

**LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM REDES DE COMPUTADORES**

JOSÉ ÉRICLES COSTA PEREIRA

OS BENEFÍCIOS DO MPLS EM UMA REDE WAN

**NATAL/RN
2014**

JOSÉ ÉRICLES COSTA PEREIRA

OS BENEFÍCIOS DO MPLS EM UMA REDE WAN

Monografia apresentada como exigência do Curso de Especialização de Redes de Computadores do Centro Universitário do Rio Grande do Norte para obtenção do título de Especialista em Redes de Computadores.

Orientador: Aluízio Ferreira da Rocha Neto, Msc.

NATAL/RN
2014

JOSÉ ÉRICLES COSTA PEREIRA

OS BENEFÍCIOS DO MPLS EM UMA REDE WAN

Monografia apresentada como exigência do Curso de Especialização de Redes de Computadores do Centro Universitário do Rio Grande do Norte para obtenção do título de Especialista em Redes de Computadores.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Aluízio Ferreira da Rocha Neto (Msc.)
Orientador

Membro examinador

Membro examinador

Dedico esta obra a minha esposa, por sua compreensão, amor e carinho, por cuidar do nosso lar e de tantas outras coisas que repercutiram em momentos de paz e incentivo para tão sonhada conclusão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e pela possibilidade de fazer este curso de pós-graduação. Agradeço à minha amada e fiel esposa, Janaína Dantas, pelo apoio nas lutas diárias e por me entender e incentivar nos momentos de estudos para conclusão deste trabalho.

Agradeço aos meus pais e aos meus irmãos por sempre me incentivarem e apoiarem no meu crescimento profissional, desde os meus primeiros passos de vida.

Agradeço às pessoas que estão ao meu redor no dia a dia, aos amigos, colegas de trabalho, como Diogo Fernandes, que me deu total apoio e relevante contribuição de seus conhecimentos.

Agradeço ao professor Aluizio Rocha pela paciência e apoio na conclusão deste trabalho.

RESUMO

O MPLS Multiprotocol Label Switching (MPLS) é uma tecnologia cada vez mais consolidada e utilizada nas redes WAN's no mercado brasileiro. Essa tecnologia, que é baseado no protocolo IP, vem substituindo tecnologias de núcleo mais antigas, como por exemplo, Frame Relay. Além disso, possibilita a implementação de vários novos serviços, dentre os quais pode-se destacar: prover Engenharia de Tráfego, VPN e facilidade de implementação de QoS na rede.

Este trabalho visa apresentar de forma prática os principais benefícios obtidos com o uso do protocolo MPLS sobre uma rede WAN.

Palavras-chave: Benefícios, MPLS, Redes WAN's.

ABSTRACT

The MPLS Multiprotocol Label Switching (MPLS) is an increasingly consolidated and used on WANs networks in the Brazilian market technology. This technology, which is based on IP protocol, is replacing older core technologies, such as Frame Relay. Furthermore, it allows the implementation of several new services, among which we can highlight: provide Traffic Engineering, VPN and ease of implementation of QoS in the network.

This paper presents a practical way the main benefits obtained from the use of MPLS over a WAN.

Keywords: Benefits, MPLS, WAN's Networks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Abrangência de uma LAN e uma WAN.....	14
Figura 2: Rede Frame Refay.....	16
Figura 3: Transmissão de células ATM vazias para complementar taxa de transmissão.	17
Figura 4: O Cabeçalho MPLS.....	19
Figura 5: Componentes MPLS.....	24
Figura 6: Funcionamento MPLS.....	24
Figura 7: Construção da tabela de roteamento.....	26
Figura 8: Adição dos rótulos aos pacotes IPs.....	26
Figura 9: Encaminhamento de pacotes baseado em rótulos.....	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MPLS	Multi Protocol Label Switching
IS-IS	Intra-Domain Intermediate System to Intermediate System Routeing Protocol.
LAN	Local Area Network
WAN	Wide Area Network
ISDN	Integrated Services Digital Network
ATM	Asynchronous Transfer Mode
Mbps	Megabit per Second
QoS	Quality of Service
IETF	Internet Engineering Task Force
VPI	Virtual Private Channel
TDM	Time Division Multiplexing
IP	Internet Protocol
OSI	Open System Interconnect
VPI	Virtual Path Identifier
VCI	Virtual Circuit Identifier
DLCI	Data Link Connection Identifier
BoS	Bottom of Stack
EXP	Experimental Bits
TTL	Time to Live
LDP	Label Distribution Protocol
LIB	Label Information Base
FIB	Forwarding Information Base
LFIB	Label Forwarding Information Base
FEC	Forwarding Equivalence Class
LER	Label Edge Router
LSR	Label Switch Router
LSP	Label Switched Path
OSPF	Open Shortest Path First
VPN	Virtual Private Networks
TE	Traffic Engineering
PHB	Per Hop Behaviour
PE	Provider Edge
CE	Customer Equipment
IGP	Internet Gateway Protocol
VRF	Virtual Routing Forward

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVOS.....	12
1.1.1 <i>Objetivos específicos</i>	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1 REDES WAN.....	14
2.1.1 <i>Conceito</i>	14
2.1.2 <i>Conexões WAN</i>	15
2.1.3 <i>Tecnologias de Comutação por Pacote</i>	15
2.1.3.1 <i>Frame Relay</i>	15
2.1.3.2 <i>Asynchronous Transfer Mode (ATM)</i>	16
2.1.3.3 <i>Cell Relay</i>	18
2.2 PROTOCOLO MPLS.....	18
2.2.1 <i>Conceito</i>	18
2.2.2 <i>O cabeçalho MPLS</i>	19
2.2.2.1 <i>O rótulo ou lábel</i>	20
2.2.2.2 <i>EXP ou Experimental Bits</i>	20
2.2.2.3 <i>BoS ou Botom of Stark</i>	21
2.2.2.4 <i>TTL ou Time To Live</i>	21
2.2.3 <i>Componentes do MPLS</i>	21
2.2.3.1 <i>O rótulo ou label</i>	21
2.2.3.2 <i>LDP ou Label Distribution Protocol</i>	21
2.2.3.3 <i>LIB ou Label Information Base</i>	22
2.2.3.4 <i>FIB ou Forwarding Information Base</i>	22

2.2.3.5 LFIB ou Label Forwarding Information Base.....	22
2.2.3.6 FEC ou Forwarding Equivalence Class.....	23
2.2.3.7 LSR ou Label Switch Router.....	23
2.2.3.8 LSP ou Label Switched Path.....	23
2.2.4 Funcionamento.....	24
2.2.5 Serviços MPLS.....	27
2.2.5.1 VPN (Virtual Private Networks).....	27
2.2.5.2 Engenharia de tráfego (TE).....	28
2.2.5.3 Qualidade de serviço (QoS).....	28
3 DESENVOLVIMENTO.....	30
3.1 Motivação para migração.....	30
3.2 Comparação entre backbones Cell Relay e MPLS.....	30
3.2.1 Gerência.....	30
3.2.2 Desempenho.....	30
3.2.3 Roteamento/Escalabilidade.....	31
3.3 Benefícios com os serviços MPLS.....	31
3.3.1 VPN.....	31
3.3.2 Qualidade de serviço (QoS).....	31
3.3.3 Engenharia de Tráfego (TE).....	32
3.3.4 Outros benefícios.....	32
4 CONCLUSÃO.....	33
BIBLIOGRAFIA.....	34

1 INTRODUÇÃO

No início do surgimento das redes de dados a informação era transportada no formato de pacotes e utilizava-se a rede de telefonia como principal meio de transmissão. Porém, logo foram encontradas várias limitações, pois essas redes foram projetadas inicialmente para o tráfego de voz e não de dados. Essas limitações, associadas às necessidades de maiores taxas de transmissão, impulsionaram o surgimento de técnicas que contribuíram para a evolução das redes de telecomunicações.

Desde a sua criação e introdução comercial em 1992, a internet passou rapidamente de rede de pesquisa para uma rede mundial de comunicação, se tornando um meio conveniente para comunicação, aprendizado, comércio eletrônico e entretenimento entre usuários de todo o mundo.

Ao longo dos últimos anos observa-se uma grande convergência de voz, vídeo e comunicação de dados, contribuindo para o crescimento do volume de tráfego. Consequentemente, as redes de telecomunicações evoluíram para suportar essas demandas que exigiam cada vez mais largura de banda e garantia de qualidade de serviço.

Com essa evolução, muitas soluções foram criadas, cada qual com suas implementações e características próprias, dificultando a interoperabilidade entre elas. Foi então que o Internet Engineering Task Force (IETF) padronizou essas características em um protocolo que pudesse ser aplicado a qualquer protocolo da camada de rede. Esse protocolo foi denominado de Multiprotocol Label Switching (MPLS), ou multiprotocolo de comutação de rótulos.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é fazer um estudo sobre os principais conceitos e características das redes WAN e do protocolo MPLS, para em seguida destacar os principais benefícios encontrados na utilização deste protocolo. Para isso, foram utilizados os dados e experiências adquiridas durante o acompanhamento do processo de migração de uma rede WAN que utilizava a tecnologia Cell Relay e que foi migrada para tecnologia MPLS.

1.1.1 Objetivos específicos

- Apresentar os principais conceitos de uma rede WAN;
- Caracterizar a tecnologia MPLS;
- Aplicar esses conhecimentos teóricos na análise de uma rede WAN que utilizava protocolos Cell Relay e que foi migrada para MPLS.
- Apresentar os principais benefícios do uso dos serviços MPLS nesta rede WAN.

1.2 JUSTIFICATIVA

A tecnologia MPLS está sendo largamente utilizada nas redes de telecomunicações. O estudo dos benefícios do protocolo MPLS em redes WAN's está diretamente ligado ao Curso de Especialização em Redes de Computadores, pois o objetivo deste curso é formar profissionais que sejam capazes de entender as tecnologias de comunicação de dados e projetar eficientemente redes de computadores, além de conhecer e manipular as técnicas envolvidas na implantação, operação e gerenciamento destas redes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

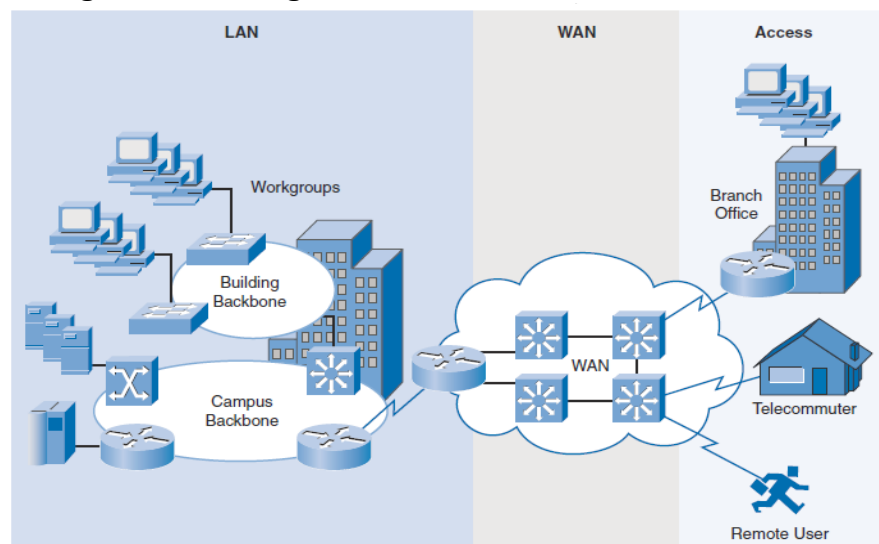
Este capítulo tem como objetivo descrever os principais conceitos e características das redes WAN e do protocolo MPLS, que são a base para a compreensão dos benefícios descritos no capítulo 3.

2.1 REDES WAN

2.1.1 Conceito

Segundo Vachon e Graziani (2008), a WAN é uma rede de comunicação de dados que opera além da abrangência geográfica de uma LAN, conforme demonstra a Figura 1. WANs diferem de LANs de várias maneiras. Considerando que a LAN conecta os computadores, periféricos e outros dispositivos em um único prédio, ou outra área geograficamente pequena, uma WAN permite a transmissão de dados através de grandes distâncias geográficas. Para isso, faz-se necessário a utilização de um provedor de serviços, tais como empresas de telefonia, empresas de cabos, sistemas de satélite, e provedores de rede. As WANs, juntamente com esses provedores de serviços, disponibilizam recursos de rede para suportar uma variedade de tráfego de missão crítica, tais como voz, vídeo e dados.

Figura 1: Abrangência de uma LAN e uma WAN



Fonte: VACHON, Bob; GRAZIANI, Rick. Accessing the WAN: CCNA Exploration Companion Guide. Indianapolis, In 46240 Usa: Cisco Press, 2008. (p4).

2.1.2 Conexões WAN

De acordo com Felippetti (2008), as redes WAN oferecem três tipos de conexões de redes. Primeiramente cita-se as redes privadas, também chamada de conexão dedicada ou ponto a ponto. Nelas são usadas linhas seriais síncronas. Sua principal função é permitir a comunicação sem interrupção entre redes que precisam receber o sinal de sincronismo, sem precisar ativar ou autenticar antes da transmissão de dados.

A segunda conexão é a do tipo comutação de circuito. Este tipo de conexão pode ser comparada com uma chamada telefônica, pois nenhuma informação, antes de ser estabelecida uma conexão, pode ser transmitida. Requer baixa largura de banda, utilizando modems comuns e Integrated Services Digital Network (ISDN).

Por último, a conexão por comutação de pacotes. Este tipo de conexão permite compartilhar a largura de banda com outros usuários, podendo ser comparada a uma linha telefônica comunitária. Entretanto, se a utilização da rede for constante, convém o aluguel de uma linha privada. Nesse contexto cita-se como exemplo as redes ATM e Frame Relay.

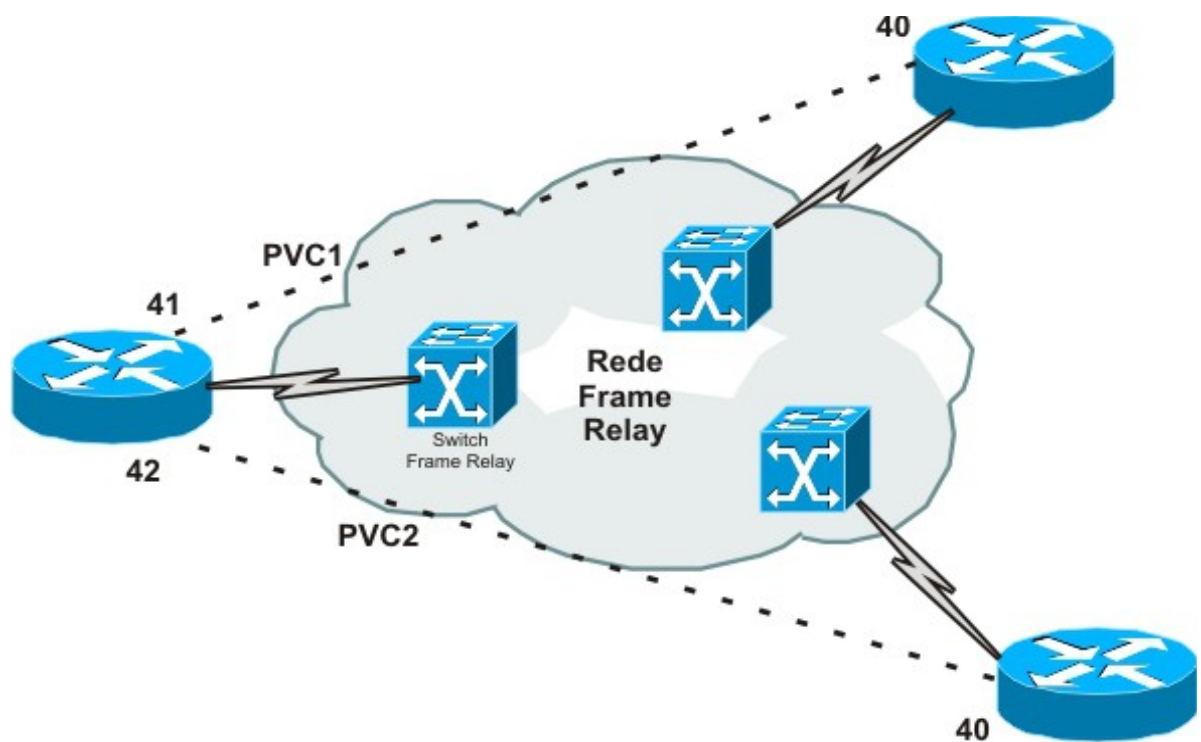
2.1.3 Tecnologias de Comutação por Pacote

2.1.3.1 Frame Relay

Segundo Felippetti (2008), o Frame Relay é uma tecnologia de comutação de pacotes que surgiu nos anos 90. É um protocolo de alto desempenho. Ele foi criado com algumas referências da tecnologia X.25. O overhead é reduzido. As velocidades podem variar entre 64 Kbps a 2048 Kbps. Este protocolo possui

alocação dinâmica de banda e controle de congestionamento de dados. O Frame Relay se tornou uma tecnologia mais atraente do que as antigas linhas alugadas. Em vez de pagar para todos os circuitos alugados, este tipo de rede permite criar circuitos virtuais dentro da rede de um provedor de Frame Relay (BONEY, 2005). É uma tecnologia que permite a configuração de largura de banda para cada interligação. A linha alugada conecta o dispositivo do usuário final com o provedor desta tecnologia. A figura 2 mostra uma rede Frame Relay.

Figura 2: Rede Frame Refay



Fonte: Disponível em: <http://www.malima.com.br/article_read.asp?id=363> Acessado em 28 ago. 2013.

2.1.3.2 Asynchronous Transfer Mode (ATM)

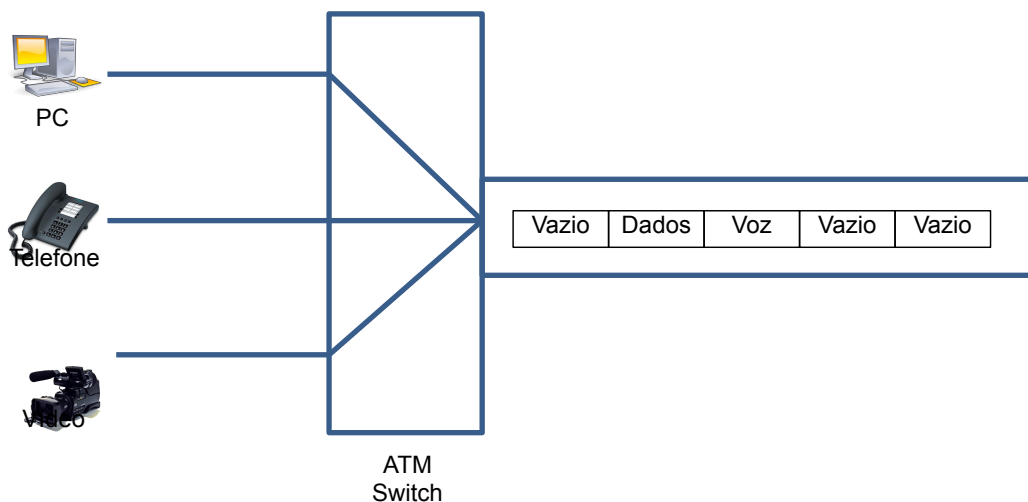
Conforme descrito em Nakamura (2009, p. 39), o ATM foi a tecnologia escolhida pelo ITU-T para a rede do tipo faixa banda larga (BISDN), mostrando-se eficiente para a transmissão de dados e sendo amplamente disseminadas nas redes WAN, sendo frequentemente utilizada para transporte de outros protocolos de redes tais como IP, ou seja, IP sobre ATM.

É um serviço orientado a conexão, na qual os dados transmitidos são organizados em células de comprimento fixo. Protocolos de camadas superiores e dados de usuário, como os pacotes IP, são segmentados em unidades de dados de protocolo, como Protocol Data Units (PDUs), de 48 bytes. Estas PDUs são precedidas por cabeçalho de 5 bytes, resultando em células de 53 bytes que são a entrada de switches ATM e podem ser multiplexadas juntas.

Cada cabeçalho de célula ATM contém um identificador de caminho virtual, o Virtual Path Identifier (VPI), e um identificador de canal virtual, o Virtual Channel Identifier (VCI), que juntos definem um circuito virtual ATM que as células devem usar como caminho até o destino.

Na presença de tráfego no formato de células, estas são misturadas (agregadas), mapeadas na rede e inseridas na fibra óptica para serem transportadas para seu destino, como pode ser observado na figura 3. Quando não há informação a ser transmitida, células vazias são inseridas para complementar a taxa de transmissão de 155 Mbits/s ou 622Mbits/s, de cada porta do comutador, uma vez que a rede é síncrona.

Figura 3: Transmissão de células ATM vazias para complementar taxa de transmissão.



Fonte: Adaptado de NAKAMURA, Juliana Akemi. Evolução das redes de telecomunicação e o MPLS. 2009. 98 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia, Usp, São Carlos, 2009.

Portanto pode-se auferir que a técnica ATM é uma combinação da Multiplexação por Divisão do Tempo, a Time Division Multiplexing (TDM), com células utilizando slots pré-atribuídos, e TDM estático, ou Statistical TDM, com células utilizando quantos slots estiverem disponíveis ou forem necessários para um

determinado fluxo de tráfego.

2.1.3.3 Cell Relay

O Cell-Relay pode, de certa forma, ser considerado o próprio ATM. Ele é uma combinação das características inerentes à comutação por circuitos e por pacotes, uma mistura equilibrada dos desenvolvimentos obtidos por essas duas tecnologias, utilizando o que cada uma possui de melhor.

Em comparação ao Frame-relay, o Cell-Relay possui as mesmas características de não existência de controle nó a nó. Sua principal diferença é utilizar células de tamanhos fixos, que possuem maior desempenho em termos de velocidade, comparadas às células de tamanhos variáveis, podendo trabalhar com taxas da ordem de até centenas de Mbps (enquanto o frame-relay atinge até 2 Mbps).

Além dos vários canais lógicos que podem ser multiplexados sobre um único meio físico, o ATM faz uso de canais e caminhos virtuais. Ele pode ser comparado a uma técnica de comutação de circuitos multi-taxa, porém nela os canais virtuais possuem suas taxas dinamicamente definidas no momento da conexão, diferindo dos canais de taxa fixa.

Outro fator importante a ser considerado é o tamanho das células. Este fator provém de uma relação de compromisso entre a eficiência da transmissão, complexidade da rede e atraso. Após muita discussão, foi padronizado um valor de célula de 48 octetos como o ideal.

2.2 PROTOCOLO MPLS

2.2.1 Conceito

Segundo (KUROSE e ROSS, 2006), o MPLS é resultado de inúmeros esforços que a indústria realizou no fim da década de 90 para melhorar a velocidade entre roteadores IP, adotando o conceito de rótulo de tamanho fixo.

De acordo com Oliveira, Lins e Mendonça (2012), o MPLS é uma tecnologia aberta que foi apresentada inicialmente como uma solução que possibilitava melhorar o desempenho das redes IPs na função de encaminhamento de pacotes IPs, combinando o processo de roteamento da camada de nível 3 (modelo OSI) com

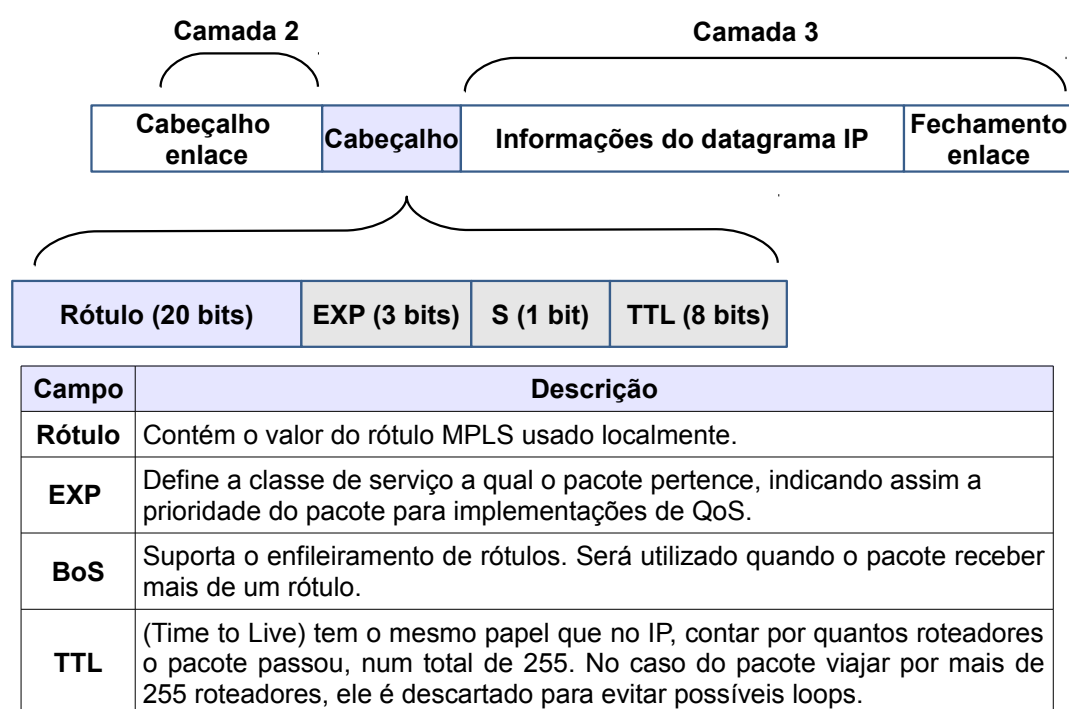
a comutação da camada de nível 2, para realizar o encaminhamento de datagramas através de pequenos rótulos de tamanho fixo. Tais rótulos são números utilizados no protocolo MPLS e, através destes, a decisão de qual interface encaminhar o datagrama é tomada.

2.2.2 O cabeçalho MPLS

De acordo com De Ghein apud Oliveira, Lins e Mendonça et al.(2012 p.29), o rótulo é um identificador curto de 4 bytes, e com significado local no roteador que é usado para identificar uma FEC (Forwarding Equivalent Class), isto é, um grupo de pacotes IPs que são enviados na mesma maneira, sobre o mesmo trajeto e com o mesmo tratamento de transmissão. Uma FEC pode corresponder a uma subnet do endereço IP de destino, mas pode igualmente corresponder a qualquer classe de tráfego que o roteador de borda considera significativo.

O rótulo associa pacotes às respectivas conexões; é algo semelhante ao VPI/VCI (Virtual Path Identifier/ Virtual Circuit Identifier) no ATM e DLCI no Frame Relay. Seu formato é apresentado na figura 4 e, em seguida, é descrita a função de cada campo.

Figura 4: Cabeçalho MPLS



2.2.2.1 O Rótulo ou Lábel

Contém o valor do rótulo MPLS. Como o tamanho é de 20 bits, esse valor pode variar de 0 a ($2^{20} - 1$), ou 1.048.575). Existem alguns valores que são reservados ao protocolo e tem significados especiais. (ROSEN, 2001a apud (OLIVEIRA; LINS; MENDONÇA, 2012, p. 29).

- 0 – IPv4: indica que o rótulo deve ser retirado, e, desse ponto em diante o roteamento será feito com base no endereço de rede.
- 1 – Router Alert Label: indica que o datagrama deve ser analisado pelo software local. O encaminhamento seguinte é definido pelo próximo rótulo da pilha MPLS.
- 2 – IPv6 Explicit NULL Label: mesma funcionalidade do valor 0, mas aplicada ao protocolo IPv6.
- 3 – Implicit NULL Label: valor utilizado pelos LSRs (Label Switch Routers) para distribuição de rótulos (LDP – Label Distribution Protocol).
- 4 a 15 – Reservados para definições futuras.
- 16 a ($2^{20} - 1$) – Rótulos utilizáveis para roteamento.

2.2.2.2 EXP ou Experimental Bits

Este campo é composto por três bits e são utilizados para alterar os algoritmos de enfileiramento e descarte; dessa forma é possível dar prioridade a determinados pacotes. Usado atualmente por classes de serviços (CoS). (OLIVEIRA; LINS; MENDONÇA, 2012, p. 29).

2.2.2.3 BoS ou Bottom of Stark

Formado por apenas um bit, este campo permite a criação de uma pilha hierárquica de rótulos. Indica se o cabeçalho ao qual o pacote pertence é o último da pilha MPLS. Todos os cabeçalhos MPLS devem ter esse bit em 0, e através desse campo, um roteador de saída tem condições de decidir se o próximo encaminhamento será baseado em MPLS ou IP. (OLIVEIRA; LINS; MENDONÇA, 2012, p. 29).

2.2.2.4 TTL ou Time To Live

Este campo é formado por 8 bits e funciona de maneira semelhante ao TTL do protocolo IP. Ele especifica um limite de quantos saltos o pacote poderá executar. Quando um datagrama entra em um roteador de borda MPLS, o valor inicial do TTL no cabeçalho MPLS deve ser igual ao valor do TTL do cabeçalho IP e decrementado de 1 em cada roteador. Na saída do caminho, o roteador deve copiar o valor do TTL do cabeçalho MPLS para o TTL do cabeçalho IP. (OLIVEIRA; LINS; MENDONÇA, 2012, p. 29).

2.2.3 Componentes do MPLS

A seguir serão descritos os principais termos e componentes de uma arquitetura MPLS a partir das informações disponíveis em (OLIVEIRA; LINS; MENDONÇA, 2012, p. 33).

2.2.3.1 O Rótulo ou Label

São pequenas identificações de fácil processamento e de tamanhos fixos, que são adicionados aos pacotes durante seu trajeto pela rede.

2.2.3.2 LDP ou Label Distribution Protocol

Este protocolo é o responsável pela distribuição de rótulos para os prefixos IPs em uma rede MPLS. Ao longo do percurso na rede, os roteadores adicionam às suas tabelas cada prefixo IGP aprendido com os respectivos rótulos atribuídos. Todos os prefixos anunciados por um mesmo equipamento vizinho recebem o mesmo rótulo. Dessa forma, não é necessário que os elementos intermediários de uma rede MPLS conheçam a tabela completa de roteamento da rede. O pacote IP é encaminhando ao próximo roteador (next-hop) de acordo com as informações do seu rótulo e com base na tabela de roteamento. O LDP, por padrão, mantém contato apenas com os seus vizinhos que estão diretamente conectados. Esta última ação é executada através de um pacote de multicast. Depois que os circunvizinhos são encontrados, inicia-se a comunicação com a troca de rótulos. A manutenção das sessões é obtida através do envio de pacotes “Hellos”, periódicos. Se ocorrer a

perda de três pacotes “Hellos” a sessão é desfeita. Para os casos de falha a sessão é desfeita imediatamente.

2.2.3.3 LIB ou Label Information Base

Também conhecida como tabela de encaminhamento, pois contém os diversos vínculos de rótulos que um LSR (Label Switch Router) recebe sobre o protocolo LDP. Em resumo pode-se dizer que a LIB é uma tabela que apresenta informações para fazer a relação dos rótulos com as interfaces do roteador. O LSR usa essa tabela para analisar e determinar para qual interface deverá ser encaminhado o pacote recebido.

2.2.3.4 FIB ou Forwarding Information Base

Assim como a LIB, a FIB também é uma tabela. Sua função é controlar a decisão de encaminhamento de um roteador. Para todo IP de destino, é executada pela FIB uma pesquisa de prefixo longo, onde, se um endereço é localizado na tabela, o roteador saberá qual interface de saída deverá enviar o pacote. Nos casos em que o endereço não é localizado, o pacote será descartado.

2.2.3.5 LFIB ou Label Forwarding Information Base

Esta outra tabela é criada por cada equipamento pertencente a uma rede MPLS e indica onde e como devem ser encaminhados os pacotes dentro dela. A LFIB contém uma lista de entradas que consistem de uma subentrada de ingresso e uma ou mais subentradas de egresso, rótulo de saída, interface de saída, componentes de saída de nível de enlace. Utiliza as informações obtidas pelo LSR através da integração com os protocolos de roteamento.

2.2.3.6 FEC ou Forwarding Equivalence Class

São um conjunto de pacotes que possuem características semelhantes que são usadas para definir propósitos equivalentes de encaminhamentos. Como exemplo, apresenta-se um grupo de pacotes que possuem os mesmos endereços

de origem e destino. Pacotes que possuem a mesma FEC geralmente pertencem aos mesmos fluxos de dados. Pode-se representar a FEC por um rótulo e o LSP (Label Switch Path) é associado a uma FEC. Quando um LER (Label Edge Router) recebe um pacote, verifica a qual FEC ele pertence e o encaminha através do seu LSP. Nesse caso há uma associação dos componentes pacote, rótulo, FEC, LSP. O resultado dessa associação proporciona grande escalabilidade e flexibilidade a rede.

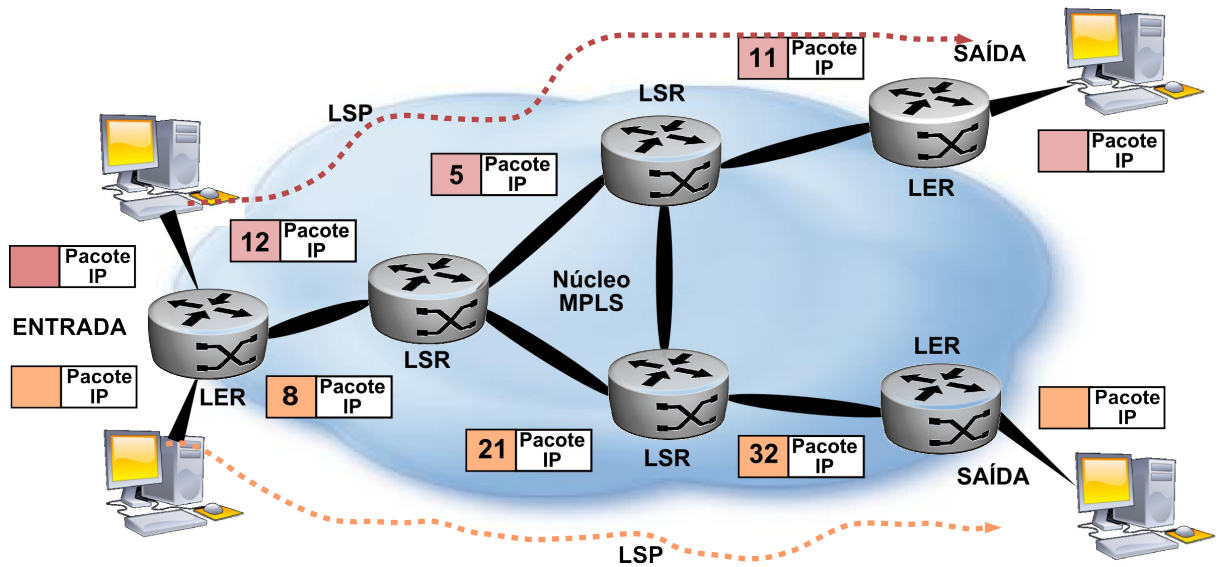
2.2.3.7 LSR ou Label Switch Router

O LSR é o dispositivo que executa os algoritmos de encaminhamento e mantém as tabelas de encaminhamento. Os LSR's têm a função de encaminhar os pacotes baseados apenas no rótulo. Ao receber um pacote, cada LSR troca o rótulo existente por outro, passando o pacote para o próximo LSR e assim por diante até chegar no roteador de borda de saída. Na figura 5 observar-se três tipos de LSR: os de borda ou entrada, os de trânsito ou intermediários e os de saída. Os LSR de entrada e saída também são conhecidos como LER (Label Edge Router) ou simplesmente PE (Provider Edge). O LSR de borda ou entrada é um roteador ou switch que realiza a primeira classificação do pacote, ou seja, aplica o seu primeiro rótulo ao entrar em um domínio MPLS. Já os LSRs intermediários fazem apenas comutação ou troca de rótulo, encaminhando o pacote para o próximo nó da rede MPLS. Este processo garante um alto ganho de desempenho quando se utiliza o protocolo MPLS, pois conforme visto anteriormente não há mais a necessidade de análise dos cabeçalhos da camada de rede.

2.2.3.8 LSP ou Label Switched Path

O LSP nada mais é que o caminho de LSRs por onde os pacotes irão passar numa rede MPLS, ou seja, é o caminho entre o nó de entrada, possíveis nós intermediários e o último LSR de saída. Este caminho também pode ser chamado de LER conforme mostra a figura 5.

Figura 5: Componentes MPLS

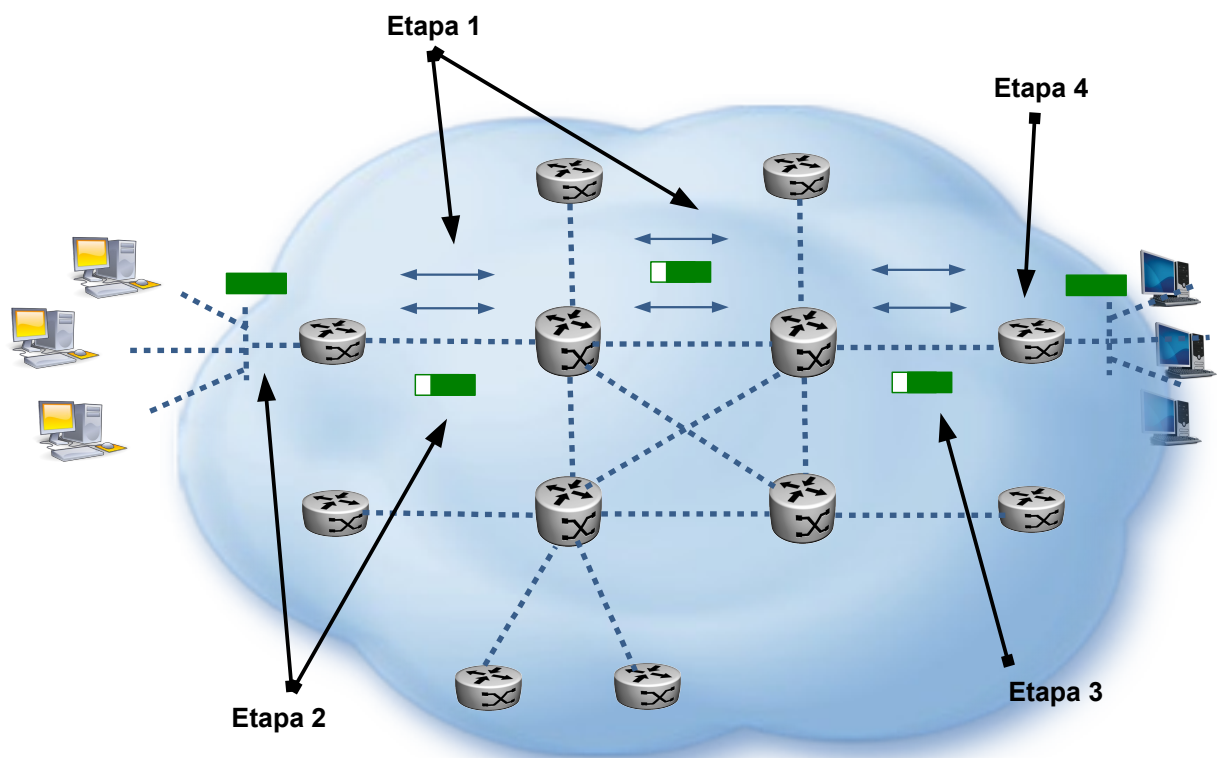


Fonte: O autor

2.2.4 Funcionamento

De acordo com Lobo apud Oliveira, Lins e Mendonça et al.(2012 p.38) o funcionamento do MPLS distribui-se em 4 etapas conforme Figura 6 e Tabela 1.

Figura 6: Funcionamento MPLS



Fonte: Adaptado de OLIVEIRA, José Mário; LINS, Rafael Dueire; MENDONÇA, Roberto. Rede MPLS: fundamentos e aplicações. (p.38). Rio de Janeiro: Brasport, 2012.

Tabela 1: Etapas do funcionamento do protocolo MPLS

<u>Etapa 1</u>	Construção das tabelas de roteamento	As tabelas de roteamento são construídas com o uso de protocolos, tais como OSPF e IS-IS. Após serem construídas, essas tabelas indicam o melhor caminho para atingir o destino. Nesta etapa também é feito o mapeamento entre rótulos e IPs de destino através do protocolo LDP.
<u>Etapa 2</u>	Ingresso dos pacotes na rede	Nesta etapa os pacotes são recebidos pelo roteador de borda ou LSR de ingresso. Este roteador executa os serviços de nível 3 e em seguida acrescenta os rótulos aos pacotes.
<u>Etapa 3</u>	Encaminhamento dos pacotes na rede	O pacote com rótulo é recebido pelo LSR, que por sua vez encaminha o pacote utilizando o label swapping ou mecanismo de rótulos. Após a troca do rótulo, que ocorre conforme a tabela LFIB, o pacote é encaminhado. Esses procedimentos são repetidos por todos os roteadores do núcleo até a chegada do pacote no roteador de borda de saída.
<u>Etapa 4</u>	Saída do pacote da rede	Ao chegar no roteador de saída, os rótulos dos pacotes são removidos e entregues como pacotes IPs.

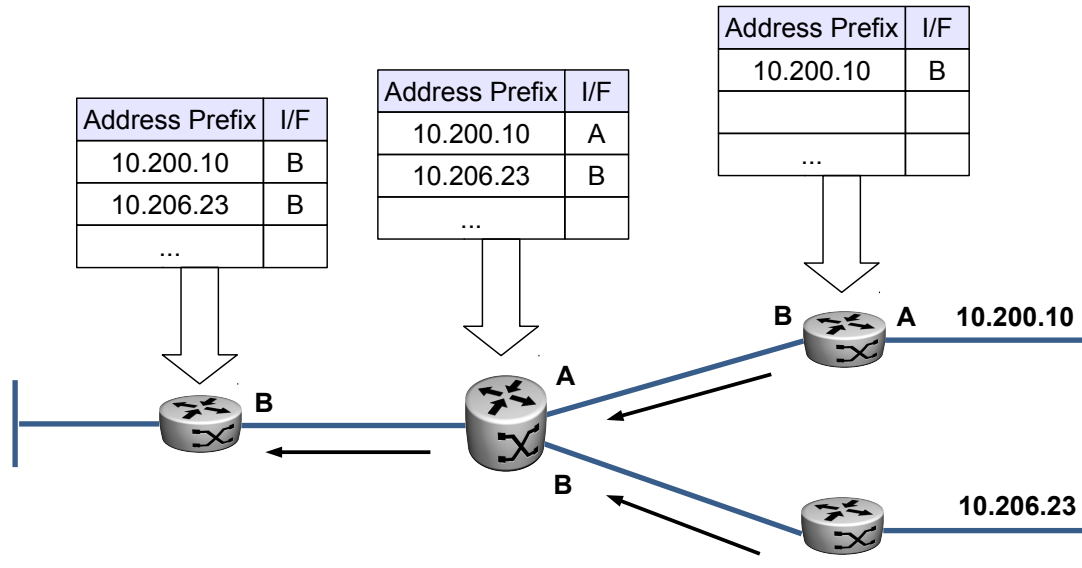
Fonte: OLIVEIRA, José Mário; LINS, Rafael Dueire; MENDONÇA, Roberto. Rede MPLS: fundamentos e aplicações. (p.38). Rio de Janeiro: Brasport, 2012.

Ainda baseado nas informações de (OLIVEIRA; LINS; MENDONÇA, 2012, p. 39), apresenta-se um exemplo prático de encaminhamento de pacotes baseado em rótulos, demonstrando um pouco mais as etapas da Tabela 1.

A Figura 7 apresenta um processo de roteamento convencional, quando dois pacotes IPs entram em uma rede MPLS. As tabelas de roteamento apresentadas na figura, foram construídas através do protocolo (OSPF, IS-IS). Pode-se observar que no roteador central, todos os pacotes destinados a rede 10.200.10 são enviados

pela interface A, e para a rede 10.206.23 são enviados pela interface B.

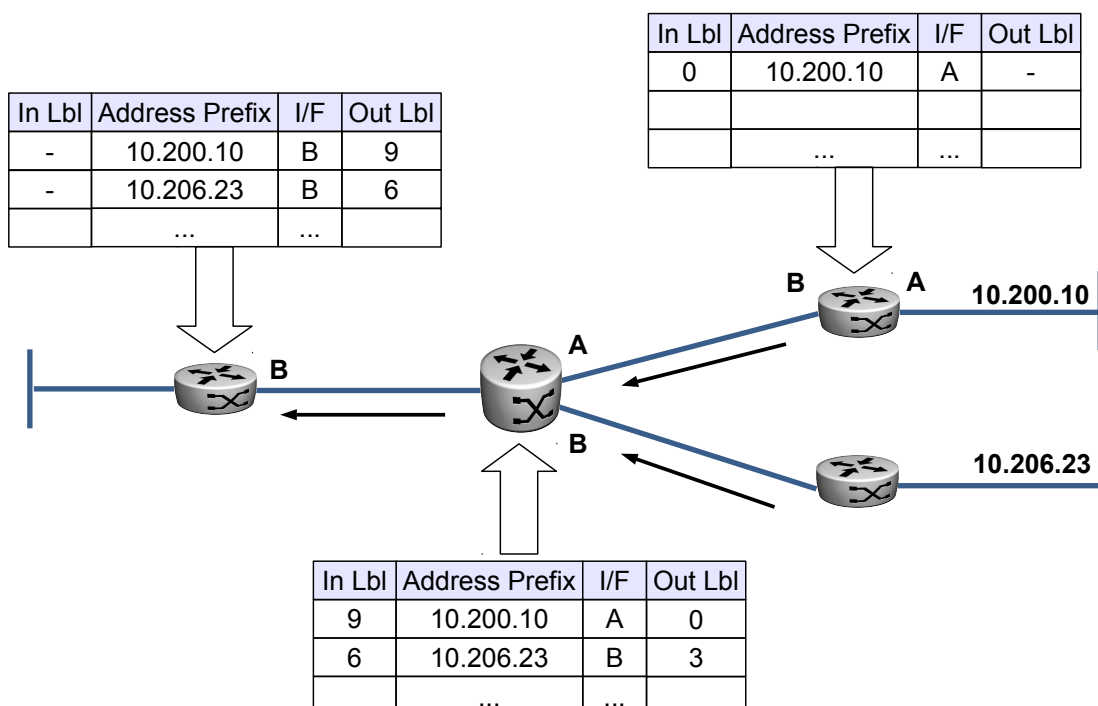
Figura 7: Construção da tabela de roteamento.



Fonte: OLIVEIRA, José Mário; LINS, Rafael Dueire; MENDONÇA, Roberto. Rede MPLS: fundamentos e aplicações. (p.39). Rio de Janeiro: Brasport, 2012.

Na Figura 8 os pacotes IPs recebem seus rótulos e através do LDP eles são divulgados para os outros roteadores vizinhos. Observa-se neste exemplo que no roteador central o rótulo de saída para a rede 10.200.10 tem o valor 0 e o rótulo de saída para a rede 10.206.23 tem valor 3. Já os outros rótulos de entrada para as tais redes são 9 e 6, respectivamente.

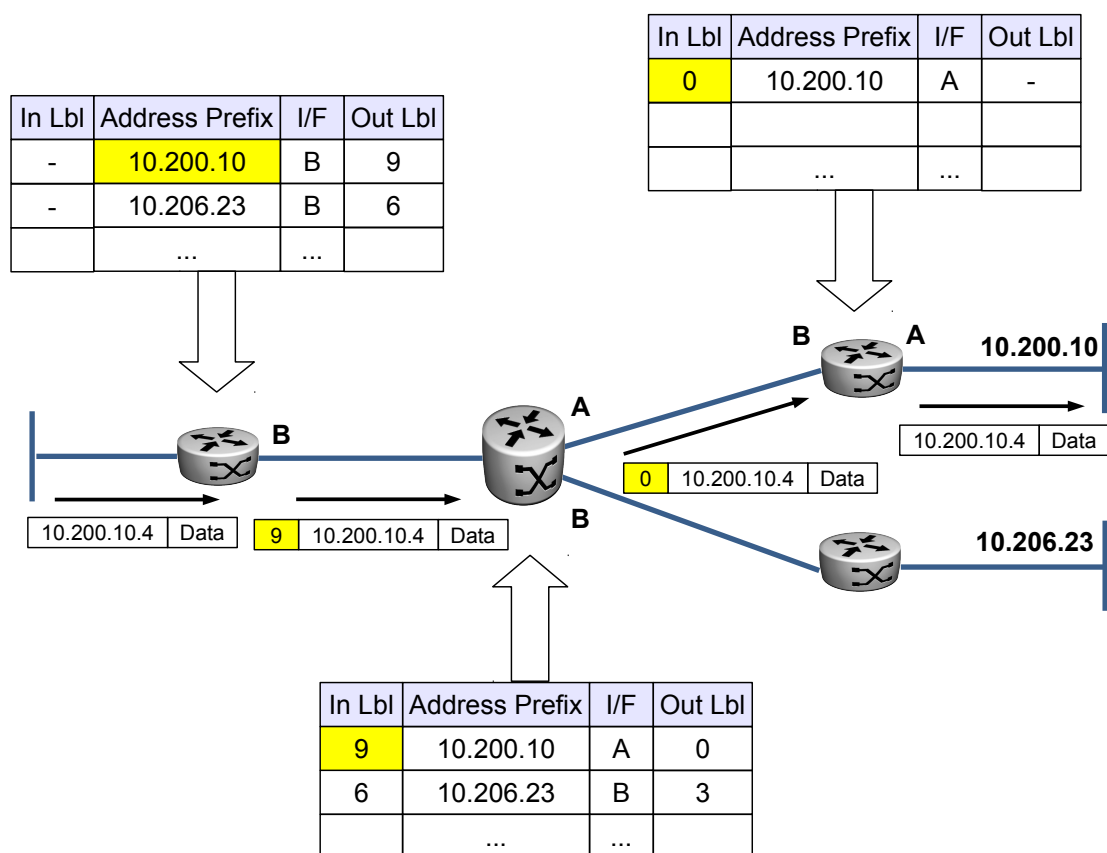
Figura 8: Adição dos rótulos aos pacotes IPs.



Fonte: OLIVEIRA, José Mário; LINS, Rafael Dueire; MENDONÇA, Roberto. Rede MPLS: fundamentos e aplicações. (p.40). Rio de Janeiro: Brasport, 2012.

Na Figura 9, observa-se que logo após todas as tabelas estarem atualizadas, é estabelecido um LSP pelo qual serão encaminhados os pacotes correspondentes a esta FEC. A inserção e retirada dos rótulos é feita pelo roteador de borda ou LSRs e o roteador de trânsito fará apenas a troca dos rótulos.

Figura 9: Encaminhamento de pacotes baseado em rótulos.



Fonte: OLIVEIRA, José Mário; LINS, Rafael Dueire; MENDONÇA, Roberto. Rede MPLS: fundamentos e aplicações. (p.40). Rio de Janeiro: Brasport, 2012.

2.2.5 Serviços MPLS

2.2.5.1 VPN (Virtual Private Networks)

VPN (Virtual Private Network) é uma rede privada virtual, que pode trafegar informações de forma segura através de túneis construídos em uma rede pública. Defini-se um LSP como um túnel MPLS por onde um pacote IP é encapsulado com

um rótulo, transportado em um cabeçalho de nível 2, ou num shim header, e percorre seu fluxo no interior do domínio MPLS, sem que o seu conteúdo seja alterado.

2.2.5.2 Engenharia de tráfego (TE)

A Engenharia de Tráfego, ou Traffic Engineering (TE) tem como objetivo fazer um redimensionamento do tráfego da rede por caminhos alternativos de modo a não sobrecarregar e nem subutilizar trechos da rede. Os fatores que contribuem para engenharia de tráfego no MPLS são destacados a seguir:

- Características de tráfego podem ser associadas à LSPs;
- Associação de recursos a determinados LSPs e fluxos de tráfego;
- Roteamento com restrição de recursos;
- Agregação de fluxo;
- Informações de tráfegos podem ser relacionadas à LSPs;
- Os caminhos explícitos do MPLS podem ser implementados com facilidade por ação do tipo manual ou automática através de protocolo;

O encaminhamento explícito é um caso particular de encaminhamento sujeito a restrições (constraint-based routing), em que a restrição é o percurso explícito. Uma vez que o MPLS permite Engenharia de Tráfego e encaminhamento explícito, suscita o interesse em técnicas de encaminhamento que selecionem rotas baseadas em requisitos de QoS (QoS routing) ou políticas administrativas (policy routing).

2.2.5.3 Qualidade de serviço (QoS)

Num domínio MPLS, fluxos de dados que recebem o mesmo tratamento por parte da rede são associados a uma mesma FEC, o que permite diferenciar classes de tráfego, que podem ser transportadas em LSPs diferentes. No modelo Differentiated Services (DiffServ), fluxos de dados com o mesmo comportamento alvo constituem um Behaviour Aggregate (BA). Em nós de ingresso num domínio DiffServ os pacotes são classificados e marcados com um código correspondente ao respectivo BA, o que permite selecionar um comportamento, PHB (Per Hop Behaviour) que determinará o tratamento que receberão em cada nó do domínio

MPLS.

O MPLS oferece mecanismos apropriados para o suporte de DiffServ, existindo várias alternativas para associar BAs a FECs e mapeá-los em LSPs. Uma solução simples consiste em usar um LSP para suportar até oito BAs de um dado FEC, neste caso o campo Exp do cabeçalho MPLS é usado para determinar o PHB a aplicar aos pacotes. Outra solução para QoS, consiste em combinar MPLS com DiffServ e constraint-based routing.

3 DESENVOLVIMENTO

No capítulo 3, para demonstrar os benefícios do uso do protocolo MPLS, foram utilizados os dados e experiências adquiridas durante o acompanhamento do processo de migração de uma rede WAN que utilizava a tecnologia Cell Relay e que foi migrada para tecnologia MPLS.

3.1 Motivação para migração

A principal motivação para a troca da tecnologia Cell Relay foi a necessidade de atualização tecnológica do backbone, visto que os equipamentos que compunham a estrutura Cell Relay não seriam mais fabricados e seu suporte suspenso. Além disso, o MPLS já era considerado uma tecnologia madura, utilizada no mercado de provedores de serviço e que receberia ainda mais investimentos por parte dos grandes fabricantes no seu desenvolvimento.

Foram considerados ainda todos os benefícios e facilidades que a tecnologia traria para a rede WAN. Dentre elas destaca-se: VPN, Engenharia de tráfego, QoS, Multicast e pseudowire.

3.2 Comparação entre backbones Cell Relay e MPLS

Neste tópico será abordado uma breve descrição da estrutura topológica e tecnológica utilizada no emprego das duas tecnologias, enfatizando as suas diferenças.

3.2.1 Gerência

Com o uso do MPLS foi possível utilizar controle de gerenciamento em nível 3, já que isto antes só era possível em nível 2. Informações de controle de fluxo por IP, IPs mais falantes, uso de traps e utilização de mibs específicas só foi possível após a migração. Outros benefícios, como autenticação, autorização e accounting (log de contabilidade) centralizados, uso de classe de QoS para priorização de tráfego de gerência, também puderam ser implementados.

3.2.2 Desempenho

Com a migração para o MPLS, o backbone aumentou a quantidade de tecnologias de rede WAN a serem utilizadas, tanto nas ligações entre roteadores do

tipo P e PE, quanto nas ligações entre PE e CE, melhorando inclusive a largura de banda destas ligações. Como exemplo, cita-se os circuitos metroethernet de 10 Mbps, 100 Mbps e 1Gbps.

A tecnologia MPLS também proporcionou uma diminuição no overhead das transmissões, já que o cabeçalho MPLS, incluindo a informação de label, é menor (32 bits) que as tecnologias Cell Relay.

3.2.3 Roteamento/Escalabilidade

A topologia lógica padrão MPLS é o full mesh. Isso proporcionou que o roteamento entre diversos pontos de uma mesma VPN ocorresse de forma direta, sem a necessidade de utilização de um sumarizador de rotas. Essa é também uma das grandes vantagens de se utilizar essa tecnologia, pois permite uma alta escalabilidade na rede. Também é possível, assim como utilizado pela tecnologia ATM e Frame Relay, utilizar topologia lógica hub&spoke, que concentra todo roteamento em um equipamento sumarizador de rotas. A aplicação da topologia dependerá do tipo de projeto de comunicação e da configuração empregada.

A depender do protocolo IGP utilizado no roteamento entre os nós do backbone, é possível ter uma grande quantidade de equipamentos roteadores instalados. O ISIS, por exemplo, permite uma escalabilidade em torno de 400 roteadores. Hoje a rede possui 101 roteadores.

3.3 Benefícios com os serviços MPLS

3.3.1 VPN

Com a tecnologia de VPN MPLS foi possível criar por meio de VRF's (Virtual Routing Foward) tabelas de roteamento virtuais distintas para cada rede de cliente. Isto permitiu que recursos como, interfaces e enlaces de comunicação, fossem compartilhados de forma eficiente e segura, garantindo a confidencialidade da comunicação entre pontos de uma mesma rede. Outro benefício aplicado é a utilização de faixas de endereçamento IP privado coincidentes entre clientes distintos.

3.3.2 Qualidade de serviço (QoS)

A tecnologia de qualidade de serviço foi um dos grandes benefícios

ofertados pelo protocolo MPLS após a migração, pois a informação contida no campo Tos - (Type of Service) do cabeçalho de encaminhamento IPv4 pôde ser mapeado para o campo EXP do label stack MPLS. Dessa forma, foi possível aplicar políticas de QoS fim a fim ao longo de todo o percurso de rede (LAN+WAN), independentemente da tecnologia de enlace empregada nestes caminhos. Ou seja, aplicações de tempo real, como áudio e vídeo, puderam receber o tratamento preferencial e garantias de banda de acordo com as condições de rede de cada enlace.

3.3.3 Engenharia de Tráfego – TE

A engenharia de tráfego, através da montagem de túneis, permitiu a otimização dos recursos de rede utilizando enlaces não preferências de roteamento IGP na distribuição do tráfego. Além disto, outros dois benefícios diretos foram observados: A confiabilidade e a escalonabilidade, pois quando ocorrem falhas os túneis são automaticamente re-roteados para um outro enlace ao redor da falha.

3.3.4 Outros benefícios

Outro benefício no MPLS é a possibilidade de transformar um switch ATM em um LSR. As redes corporativas baseadas em WAN's podem se beneficiar com o MPLS na utilização dos enlaces e otimizar o rendimento bruto da rede. De modo geral, lista-se mais alguns benefícios da tecnologia MPLS:

- Convergência de dados, voz e imagem;
- Garantia de níveis de serviços;
- Priorização de tráfego;
- Uma transmissão de dados de modo mais eficiente;
- Escalabilidade e flexibilidade;
- Redução de custo com VPN sobre protocolo IP;
- Uma melhor integração entre IP e ATM;

4 CONCLUSÃO

As demandas das redes WAN's vem aumentando cada vez mais com inicio da convergência da comunicação digital (voz, vídeo e dados). Com isso, o aumento da largura de banda passou a ser o foco das empresas que utilizam as redes de longa distância.

Neste contexto, o MPLS aparece como uma grande tendência, com sua característica de otimizar o tráfego nas redes e oferecendo serviços diferenciados que atendem as exigências atuais dos usuários, como, Qualidade de Serviço (QoS), Engenharia de Tráfego (*TE*) e VPN's (Virtual Private Network)

Através deste trabalho observa-se que o MPLS é um protocolo de troca de pacotes que não visa substituir nenhuma das tecnologias existentes, apenas se integra a elas. Como ele apenas insere um rótulo nos pacotes, ou quadros que serão trocados, toda a tecnologia física e de enlace, bem como os protocolos de rede, são abstraídos, de forma que o rótulo passa a conter toda a informação referente ao encaminhamento desse pacote ao seu destino.

O acompanhamento deste projeto foi de grande importância no amadurecimento do conhecimento adquirido sobre a tecnologia MPLS. Através dele, foi possível fazer um breve estudo e análise da utilização do MPLS e porque ele está substituindo outros protocolos de redes WAN, como as tecnologias Frame Relay, Cell Relay e ATM.

Este projeto mostrou de maneira simples e prática os principais benefícios na utilização do protocolo e serviços MPLS, entretanto há alguns estudos que podem ser realizados futuramente verificando profundamente os serviços e demais benefícios que esta tecnologia pode oferecer. Há muitas características a serem analisadas em Engenharia de Tráfego, Qualidade de Serviço, Redes Virtuais Privadas (VPN's) entre outros serviços que não foram abordados para não deixar este trabalho muito extenso. Contudo, pode-se dizer que o MPLS é uma tecnologia que está cada vez mais consolidada no mercado brasileiro e será muito útil para o aprimoramento de outras tecnologias que utilizam as redes de longa distâncias (WAN's) para se comunicarem.

BIBLIOGRAFIA

ANDERSSON, L.; SWALLOW, G.; **"The Multiprotocol Label Switching (MPLS) Working Group decision on MPLS signaling protocols"**, RFC 3468, RFC Editor, 2003.

AWDUCHE, D.; MALCOM, J.; AGOGBUA, J.; O'DELL, M.; MCMANUS, J.; **"Requirements for Traffic Engineering Over MPLS"**, RFC 2702, September 1999.

INÁCIO, Fabricio Couto. **MPLS – Multiprotocol Label Switching**. Disponível em: <http://www.gta.ufri.br/grad/02_1/mpls/apres.html>. Acesso em: 02 ago. 2013.

KUROSE, James F.; ROSS, Keith W. **Redes de computadores e a internet: uma abordagem top-down**. 3. ed. São Paulo, SP: Pearson Addison-Wesley, 2006. xx, 634p.

MANNIE, E.; **"Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture"**, RFC 3945, October 2004.

NAKAMURA, Juliana Akemi. **Evolução das redes de telecomunicação e o MPLS**. 2009. 98 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Escola de Engenharia, Usp, São Carlos, 2009.

OLIVEIRA, José Mário; LINS, Rafael Dueire; MENDONÇA, Roberto. **Rede MPLS: fundamentos e aplicações**. Rio de Janeiro: Brasport, 2012.

ROSEN, E.; VISWANATHAN, A.; CALLON, R.; **"Multiprotocol Label Switching Architecture"**, Internet proposed standard", RFC 3031, January 2001.

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de Computadores**. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

VACHON, Bob; GRAZIANI, Rick. **Accessing the WAN: CCNA Exploration Companion Guide**. Indianapolis, In 46240 Usa: Cisco Press, 2008. 692 p.

VILARINHO, Claudio. **MPLS (Multiprotocol Label Switching)**. Maio 2010. Disponível em: <<http://blogdovilarinho.blogspot.com/2010/05/mpls-multiprotocol-label-switching.html>>. Acesso em: 02 ago. 2013.