

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM TELEINFORMÁTICA E REDES DE
COMPUTADORES

RODRIGO CORREA BASSIL

**GARANTINDO QUALIDADE DE SERVIÇO ATRAVÉS DA
ENGENHARIA DE TRÁFEGO EM REDES MPLS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO

CURITIBA

2012

RODRIGO CORREA BASSIL

**GARANTINDO QUALIDADE DE SERVIÇO ATRAVÉS DA
ENGENHARIA DE TRÁFEGO EM REDES MPLS**

Monografia de Especialização apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de “Especialista em Teleinformática e Redes de Computadores” da Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Orientador: Prof. Dr. Armando Rech Filho

CURITIBA

2012



TERMO DE APROVAÇÃO


**Garantindo Qualidade de Serviço através da Engenharia de Tráfego em
Redes MPLS**

por

Rodrigo Correa Bassil

Esta monografia foi apresentada às 15:00 h do dia 15 de FEVEREIRO de 2012 como requisito parcial para a obtenção do título de ESPECIALISTA EM TELEINFORMÁTICA E REDES DE COMPUTADORES, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado com a nota 8,5 (OITO INTEIROS E CINCO DÍZIMOS)


Prof. Dr. Armando Rech Filho
(UTFPR)


Prof. Dr. Walter Godoy Júnior
(UTFPR)

Visto da Coordenação


Prof. Dr. Walter Godoy Júnior
Coordenador do Curso

RESUMO

BASSIL, Rodrigo. GARANTINDO QUALIDADE DE SERVIÇO ATRAVÉS DA ENGENHARIA DE TRÁFEGO EM REDES MPLS. 45 f. Monografia de Especialização – Pós-graduação em Teleinformática e Redes de Computadores, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Gerenciamento de Qualidade de Serviço (*QoS - Quality of Service*) na rede é um dos requisitos essenciais para as aplicações multimídia. Este trabalho apresenta a Arquitetura MPLS (*Multi-Protocol Label Switching*) com foco em QoS. Inicialmente são apresentados alguns conceitos a respeito de rede IP (*Internet Protocol*) e QoS. Em seguida são apresentados conceitos da tecnologia MPLS, bem como seu funcionamento, e serviços disponibilizados por esta, como a criação de VPN (*Virtual Private Network*), Engenharia de Tráfego, e como foco principal deste trabalho a implementação de QoS em MPLS. São apresentados os principais protocolos para a provisão e gerenciamento de QoS. Finalmente, são descritos pontos a serem considerados, como vantagens e desvantagens da tecnologia MPLS, proporcionando uma maior compreensão e melhores condições para o desenvolvimento de novos projetos que exijam os aspectos de qualidade de serviço.

Palavras-chave: Qualidade de Serviço, Engenharia de Tráfego, MPLS

ABSTRACT

BASSIL, Rodrigo. ENSURING QUALITY OF SERVICE THROUGH TRAFFIC ENGINEERING IN MPLS NETWORKS. 45 f. Monografia de Especialização – Pós-graduação em Teleinformática e Redes de Computadores, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Quality of Service Management is an essential requirement for multimedia applications. This work approaches MPLS (Multi-protocol Label Switching) Architecture with focus in QoS (Quality of Service). Initially, some topics are presented on IP (Internet Protocol) networks and QoS. The following are concepts of MPLS technology as well as its operation and services provided, like VPN (Virtual Private Network), TE (Traffic Engineering) and the main focus of this work the implementation of QoS in MPLS. The main protocols for the provision and management of QoS are presented. Finally, the points to be considered as advantages and disadvantages of MPLS technology are described, providing a greater understanding and better conditions for development of new projects that require quality of service.

Keywords: Quality of Service, Traffic Engineering, MPLS

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – REDE MPLS	24
FIGURA 2 – ESTRUTURA E ENCAPSULAMENTO DO CABEÇALHO MPLS	26
FIGURA 3 – PILHA E HIERARQUIA DE RÓTULOS	28
FIGURA 4 – CR-LDP	35
FIGURA 5 – RSVP-TE	37
FIGURA 6 – TE DATABASE	40

LISTA DE SIGLAS

AF	Assured Forwarding
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BGP	Border Gateway Protocol
CBQ	Class Based Queuing
CFQ	Class-Based Fair Queuing
CR-LDP	Constraint Routing - Label Distribution Protocol
CSR	Cell-Switching Router
DiffServ	Differentiated Services Framework
ECN	Explicit Congestion Notification
EF	Expedited Forwarding
FEC	Forwarding Equivalency Class
GPS	Generalized Processor Sharing
IETF	Internet Engineering Task Force
IGP	Interior Gateway Protocols
IntServ	Integrated Services Architecture
IP	Internet Protocol
LDP	Label Distribution Protocol
LER	Label Edge Router
LIB	Label Information Base
LSP	Label Switched Path
LSR	Label Switch Routers
MPLS	Multi-Protocol Label Switching
NHLFE	Next Hop Label Forwarding Entry
OSPF	Open Shortest Path First

QoS	Quality of Service
RED	Random Early Detection
RIP	Routing Information Protocol
RSVP	Resource Reservation Protocol
RSVP-TE	Resource Reservation Protocol - Traffic Engineering
SFQ	Stochastic Fair Queuing
SLA	Service Level Agreement
TCP	Transmission Control Protocol
TE	Traffic Engineering
TLV	Type-Length-Value
TOS	Type of Service
TTL	Time to Live
VoIP	Voice over IP
VPN	Virtual Private Network
WFQ	Weighted Fair Queuing
WRED	Weighted Random Early Detection
WRR	Weighted Round Robin

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	TECNOLOGIAS DE REDES INTERNET	9
1.2	OBJETIVO	10
1.3	JUSTIFICATIVA	10
1.4	METODOLOGIA	11
1.5	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	11
2	CENÁRIO E APLICAÇÕES	12
2.1	QUALIDADE DE SERVIÇO - PRINCÍPIOS E PARÂMETROS	12
2.1.1	Parâmetros de QoS	13
3	TÉCNICAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE QoS	15
3.1	IMPLEMENTAÇÃO DE QoS	15
3.1.1	Mecanismos de QoS	15
3.1.2	Protocolos de Sinalização	16
3.1.3	Algoritmos de Prioridade	16
3.1.4	Algoritmos de Escalonamento	16
3.1.5	Algoritmos de Controle de Filas	17
3.1.6	Algoritmos de Congestionamento	17
3.1.7	Alternativas Técnicas	17
3.2	<i>INTSERV - INTEGRATED SERVICES ARCHITECTURE</i>	17
3.3	<i>DIFFSERV - DIFFERENTIATED SERVICES FRAMEWORK</i>	18
3.4	SUPER-DIMENSIONAMENTO	20
3.5	TÉCNICAS EMERGENTES	20
4	MPLS	21
4.1	HISTÓRICO	21
4.2	ARQUITETURA	22
4.3	FUNCIONAMENTO	23
4.4	ELEMENTOS	24
4.4.1	LSR (<i>Label Switch Router</i>)	25
4.4.2	LER (<i>Label Edge Router</i>)	25
4.4.3	LSP (<i>Label Switch Path</i>)	25
4.4.4	FEC (<i>Forwarding Equivalency Class</i>)	25
4.4.5	Rótulo (<i>Label</i>)	26
4.4.6	Pilha de Rótulos (<i>Label Stack</i>)	27
4.4.7	NHLFE (<i>Next Hop Label Forwarding Entry</i>)	29
4.4.8	LDP (<i>Label Distribution Protocol</i>)	30
4.4.9	LIB (<i>Label Information Base</i>)	30
5	ENGENHARIA DE TRÁFEGO NA REDE MPLS	31
5.1	ROTEAMENTO EM REDES MPLS	32
5.1.1	Roteamento Implícito	32
5.1.2	Roteamento Explícito	33
5.2	CR-LDP (<i>CONSTRAINT ROUTING - LABEL DISTRIBUTION PROTOCOL</i>)	34

5.3	RSVP-TE (<i>RESOURCE RESERVATION PROTOCOL - TRAFFIC ENGINEERING</i>)	36
5.4	CR-LDP X RSVP-TE	37
5.5	COMPONENTES DA ENGENHARIA DE TRÁFEGO	39
5.6	ESTILOS DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO	40
5.7	REQUISITOS PARA ENGENHARIA DE TRÁFEGO	41
6	CONCLUSÕES	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

1.1 TECNOLOGIAS DE REDES INTERNET

As exigências das redes e aplicações atuais, principalmente aplicações multimídia e em tempo real, como vídeo sob demanda, videoconferência, e voz sobre IP (*Internet Protocol*), contrastam radicalmente com o paradigma tradicional dos serviços disponibilizados através do protocolo IP, no qual o melhor esforço é considerado sem levar em conta aspectos de Qualidade de Serviço, tais como alta taxa de transferência de dados (largura de banda) e baixa latência.

O protocolo IP apresenta algumas limitações, fruto de sua simplicidade, dificultando a implementação de QoS (*Quality of Service*) nas redes baseadas neste protocolo. Não há, por exemplo, nenhum tipo de classificação, priorização ou reserva de recursos. Além disso, cada pacote é analisado individualmente em cada nó de roteamento, gerando uma sobrecarga na transmissão destes.

Logo, necessita-se de uma maneira para prover um serviço de entrega previsível e consistente que atenda aos aspectos de QoS. QoS é a habilidade de um elemento da rede ter algum nível de garantia de que os requisitos de um serviço ou aplicação serão satisfeitos.

Isto implica em uma mudança de paradigma no processo de encaminhamento de pacotes. Nesse contexto, o paradigma de comutação por rótulos vem se firmando como uma solução altamente positiva.

Particularmente, o MPLS (*Multi-Protocol Label Switching*), definida pela IETF (*Internet Engineering Task Force*), tem se mostrado uma solução interessante, pois permite, entre outras possibilidades, a criação de caminhos comutados por rótulos (*LSP - Label Switched Path*), com características de serviços diferenciados. Essa funcionalidade permite a agilidade no encaminhamento de pacotes, pois o processamento é feito a partir do nível 2, eliminando a sobrecarga ocasionada pelo processamento do cabeçalho do datagrama IP no roteamento de pacotes, e possibilitando um ambiente propício aos parâmetros de QoS em nível de enlace.

Entre as características mais notáveis do MPLS, pode-se observar:

- Melhor suporte à QoS;
- Melhor Suporte a serviços IP, como por exemplo VoIP;
- Possibilidade de implementar topologias mais flexíveis;
- Escalabilidade;
- Engenharia de Tráfego (*TE - Traffic Engineering*);
- Provisão de VPN (*Virtual Private Network*);
- Interoperabilidade de redes com tecnologias heterogêneas, como ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) e *Frame Relay*.

1.2 OBJETIVO

Demonstrar como o MPLS implementa os mecanismos para garantir qualidade de serviço para redes IP. Para que se cumpra este objetivo principal, são os seguintes os objetivos específicos:

- Analisar os princípios e parâmetros de QoS
- Analisar técnicas para a implementação de QoS
- Listar e analisar elementos da tecnologia MPLS
- Demonstrar como a engenharia de tráfego funciona em uma rede MPLS

1.3 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista o panorama atual de redes e suas aplicações, principalmente aplicações multimídia, torna-se relevante discutir como obter QoS em redes IP.

Nesse contexto, o controle de congestionamento é essencial para melhorar o desempenho da rede. Para isso, o MPLS se torna uma solução interessante, além de possuir outros benefícios como poderá ser verificado ao longo deste trabalho.

O presente trabalho visa detalhar os princípios e parâmetros de QoS, entender o funcionamento da tecnologia MPLS, analisar e avaliar os benefícios da mesma, e como influenciam na obtenção dos requisitos de qualidade de serviço.

1.4 METODOLOGIA

Para o estudo das formas de obtenção de QoS em uma rede MPLS foi utilizada uma metodologia do tipo exploratória, com fontes de dados basicamente secundárias:

- Revisão e aprofundamento de conhecimentos adquiridos ao longo da vida profissional e acadêmica através de livros e dissertações;
- Pesquisa em RFCs referentes ao tema tratado.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

O texto está organizado da seguinte forma: No capítulo 2 é feita uma reflexão a respeito do cenário atual de redes e aplicações. No capítulo 3 são apresentadas técnicas para implementação de QoS para atender requisitos de aplicações e serviços atuais. O capítulo 4 apresenta a tecnologia MPLS e seus principais componentes, e, por fim, o capítulo 5 aborda como obter QoS através da Engenharia de Tráfego.

2 CENÁRIO E APLICAÇÕES

A arquitetura da rede TCP/IP foi concebida tendo como princípios a funcionalidade e simplicidade, sendo projetada para prover a entrega de dados utilizando-se do paradigma “melhor-esforço”, ou seja, não provendo garantia de entrega ou compromisso com o tempo de entrega (TEIXEIRA, 2004).

Isso permitiu que a complexidade permanecesse nos sistemas finais, enquanto que a rede continuasse simples. Além disso, utiliza um conjunto de protocolos abertos (públicos), possui independência de sistema operacional, e implementa um esquema de endereçamento global.

Tais características favoreceram o crescimento e aceitabilidade das redes IP. Com uma imensa base instalada com milhões de computadores que continua crescendo, este cenário dificilmente mudará nos próximos anos.

Porém, as aplicações e serviços executados sobre a rede têm mudado constantemente. Aplicações como correio eletrônico e transferência de arquivos, hoje dividem espaço com VoIP (*Voice over IP* ou Voz sobre IP), video-conferência, educação à distância, entre outras.

Tais aplicações, em especial as aplicações multimídia e em tempo real, exigem requisitos relacionados à segurança e desempenho para a sua operação com qualidade, à qual pode-se chamar também de Qualidade de Serviço (XIAO; NI, 1999).

2.1 QUALIDADE DE SERVIÇO - PRINCÍPIOS E PARÂMETROS

Os requisitos de QoS têm um papel fundamental no desempenho dessas novas aplicações (VoIP, aplicações multimídia, em tempo real, ...). Logo, é imprescindível o entendimento dos parâmetros, princípios, algoritmos e protocolos para a obtenção de QoS.

QoS ou Qualidade de Serviço pode ser definido como requisito das aplicações para qual exige-se que determinados parâmetros (atrasos, vazão, perdas) estejam dentro de limites bem definidos (mínimo, máximo) (STARDUST, 1999b; MAGALHÃES; CARDOZO, 1999).

Qualidade de Serviço está relacionada com a garantia de um atraso de entrega (*delay*) e uma perda de pacotes suficientemente baixos para certos tipos de aplicações ou tráfegos (ZHAO; OLSHEFSKI; SCHULZRINNE, 2000).

A garantia de QoS advém da combinação de vários fatores, a saber: a própria rede, seus componentes e equipamentos utilizados (STARDUST, 1999b). Do ponto de vista da aplicação, a QoS pode ser expressa por uma “Solicitação de Serviço”, e essa solicitação pode ser denominada também de SLA (*Service Level Agreement*) (VASILIOU, 2000).

Um SLA define quais requisitos devem ser garantidos. Uma vez que a SLA seja cumprida, a aplicação executará com a qualidade necessária prevista para o usuário final.

2.1.1 Parâmetros de QoS

No SLA estão especificados os parâmetros de QoS necessários à execução de uma aplicação com qualidade. Parâmetros como:

- Latência ou Atraso
- *Jitter*
- Banda ou Vazão
- Disponibilidade
- Taxa de Perdas
- Outros

A seguir são discutidos em mais detalhes cada um dos parâmetros citados.

Banda ou Vazão

Vazão é a capacidade de transmissão de pacotes por unidade de tempo. A vazão é o parâmetro mais básico e mais presente nas especificações de QoS. Além disso deve ser considerada na fase de projeto da rede.

Latência ou Atraso

O termo “latência” é mais comumente utilizado para equipamentos, enquanto que o termo “atraso” é mais utilizado para referenciar transmissões de dados, mas ambos podem ser utilizados na especificação de QoS.

Pode-se entender a latência da rede como sendo o somatório dos atrasos em decorrência dos equipamentos ao longo da rede. A latência ou atraso influencia no tempo de resposta das aplicações.

Atraso de Propagação, Velocidade de Transmissão e Processamento nos equipamentos, são os principais fatores influenciadores na latência da rede.

Jitter

É um fator importante para aplicações cuja execução deve ser garantida em períodos de tempo bem definidos.

O *Jitter* pode ser entendido como a variação no tempo e na sequência de entrega das informações/pacotes devido à variação na latência (DEMICHELI, 2002). Isso é causado por tempos de processamento diferentes dos equipamentos da rede, tecnologias diferentes (*Frame Relay*, ATM, IP, etc.) e outros fatores da rede.

Para algumas aplicações, como a telefonia via Internet e aplicativos em tempo real, é desejável ter um atraso e *jitter* baixos (A variação no tempo de chegada de pacotes prejudica a qualidade da conversação/transmissão) e uma vazão instantânea/constante acima de algum limiar a fim de manter sincronizados voz e vídeo. Para outras aplicações, como transferência de arquivos, o atraso não é importante, mas é recomendado ter a vazão mais alta possível.

Como solução, pode-se utilizar da técnica de *buffering*. Esse buffer servirá como uma reserva para manter a taxa de entrega constante no interlocutor.

Perdas

Alguns fatores influenciam a perda de pacotes na rede como descarte de pacotes em roteadores e perda de pacotes devido à erros na camada de enlace. Esse problema não chega a ser crucial para algumas aplicações, porém pode implicar em uma qualidade não aceitável.

Disponibilidade

Medida da garantia de execução da aplicação ao longo do tempo. Geralmente a disponibilidade é um aspecto a ser discutido na fase de projeto da rede.

3 TÉCNICAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE QoS

Nesse capítulo são apresentados alguns métodos, protocolos, e mecanismos para a implementação de QoS, e posteriormente a arquitetura MPLS em detalhes.

3.1 IMPLEMENTAÇÃO DE QoS

Para a implementação de QoS de forma satisfatória, seus mecanismos devem atuar de forma conjunta, ou seja, os parâmetros (atraso, *jitter*, ...) devem ser controlados e não estão localizados em apenas um equipamento ou componente de rede (SHENKER; PARTRIDGE; GUERIN, 1997).

Portanto, os mecanismos de QoS devem atuar em equipamentos, camadas de protocolo e entidades de forma cooperada (STARDUST, 1999b). Além disso, deve-se ter em mente o momento em que esses mecanismos devem ser garantidos, como períodos de congestionamento da rede, por exemplo (ZHAO; OLSHEFSKI; SCHULZRINNE, 2000).

Para essas situações, algumas decisões devem ser tomadas no sentido de:

- Como alocar os recursos
- Como priorizar pacotes
- Quais pacotes descartar
- Quando descartar pacotes

3.1.1 Mecanismos de QoS

Algumas técnicas a serem discutidas adiante utilizam alguns mecanismos como:

- Protocolos de Sinalização
- Algoritmos de Prioridade

- Algoritmos de Escalonamento
- Algoritmos de Controle de Filas
- Algoritmos de Congestionamento

3.1.2 Protocolos de Sinalização

Os protocolos de sinalização são utilizados para fazer requisições, pelas aplicações, de suas necessidades de QoS, além de permitir a troca de informações entre equipamentos da rede com o objetivo de garantir as necessidades das aplicações.

Como exemplo há os protocolos RSVP (*Resource Reservation Protocol*) e LDP (*Label Distribution Protocol*).

3.1.3 Algoritmos de Prioridade

A diferenciação dos tempos de espera para o processamento de pacotes é proporcionada através de prioridades. Tais algoritmos são normalmente implementados em roteadores.

Como exemplo de algoritmos de prioridade há o *IP Precedence*, utilizado pelo campo TOS (*Type of Service*) do IPv4, e o *Priority Queuing*.

3.1.4 Algoritmos de Escalonamento

Os algoritmos de escalonamento procuram garantir que fluxos diferentes de pacotes obtenham recursos previamente alocados (banda e processamento). Os recursos são distribuídos de maneira justa entre os fluxos ativos.

Como exemplo pode-se citar:

- *WRR - Weighted Round Robin*
- *GPS - Generalized Processor Sharing*
- *CBQ - Class Based Queuing*
- *WFQ - Weighted Fair Queuing*

3.1.5 Algoritmos de Controle de Filas

Fazem o controle de descarte de pacotes em casos de congestionamento e visa igualdade de distribuição de banda e processamento. Exemplos: SFQ (*Stochastic Fair Queuing*), CFQ (*Class-Based Fair Queuing*) e WFQ (*Weighted Fair Queuing*).

3.1.6 Algoritmos de Congestionamento

Têm como objetivo inibir fluxos de pacotes em períodos de congestionamento, reduzindo a carga sobre a rede. Exemplos: RED (*Random Early Detection*), WRED (*Weighted Random Early Detection*) e ECN (*Explicit Congestion Notification*).

A seguir são mencionadas algumas técnicas utilizadas para obter qualidade de serviço.

3.1.7 Alternativas Técnicas

- *IntServ (Integrated Services Architecture with Resource Reservation Protocol)*
- *DiffServ (Differentiated Services Framework)*
- Super-Dimensionamento
- MPLS (*MultiProtocol Label Switching*)

Em seguida, são vistos alguns conceitos de cada uma delas e mais detalhadamente a arquitetura MPLS, que é o foco deste trabalho.

3.2 INTSERV - INTEGRATED SERVICES ARCHITECTURE

Criada pela IETF, a Arquitetura *IntServ*, também denominada de “Arquitetura de Serviços Integrados”, tem como objetivo a garantia de qualidade de serviço para as aplicações (BRADEN; CLARK; SHENKER, 1994).

O princípio básico de tal arquitetura é a reserva de recursos da rede. A aplicação reserva os recursos que irá utilizar antes de iniciar sua execução (XIAO; NI, 1999). Para isso, é preciso definir:

- Como as aplicações irão solicitar suas necessidades à rede;

- Como os elementos da rede devem proceder para garantir a reserva de recursos solicitada pelas aplicações.

As solicitações de reserva de recursos pelas aplicações é feita através do protocolo RSVP (BRADEN et al., 1997). O RSVP é um protocolo de sinalização que atua sobre o tráfego de pacotes na rede (STARDUST, 1999a).

A Arquitetura *IntServ* é implementada através de um protocolo de sinalização (RSVP), mencionado anteriormente, um processo controle de admissão (decide quando uma requisição pode ser aceita ou não), um processo de classificação (classifica os pacotes entrantes, de acordo com regras pré-estabelecidas) e um escalonador de pacotes (decide que pacote será atendido primeiro) (TEIXEIRA, 2004).

Alguns dos problemas dessa arquitetura são a exigência de grande capacidade de processamento, e a implementação do RSVP, controle de admissão, classificação e escalonamento nos roteadores.

3.3 *DIFFSERV - DIFFERENTIATED SERVICES FRAMEWORK*

Os problemas de escalabilidade da Arquitetura *IntServ* e a dificuldade de sua implementação em uma rede como a *Internet* motivaram esforços para o desenvolvimento da Arquitetura de Serviços Diferenciados (BLAKE et al., 1998).

A técnica *DiffServ*, proposta também pela IETF, tem como objetivo garantir qualidade de serviço por meio de mecanismos de priorização de pacotes na rede. Ou seja, os pacotes são classificados, marcados e processados/roteados segundo um rótulo, diminuindo assim o processamento nos roteadores.

Para a classificação dos pacotes é utilizado o campo *Type-of-Service* do cabeçalho do protocolo IPv4 (ou o campo *Traffic Class* do IPv6), que nesse caso é chamado de DS - *Differentiated Services*.

No *DiffServ* são definidas poucas “Classes de Serviço”. Logo, os fluxos de tráfego são agregados a poucas classes de serviço em função da especificação de QoS.

A classificação ocorre nos roteadores de entrada do backbone, também chamados de roteadores de borda, simplificando o processamento no interior da rede.

Dessa forma, o *DiffServ* fornece diferenciação de serviços local para grandes agregados de tráfego, enquanto o modelo *IntServ* dá garantias de performance fim-a-fim para fluxos indivi-

duais (VASILIOU, 2000).

Há duas classes de serviço que podem ser entendidas como “comportamentos”:

- *EF - Expedited Forwarding*

O tipo de serviço EF surgiu das novas necessidades comerciais e não tem por objetivo substituir os serviços normais da Internet, que são os serviços convencionais que não necessitam de QoS. Emula uma linha dedicada minimizando os atrasos, perda, e *jitter*. Consiste na alocação de uma pequena porcentagem da banda a um custo elevado. Cria-se, assim, um canal virtual sem a necessidade de se construir uma nova rede. Quando a sua banda não está sendo utilizada, ela é aproveitada pelos demais serviços da rede (JACOBSON; NICHOLS; PODURI, 1999). O tipo de serviço EF foi desenvolvido para possuir um tráfego regular que necessita de pouca ou nenhuma utilização de buffers. A criação desse serviço requer duas necessidades principais:

- Configurar os nodos/nós da rede de forma que o tráfego tenha um mínimo de tempo de saída;
- A taxa de chegada de um nodo/nós deve ser menor que o seu tempo mínimo de saída.

O serviço EF, por garantir taxa e banda sem atraso, tem um enorme campo de utilização por parte de aplicações de vídeo sob demanda, voz sobre IP, VPN, entre outras. Contudo, ele é extremamente rígido e caro.

- *AF - Assured Forwarding*

Possui as mesmas características de atraso que os serviços convencionais, só que com uma maior garantia de entrega. Além disso, permite que taxas acima das contratadas sejam utilizadas sem que nenhuma penalidade seja aplicada. Contudo, não oferece garantias rígidas de QoS dadas pelo serviço EF (HEINANEN et al., 1999).

São definidas quatro classes de serviços AF. Cada classe possui recursos distintos, como tamanho de buffers e banda. Dentro das prioridades de cada classe, os pacotes ainda podem ser classificados em relação a três níveis de importância. No caso de um congestionamento, os pacotes com menor importância dentro de uma determinada classe serão excluídos. Assim, a garantia de entrega de um pacote depende de:

- Quantidade de recursos alocados para a classe de um determinado pacote;

- Qual é a carga da classe;
- Nível de importância do pacote.

A vantagem do AF em relação ao EF está no seu menor custo e na possibilidade de ocorrerem excessos no envio de pacotes sem perda para o usuário. As desvantagens seriam um maior atraso e a possibilidade de perda de pacotes caso o usuário ultrapasse a taxa contratada.

Vale ainda ressaltar que as técnicas *IntServ* e *DiffServ* não são mutuamente exclusivas, ou seja, elas podem ser utilizadas em conjunto provendo QoS para as aplicações (TEIXEIRA, 2004).

3.4 SUPER-DIMENSIONAMENTO

Nessa técnica a rede e seus elementos são dimensionados para não possibilitar congestionamentos. Por exemplo, super-dimensionando a banda utilizada. Essa técnica apresenta alguns problemas:

- Alto custo;
- Identificação dos pontos de ocorrência de congestionamento.

Embora essa solução não seja realista, é uma possível alternativa para garantir QoS.

3.5 TÉCNICAS EMERGENTES

Como visto, os mecanismos e técnicas de QoS tentam garantir que parâmetros como banda, atraso, perda, e outros, no processo de encaminhamento de pacotes, permaneçam entre limites previamente estabelecidos entre o cliente/usuário e o provedor do serviço.

Logo, o roteamento de pacotes e a qualidade de serviço são questões relacionadas, e se abordadas em conjunto podem oferecer um melhor desempenho. Nesse contexto, algumas soluções de Engenharia de Tráfego e Roteamento Baseado em Restrições têm surgido. O MPLS se aproveita dos benefícios de ambas para garantir QoS, o mesmo será detalhado a seguir.

4 MPLS

4.1 HISTÓRICO

Como o protocolo IP é o principal padrão utilizado nas redes de dados, logo, as redes de voz, dados e vídeo também devem ser baseadas nesse protocolo. Para isso, há a necessidade de novos paradigmas para roteamento e comutação de pacotes que garantam um melhor desempenho. É nesse sentido que algumas alternativas surgiram tentando conciliar a alta velocidade de operação de comutação da camada de enlace e a flexibilidade do processo de roteamento da camada de rede no que pode-se designar como paradigma de comutação por rótulos.

Tais características deste paradigma têm como consequência o aumento potencial de Engenharia de Tráfego e o suporte a QoS.

Algumas tecnologias proprietárias foram desenvolvidas até a padronização da tecnologia MPLS. Algumas delas são:

- *CSR (Cell-Switching Router)*, desenvolvida pela Toshiba;
- *IP Switching*, desenvolvida pela Ipsilon;
- *Tag Switching*, comutação por rótulos desenvolvida pela Cisco;
- *Aggregate Route-based IP Switching*, desenvolvida pela IBM.

As várias soluções, citadas acima, não apontavam para uma única direção, logo, esforços para a definição de um novo padrão fez-se necessária. Assim o padrão MPLS foi proposto pelo IETF, garantindo a interoperabilidade entre os diversos fabricantes (ROSEN; VISWANATHAN; CALLON, 2001).

Antes de apresentar o padrão MPLS em detalhes, é preciso relembrar alguns conceitos, como roteamento e comutação de pacotes.

- **Roteamento ou Comutação**

- Roteamento (camada de rede)

São ações efetuadas para mover pacotes da máquina origem à máquina destino. Para isso os roteadores pesquisam uma tabela, chamada tabela de roteamento, utilizando o endereço IP de destino do pacote como índice, e obtendo assim a identificação do próximo nó.

- Comutação (camada de enlace)

Transferência de dados de uma porta de entrada para uma porta de saída de um nó, onde a seleção da porta de saída é baseada no cabeçalho do quadro da camada de enlace. A comutação por rótulo é uma forma avançada de encaminhamento de pacotes.

A comutação por rótulo e o roteamento convencional possuem algumas diferenças que podem ser observadas no Quadro 1.

Roteamento/Comutação	Análise do Cabeçalho IP	Roteamento
Roteamento Convencional	Ocorre em todos os nós	Baseado no Endereço de Destino
Comutação por Rótulo	Ocorre apenas nos roteadores/comutadores de borda da rede	Pode ser baseado no Endereço de Destino, em parâmetros de QoS e associações VPN.

Quadro 1: Roteamento/Comutação

4.2 ARQUITETURA

MPLS é um *Framework*, definido pelo IETF, denominado *Multi-Protocol Label Switching* pois pode ser aplicado em qualquer protocolo da camada de rede, embora seu foco seja o protocolo IP (ROSEN; VISWANATHAN; CALLON, 2001).

O grande diferencial da Arquitetura MPLS está no encaminhamento e comutação eficientes de fluxos de tráfego, além das aplicações que o mesmo permite, que são difíceis ou até impossíveis de se implementar em redes IP tradicionais, como por exemplo, Engenharia de Tráfego.

O MPLS modifica o paradigma atual através da superposição de um rótulo ao datagrama, inculindo à comunicação a propriedade de orientação à conexão.

A informação em uma rede MPLS é atribuída a uma determinada classe de serviço, e os dados são comutados/encaminhados através de caminhos pré-estabelecidos.

Algumas das vantagens do MPLS, já citadas anteriormente, são:

- Orientação à conexão em redes IP
- Flexibilidade
- Escalabilidade
- Engenharia de Tráfego
- Criação de VPN's
- Suporte à QoS

4.3 FUNCIONAMENTO

A idéia básica do funcionamento do MPLS consiste na utilização de um rótulo (*label*) de tamanho fixo determinado pelo roteador LER (*Label Edge Router*). Tal rótulo é utilizado para a tomada de decisões de encaminhamento dos pacotes através de caminhos denominados LSP's (*Label Switch Paths*) formados por roteadores de comutação por rótulos LSR's (*Label Switch Routers*) (ROSEN; VISWANATHAN; CALLON, 2001).

Todas as decisões de encaminhamento são baseadas exclusivamente no rótulo dos pacotes. Em cada salto (*hop*) o LSR retira o rótulo atual e aplica um novo, este novo rótulo será utilizado pelo próximo LSR para o encaminhamento do pacote.

Cada rótulo representa um índice na tabela de encaminhamento do próximo LSR. Sendo assim, quando um pacote rotulado chega, o LSR procura em sua tabela pelo índice correspondente ao rótulo. Ao encontrar este índice o LSR substitui o rótulo de entrada por um rótulo de saída associado à uma classe de equivalência de encaminhamento (FEC - *Forwarding Equivalency Class*), a que pertence o pacote. Após completada a operação de troca de rótulos o pacote é encaminhado pela interface de saída correspondente.

O rótulo apropriado é atribuído a cada pacote levando em consideração o conteúdo do cabeçalho IP dos mesmos. Ao contrário de um cabeçalho IP, o rótulo possui simplesmente um valor numérico de tamanho fixo e curto que identifica a qual FEC o pacote está associado. A associação do pacote a uma FEC normalmente é feita baseada no endereço da sub-rede de destino. Entretanto, o fato importante é que a complexidade de associação dos pacotes às FECs é feita somente na borda da rede MPLS.

Esse mecanismo de análise e seleção de rótulo é chamado de classificação de pacotes. Vale ressaltar que essa análise pode ser baseada em vários campos do cabeçalho IP e não apenas no campo de endereço de destino, remetendo grande flexibilidade ao *Framework* MPLS, principalmente em relação à Engenharia de Tráfego (TE).

4.4 ELEMENTOS

Neste item são apresentados os principais elementos da Arquitetura MPLS. Alguns deles são ilustrados na Figura 1 abaixo.

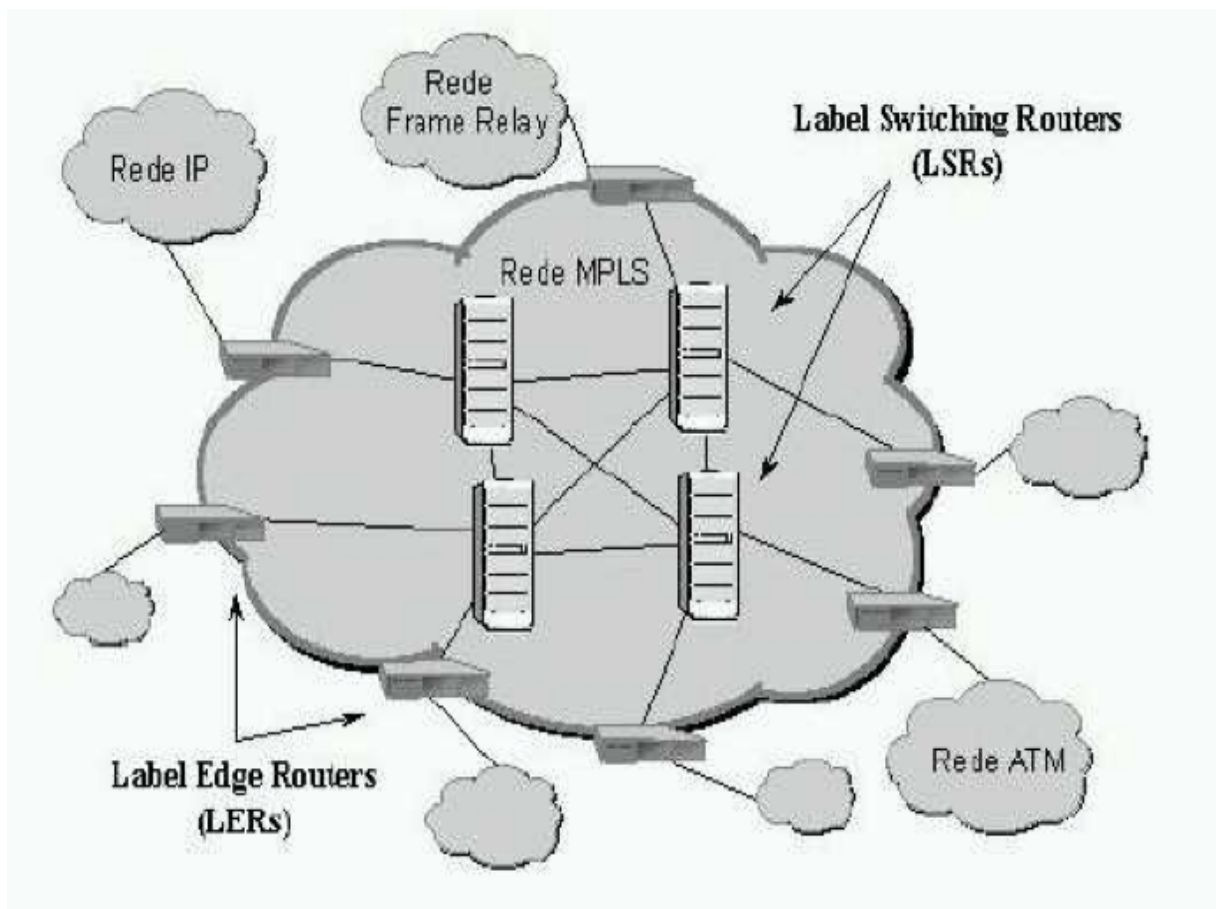


Figura 1: Rede MPLS

Fonte: Abreu (2004).

4.4.1 LSR (*Label Switch Router*)

São os roteadores responsáveis pela comutação/encaminhamento dos pacotes baseado apenas nos rótulos dos mesmos. Ao receber um pacote, o LSR troca o rótulo existente por outro, repassando o pacote para outro LSR. A ação de troca de rótulos é referida também como *swap*. Os LSR's estão localizados no núcleo da rede MPLS.

4.4.2 LER (*Label Edge Router*)

Um LER (*Label Edge Router*) é um roteador de borda da rede responsável por classificar o tráfego, aplicar/remover os rótulos dos pacotes que entram/saem da rede MPLS. Basicamente são LSR's localizados nos limites do ponto de presença, ou (POP - *point of presence*), de uma rede MPLS e aplicam rótulos (ou uma pilha de rótulos) nos pacotes. A imposição de rótulos também é chamada de *push label*, e a retirada do rótulo na saída do domínio MPLS é referida como *pop label*.

4.4.3 LSP (*Label Switch Path*)

Os LSP's são os caminhos por onde os pacotes irão trafegar na rede MPLS. Como mencionado anteriormente, um pacote é associado a uma classe de equivalência (FEC) e para esta FEC é criada uma LSP (ROSEN; VISWANATHAN; CALLON, 2001). Um LSP é unidirecional, logo é preciso de duas LSP's para estabelecer a comunicação entre dois nós. Uma rota deve ser pré-estabelecida, com protocolos de roteamento convencionais ou roteamento com restrições, definindo um caminho. Os pacotes então serão comutados por este caminho e não mais roteados.

4.4.4 FEC (*Forwarding Equivalency Class*)

Uma FEC (*Forwarding Equivalency Class*) consiste em uma representação de um grupo de pacotes que serão encaminhados de maneira equivalente na rede MPLS. Normalmente os pacotes pertencentes a um mesmo fluxo de dados, pertencem também a uma mesma FEC. Podem ainda ser utilizados requisitos de QoS para definir as FEC's. Cada FEC é associada a um rótulo, e cada LSP é associado a uma FEC. Cada LER, ao receber um pacote, verifica a qual FEC o mesmo pertence e encaminha ao LSP correspondente. A associação do pacote a uma FEC ocorre apenas uma vez, na entrada do pacote na rede, proporcionando flexibilidade e escalabilidade.

4.4.5 Rótulo (*Label*)

A RFC 3031, define um rótulo como um identificador curto de tamanho fixo e fisicamente contíguo, utilizado para identificar uma FEC (*Forwarding Equivalence Class*) normalmente com significado local. O cabeçalho do MPLS deve ser posicionado após qualquer cabeçalho da camada de enlace e antes de qualquer cabeçalho da camada de rede (ROSEN; VISWANATHAN; CALLON, 2001). O rótulo possui um tamanho de 32 bits e faz a associação de pacotes e suas respectivas conexões. Ou seja, o rótulo nada mais é que uma abreviação para um fluxo de dados.

Na Figura 2 a seguir é apresentado o formato do cabeçalho MPLS.

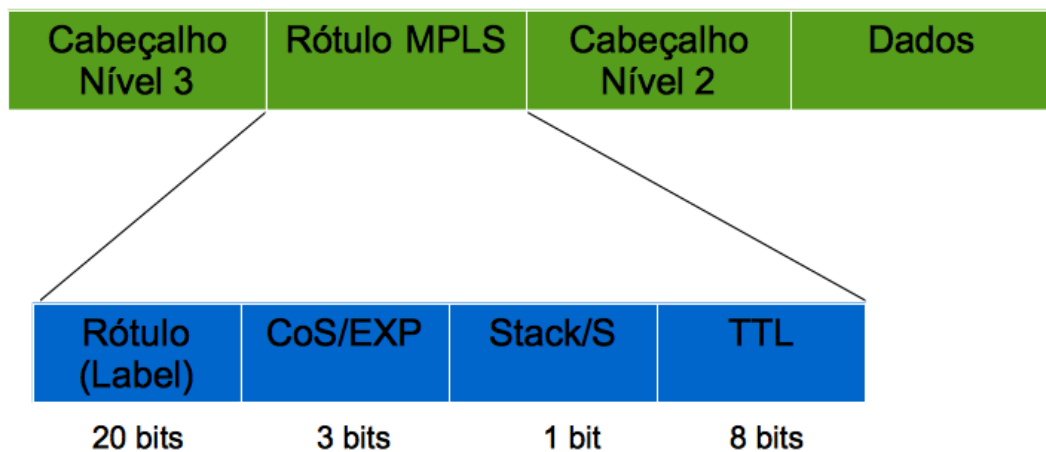


Figura 2: Estrutura e encapsulamento do cabeçalho MPLS

Os campos do cabeçalho MPLS são especificados abaixo:

- *Tag/Label*: Campo de 20 bits referente ao valor atual do rótulo MPLS. Representa uma FEC (*Forwarding Equivalence Class*).
- *COS/EXP*: Campo de 3 bits referente ao enfileiramento e algoritmos de descarte aplicados ao pacote transmitido. É utilizado para a implementação de QoS.
- *Stack/S*: Campo de 1 bit que indica a presença de uma pilha de rótulos. Se S é zero, o rótulo é único ou o último da pilha, senão S é um. Isso possibilita o roteamento hierárquico.
- *TTL (Time To Live)*: Campo de 8 bits referente ao tempo de vida, semelhante ao IP convencional. Indica quantos saltos (*hops*) o pacote pode efetuar.

O MPLS suporta três tipos de conteúdos diferentes para os rótulos. Em redes ATM utiliza o par VCI/VPI do cabeçalho das células, em *Frame Relay*, utiliza-se o campo DLCI, e nas demais utiliza um pequeno campo genérico denominado de *SHIM Header*, que se posiciona entre os cabeçalhos das camadas de enlace e de rede (ROSEN; VISWANATHAN; CALLON, 2001).

4.4.6 Pilha de Rótulos (*Label Stack*)

O empilhamento de rótulos, que consiste no transporte de mais de um rótulo por pacote, permite que os LSR's troquem informações entre si e se comportem como nós de borda. O processamento de um pacote rotulado é independente do nível de hierarquia, ou seja, é baseado no rótulo do topo da pilha, abstraindo os restantes.

A pilha de rótulos permite que haja uma diferenciação entre tipos de fluxos de dados, configurando e distribuindo LSP's adequadamente.

A pilha segue o procedimento *LIFO - Last In, First Out*, e estabelece uma hierarquia ordenada em um conjunto de rótulos. Esta hierarquia é utilizada quando um nó MPLS envia um pacote para outro sendo que estes não são nós vizinhos, ou seja, há vários nós de passagem entre eles. Quando isso acontece, um túnel (caminho) é estabelecido entre os nós de origem e destino.

Para enviar um pacote através de um túnel, o nó de ingresso adiciona um rótulo na pilha que tenha significado para ele. Em seguida, adiciona um rótulo que seja compreendido pelo próximo nó (vizinho) e encaminha o pacote para o túnel. Por exemplo, uma rede MPLS pode conter uma LSP passando pelos nós <R1, R2, R3, R4>. Porém, neste exemplo, ilustrado na Figura 3 abaixo, R2 e R3 não estão conectados diretamente, mas são origem e destino de um túnel LSP.

Um pacote atravessa esta rede por um LSP nível 1 <R1, R2, R3, R4> e, para migrar de R2 para R3 utiliza um LSP nível 2 <R2, R21, R22, R3>.

As seguintes ações ocorrem quando o pacote é enviado através do túnel:

- R2 recebe o pacote de R1. O pacote contém um único rótulo, e o tamanho da pilha é um.
- R2 retira o rótulo da pilha e inclui um novo rótulo, o qual é compreendido apenas por R3. Este rótulo é chamado de *La*.
- R2 inclui outro rótulo no topo da pilha, este por sua vez será compreendido apenas por R21. Este rótulo é chamado de *Lb*. O tamanho da pilha é dois.

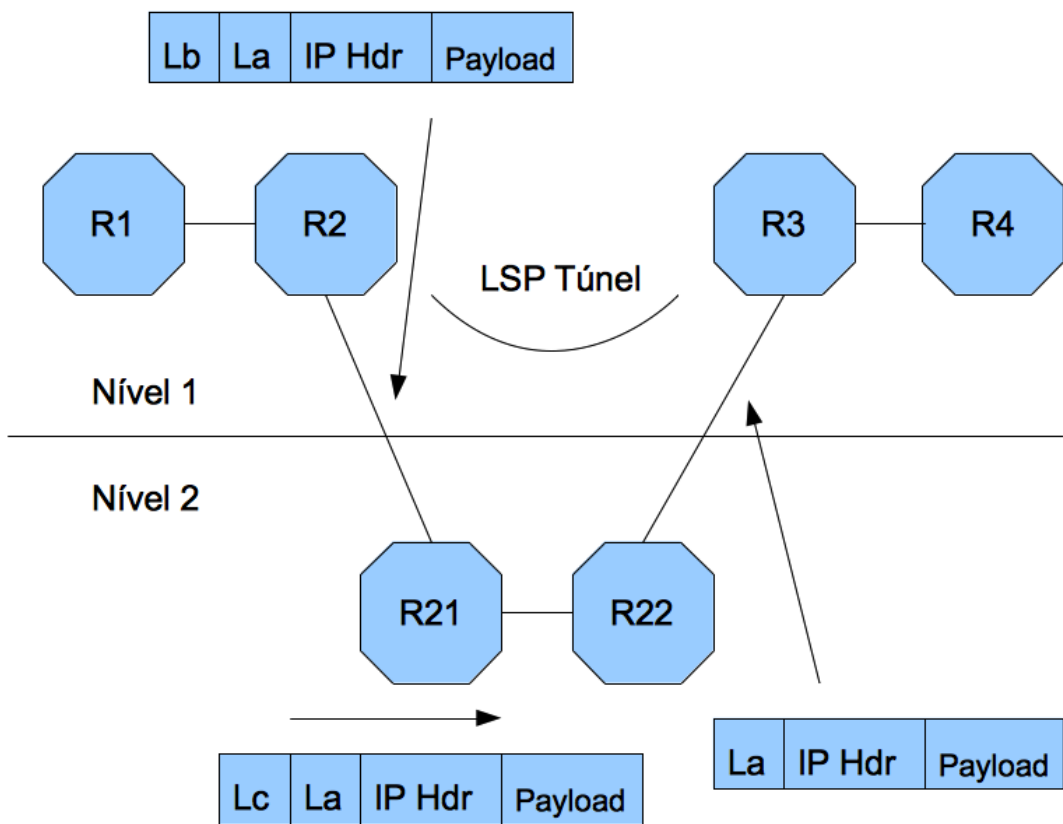


Figura 3: Pilha e Hierarquia de rótulos

- R2 envia o pacote para R21.
- R21 retira o rótulo nível 2 (*Lb*) e inclui outro no topo da pilha, que será compreendido por R22. Este rótulo é chamado de *Lc*. O tamanho da pilha é dois.
- R21 envia o pacote para R22.
- R22 analisa o rótulo nível 2 (*Lc*) e identifica que é o penúltimo nó no túnel. R22 retira o rótulo nível 2 (*Lc*) e envia o pacote para R3. O tamanho da pilha é um.

Uma utilização comum de pilha de rótulos é no estabelecimento de túneis (caminhos) pelas redes MPLS utilizadas por aplicações de VPN.

4.4.7 NHLFE (*Next Hop Label Forwarding Entry*)

É uma estrutura para auxiliar no processamento de rótulos de saída. Consiste de todos os rótulos que podem ser inseridos em pacotes pelo roteador. Cada registro da NHLFE contém: rótulo, interface de saída, e informações/operações sobre o próximo passo. Operações como:

- Remover a pilha de rótulos
- Trocar rótulo do topo da pilha
- Colocar outros rótulos na pilha
- Como codificar a pilha de rótulos

NHLFE	Próxima Interface	Ação
1	1	Empilhar rótulo 5
2	2	Trocar rótulo do topo por 14
3	3	Trocar rótulo do topo da pilha por 16; Empilhar rótulo 62
4	8	Remover a pilha

Quadro 2: NHLFE

O Quadro 2 ilustra as informações presentes no Registro de encaminhamento por rótulos para o próximo salto (NHLFE).

Após efetuadas uma das operações citadas acima, o pacote é encaminhado para o próximo passo através da interface de saída correspondente.

4.4.8 LDP (*Label Distribution Protocol*)

LDP (*Label Distribution Protocol*) é o protocolo responsável pela distribuição de rótulos (labels) entre os LSR's, possibilitando a criação das LSP's (ANDERSSON, 2001). O LDP utiliza um mecanismo de descoberta de LSR para permitir que os LSR's encontrem uns aos outros. Além disso, o LDP roda sobre o protocolo TCP (*Transmission Control Protocol*) para garantir a entrega das mensagens. Outros protocolos podem ser utilizados para a distribuição de rótulos como, por exemplo, BGP (*Border Gateway Protocol*) ou RSVP.

4.4.9 LIB (*Label Information Base*)

A LIB (*Label Information Base*) é uma tabela que apresenta informações vinculando os rótulos às interfaces do LSR. Essa informação será armazenada na LIB assim que a LSP for estabelecida. Logo, a LIB será utilizada para adição/remoção de rótulos aos pacotes pelos LSR's, conforme suas interfaces de saída.

5 ENGENHARIA DE TRÁFEGO NA REDE MPLS

O presente capítulo apresenta os principais conceitos envolvidos no contexto de Engenharia de Tráfego (TE), Qualidade de Serviço (QoS) e a tecnologia MPLS. Primeiramente é apresentado o conceito de Engenharia de Tráfego e seus objetivos. Questões referentes ao roteamento na rede MPLS são abordadas. Nas seções seguintes é feita a relação entre os conceitos apresentados. São tratados os protocolos de roteamento utilizados na rede MPLS e uma comparação entre o CR-LDP e RSVP-TE. E finalmente, são apresentados os componentes da TE no MPLS.

A tecnologia MPLS oferece vários benefícios, porém uma das maiores vantagens que essa Arquitetura provê é a capacidade de garantir QoS através da Engenharia de Tráfego (BOYLE, 2002).

A Engenharia de Tráfego nada mais é que a habilidade para controlar o fluxo de tráfego na rede, minimizando atraso e perda de pacotes, com o objetivo de reduzir problemas de congestionamento e obter uma melhor utilização dos recursos (LOPES, 2009). Ela é direcionada à otimização de desempenho de grandes redes operacionais. Geralmente engloba a aplicação de princípios tecnológicos e científicos para medir, modelar, caracterizar e controlar o tráfego na rede.

A Engenharia de Tráfego é essencial na Internet, e um dos motivos principais se deve ao fato de que os protocolos IGPs (*Interior Gateway Protocols*) utilizados sempre beneficiam os caminhos mais curtos para direcionar o fluxo de tráfego (XIAO; HANNAN; BAILEY, 2000). Isso causa os seguintes problemas:

- Os caminhos mais curtos a partir de diferentes fontes se sobrepõem em alguns enlaces, causando congestionamento nos mesmos.
- O tráfego de uma fonte para um destino excede a capacidade do caminho mais curto, enquanto um caminho mais longo entre esses dois nós é sub-utilizado.

Um dos objetivos da Engenharia de Tráfego é facilitar a operação eficiente e confiável da rede, além de otimizar a sua utilização e desempenho (AWDUCHE, 2002). Está se tornando

cada vez mais indispensável devido ao alto custo de equipamentos e da competitividade dos serviços oferecidos por tais redes. Como altera o fluxo normal dos pacotes, ela pode ser utilizada para atender a requisitos de QoS.

Logo, os objetivos da Engenharia de Tráfego podem ser divididos em:

- tráfego orientado
- recurso orientado

O tráfego orientado, além de fazer menção à minimização de perdas e atrasos de pacotes, pode também relacionar aspectos de QoS e fluxos de tráfego, atribuindo os caminhos mais adequados a determinados fluxos dentro da rede. Já os objetivos de recursos orientados incluem aspectos referentes à otimização na utilização dos mesmos, ou seja, utilizar os recursos da rede de forma balanceada, portanto, é função da Engenharia de Tráfego gerenciá-los de maneira eficiente (AW-DUCHE, 1999).

A Engenharia de Tráfego pode ser implementada através de diversos mecanismos, como configuração manual, determinação de rotas adequadas e fixação de rotas com MPLS (SANTOS, 2004).

Para entender melhor como a Engenharia de Tráfego funciona na rede MPLS, é preciso, primeiramente, conhecer alguns protocolos de roteamento presentes nesta Arquitetura e suas respectivas diferenças.

5.1 ROTEAMENTO EM REDES MPLS

Existem dois tipos de roteamento (como os LSP's são criados/definidos) utilizados na rede MPLS: implícito e explícito (ABREU, 2004).

5.1.1 Roteamento Implícito

No roteamento implícito ou nó a nó, o qual ocorre nas redes IP, os pacotes seguem o menor caminho (ou menor custo) entre a fonte e o destino. O caminho é percorrido através de cada um dos roteadores da rede, conforme a tabela de roteamento de cada um destes. Além disso, os pacotes IP são encaminhados com base apenas no endereço IP de destino, sem considerar como estes pacotes foram encaminhados nos roteadores anteriores e como serão encaminhados nos roteadores seguintes (NOGUEIRA, 2008). Ainda, não considera fatores como largura de banda.

O roteamento nó a nó no MPLS, via LDP, utiliza as mesmas entradas de rotas criadas por um determinado protocolo de roteamento, que pode ser OSPF (*Open Shortest Path First*), RIP (*Routing Information Protocol*), BGP (*Border Gateway Protocol*), por exemplo. A partir daí, são atribuídos rótulos de entrada e saída para cada prefixo de endereço da tabela de roteamento, e, em seguida, os rótulos são distribuídos para todos os seus vizinhos.

O roteamento implícito tradicional acontece também para o estabelecimento dos LSP's na rede MPLS, porém, após o estabelecimento dos mesmos, o encaminhamento será efetuado apenas pela troca de rótulos.

5.1.2 Roteamento Explícito

No roteamento explícito, opta-se pela escolha de um caminho, pelo administrador da rede ou de forma automática, diferente do caminho previamente estabelecido. O caminho explícito é formado pela requisição de atribuição dos nós que farão parte do LSP, ou por parâmetros como, por exemplo, banda solicitada pelo fluxo. O roteamento explícito considera, além da topologia da rede, o congestionamento nos enlaces, distribuindo o fluxo de tráfego de maneira mais uniforme (XIAO; HANNAN; BAILEY, 2000). Como exemplo de protocolo desse tipo de roteamento pode-se citar o CR-LDP (*Constraint Routing - Label Distribution Protocol*). É possível utilizar também o RSVP-TE (*Resource Reservation Protocol - Traffic Engineering*), protocolo baseado no RSVP, o qual será visto em detalhes a seguir.

Muitos autores consideram ainda um terceiro tipo de roteamento, o roteamento baseado em restrições, outros consideram esse tipo de roteamento como um sinônimo de roteamento explícito. O roteamento implícito, por sua vez, é chamado de roteamento sem restrições.

Como dito anteriormente, o processo de roteamento em redes IP, não considera métricas como largura de banda, atraso, e *jitter*, o que difere dos requisitos e necessidades das aplicações atuais. Com o roteamento explícito/roteamento baseado em restrições, é possível determinar os caminhos para os fluxos com base no conhecimento de recursos disponíveis na rede, utilizando-os de maneira eficiente e, como consequência, aumentando a vazão total da rede (FORONDA; NABAS; JUNIOR, 2004). Além disso os caminhos podem ser baseados nos requisitos de QoS (banda solicitada, por exemplo) dos fluxos.

A seguir são detalhados os principais protocolos de sinalização utilizados em conjunto com o MPLS.

5.2 CR-LDP (*CONSTRAINT ROUTING - LABEL DISTRIBUTION PROTOCOL*)

O CR-LDP (*Constraint Routing - Label Distribution Protocol*) é uma extensão do LDP (ANDERSSON, 2001). Foi projetado para facilitar o roteamento baseado em restrições de LSP's e implementar Engenharia de Tráfego.

Pode-se conferir características especiais às LSP's estabelecidas a partir do CR-LDP, diferentemente do LDP (JAMOSSI, 2002). Características como largura de banda ou ainda caminhos físicos diferentes para rotas alternativas dentro da rede. Os LSP's estabelecidos pelo CR-LDP podem ser chamados também de CR-LSP's.

As mensagens enviadas na rede, pelo protocolo CR-LDP, apresentam três campos. Elas utilizam um esquema de codificação TLV (*Type-Length-Value*). O campo *type* define o tipo da mensagem; o campo *length* especifica o comprimento do campo *value*; e o campo *value* codifica a informação que será interpretada de acordo com o tipo definido (ANDERSSON, 2001).

O CR-LDP descreve uma série de TLV's de modo a suportar algumas características, como por exemplo:

- Roteamento explícito (*strict* e *loose*);
- Especificação de parâmetros de tráfego;
- Fixação de rota;
- Gerência de falhas;
- Classe de recursos.

No tipo *strict*, o caminho completo a ser seguido é fixo, já no tipo *loose* somente alguns roteadores são fixos no caminho.

Uma rota explícita é representada numa *Label Request Message* como uma lista de nós ou grupo de nós ao longo da rota baseada em restrições. A rota baseada em restrições é codificada como uma série de *Explicit Route-hops* contidos em uma TLV. Cada *ER-hop* pode identificar um grupo de nós numa rota.

As *Label Mapping Messages* são enviadas pelos roteadores em resposta às *Label Request Messages*.

Os parâmetros de tráfego do CR-LDP permitem a sinalização de parâmetros relevantes como indicação de frequência de serviço requerida, alocação de diferentes pesos para os LSP's

e capacidade para renegociação de cada um dos parâmetros.

Estes parâmetros são descritos na *Traffic Parameters* TLV em termos de taxa de pico, taxa comprometida e granularidade de serviço. As taxas de pico e comprometida descrevem restrições de largura de banda, enquanto a granularidade de serviço especifica a variação de atraso que o domínio MPLS é limitado a introduzir no fluxo de tráfego.

A seguir segue uma descrição de como é feita a sinalização/reserva de recursos utilizando o CR-LDP, com base na figura 4.

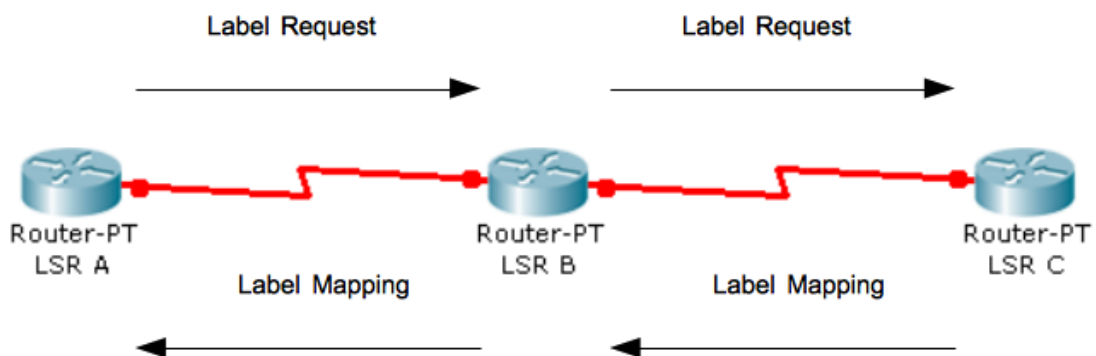


Figura 4: CR-LDP

O LSR de Ingresso (LSR A) determina a criação de um novo LSP até o LSR C. Os parâmetros de tráfego requeridos para o encaminhamento determinam ao LSR A o estabelecimento de um novo LSP através do LSR B.

O LSR A então cria uma mensagem do tipo *label request* para a determinação da rota explícita e também com os parâmetros de tráfego. Logo, os recursos são reservados pelo LSR A, para este novo LSP, que encaminha a mensagem *label request* para o LSR B.

Quando o LSR B recebe a mensagem, o mesmo percebe que não é o equipamento de egresso, e reserva os recursos requeridos para o novo LSP. O LSR B então modifica a mensagem *label request* e encaminha para o LSR C.

O LSR C percebe que é o equipamento de egresso para este novo LSP, e realiza as reservas de recursos necessárias. O LSR C então aloca um rótulo para o LSP e distribui o mesmo para o LSR B através de uma mensagem do tipo *label mapping*.

O LSR B recebe a mensagem, finaliza a reserva, atualiza as tabelas correspondentes e encaminha um novo rótulo através de uma mensagem *label mapping* para o LSR A. O LSR A efetua então a reserva de recursos necessária.

Os parâmetros de tráfego podem ser:

- O retardo no estabelecimento da conexão;
- O retardo no encerramento da conexão;
- A probabilidade de falha no estabelecimento da conexão;
- A probabilidade de falha na liberação da conexão;
- A vazão em cada sentido da conexão;
- O retardo de transferência médio em cada sentido;
- O retardo de transferência máximo em cada sentido;
- A variação estatística do retardo;
- A taxa de erro;
- A prioridade de serviços;
- A probabilidade de queda de uma conexão.

5.3 RSVP-TE (*RESOURCE RESERVATION PROTOCOL - TRAFFIC ENGINEERING*)

O protocolo de sinalização RSVP (*Resource Reservation Protocol*), inicialmente projetado para efetuar a reserva de recursos em Serviços Integrados (*IntServ*), acabou sofrendo algumas modificações/extensões permitindo a adequação deste para a distribuição de rótulos MPLS de maneira otimizada, e portanto, tornou-se mais uma opção para Engenharia de Tráfego (AWDUCHE, 2001).

O processo de sinalização do RSVP-TE (*Resource Reservation Protocol - Traffic Engineering*) é bastante parecido com o processo utilizado no CR-LDP, conforme ilustra a figura 5.

No processo utilizado pelo RSVP-TE, o LSR A tem a função de criar o LSP até o LSR C. Os parâmetros de tráfego indicam que ao LSR A que este deve estabelecer um novo LSP através do LSR B.

O LSR A então cria uma mensagem do tipo *Path* para a determinação de uma rota explícita e com os parâmetros de tráfego requeridos para a mesma. Logo, o LSR A reserva recursos para este novo caminho e encaminha a mensagem *Path* para o LSR B.

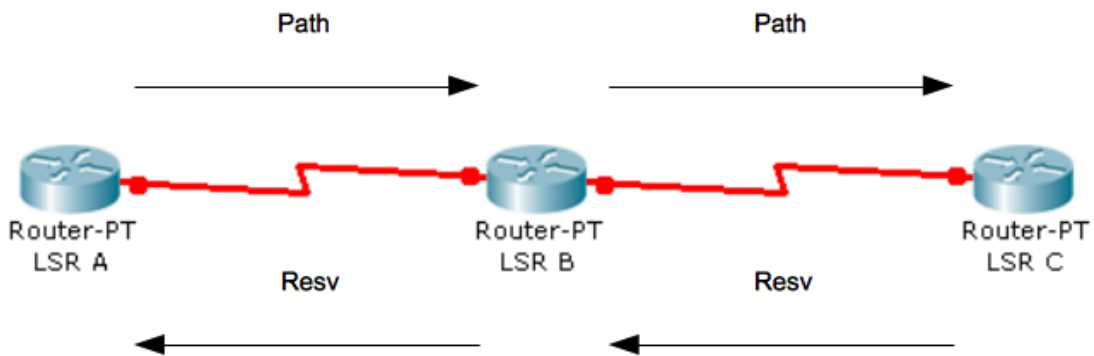


Figura 5: RSVP-TE

O LSR B recebe a mensagem e verifica que não é o equipamento de saída para este LSP. Então o mesmo, reserva recursos para o novo LSP e encaminha uma mensagem do tipo *Path* modificada para o LSR C.

O LSR C verifica que é o equipamento de saída para este LSP e efetua a reserva de recursos, alocando um rótulo para este novo LSP. Após isso, distribui o rótulo para o LSR B através de uma mensagem do tipo *Resv*, contendo parâmetros da reserva efetuada.

O LSR B recebe a mensagem, finaliza a reserva e envia para o LSR A um novo rótulo através da mensagem *Resv*. O LSR A então finaliza a reserva de recursos, finalizando o estabelecimento do LSP.

Cada roteador que recebe uma mensagem *Resv*, verifica se dispõe de recursos suficientes para atender a nova reserva (controle de admissão) e, em caso positivo, mobiliza esses recursos, construindo localmente um estado de reserva de recursos (*reservation state*), e retransmite a mensagem *Resv* para o próximo roteador em direção ao emissor.

Quando a mensagem *Resv* chega ao emissor, o RSVP conclui sua operação de sinalização e a aplicação no nó emissor inicia a fase de transmissão de dados para o receptor.

5.4 CR-LDP X RSVP-TE

As semelhanças entre os dois protocolos de sinalização citados são grandes. Ambas transportam as mesmas informações para o estabelecimento dos LSP's.

A principal diferença entre as duas advém do fato de que o RSVP-TE é tido como *soft-state* (necessita de mensagens de *refresh* para cada nó participante do LSP para manutenção do

mesmo), enquanto que o CR-LDP é tido como *hard-state*.

Essas mensagens de *refresh*, no caso do RSVP-TE, causam um *overhead* adicional, por isso, foi introduzido o mecanismo de confirmação de mensagem recebida (*acknowledge*), possibilitando a redução do tempo de *refresh* e conseqüentemente o *overhead*.

Outro diferencial é a presença de um mecanismo de notificação de falhas presente no RSVP-TE, que informa a um LSR responsável sobre falhas em rotas e é enviada diretamente do ponto de detecção. No CR-LDP também há um controle de falhas, porém neste caso a mensagem é propagada a partir do ponto de falha e os recursos alocados devem ser liberados.

A seguir são apresentadas algumas semelhanças e diferenças dos dois protocolos nos quadros 3 e 4, respectivamente.

Características	CR-LDP	RSVP-TE
Sinalização Inicial	Mensagens <i>label request</i>	Mensagens <i>Path</i> contendo pedido do rótulo
Sinalização de Confirmação	Mensagens <i>label mapping</i>	Mensagens <i>Resv</i>
DiffServ	<i>DIFFSERV_PSC TLV</i>	<i>DIFFSERV_PSC object</i>
Suporte a LSP's ponto-multiponto	Não	Não
Rotas Explícitas	Definida pela sinalização contida no <i>TLV</i>	Carregada no objeto <i>EXPLICIT_ROUTE</i>

Quadro 3: Semelhanças entre CR-LDP e RSVP-TE

Características	CR-LDP	RSVP-TE
Estado de ligação	<i>Hard State</i>	<i>Soft State</i>
Confiabilidade	Falhas produzem uma resposta de sinalização	Depende do tempo entre as mensagens de <i>refresh</i>
Escalabilidade	Ligações <i>hard state</i> reduzem o <i>overhead</i> de sinalização	Requer redução de mensagens de <i>refresh</i> , agregação para diminuir o <i>overhead</i>

Quadro 4: Diferenças entre CR-LDP e RSVP-TE

O IETF MPLS *Working Group* decidiu abandonar novos esforços no desenvolvimento do CR-LDP a fim de concentrar os trabalhos no protocolo RSVP-TE como o protocolo de sinalização para aplicações de Engenharia de Tráfego com MPLS (ANDERSSON, 2003).

5.5 COMPONENTES DA ENGENHARIA DE TRÁFEGO

Após analisados aspectos de roteamento em redes MPLS e seus principais protocolos, os componentes da Engenharia de Tráfego podem ser resumidos em (NOGUEIRA, 2008):

1) Distribuição de Informação

A Engenharia de Tráfego requer conhecimento da topologia da rede, assim como conhecimento sobre aspectos dinâmicos da mesma. Isso pode ser implementado por protocolos IGP (*Interior Gateway Protocols*) com extensões específicas, de forma que aspectos específicos, como largura de banda máxima e utilização de banda, sejam incluídos nos anúncios desses protocolos. Cada LSR mantém uma base de dados (*TED - TE Database*), utilizada para calcular caminhos específicos pela rede MPLS. Esse processo pode ser visto na Figura 6.

2) Componente de seleção de caminho

Cada LSR calcula caminhos específicos para seus LSP's baseado na topologia da rede e na TED (*TE Database*). Esses caminhos podem ser, conforme visto anteriormente, do tipo *strict* ou *loose*.

3) Componente de sinalização e definição de rota

A rota calculada se torna funcional quando um LSP é estabelecido pelo componente de sinalização. Esse componente é responsável pela verificação de todas as informações necessárias durante o processo de definição de rotas. Os principais protocolos de sinalização utilizados em conjunto com o MPLS são o RSVP-TE e o CR-LDP, discutidos anteriormente.

4) Componente de encaminhamento de pacotes

Uma vez o caminho estabelecido, o processo de encaminhamento é iniciado no LSR, utilizando comutação de *labels*.

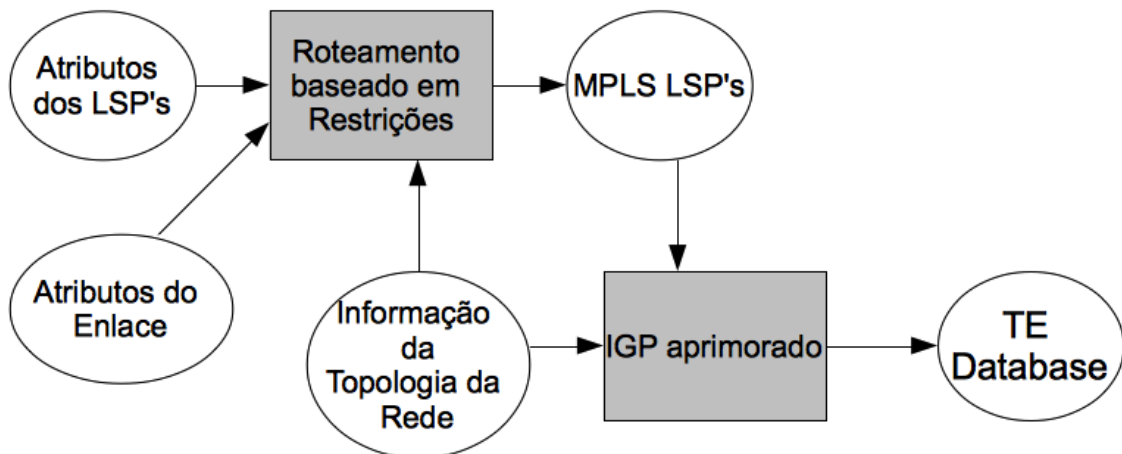


Figura 6: TE Database

5.6 ESTILOS DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO

A Engenharia de Tráfego pode assumir diferentes estilos (SANTOS, 2004):

- **TE dependente de tempo ou estado:** Na TE dependente de tempo, informações históricas são utilizadas para pré-programar o plano de roteamento. Já na TE dependente de estado, os planos de roteamento são adaptados para representar condições atuais da rede. O estado atual da rede fornece informações que não podem ser previstas antecipadamente.
- **TE *on-line* ou *off-line*:** Os planos de roteamento podem ser computados de maneira *on-line* ou *off-line*. Quando é utilizado TE dependente de estado, é necessária a TE *on-line*. As duas abordagens podem ser utilizadas em conjunto, a TE *off-line* para provisionamento da rede e TE *on-line* para a sintonia fina.
- **TE centralizada ou distribuída:** Na TE centralizada existe uma autoridade central que coleta todas as informações, calcula todos os planos de roteamento e repassa para todos os roteadores. Já na TE distribuída, a decisão de seleção de rotas é executada por cada roteador, baseada nas condições atuais da rede.
- **TE prescritiva ou descritiva:** A TE prescritiva recomenda ações a serem realizadas, ou seja, preceve soluções, soluções para resolver problemas ou melhorar o desempenho. A TE descritiva apenas descreve os problemas, sem apontar soluções específicas.

5.7 REQUISITOS PARA ENGENHARIA DE TRÁFEGO

Alguns requisitos devem ser observados e analisados para determinar a escolha de mecanismos e estilos de Engenharia de Tráfego (SANTOS, 2004). Requisitos como:

- **Requisitos básicos:** Questões como usabilidade, automação, escalabilidade, flexibilidade, capacidade de observar o comportamento da rede através de estatísticas, simplicidade, devem ser analisados.
- **Requisitos de roteamento:** Adições de novas características para tratar limitações de protocolos atuais de roteamento.
- **Requisitos de medição:** A Engenharia de Tráfego deve ser suportada por mecanismos eficientes de coletar e realizar estatísticas sobre a rede.
- **Requisitos de mapeamento de tráfego:** Se refere à decisões de associação do tráfego para o qual será realizada a Engenharia de Tráfego a caminhos específicos.

Como visto a otimização de desempenho de redes operacionais envolve aspectos orientados ao tráfego e a recursos. As redes devem fornecer serviços seguros, previsíveis, mensuráveis e garantidos. Alcançar a qualidade de serviço exigida de ponta a ponta, ao mesmo tempo mantendo simplicidade, escalabilidade e gerenciabilidade é o segredo para uma infra-estrutura que realmente atenda à empresa. A solução para estes aspectos com melhor custo/desempenho é realizar alguma forma de Engenharia de Tráfego.

6 CONCLUSÕES

As exigências das aplicações atuais estão diretamente relacionadas aos aspectos de QoS. Aspectos como atraso, *vazão*, *jitter* e outros, são primordiais para desempenho e consistência de tais aplicações. Para isso, a tecnologia MPLS desempenha um papel cada vez mais importante nesse contexto.

Considerando que as demandas por Qualidade de Serviço são indispensáveis e irreversíveis, com o uso do RSVP-TE como protocolo de roteamento explícito/reserva de recursos e um protocolo de roteamento interno com extensões para Engenharia de Tráfego é possível manter parâmetros de tráfego a uma aplicação.

Porém, um dos aspectos mais relevantes e mais difíceis se refere à decisões de associação do tráfego para o qual será realizada a Engenharia de Tráfego a caminhos específicos. Deve-se medir, caracterizar e modelar o tráfego desejado. Depois de ter a informação, é preciso executar cálculos matemáticos para determinar a quantidade de tráfego que pode ser alocado no túnel/caminho.

Uma sugestão para estudos futuros pode ser realizada a respeito dos protocolos de roteamento interno com extensões para Engenharia de Tráfego, como por exemplo o OSPF-TE. Esta extensão do OSPF permite estender a sua funcionalidade para atender as demandas da Engenharia de Tráfego em redes MPLS.

A utilização de tecnologias avançadas como MPLS e a implementação de processos eficientes como a Engenharia de Tráfego oferece níveis de QoS aceitáveis, além de se apresentar como a melhor solução em termos de custo e desempenho, possibilitando economia e oferta de novos serviços.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L. H. **Arquitetura MPLS para Formação de VPN**. Tese (Doutorado) — UNIMINAS, 2004.
- ANDERSSON, L. **RFC 3036 - LDP Specification**. January 2001.
- ANDERSSON, L. **RFC 3468 - The Multiprotocol Label Switching (MPLS) Working Group decision on MPLS signaling protocols**. February 2003.
- AWDUCHE, D. **RFC2702 - Requirements for Traffic Engineering Over MPLS**. September 1999.
- AWDUCHE, D. **RFC3209 - RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels**. December 2001.
- AWDUCHE, D. **RFC3272 - Overview and Principles of Internet Traffic Engineering**. May 2002.
- BLAKE, S. et al. **RFC 2475 - An Architecture for Differentiated Services**. 1998.
- BOYLE, J. **RFC3346 - Applicability Statement for Traffic Engineering with MPLS**. August 2002.
- BRADEN, R.; CLARK, D.; SHENKER, S. **RFC 1633 - Integrated Services in the Internet Architecture**. 1994.
- BRADEN, R. et al. **RFC 2205 - Resource ReSerVation Protocol (RSVP)**. 1997.
- DEMICHELIS, C. **RFC 3393 - IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics**. 2002.
- FORONDA, A.; NABAS, K.; JUNIOR, W. G. **Arquitetura para provisão de QoS em uma Rede MPLS**. 2004.
- HEINANEN, J. et al. **RFC 2597 - Assured Forwarding PHB Group**. 1999.
- JACOBSON, V.; NICHOLS, K.; PODURI, K. **RFC 2598 - An Expedited Forwarding PHB**. 1999.
- JAMOSSI, B. **RFC 3212 - Constraint-based LSP setup using LDP**. January 2002.
- LOPES, M. A. **Simulação de Redes MPLS: Uma Perspectiva Pedagógica**. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Aveiro, 2009.
- MAGALHÃES, M. F.; CARDOZO, E. **Qualidade de serviço na Internet**. [S.l.], 1999.
- NOGUEIRA, R. F. **Aplicação de QoS sobre MPLS em equipamentos Cisco**. Tese (Doutorado) — UFRGS, 2008.

- ROSEN, E.; VISWANATHAN, A.; CALLON, R. **RFC 3031 - Multiprotocol Label Switching Architecture**. 2001.
- SANTOS, R. A. **Implementação e Avaliação de Engenharia de Tráfego em um Domínio MPLS**. Tese (Doutorado) — UNIMONTES, 2004.
- SHENKER, S.; PARTRIDGE, C.; GUERIN, R. **RFC 2212 - Specification of Guaranteed Quality of Service**. 1997.
- STARDUST. **QoS protocols and Architectures**. [S.l.], 1999a.
- STARDUST. **The need for QoS**. [S.l.], 1999b.
- TEIXEIRA, M. A. M. **Suporte a Serviços Diferenciados em Servidores Web: Modelos e Algoritmos**. Tese (Doutorado) — USP-ICMC, 2004.
- VASILIOU, N. **Overview of Internet QoS and web server QoS**. [S.l.], 2000.
- XIAO, X.; HANNAN, A.; BAILEY, B. Traffic engineering with mpls in the internet. **IEEE Network Magazine**, v. 14, p. 28–33, 2000.
- XIAO, X.; NI, L. M. Internet qos: a big picture. **IEEE Network Magazine**, v. 13, n. 2, p. 8–18, 1999.
- ZHAO, W.; OLSHEFSKI, D.; SCHULZRINNE, H. **Internet quality of service: an overview**. [S.l.], 2000.