esta e o seu número de identificação (TANENBAUM, 2003).

A maioria das redes ATM suportam tanto conexões permanentes entre dois *hosts* distantes (análogo a uma linha dedicada em um sistema de telefonia) através da configuração de PVC's (*Permanent Virtual Circuits*), quanto conexões temporárias, por sinalizações e configuração de SVC's (*Switched Virtual Circuits*). (TANENBAUM, 2003; ENNE, 2009).

Cada conexão ATM possui uma identificação de conexão exclusiva, esta identificação é composta pelo VPI (*Virtual Path Identifier*) e VCI (*Virtual Channel Identifier*), que vão sofrendo operações de *swapping* ao longo de sua rota.

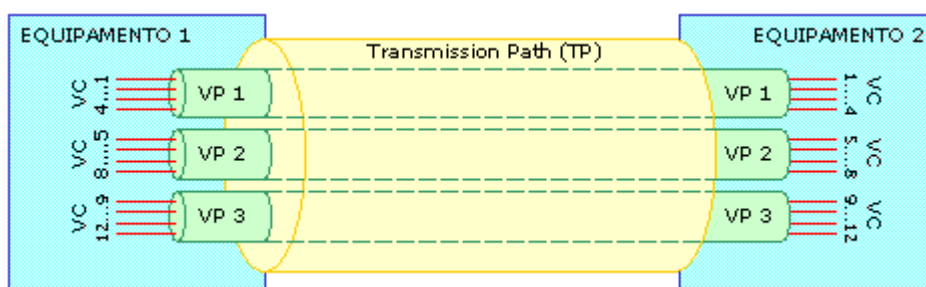


Figura 05 – Circuitos Virtuais e Canais Virtuais em uma rede ATM
Fonte: FILHO (2003).

Os pacotes de dados em uma rede ATM são denominados células, e possuem sempre um tamanho fixo de 53 bytes, dos quais 05 bytes são utilizados para formação do cabeçalho e 48 bytes de carga de dados úteis (TANENBAUM, 2003).

O argumento principal para se operar com células de tamanho fixo é a facilidade para construir roteadores capazes de tratar rapidamente células curtas e de comprimento fixo. O roteamento das células na arquitetura ATM, portanto, é realizado por meio de *hardware*, motivo este que possibilita a sua execução em alta-velocidade. Pacotes IP de tamanho variável, por exemplo, têm de ser roteados por meio de *software*, o que torna a operação consideravelmente mais lenta (TANENBAUM, 2003).

Outro benefício das redes ATM é a possibilidade de configurar o *hardware* (roteador) para replicar uma célula de entrada para as várias saídas de linhas. Esta é uma propriedade necessária para transmissões de difusão, como por exemplo, na transmissão de um programa de televisão. (TANENBAUM, 2003).

Por fim, as células ATM, por serem de tamanho pequeno, tendem a não bloquear nenhuma linha por muito tempo, o que torna mais fácil a garantia de qualidade de serviço para as aplicações da rede (TANENBAUM, 2003).

Entretanto, cabe ressaltar também as desvantagens e problemas enfrentados por esta tecnologia. Um dos pontos negativos da arquitetura ATM é o seu alto custo de implementação, o que limita sua utilização em organizações de menor porte. Outro fator determinante é a falta de padronização dos protocolos de camadas superiores, o que inviabiliza a comunicação transparente com outras tecnologias de rede (DIAS, 2011).

Conforme veremos adiante, o MPLS se caracteriza pela operação em modo multiprotocolo, isto quer dizer que o MPLS pode ser suportado, em princípio, por qualquer tecnologia de rede local, metropolitana ou interurbana, seja ela por modo circuito virtual ou modo datagrama, e que utilize dispositivos terminais como *switches* ou roteadores (ENNE, 2009).

[...] O MPLS com suporte em redes ATM, definido na RFC 3035, representa uma importante opção de forma de constituição de redes de comunicação de dados. Obtém-se com ela as vantagens de alta performance e alta disponibilidade da tecnologia ATM, sem incorrer nas desvantagens apresentadas pelas soluções anteriores para a transmissão de datagramas IP sobre ATM, no modelo *overlay*, tais como LANE e o MPOA (ENNE, 2009).

4.5 - REDES DE CIRCUITOS VIRTUAIS x REDES DE DATAGRAMAS

Segundo Tanenbaum (2003), tanto as redes baseadas em circuitos virtuais (orientadas a conexão), como as redes de datagrama (não-orientadas a conexão)

tem seus simpatizantes, baseadas pelas vantagens e desvantagens oferecidas por cada modelo.

A seguir temos um quadro comparativo, acerca das principais questões e argumentos relativos a ambos os modelos citados.

Questão	Sub-Rede de Datagrama	Sub-Rede de Circuito Virtual
Configuração de circuitos	Desnecessária	Obrigatória
Endereçamento de pacotes	Cada pacote contém os endereços completos de origem e destino.	Cada pacote contém um número curto que identifica o circuito virtual.
Informações sobre o estado das conexões	Os roteadores não armazenam informações sobre conexões.	Cada circuito virtual deve ser armazenado em tabelas de roteadores.
Roteamento de pacotes	Cada pacote é roteado de forma independente.	A rota é determinada quando o circuito virtual é estabelecido. Todos os pacotes seguem esta mesma rota.
Efeito de falhas em um roteador	Nenhum, com exceção dos pacotes perdidos durante a falha.	Todos os circuitos virtuais que passam pelo roteador que apresenta defeito serão encerrados.
Qualidade de Serviço	Difícil.	Fácil, se for possível alocar recursos suficientes para a conexão.
Controle de congestionamento	Difícil.	Fácil, se for possível alocar recursos suficientes para a conexão.

Quadro 1 – Comparação CV e Datagramas
Fonte: TANENBAUM (2003).

É importante destacar que as redes de circuitos virtuais trazem uma considerável vantagem considerando a possibilidade de garantia da Qualidade de Serviço e ao prover mecanismos de controle de congestionamentos dentro da sub-rede, devido ao fato de alocar recursos como buffers, largura de banda, ciclos de CPU dedicados a cada circuito virtual configurado.

Em outro ponto de vista, os circuitos virtuais têm um grande problema de vulnerabilidade. Uma vez que um roteador apresente falhas, todos os circuitos virtuais que estiverem passando por ele terão de ser interrompidos. Por outro lado, em uma situação similar em uma rede de datagramas, os pacotes poderão seguir por uma rota alternativa, conseguindo-se atingir o destinatário de forma transparente.

Portanto, a perda de uma linha de comunicação é fatal para as redes orientadas a conexão que a utilizam, mas pode ser compensada com facilidade se fosse usados o modelo de datagramas, não-orientado a conexão.

CAPÍTULO 5 - MPLS

O MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) é uma tecnologia emergente que, além de possibilitar um aumento no desempenho do encaminhamento de pacotes, facilita a implementação da Qualidade de Serviço (QoS), Engenharia de Tráfego (TE) e Redes Virtuais Privadas (VPN) (WILLRICH, DIAS & BARRETO et al., 2011, p.1).

O MPLS é uma arquitetura de encaminhamento de pacotes IP, baseadas em etiquetas, em padronização pelo Internet Engineering Task Force (IETF), que se mostra como uma tecnologia emergente a ser empregada nos ISP's, como uma alternativa de suporte a qualidade de serviço (QoS), engenharia de tráfego e redes virtuais privadas - VPNs (DIAS, 2011).

Enne (2009) corrobora afirmando que o MPLS vem sendo objeto de grande atenção por parte dos órgãos internacionais de padronização, principalmente pelo IETF, entidade de padronização que representa a comunidade da Internet. Outros organismos de padronização como ITU-T, vêm também participando do processo.

A principal característica do MPLS é o roteamento de informações de forma dinâmica e extremamente eficiente, causando para isto, um impacto mínimo na arquitetura da infra-estrutura existente e predominante da Internet ().

Segundo Davie e Rekhter (2000), o MPLS desponta como um importante padrão pelas suas características:

- A agilidade no encaminhamento de pacotes proporcionada pela inspeção de etiquetas no denominado roteamento explícito, onde os pacotes são analisados somente na borda de um domínio MPLS;
- Implementação de orientação à conexão em redes IP, o que propicia a Engenharia de Tráfego;
- Suporte otimizado às arquiteturas de IP QoS como o IntServ (Serviços Integrados) e DiffServ (Serviço Diferenciado);

- Independência da tecnologia de camada de ligação de rede e protocolos da camada de rede, propiciando a integração e interoperabilidade em ambientes heterogêneos;
- Simplificação na interoperabilidade de redes IP não ATM e redes IP ATM, possibilitando o mapeamento de requisitos IP QoS em rede IP sobre ATM, pois tanto em redes não ATM como em redes ATM, o MPLS pode atuar como arquitetura única de encaminhamento de pacotes;
- Suporte à implementação de VPN em ambientes de grande escala, com simplificação de gerenciamento, incremento de desempenho e suporte a IP QoS.

5.1 - O MODELO OVERLAY

Segundo Enne (2009), existem dois tipos de rede de camada 2 (Enlace): são as redes sem conexão e as redes orientadas a conexão. A principal aplicação dessas sub-redes é o transporte transparente de datagramas de camada 3 (rede). Este modelo constitui o modelo *overlay*. Como exemplo, em redes locais – LAN é típico a utilização do protocolo Ethernet em conjunto com a pilha de protocolos TCP/IP.

Como no modelo *overlay* os switches camada 2 não têm funcionalidade de roteamento IP, as adjacências de roteamento ocorrem entre os próprios roteadores ou *hosts* que se conectam a esses *switches*. São exemplos de redes de camada 2, não orientada a conexão: *Ethernet*, *Token Ring* e FDDI. Podemos citar ainda, como exemplo de redes de camada 2, orientadas a conexão: as redes ATM e as redes *Frame Relay* (ENNE, 2009).

Vale ressaltar que, embora tanto as redes orientadas a conexão, como as redes sem conexão, transportem datagramas de camada de rede no modelo *overlay* de maneira semelhante, existem algumas particularidades importantes.

As redes orientadas a conexão, como ATM, operam com base em circuitos virtuais, o que as tornam redes *não-broadcast*. A administração do provimento de circuitos virtuais torna-se, portanto, uma grande dificuldade para redes de grande porte.

Em qualquer uma dessas redes, o processo de controle, já crítico pelo tráfego de roteamento, é agravado pela necessidade de resolução de endereçamento. A necessidade de resolução de endereços camada 2 decorre do fato de que o processo de roteamento fornece o endereço IP do próximo salto em torno da configuração do modelo *overlay* adotado, mas não fornece o correspondente endereço de sub-rede, que no caso é a rede de camada 2 de suporte. Para entendimento dessa necessidade deve ser utilizado um protocolo da família ARP (protocolo de resolução de endereços) apropriado para a rede de suporte.

5.2 - A PROPOSTA DO MPLS

Nas redes tradicionais, a exemplo da Internet, cada pacote de dados é tratado de forma independente pela rede, sendo encaminhado independentemente em cada roteador. Esse processo é baseado no endereço de destino carregado por cada pacote transmitido (TANENBAUM, 2003).

O MPLS adota a proposta de rotulação de pacotes, onde os dispositivos utilizarão rótulos ao invés do mapeamento de endereços para determinar qual é a próxima parada de um pacote recebido (veremos adiante as vantagens deste modelo), esta técnica é também conhecida como chaveamento de rótulos, ou *label switching* (BISOL & RISO, 2011).

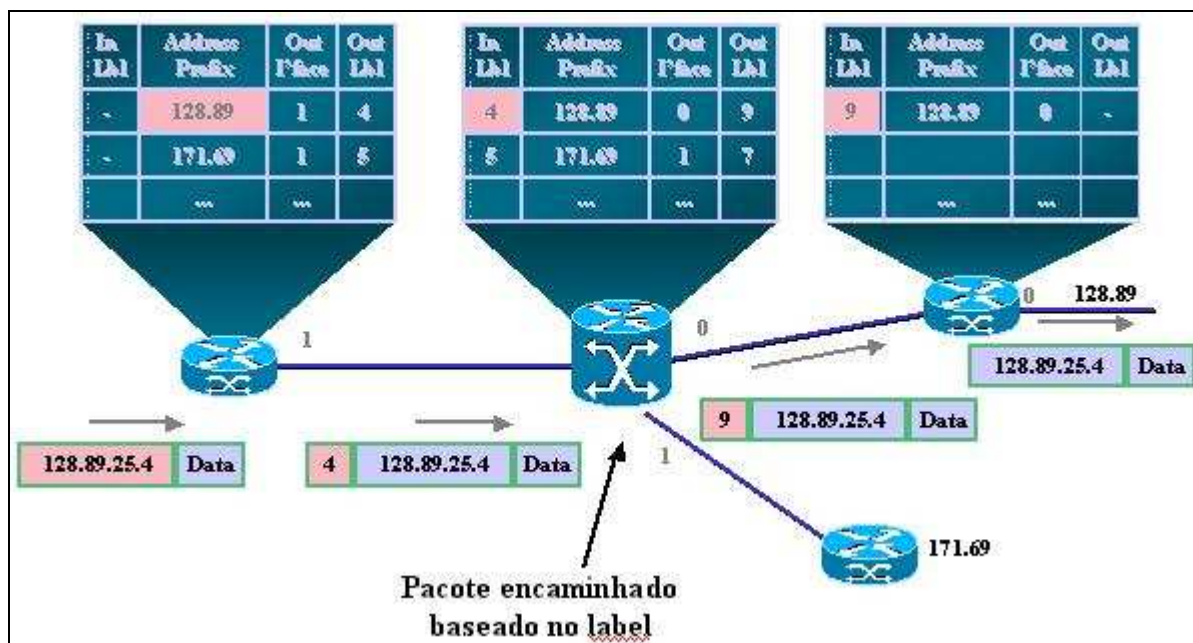


Figura 06 – Roteamento Baseado em Rótulos
Fonte: GTA UFRJ (2011)

Segundo Tanenbaum (2003), realizar o processo de roteamento utilizando rótulos como índices, torna o processo extremamente simples e rápido, como a busca de um valor em uma tabela interna.

Um datagrama básico que entra em uma rede MPLS é denominado *unlabeled packet*. Após a inserção de um ou mais *labels*, temos um pacote MPLS ou *labeled packet* (ENNE 2009).

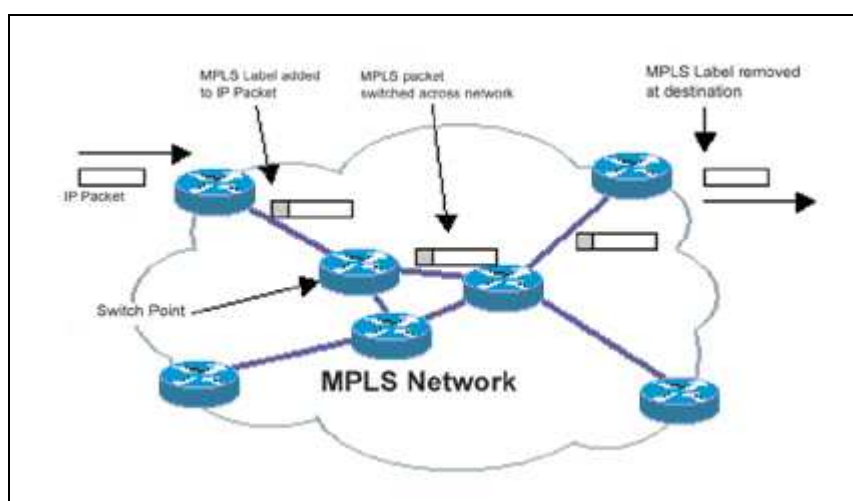


Figura 07 – Rede MPLS
Fonte: MPLS Experts (2011).

5.3 - CONCEITOS BÁSICOS

5.3.1 Label

Um *label* ou rótulo é um identificador curto, com tamanho fixo e significado local para um domínio MPLS. Todos os pacotes entrantes num domínio MPLS recebem um rótulo, sendo este, adicionado ao cabeçalho do pacote. Um roteador MPLS, portanto, só precisa analisar o rótulo para determinar o encaminhamento de um pacote - *label switching* (ENNE, 2009).

O rótulo de um determinado pacote pode eventualmente ser trocado a cada passagem ou salto através de um roteador MPLS (LSR). Esta característica de funcionamento denomina-se troca de rótulos ou *label swapping* (BISOL & RISO, 2011).

Os rótulos podem existir isoladamente de forma unitária, ou podem constituir-se em agrupamento hierarquizado de rótulos - *label stacks* ou pilha de rótulos (ENNE, 2009).

[...] O primeiro problema é onde pôr o rótulo. Tendo em vista que os pacotes IP não foram projetados para circuitos virtuais, não existe nenhum campo disponível para números de circuitos virtuais dentro do cabeçalho IP. Por esta razão, surgiu a necessidade de adicionar um novo cabeçalho MPLS antes do cabeçalho IP (TANENBAUM, 2003).

Existem duas formas de realizar a codificação dos rótulos, no cabeçalho MPLS. Em uma maneira, um cabeçalho MPLS é adicionado aos *unlabeled packets* e posicionado entre os cabeçalhos da camada 2 (Enlace) e da camada 3 (Rede), sendo esta a explicação do MPLS ser também classificado por alguns autores como protocolo de camada 2,5. Este cabeçalho MPLS é também conhecido como *Shim Header*, e pode ser visto na Figura 08 (ENNE, 2009).

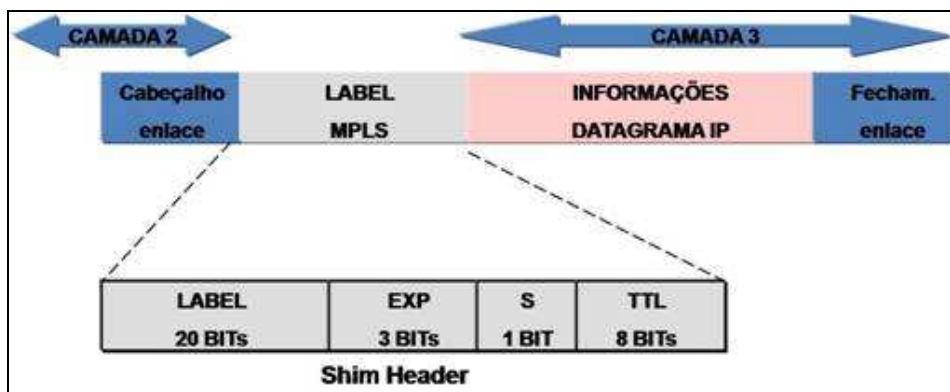


Figura 08 – Shim Header
Fonte: GTA UFRJ (2011).

Esta forma é denominada *generic encoding*, e é utilizada no caso de MPLS sobre redes sem conexão.

Uma outra abordagem é a utilização de campos já existentes nos protocolos de camada de rede orientados a conexão, que suportam o MPLS, como o *ATM Labels* (campo VPI) e os *Frame Relay Labels* (campos VCI e DLCI) (GIMENEZ, 2006).

[...] Como os cabeçalhos MPLS não fazem parte do pacote da camada de rede ou do quadro da camada de enlace de dados, considera-se o MPLS em grande parte independente de ambas as camadas. Entre outras coisas, essa propriedade significa que é possível construir *switches* MPLS que podem encaminhar tanto pacotes IP quanto células ATM, dependendo do tipo de objeto que surgir. Essa característica explica a palavra “multiprotocolo” no nome MPLS (TANENBAUM, 2003).

Como se verifica na figura 08 , os *shim label headers* contam com 32 bits, agrupados em 04 campos:

- Label (20 bits): destinado a identificação do rótulo do pacote;
- EXP (3 bits): destinado a referenciar a classe de serviço a que um pacote pertence, possibilitando indicar a prioridade do mesmo, ou seja, destina-se ao suporte de métricas de QoS;
- S - Stack bit (1 bit): Utilizado para indicar em uma pilha de rótulos (label stack), qual é o bottom label (S = 1). Os demais rótulos, inclusive o top label têm o stack bit igual a zero.

- TTL - Time to live (8 bits): a exemplo do que ocorre em redes IP, destina-se à detecção de looping na rede MPLS, através do decremento do campo TTL por cada roteador encaminhado.

Segundo Enne (2009), são reservados os seguintes valores para o campo Label:

- 0: IPv4 explicit null – o label é desnecessário mas o shim label header tem de ser enviado;
- 1: router alert – consiste em avisar o next-hop para que tenha maior cuidado com o pacote MPLS;
- 2: IPv6 explicit null – semelhante ao IPv4 explicit null;
- 3: implicit null – de uso exclusivo do LPD (Label Distribution Protocol) e serve para sinalizar para que o penúltimo LSR para que retire o label antes de enviar o pacote;
- 4 a 15: reservados sem definição ou para uso futuro;

Segundo Enne (2009), existem três tipos de operações realizadas com os rótulos:

- Inserção (pushing) de rótulos, realizada quando da entrada de um pacote, em um LER.
- Remoção (popping) de rótulos, realizada quando da saída de um pacote, em um LER.
- Troca (swapping) de rótulos.

5.3.1.1 Label Stacks

Como citado anteriormente, os rótulos (*labels*) no MPLS podem ser estruturados em níveis, formando uma pilha de rótulos, ou *label stacks*. Essa estruturação permite uma hierarquia de processamento dos rótulos de um pacote MPLS.

O processamento dos níveis de rótulos se dá por LIFO (*last in - first out*), ou seja, o último nível de rótulo - *top label* - inserido será o primeiro a ser processado. Com o *bottom label* ocorre o inverso, isto é, será o primeiro rótulo inserido e o último a ser processado (ENNE, 2009).

Um *label stack* com *m* níveis é denominado *label stack* com profundidade *m*. O *bottom label* é o rótulo de nível 1 e o *top label* o rótulo de nível *m*. Um *unlabeled label* corresponde a um *label stack* de profundidade zero, enquanto um pacote MPLS com apenas um rótulo possui *label stack* de profundidade 1 (ENNE, 2009).

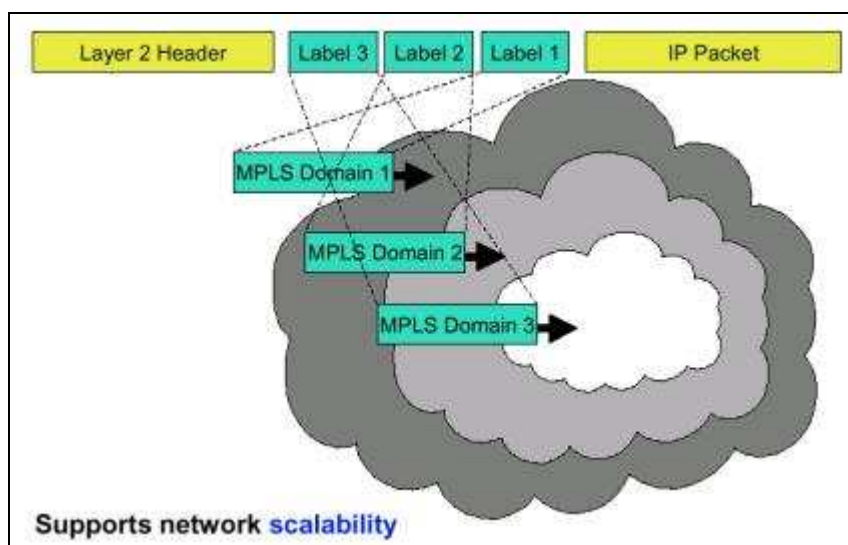


Figura 09 – Exemplo de uma rede MPLS com três níveis
Fonte: GTA UFRJ (2011).

5.3.2 Forwarding Equivalence Class (FEC)

Uma FEC ou classe de equivalência de encaminhamento, consiste no conjunto de parâmetros que irão definir um caminho para os pacotes. Os pacotes associados a mesma FEC serão tratados de forma equivalente para fins de encaminhamento (ENNE, 2009).

[...] é comum os roteadores agruparem vários fluxos que terminam em um certo roteador ou LAN e usarem um único rótulo para eles. Dizemos que os fluxos agrupados sob um único rótulo pertencem à mesma FEC – classe de equivalência de encaminhamento. Essa classe abrange não apenas os lugares onde os pacotes passarão, mas também sua classe de serviço, assim como em um serviço diferenciado, porque todos os seus pacotes serão tratados do mesmo modo para fins de encaminhamento (TANENBAUM, 2003).

Um exemplo de uma FEC é o conjunto de pacotes cujos endereços IP de origem e destino são os mesmos. Uma FEC portanto, representa em uma visão básica, o endereço IP de destino dos pacotes MPLS, que se constitui no elemento de FEC único para a definição do caminho a ser seguido por estes pacotes na rede MPLS.

Além desse elemento básico de FEC, outros elementos podem ser considerados na definição de uma FEC, como atributos de QoS a serem atendidos, número da porta da fonte ou destino, e outros.

Uma FEC é representada por um rótulo, conhecido pelo par adjacente de LSR.

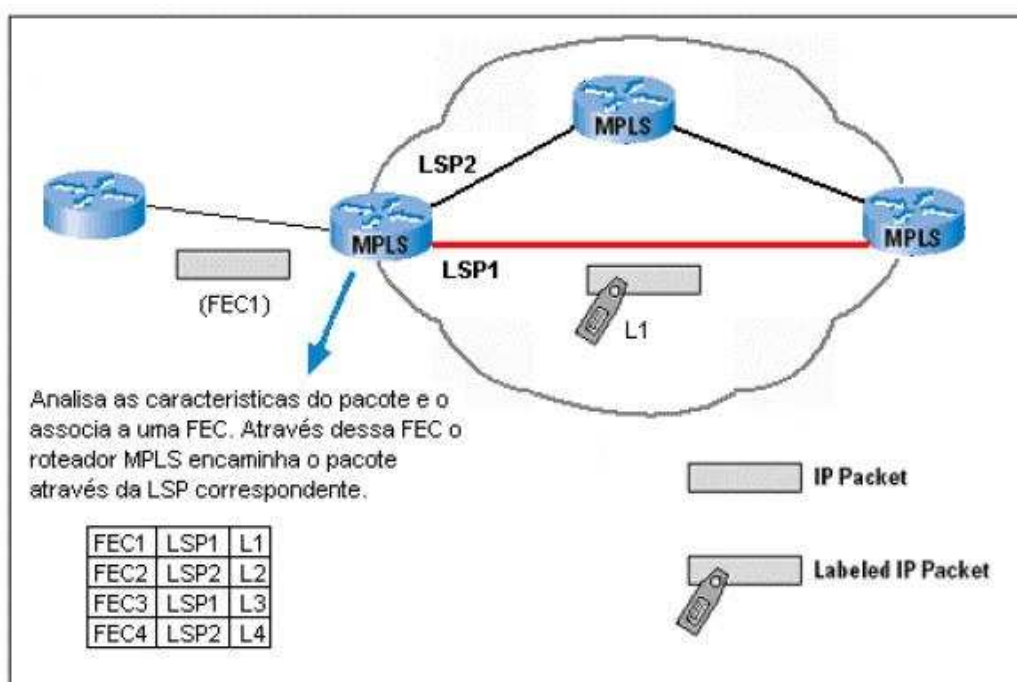


Figura 10 – Associação de um FEC a um LSP
Fonte: GTA UFRJ (2011).

5.3.3 Label Switching Router (LSR)

Os LSRs (Label Switching Routers) são os nós presentes no núcleo de uma rede MPLS, responsáveis pela comutação dos pacotes MPLS através dos rótulos. Segundo Enne (2009), os LSRs podem ser classificados em três tipos:

- Frame - Based LSRs: são os LSRs constituídos sobre Ethernet switches e sobre roteadores IP operando com o protocolo PPP (Point-to-Point Protocol);
- ATM - LSRs: são os LSRs constituídos sobre centrais (switches) ATM;
- FR - LSRs: são os LSRs constituídos sobre centrais (switches) Frame Relay.

O LSR é, portanto, o dispositivo que executa o processo de encaminhamento de pacotes MPLS, baseado apenas nos rótulos destes (DIAS, 2011).

Vale ressaltar que os rótulos MPLS têm caráter identificador local, ou seja, somente entre dois LSRs vizinhos (GIMENEZ, 2006).

Cada par LSR deve portanto associar um rótulo a uma classe de encaminhamento, ou FEC. Caso um LSR receba um pacote MPLS com rótulo desconhecido, este será descartado (ENNE, 2009).

Os LSRs de um domínio MPLS se comunicam através de um protocolo específico, como o RSVP ou o LDP, afim de manter as tabelas de encaminhamento atualizadas.

5.3.4 Label Edge Router (LER)

Os LERs (Label Edge Routers), ou *Edge Label Switching Router*, são nós de borda das redes MPLS, responsáveis pela classificação e atribuição de *label(s)* aos *unlabeled packets*, ou pacotes ainda sem rótulos (ENNE, 2009).

O LER pode ser considerado LSR que, além das funções de encaminhamento e controle, acumula a responsabilidade pela inserção de rótulos aos pacotes, e de atribuir a estes, uma classe de equivalência de encaminhamento (FEC).

Segundo Dias (2011), este processo de ligação de pacotes a uma FEC pode ser tão complexo quanto necessário, sem afetar o desempenho geral da arquitetura, pois é efetuado somente na admissão do pacote.

Quando um LER está na saída do domínio MPLS, ele é responsável pela retirada do rótulo, mantendo a semântica normal de um pacote IP.

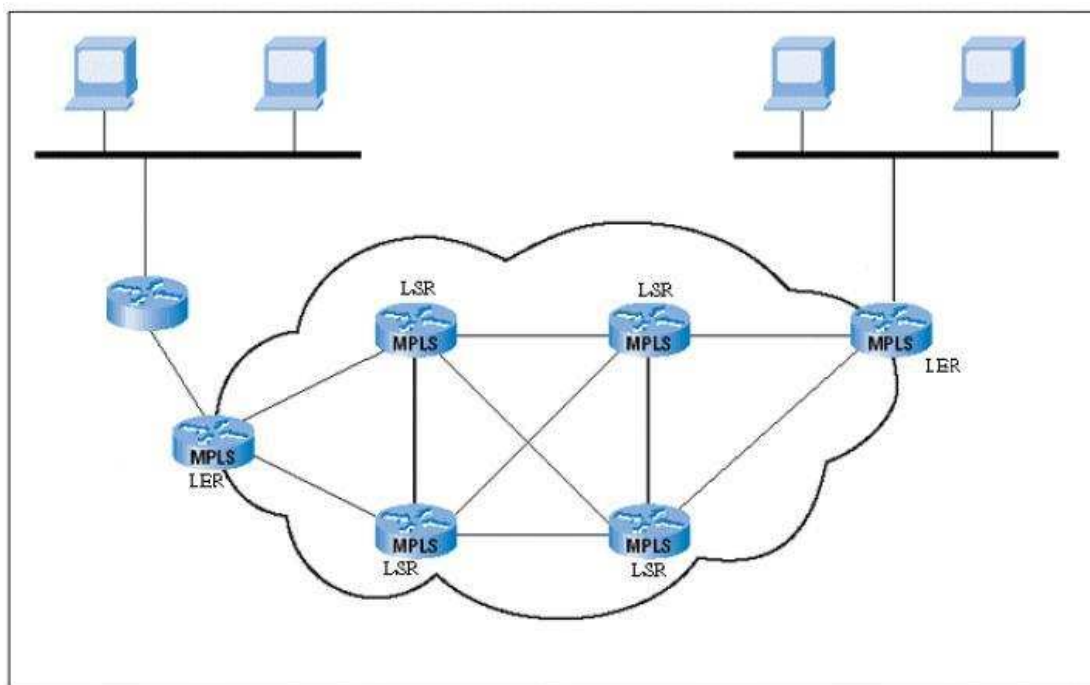


Figura 11 – Exemplo de uma rede MPLS
Fonte: GTA UFRJ (2011)

5.3.5 Label Switching Path (LSP)

Um LSP é um caminho percorrido por pacotes MPLS entre dois LSRs quaisquer, conforme a determinação de uma FEC (Forwarding Equivalence Class).

Um LSP é definido pela sequência de LSRs e pelos rótulos contidos nos pacotes MPLS que o atravessam.

Assim que um pacote entra numa rede MPLS, este é associado a uma classe de equivalência (FEC) através da atribuição de um rótulo, e assim é associado um LSP relacionado a esta FEC.

O LSR inicial de um LSP é denominado LSP Ingress e o LSR final de LSP Egress. Vale ressaltar que o início e o final de um LSP não estão necessariamente nas bordas da rede MPLS.

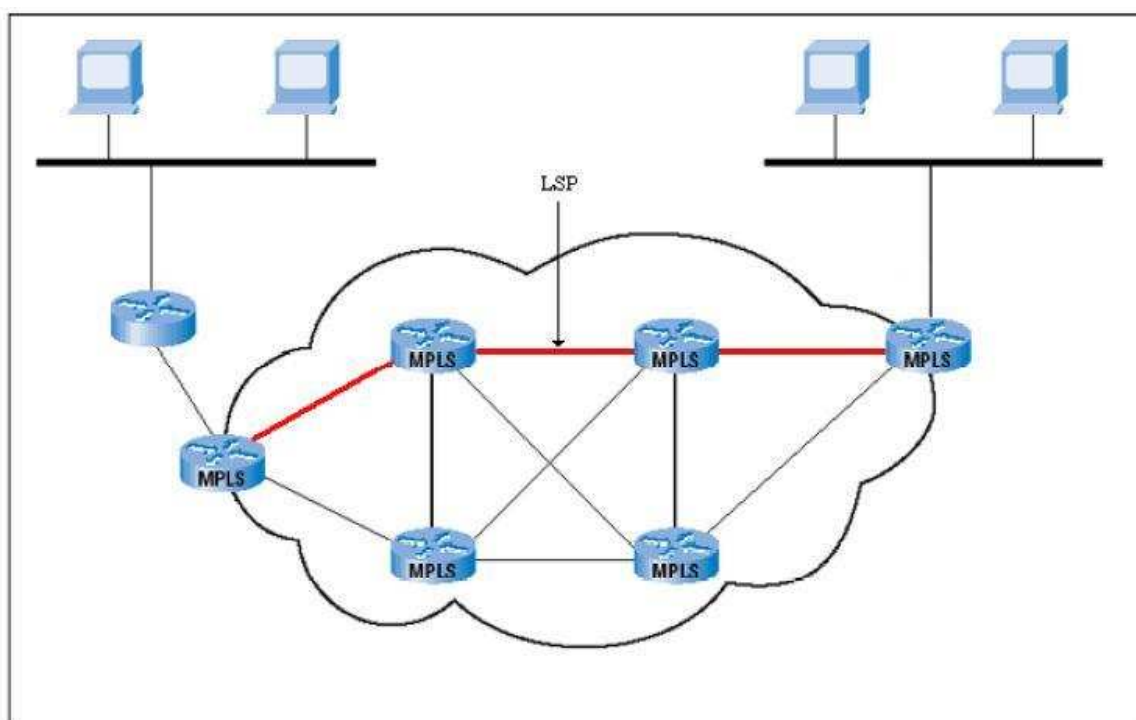


Figura 12 – Exemplo de LSP em uma rede MPLS
Fonte: GTA UFRJ (2011).

5.4 - BASES DE INFORMAÇÕES

Para o correto funcionamento do MPLS é necessária a utilização de algumas estruturas de dados para armazenamento de informações vitais para o processo de encaminhamento dos pacotes através da rede.

Estas informações são necessárias para auxiliar a interpretação de rótulos de entrada, associação deste rótulo de entrada com um rótulo de saída, determinado pela LSP correspondente, e o processo de descoberta de um rótulo adequado para um pacote de ingresso em um LER (BISOL & RISO, 2011).

Em geral, existem três estruturas básicas (ENNE, 2009):

- Label Information Bases (LIBs);
- Forwarding Information Bases (FIBs);
- Label Forwarding Information Bases (LFIBs);

A LIB ou base de informação de rótulos possui duas funções essenciais: auxiliar os LER's (roteadores de entrada da rede MPLS) a determinar um *label* válido para os pacotes de entrada na rede MPLS, através da análise de sua FEC / classe de equivalência. Este processo também é conhecido como *binding* local entre FECs e *labels* (ENNE, 2009; BISOL & RISO, 2011).

Outra importância vital da LIB para o MPLS é de auxiliar os LSR's na interpretação dos rótulos dos pacotes entrantes, sua associação com uma FEC específica, e a atribuição de um *label* de saída. A tabela LIB, portanto, armazena o relacionamento entre uma FEC, um *label* de entrada e um *label* de saída, para um determinado LER ou LSR presente na rede MPLS (ENNE, 2009).

A FIB ou base de informações de encaminhamento é a estrutura responsável por armazenar o relacionamento entre as FEC's e as suas respectivas interfaces de

saída. Geralmente esta tabela é resultado do processo de roteamento IP que associam as FEC's a estas interfaces (ENNE, 2009; BISOL & RISO, 2011).

A LFIB é a base de dados responsável por auxiliar os LSR's na indexação dos *labels* de entrada aos *labels* de saída, bem como às interfaces de saída do LSR correspondente (ENNE, 2009).

Como podemos perceber até aqui, a interpretação do FEC de um determinado pacote é realizado apenas uma vez, quando da entrada deste, a partir de um LER da rede MPLS, ou, em outras palavras, quando o pacote entra na rede MPLS.

Quando isto ocorre, o FEC a que pertence o pacote é codificado em um *label*, a partir do auxílio da LIB (*Label Information Base*), associando-se desta forma, um *label* a um FEC. Quando este pacote é encaminhado para o próximo LSR, o *label* é encaminhado juntamente com o pacote. Desta maneira, nos saltos subseqüentes da rede MPLS, nenhuma análise adicional para reconhecimento de FEC será necessária.

Isto acontece porque a partir de agora, o *label* sempre será utilizado como índice nas bases de informação presentes nos LSR da rede, que especificará o próximo salto e o novo *label* de saída.

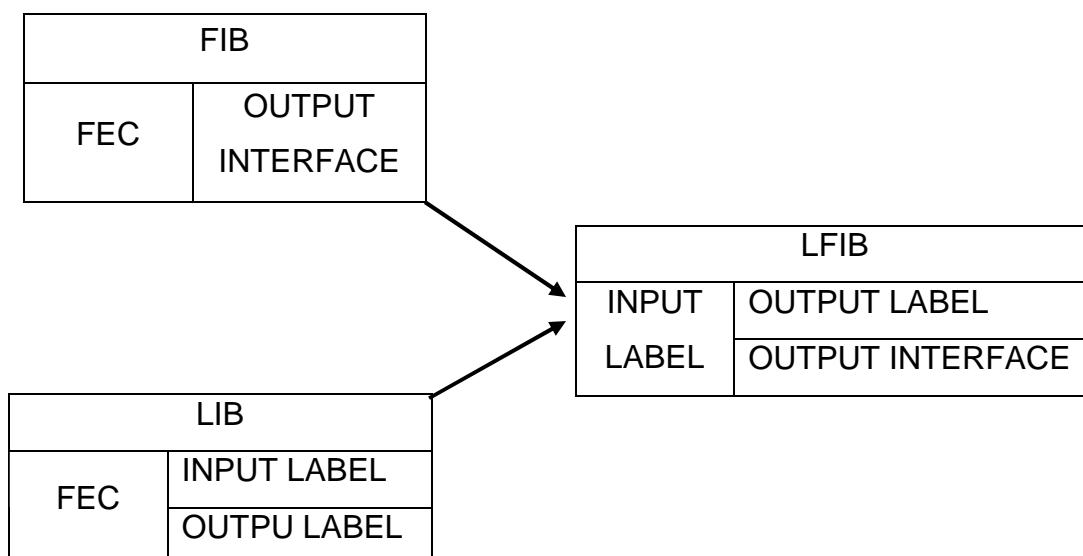


Figura 13 – Constituição de LFIBs
Fonte: ENNE (2009)

5.5 - DETERMINAÇÃO DE FEC's

Segundo Enne (2009), o primeiro passo para a operacionalização de uma rede MPLS é a criação das FEC's pela supervisão da rede.

Como vimos anteriormente, uma FEC ou classe de equivalência, refere-se ao conjunto de parâmetros pelos quais a rede irá determinar o caminho dos pacotes. Em outras palavras, os pacotes de dados associados a uma mesma classe de equivalência (FEC) serão tratados pela rede de maneira similar, sendo encaminhados pela mesma rota em uma rede MPLS. A cada uma das FEC's definidas é atribuída uma identificação própria (ENNE, 2009).

Em transmissões *unicast* de pacotes MPLS com base nos prefixos dos endereços IP de destino, os valores FEC's são os próprios prefixos IP. Contudo, a agregação de FEC's e a evolução do MPLS levam à necessidade de observação de outros critérios para definição de valores FEC, isto é, uma análise de outros elementos, além dos endereços IP de destino (ENNE, 2009).

Quando se utiliza a transmissão de pacotes *unicast* de pacotes MPLS, envolvendo parâmetros de QoS e reserva de recursos, a definição de FEC's passa a envolver outros elementos de FEC além dos prefixos de endereço IP de destino, como por exemplo a largura de banda mínima de faixa passante.

Como somente o LER (LSR *border*) abre o *header* IP para então definir a FEC correspondente, e os LSR's a jusante encaminham os quadros apenas com base nos *incoming labels*, o MPLS permite o uso de parâmetros não contidos no *header* IP também como elemento de FEC.

Por exemplo, um mesmo datagrama IP entrante por diferentes portas de um LER (*border LSR*) pode ser associado a diferentes FEC's específicas para cada porta de entrada, e assim receber diferentes tratamentos em sua transferência na rede MPLS. O mesmo pode ocorrer com datagramas IP que entram em diferentes LER's, e que por isso também podem receber tratamentos diferenciados em seu roteamento (ENNE, 2009).

Como resultante final, a definição dos caminhos para os pacotes MPLS é função da consideração de todos os elementos de FEC envolvidos. Neste contexto, quanto maior a agregação de FEC's maior será a granularidade de transmissão de pacotes, sendo que a máxima agregação possível corresponde à *coarsest granularity*. A *finest granularity* objetiva direcionar o roteamento, permitindo endereçar até mesmo um processo em uma aplicação contida em um determinado *host* (ENNE, 2009).

5.6 - MONTAGEM DE FIB's

Uma vez definidas as FEC's, a próxima etapa será a associação entre essas FEC's e as correspondentes interfaces de saída (*next-hops*). Esses *bindings* (associações) passam a constituir registros nas FIB's (*Forwarding Information Bases*) dos LSR's (ENNE, 2009).

As FIB's são bases de informações contidas nos LSR's que resultam dos processos de roteamento IP que associam as FEC's aos endereços IP de *next-hops* e às respectivas interfaces de saída.

Normalmente estas associações no MPLS constituem-se na utilização de protocolos de roteamento. Existem casos, contudo, em que essa associação é realizada por configuração, como nos exemplos em que a determinação de FEC's baseia-se em elementos de FEC não contidos nos *headers* dos datagramas IP (ENNE, 2009).

5.7 - BINDING LOCAL ENTRE FEC's E LABEL's

É responsabilidade de cada LSR assegurar a unicidade de associação e interpretação dos *labels* e suas FEC's, realizada localmente através do registro na base de informação LIB. Para garantia desta unicidade, um LSR *downstream* não pode associar um valor de *label* a duas diferentes FEC's para distribuição por uma mesma interface no sentido *upstream* (ENNE, 2009).

5.8 - DISTRIBUIÇÃO DE LABELS

Uma vez estabelecidas as associações locais entre FEC's e *labels*, os LSR's procedem a distribuição desses *bindings* mediante o uso de um protocolo de distribuição de *labels* (ENNE, 2009).

Segundo Enne (2009), podem ser citados os seguintes protocolos para esse fim:

- LDP (*Label Distribution Protocol*), definido pela RFC 5036;
- Extensões do BGP-4 para MPLS VPNs, definida pela RFC 3107;
- Extensões do RSVP para *Traffic Engineering*, definida pela RFC 3209;

Ainda segundo Enne (2009), a distribuição de *labels* deve acontecer de maneira confiável, com suporte em mecanismos adequados. Por este motivo, o LDP e a extensão do BGP-4, por exemplo, é utilizado o protocolo TCP para este propósito.

Antes de se iniciar a distribuição de *labels* propriamente dita, ocorrem algumas etapas precedentes que se fazem necessárias. No caso do LDP, existem três etapas básicas (ENNE, 2009):

- Etapa de descobrimento de pares LDP potenciais;
- Etapa de estabelecimento de sessões LDP;
- Etapa de distribuição de endereços IP;

Após a conclusão da etapa de descobrimento de pares LDP, que se apóia no protocolo UDP, ficam claras as adjacências LDP potenciais, tornando possível neste momento o início da etapa de estabelecimento de sessões. A partir de agora, as etapas possuem como suporte o protocolo TCP para garantir a confiabilidade necessária durante a configuração. (ENNE, 2009).

A partir deste momento, os LSR podem solicitar explicitamente a um LSR diretamente conectado ou distante, um *label binding* relativo a uma determinada FEC (*downstream-on-demand*). No modo *unsolicited downstream* os LSR's distribuem *labels bindings* para os seus pares LSR's sem que estes tenham solicitado. Implementações MPLS podem prover qualquer um dos modos ou podem prover ambos os modos (ENNE, 2009).

5.9 – MONTAGEM DE LFIB'S

Dispondo um LSR dos registros relativos a uma FEC nas respectivas bases de dados FIB e LIB, ele procede à conseqüente inserção de um registro em sua LFIB relativo à FEC em questão (ENNE, 2009).

Os registros da LFIB são indexadas pelos *labels* de entrada. Elas podem conter informações relativas a recursos que os pacotes podem utilizar e as operações a serem realizadas.

A RFC 3031 dá a denominação NHLFE (*next-hop label forwarding entry*) a cada sub-entrada ou registro presente na LFIB. E uma NHLFE contém basicamente as seguintes informações (ENNE, 2009):

- Identificadores associados à FEC (*label* de entrada, *label* de saída, prefixo IP do next-hop);
- Operações a serem realizadas no processamento dos *label stacks* dos pacotes recebidos;

Para melhor ilustrar o processo de construção da LFIB, iremos acompanhar uma configuração hipotética de uma rede MPLS, apresentada na figura abaixo.

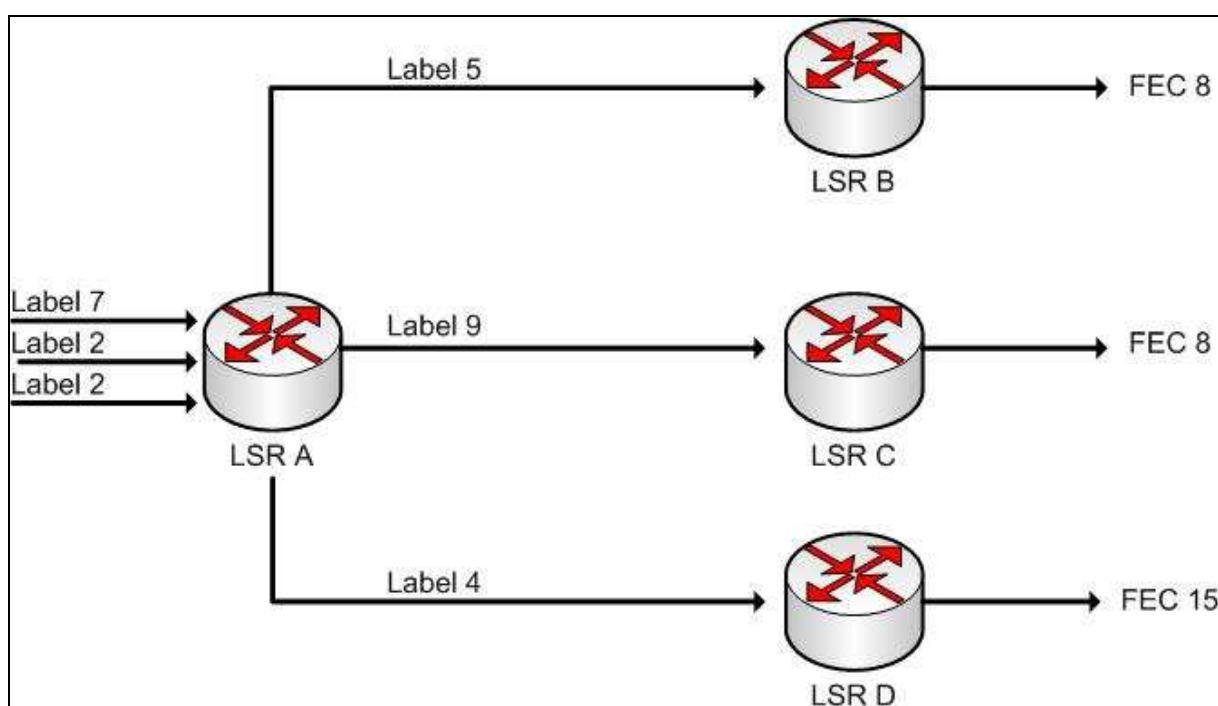


Figura 14 – Configuração Hipotética de uma rede MPLS

Fonte: Enne (2009).

Vemos agora nos quadros abaixo, os registros hipotéticos nas tabelas que precedem a montagem da LFIB do LSR A, a saber: FIB e LIB do LSR A.

FIB - LSR A		
FEC	NEXT HOP	INTERFACE DE SAÍDA
8	LSR B	3
	LSR C	4
15	LSR D	5

Quadro 02 – Registros em tabelas pré-LFIB (FIB - LSR A)

Fonte: Enne (2009).

LIB – LSR A		
FEC	INPUT LABEL	OUTPUT LABEL
8	2	5
	2	9
15	7	4

Quadro 03 – Registros em tabelas pré-LFIB (LIB - LSR A)
Fonte: Enne (2009).

O quadro 04 por sua vez, representa a LFIB (simplificada) do LSR A.

LFIB – LSR A		
INPUT LABEL	OUTPUT LABEL	INTERFACE DE SAÍDA
2	5	3
	9	4
7	4	5

Quadro 04 – LFIB Simplificada do LSR A
Fonte: Enne (2009).

Deste modo, após a criação das LFIB's, está encerrado a chamada fase de controle ou plano de controle do MPLS. Veremos a seguir o funcionamento da chamada fase de transferência de dados, ou plano de transferência de dados do MPLS (ENNE, 2009).

5.10 - FASE DE TRANSMISSAO DE DADOS

A partir do momento em que conhecemos as estruturas básicas existentes na arquitetura MPLS, podemos ilustrar uma operação básica de transmissão nesta tecnologia.

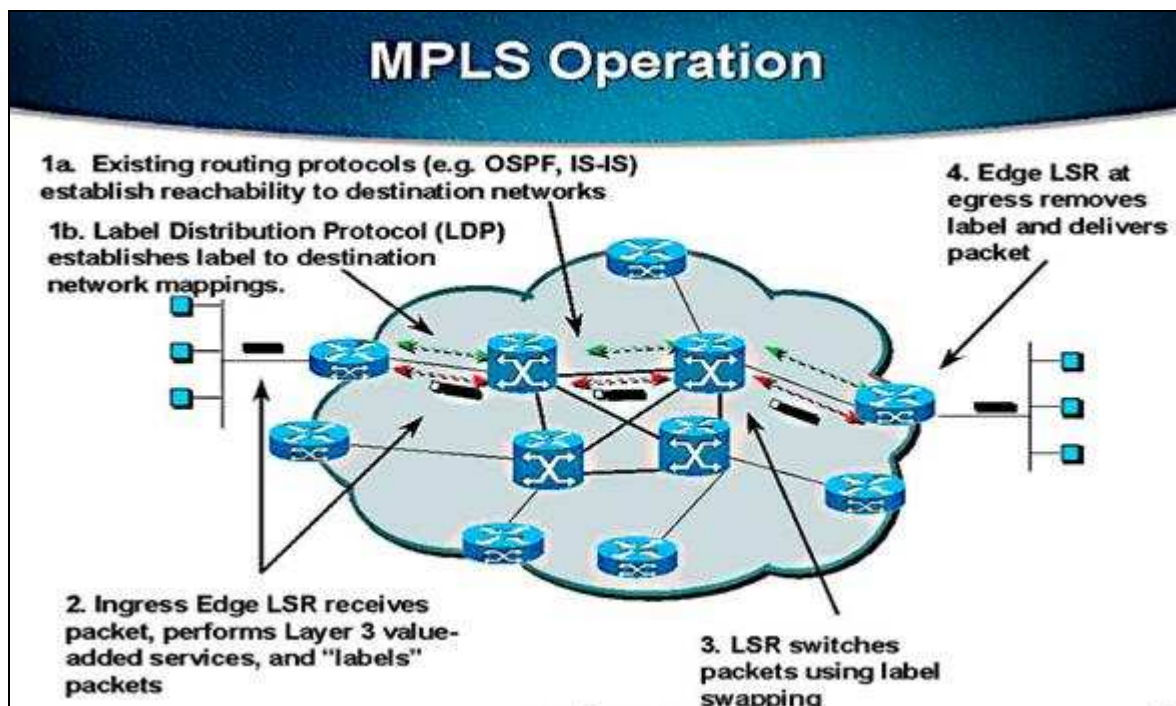


Figura 15 – Operação Básica MPLS
 Fonte: MPLS Tutorial (2011).

Após a montagem das LFIB's nos LSR's de uma rede MPLS (fase de controle ou plano de controle) dá-se início à fase de transmissão de pacotes (fase de transmissão dados ou planos de transmissão de dados). Esta última fase pode ser resumida nos três macro-passos a seguir.

O LER ou *border* LSR recebe um *unlabeled packet* (exemplo: datagrama IP), obtêm o valor da FEC a partir dos parâmetros estabelecidos pelo administrador, como o prefixo IP de destino e eventualmente outros parâmetros relacionados a QoS, acrescenta o *output label* obtido a partir de sua LFIB e envia o agora *labeled packet* (pacote MPLS) pela interface de saída também indicada pela LFIB (ENNE, 2009).

Um LSR intermediário recebe o pacote MPLS, consulta sua respectiva LFIB, processa o(s) devido(s) *label(s)* recebido(s) - *label swapping* - e envia o pacote MPLS pela interface de saída indicada pela LFIB (ENNE, 2009).

O LER de saída, ou *border* LSR recebe o pacote MPLS, retira o *label* e envia o datagrama IP conforme os procedimentos IP convencionais (ENNE, 2009).

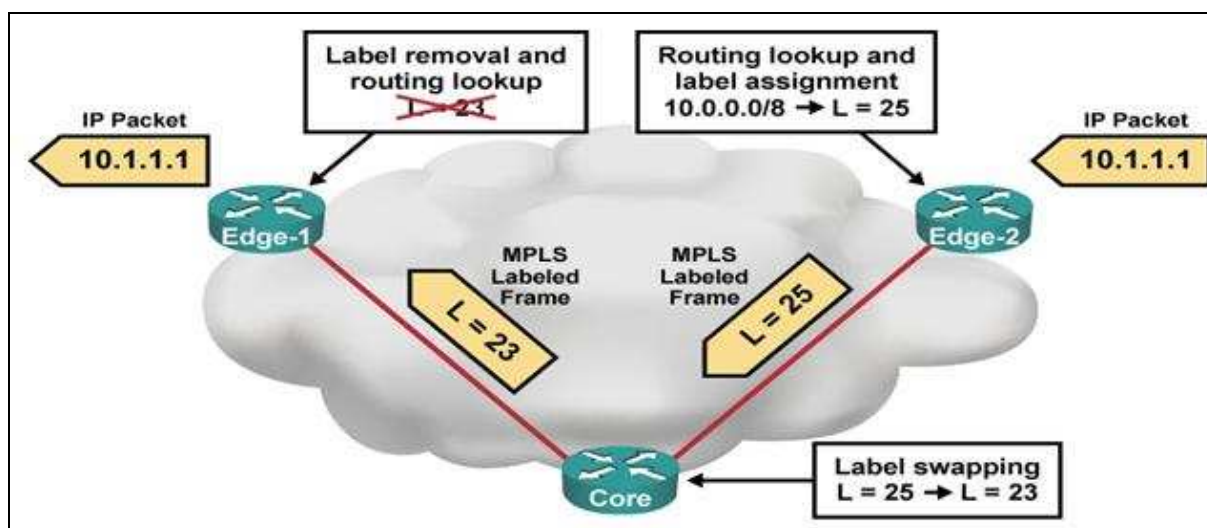


Figura 16 – Fase de Transmissão de dados no MPLS
Fonte: Cisco (2011).

CAPÍTULO 6 - ENGENHARIA DE TRÁFEGO (TE)

Segundo Enne (2009), a *Traffic Engineering* ou Engenharia de Tráfego tem como propósito criar condições para a operação de uma rede com eficiência e confiabilidade, utilizando ou alocando de forma otimizada, os recursos da rede, garantindo assim padrões de performance de tráfego. Tais propósitos são alcançados mediante a correta distribuição de tráfego pela rede, considerando as características e o grau de utilização dos *links* disponíveis.

A RFC 2702 descreve a funcionalidade básica de Engenharia de Tráfego em um sistema autônomo de roteamento com enfoque em sua utilização nas redes MPLS (MPLS TE), promovendo desta forma, o MPLS como uma das principais soluções para provimento de TE nas redes de comunicação.

A RFC 2702 indica ainda, a adoção de MPLS TE para a rede Internet global, comprovando que o MPLS se mostrou uma opção de rede *backbone* de grande importância para a Internet. E afirma que as capacidades do MPLS TE podem ser também adotadas em redes privadas de qualquer porte e em diferentes aplicações.

As ações de engenharia de tráfego podem ser automatizadas ou podem se realizar mediante intervenção manual. O desejado é minimizar a ocorrência de intervenções manuais, entretanto, sempre existirá a necessidade de controle humano da rede, para fins de acompanhamento da performance da rede e realizações de modificações de parâmetros e atributos de controle que se fazem necessárias.

Segundo Enne (2009), os dois principais objetivos da TE, quanto ao desempenho das redes são:

- Objetivos Orientados a tráfego;
- Objetivos Orientados a recursos;

Os objetivos orientados a tráfego são os aspectos relacionados à melhoria dos padrões de QoS já vistos anteriormente, como, minimização da perda de pacotes,

minimização de retardo, minimização da variação de retardo (*jitter*), maximização das taxas de vazão e reforço da garantia quanto aos níveis de serviço negociados. Desta forma, é comum a medição destes parâmetros, como retardo máximo de transferência de pacotes na rede e a taxa máxima de perda de pacotes.

Os objetivos orientados a recursos, por sua vez, dizem respeito à otimização de utilização de recursos, e se refletem sobre os objetivos orientados a tráfego, posto que, por exemplo, o congestionamento de uma rede redundante inevitavelmente no aumento da taxa de perda de pacotes. Portanto, a reserva prévia de recursos é uma estratégia de maior importância para se atingir os objetivos orientados a recursos.

O congestionamento de uma rede pode ser ocasionado por insuficiência total de recursos, ou pela má distribuição do tráfego na rede. O tratamento dessa última situação, como quando alguns *links* da rede estão congestionados e outros *links* estão sendo subutilizados, pode realizar-se por meio da aplicação de TE e suas diferentes técnicas.

6.1 - LIMITAÇÕES DOS PROTOCOLOS TRADICIONAIS

Segundo Gimenez (2006), o roteamento convencional baseado em algoritmos IGP (*Interior Gateway Protocol*), não proporciona uma distribuição de forma balanceada do tráfego, ou seja, alguns recursos podem ser subutilizados enquanto outros podem sofrer com cargas excessivas de tráfego.

O roteamento IGP, portanto, impõe limitações para a utilização de mecanismos de engenharia de tráfego nas redes, por sua inadequação a essas funcionalidades. Os protocolos IGP convencionais, como o protocolo RIP, são baseados em métricas que consideram apenas a topologia das redes e não consideram parâmetros importantes, como a disponibilidade de recursos, e as características de tráfego dos

links das redes, o que contribui significativamente para o congestionamento nessas redes (ENNE, 2009).

Essa constatação pode ser observada em redes IP, onde o tráfego da rede converge para determinados *links*, ou interfaces de roteadores, que se encontram em estado de congestionamento, enquanto verifica-se outras rotas subutilizadas (ENNE, 2009).

Contudo, existem alternativas de solução para atenuar as limitações dos protocolos IGP convencionais em redes IP, como a alteração das métricas utilizadas, e o roteamento baseado em políticas administrativas.

No primeiro desses métodos, a supervisão da rede pode aliviar uma situação indesejada de congestionamento em determinados *links*, alterando a métrica deste. Observa-se que uma mudança que alivia um determinado *link* significa prejudicar um outro *link*, tornando essa solução de difícil implementação prática, particularmente em redes de grande porte.

O método baseado em políticas administrativas consiste na definição de uma determinada rota a ser seguida por um subconjunto de pacotes IP, contudo, mais uma vez, sua limitação para uso em larga escala é facilmente observada (ENNE, 2009).

[...] Com o roteamento tradicional de circuito virtual, não é possível agrupar vários caminhos distintos com pontos extremos diferentes sob o mesmo identificador de CV, isto porque não haveria como distingui-los no destino final. No caso, do MPLS, os pacotes ainda contêm seu endereço final de destino, além do rótulo, possibilitando o encaminhamento da maneira habitual, com a utilização de um endereço de destino da camada de rede (TANENBAUM, 2003).

6.2 - ENGENHARIA DE TRÁFEGO SOBRE MPLS (MPLS TE)

Segundo Dias (2011), a tecnologia MPLS possibilitou a extensão das funcionalidades do protocolo IP. Com o seu emprego a implementação da engenharia de tráfego em redes IP é favorecida graças à possibilidade de execução

do roteamento explícito. O roteamento explícito é a capacidade de encaminhamento de pacotes em caminhos virtuais previamente definidos, os chamados *Label Switched Paths* (LSPs), pelo uso de protocolos de sinalização como o RSVP-TE e o CR-LDP.

Enne (2009) defende que a tecnologia MPLS é estrategicamente significativa para a Engenharia de Tráfego, por prover flexibilidade na constituição e alteração de rotas nos moldes do que ocorre nas redes de camada de enlace, orientadas a conexão, contudo, sem os inconvenientes do transporte de forma nativa do protocolo IP sobre essas redes.

A atratividade do MPLS para suporte a engenharia de tráfego pode ser atribuída aos seguintes fatores (ENNE, 2009):

- Ampla implementação de redes MPLS;
- Facilidade para associar atributos às classes de serviço;
- Facilidade para associar atributos a recursos (*links*);
- Facilidade para associar atributos à túneis MPLS TE para atendimento às classes de tráfego;
- Possibilidade de mapeamento das classes de tráfego em túneis MPLS TE;
- Facilidade para implementar túneis MPLS TE, de forma manual ou dinâmica;

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES

Após o estudo sistemático do modelo de comutação por rótulos, especialmente realizado pelo protocolo MPLS, podemos chegar a algumas conclusões e comparações com o modelo de roteamento convencional adotado na arquitetura Internet - TCP/IP.

Observamos que as redes baseadas no protocolo IP, não orientadas a conexão, a exemplo da Internet, não oferecem mecanismos de QoS como os encontrados em outros tipos de redes, orientadas a conexão, a exemplo da rede ATM e da rede *Frame-Relay*. O MPLS oferece a oportunidade para redes IP da sofisticação de uma rede “orientada a conexão”.

O primeiro ponto observado é a vantagem do MPLS em relação ao custo de processamento exercido pela escolha do encaminhamento dos pacotes recebidos pelo roteador. Na arquitetura de roteamento convencional, todos os nós intermediários da rede devem realizar uma análise completa do cabeçalho IP para determinar o próximo salto do pacote. Em paralelo, na tecnologia MPLS, esta análise só ocorre na borda da rede, através de um LER. A partir deste momento, os LSR da rede irão basear o encaminhamento dos pacotes a partir dos *labels* associados a estes.

[...] Fazer do rótulo um índice para uma tabela interna torna a localização da linha de saída correta apenas uma questão de pesquisa em uma tabela. Utilizando-se essa técnica, o roteamento pode ser realizado com muita rapidez, e quaisquer recursos necessários podem ser reservados ao longo do caminho (TANENBAUM, 2003).

Outra vantagem apontada pelas pesquisas realizadas, baseia-se nos parâmetros de decisão para roteamento dos pacotes de dados. Enquanto que a tecnologia convencional TCP/IP baseia seu roteamento somente a partir do endereço IP dos pacotes, o protocolo MPLS possibilita a adoção de outros parâmetros, de forma a permitir a obtenção de QoS – Qualidade de Serviço para os dados trafegados nesta rede.

Cabe apontar ainda que o MPLS não resulta em benefícios somente para arquitetura TCP/IP, mas por sua característica de multiprotocolo, pode atender um vasto conjunto de outras tecnologias e arquiteturas existentes.

O MPLS pode ser suportado em princípio, por qualquer tecnologia de rede local, metropolitana ou interurbana, seja ela modo circuito virtual ou de modo datagrama, que utilize dispositivos de comutação ou dispositivos de roteamento (ENNE, 2009).

Segundo Enne (2009), são utilizados normalmente os seguintes tipos de rede ou protocolo como suporte ao MPLS:

- ATM
- *Frame Relay*
- PPP
- *Ethernet*
- IP

REFERÊNCIAS

BADAN, T. A. C., PRADO, R. C. M., ZAGARI, E. N. F., Cardozo, E. e Magalhães, M., **Uma Implementação do MPLS para Redes Linux**. DCA - FEEC - UNICAMP, 19º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Florianópolis, Santa Catarina, maio de 2001. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.sbc.org.br/download.php?paper=1730>>. Acesso em: 19 de maio de 2011.

DAVIE, Bruce S.; REKHTER, Yakov. **MPLS. Technology and Applications**. Morgan Kaufmann, Publishers. 2000.

DIAS, Roberto A. **Serviços Diferenciados Baseado na Tecnologia MPLS em Redes Heterogêneas**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Gerência de Tecnologia de Informações (GTI), setembro de 2000. Disponível em: <http://professores.unisanta.br/santana/downloads%5CTelematica%5CCom_Dados_2%5CLEitura%20Adicional%5CMidia_MPLS.pdf>. Acessado em: 20 de abril de 2011.

DIAS, Roberto A. **Análise da Arquitetura MPLS como Infra-Estrutura para Suporte aos Serviços Diferenciados**. UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Informática e Estatística (INE), Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Gerência de Tecnologia de Informações (GTI), setembro de 2000.

ENNE, Antônio José F. **TCP/IP Sobre MPLS**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2009.

FILHO, Huber Bernal. **Tutorial Redes ATM**. Teleco Inteligência em Telecomunicações. 2003. Disponível em <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialatm/default.asp>>. Acesso em: 22 de Junho de 2011.

FOROUZAN, Behrouz A. **Comunicação de Dados e Redes de Computadores**. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

GIMENEZ, Edson Josias C.; VIEIRA, Rodrigo R.; CARDOSO, Maximiliano J. S. **Engenharia de Tráfego nas Redes MPLS: Uma Análise Comparativa de seu Desempenho em Função de suas Diferentes Implementações**. World Congress on Computer Science, Engineering and Technology Education. São Paulo, 2006.

GTA UFRJ - **Grupo de Teleinformática e Automação da Universidade Federal do Rio de Janeiro**. Disponível em < <http://www.gta.ufrj.br/> >. Acesso em: 14 de Maio de 2011.

MARTINS, Joberto; SANTANA, Hugo. **Qualidade de Serviço (QoS) em Redes IP: Princípios Básicos, Parâmetros e Mecanismos**. Santa Cecília. Disponível em: <http://professores.unisanta.br/santana/downloads%5CTelecom%5CCom_Digitais%5CAulas%20o.%20Bimestre%5CTexto%20QoS_IP_Itelcon.pdf>. Acesso em: 15 de abril de 2011.

_____. MPLS Tutorial; **What is MPLS**. Disponível em <<http://www.mplstutorial.com/mpls-tutorial-what-mpls-multi-protocol-label-switc>>. Acesso em: 02 de junho de 2011.

RFC 2702 - **Requirements for Traffic Engineering Over MPLS**, 1999

RFC 3031 - **Multiprotocol Label Switching Architecture**, 2001.

ROSS, Keith W; KUROSE, James F. **Redes de Computadores e a Internet: Uma Abordagem Top-Down**. 4ª ed. São Paulo: Pearson Education, 2010.

SANTANA, Hugo. **Qualidade de Serviços (QoS) em Redes IP**. Disponível em: <http://professores.unisanta.br/santana/downloads\Telematica\Com_Dados_2\Texto%20QoS_IP_Itelcon.pdf> Acesso em: 15 de Junho de 2011.

SOARES, Luiz F. G., LEMOS, G., Colcher, S. **Redes de Computadores: das LANs, MANs e WANs às redes ATM**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 1995.

TANENBAUM, A. S. **Redes de Computadores**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

WILLRICH, Roberto; DIAS, Roberto A.; BARRETO, Fernando; et al. **Estudo Experimental da Tecnologia MPLS: Avaliação de Desempenho, Qualidade de Serviço e Engenharia de Tráfego**. Núcleo de Redes de Alta Velocidade e Computação de Alto Desempenho, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis. Disponível em: < http://www.rnp.br/_arquivo/wrnp2/2003/eetma01a.pdf >. Acesso em: 20 de abril de 2011.