

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM TECNOLOGIAS, GERÊNCIA E
SEGURANÇA DE REDES DE COMPUTADORES

ROGER FONSECA NOGUEIRA

**Aplicação de QoS sobre MPLS em
equipamentos Cisco**

Trabalho de Conclusão apresentado como
requisito parcial para a obtenção do grau de
Especialista

Prof. Dr. Sérgio Luis Cechin
Orientador

Prof. Dr. Sérgio Luis Cechin
Prof. Dr. Luciano Paschoal Gasparry
Coordenadores do Curso

Porto Alegre, dezembro de 2008.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Pró-Reitor de Pós-Graduação: Prof. Aldo Bolten Lucion

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Flávio Rech Wagner

Coordenadores do Curso: Profs. Sérgio Luis Cechin e Luciano Paschoal Gaspary

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa Fernanda pelo apoio, compreensão e incentivo que me foi dado para a conclusão desta especialização.

Aos meus pais, pelo apoio dado em mais esta etapa de minha vida.

Ao professor Sérgio Luis Cechin, pela dedicação prestada na orientação deste trabalho.

A todos os amigos e colegas que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

O meu muito obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	6
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
RESUMO	10
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Roteamento IP.....	12
1.2 Comutação de <i>labels</i>.....	13
1.3 Estrutura do texto	13
2 ARQUITETURA MPLS.....	14
2.1 Origens do MPLS.....	14
2.2 História do MPLS no Cisco IOS.....	15
2.3 Conceitos e componentes.....	16
2.3.1 Labels	16
2.3.2 Empilhamento de <i>labels</i>	17
2.3.3 Label switch router(LSR)	17
2.3.4 Label switched path (LSP).....	18
2.3.5 Forwarding equivalence class (FEC)	18
2.3.6 Distribuição de <i>labels</i>	19
2.3.7 Tabelas de Encaminhamento	19
3 VPN, QOS E ENGENHARIA DE TRÁFEGO EM MPLS	21
3.1 VPN.....	21
3.1.1 Modelo <i>overlay</i>	21
3.1.2 Modelo peer-to-peer	22
3.1.3 Modelo MPLS.....	22
3.2 QoS.....	22
3.3 Engenharia de tráfego.....	23
3.3.1 Engenharia de Tráfego em MPLS	24
3.3.2 Componentes de Engenharia de Tráfego.....	25
4 CONFIGURAÇÃO DE QOS/MPLS EM EQUIPAMENTOS CISCO	26
4.1 Funções de QoS	26

4.2 Cisco IOS	27
4.3 Funcionamento do QoS sobre MPLS no Cisco IOS	27
4.4 DiffservTunneling Modes	28
4.5 Como o QoS funciona para tráfego MPLS	29
4.6 Configurando QoS sobre MPLS em um LSR de entrada	29
4.6.1 Classificação de pacotes IP utilizando uma “ <i>Class Map</i> ”	29
4.6.2 Definindo o campo EXP através do uso de um “ <i>Policy Map</i> ”	30
4.6.3 Associação de uma política de serviço de Qos para uma interface.....	30
5 CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATM	Asynchronous Transfer Mode
BGP	Border Gateway Protocol
CBWFQ	Class-based Weighted Fair Queueing
CSR	Cell Switching Routers
CoS	Classe de Serviço
CRC	Cyclic Redundance Check
DLCI	Data-link connection identifier
DSCP	DiffServ Codepoint
FEC	Forwarding Equivalency Class
FIB	Forwarding Information Base
FTN	FEC-to-NHLFE
FTP	File Transfer Protocol
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IETF	Internet Engineering Task Force
IOS	Internetwork Operating System
IP	Internet Protocol – Protocolo Internet
ISP	Internet Service Provider
LER	Label Edge Route
LFIB	Label Forwarding Information Base
LIB	Label Informations Base
LSP	Label Swith Path
LSR	Label Switch Routers
LLQ	Low-latency Queueing
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MQC	Modular Quality of Service Command Line Interface
OSPF	Open Shortest-Path-First Protocol
QoS	Quality of Service

RFC	Request for Comments
RIP	Routing Information Protocol
RSVP	Reservation Protocol
TED	Traffic Engineering Database
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TFIB	Tag Forwarding Information Base
TI	Tecnologia da Informação
ToS	Type of Service
TTL	Time to Live
VC	Virtual Circuit
VCI	Virtual Circuit Identifier
VP	Virtual Path
VPI	Virtual Path Identifier
VPN	Virtual Private Network
WRED	Weighted Random Early Detection

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Evolução do MPLS	15
Figura 2.1: Formato do <i>header</i> MPLS	16
Figura 2.2: alocação de <i>label</i> MPLS	17
Figura 2.3: Pilha de <i>Labels</i>	17
Figura 2.4: <i>Label switched path</i>	18
Figura 2.5: <i>Label switched path</i> aninhado	18
Figura 3.1: Rede utilizando roteamento IP.....	24
Figura 4.1: Exemplo de criação de <i>Class Map</i>	30
Figura 4.2: Criação de <i>Policy map</i>	30
Figura 4.3: associação de uma política de serviço.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 Funções de QoS e características correspondentes no Cisco IOS.....	26
---	----

RESUMO

O objetivo central deste trabalho é apresentar as principais características existentes em redes MPLS (*Multiprotocol Label Switching*), com foco na configuração de QoS (*Quality of Service*) com a utilização de equipamentos Cisco. Na primeira parte deste trabalho são apresentados alguns conceitos básicos da tecnologia MPLS, juntamente com uma breve descrição do seu funcionamento. Também são descritos os principais serviços disponibilizados, como a criação de VPN (*Virtual Private Network*), o gerenciamento utilizando a Engenharia de Tráfego e a implementação de QoS em MPLS. Por fim, como foco central do trabalho, são apresentados alguns exemplos de configuração de QoS sobre MPLS em equipamentos Cisco, através da utilização do Cisco IOS (*Internetwork Operating System*) e do MQC (*Modular Quality of Service Command Line Interface*).

Palavras-Chave: MPLS, engenharia de tráfego, qualidade de serviço.

Implementation of QoS over MPLS in Cisco equipment

ABSTRACT

This study aims to present the main features existing in MPLS (Multiprotocol Label Switching), focusing on QoS (Quality of Service) settings with Cisco equipment. The first part presents some basic concepts of the MPLS technology and a brief description of its operation. The study also describes the main services available, such as VPN (Virtual Private Network) creation, the management using Traffic Engineering and the introduction of QoS in MPLS. Finally, as the central focus, it is described some examples of QoS configuration in MPLS on Cisco equipments, using the Cisco IOS (Internetwork Operating System) and MQC (Modular Quality of Service Command Line Interface).

Keywords: MPLS, traffic engineering, quality of service.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a Internet teve um crescimento exponencial no número de usuários e na demanda por maior largura de banda. Tradicionalmente os serviços de Internet disponibilizam para cada usuário serviços do tipo "melhor esforço", sem levar em conta suas necessidades. Como cada usuário recebe o mesmo nível de serviço, o congestionamento na rede muitas vezes resulta em séria degradação para aplicações que necessitam uma quantidade mínima de largura de banda para funcionarem corretamente.

Devido ao crescente interesse em garantir a entrega de serviço em tempo real para algumas aplicações, como a telefonia IP, surgiu a necessidade de garantir algum nível de QoS - *Quality of Service* na Internet. O protocolo IP apresenta algumas limitações, fruto de sua simplicidade original, que limitam a implementação de QoS nas redes baseadas neste protocolo.

O *Multiprotocol Label Switching* (MPLS) surge como uma tecnologia capaz de oferecer as potencialidades da engenharia de tráfego às redes baseadas em pacotes, fornece recursos para garantia de QoS sobre IP e permite a criação de VPN's. Além disso é facilmente escalonável e possui interoperabilidade, ou seja, suporta redes com tecnologias distintas (Ethernet, ATM, Frame Relay, entre outras).

O MPLS foi criado em 1997 pelo *Internet Engineering Task Force* (IETF) como forma de criar um padrão, utilizando como base as diferentes tecnologias proprietárias existentes, como o *IP Switching* da Nokia; o *CSR - Cell Switching Routers* da Toshiba; o *TAG Switching* da Cisco; o *ARIS* da IBM; o *IP Navigator* da Ascend; o *Fast IP* da 3Com.

Este trabalho de conclusão de curso tem o objetivo de apresentar algumas características e as principais utilizações do protocolo MPLS, e também como é feita a configuração de QoS em equipamentos Cisco.

1.1 Roteamento IP

Em um ambiente tradicional de roteamento, os pacotes são encaminhados através da rede usando um algoritmo de roteamento nível 3 como RIP, OSPF, ou o BGP. Cada roteador que o pacote passa faz uma pesquisa no cabeçalho IP do pacote, esta pesquisa é feita para determinar qual o próximo *hop* que o pacote deve ser enviado para chegar ao seu destino final. Isto é feito pelo referenciamento do endereço de destino, contido no cabeçalho do pacote, em uma tabela de roteamento que aponta qual o próximo *hop*. Esta

pesquisa e referenciamento a partir do cabeçalho, dependendo da complexidade da rede pode demandar muitos recursos de processador.

1.2 Comutação de *labels*

Em uma rede MPLS o encaminhamento dos pacotes é baseado em *labels*, este encaminhamento funciona da seguinte forma: quando um pacote ingressa na rede MPLS ele recebe um *header* MPLS que pode conter um ou mais *labels*. Os *labels* são associados a uma *Forward Equivalent Class* (FEC).

Uma FEC consiste numa classe de equivalência, ou seja, um conjunto de parâmetros, que irão determinar um caminho para os pacotes, assim, os demais roteadores irão somente substituir, ou seja, fazer um chaveamento, de *labels* até que o pacote chegue ao seu destino. Os pacotes associados a uma mesma FEC serão encaminhados pelo mesmo caminho. A FEC pode ser determinada por um ou mais parâmetros, especificados pelo gerente da rede. Alguns desses parâmetros são:

- Endereço IP da fonte ou destino ou endereço IP da rede;
- Número da porta da fonte ou destino;
- ID do protocolo IP;
- QoS desejado.

1.3 Estrutura do texto

Este trabalho está dividido em 5 capítulos. No Capítulo 2, serão revisados teoricamente algumas tecnologias e serviços utilizados no projeto com o conceito, as características, as formas de implementação e funcionamento. No Capítulo 3, são apresentados os conceitos dos principais serviços aplicados sobre MPLS. O Capítulo 4 apresenta o tema principal do estudo. Por fim, o Capítulo 5 apresenta as conclusões obtidas com a realização do trabalho.

2 ARQUITETURA MPLS

Este capítulo tem por objetivo apresentar a origem e os principais elementos motivadores para a criação do protocolo MPLS, uma breve introdução de como o MPLS começou a ser utilizado em equipamentos CISCO e uma apresentação dos principais componentes de uma rede MPLS.

2.1 Origens do MPLS

A técnica de comutação de *labels* não é nova, esta técnica já era utilizada em redes Frame Relay e ATM para transportar quadros e células através da rede. No Frame Relay o quadro pode ter qualquer comprimento, enquanto que no ATM a célula tem um tamanho fixo, com um cabeçalho de 5 bytes e um *payload* de 48 bytes. O cabeçalho da célula ATM e do quadro no Frame Relay fazem referência ao circuito virtual ao qual eles pertencem. A semelhança entre o ATM e o Frame Relay é que o valor no cabeçalho pode ser alterado a cada *hop* atravessado na rede (GHEIN, 2007).

A comutação de *labels* utiliza o *label* para executar uma pesquisa diretamente em uma entrada na tabela de conexões para determinar o próximo *hop*, executando uma operação com baixa utilização de recursos de hardware e uma elevada taxa de transmissão. O encaminhamento utilizando a comutação de *labels* também é considerado mais atrativo que o encaminhamento baseado no destino, pois permite que pacotes com o mesmo destino percorram diferentes fluxos. Por este motivo, a comutação de *labels* tem sido considerada uma das melhores opções para implementação de engenharia de tráfego.

Na metade dos anos 90, os provedores de Internet construíram backbones de roteadores IP, interconectados através de uma rede de chaveamento de pacotes ATM que proporcionava uma conectividade de rede completa de forma a evitar a passagem por múltiplos *hops*. Esta abordagem forneceu a infra-estrutura inicial para a Internet pública (McDYSAN; PAW, 2002). No entanto, este modelo de rede que utilizava IP sobre ATM tinha o inconveniente de que duas infra-estruturas de rede tinham que ser gerenciadas separadamente, cada uma com seu próprio endereçamento, roteamento e sistema de gerenciamento. Conseqüentemente, diversas abordagens para integrar IP e ATM foram propostas (GARCIA; WIDJAJA, 2004).

Exemplos destas tecnologias são Tag Switch (Cisco), ARIS (IBM) e Cell Switched Router (Toshiba). Tratavam-se de tecnologias proprietárias, incapazes de interoperarem. Surgiu então a necessidade de um modelo padrão de comutação por *labels*. As

tentativas de padronizar essas tecnologias através do IETF resultaram na combinação de várias tecnologias, gerando o Multiprotocol Label Switching (MPLS). Assim, não é surpresa que a implementação de comutação de tag da Cisco tivesse uma grande semelhança com o encaminhamento MPLS de hoje.

A Figura 2.1 mostra a evolução das implementações até a padronização do MPLS

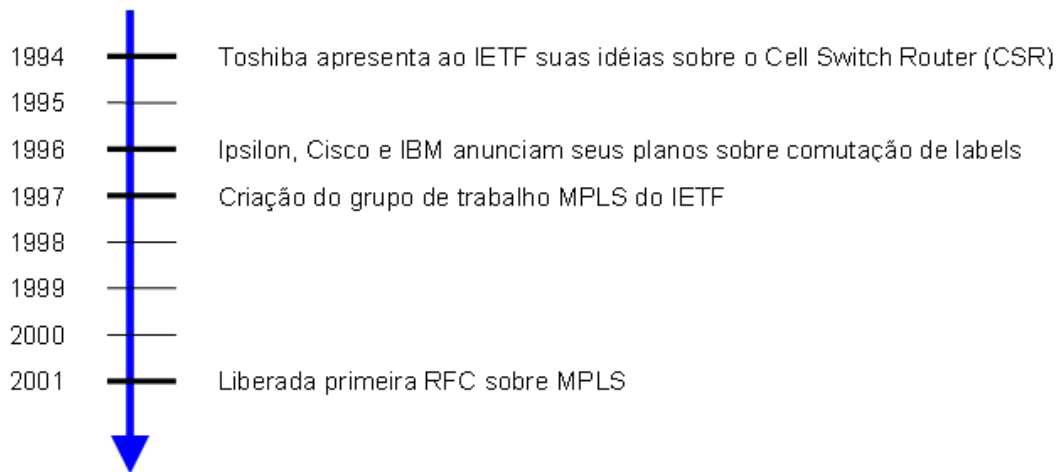


Figura 2.1: Evolução do MPLS

O MPLS usa a técnica de comutação de *labels* para encaminhar os dados através da rede. Um pequeno cabeçalho de formato fixo é inserido em cada pacote que entra na rede MPLS. Em cada *hop* através da rede, o pacote é encaminhado com base no *label* de entrada e enviado por uma interface de saída com um novo valor de *label*. O caminho que os dados fazem pela rede é definido pela transição feita nos valores do *label* que é alterado em cada LSR. Todo o caminho percorrido por um pacote é determinado pelo valor inicial do *label*, este caminho é chamado de *Label Switched Path (LSP)*.

Ao entrar em uma rede MPLS, cada pacote é examinado para determinar a qual LSP o pacote vai ser associado e qual *label* vai ser inserido no pacote. Esta decisão pode ser baseada em fatores como: endereço de destino, requisitos de qualidade de serviço ou o estado atual da rede. O conjunto de todos os pacotes que são transmitidos da mesma forma é conhecido como *Forwarding Equivalence Class (FEC)* (OSBORNE, 2002).

A motivação real para a implantação do MPLS e toda a complexidade adicional em uma rede está na aplicação das funcionalidades existentes, que são difíceis de realizar em redes IP tradicionais. As duas principais funcionalidades do MPLS são a engenharia de tráfego e a criação de VPN's (OSBORNE, 2002).

2.2 História do MPLS no Cisco IOS

Antes da padronização do MPLS pelo IETF, em 1998, a Cisco Systems havia desenvolvido sua própria implementação de MPLS. Ela começou colocando *labels* sobre pacotes IP com o que ela chamou de *tag switching*. Um *tag* era o que hoje é conhecido como *label*. Esta implementação podia atribuir *tags* para rotas da tabela de roteamento e colocar estas *tags* no cabeçalho dos pacotes destinados a estas rotas. A comutação de *tags* construiu uma *Tag Forwarding Information Base (TFIB)*, isto é,

uma tabela que armazena mapeamentos de *tags* de entrada e saída. Cada roteador *tag switching* tinha que verificar a *tag* no pacote recebido, trocar para a *tag* de saída e encaminhar o pacote (GHEIN, 2007).

A primeira implementação de engenharia de tráfego no Cisco IOS era estática, isto significava que o operador do roteador tinha que configurar todos os *hops* que um determinado fluxo de tráfego deveria seguir através da rede. A implementação seguinte tornou mais dinâmico o processo de engenharia de tráfego, através do uso de extensões para os protocolos de roteamento por estado de enlace. O protocolo de roteamento por estado de enlace transportava informações extra, o que possibilitava que os túneis fossem criados de uma forma mais dinâmica. Isto reduziu significativamente a quantidade de trabalho que o operador tinha que executar, o que tornou a engenharia de tráfego em MPLS mais popular.

2.3 Conceitos e componentes

Nesta sessão serão apresentados alguns conceitos e definições dos principais componentes que fazem parte de uma rede MPLS.

2.3.1 Labels

O *header* MPLS é um identificador de 32 bits que é usado no encaminhamento do pacote. É descrito na RFC 3031 “*Multiprotocol Label Switching Architecture*” como “um identificador curto, de tamanho fixo e localmente significativo que é utilizado para identificar uma FEC”.

O formato do *header* é mostrado na Figura 2.1

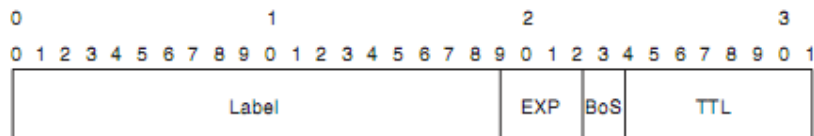
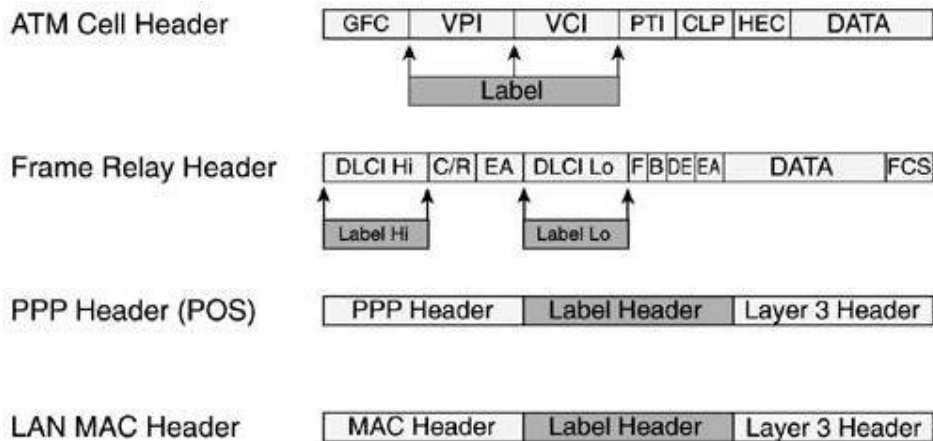


Figura 2.1: Formato do *header* MPLS

Os seguintes campos fazem parte do *header*:

- Label (20 bits): valor atual do *label*, identificador de LSP;
- EXP (3 bits): experimental bits – pode ser usado para filas de espera, rejeição, QoS etc;
- BoS (1 bit): bit de sinalização de fim de *stack*, este valor é setado para 1 para a última entrada na pilha e 0 para as demais;
- TTL (8 bits): *time to live*, possui a mesma função do TTL do cabeçalho IP.

O MPLS suporta três diferentes tipos de *header* (Figura 2.2). Em redes ATM ele utiliza os campos VPI/VCI de cada célula e em redes Frame Relay ele utiliza o campo DLCI (*Data-link connection identifier*) de cada frame. Nas tecnologias que não carregam *labels*, como o Ethernet, é inserido um pequeno campo adicional ao cabeçalho do pacote, entre os cabeçalhos da camada de enlace e camada de rede, denominado “shim header”.

Figura 2.2: alocação de *label* MPLS

2.3.2 Empilhamento de *labels*

Roteadores MPLS podem precisar mais de um *label* no pacote para roteá-lo através da rede MPLS. O mecanismo de empilhamento de *labels* permite operações hierárquicas no domínio MPLS. Isto significa que cada nível em uma pilha de *labels* corresponde a um nível hierárquico.

O primeiro *label* na pilha é chamado de “*top label*” e o último é chamado de “*bottom label*”, sendo que entre eles pode-se ter qualquer quantidade de *labels*. Na pilha de *labels* todos os bits do campo BoS têm o valor 0, exceto pelo “*bottom label*” que tem o valor 1 para indicar o fim da pilha. A Figura 2.3 mostra a estrutura da pilha de *labels*.

Label	EXP	0	TTL
Label	EXP	0	TTL
...			
Label	EXP	1	TTL

Figura 2.3: Pilha de *Labels*

2.3.3 Label switch router(LSR)

Um LSR é um roteador com suporte MPLS. Ele é capaz de entender pacotes com *labels* MPLS e de receber e transmitir estes pacotes. Existem dois tipos de LSR em redes MPLS que podem ser classificados em LSR de borda (*Core LSR*) e LSR de núcleo (*Edge LSR*).

Um LSR de borda, situado na entrada de uma rede MPLS, é responsável por inserir um ou mais *labels* ao pacote, associá-lo a uma FEC (*Forwarding Equivalency Class*) e encaminhar o mesmo através de um LSP (*Label Switched Path*). Quando está situado na

saída é responsável por remover os *labels* e encaminhar o pacote para uma rede não MPLS.

O LSR de núcleo faz o trabalho de receber e encaminhar os pacotes MPLS baseado no *label*, através de um LSP. Cada LSR recebe o pacote, troca o *label* e encaminha para o LSR seguinte até chegar ao LSR de borda.

2.3.4 Label switched path (LSP)

Um LSP é uma seqüência de LSR que encaminham um pacote rotulado através de uma rede MPLS, ou seja, é o caminho que um pacote percorre dentro de uma rede MPLS.

Na Figura 2.4 é mostrada uma seta indicando o fluxo em um LSP (unidirecional). Para um fluxo de pacotes na direção contrária e entre os mesmos pontos é necessário outro LSP.

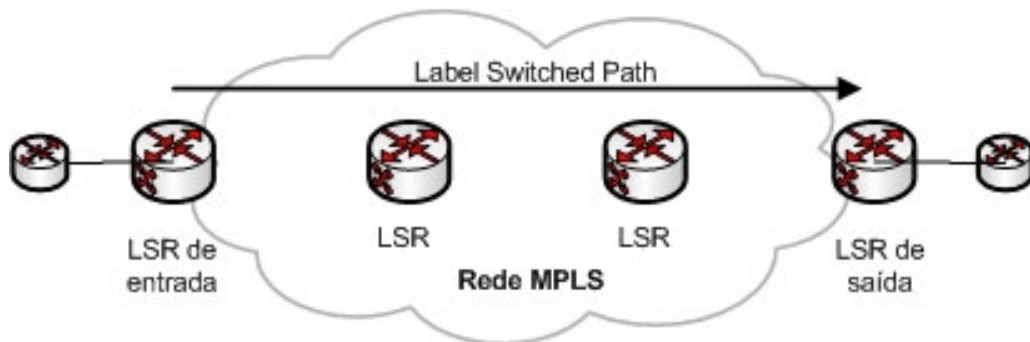


Figura 2.4: *Label switched path*

Um LSR de entrada não é necessariamente o primeiro roteador a colocar um *label* no pacote, os pacotes podem ter sido marcados por um LSR precedente. Este caso é chamado de “LSP aninhado”, isto é, um LSP dentro de outro LSP. Na Figura 2.5 pode ser visto um LSP que abrange toda a extensão de uma rede MPLS e outro LSP que tem início no LSR 1 e termina no LSR 4. Então, quando o pacote entra no segundo LSP ele já está rotulado, este roteador coloca um segundo *label* no topo da pilha do pacote. Este *label* inserido no pacote pode ter um valor de QoS diferente, isto significa que um mesmo pacote pode ter diferentes valores de QoS em cada LSP.

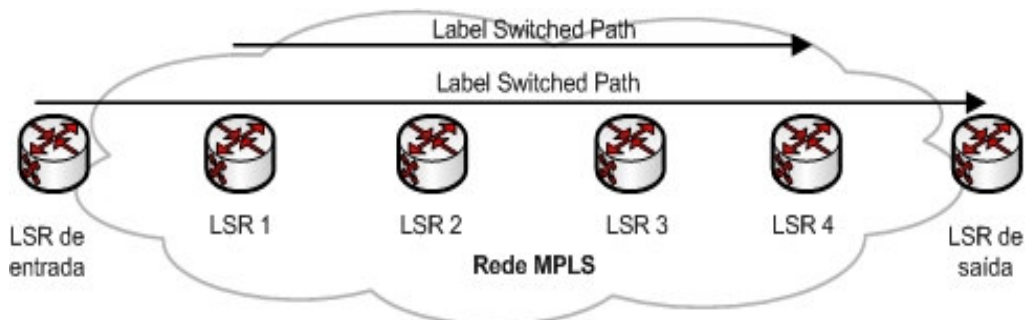


Figura 2.5: *Label switched path aninhado*

2.3.5 Forwarding equivalence class (FEC)

Uma FEC é um grupo ou fluxo de pacotes que são encaminhados através de um mesmo caminho e são tratados da mesma forma no que diz respeito ao tratamento do

encaminhamento. Todos os pacotes pertencentes a mesma FEC têm o mesmo *label*. Cada LSR constrói uma tabela com a especificação de como um pacote deve ser enviado, esta tabela é chamada de *Label Information Base*(LIB).

2.3.6 Distribuição de *labels*

O primeiro *label* é colocado pelo LSR de borda, este *label* indica que o pacote pertence a uma determinada FEC. Os LSR de núcleo recebem os pacotes com *label*, trocam este *label* de entrada por um *label* de saída e encaminham o pacote. Quando um LSR de borda atribui um *label* de uma determinada FEC a um pacote é necessário que ele consiga comunicar os LSR relevantes sobre este *label* e o seu significado para que estas informações sejam usadas na construção das tabelas de encaminhamento. Isto significa que um mecanismo de distribuição de *labels* é necessário.

A distribuição de *labels* pode ser feita de duas maneiras:

a) Transportando os *labels* em um protocolo de roteamento existente. A vantagem é que não é necessário um novo protocolo rodando nos LSR. As informações dos *labels* podem ser adicionadas em versões estendidas dos protocolos tradicionais de roteamento como o BGP ou o RSVP. A grande vantagem de ter o protocolo de roteamento transportando os *labels* é que o roteamento e a distribuição dos *labels* estão sempre em sincronia.

b) Usando um protocolo de distribuição de *labels*. Este método tem a vantagem da existência de um protocolo de roteamento independente: qualquer que seja o protocolo de roteamento utilizado, se ele tem a capacidade de distribuição de *labels* ou não, um protocolo separado é utilizado para a tarefa de distribuição de *labels*. O protocolo definido pelo IETF para executar esta função foi o *Label Distribution Protocol* (LDP). LDP tem quatro funções principais (GHEIN, 2007):

- a descoberta dos LSRs que estão executando o LDP;
- o estabelecimento e a manutenção de sessões;
- o anúncio de mapeamento de *labels*;
- a manutenção de sessões LDP por meio de notificação.

2.3.7 Tabelas de Encaminhamento

Cada LSR mantém duas tabelas relevantes para o encaminhamento dos pacotes MPLS: a LIB, que contém todos os *labels* atribuídos pelo nó local de MPLS, e o mapeamento destes com os *labels* recebidos de seus vizinhos que utilizam o MPLS e a LFIB que usa um subconjunto dos *labels* contidos na LIB para o atual encaminhamento.

A LIB é uma tabela que é construída por cada LSR para especificar como os pacotes devem ser encaminhados. Ela contém informações sobre a associação das ligações de *labels* negociadas com outros roteadores MPLS (McDYSAN & PAW, 2002).

A LFIB, mantida por um nó MPLS, consiste de uma seqüência de entradas. Cada entrada consiste de um *label* de entrada e de uma ou mais sub-entradas. A LFIB é indexada pelo valor contido no *label* de entrada.

Cada sub-entrada consiste de um *label* de saída, interface de saída e endereço do próximo *hop*. Sub-entradas contidas dentro de uma entrada individual poder ter o mesmo ou diferentes *labels* de saída.

Quando um LSP é criado, a relação dos *labels* com a interface será armazenada na tabela LFIB (*Label Forwarding Information Base*). O pacote entra no LSR e este, por sua vez, verifica na LFIB para qual interface deve ser encaminhado. Então, realiza a troca do *label* de entrada por um *label* de saída, de maneira que o pacote possa alcançar o próximo nó.

O processo de preenchimento do LFIB pode ser controlado por meio de configuração ou por meio de protocolos de distribuição de *labels* e, para evitar laços, pacotes com *labels* inválidos são descartados (FARREL; BRYSKIN, 2006).

3 VPN, QOS E ENGENHARIA DE TRÁFEGO EM MPLS

Neste capítulo serão apresentados os conceitos dos principais serviços implementados sobre redes MPLS.

3.1 VPN

Virtual Private Network (VPN), ou Rede Privada Virtual, é uma rede privativa construída sobre a infra-estrutura de uma rede pública, como a Internet. São usadas a criptografia e a autenticação para proteger os dados, enquanto estes estiverem em trânsito.

A segurança é a primeira e mais importante das funções das VPNs. Uma vez que dados privados serão transmitidos pela Internet, que é um meio de transmissão inseguro, eles devem ser protegidos de forma a não permitir que sejam modificados ou interceptados.

Outro serviço oferecido pelas VPNs é a conexão entre corporações (Extranets) através da Internet, além de possibilitar conexões *dial-up* criptografadas que podem ser muito úteis para usuários móveis ou remotos, bem como filiais distantes de uma empresa.

A topologia de uma VPN é dividida em dois modelos:

- Modelo *overlay*, onde o provedor de serviços permite a interconexão de múltiplas localidades através de sua rede WAN, que aparece como "privativa" para o cliente.
- Modelo *peer-to-peer*, onde o provedor de serviços e o cliente trocam informações sobre o roteamento e o provedor transmite os dados do cliente utilizando o melhor caminho entre os sites, sem o envolvimento do cliente.

3.1.1 Modelo *overlay*

O modelo *overlay* é o mais fácil de entender, pois ele exibe uma clara separação de responsabilidades entre o cliente e o provedor de serviços.

O provedor de serviços oferece ao cliente um conjunto de linhas. Estas linhas são chamadas de VCs, que podem estar constantemente disponíveis (PVCs) ou estabelecidas sob demanda (SVCs).

O cliente estabelece uma comunicação entre os seus roteadores, sobre os VCs fornecidos pelo provedor do serviço. O protocolo de roteamento é sempre trocado entre os roteadores do cliente, e o provedor não tem conhecimento da estrutura interna da rede do cliente.

3.1.2 Modelo peer-to-peer

O modelo *peer-to-peer* foi introduzido com o objetivo de minimizar os inconvenientes do modelo *overlay*. No modelo *peer-to-peer* o equipamento de borda do provedor é um roteador, que troca informações de roteamento diretamente com o roteador do cliente.

Este modelo é mais simples porque os roteadores do provedor têm o conhecimento da topologia de rede do cliente, tornando mais simples o trabalho de incorporação de novas localidades numa rede *full mesh*, em comparação com aquele demandado em redes *overlay*. O roteador de borda do provedor pode ser dedicado ou compartilhado por VPN's de clientes diferentes. Em qualquer dos casos, não é possível o isolamento do tráfego nem o uso de endereçamento privado nas redes dos clientes, pois os endereços IP devem ter significância global no *backbone* do provedor (ABREU, 2004).

3.1.3 Modelo MPLS

Com a introdução do MPLS, que combina os benefícios de comutação da camada de enlace e o roteamento e comutação da camada de rede, foi possível construir uma tecnologia que combina os benefícios do modelo *overlay*, tais como a segurança e isolamento entre clientes, com os benefícios da simplificação de roteamento que uma VPN *peer-to-peer* traz. Esta nova tecnologia torna possível a criação de diferentes topologias, difíceis de implementar nos modelos *overlay* e *peer-to-peer*.

A construção de VPNs é uma das implementações mais comuns que fazem uso da tecnologia MPLS. Sua popularidade tem crescido exponencialmente desde que foi proposta. VPNs sobre MPLS podem fornecer escalabilidade e dividir a rede em pequenas subredes separadas, o que muitas vezes é necessário em grandes redes corporativas, onde a infra-estrutura de TI precisa oferecer o isolamento de redes de diferentes departamentos (PEPELNJAK; GUICHARD, 2007).

A sobreposição de endereços, normalmente resultante do uso de endereços IP privados dos clientes, é um dos maiores obstáculos para a implementação de VPNs *peer-to-peer*. A implementação de VPN sobre MPLS oferece uma solução elegante para este dilema: cada VPN tem sua própria tabela de roteamento e encaminhamento no roteador, de tal forma que, para um cliente que pertença a uma VPN será fornecido acesso somente ao conjunto de rotas contido na tabela correspondente.

3.2 QoS

Quality of Service (QoS) é um tema que tem se tornado muito popular nos últimos anos. Refere-se a capacidade da rede em priorizar um determinado tipo de tráfego, considerado mais importante, sobre um tráfego menos importante, além da garantia de entrega.

Para que se possa garantir QoS em uma rede, todos os pacotes de dados pertencentes a uma mesma sessão devem seguir o mesmo caminho (como em um tráfego orientado a conexão) e devem existir meios de garantir a reserva de recursos ao longo deste

caminho. O tráfego IP não é orientado a conexão e os roteadores geralmente não têm recursos sofisticados para reservar recursos a cada *hop*. Por isso, a garantia de QoS em uma rede IP é tão difícil. Para tentar resolver este problema, o IETF desenvolveu dois mecanismos para implementar QoS em uma rede IP: *Integrated Services* (IntServ) e *Differentiated Services* (DiffServ).

O IntServ utiliza o protocolo *Resource Reservation Protocol* (RSVP) para reservar recursos para determinados fluxos de dados. Na sinalização RSVP existe troca de mensagens de controle entre emissor e receptor de forma que, em um determinado período de tempo, estará alocada uma parte da banda disponível para a transmissão dos dados.

Conforme descrito por Tanenbaum (2003), o DiffServ define um conjunto de classes de serviço com regras de encaminhamento correspondentes. É uma estratégia que pode ser implementada em grande parte localmente a um roteador, sem configuração antecipada e sem ter de envolver todo o caminho. São utilizados bits do cabeçalho IP para indicar diferentes tipos de tráfego e prioridades.

O MPLS trata a questão de QoS com a criação de caminhos explícitos através da rede. É possível criar rotas explícitas para os fluxos de dados que são classificados de acordo com a disponibilidade de recursos e qualidade de serviço solicitada.

Todos os pacotes que fazem parte de um mesmo fluxo recebem o mesmo *label* e, em cada *hop*, o este é encaminhado para uma interface de saída com base no valor do *label*. O caminho percorrido pelo pacote é conhecido como *label-switched path* (LSP). O LSP deve ser capaz de garantir um determinado nível de QoS com base na infra-estrutura de rede utilizada.

3.3 Engenharia de tráfego

O termo Engenharia de tráfego refere-se à capacidade de orientar o tráfego através de uma rede. É uma técnica utilizada para otimizar o uso dos recursos de rede fazendo uma utilização de forma balanceada. Segundo, os principais objetivos da engenharia de tráfego que podem ser destacados são: o uso eficiente dos recursos de rede, com conseqüente economia de recursos financeiros; redução nos congestionamentos; satisfação dos requisitos das aplicações e dos usuários e a melhoria geral de desempenho da rede.

O roteamento tradicional utilizando IP é baseado no encaminhamento pelo caminho de menor custo. Além disso, os pacotes IP são encaminhados por cada roteador com base apenas no endereço IP de destino e sem levar em conta a forma como estes pacotes foram encaminhados nos roteadores anteriores e como serão encaminhados nos próximos roteadores. Além disso, o paradigma de encaminhamento IP não leva em conta a largura de banda disponível no link. O resultado deste comportamento, no envio de pacotes IP, é que alguns links da rede podem ficar com sobrecarga de tráfego, enquanto outros links ficam subutilizados (OSBORNE, 2002).

Os padrões de tráfego entre sites podem variar constantemente, desta forma a engenharia de tráfego pode trazer uma solução para o gerenciamento do tráfego, evitando links sobrecarregados. A Figura 3.1 mostra o exemplo de uma rede utilizando o roteamento IP.

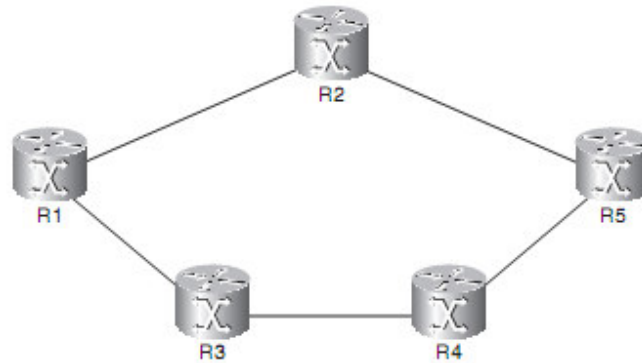


Figura 3.1: Rede utilizando roteamento IP

Se na rede apresentada na Figura 3.1 todos os links tiverem a mesma velocidade, o menor custo para o roteador R1 comunicar com o roteador R5 é: R1–R2–R5. Claramente, todo o tráfego de R1 para R5 vai utilizar o caminho R1-R2-R5, e o caminho R1-R3-R4-R5 não terá tráfego. Em uma rede real o funcionamento pode ser um pouco diferente. Muitos fluxos de tráfego de dados podem existir, e as cargas sobre os links podem variar muito.

3.3.1 Engenharia de Tráfego em MPLS

Em redes MPLS a engenharia de tráfego pode ser feita a partir do LSR de entrada da rede, ele pode calcular a rota mais eficiente através da rede, em direção ao LSR de saída. O LSR pode fazer isto se tiver conhecimento da topologia da rede. Além disso, ele precisa saber a largura de banda disponível de todos os links da rede.

A Figura 3.2 mostra um exemplo de rede, se esta rede estiver utilizando MPLS é possível configurar dois caminhos (LSP) diferentes, assim como os *labels* que serão utilizados para identificar cada caminho. No roteador R1 é feita uma verificação do *label* para identificar a qual LSP o pacote pertence, em seguida, o roteador encaminha o pacote por um dos dois LSP.

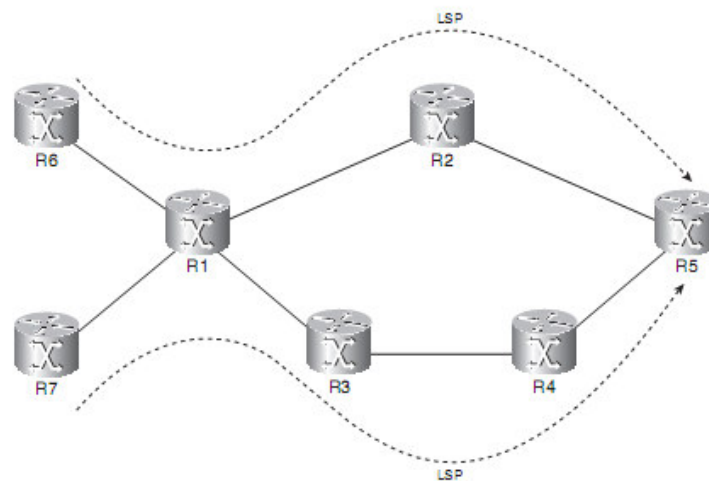


Figura 3.2: Exemplo de LSP em rede MPLS

É possível implementar engenharia de tráfego em qualquer rede que possua LSRs. Entretanto, devido à largura de banda e outros atributos sobre os links que devem ser conhecidos pelos LSRs, o protocolo de roteamento entre os LSRs deve ser um protocolo de roteamento por estado de enlace. Com um protocolo de roteamento por estado de enlace, cada roteador constrói um estado de seus próprios links, transmitindo esta informação para todos os outros roteadores na mesma área (GHEIN, 2007).

3.3.2 Componentes de Engenharia de Tráfego

A aplicação de engenharia de tráfego em redes MPLS envolve basicamente quatro componentes funcionais (ALVAREZ, 2006):

1. **Distribuição de Informação** – a Engenharia de Tráfego requer um conhecimento detalhado da topologia da rede, assim como conhecimento dinâmico sobre a capacidade da rede. Isso pode ser implementado por meio de protocolos IGP com extensões específicas, de forma que atributos específicos de links (como largura de banda máxima, utilização de banda e banda reservada) sejam incluídos nos anúncios “*link state*” destes protocolos. Em uma rede MPLS, cada LSR mantém uma base de dados chamada TED (TE Database), utilizada para calcular caminhos específicos pela rede MPLS.
2. **Componente de seleção de caminho** - Baseado na topologia de rede e nos atributos de link presentes na TED, cada LSR calcula caminhos específicos para seus LSP. Estes caminhos podem ser “*strict*” ou “*loose*”. Uma rota “*Strict*” é aquela em que o LSR de ingresso especifica todos os LSR para o LSP. A rota “*loose*”, por sua vez, tem apenas alguns LSR definidos no LSR de ingresso.
3. **Componente de Sinalização e definição da rota** - A rota calculada pelo componente anterior não é dita “funcional” até que um LSP seja, de fato, estabelecido pelo componente de sinalização. Isso porque o componente de “*Path Selection*” utiliza as informações presentes na TED, que podem estar desatualizadas. O componente de sinalização, portanto, é responsável pela checagem de todas as informações necessárias durante o processo de definição de rota.
4. **Componente de encaminhamento de pacotes** - Uma vez que o caminho seja estabelecido, o processo de encaminhamento é iniciado no LSR, baseado no conceito de comutação de *labels*.

Os principais protocolos de sinalização utilizados em conjunto com o MPLS são o “*Resource Reservation Protocol with Traffic engineering Extensions*” (RSVP-TE) e o *Constraint-based Router Label Distribution Protocol* (CR-LDP).

4 CONFIGURAÇÃO DE QOS/MPLS EM EQUIPAMENTOS CISCO

Neste capítulo serão apresentadas alguns recursos disponíveis em equipamentos Cisco para permitir a implementação de QoS sobre MPLS. Também serão apresentados alguns detalhes de configuração através da utilização do Cisco IOS (Internetwork Operating System) e do MQC (*Modular Quality of Service Command Line Interface*).

4.1 Funções de QoS

Um bom exemplo em que QoS é necessário é o tráfego VoIP. Esse tipo de tráfego apresenta restrições quanto ao limite máximo de tempo de entrega no seu destino, ou ele torna-se obsoleto. Por este motivo é necessário que as políticas de QoS priorizem este tráfego, de maneira que seja entregue dentro dos limites de tempo. Para conseguir isto, pode-se utilizar o Cisco IOS para agrupar o tráfego VoIP em uma fila com prioridade maior que aquela dos tráfegos FTP ou HTTP, garantindo que, em caso de congestionamento, os pacotes FTP e HTTP serão descartados antes dos pacotes VoIP. O Cisco IOS possui vários mecanismos para que os roteadores operem dessa forma. A Tabela 4.1 mostra algumas funções de QoS presentes no Cisco IOS e as correspondentes características (GHEIN, 2007).

Tabela 4.1 Funções de QoS e características correspondentes no Cisco IOS

Funções de Qos	Recursos do Cisco IOS
Classificação de Tráfego	Busca em lista de controle de acesso
Marcação de Tráfego	DiffServ Code Point (DSCP) Campo EXP - MPLS
Gerência de congestionamento	Low-Latency Queuing (LLQ) Class-Based Weighted Fair Queuing (CBWFQ)
Prevenção de Congestionamento	Weighted Random Early Detection (WRED)
Condicionamento de Tráfego	Conformidade e Policiamento

4.2 Cisco IOS

Quando um LSR encaminha um pacote que já possui um *label*, ele precisa apenas procurar este *label* na sua tabela de encaminhamento de *labels* (LFIB) para decidir por onde encaminhar o pacote. O mesmo é válido para o tratamento de QoS: o LSR precisa apenas verificar os bits EXP do *label* para determinar como tratar o pacote. A melhor forma de efetuar a configuração de QoS sobre MPLS no Cisco IOS é através do MQC. O modelo MQC segue um padrão específico para configurações via linha de comando. Ele é o mais usado nos equipamentos Cisco, por ser padronizado e apresentar apenas três etapas, de acordo com Alvarez (2006) são elas:

- definir as classes de tráfego utilizando regras de correspondência;
- definir políticas de QoS para serem aplicadas as classes;
- apontar dentro da interface a política como saída ou entrada.

4.3 Funcionamento do QoS sobre MPLS no Cisco IOS

O comportamento padrão do Cisco IOS quando são inseridos um ou mais *labels* no pacote IP é o de copiar o valor dos bits de precedência para os bits EXP de todos os *labels* inseridos. Isto é chamado de “reflexão TOS” porque nada muda em relação ao QoS. Entretanto, se os seis bits do campo DSCP são usados, somente os três primeiros bits serão copiados para os bits EXP do cabeçalho. Isto leva a primeira regra de QoS sobre MPLS (GHEIN, 2007).

- Regra1: por padrão, no Cisco IOS, os bits de precedência ou os três primeiros bits do campo DSCP no cabeçalho IP são copiados para os bits EXP de todos os *labels* inseridos no LSR de entrada.

O encaminhamento de um pacote com *label* é um pouco mais complicado, pois devem ser considerados dois casos: de um lado, a troca de *label* com a possibilidade de adicionar um ou mais *labels* ao pacote, de outro lado, a troca de *label* com a possibilidade de remover um ou mais *labels* do pacote. No caso da troca de um *label* de entrada por um *label* de saída no LSR, os bits EXP são copiados do *label* de entrada para o *label* de saída. O mesmo é verdadeiro quando um *label* é trocado e são adicionados um ou mais *labels*. O valor dos bits EXP é copiado do *label* de entrada para o *label* de saída e também para os *labels* que são empilhados no pacote encaminhado.

Entretanto, o encaminhamento de pacotes com a retirada do *label* é um pouco diferente. Quando um roteador retira o *label* do topo da pilha de um pacote que encaminha, o valor dos bits EXP não é copiado para o novo *label* do topo ou para os bits de precedência do cabeçalho do pacote IP sem *label*. Isto significa que, por padrão, no Cisco IOS, os bits EXP do novo *label* do topo ou o campo DSCP do cabeçalho IP permanecem inalterados, ditando o novo QoS do pacote. Isto leva a segunda, terceira e quarta regra de QoS sobre MPLS (GHEIN, 2007). Este é o comportamento padrão do Cisco IOS. Este comportamento pode ser alterado através do Cisco IOS para manter o valor de QoS quando os *labels* são retirados.

- Regra2: por padrão, no Cisco IOS, os bits EXP do *label* de entrada são copiados para o *label* de saída e para qualquer outro *label* empilhado no pacote;

- Regra3: por padrão, no Cisco IOS, os bits EXP do *label* do topo da pilha não são copiados para o *label* de saída quando o *label* do pacote de entrada é removido;
- Regra4: por padrão, no Cisco IOS, os bits EXP do *label* de entrada não são copiados para os bits de precedência ou os bits DSCP quando a pilha de *labels* é removida e o cabeçalho IP é exposto.

Além disso, quando o MCQ é utilizado para trocar o QoS de um pacote rotulado, somente o *label* do topo e os possíveis novos *labels* inseridos recebem o novo valor para os bits EXP.. Isto significa que, quando o QoS de um pacote rotulado é alterado manualmente em algum LSR, este valor de QoS será novamente alterado na rede algum tempo depois. Ou seja, quando um *label* é retirado do topo da pilha, o valor do campo EXP não é copiado para o novo *label* exposto, conforme descrito na regra 3. Isto significa que o antigo valor de QoS do pacote esta novamente ativo. Isto leva a quinta regra.

- Regra5: Quando o valor do campo EXP é alterado por meio de configuração, os labels que estão abaixo do topo da pilha não recebem o novo valor do campo EXP.

As regras 4 e 5 levam ao fato que o tunelamento de QoS é possível. Isto significa que o valor de QoS do pacote IP pode ser transportado através de uma rede MPLS sem sofrer alteração.

4.4 Diffserv TunnelingModes

Tunneling é a capacidade oferecida por uma rede MPLS de transportar o valor DiffServ de um pacote IP de uma forma transparente, de uma borda a outra da rede MPLS. O tunel tem inicio quando o *label* é adicionado ao pacote e termina quando o *label* é removido.

A regra 4 dá origem ao seguinte comportamento: indiferentemente do valor dos bits EXP introduzidos pelo LSR de entrada ou em qualquer outro LSR, este não é copiado para o pacote IP, no LSR de saída da rede MPLS. Por padrão, os bits de precedência ou DSCP do pacote IP são preservados. O MPLS fornece QoS para pacotes MPLS usando os seguintes modos de tunel (LEWIS; PICKAVANCE, 2006):

- *Uniform Mode* – neste modo, as mudanças feitas no valor do campo EXP do *label* do topo da pilha são propagadas tanto para os *labels* inseridos na pilha como para os *labels* de baixo, quando os *labels* da pilha são removidos. A premissa, é que a rede está em um domínio DiffServ. Logo, qualquer mudança feita no campo EXP do pacote MPLS em trânsito será aplicada para todos os *labels* do pacote, bem como para o pacote IP.
- *Short Pipe Mode* – este modo é útil para aplicação de políticas de QoS nos provedores, independentemente da política de QoS do cliente. Os bits de precedência do pacote IP são propagados para cima na pilha de *labels*. Quando o *label* é trocado, o valor do campo EXP é mantido. Se o valor do campo EXP do *label* do topo da pilha é alterado, esta mudança é propagada para todos os *labels* da pilha, mas não para o pacote IP.
- *Pipe Mode* – neste modo duas marcações são importantes para um pacote quando ele percorre a rede MPLS. Primeiro, a marcação usada pelos LSR

intermediários ao longo do LSP, incluindo o LSR de saída. Segundo, a marcação original do pacote antes da entrada na rede MPLS, que continuará sendo usada quando o pacote sair da rede MPLS. No LSR de saída todos os *labels* são removidos, mas, a fim de preservar a marcação transportada no *label*, o LSR de borda copia este valor antes de remover os *labels*. Esta cópia interna é utilizada para classificar os pacotes na interface de saída.

No Cisco IOS a configuração feita para ativar um dos três modos DiffServ é feita através do MQC. O MQC é configurável por interface. Portanto, é possível escolher o modo por interface, conseqüentemente, por cliente conectado a rede MPLS.

4.5 Como o QoS funciona para tráfego MPLS

Em roteadores Cisco da série 10000, a classificação dos pacotes MPLS não leva em conta o cabeçalho IP, ou seja, não é possível classificar pacotes MPLS em classes distintas utilizando-se o cabeçalho IP que se encontra encapsulado no pacote MPLS. O roteador classifica os pacotes MPLS como pertencentes a uma mesma classe padrão, exceto se for especificado um qos-group ou se existirem na interface de entrada regras para classes de tráfego.

Após a imposição do *label* MPLS, por padrão, o roteador copia o valor do campo EXP para todos os *labels* adicionados ao pacote. O valor do campo EXP pode ser modificado através de diretivas de comando “set” ou “police”.

4.6 Configurando QoS sobre MPLS em um LSR de entrada

Um LSR pode ser um roteador de borda de um provedor ou um roteador intermediário da rede MPLS, então ele pode ser a ligação de uma rede não-MPLS a uma rede MPLS, tanto de entrada como de saída. A definição do valor dos bits EXP é somente válida para pacotes que chegam pela interface de entrada (não MPLS) do LSR e saem por uma interface MPLS. Portanto, somente políticas de entrada podem definir os bits EXP de um pacote quando ele sai por uma interface MPLS. Se o pacote chega por uma interface MPLS, a definição dos bits EXP não tem efeito.

Para configurar a política de QoS MPLS no LSR de entrada da rede MPLS devem ser executados os seguintes passos:

- Classificar pacotes IP utilizando uma “*Class Map*”;
- Definir o campo EXP usando um “*Policy Map*”;
- Atribuir uma política de serviço de QoS para uma interface.

4.6.1 Classificação de pacotes IP utilizando uma “*Class Map*”

Uma *Class Map* define uma classe de tráfego através da utilização de regras de correspondência. Os pacotes IP são classificados em *Class Maps* de acordo com seus bits de precedência. Esta classificação é feita no LSR de entrada da rede MPLS e configurada utilizando o MQC.

Para classificar pacotes IP utilizando uma *Class Map* os seguintes comandos devem ser utilizados no LSR de entrada da rede MPLS:

- **class-map** *class-map-name* – cria ou modifica uma *Class Map*;

- **match mpls experimental topmost** *valor* – especifica o valor do campo EXP utilizado para classificar o tráfego;
- **match** *critério* – define o critério utilizado pelo roteador para associar os pacotes as classes de tráfego.

A Figura 4.1 mostra a criação de uma *Class Map* com o nome de *exp4*, com o campo MPLS EXP 4 definido como critério de classificação.

```
Router(config)# class-map match-all exp4
Router(config-cmap)# match mpls experimental topmost 4
Router(config-cmap)# end
```

Figura 4.1: Exemplo de criação de *Class Map*

4.6.2 Definindo o campo EXP através do uso de um “*Policy Map*”

Uma *Policy Map* define uma política que contém ações de QoS aplicáveis a algumas classes de tráfego. Tipicamente, faz referência às classes definidas pelo comando *class-map*.

Para definir o valor do campo EXP dos pacotes pertencentes a uma classe de tráfego específica, são utilizados os seguintes comandos:

- **policy-map** *policy-map-name* – cria ou modifica uma *Policy Map*;
- **class** *class-map-name* – associa uma classe de tráfego a uma *Policy map*;
- **set mpls experimental imposition** *mpls-exp-value* – define o valor do campo EXP do pacote MPLS pertencente a classe de tráfego.

A Figura 4.2 mostra um exemplo de criação de uma *policy map* de nome *set_experimental_5* e define a classe de tráfego chamada *IP_prec4*.

```
Router(config)# policy-map set_experimental_5
Router(config-pmap)# class IP_prec4
Router(config-pmap-c)# set mpls experimental imposition 5
Router(config-pmap-c)# end
```

Figura 4.2: Criação de *Policy map*

4.6.3 Associação de uma política de serviço de Qos para uma interface

Uma política de serviço define o valor do campo EXP dos pacotes MPLS pertencentes a uma classe específica de tráfego. A criação de uma *Policy map* deve ser feita anteriormente. Para associar uma política de serviço a uma interface, são utilizados os seguintes comandos:

- **interface** *type number* – Cria ou modifica uma interface, *type* é o tipo de interface (Ex: serial) e *number* é o número da interface (Ex: 1/0/0);
- **service-policy input** *policy-map-name* – Associa uma *policy map* específica a uma interface de entrada.

O exemplo apresentado na Figura 4.3 mostra a aplicação de uma política de serviço a uma interface Gigabit Ethernet 1/0/0 para pacotes de entrada

```
Router(config)# interface GigabitEthernet1/0/0  
Router(config-if)# service-policy input set_experimental_5  
Router(config-if)# end
```

Figura 4.3: associação de uma política de serviço

5 CONCLUSÃO

A tecnologia MPLS surge como uma alternativa para resolver os problemas enfrentados pelas redes atuais como velocidade, escalabilidade, gerenciamento de QoS e engenharia de tráfego. Esta tecnologia vem sendo desenvolvida com o apoio de grandes empresas como Cisco e Nortel Networks, e também com o apoio do IETF, garantindo um padrão aberto e bem aceito pelo mercado.

Este trabalho teve como principal motivação o estudo da aplicação de QoS à tecnologia MPLS. Inicialmente, foi feita uma revisão sobre os principais componentes de uma rede MPLS, buscando identificar e entender o funcionamento da tecnologia. Finalmente, buscando identificar os recursos disponíveis para a implementação desta tecnologia, foram escolhidos os equipamentos da marca Cisco como objeto de estudo.

A implementação de QoS sobre MPLS utilizando equipamentos Cisco permite proporcionar diferentes níveis de serviço de QoS para diferentes tipos de tráfego na rede. É possível classificar o tráfego de acordo com o tipo, interface de entrada e outros fatores, sem alterar o valor original dos bits de precedência do cabeçalho IP, preservando assim as políticas internas de QoS dos clientes.

Através deste estudo, verificou-se que o uso da tecnologia MPLS em equipamentos Cisco apresenta-se como uma solução atraente para a implementação de redes com políticas de QoS, garantindo flexibilidade no processo de implementação destas políticas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L.H. **Arquitetura MPLS para formação de VPN**. 2004. 87 f. Monografia (Bacharelado em Sistemas de Informação). Faculdades de Ciências Aplicadas de Minas, União Educacional Minas Gerais, UNIMINAS, Belo Horizonte.
- ALVAREZ, S. **Qos for IP/MPLS Networks**. Indianápolis: Cisco Press, 2006. 336p.
- FARREL, A.; BRYSKIN, I. **GMPLS: Architecture and Applications**. San Francisco: Elsevier, 2006. 412p.
- GARCIA, A.L.; WIDJAJA, I. **Communication Networks: Fundamental Concepts and Key Architectures**. Columbus: McGraw-Hill Professional, 2004. 900p.
- GHEIN, L.D. **MPLS Fundamentals**. Indianápolis: Cisco Press, 2007. 651p.
- MCDYSAN, D.E.; PAW, D. **ATM & MPLS Theory & Application: Foundations of Multi-Service Networking**. Columbus: McGraw Hill/Osborne, 2002. 962p.
- OSBORNE, E. **Engenharia de tráfego com MPLS**. Rio de Janeiro: Campus, 2002. 640p.
- PEPELNJAK, I.; GUICHARD, J. **MPLS and VPN Architectures**. Indianápolis: Cisco Press, 2007. 336p.
- TANENBAUM, A. S. **Redes de Computadores**. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2003.
- LEWIS, C.; PICKAVANCE, S. **Selecting MPLS VPN Services**. Indianápolis: Cisco Press, 2006. 456p.