

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

GABRIEL LUCIANI PASCOAL

MULTI PROTOCOL LABEL SWITCHING – MPLS
ANÁLISE COMPARATIVA COM REDES ATM E FRAME-RELAY

SÃO PAULO

2012

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

Gabriel Luciani Pascoal

MULTI PROTOCOL LABEL SWITCHING – MPLS

ANÁLISE COMPARATIVA COM REDES ATM E FRAME-RELAY

Trabalho submetido como exigência parcial

para a obtenção do Grau de Tecnólogo em

Análise e Desenvolvimento de Sistemas

Orientador: Professora Sandra Tanaka

SÃO PAULO

2012

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

Gabriel Luciani Pascoal

MULTI PROTOCOL LABEL SWITCHING – MPLS
ANÁLISE COMPARATIVA COM REDES ATM E FRAME-RELAY

Trabalho submetido como exigência parcial para a obtenção do Grau de
Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas.

Parecer do Professor Orientador: _____

Orientador: Professora Sandra Tanaka

SÃO PAULO, ____ de dezembro de 2012

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a minha mãe, Milvana Luciani Pascoal, e as minhas irmãs Bianca Luciani Pascoal e Leticia Luciani Pascoal que sempre me deram apoio e incentivo para ultrapassar os obstáculos da vida.

RESUMO

Nos dias atuais a internet e seus serviços são muito importantes para as pessoas e empresas, suas utilidades são ilimitadas e ajudam na convergência e troca de informações. Mas para que isso se torne uma realidade à frente do computador, existem milhares de tecnologias para que esses dados percorram seus caminhos.

Cada dia mais serviços são englobados nas redes empresariais e mais informações são trafegadas pela rede, tornando-as mais críticas, e como consequência necessitando melhor desempenho e segurança para garantir a comunicação efetiva dos dados.

A tecnologia de rede MPLS faz com que cada dado seja entregue ao seu destino com sua devida prioridade, aproveitando o máximo a banda da rede se comparado com outras redes oferecidas pelos provedores de tecnologia atualmente (Frame-Relay e ATM).

Pelo seu alto desempenho e classificação do dado trafegado, o MPLS necessita de menor investimento em equipamentos, tanto no núcleo da rede quanto em suas extremidades. Isso faz com que os provedores dessa tecnologia consigam um preço mais competitivo em relação às tecnologias que são oferecidas atualmente.

ABSTRACT

Today the internet and its services are very important for the people and the companies, its utilities are unlimited and our lives are being easier with it. But for this to be a reality in front of your computer there are a thousands Technologies for these datas to go to their destination, and as every day we got more services introduced into the companies networks, more critical these datas becomes more warranty are needed to maintain the reability of these datas.

Networks are primordial and the companies need to pay an expensive price for this. And the principle for new technologies comes to market are exactly this: The PRICE.

The MPLS came with this promise that its services are cheaper and with more guarantees than the past technologies. The guarantee of a better price due to the MPLS ability extracting all the network capacities as with the same structure that we have, we can get a better performance.

MPLS is becoming a reality, as your price is cheaper than the others technologies and with its reability, in a short time almost all the networks that we know will be using MPLS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – ARQUITETURA FRAME-RELAY.....	18
Figura 2 – MODELO OSI SOBRE FRAME-RELAY.....	18
Figura 3 - CAMADAS ATM.....	22
Figura 4 - ARQUITETURA MPLS.....	25
Figura 5 - ESTRUTURA DE PLANO DE CONTROLE.....	27
Figura 6 - ESTRUTURA LÓGICA.....	28
Figura 7 - LER,LSR e LSP.....	31
Figura 8 - FEC.....	32
Figura 9 - FUNCIONAMENTO DO BGP.....	37
Figura 10- FUNCIONAMENTO DO RSVP-TE.....	52
Figura 11 – EXPERIMENTAL FIELD.....	55
Figura 12 – REDE VPN ENTRE OPERADOR E CLIENTES.....	58
Figura 13 – VRF.....	59
Figura 14 - DIVULGAÇÃO DAS ROTAS VPN IPV4.....	61
Figura 15 – TRANSFERÊNCIA DOS DADOS DAS VPN.....	62

SUMÁRIO

1 Introdução	11
2 Objetivo.....	13
2.1 Objetivo Geral.....	13
2.2 Objetivos Específicos.....	14
3 Metodologia	15
4.1 Frame-relay	17
4.1.1 Arquitetura Básica do Frame-Relay.....	17
4.1.2 Funcionamento.....	19
4.1.3 vantagens do Frame-Relay.....	19
4.2 ATM.....	20
4.3 Frame-Relay vs. ATM	23
5 Funcionamento Básico de uma Rede MPLS.....	25
5.1 Arquitetura MPLS.....	26
5.2 Componentes do MPLS	27
5.2.1 LER.....	28
5.2.2 LSR.....	29
5.2.3 LDP.....	29
5.2.4 LSP.....	30
5.2.5 FEC	31
5.2.6 RSVP.....	32
5.2.7 IGP	33
5.2.8 BGP-4.....	35
5.2.8.1 Funcionamento do BGP.....	35
5.2.9 OSPF.....	37
5.3 Tratamento de Rótulos.....	38
5.3.1 Valores do Rótulo	41
5.4 Criação de Rotas	44
6 Aplicações MPLS	46
6.1 Engenharia de Tráfego.....	46
6.1.1 Desempenho de Tráfego e recursos	48
6.1.2 CR-LDP	50

6.1.3 RSVP-TE	52
6.1.4 Comparação entre CR-LDP e RSVP-TE.....	53
6.2 QOS	54
6.3 VPN	57
6.3.1 funcionamento da vpn mpls.....	57
6.3.2 VRF	58
6.3.3 divulgação de rotas vpn ipV4	60
6.3.4 transporte de tráfego do cliente	61
6.4 Vantagens do MPLS.....	63
7 análise comparativa das tecnologias.....	65
8 conclusões.....	67
REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais, pessoas, processos e empresas dependem da conectividade entre redes corporativas, seja via Internet ou ainda acesso privado entre as mesmas.

Tudo isso vem tornando ainda mais forte a necessidade de disponibilidade tecnológica para atender todas as demandas, seja na esfera de custo e também na capacidade de estrutura já existente.

Comparativamente, existem duas fortes tecnologias e que estiveram durante muito tempo como líderes de mercado que são: Frame-Relay e ATM; os quais ainda possuem uma considerável fatia de utilização nas empresas.

Porém, por limitações que foram evidenciadas no decorrer da alta demanda dessas tecnologias, o mercado precisou demandar novas formas para atender e aprimorar a entrega de circuitos e links de comunicação.

Levando em consideração a propagação do Frame-Relay na década de 1990, quando a Internet era pouco utilizada e desenvolvida, as empresas tinham a necessidade de prover interconexão entre suas filiais e também com outros parceiros. Isso tornou a tecnologia Frame-Relay a ser mais utilizada nessa década, para essa finalidade. Entretanto, com o passar dos anos, tornou-se necessário uma tecnologia que proovesse uma maior disponibilidade de banda, maior rede de conectividade entre os sites, e ainda uma aceitação de uma nova tecnologia em cabeamento, tal como fibra ótica.

Nesse determinado ponto, foi quando veio à tona a tecnologia ATM, propondo uma maior velocidade de conexão e entrega de circuitos em fibra ótica. Porém, com a limitação na entrega onde apenas eram comercializadas interfaces de 45Mbps, o ATM se viu de alguma forma limitado ao crescimento e avanço da tecnologia, pois muitas vezes, essa capacidade era desnecessária para as empresas, e em virtude disso, o mesmo foi durante muito tempo utilizado somente em backbone (redes de distribuição) de operadoras.

Depois da obsolescência das tecnologias citadas anteriormente, as atenções foram voltadas ao desenvolvimento de uma tecnologia capaz de suprir todas as necessidades das redes empresariais.

O MPLS foi desenvolvido com novas funcionalidades e conceitos diferentes das tecnologias previamente disponíveis. Uma das características mais aclamadas é a criação de rótulos dentro dos pacotes na rede IP, aprimorando ainda mais o encaminhamento dos mesmos entre os destinos.

Com o fato de cada pacote já ter o seu caminho definido na entrada da rede, o processamento interno dos roteadores diminuiu consideravelmente, e essa questão vem a somar na maior aceitação do MPLS, pois ao invés de investir em uma rede de distribuição mais robusta, foi possível despende recursos em outras frentes.

Além disso, os avanços não se limitaram somente a esses quesitos. Teve-se também a entrega de melhor serviço através de um mecanismo eficiente de filtro e classificação de pacotes, onde o QoS (Quality of Service - Qualidade de Serviço) é uma parte fundamental na transmissão de pacotes em uma rede MPLS.

Por fim, a aceitação do MPLS no mercado se tornou mais abrangente, pois é compatível com as tecnologias legadas. Conseguindo implantar um novo método de leitura e transmissão de dados utilizando infra-estrutura já existente nas empresas.

2 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é abordar as principais características de uma rede *MPLS*, e apontar suas principais melhorias em relação às tecnologias Frame-Relay e ATM, mostrando o quanto eficiente vem se mostrando as redes *MPLS* e tornando-se a tecnologia padrão para redes de computadores.

2.1 OBJETIVO GERAL

Hoje com a crescente demanda de aplicações sobre as redes de computadores, tais como VoIP (Voice over Internet Protocol) e VPN (Virtual Private Network) traz a necessidade de manter o mesmo nível de velocidade, desempenho e utilização.

Sendo assim, as redes *MPLS* vêm sendo um grande triunfo para que cada vez os recursos de rede sejam otimizados sem desgastar o ambiente de rede e com menor investimento equipamentos.

As tecnologias de redes anteriores ofereciam um bom uso da capacidade das redes, mas com a crescente demanda, essas tecnologias demandavam maiores investimentos, diferentemente do *MPLS* que utiliza toda a capacidade das infraestruturas de rede, assim, necessitando menos investimentos e maior eficiência.

Este trabalho tem como objetivo, mostrar as facilidade e melhorias das Redes *MPLS* diante das outras tecnologias sendo aplicada em redes corporativas, fazendo um resumo prévio das tecnologias anteriores e uma visão da arquitetura das redes *MPLS* e suas vantagens.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Pesquisar as tecnologias anteriores como Frame-Relay e ATM, mostrando suas desvantagens diante de um consumo máximo, e também, pesquisar a tecnologia MPLS e sua arquitetura, mostrando o porquê essa tecnologia é a maior tendência de hoje.

1. Pesquisar o que é uma rede Frame-Relay e suas características;
pesquisar o que é o uma rede ATM e suas características;
pesquisar o que é o uma rede MPLS e suas características; meios de transmissão; arquitetura; camada e funcionalidades; Infraestrutura de rede; aplicações; protocolos utilizados e características.
2. Pesquisar as tecnologias e suas formas de implantação para extrair o máximo de rendimento sobre cada uma delas.

3 METODOLOGIA

Os estudos foram divididos em duas etapas:

1. Levantamento teórico das tecnologias anteriores ao MPLS;
2. Levantamento teórico da tecnologia MPLS, mostrando as aplicações em ambientes corporativos que podemos utilizar em cima da tecnologia MPLS.

4 EVOLUÇÃO DAS REDES

Com a popularização da internet e diversificação dos seus serviços, os centros de pesquisas voltaram suas atenções para a necessidade de trafegar as informações com rapidez e que isso não sobrecarregassem os seus equipamentos de rede.

A principal necessidade sempre foi buscar a melhor eficiência de seus equipamentos e com o crescente número de usuários, era necessário aumentar a rede e a cada equipamento novo, os roteadores precisam definir os próximos saltos (hop) do pacote, e com isso, os roteadores teriam um aumento no processamento, pois precisariam processar mais informações [RESENDE, 2001].

Outro fator relevante é que quanto mais a rede cresce, mais equipamentos são comprados, ou seja, mais roteadores são necessários para não se perder o funcionamento da rede, porém o custo é alto, e para manter o crescimento da rede seriam exigidos grandes investimentos.

Com esses pontos, fica clara a necessidade de desenvolver um protocolo de roteamento, que exigiria um menor número de equipamentos e maior eficiência, com o passar do tempo foram desenvolvidos alguns modelos que foram implantados nas redes e, com o passar do tempo também se mostram ineficiente com o grande crescimento das redes [ENNE, 2009].

4.1 FRAME-RELAY

O Frame-Relay é um protocolo de transmissão de dados orientado a conexão, essa tecnologia utiliza comutação rápida de pacotes, que diminui o processamento das células nos nós eliminando parte do cabeçalho da célula utilizada no X.25, localizado na camada de enlace do modelo OSI é aplicado principalmente em interligações de redes, podendo unificar redes distantes de uma mesma empresa [RIBEIRO, 2000].

Sua taxa de transmissão pode chegar até 45Mbps e transmite o principal protocolo de rede (TCP/IP), ela oferece transferência bidirecional dos pacotes preservando a ordem de entrega. Porém, não oferece garantia de entrega do pacote, que em caso de congestionamento na rede poderá ser descartado [RIBEIRO, 2000].

4.1.1 ARQUITETURA BÁSICA DO FRAME-RELAY

O Frame-Relay utiliza dois planos, o primeiro de controle cria e finaliza todas as conexões lógicas, e o segundo plano é o de usuário que é responsável pela transferência de dados entre os usuários, fornecendo todos os serviços fim-a-fim.

Para que a transferência de dados entre usuários finais se concretize com sucesso, o Frame-Relay utiliza as principais funções do protocolo Q.922 [SALES, 2000]:

- Sincronismo, transparência e delimitação de quadros;
- Detecção de erros de congestionamento;
- Multiplexação e demultiplexação de frames usando o campo de endereço;
- Funções de controle de congestionamento.

A figura abaixo ilustra os tipos de controle utilizados no Frame-Relay, controle de usuário e controle de rede:

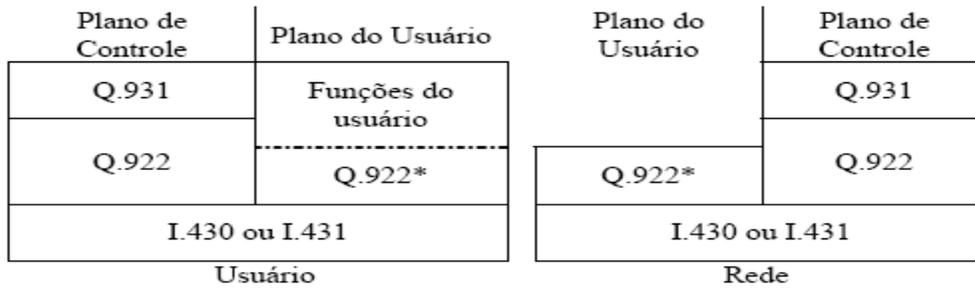
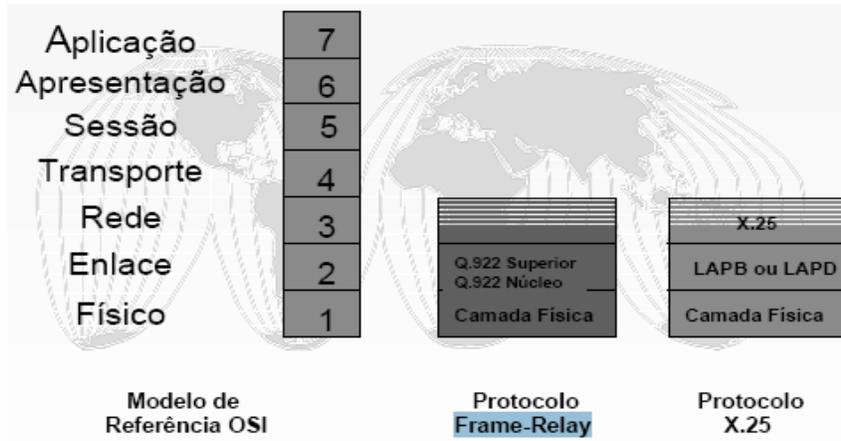


Figura 1 - Arquitetura Frame-Relay (FONTE: IMPACTA, 2008).

O frame-relay trabalha nas camadas 1,2 e 3 do Modelo OSI



Frame Relay – Dados do usuário

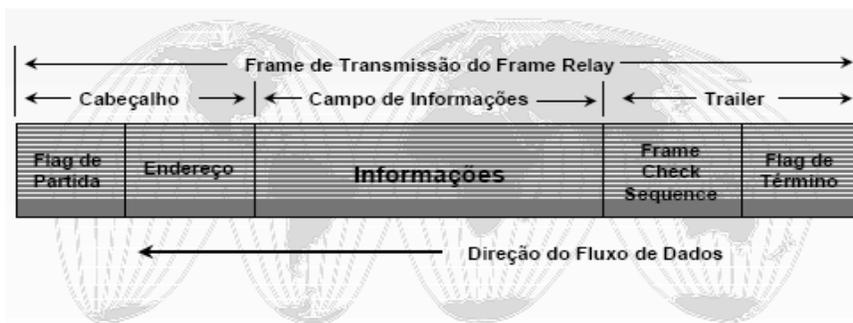


Figura 2 - Modelo OSI sobre Frame-Relay (FONTE: IMPACTA, 2008).

4.1.2 FUNCIONAMENTO

Cada canal virtual no Frame Relay é conhecido como DLCI (Data Link Connection Identifier). O tipo de conexão mais utilizado em redes Frame Relay é o PVC (Permanent Virtual Circuit), onde a conexão fica permanentemente aberta, e é estabelecida pela operadora, mas há permissão do protocolo para conexões utilizando o método por chamada SVC (Switched Virtual Circuit).

Os links Frame Relay são oferecidos com uma taxa de transmissão garantida chamada de CIR (Committed Information Rate) e um subsídio de largura de banda conhecido como EIR (Extended Information Rate) esse tipo de largura de banda é compartilhado com outras conexões dentro da rede Frame Relay, por isso não é garantido que será utilizado 100% da largura de banda contratada no EIR.

Quadros que são enviados em excesso do CIR são marcados como elegíveis a descarte (DE) o que significa que pode ser descartado caso ocorra um congestionamento da rede Frame Relay.

4.1.3 VANTAGENS DO FRAME-RELAY

O Frame-Relay tem como vantagem a redução de custos tanto na renovação das ferramentas que podem ser utilizadas, como redução de recursos para o acesso à internet. Essa redução se dá pelo fato de que o Frame-Relay aumenta a eficiência dos equipamentos instalados na rede [VENTURA, 2003].

Como o envio dos dados é feito por pacotes que variam de tamanho conforme a necessidade, e garantem a flexibilidade em relação ao tráfego e a utilização eficiente de toda a banda disponível, reduzindo a necessidade de grandes investimentos nos links de internet [FARIAS, 2007].

Permite também a utilização da mesma infraestrutura para transmissão de pacotes de dados e voz, sem interrupção dos serviços referentes a cada tipo de pacote. [RIBEIRO, 2000].

4.2 ATM

A Rede ATM (Asynchronous Transfer Mode) é uma tecnologia baseada na transmissão de pacotes com tamanho fixo, chamados de células, tais células são transmitidas por circuitos virtuais e sua entrega é realizada pelas informações contidas no seu cabeçalho. Tem uma grande facilidade de adaptação às exigências das redes legadas, e fornece suporte a diferentes tipos de serviços [VENTURA, 2003].

Com todas essas facilidades a tecnologia ATM foi escolhida para ser usada na implantação das redes digitais de serviço integrados (RDSI-FL - Rede Digital de Serviços Integrados de Faixa Larga).

Outra facilidade da rede ATM, é que essa tecnologia pode ser utilizada em toda a rede, pois se encaixa em redes de longas distâncias, quanto às redes locais e também pode ser utilizada nas redes de área metropolitana fazendo assim uma unificação de tecnologia dentro do ambiente geral de uma rede [VENTURA, 2003].

4.2.1 ARQUITETURA BÁSICA DAS REDES ATM

A tecnologia ATM foi criada utilizando o Modelo OSI como padrão, porém só são utilizadas as duas camadas mais baixas, substituindo as camadas da pilha original dos protocolos, dividindo-a em três partes [VENTURA, 2003]:

Camada Física: é o transporte que realiza as transferências das células de um nó para o outro. Na camada física são encontradas duas subcamadas:

Subcamada de Meio Físico (Physical Medium Sublayer): Onde são encontradas todas as características mecânicas, elétricas e óticas, podendo transportar também outras tecnologias, pois a tecnologia ATM não depende do meio de transmissão a ser utilizado [VENTURA, 2003].

Subcamada de convergência de transmissão (Transmission Convergence Sublayer) é a convergência dos bits para as células e vice e versa, e também onde é gerado e verificado os conjuntos de bits [VENTURA, 2003].

Camada ATM é responsável pelas células ATM, que estabelece as funções à comutação espacial e temporal dos conjuntos de bits, responsável pelo controle de tráfego, pela criação e manutenção dos bits dos cabeçalhos das células. Viabilizando o roteamento das células e o chaveamento de acordo com os campos do cabeçalho. Esta camada é responsável pelo formato da célula e significado do cabeçalho.

Camada de Adaptação ATM (AAL) gerencia os diferentes tipos de tráfego, quando a camada de adaptação ATM recebe das camadas superiores as informações,

sua função é de segmentar os dados criando as células ATM, mas quando essas informações vêm de uma camada inferior, a camada de adaptação é responsável por adequar as partes das células para que a camada superior possam tratar essas informações. A camada de adaptação também consiste em duas subcamadas:

Subcamada de Segmentação e Recomposição (Segmentation and Reassembly Sublayer) responsável pelo tratamento das informações vindas da camada superior adaptando-as para o envio a camada inferior.

Subcamada de Convergência (Convergence Sublayer) é responsável por disponibilizar os serviços da camada de transporte do modelo OSI para as aplicações das camadas superiores [VENTURA, 2003].

Na figura abaixo podemos ver a estrutura do ATM com base no modelo OSI:

RM-OSI Camada	ATM		Funcionalidade
	Camada	Subcamada	
3 / 4	AAL	CS	Fornecer interface padrão (convergência)
		SRS	Fragmentação / Desfragmentação
2 / 3	ATM		Controle de fluxo Geração/extração de cabeçalho de célula Gerência de circuito/caminho virtual Multiplexação/demultiplexação de célula
2	Física	TCS	Desacoplamento de taxa de célula Geração/verificação de CRC de cabeçalho Geração de célula Montagem/desmontagem de célula Geração de quadro
1		PMS	Temporização de bit Acesso à rede física

Figura 3 - Camadas ATM (FONTE: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, 2003).

4.3 FRAME-RELAY VS. ATM

Hoje o Frame-Relay tem como resultado natural à lentidão e o problema em tratamento de erros. Essa tecnologia foi criada para transmitir pacotes de tamanhos variados por meio de conexões de tamanhos variados, para que se adaptasse à necessidade do mercado [GREENE, 2007].

A tecnologia ATM foi criada em 1980 para disponibilizar cinco níveis de QoS (Quality of Service), para que seus usuários pudessem mandar seus dados com maior sucesso, sendo na entrega e na taxa de transmissão. ATM segue o princípio dos pacotes de tamanhos definidos chamados de células, com o tamanho de sua extensão fosse maior de 48 bytes esse seria dividido e encapsulado em outra célula, isso não ocorria no Frame-Relay que tinha como principal característica o tamanho variado de pacotes [GREENE, 2007].

O ponto forte da tecnologia ATM é que ela consegue emular circuitos diretos e com uma banda garantida, uma deficiência do Frame-Relay. O ATM oferecia mais banda do que requisições de usuários, isso quando o tráfego aumentava, mas não trazia garantias que a capacidade extra da rede estaria disponível [GREENE, 2007].

Uma desvantagem do ATM é o tamanho das células, que para 48 octetos de carga útil a célula precisa de cinco octetos para o cabeçalho, quase 10% do número total de bytes que compõe uma célula.

O começo da ATM não foi tão glorioso porque ele só era oferecido em conexões T3 com 45 Mbps de capacidade, que era mais que o necessário e muito caro para as

companhias, o Frame-Relay por outro lado era uma alternativa de circuitos dedicados mais barata [GREENE, 2007].

O Frame-Relay tem vantagem nas redes WAN pois é mais flexível ao tamanho da banda larga necessária pela rede corporativa. Já o ATM sobreviveu nas redes “Core” (redes de alta velocidade) das operadoras, pois suporta tecnologias de cabeamento mais avançadas como a fibra ótica, mas vem sendo decomissionado lentamente. Ultimamente, tanto Frame-Relay quanto ATM estão perdendo espaço para a tecnologia MPLS, pois não é necessário um grande investimento em equipamentos de rede para sua implantação e seu rendimento é muito melhor em relação às tecnologias anteriores. [GREENE, 2007].

5 FUNCIONAMENTO BÁSICO DE UMA REDE MPLS

O MPLS (MultiProtocol Label Switching), definido na RFC 3031, tem como principal característica união entre a capacidade de roteamento IP da rede à transferência de dados por switches, que se mantém eficiente desde os outros modelos de redes.

Utilizando o modelo *peer*, onde os LSR (Label Switch Router) além de ser responsáveis por encapsular os datagramas IP por labels para sua comutação, também fazem o roteamento IP sendo que isso nos trás consequentemente uma redução do número de roteamento [ENNE,2009].

Na figura 4 encontramos um modelo simplificado de redes MPLS que é constituído por um conjunto de roteadores que aplicam as funcionalidades do MPLS.

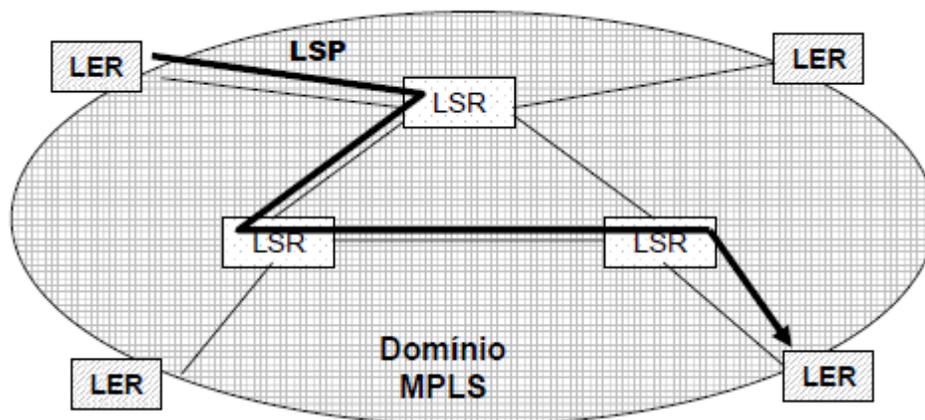


Figura 4 - ARQUITETURA MPLS (FONTE: UNICAMP, 2001).

Os pacotes IPs são encapsulados com rótulos pelo roteador de borda do MPLS chamado de LER (Label Edge Router), que com base no cabeçalho IP do pacote, lhe dá o rótulo apropriado, esse procedimento é conhecido como classificação de pacotes [RESENDE, 2001].

Essa análise é feita não apenas no campo de endereço de destino, mas sim com base em vários campos do cabeçalho IP, isso difere das tecnologias anteriores, e dá ao MPLS grande flexibilidade para aplicação da engenharia de tráfego.

Nos LSR (Label Switched Router), o rótulo MPLS é o ponto de decisão para o encaminhamento dos pacotes e quando esses pacotes saem das redes MPLS, os roteadores de borda removem esses rótulos para que não haja conflito com outros tipos de redes [SILVA NETO, 2006].

5.1 ARQUITETURA MPLS

O MPLS é baseado em duas estruturas lógicas para oferecer a funcionalidade de Label Switching:

A primeira estrutura do MPLS se chama **Controle** e é onde encontramos as funções de sinalização, roteamento, conversão de endereços e policiamento de tráfego. Nesse ponto um comutador não convencional que suporte MPLS adotará a característica de roteador IP. [SILVA NETO, 2006].

A segunda é chamada de Encaminhamento que é controlada pelo plano de controle e é responsável pela propagação dos datagramas IPs, como o

encapsulamento, segmentação, remontagem e rotulação do datagrama [SILVA NETO, 2006]. A figura abaixo mostra o plano de controle que o MPLS utiliza:

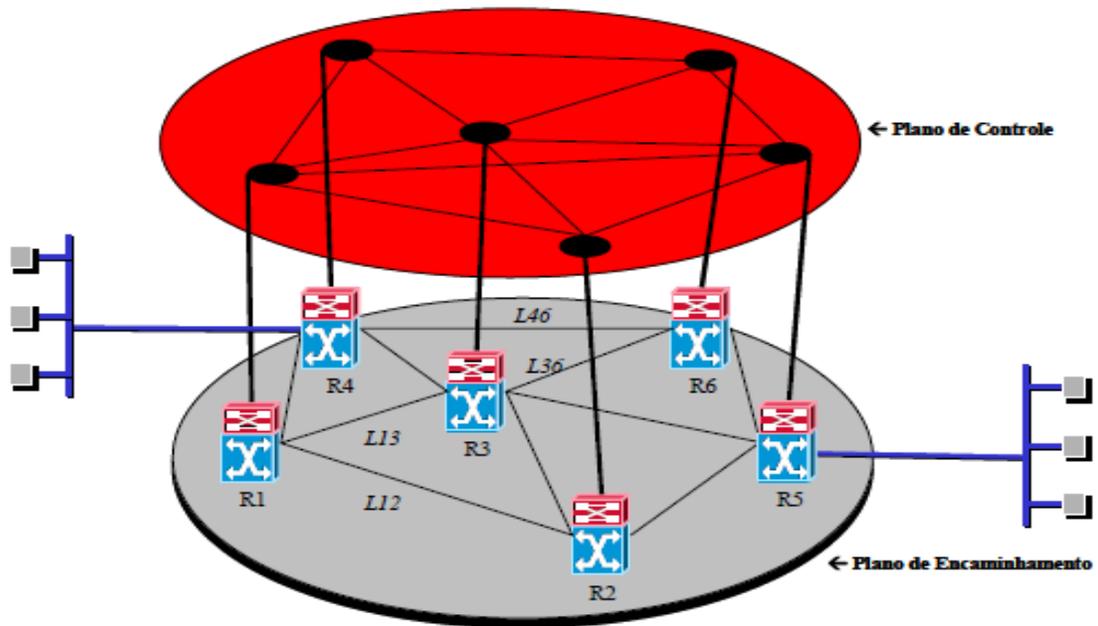


Figura 5 - ESTRUTURA DE PLANO DE CONTROLE (FONTE: UNICAMP, 2001).

5.2 COMPONENTES DO MPLS

Nas Redes MPLS encontramos alguns componentes que são responsáveis por executar o roteamento IP no processo de mapeamento dos rótulos para cada classe, assim encaminhando o pacote para o próximo nó no circuito virtual.

A figura abaixo mostra como o caminho que o pacote faz numa determinada rota:

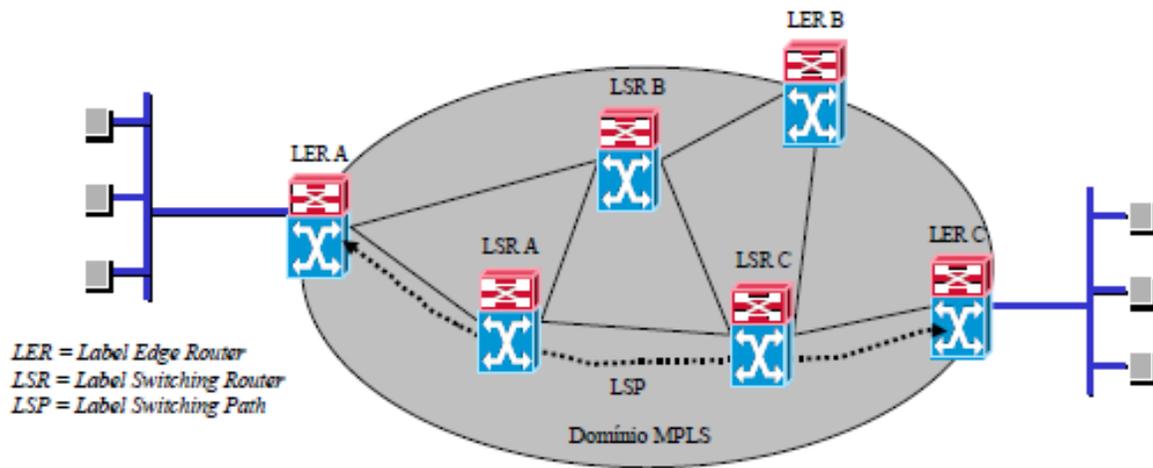


Figura 6 - ESTRUTURA LÓGICA (FONTE: CBPF, 2002).

5.2.1 LER

O LER (Label Edge Router) é localizado nas bordas das redes de acesso das redes MPLS, ele desempenha um papel vital em toda a rede MPLS por que é o equipamento que cria as ligações entre a rede MPLS e as redes externas. Ele recebe o tráfego pelos links externos e aplica todas as propriedades do MPLS nos pacotes e determina a apropriada Forwarding Equivalence Class (FEC), indicando o rótulo MPLS equivalente em cada unidade transmitida. Esse rótulo MPLS identifica o LSP (Label Switched Path) que é o caminho que a unidade será transmitida [ENNE,2009].

Apos a identificação e definição dos pacotes, os LER repassam o pacote para a próxima instância da rede, o LSR (Label Switched Router), para que a continuidade de transmissão seja mantida [ENNE,2009].

5.2.2 LSR

O LSR (Label Switching Router) é um dispositivo de roteamento de alta velocidade que está localizado no núcleo da rede MPLS. Ele é um importante componente nas definições das LSP, utilizando o protocolo de sinalização de rótulo e encaminhando o tráfego [FERRAZ, 2002].

Os LSR têm a função de encaminhar os pacotes baseado nos rótulos que são definidos pelo LER, assim, cada LSR transmite o pacote para os outros LSR da rede, até o pacote chegar ao LER de saída para que alcance o seu destino [FERRAZ, 2002].

5.2.3 LDP

O LDP (Label Distribution Protocol) especificado na RFC 3036, é responsável pela comunicação entre os LSR vizinhos, foi projetado para conseguir se estender e utilizam mensagens especificadas com TLV, esse formato de mensagem significa que cada mensagem contém campos indicando seu tipo, tamanho e valor, definindo novas funcionalidades para o protocolo [DE ASSIS, 2002].

Para encontrar os LSRs vizinhos, o LDP possui um mecanismo de descoberta, que, quando os LSRs enviam o protocolo UDP (User Datagram Protocol) para enviar mensagens de *Hello*, essas mensagens são enviadas para portas conhecidas e isso é enviado para um endereço IP multicast. Quando um LSR é reconhecido como vizinho, cria-se uma conexão TCP (Transfer Control Protocol), e logo após essa conexão, cada LSR poderá criar o seu rótulo, mas um mecanismo de descoberta adicional conseguirá reconhecer os LSRs vizinhos que não sejam adjacentes a ele [RESENDE, 2001].

O LDP também pode funcionar em mais quatro modos:

Modo Independente, onde cada LSR é livre para estabelecer seus mapeamentos de rótulos e indicá-los aos seus vizinhos, que permite ao LSR dividir as suas FECs, mas é possível que algumas FECs não sejam mapeadas[DE ASSIS, 2002].

Modo Ordenado, onde somente um LER de entrada (Egresso) pode iniciar uma LSP, que previne a criação de laços de roteamento, porém torna a LSP lenta.

Modo Conservativo, onde cada LSR mantém somente o mapeamento das FECs para rótulo no momento que precise, sendo que todos os outros mapeamentos são descartados [DE ASSIS, 2002]..

Modo Liberal, onde cada LSR guardará todos os mapeamentos mesmo que não esteja sendo usada e é útil para melhorar o tempo de resposta nas mudanças de roteamento, mas contém desperdício de rótulo [DE ASSIS, 2002].

5.2.4 LSP

O LSP (Label Switched Path) é o conjunto de dispositivos do MPLS, que forma o caminho por qual os pacotes de a uma determinada FEC passarão.

Quando o pacote entra na rede MPLS, ele é associado a uma classe de equivalência (FEC), então é criado o caminho que essa FEC irá percorrer, como a criação da LSP é feita na entrada da rede (LER), os LSRs somente irão coordenar os pacotes, passando-os para os LSRs correspondentes, não precisando criar novamente um roteamento para aquele pacote [FERRAZ, 2002].

A linha em vermelho da figura abaixo é o LSP, o caminho onde o pacote irá percorrer na rede:

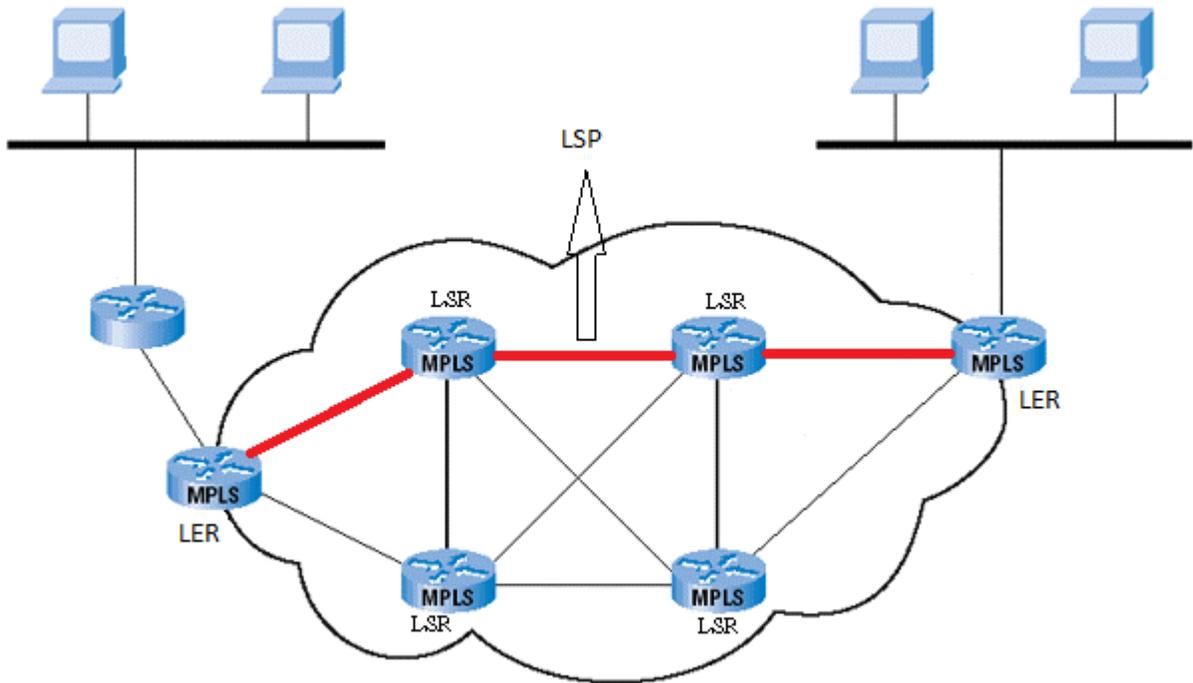


Figura 7 - LER,LSR e LSP (FONTE: CBPF, 2002).

5.2.5 FEC

O FEC (Forwarding Equivalence Class) nomenclatura definida para indicar as classes de encaminhamento de pacotes, pode-se definir uma FEC como um grupo de pacotes tratados de maneira igual, ou seja, possuem pontos similares para um encaminhamento contínuo dentro da rede.

Um exemplo é dos pacotes *unicast*, que casam com o prefixo dos endereços IPS. As FECs podem ter diferentes níveis, tais como host de destino e aplicação específica, sendo que podemos determinar que as FECs são um conjunto de elementos

e que cada elemento indica um pacote a ser entregue pela LSP correspondente [FERRAZ, 2002].

Figura abaixo indica as possíveis classes de FEC e suas prioridades:

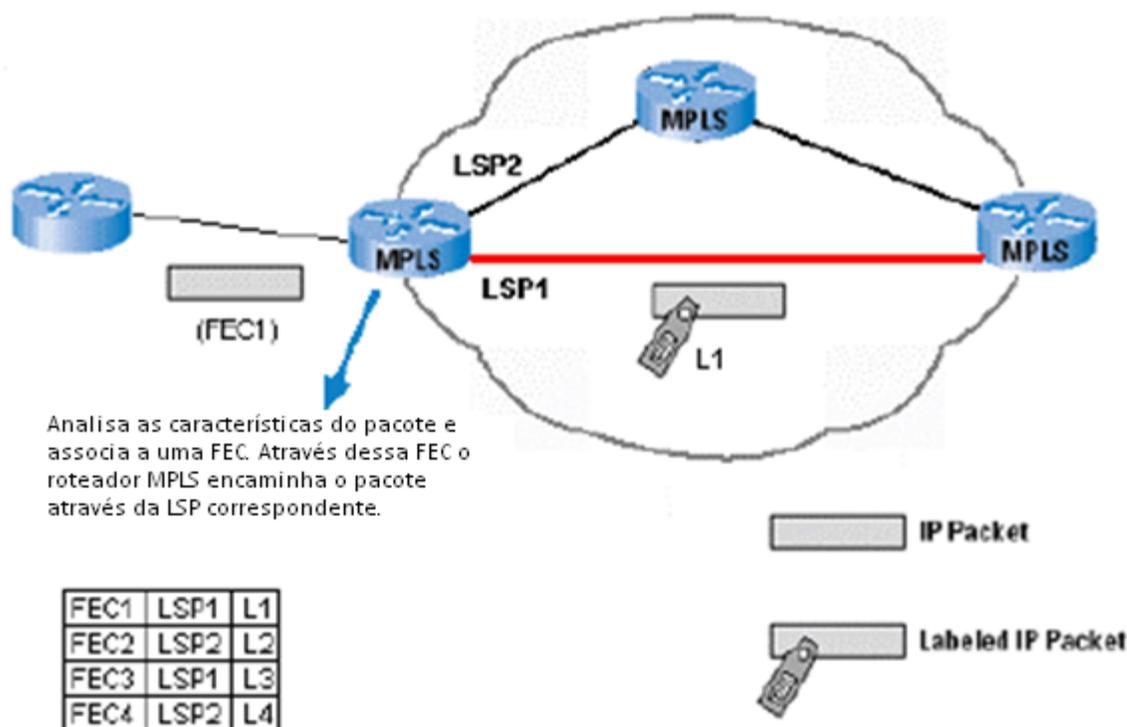


Figura 8 - FEC (FONTE: CBPF, 2002).

5.2.6 RSVP

Para que se possa aplicar a qualidade de serviços nas redes, é necessário um protocolo que reserve recursos na rede, ou seja, o protocolo RSVP (Resource Reservation Protocol). Padronizado pela RFC 2205 em setembro de 1997, o RVSP permite que os nós da rede caracterizem os fluxos de dados, definam caminhos e apliquem o QOS utilizando as informações recebidas [ENNE, 2009].

Isso tudo só se concretiza porque são enviadas mensagens de reserva pelos receptores à árvore *multicast* de dentro para fora. Nessas mensagens, existem as especificações sobre a taxa de transmissão desejada para os pacotes, e quando um roteador recebe essa mensagem, se adequa para atender a solicitação e repassa esta mensagem para o próximo nó da rede com as informações dos nós anteriores. Essas mensagens são posicionadas no campo de informação do datagrama do IP [FORONDA, 2009].

A utilidade do RSVP no MPLS é a associação as LSPs, possui acesso às informações das reservas, e com isso garante grande controle da rede, viabilizando a melhoria na qualidade de serviço [ENNE, 2009].

A grande diferença entre o RSVP e o LDP, é que o LDP é bem mais simples de ser configurado, porém o LDP não tem recursos suficientes para suprir a demanda de Engenharia de Tráfego e algumas outras funcionalidades. [FORONDA, 2009].

5.2.7 IGP

O IGP (Interior Gateway Protocol) é utilizado em sistemas autônomos AS (Autonomous System) e são responsáveis pelas trocas de informações de roteamento. São divididos em dois grupos, os que se baseiam vetor de distância e os que se baseiam em estado de enlace.

O protocolo que utiliza Vetor de Distância é baseado na distância entre origem e destino, que é medido normalmente por um nó, mas pode também utilizar outro cálculo que represente a medida entre dois pontos. Apenas nós vizinhos se comunicam entre si

informando a distância entre eles, onde essa conversa é o que mantém sua tabela de roteamento atualizada [ENNE, 2009].

Nos protocolos que utilizam Estado de Enlace, os próprios roteadores possuem as informações sobre toda a rede, assim cada um calcula a rota que deverá ser feita. Para que a tabela de roteamento seja feita, os roteadores calculam qual é o melhor “próximo nó” (next-hop) para todos os destinos possíveis da rede, assim quando um pacote chega ao roteador, a informação sobre o melhor destino do pacote já está calculada. Isso faz o roteador diminuir o processamento, pois o único trabalho será enviar o pacote para o próximo nó. As tabelas de roteamento são atualizadas somente quando existe uma alteração na topologia de rede [FORONDA, 2009].

No MPLS, o IGP é utilizado para facilitar a engenharia de tráfego segundo a *RFC 3785*, onde o MPLS possui a informação sobre a rota específica a ser seguido pelo pacote na rede. Esse roteamento de pacotes garante que todos os fluxos de informações com as mesmas características sigam o mesmo caminho na rede. Todos os AS (Asynchronous System) utilizam o IGP para manter a conectividade interna, assim os equipamentos de um AS interno distribuem via IGP os rótulos para seus vizinhos [ENNE, 2009].

Quando se fala em IGP sobre LDP, alguns pacotes podem ser perdidos, pois essa sincronização entre os dois só poderá acontecer quando o LDP estiver totalmente operacional.

Um problema para a rede MPLS é que o LDP e IGP não são sincronizados, que faz o LSR descartar pacotes quando não achar o rótulo do pacote. Para resolver esse problema, é necessário habilitar uma funcionalidade nos roteadores que faz a

sincronização entre o IGP e o LDP, antes da sincronização a rede começará a anunciar os links com métrica máxima. Depois que a sessão de LDP esteja concluída e os vínculos dos rótulos estejam sendo trocados, o IGP publicará o link com a sua métrica normal. Para que isso aconteça o comando "mpls ldp sync" é utilizado. [FORONDA, 2009].

5.2.8 BGP-4

O protocolo BGP distribui rotas entre sistemas autônomos (AS), com opção para ser usado dentro do AS como IGP. É um protocolo simples, escalável e estável. O BGP-4 usa a porta 179 do TCP para transporte de suas mensagens, também conhece o caminho completo da origem até o destino dos dados, a partir das informações recebidas, o número de Sistema Autônomo é usado para evitar loops, existem vários outros atributos que são usados para definir melhor o caminho baseado em políticas, este modelo é conhecido como PBR – Policy Based Routing.

O BGP-4 está definido basicamente na RFC1771, mas existem várias outras RFCs que acrescentam funcionalidades específicas ao protocolo, como por exemplo, a extensão MP (Multi-Protocol), que acrescenta a capacidade de transportar rotas com endereçamento do tipo IPv6, além de outros tipos de endereçamento ao protocolo. [ORBORNE, 2002]

5.2.8.1 FUNCIONAMENTO DO BGP

Cada roteador que usa BGP é chamado de speaker ou parceiro BGP. Um speaker BGP pode ter vários parceiros BGP, mas todos com ligação ponto-a-ponto.

A troca de todas as mensagens é feita entre os parceiros BGP, depois de estabelecida a sessão TCP. A primeira mensagem a ser enviada é a “*open*”, a qual possui as informações de configuração de cada sessão BGP, se o receptor da mensagem não concordar com as configurações, ele envia uma mensagem de “*notification*”, que informa a causa do impasse e fecha a sessão. Caso contrario, ele envia sua mensagem “*open*” e a partir de então são trocadas mensagens de “*update*”, as quais possuem as informações de rotas com seus respectivos atributos. A mensagem de “*keepalive*” é usada quando não há mensagem de “*update*” a ser enviada, mas precisa-se manter a sessão aberta. Após o recebimento de uma mensagem “*notification*” a sessão é encerrada, há também a mensagem de “*route-refresh*” que solicita o re-anúncio de rotas, onde esta última foi acrescentada na RFC 2918. [ORBORNE, 2002]

Os nós parceiros possuem tabelas BGP além das tabelas de roteamento. Cada tabela BGP possui todas as rotas aprendidas via protocolo. Poderá haver várias rotas para mesmo destino, porém a tabela de roteamento possui somente a melhor rota para um determinado destino. A decisão de qual rota BGP deve ser instalada na tabela de roteamento, é baseada no processo decisório do BGP, este analisa os vários atributos de uma rota, baseada nesta análise é escolhida apenas uma única rota (a melhor) a ser instalada na tabela de roteamento, quando houver mais de uma possibilidade. Opcionalmente pode-se instalar mais de uma rota na tabela de roteamento,

dependendo da configuração, com objetivo de fazer balanceamento de carga.
[ORBORNE, 2002]

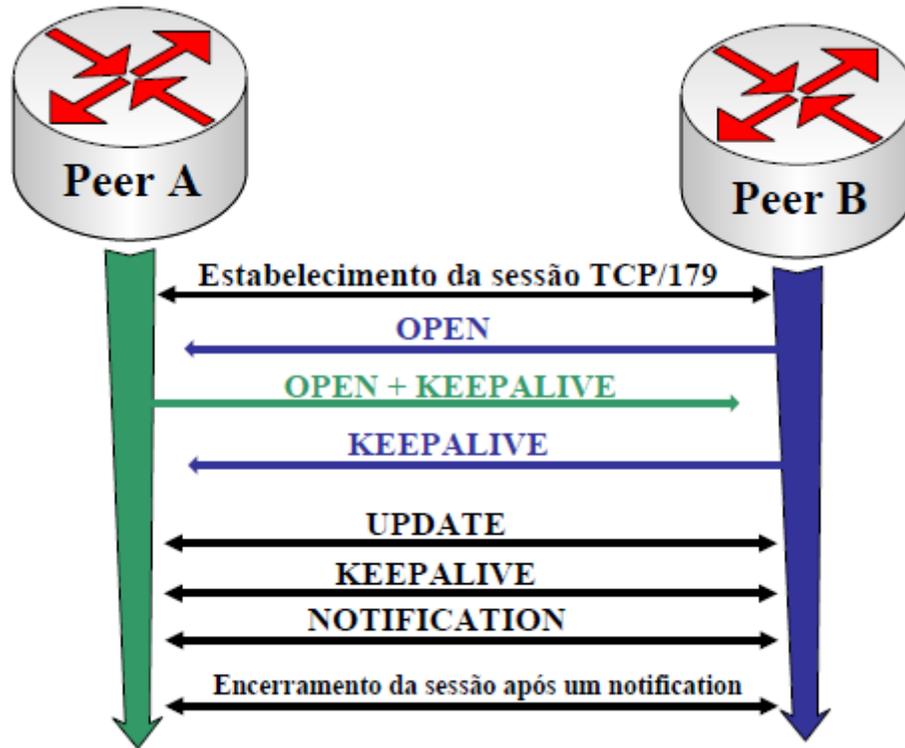


Figura 9 - FUNCIONAMENTO DO BGP (FONTE: TELECO, 2001).

5.2.9 OSPF

O OSPF (Open Short Path First) possui sua definição básica está descrita pelo IETF na RFC 2328 e foi desenvolvido para abordar necessidade de grandes redes escaláveis, bem como fornecer suporte à autenticação. [ORBORNE, 2002]

De acordo com a definição, o OSPF é um protocolo de roteamento IGP, pois geralmente não propaga rotas para nós que não fazem parte do seu AS, além de possuir cálculo uniforme da métrica em todo o AS. [ORBORNE, 2002]

O OSPF utiliza o modelo de estado de enlace para obter o caminho da origem até o destino, onde cada nó tem uma visão completa da topologia de rede, pois cada nó cria uma estrutura de árvore sendo o próprio nó a raiz, desta forma há um único caminho do nó origem (raiz) até o destino (folhas), dentro do AS. [ORBORNE, 2002]

O consumo do link na inicialização do protocolo é alto devido à troca completa de tabelas de roteamento, entretanto, posteriormente é baixo, pois somente atualizações são enviadas, exceto pelo fato que no intervalo de 30 minutos são re-enviados novamente para ratificar a consistência da base de dados mantendo-as sincronizadas. [ORBORNE, 2002]

5.3 TRATAMENTO DE RÓTULOS

Num roteamento IP comum, são analisadas todas as informações do cabeçalho do pacote, toda essa análise é feita para se determinar qual será o próximo salto (hop) na rede, porém, um grande problema é que toda a análise gera um atraso no tráfego grande na rede.

Mas nas redes MPLS apenas dois procedimentos são suficientes para solução deste tipo de problema. O primeiro procedimento analisa todos os pacotes que estão entrando na rede MPLS e as classificam em FEC. O segundo encontra a interface associada a essa FEC e as envia para as LSRs, sendo que os pacotes integrantes das mesmas FEC farão o mesmo caminho [INÁCIO, 2008].

Em relação aos pacotes com endereços distintos, eles são atribuídos a um conjunto mínimo de FEC e a partir do momento em que o pacote entra na rede MPLS deverá ser realizada apenas uma vez. Nessa atribuição é usado um único rótulo para a identificação da FEC. Esse rótulo é um identificador que contém tamanho de 20 bits de cabeçalho para cada pacote que integra a FEC, esse rótulo se torna o indexador para o mapeamento do caminho que o pacote fará. Esse processo é chamado "Rosen" como Label Swapping e é utilizado em todas as redes em cada salto, e faz com que o LSR descarte o rótulo existente aplicando um novo rótulo que indica ao próximo "nó" como e para onde enviar esse pacote. Esses valores dos rótulos mudam de roteador para roteador [INÁCIO, 2008].

O rótulo assume várias funções, tais como, análise do cabeçalho no nível de enlace, determinação do próximo salto e aplicação das políticas de propriedades. No MPLS, o cabeçalho não é determinante para a verificação das classes de serviços, essa determinação é realizada pelas FEC dos pacotes, indicadas pelos rótulos, sendo que o rótulo indica as rotas e classes de serviços dos pacotes [RESENDE, 2001].

Cada pacote receberá um rótulo, e a partir desse momento esse pacote será relacionado a uma FEC e será comutado, e se caso haja incompatibilidade de tecnologias de enlace, essas podem não empregar identificadores de conexão, caso essa haja necessidade, é adicionado ao *Encapsulamento Genérico*, que, emprega uma estrutura chamada de "Shim Header" (é onde o cabeçalho do MPLS é posicionado) que é posicionada entre o cabeçalho de enlace (camada 2) e o datagrama IP (camada 3) do pacote, armazenando o rótulo correspondente ao datagrama, que possui quatro tipos de campos [RESENDE, 2001].

O rótulo do MPLS opera numa camada OSI intermediária às definições tradicionais do Camada 2 (Enlace) e Camada 3 (Rede), pelo que se tornou recorrente ser referido como um protocolo de "Camada 2,5", conforme mostra a figura abaixo:

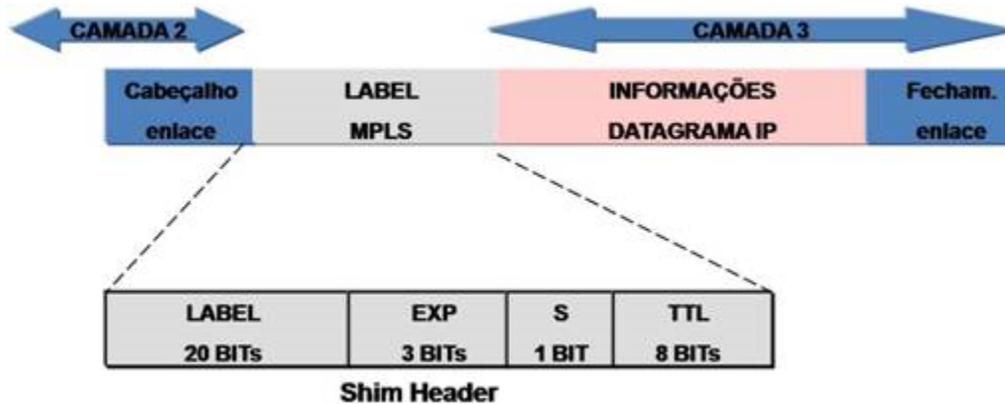


Figura 9 – CABEÇALHO MPLS (FONTE: UNICAMP, 2001).

No cabeçalho MPLS temos 32 bits com os seguintes campos:

Campo Rótulo, que contém 20 bits e carrega o valor do rótulo MPLS;

Campo COS (Class of Service), contém três bits e é responsável por descartes de pacotes, especificando também como o pacote deverá ser transmitido através da rede;

Campo Stack (S), contém um bit e é responsável pela hierarquia de empilhamento do rótulo;

Campo TTL (Time-To-Live), contém oito bits e é responsável por determinar/limitar a vida útil do pacote [RESENDE, 2001].

5.3.1 VALORES DO RÓTULO

Pode-se ter um total de 1.048.575 valores diferentes para o *“label”*, onde os valores de 0 a 15 são reservados pelo IETF. Os *“labels”* definidos são:

- Label Zero (*“IPv4 Explicit Null”*): o roteador que recebe este pacote e deve realizar a operação POP, em seguida realizando a procura pela rota IPv4 para encaminhar o pacote.
- Label Um (*“Router Alert”*): função análoga à do IPv4 [RFC2113], onde o roteador trânsito em questão deverá fazer inspeção no pacote com este valor no *“label”*.
- Label Dois (*“IPv6 Explicit Null”*): o roteador que recebe este pacote deve realizar a operação POP, em seguida realizando a procura pela rota IPv6 para encaminhar o pacote.
- Label Três (*“Implicit Null”*): este *“label”* é apenas sinalizado, e nunca deve aparecer em um cabeçalho MPLS. Serve para sinalizar túnel PHP (Penultimate Hop Popping), onde o penúltimo roteador deve realizar a operação POP.

Uma das atividades mais importantes na estrutura MPLS, é a distribuição dos rótulos, onde é necessário utilizar um protocolo (ex: RSVP) e o mesmo deve estar em comum acordo entre todos os roteadores utilizados na rede [SILVA NETO, 2006].

Os LSRs entram em acordo sobre o rótulo que será usado para a transmissão desses pacotes, que já estão relacionados a uma FEC. Sempre essa determinação do rótulo será realizada pelo LSR downstream no caminho do pacote, ou seja, quando esse pacote chega um LSR, ele faz a requisição de escolha de rótulo, verifica se esse LSR está em estado de *“upstream”* (envio pacotes) na transmissão, sendo que o

próximo LSR estará em estado de “downstream” (recepção pacotes) na transmissão e determinará o rótulo do pacote [SILVA NETO, 2006].

A utilização do protocolo de roteamento se encaixa nesse processo, pois é o protocolo de roteamento o responsável pela troca de mensagens entre os LSRs, além de gerar a tabela de rótulos, esse também insere alguns atributos dentro das FEC [SILVA NETO, 2006].

O MPLS permite que cada pacote carregue alguns rótulos, mas com a condição de que o último rótulo a ser colocado seja o primeiro a sair. Formando uma pilha de rótulos, cada pacote será traduzido em cada LSR pelo rótulo que esteja no topo da pilha [ENNE,2009].

Para que o envio dos pacotes seja feito, os LSR utilizam também uma tabela denominada NHLFE (Next Hope Label Fowarding Entry) que consiste nas seguintes informações:

- Próximo salto que será realizado;
- Ações realizadas na tabela de rótulos:
 - Descarte do rótulo utilizado da pilha;
 - Utilização de um novo rótulo após o descarte do rótulo que estava no topo;
 - O processo de substituição seguido de um impulso (push) em um (mais de um) novo(s) rótulo(s) na pilha;

Também existe na NHLFE no nível de enlace, a forma de codificar a pilha de rótulos e quaisquer outras informações que serão necessárias para distribuir os pacotes precisamente. [FERRAZ, 2002].

Ao indicar o próximo nó ao pacote, o NHLFE pode determinar que o próximo destino do pacote seja o mesmo LSR, essa operação é denominada POP (Penultimate Hop Popping) e retira-se o rótulo do topo da pilha e se caso esse pacote conter um novo rótulo, será interpretado como se esse pacote estivesse vindo de outro LSR, caso contrário o pacote conterà apenas o seu IP nativo, continuando assim o seu processo. [FERRAZ, 2002].

Há também os processos de ILM (Incoming Label Map) e FIN (FEC-to-NHLFE) que mapeiam os pacotes recebidos. O ILM é responsável por mapear os rótulos recebidos nas NHLFE e é utilizado somente nos pacotes que já estão rotulados [RESENDE, 2001].

O FIN é responsável por organizar as FEC de acordo as NHLFE, e encaminhar os pacotes que estão sem rótulos para que sejam adicionados e enviados com rótulos [PINHEIRO, 2006].

As NHFLE normalmente retém somente um elemento, podendo sim reter mais alguns e diferentemente do método de mapeamento, se escolhido somente uma entrada para sua transmissão, em que é utilizado o método de comutação de rótulo (Label Swapping) [PINHEIRO, 2006].

O Label Swapping inicialmente analisa o pacote sem a informação de que esse pacote contém ou não um rótulo, utilizando os processos de ILM e FIN, o LSR

determina onde será o próximo nó do pacote e executa uma operação no topo da pilha [WILLRICH, 2003].

5.4 CRIAÇÃO DE ROTAS

Para a criação das rotas durante a criação dos LSP das FEC, o MPLS trabalha com duas políticas:

- A primeira é a análise do cabeçalho dos pacotes por todos os roteadores que compõe a LSP. Essa política se parece com o processo de roteamento IP, conhecido por hop-by-hop, mas a diferença é que o MPLS analisa somente o rótulo do pacote.
- A segunda é a criação de uma LSP, que normalmente é realizada a partir do LER e determina exatamente por quais LSR esses pacotes passarão [ENNE, 2009].

Nesse segundo procedimento, é definido um LSP para cada tipo de tráfego, distribuindo as informações do roteamento para as LSR, assim, a única informação que será analisada no pacote é o rótulo [ENNE, 2009].

Com o QOS e a Engenharia de Tráfego, é possível criar rotas e refazer os roteamentos com base em vários outros fatores, como taxa de perdas de pacote e largura de banda [RESENDE, 2001].

No roteamento IP se criam rotas de acordos com os hops, sendo que o menor caminho será sempre o escolhido, não é possível encontrar a política de restrições,

mas pode-se inseri-las via classificação de fluxos, divisão de classes e rotulação [RESENDE, 2001].

Para a criação de rotas, o MPLS pode utilizar outros métodos para classificar os fluxos, tais como informações sobre o pacote IP, números de portas e bits TOS (Type of Services) e oferecer o QoS com reserva de banda com o uso do protocolo RSVP. [RESENDE, 2001].

6 APLICAÇÕES MPLS

Hoje os serviços oferecidos pelas operadoras e provedoras de Internet têm-se expandido muito rapidamente. Com isso dá-se a necessidade cada vez mais crítica de largura e otimização da banda passante no backbone da rede. Aplicações como voz, multimídia são mais requisitadas. Para isso, o MPLS se sobressai devido ao uso de engenharia de tráfego, túneis de VPN (Virtual Private Network), QoS entre outras [PINHEIRO, 2006].

6.1 ENGENHARIA DE TRÁFEGO

A engenharia de tráfego definida na RFC 3346, é como o processo de organização do tráfego que flui pela rede, para que não haja congestionamento causado por uma utilização desigual da rede. O maior objetivo da Engenharia de Tráfego é fazer com que as trocas de dados entre os equipamentos de rede sejam realizadas de uma forma mais eficiente e confiável, para que se possa ter uma otimização do seu desempenho.

Por meio dos equipamentos com um alto custo, e com a necessidade de grande eficácia pelas aplicações do mercado atual, a engenharia de tráfego hoje é considerada um dos fundamentos, junto com o QoS, mais necessários para as redes de grande porte. Porém deve-se entender que a engenharia de tráfego não necessariamente tomará o caminho mais curto entre os equipamentos, e também que dois fluxos de pacotes originados de um mesmo equipamento, possua como destino um mesmo

equipamento, sigam caminhos diferentes se, por exemplo, possuírem requisitos de QoS diferentes [CRUZ GIMENEZ, 2008].

O roteamento que usamos atualmente em outras redes foi desenvolvido para serem imune às falhas na rede. A contagem de nós é muito utilizada para prover sempre o melhor caminho pela rede. As operadoras controlam facilmente os padrões de tráfego e isso hoje em dia é fator muito importante. O MPLS possibilita o direcionamento de tráfego conforme a necessidade de balancear a rede. [RESENDE, 2001].

Há duas propostas do IETF para a engenharia de tráfego. Existe a engenharia de tráfego adaptativa com MATE (MPLS Adaptive Traffic Engineering) que estabelece múltiplos LSP entre origem e destino, realizando o roteamento explícito para determinação destes caminhos que, pode ser por LDP ou RSVP. O LSR pode distribuir o tráfego entre os LSP para balancear o tráfego da rede e equalizar a utilização dos recursos [RESENDE, 2001].

A segunda é a Arquitetura para Provedores de Serviços diferenciados para Engenharia de Tráfego (PASTE Provider Architecture for Differentiated Services and Traffic Engineering). A PASTE é baseado em MPLS, e o RSVP cria arquiteturas escaláveis de gerência e tráfego [CRUZ GIMENEZ, 2008].

Ao aplicar técnicas de TE, podem-se observar os seguintes grandes benefícios:

Minimização de pontos de congestionamento na rede, fácil re-roteamento dos fluxos em caso de falha e, conseqüentemente, a diminuição da perda de pacotes, atraso e "jitter" (Jitter é uma variação estatística do atraso na entrega de dados em uma

rede). Com este conjunto de benefícios torna-se fácil para os provedores de serviços e acessos a Internet (ISP) oferecerem QoS aos seus usuários [RESENDE, 2001].

Com o roteamento convencional baseado no IGP, não existe a possibilidade de realizar uma distribuição balanceada do tráfego, ou seja, alguns recursos podem ser sub-utilizados enquanto os outros podem sofrer grande carga de tráfego, trazendo assim uma lentidão no envio dos pacotes pela rede.

O IGP pode fornecer um indicador sobre engenharia de tráfego, porém esse indicador é limitado, e suas informações são complexas de administrar em ambientes com várias opções de encaminhamento entre dois pontos. Para extrair essas informações no IGP, deve-se manipular as métricas do IGP associadas com os enlaces de rede.

As métricas determinadas pelos protocolos de roteamento de estado de enlace e, a forma como são manipuladas no MPLS são diferentes de, por exemplo, as utilizadas em serviços integrados em uma Rede IP. Com o caminho calculado pelas métricas do IGP em questão, torna-se necessário a sinalização para implementá-lo.

6.1.1 DESEMPENHO DE TRÁFEGO E RECURSOS

O desempenho de tráfego e recursos consiste em minimizar perda de pacotes, atrasos, melhoramento de processamento e cumprimento do nível de serviço oferecido. O maior objetivo orientado a tráfego é a redução de perda de pacotes. Já aos recursos devem ser a otimização dos equipamentos de rede [ENNE,2009].

Para reduzir o congestionamento, é necessário atentar ao tráfego e aos recursos de rede. Os problemas de congestionamento podem ser prolongados ou apenas congestionamentos passageiros que resultam em rápidas rajadas [ENNE,2009].

Geralmente existem dois tipos de congestionamento: quando não existe recursos de rede suficiente ou quando não são adequados para suportar a carga, e quando o mapeamento dos recursos disponíveis não são otimizados para distribuição da carga da rede, fazendo com que alguns recursos sejam super utilizados [ENNE,2009].

Há possibilidade de expandir a capacidade ou aplicar técnicas para aperfeiçoar os recursos e controlar o congestionamento. Deve-se realizar o controle via técnicas clássicas para o aperfeiçoamento dos fluxos, são elas: gerenciamento de filas, controle de fluxo de janela, limitação de taxa, controle de escalonamento entre outros [RESENDE, 2001].

O segundo tipo de problemas de congestionamento é a alocação ineficiente de recursos e pode ser resolvido com a engenharia de tráfego. Geralmente o congestionamento é resultado de má alocação de recursos. A política de balanceamento de carga reduz substancialmente.

Com a redução do congestionamento a perda de pacotes diminui e assim aumenta a vazão agregada [RESENDE, 2001].

Para melhor desempenho de tráfego, foram desenvolvidas duas soluções: o CR-LDP e o RSVP-TE [CRUZ GIMENEZ, 2008].

6.1.2 CR-LDP

O CR-LDP especificado na RFC 3212 utiliza o mesmo esquema de codificação que o LDP, o TLV (Type-Length-Value) que se trata de mensagens passadas através da rede, que são divididas em três campos: o campo *Type* que define o tipo de mensagem, o campo *Length* que especifica o comprimento do campo, e o campo *Value*, que especifica o valor do campo. Para que se possa diferenciar a codificação dos pacotes, o campo “value” junto com o campo “length” determinará o campo type, a manipulação desses campos é necessário para implementar a engenharia de tráfego no MPLS [CRUZ GIMENEZ, 2008].

O CR-LDP suporta roteamento explícito “*strict*” (*rota fixa fim-a-fim*), ou seja, o caminho completo a ser seguido é fixo. Também suporta o roteamento explícito “*loose*” (*parte da rota fixa*), onde somente alguns roteadores são fixos em um caminho.

A figura abaixo mostra o processo que o CR-LDP realiza para reserva de recursos.

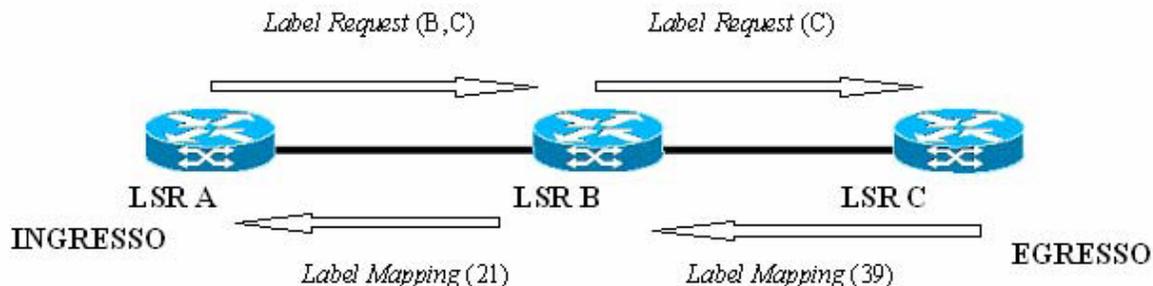


Figura 10 - FUNCIONAMENTO DO CR-LDP (FONTE: TELECO 2001).

Detalhando a figura 10, o LSR A (Ingresso), determina que é necessário a criação de um novo caminho (LSP) para que o pacote chegue ao LSR C. Os parâmetros de tráfego requeridos para o encaminhamento ou políticas administrativas para a rede, determinam ao LSR A que o novo LSP passará através do LSR B, sendo que o número de saltos até o destino não é fator determinante para a criação do LSP[ENNE, 2009].

Para isso, o LSR A cria uma mensagem de *label request* para a determinação de rota explícita e, com detalhes necessários para a nova rota. A seguir, o LSR A reservará os recursos requeridos para o novo LSP e encaminhará para o LSR B a mensagem de *“label request”*.

O LSR B recebe esta mensagem e percebe que ele não é o equipamento egresso para este LSP, então se possível, o LSR B reservará os recursos pedidos para o novo LSP, modificará a informação para o roteamento explícito na mensagem de *“label request”*, e o encaminhará para o LSR C.

O LSR C percebe que é o equipamento de egresso para este LSP e realiza as reservas de recurso necessárias. Este então, cria um rótulo para esse novo LSP e distribui esse rótulo para o LSR B através de uma mensagem de *“label mapping”*, que contém todos os detalhes sobre os parâmetros que precisam ser reservados para este LSP. O LSR B recebe esta mensagem, finaliza a reserva, atualiza as tabelas correspondentes, e repassa para o LSR A um novo rótulo através da mensagem de *“label mapping”*. [NOGUEIRA, 2008].

Por fim, no LSR A ocorre um processo semelhante para a criação do LSP, menos o processo de envio de mensagens para a criação dos rótulos porque este é o roteador ingresso para esta LSP.

6.1.3 RSVP-TE

O RSVP especificado na RFC 3209 foi desenvolvido para ser um mecanismo de sinalização com o objetivo de reservar recursos através de uma rede, permitindo a um host especificar uma determinada requisição de serviço para um fluxo na rede.

O RSVP-TE (Resource Reservation Protocol – Traffic Engineering) acrescenta novos objetos para permitir o estabelecimento de túneis LSP e administrar a alocação e distribuição de rótulos.

Na engenharia de tráfego, o RSVP proporciona uma excelente adequação para a distribuição de rótulos MPLS de forma otimizada [NOGUEIRA, 2008].

O processo de sinalização é bastante parecido com o do CR-LDP, conforme a figura abaixo:

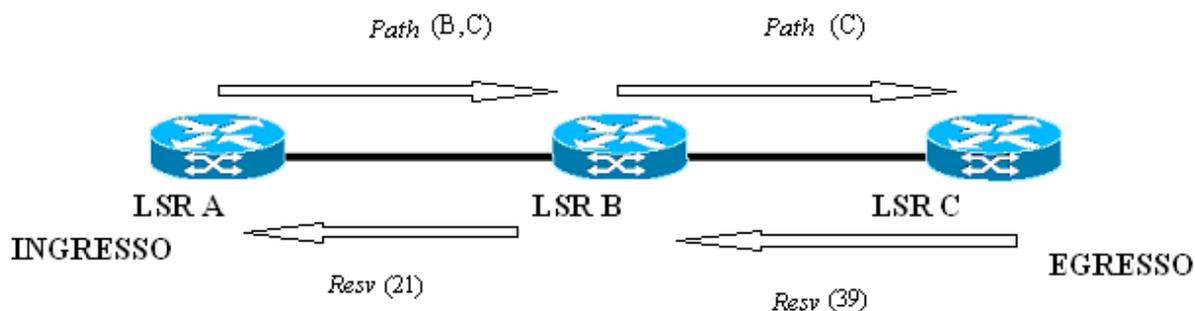


Figura 101- FUNCIONAMENTO DO RSVP-TE (FONTE: TELECO, 2001).

O LSR A cria uma mensagem *PATH*, com detalhes dos parâmetros de tráfego requerido para que seja criada uma rota explícita. Sendo assim, o LSR A reserva os recursos solicitados para essa nova LSP e encaminha todas as informações para o LSR B dentro da mensagem *PATH*.

O LSR B recebe esta mensagem e como não é o equipamento egresso, ele reserva recursos solicitados para o LSP, faz uma modificação sobre o roteamento explícito e repassa a mensagem *path* para o LSR C, que é identificado na rede como roteador egresso [CRUZ GIMENEZ, 2008].

Com isso, o LSR C cria um rótulo e repassa para o LSR B por meio da mensagem “*Resv*”, que contém detalhes sobre os parâmetros necessários para o LSP. O LSR B recebe a mensagem, finaliza a reserva e repassa as informações para o LSR A que reserva os recursos, finalizando assim o LSP.

6.1.4 COMPARAÇÃO ENTRE CR-LDP E RSVP-TE

Com basicamente o mesmo conteúdo nas mensagens, transportando as mesmas informações para o estabelecimento das rotas, o CR-LDP e o RSVP-TE possuem algumas semelhanças em relação às mensagens que são enviadas.

A principal diferença no funcionamento dos protocolos se deve ao RSVP-TE por ser “*soft-state*” e o CR-LDP ser “*hard-state*” . Por ser “*soft-state*”, o RSVP-TE proporciona um “*overhead*” que necessita mensagens de “*refresh*” sejam enviadas periodicamente entre cada nó da rede para a manutenção do LSP [CRUZ GIMENEZ, 2008].

Para que isso fosse solucionado, foi introduzido um mecanismo de reconhecimento de mensagem (*acknowledge*), tornando o protocolo de troca de mensagem confiável, e com isso foi reduzido o tempo de “*refresh*” dos estados e consequentemente também foi reduzido “*overhead*”. [ENNE, 2009].

Outra diferença é o mecanismo de rápida notificação de falhas presente no RSVP-TE implementado pela mensagem “*notification*”. Apesar do protocolo CR-LDP também possuir uma mensagem de “*notification*”, essa tem função diferentes No CR-LDP quando uma falha nas rotas é detectada, é enviada mensagens de “*release/withdraw*” a partir do ponto de falha. Quando isso acontece, os recursos que foram alocados devem imediatamente ser liberados[CRUZ GIMENEZ, 2008].

No RSVP-TE a mensagem “*notification*” informa sobre as falhas detectadas nas rotas e é enviada diretamente do ponto de detecção ao ponto de reparação (Um LSR será responsável por realizar a restauração do caminho) [ENNE, 2009].

6.2 QOS

QoS (Quality of Service) refere-se a capacidade da rede em priorizar o tipo de tráfego, diferenciando um tráfego com menos importância, e trazendo também a garantia de entrega do pacote.

Para que o QoS possa ser implementado em uma rede, todos os pacotes devem percorrer o mesmo caminho e também é necessário que a rede tenha meios de garantir a reserva de recursos ao longo do caminho [NOGUEIRA, 2008].

No MPLS a questão do QoS é tratada com a criação de caminhos explícitos pela rede, pois no MPLS é possível criar rotas para os fluxos de dados que são classificados

de acordo com a disponibilidade de recursos e qualidade de serviços solicitada [NOGUEIRA, 2008].

Um bom exemplo em que o QoS é utilizado é o tráfego VoIP. Esse tipo de tráfego necessita que seu tempo de entrega seja cumprido à risca, pois qualquer atraso pode danificar uma ligação. Por esse motivo é necessário aplicar o QoS para priorizar esse tipo de tráfego, de maneira que seja entregue dentro dos limites de tempo. Para conseguir isto, é necessário agrupar o tráfego VoIP em uma fila com prioridade maior que aquela dos tráfegos mais comuns como o HTTP. Com isso, é garantido que, em caso de congestionamento, os pacotes HTTP serão descartados antes dos pacotes VoIP.

No MPLS, essa marcação é feita no Campo “*Experimental Field*” do rótulo. O campo “*Experimental Field*” normalmente é herdado do campo ToS (Type of Service) do cabeçalho IP. Isso ocorre porque os datagramas IP são rotulados no LER da rede MPLS, e após entrar na rede MPLS os dispositivos da rede não irão ler o cabeçalho IP e sim o rótulo do pacote [NOGUEIRA, 2008].

No “*Experimental Field*” há três bits que são marcados e que podem compor até oito classes de serviço, das quais duas são reservadas (classe 6 e 7). Uma é a classe “*default*” (classe 0), e as cinco restantes (1 à 5) podem ser usadas conforme a política de QoS definida [ENNE, 2009].

Label	Experimental Field				TTL
20 Bits	EXP	EXP	EXP	S	8 Bits

Figura 112 – Ilustração da posição do campo Experimental Field (FONTE: ENNE, 2009)

As políticas de QoS são divididas em classes, que são utilizadas para caracterizar os tipos de tráfegos. Com essa divisão, o trabalho de identificação dos tráfegos foi facilitado, criando assim uma forma mais concreta de se ter um QoS que supra todas as necessidades.

Abaixo temos uma tabela com a definição das políticas que são utilizadas hoje [ENNE, 2009].

Classes	Definição
Voz	Tráfego de Voz
Vídeo	Tráfego de Vídeo Conferência
Missão Crítica	Tráfego de Aplicações de caráter crítico.
Interativa	Dados prioritários e que necessitam de latência controlada - aplicações transacionais (Ex: Base de Dados) e aplicações interativas como Telnet, Citrix e Messenger
BulkData	Dados prioritários com características de rajada como E-mail, transferência de arquivos grandes (FTP), sincronização de base de dados e backups.
Network Control	Tráfego de controle e roteamento como SNMP, TACACS.
Best Effort/Class Default	Tráfego que não se encaixa em nenhuma outra classe.

Tabela 1 – CLASSES DE QoS (FONTE: ENNE, 2009)

Após essa divisão, os dados são marcados e encaminhados com a devida prioridade de tráfego. Essa prioridade é definida pelas próprias empresas, pois cada empresa tem a sua necessidade no tratamento de seus dados.

6.3 VPN

VPN(Virtual Private Network) é uma rede privada virtual, que pode trafegar informações de forma segura. A infra estrutura pode contemplar a camada 2 ou 3 do modelo OSI da ISO. Em uma VPN de camada 2 usa-se equipamentos para estabelecer conexão ponto-a-ponto, sendo a troca de informações de roteamento efetuada entre os roteadores do cliente, pois o provedor somente fornece conexão a nível de camada 2. Em uma VPN de camada 3 utiliza-se técnicas de tunelamento onde os pacotes são transmitidos em um túnel privado que simula uma conexão ponto-a-ponto pela rede MPLS pública, sendo que neste caso a troca de informações de roteamento é efetuada entre os roteadores do cliente e os roteadores da operadora. [ORBORNE, 2002]

6.3.1 FUNCIONAMENTO DA VPN MPLS

A figura abaixo ilustra o funcionamento de um rede VPN em uma rede MPLS e seus principais componentes físicos de uma rede VPN:

- Os roteadores dos clientes (VPN1 e VPN2), conhecidos como CE (Client Edge), estes roteadores ficam localizados nas instalações (site) dos clientes.
- Os Roteadores de Borda (RB1 e RB2), conhecidos como PE (Provider Edge).
- Os Roteadores de “Core” (RC1, RC2 e RC3), conhecidos como P (Provider).

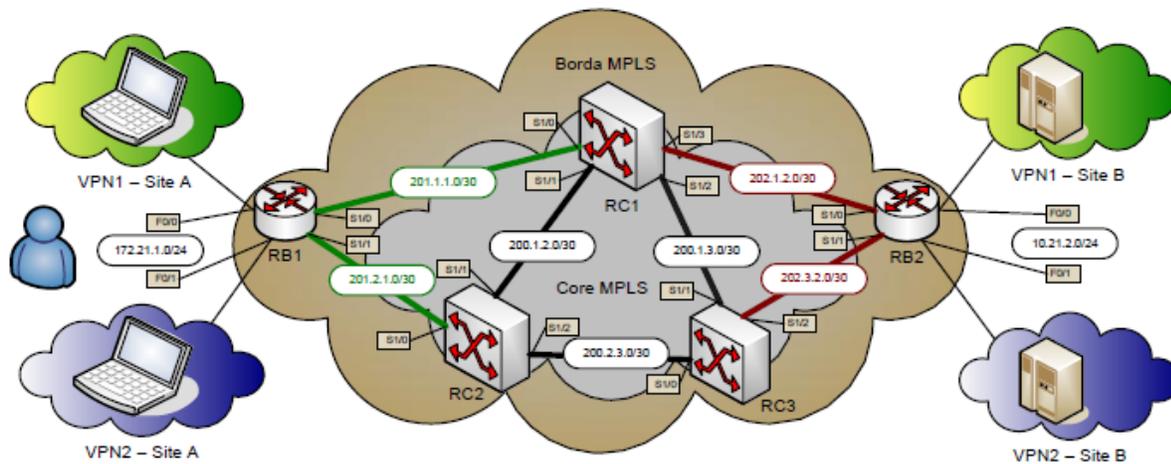


Figura 12 – REDE VPN ENTRE OPERADOR E CLIENTES (FONTE: TELECO, 2001).

O roteador localizado nas instalações do cliente (CE) proporciona acesso a rede da operadora, esta por sua vez possui os roteadores de borda (PE) e “core” (P) nas suas instalações. O cliente divulga suas rotas para borda da rede da operadora que recebe estas informações e as divulga para todos os outros que fazem parte da VPN específica do cliente, por meio de MP-BGP (Multi protocolo – BGP). O roteador do cliente não implementa MPLS, apenas representa um ponto o qual os dados entram e saem da rede, sendo a rede MPLS é totalmente transparente para o cliente.

O MP-BGP é uma extensão que define vários espaços de endereço atrelado ao tipo de protocolo de rede, como por exemplo, IPV6, VPN IPv4, entre outros. [ORBORNE, 2002]

6.3.2 VRF

Uma VRF (Virtual Routing and Forwarding) é semelhante a um roteador virtual. Dentro do roteador de borda podemos ter vários roteadores virtuais e cada roteador virtual dispõe de recursos totalmente separados, semelhante a um roteador real, tais como:

- **Tabela de Roteamento IP:** uma tabela de roteamento para cada VRF;
- **Interfaces Associadas:** Interfaces associada exclusivamente à VRF;
- **Protocolo de roteamento:** que controla como as informações são inseridas e excluídas da tabela de roteamento da VRF.

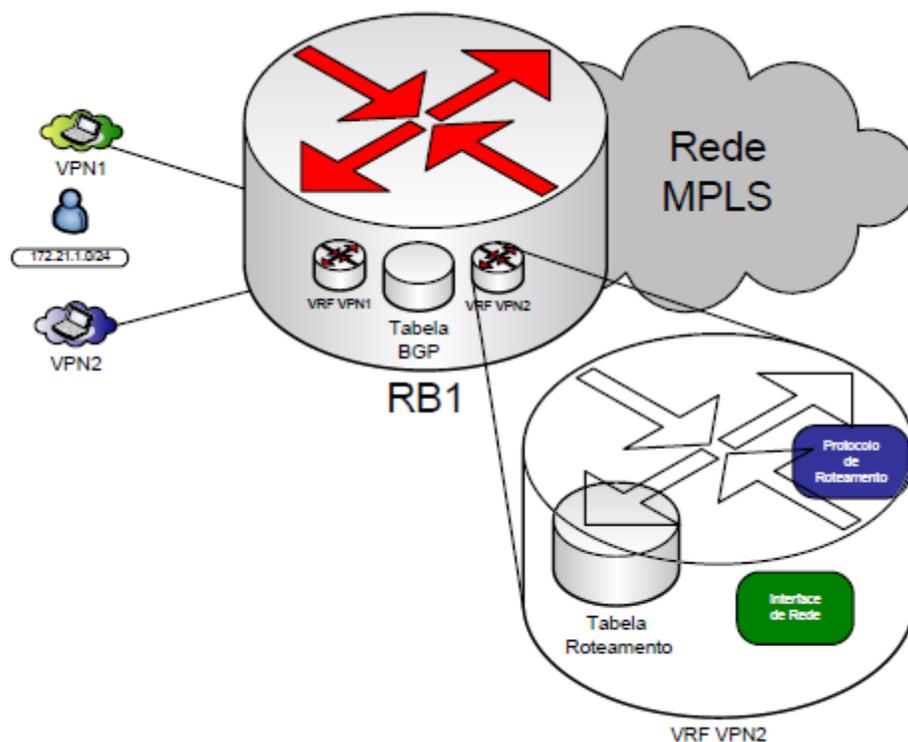


Figura 13 – VRF (FONTE: TELECO, 2001).

Cada VRF define um CE ligado ao PE, somente é possível uma VRF para cada site, mas um site pode estar associado uma ou mais VPN. Cada VRF contém todas as rotas aprendidas das respectivas VPN a qual faz parte, além de possuir um conjunto de Tabela de Roteamento separadas, uma para cada VRF. Isto impede que rotas oriundas de outras VPN sejam importadas, exceto em configurações específicas. [ORBORNE, 2002]

6.3.3 DIVULGAÇÃO DE ROTAS VPN IPV4

Todas as rotas são exportadas e importadas de cada VRF pelo protocolo BGP, o qual é responsável por divulgar as rotas pela rede MPLS. As rotas são trocadas entre os roteadores de borda por meio do MP-BGP. As principais informações de roteamento enviadas com o anúncio rota são:

- RD (Route Distinguisher) que é um nome associado a VRF, ou seja, é um identificador de VRF.
- Endereço VPN IPv4 que é composto de 12bytes = 8byte do RD + 4bytes da rota.
- “Label” que identifica a qual VPN o pacote MPLS de dados pertence quando este for desempilhado.
- Atributo Next-Hop como sendo o próprio PE, pois assim informa para onde se devem direcionar os pacotes contendo o tráfego do cliente pelos túneis MPLS.

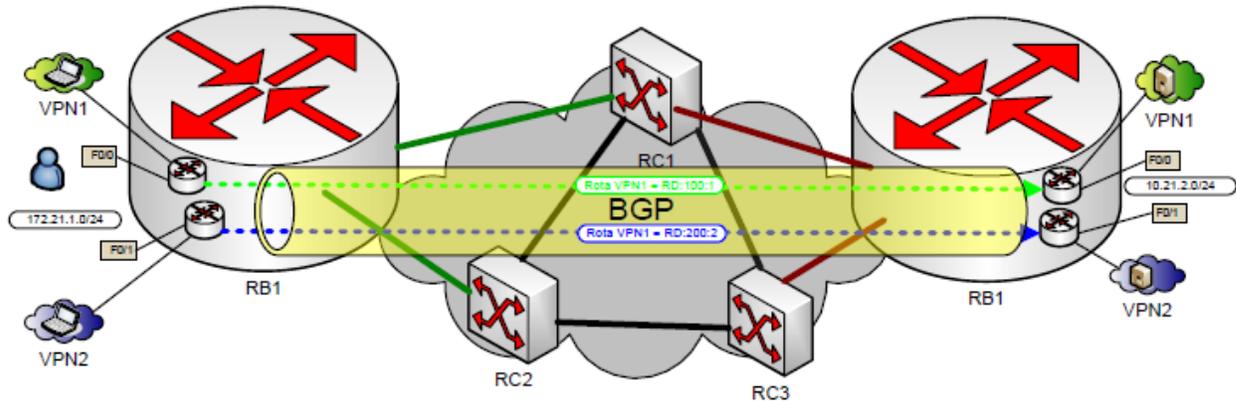


Figura 14 - DIVULGAÇÃO DAS ROTAS VPN IPV4 (FONTE: TELECO, 2001).

Divulgação das rotas VPN IPv4. O BGP, por meio do RD, exporta uma determinada rota somente para sua VRF correspondente, em um determinado roteador de borda. Assim é possível que sites compartilhem espaço de endereços sobreposto (overlay), ou seja, um cliente pode usar o mesmo endereçamento IP privado de outro cliente, pois apesar de estarem conectados ao mesmo roteador de borda, possuem VRF distintas. Na figura 14 ambos os sites de clientes distintos usam do lado esquerdo a rede 172.21.1.0 e do outro lado utilizam a rede 10.21.1.0, porém eles não interferem entre si. [ORBORNE, 2002]

6.3.4 TRANSPORTE DE TRÁFEGO DO CLIENTE

O “core” da rede usa o empilhamento de rótulos para transportar o tráfego entre as bordas e não se envolvem com o roteamento das VPN, pois como explicado acima, o plano de controle é implementado pelo protocolo MPLS-BGP, o qual apenas divulga

informação de roteamento e, não transporta o tráfego do cliente. Entretanto, todo tráfego do cliente deve ser conduzido utilizando o protocolo MPLS. [ORBORNE, 2002]

Quando o tráfego do cliente, oriundo da outra extremidade, chega na borda, ele é identificado a qual VPN pertence através do rótulo identificador de VPN que cada pacote transporta. Assim o roteador pode entregar o tráfego à sua VPN correspondente. [ORBORNE, 2002]

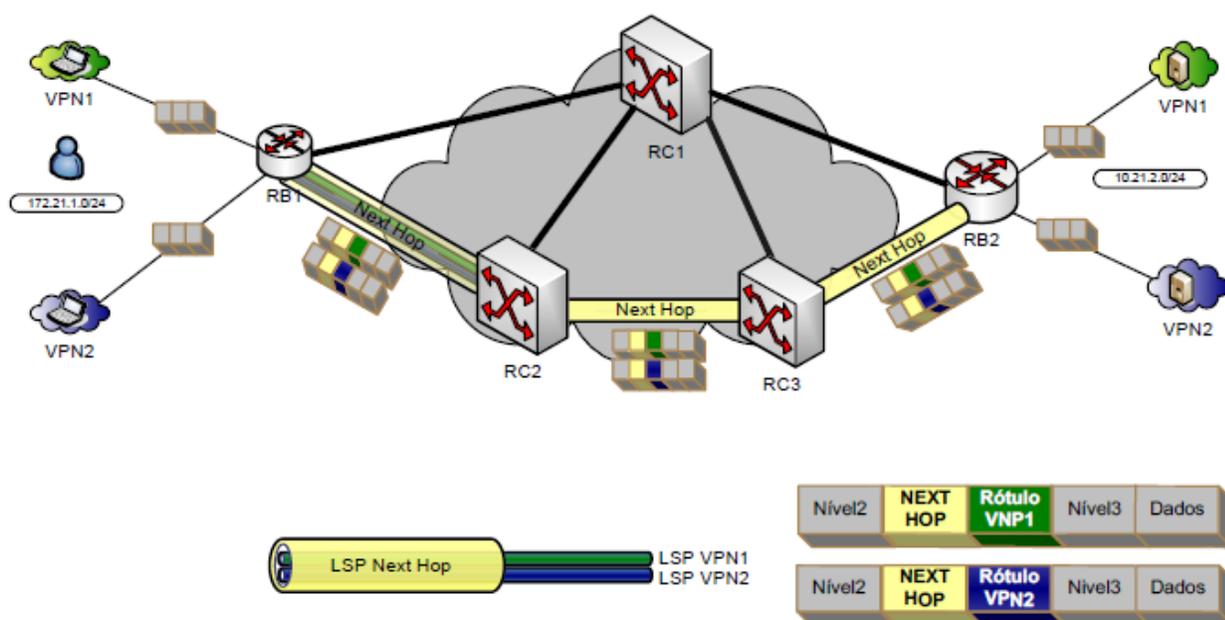


Figura 15 – TRANSFERÊNCIA DOS DADOS DAS VPN (FONTE: TELECO, 2001).

Conforme figura 15, os pacotes originados na rede 10.21.2.0 com destinos a rede 172.21.1.0, entram em RB2, que por vez inserir em cada pacote o rótulo correspondente à sua VPN, para posteriormente adicionar o rótulo correspondente ao túnel que levará os pacotes até o seu destino. Ao chegar no RB1 os pacotes são

desempilhados, isto é, retirado o rótulo amarelo, após isso cada pacote é entregue a sua VPN correspondente conforme o rótulo remanescente, que pode ser azul ou verde. Entretanto antes do pacote rotulado ser entregue aos dispositivos dos clientes, os rótulos remanescentes são retirados e os pacotes entregue na rede do cliente sem eles. [ORBORNE, 2002]

6.4 VANTAGENS DO MPLS

O encaminhamento de pacotes MPLS pode ser feito por comutadores na função de LSR. Os comutadores tem possibilidade de pesquisa e troca de rótulos porém não são usualmente configurados para analisar o cabeçalho da camada de rede.

Os comutadores são mais baratos e operam em velocidades muito superiores aos roteadores que analisam todo pacote que é trafegado, tornando assim o backbone mais veloz e com baixo custo [RESENDE, 2001].

O MPLS faz a análise dos pacotes apenas uma vez, ou seja, quando o pacote entra na rede MPLS, essa tarefa fica a cargo dos roteadores de borda da rede.

É possível a criação de classes de serviço para diferenciar os pacotes, realizando a engenharia de tráfego para otimizar o caminho e não sobrecarregar rotas já congestionadas. Pode-se escolher caminhos mais rápidos, porém com um custo mais elevado para pacotes de maior prioridade [RESENDE, 2001].

Podemos rotular os pacotes que entram por roteadores de forma diferente para criação de Redes Privadas Virtuais.

Como a grande parte do processamento para rotular o pacote fica nas bordas da rede, o backbone opera de forma mais rápida e com grande aproveitamento dos recursos. Isto é uma grande vantagem, pois a taxa de pacotes por segundo no núcleo da rede é bem maior para a taxa de pacotes das bordas [SILVA NETO, 2006].

7 ANALISE COMPARATIVA DAS TECNOLOGIAS

Comparando o MPLS às tecnologias legadas, encontramos alguns benefícios do MPLS, tais como:

- Segurança das informações trafegadas na rede através do confinamento do tráfego e da utilização de uma infraestrutura dedicada;
- Provê um gerenciamento da rede, garantindo privacidade e integridade dos dados;
- Escalabilidade e crescimento linear da banda oferecida;
- Priorização de tráfego, assegurando transmissão de dados de modo mais eficiente;
- Garantia de nível de Serviço;
- Convergência de dados, voz e imagem;

O MPLS proporciona uma melhora significativa do processo de encaminhamento de pacote devido a sua simplicidade, evitando a necessidade de realizar análise do cabeçalho IP ao longo do caminho, e criando um ambiente de suporte controlado de QoS [ENNE, 2009].

O MPLS permite a integração do IP com ATM e diversas outras tecnologias de camada dois e camada três; suporta a convergência de serviços (voz, dados e vídeo); oferece novas oportunidades à Engenharia de Tráfego e suporte a VPN [ENNE, 2009].

Adicionando rótulos de tamanho fixo e reduzido, da mesma forma que o CEP ajuda na classificação das cartas, o processamento dos pacotes é melhorado, e o QoS pode ser facilmente aplicado [FORONDA, 2009].

O Frame Relay e ATM são tecnologias sólidas e seguras, mas ao longo do tempo serão descontinuadas, pois, tanto o MPLS quanto as demais tecnologias, surgem para viabilizar todos os recursos tecnológicos das redes e serviços e que, cada um, tem e sempre terá sua aplicabilidade, ou seja, haverá redes que necessariamente deverão ser implementadas utilizando o MPLS, e outras, serão implementadas usando o Frame Relay e/ou ATM. Há também uma mistura de tecnologias, MPLS sobre ATM, MPLS sobre Frame Relay e outros [FORONDA, 2009].

O MPLS aparece para as operadoras como uma solução viável para toda a rede IP, pois os recursos de gerenciamento podem ser menores do que os recursos para gerenciamento IP [INACIO, 2008].

Para que o usuário Frame Relay/ATM mude para o MPLS, deve-se avaliar o seguinte:

- as aplicações que trafegam na rede, dado a necessidade de qualidade de serviço para voz, dados e imagem;
- número de sites que compõem a rede, avaliando o custo de gerenciamento desta rede;
- a necessidade de tráfego “*site-to-site*”, observando a transparência oferecida pelo MPLS [INACIO, 2008].

8 CONCLUSÕES

O MPLS é um protocolo de roteamento, derivado de várias tecnologias similares, e é baseado em pacotes rotulados, onde cada rótulo representa um índice na tabela de roteamento do próximo roteador. O objetivo de uma rede MPLS não é o de se conectar diretamente a sistemas finais. Ao invés disto ela é uma rede de trânsito, transportando pacotes entre pontos de entrada e saída.

Com base nesse trabalho, a tecnologia MPLS está se tornando cada vez mais aceita no mercado, suas facilidades em relação as tecnologias anteriores traz benefícios importantes para que as empresas adotem esse tipo de tecnologia.

Com o MPLS, as empresas podem manter a infraestrutura existente, pois o MPLS tem um maior rendimento dentro da rede, conseguindo extrair toda a capacidade de todos os equipamentos da rede.

Com a grande fatia do mercado, o Frame-Relay está perdendo substancialmente seu domínio, pois com o crescimento das aplicações utilizadas pelas empresas, o Frame-Relay não consegue oferecer a otimização e classificação de pacotes para atender as necessidades de negócio, e caso não apareça nenhuma outra tecnologia inovadora, as empresas atualmente que utilizam o Frame-Relay possivelmente passarão a utilizar a rede MPLS.

As redes ATM se mantêm vivas nas infraestruturas das operadoras, mas gradativamente serão migradas para MPLS também.

O objetivo deste trabalho foi demonstrar sobre tudo o que o MPLS pode trazer de benefícios, e que sua implementação pode trazer de bom para as empresas e para

seus usuários. Foi demonstrado também, o quão eficiente e útil é o MPLS, visando o crescimento de mercado através de um caminho promissor.

REFERÊNCIAS

BRAGA E SILVA, Pedro Herinque. **Arquitetura para provisão de QoS em uma rede MPLS**. Dissertação (Pós-Graduação)- Curso de Pós-graduação em Redes e Segurança de Sistemas, Paraná, Curitiba, 2010.

CRUZ GIMENEZ, Edson Josias. **Engenharia de Tráfego nas Redes MPLS**. Artigo, World Congress on Computer Science, Engineering and Technology Education, 2008.

DE ASSIS, Martin Seefelder; **MPLS**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

DE ASSIS, Alexandre Urtado; FERRAZ, Tatiana Lopes; ALBUQUERQUE, Márcio Portes; ALVES JR., Nilton. **Protocolo MPLS**. Rio de Janeiro, 2002

ENNE, Antonio José Figueiredo. **TCP/IP sobre MPLS**. São Paulo, 2009.

FARIAS, Márcio Martins. **Arquitetura para provisão de QoS em uma rede MPLS**. Dissertação (Pós-Graduação)- Pós Graduação em Engenharia Elétrica e Informática, Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

FORONDA, Augusto. **Avaliação de desempenho de protocolos de roteamento em redes**. Dissertação (Pós-Graduação)- Pós Graduação em Ciência da Computação, Paraná, Curitiba, 2009.

GREENE, Tim. **Frame relay vs. ATM**. Estudo comparativo entre os as tecnologias Frame-Relay e ATM. Network World, 2007.

INÁCIO, Fabrício Couto. **MPLS - Multiprotocol Label Switching**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação), Curso de Teleinformática e Automação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

NOGUEIRA, Roger Fonseca. **Aplicação de QoS sobre MPLS em equipamentos Cisco**. Dissertação (Pós-Graduação)- Pós Graduação em Curso de Especialização em Tecnologias, Gerência e Segurança de Redes de Computadores, Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

OSBORNE , Eric e SIMHA Ajay, Engenharia de Tráfego com MPLS – Rio de Janeiro: Campus, 2002

PINHEIRO, José Mauricio Santos; **O MPLS em Redes de Computadores**. São Paulo, 2006.

RESENDE, Raulison A.; **Roteamento de tráfego adaptativo baseado em caminho mínimo em redes MPLS**. Dissertação - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

RIBEIRO, Rodrigo de Souza. **Aplicações, Estudo e a Realidade da Tecnologia Frame-Relay**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação), Curso de Ciência da Computação, Centro Universitário do Triângulo, Uberlândia, 2000.

SALES, Danilo Ferraz. **SNA & Frame-Relay**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação), Curso de Teleprocessamento e Redes, Universidade Católica do Salvador, Salvador, 2000.

SILVA NETO, Edson Moreira; **Especificação de uma rede MPLS fim-a-fim com diferenciação de serviços**. Dissertação - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

VENTURA, Alexandre Leite; FERNANDES, Daniel Mantovani; VAZ, Gustavo; SOARES JR., Milton Aparecido; RODRIGUES, Naiana Cristina. **Conceitos Fundamentais de Redes ATM**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação), Curso de Estatística Matemática Aplicada e Computação, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo, 2003.

WILLRICH, Roberto; **Tecnologia MPLS: Avaliação de Desempenho, Qualidade de Serviço e Engenharia de Tráfego**. Estudo Experimental – Curso de Engenharia de Redes, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.