

PROTOCOLO MPLS

Alexandre Urtado de Assis
aua@cbpf.br

Tatiana Lopes Ferraz
ferraz@cbpf.br

Marcelo Portes Albuquerque
marcelo@cbpf.br

Márcio Portes Albuquerque
mpa@cbpf.br

Nilton Alves Jr.
naj@cbpf.br

RESUMO

Esta nota técnica tem como objetivo descrever o protocolo MPLS, que consiste numa tecnologia de chaveamento de rótulos e se apresenta como uma solução para diminuir o processamento nos equipamentos de rede e interligar com maior eficiência redes de tecnologias distintas (ATM, Frame-Relay, Ethernet). Este protocolo disponibiliza os serviços de QoS, Traffic Engineering e VPN para uma rede baseada em IP e ainda é facilmente escalonável.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	3
2. HISTÓRICO	3
3. MOTIVAÇÕES	4
4. COMPONENTES DE UMA REDE MPLS.....	5
4.1. LABEL	5
4.2. LABEL SWITCH PATH - LSP	6
4.3. LABEL DISTRIBUTION - LDP	7
4.4. FORWARDING EQUIVALENCY CLASS - FEC	7
4.5. LABEL INFORMATION BASE - LIB	8
4.6. LABEL SWITCH ROUTER - LSR.....	9
5. FUNCIONAMENTO BÁSICO	9
6. ALGUMAS APLICAÇÕES DO MPLS.....	11
6.1. VIRTUAL PRIVATE NETWORKS - VPN'S	11
6.2. QoS.....	13
6.3. TRAFFIC ENGINEERING - TE.....	13
7. CONCLUSÃO	14
8. BIBLIOGRAFIA	14

1. Introdução

MPLS-*Multiprotocol Label Switching* é um *framework* definido pelo IETF-*Internet Engineering Task Force* que proporciona o encaminhamento e a comutação eficientes de fluxos de tráfegos através da rede. A informação em uma rede MPLS é processada e dividida em classes de serviço, e os dados são encaminhados através de rotas estabelecidas anteriormente por essas classes, sendo feito apenas comutação.

O MPLS é uma tecnologia utilizada em *backbones*, e tem o objetivo de solucionar problemas atuais de redes de computadores como velocidade, escalabilidade, gerenciamento de qualidade de serviço-QoS e a necessidade de engenharia de tráfego-TE.

A aplicação mais interessante do MPLS consiste na sua utilização em conjunto com o IP. Desta forma temos o melhor de dois mundos, pois torna possível a interoperabilidade entre o roteamento de pacotes e a comutação de circuitos.

2. Histórico

Quando o ATM foi lançado, esperava-se que ele dominasse o cenário mundial devido às suas altas velocidades. Porém a tecnologia ATM não era compatível com o IP, o protocolo de rede mais difundido no mundo. Com isso foi criada a tecnologia LBS - *Label Based Switching* que possibilitou a utilização do que há de melhor das redes baseadas em pacotes (como as redes IP) e das redes orientadas a conexão (como redes ATM).

LBS usa etiquetas pequenas e de tamanho fixo, que são adicionados aos pacotes quando entram numa rede LBS. Os pacotes etiquetados podem ser agrupados em categorias, e os pacotes de uma mesma categoria vão seguir um mesmo caminho virtual, através da infraestrutura LBS.

Muitas implementações comerciais proprietárias de LSB foram criadas. O *IP Switching* da Nokia; o *CSR - Cell Switching Routers* da Toshiba; o *TAG Switching* da Cisco; o *ARIS* da IBM; o *IP Navigator* da Ascend; o *Fast IP* da 3Com. Cada fabricante tinha implementações próprias de LBS, dificultando a interoperabilidade entre eles. Para obter uma solução aberta, interoperável e independente de protocolos foi padronizado o protocolo MPLS pelo IETF.

3. Motivações

Com o crescimento e popularização da internet, tornou-se necessário agilizar o processo de roteamento, para poder suportar o tráfego. Além disso com a evolução da tecnologia, aplicações como vídeo, voz e outras aplicações em tempo real estão sendo exigidas.

No roteamento IP, cada roteador no caminho, analisa o cabeçalho do pacote IP e encaminha-o de acordo com sua tabela de roteamento, com isto o tempo de processamento é elevado. Um método de minimizar este tempo de processamento é a utilização do protocolo MPLS. Numa rede MPLS somente os roteadores de borda, analisam o pacote, criando um caminho para este e o atribui um *label*. Assim, os demais roteadores irão somente substituir, ou seja, fazer um chaveamento, de *labels* até que o pacote chegue ao seu destino. Desta forma a parte pesada do processamento dos pacotes é feita nas bordas da rede, diminuindo o processamento no núcleo. Como a taxa de pacotes no núcleo da rede é maior que a taxa de pacotes nas bordas, agilizamos o processo.

Em relação a aplicações que exigem tempo real, a rede MPLS oferece a implementação de QoS que não pode ser implementada em rede IP. Com a implementação do QoS podemos diferenciar diversos tipos de tráfegos e tratá-los de forma distinta, dando prioridades às aplicações mais sensíveis.

Outro fator importante numa rede MPLS é a facilidade da implementação de engenharia de tráfego, onde temos a opção de distribuir a carga de um enlace saturado, podendo por exemplo escolher caminhos mais rápidos, porém com custo mais elevado, para pacotes de maior prioridade. Desta forma melhorando o desempenho da rede.

Um dos campos onde a arquitetura MPLS mostra-se extremamente promissora é no suporte a implementação de *Virtual Private Networks*-VPN's de grande abrangência, onde conseguimos trafegar dados com segurança em uma rede aberta, como a internet, sem que os dados sejam descobertos por pessoas não autorizadas.

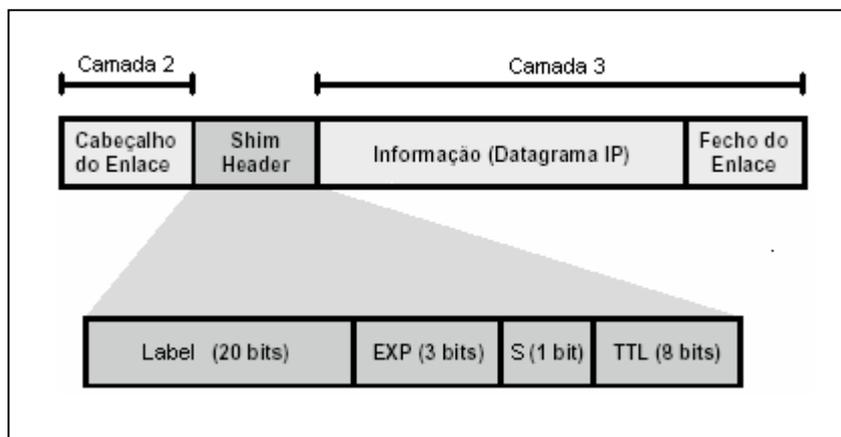
Resumidamente uma rede MPLS além de acelerar o processo de encaminhamento dos dados, fornece diversas aplicações tais como suporte à QoS, Engenharia de Tráfego e VPNs. Além disso é facilmente escalonável e possui interoperabilidade, ou seja, suporta redes com tecnologias distintas (Ethernet, ATM, Frame Relay, entre outras), pois é capaz de calcular caminhos tanto para pacotes como para células.

4. Componentes de uma rede MPLS

Neste tópicos serão abordados os principais componentes de uma rede MPLS, para em seguida entender como é realizado o encaminhamento dos pacotes, ou seja, o funcionamento desta rede.

4.1. Label

O *label* é um identificador curto, de tamanho fixo e significado local. Todo pacote ao entrar numa rede MPLS recebe um *label*, este pode ser pensado como uma forma abreviada para o cabeçalho do pacote. Desta forma os roteadores só analisam os *labels* para poder encaminhar o pacote. O cabeçalho MPLS deve ser posicionado depois de qualquer cabeçalho da camada 2 e antes do cabeçalho da camada 3, ele é conhecido como *Shim Header* e está apresentado na figura a seguir.



Cabeçalho MPLS – *Shim Header*

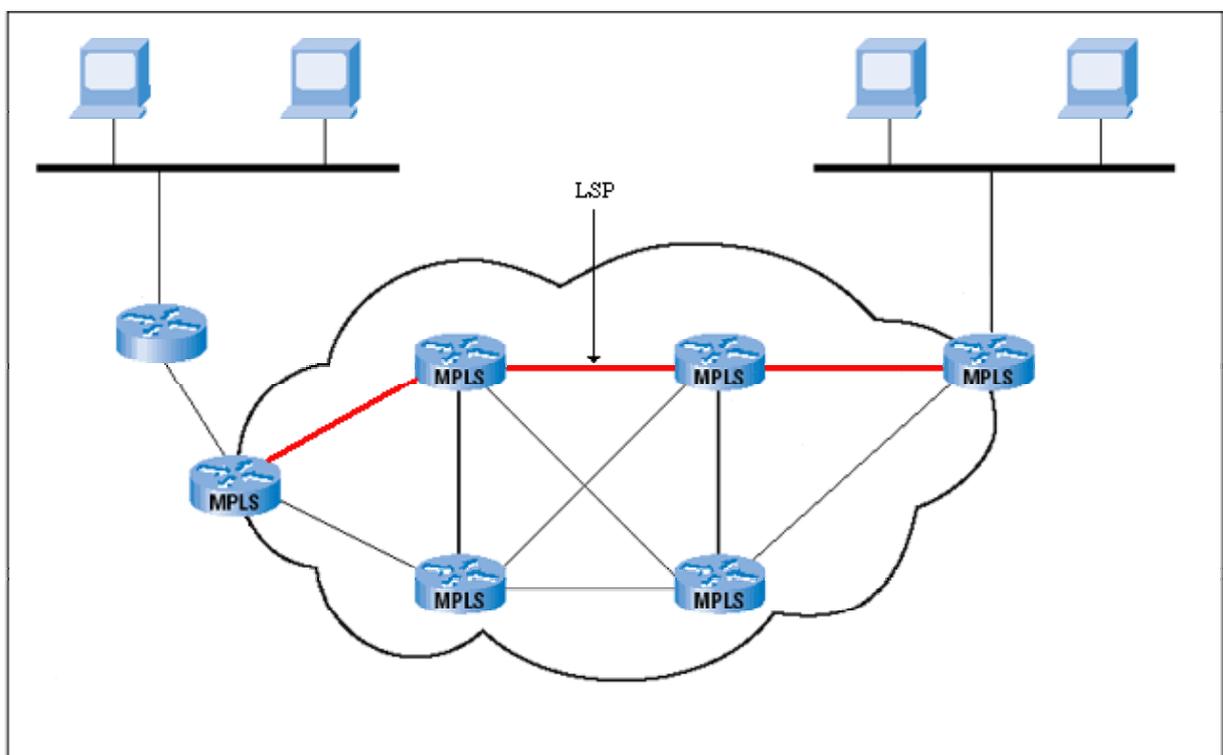
Onde:

- ♦ O campo *Label* contém o valor atual deste.
- ♦ O campo EXP define a classe de serviço a que um pacote pertence, ou seja, indica a prioridade do pacote.
- ♦ O campo S (*stack*) suporta o enfileiramento de *labels*. Caso o pacote receba mais de um *label*.
- ♦ O campo TTL (*Time to Live*) tem o mesmo papel que no IP, contar por quantos roteadores o pacote passou, num total de 255. No caso do pacote viajar por mais de 255 roteadores, ele é descartado para evitar possíveis *loops*.

4.2. Label Switch Path - LSP

LSP consiste em um caminho por onde os pacotes numa rede MPLS irão passar. Quando o pacote entra numa rede MPLS, este é associado uma classe de equivalência (FEC) e então é criada uma LSP para esta FEC. Como a criação da LSP ocorre somente na entrada de uma rede MPLS, os demais roteadores, ou seja, os LSR-*Label Switch Router* (visto mais detalhadamente no item 4.6) do núcleo irão somente chavear os *labels* encaminhando o pacote de acordo com a LSP pré determinada, não precisando mais fazer um roteamento dos pacotes. Os *labels* são distribuídos no momento do estabelecimento das LSPs.

Uma LSP é unidirecional, portanto é preciso ter duas LSPs para uma comunicação entre duas entidades.



Esquema de uma rede MPLS exemplificando uma LSP.

No esquema acima podemos observar uma rede MPLS (dentro da nuvem) com diversos caminhos possíveis entre os roteadores. Indicado pela seta observamos um exemplo de uma LSP calculada pelo protocolo MPLS.

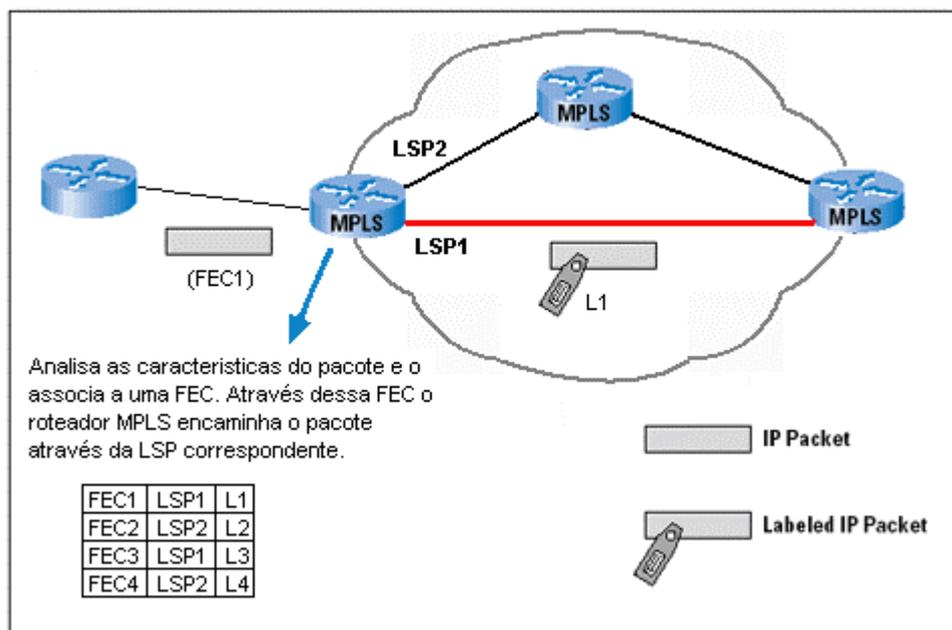
4.3. Label Distribution - LDP

O LDP é um protocolo que permite a distribuição de *labels* entres os roteadores de comutação de rótulos (LSR), desta forma possibilitando a criação das LSPs. Para isto o LDP oferece um mecanismo de “descoberta” de LSR para permitir que LSRs encontrem uns aos outros e estabeleçam comunicação. O LDP roda sobre TCP para garantir a entrega de mensagens. Outros protocolos também podem ser usados para esta função como por exemplo o BGP ou RSVP.

4.4. Forwarding Equivalency Class - FEC

Uma FEC consiste numa classe de equivalência, ou seja, um conjunto de parâmetros, que irão determinar um caminho para os pacotes. Pacotes associados a uma mesma FEC serão encaminhados pelo mesmo caminho.

A FEC é representada por um *label* e cada LSP é associada a uma FEC. Ao receber um pacote, o roteador da entrada da rede MPLS verifica qual FEC ele pertence e o encaminha através da LSP correspondente. Portanto há uma associação pacote-*label*-FEC-LSP.



Esquema da associação pacote-*label*-FEC-LSP

A associação pacote-FEC acontece apenas uma vez, quando o pacote entra na rede MPLS. Isto proporciona grande flexibilidade e escalabilidade a este tipo de rede.

A FEC pode ser determinada por um ou mais parâmetros, especificados pelo gerente da rede. Alguns desses parâmetros são:

- ♦ Endereço IP da fonte ou destino ou endereço IP da rede
- ♦ Número da porta da fonte ou destino
- ♦ ID do protocolo IP
- ♦ QoS

4.5. Label Information Base - LIB

O LIB contém uma tabela de encaminhamento, ou seja, uma tabela que apresenta informações correlacionando os *labels* às interfaces do roteador. Uma vez criada uma LSP, a relação do *label* com a interface, será armazenada no LIB.

Quando o pacote entra no LSR, este verifica para qual interface esse pacote deve ser encaminhado, através do LIB. Sendo assim, realiza a troca do *label* de entrada por um *label* de saída, para que o pacote possa alcançar o próximo nó.

Desta forma o LIB contém uma tabela que é usada para adicionar ou remover um *label* a um pacote, enquanto determina a interface de saída pela qual o pacote deve ser enviado.

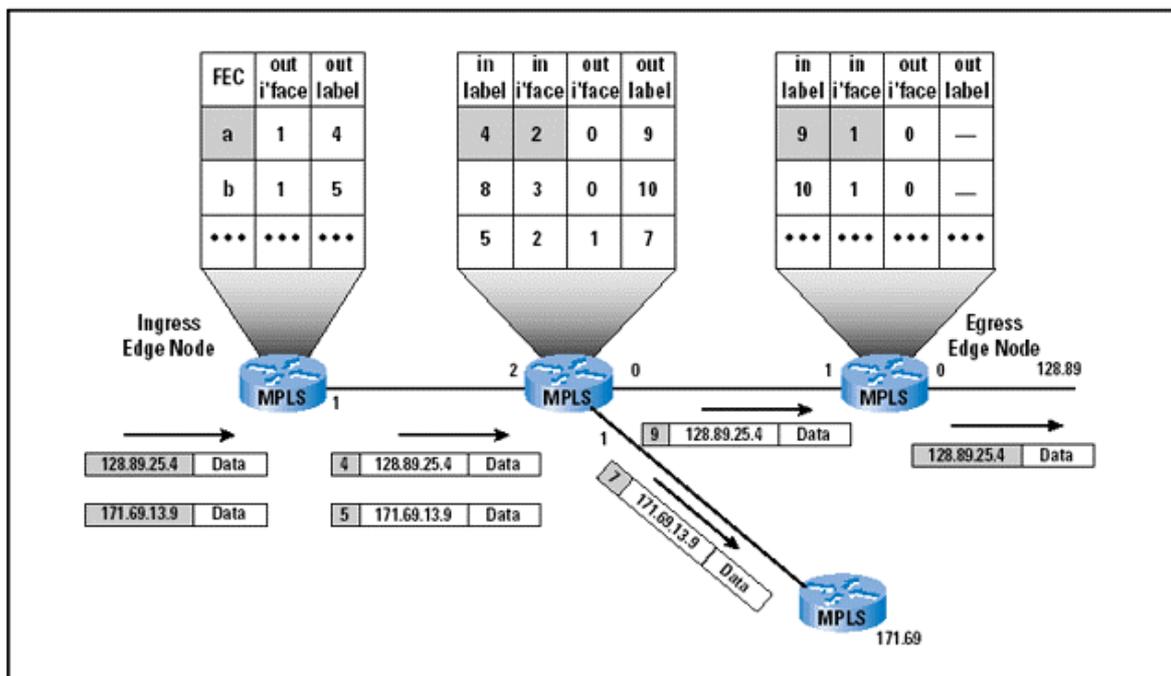


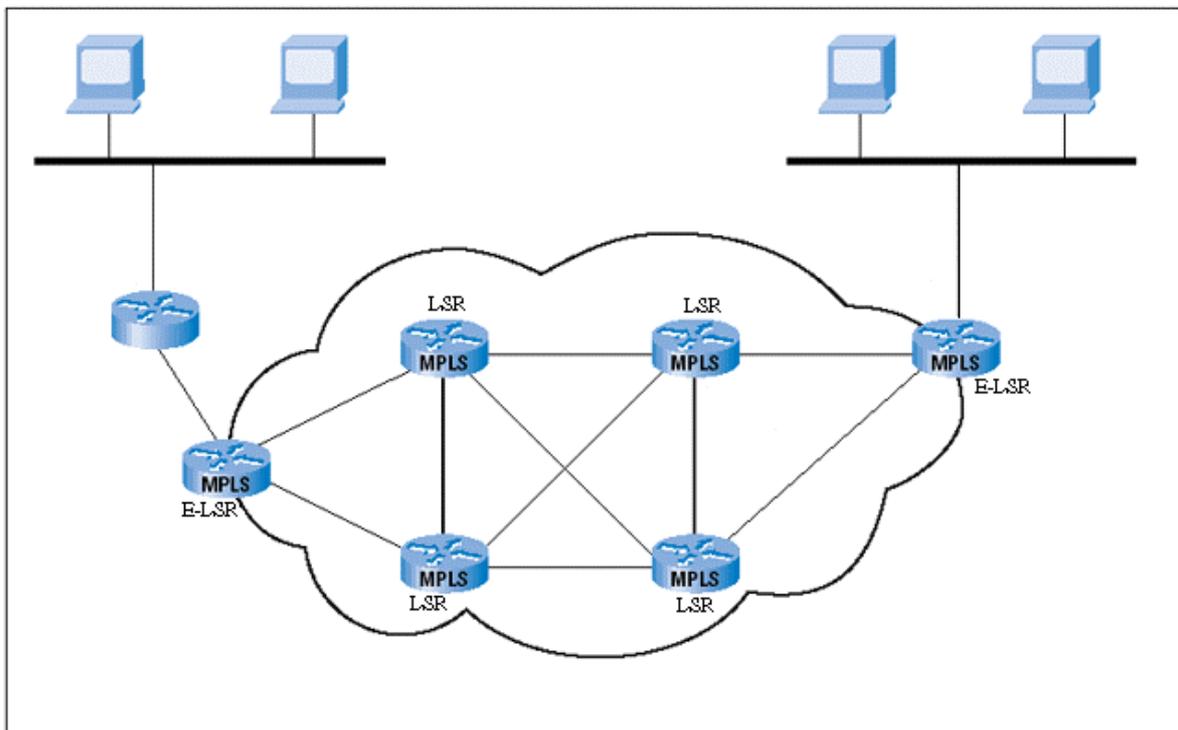
Tabela de encaminhamento

4.6. Label Switch Router - LSR

LSRs são os roteadores de comutação de rótulos. Existem dois tipos de LSR: O E-LSR-*Edge-Label Switch Router*, ou seja, o LSR de borda e o LSRs que ficam situados no núcleo de uma rede MPLS.

Quando o E-LSR está situado na entrada de uma rede MPLS, ele tem a função de inserir um *label* ao pacote, agrupa-os uma FEC e encaminha-os através de uma LSP. Quando está situado na saída, é responsável pela retirada do *label* e a entrega do pacote a uma rede não MPLS.

Os LSR do núcleo têm a função de encaminhar os pacotes baseados apenas no *label*. Ao receber um pacote, cada LSR troca o *label* existente por outro, passando o pacote para o próximo LSR e assim por diante até chegar no E-LSR de saída.



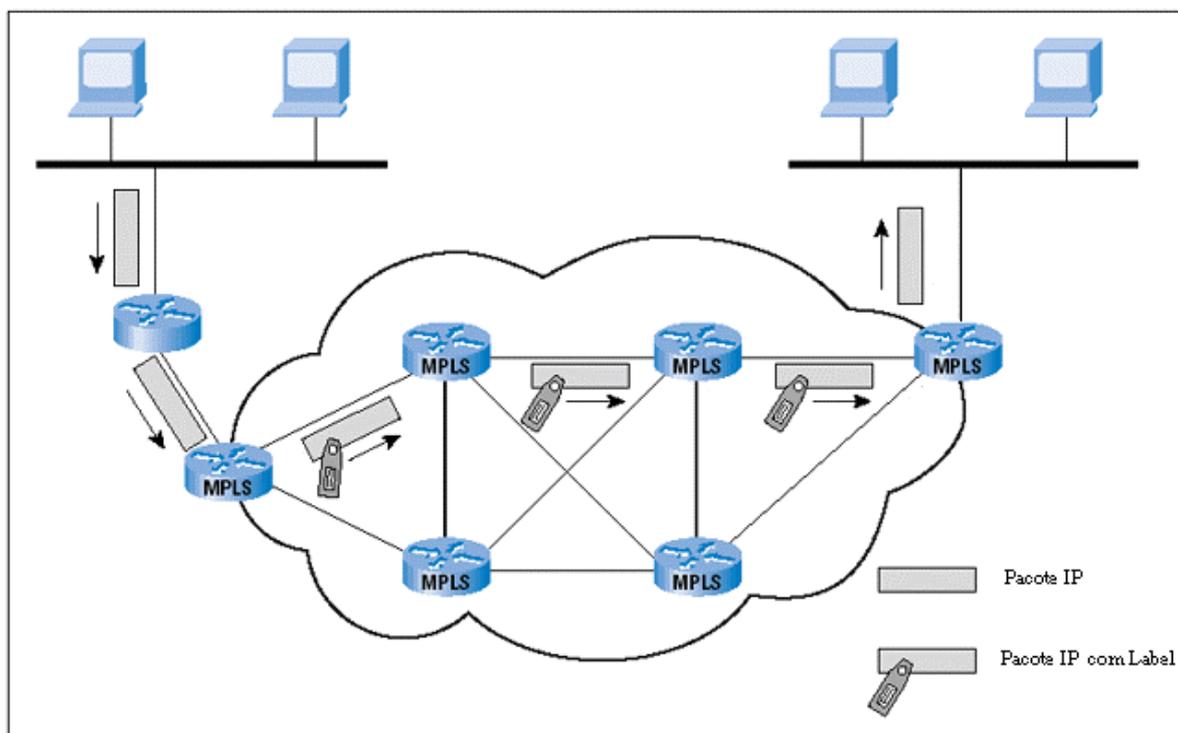
Esquema de uma rede MPLS indicando os LSRs e E-LSRs

5. Funcionamento Básico

Quando um pacote IP entra numa rede MPLS, o E-LSR irá associá-lo a uma FEC, caso já exista uma FEC para este pacote. Caso contrário o E-LSR irá criar uma FEC para este. Desta forma o pacote receberá um *label* e como a FEC está relacionada a uma LSP, o E-LSR encaminhará o pacote através desta LSP.

Nos saltos subseqüentes não há nenhuma análise do cabeçalho da camada de rede do pacote. A cada LSR pelo qual o pacote passa, os *labels* são trocados, pois cada *label* representa um índice na tabela de encaminhamento do próximo roteador. Sendo assim, quando um pacote rotulado chega, o roteador procura em sua tabela MPLS pelo índice representado pelo *label*. Ao encontrar este índice o roteador substitui o *label* de entrada por um *label* de saída associado à FEC a que pertence o pacote. Após completada a operação de troca de *labels* o pacote é encaminhado pela interface que está especificada na LIB.

Quando o pacote chega ao E-LSR de saída da rede MPLS, o *label* é removido e o pacote é encaminhado pela interface associada à FEC a qual pertence o pacote. Neste momento o pacote deixa de ser analisado pelo protocolo MPLS e é roteado normalmente pelos protocolos de roteamento.



Funcionamento básico do protocolo MPLS

No esquema acima podemos observar o funcionamento básico do Protocolo MPLS, através do trajeto percorrido pelo Pacote IP. Verificamos que ele recebe um *label* quando ingressa na nuvem MPLS, sendo este retirado na saída da nuvem.

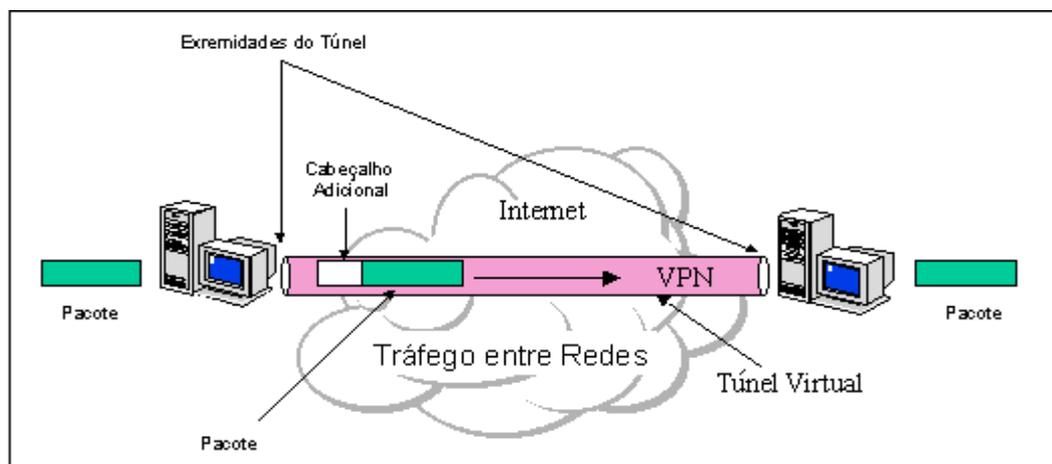
6. Algumas aplicações do MPLS

6.1. VIRTUAL PRIVATE NETWORKS - VPN'S

VPN é uma rede privada, onde pode trafegar informações de forma segura, construída sobre a infra-estrutura de uma rede pública, como a internet. Utilizando a técnica chamada de tunelamento, pacotes são transmitidos na rede pública em um túnel privado que simula uma conexão ponto-a-ponto. As VPN's permitem estender as redes corporativas de uma empresa a pontos distantes. Porém, ao invés de utilizar um grande número de linhas dedicadas para interconexão entre seus diversos pontos, o que onera muito o custo da rede, uma VPN utiliza os serviços das redes IP.

A utilização de redes públicas tende a apresentar custos muito menores que os obtidos com a implantação de redes privadas, sendo este, justamente o grande estímulo para o uso de VPN's. No entanto, para que esta abordagem se torne efetiva, a VPN deve prover um conjunto de funções que garanta confidencialidade, integridade e autenticidade.

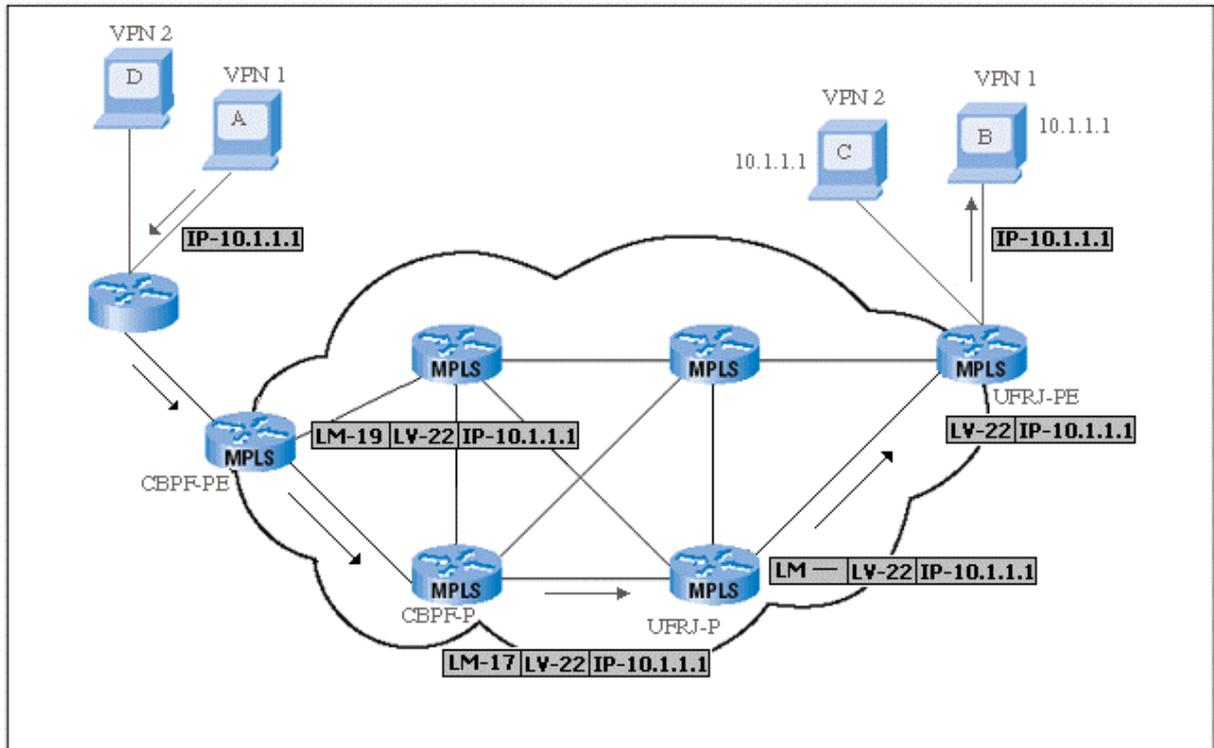
O MPLS, atuando como mecanismo de encaminhamento dentro de um cenário de VPN, provê agilidade, facilidade de gerenciamento para grandes redes e suporte a QoS, bem como suporte a segurança.



Esquema de uma aplicação MPLS – VPN

No esquema acima podemos observar o objetivo da criação de VPNs. Note que com ela o tráfego entre redes (nesse caso pode ser a internet ou somente um *backbone*) fica totalmente transparente, sendo mostrado como Túnel Virtual. Esse túnel é que garante a privacidade da rede.

A seguir será mostrado um exemplo de VPN numa rede MPLS.



Exemplo de VPN numa rede MPLS

O computador A pertencente a VPN1, envia um pacote IP, para o computador B, também pertencente a VPN1 (10.1.1.1). O roteador CBPF-PE, que é um E-LSR, recebe este pacote IP e o associa a um *label* VPN (LV-22) e a um *label* MPLS (LM-19). O pacote é enviado para o roteador CBPF-P conforme sua LIB, e assim sucessivamente.

Quando o pacote chega no penúltimo roteador de uma rede MPLS, ou seja, no LSR conectado ao E-LSR de saída, este retira o *label* MPLS e o encaminha até o E-LSR. Ao chegar no E-LSR, este analisa o *label* da VPN e verifica que este pacote faz parte da VPN1. Desta forma ele retira o *label* de VPN e encaminha o pacote até seu destino.

O computador C apresenta o mesmo endereço IP que o computador B, porém o pacote proveniente do computador A nunca conseguirá chegar no computador C, pois eles pertencem a VPN's diferentes. Desta forma o computador A só pode ter conexão com o computador B, da mesma forma que o C só pode ter conexão com o D.

6.2. QoS

Qualidade de Serviço (QoS) é um requisito das aplicações para a qual exige-se que determinados parâmetros (atrasos, vazão, perdas, variação de atrasos ou jitter, largura de banda) estejam dentro de limites bem definidos (valor mínimo, valor máximo). Desta forma QoS é um desafio para o backbone de qualquer empresa bem-sucedida. Essas redes servem de transporte para uma série de aplicações, incluindo voz e vídeo com alta taxa de utilização de largura de banda, sendo fundamental o correto dimensionamento e configuração dos equipamentos que o compõem, para que tais aplicações possam funcionar conforme os níveis de serviços pretendidos. As redes, portanto, devem fornecer serviços seguros, previsíveis, mensuráveis e às vezes garantidos a essas aplicações. Alcançar a qualidade de serviço exigida de ponta a ponta, ao mesmo tempo mantendo a simplicidade, escalabilidade e gerenciabilidade é o segredo para executar uma infra-estrutura que realmente atenda à empresa.

6.3. TRAFFIC ENGINEERING - TE

Engenharia de tráfego é o processo de organiza como o tráfego flui através da rede para que congestionamentos causados pela utilização desigual da rede possam ser evitados.

Um objetivo central da engenharia de tráfego na internet é facilitar a operação eficiente e confiável da rede enquanto que ao mesmo tempo otimiza a sua utilização e desempenho. A engenharia de tráfego já é atualmente uma função indispensável em grandes redes por causa do custo alto dos equipamentos e da natureza comercial e competitiva da internet. Como altera o fluxo normal dos pacotes, ela pode ser utilizada para atender a requisitos de QoS de determinados fluxos de dados.

A engenharia de tráfego pode ser feita manualmente, ou usando algum tipo de técnica automatizada, usando inclusive MPLS e/ou Roteamento com QoS para descobrir e fixar os caminhos mais adequados a determinados fluxos dentro da rede. No roteamento comum os roteadores no caminho precisam consultar sua tabela de roteamento para encaminharem os pacotes. Isso poderia ser evitado, fixando os caminhos com MPLS para os roteadores encaminharem os pacotes baseados em comutação de rótulos.

7. Conclusão

O protocolo MPLS desponta como uma arquitetura emergente, que através do modelo de encaminhamento de pacotes baseados em *labels*, permite a interoperabilidade e compatibilidade de diversas tecnologias de rede usadas pelos principais *backbones* do mundo.

Podemos ainda citar outras características importantes propostas por esse protocolo: a agilidade no encaminhamento de pacotes proporcionada pela simplificação no processo de roteamento, onde os pacotes são analisados apenas nas bordas de um domínio MPLS e são somente comutados pelos demais roteadores; a implementação de orientação a conexão em redes IP, o que propicia a engenharia de tráfego; o suporte ao IP QoS, que possibilita a utilização de qualidade de serviço em redes baseadas em IP. Isto tudo sem alterar totalmente a estrutura já existente das rede de comunicações.

Todas essas características nos levam a creditar o protocolo MPLS como uma tecnologia capaz de melhorar sensivelmente a qualidade das transmissões de voz e vídeo (através do QoS), a segurança (através das VPNs) e a velocidade e planejamento nas transmissões de dados (através do TE).

8. Bibliografia

- “A integração de múltiplos serviços com o MPLS”, Rogério Nesi Pereira Cardoso – Cisco Systems Brasil,
<http://www.ciscoredacaovirtual.com/redacao/perfistecnologicos/conectividad.asp?Id=18>
- “Trabalho sobre Roteadores”, Alessandro Trindade Vieira – CEFET,
<http://200.9.149.38/Ensino/Engenharia/redeslocais/trabalhos/Roteadores/ROUTER.HTM>
- “Trabalho sobre engenharia de tráfego em uma rede de serviços diferenciados”, Carlos Alberto Kamienski¹, Djamel Sadok – universidade Federal de Pernambuco
<http://www.cin.ufpe.br/~cak/publications/sbrc2000.pdf>
- “The Internet Protocol Journal – MPLS”, William Stallings - Cisco
http://www.cisco.com/warp/public/759/ipj_4-3/ipj_4-3_mpls.html
- “MPLS/Tag Switching”
http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwklito_doc/mpls_tws.pdf
- “Trabalho sobre MPLS”
http://www.gta.ufrj.br/grad/01_2/mpls/mpls.htm
- “Trabalho sobre MPLS”, Renato Donizete, Roberto Alexandre Dias - UCER
<http://www.ucer.nurcad.ufsc.br/documentacao.htm>