

**Universidade Federal do Rio de Janeiro**

**Núcleo de Computação Eletrônica**

**Claudio Cardoso de Abreu**

**MPLS-TE**

**O futuro das Redes de Comutação de Pacotes**

**Rio de Janeiro**

**2013**

**Claudio Cardoso de Abreu**

**MPLS-TE**

**O futuro das Redes de Comutação de Pacotes**

**Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.**

**Orientador:**

**Moacyr Henrique Cruz de Azevedo, M.Sc., UFRJ, Brasil**

**Rio de Janeiro**

**2013**

**Claudio Cardoso de Abreu**

**MPLS-TE**

**O futuro das Redes de Comutação de Pacotes**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Aprovada em março de 2013.



---

Moacyr Henrique Cruz de Azevedo, M.Sc., UFRJ, Brasil

*Dedico esse trabalho, primeiramente, aos meus pais, Amélia e Fernando, meus heróis, e que sem eles eu não seria nada. À minha irmã Patrícia, minha referência em toda a minha vida, aos meus avôs Fernando e Manoel, e avós, Eulália e Lourdes (in memoriam), que me ajudaram a me tornar o homem que sou com seu amor incondicional.*

*Dedico também a minha namorada Simone, que esteve do meu lado durante todo o tempo, e soube entender meus momentos difíceis, com todo o seu amor e carinho.*

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus mestres (ordem alfabética), Carlos Mendes, Claudio Miceli, Gabriel P. Silva, Paulo Aguiar, Paula, Marcelo Lanza, Maria Luiza, Moacyr Azevedo, e todos que me ajudaram nessa jornada. No início eu acreditava ter como objetivo, como prêmio, alguma coisa no final, na outra ponta, mas no decorrer desses anos descobri que o “prêmio” é a própria jornada, as amizades, as experiências vividas e trocadas. Sei que nem todos podem perceber isso, mas se eu o fiz eu agradeço a todos vocês por isso, meus mestres, meus amigos.

Aos meus colegas do corpo docente que tornaram as horas de estudo mais prazerosas, ou não. Aos funcionários do NCE, a todos da secretaria e principalmente a Sra. Marcia, que durante todo o tempo proporcionou, com excelência, todas as ferramentas para nossas aulas.

Aos meus amigos da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Lucas, Luiz Pedro, Luiz Felipe, Leonardo, Bruno, Pablo e todos do PEMM/DMM.

## RESUMO

Abreu, Claudio Cardoso de. **MPLS-TE O futuro das Redes de Comutação de Pacotes**. Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

As redes Multi-Protocol Label Switching (MPLS) vêm seguindo um longo caminho desde sua criação, que tinha a finalidade de permitir que roteadores de núcleo comutassem pacotes rapidamente usando cabeçalhos mais simples.

Hoje as redes MPLS são a fundação de muitas redes baseadas no Internet Protocol (IP), agregando valor aos serviços dos Internet Service Provider (ISP), como por exemplo, a engenharia de tráfego e serviços de Virtual Private Network (VPN).

A expansão do uso da MPLS para as redes de borda está demonstrando algumas fraquezas do protocolo MPLS como tecnologia de transporte. A proposta do Multi-Protocol Label Switching – Transport Engineering (MPLS-TE) é justamente adaptar o MPLS para se tornar mais parecido com um protocolo de transporte.

## ABSTRACT

Abreu, Claudio Cardoso de. **MPLS-TE O futuro das Redes de Comutação de Pacotes**. Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

Networks Multi-Protocol Label Switching (MPLS) have followed a long way since its creation, which intended to allow core routers to switch packets quickly using simple headers.

Today MPLS networks are the foundation of many networks based on Internet Protocol (IP), adding value to the services of the Internet Service Provider (ISP), such as traffic engineering and Virtual Private Network (VPN).

Expanding the use of MPLS to the edge of networks is showing some weaknesses of the protocol as transport technology. The proposed Multi-Protocol Label Switching - Transport Engineering (MPLS-TE) MPLS is precisely adapt to become more like a transport protocol.

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Problema do “Peixe” (Menor Caminho)	13
Figura 2 – Enlace físico e enlace lógico	15
Figura 3 – Roteamento IP	16
Figura 4 – Tabela de roteamento	17
Figura 5 – Empilhamento de Rótulos	19
Figura 6 – FECs associados a diferentes LSPs	20
Figura 7 – Formato do Rótulo MPLS	20
Figura 8 – Componentes Básicos das Redes ATM	23
Figura 9 – Célula ATM	23
Figura 10 – Definição do Cabeçalho da Celula ATM na UNI e NNI	24
Figura 11 – Switch ATM retransmitindo uma célula com o identificador apropriado	26
Figura 12 – Topologia Frame Relay Hub & Spoke	33
Figura 13 – Modelo <i>Overlay</i>	34
Figura 14 – Configuração básica do MPLS-TE	36
Figura 15 – Exemplo de uma nuvem MPLS-TE	38
Figura 16 – OSPF extensão LSA tipo 10	42



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASIC	Application Specific Integrated Circuit
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BGP	Border Gateway Protocol
B-ISDN	Broad Band ISDN
CHAP	Challenge Handshake Authentication Protocol
CLP	Congestion Lost Priority
CoS	Classe de Serviço
CRC	Cyclic Redundance Check
CR-LDP	Constraint-Based Routed LDP
CVC	Circuitos Virtuais Comutados
CVP	Circuitos Virtuais Permanentes
DSU	Digital Service Unit
FEC	Forwarding Equivalency Class
FIB	Forwarding Information Base
FTN	FEC-to-NHLFE
GFC	Generic Flow Control
HEC	Header Error Control
IETF	Internet Engineering Task Force
IKE	Internet Key Exchange
ILM	Incoming Label Mapping
IP	Internet Protocol – Protocolo Internet
IPSec	Internet Protocol Security
IPX	Internetwork Packet Exchange
ISAKMP	Internet Security Association and Key Management Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISP	Internet Service Provider
ITU	International Telecommunication Union
L2TP	Layer 2 Tunneling Protocol
LAN	Local Area Network
LANE	Lan Emulation
LER	Label Edge Route
LFIB	Label Forwarding Information Base
LIB	Label Informations Base
LSP	Label Swith Path
LSR	Label Switch Routers
MPLS	Multiprotocol Label Switching
NAT	Network Address Translation
NHLFE	Next Hop Label forwarding Entry
NNI	Network-Network Interface
OSI	Open System Interconnection
OSPF	Open Shortest-Path-First Protocol
PTI	Payload Type IDentifier
PPTP	Point-to-Point Tunneling Protocol

QoS	Quality of Service
PVC	Permanent Virtual Circuit
SVC	Switched Virtual Circuit
RADIUS	Remote Dial-in Service Protocol
RDSI ou B-ISDN	Rede Digital de Serviços Integrados
RDSI-FL	Rede Digital de Serviços Integrados de faixa larga
RFC	Request for Comments
RSVP	ReSerVation Protocol
SDN	Synchronous Digital Hierarchy
SMDS	Switched Multimegabit Data Service
SONET	Synchronous Optical Network
SVC	Switched Virtual Circuits
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TDM	Time Division Multiplexing
ToS	Type of Service
UNI	User-Network Interface
VC	Virtual Circuit
VCI	Virtual Channel Identifier
VPI	Virtual Path Identifier
VPN	Virtual Private Network
WAN	Wide Area Network

## SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	12
2 ESTRUTURA DO TRABALHO CIENTÍFICO	14
2.1 ROTEAMENTO IP BÁSICO	14
2.2 CONCEITOS E OPERAÇÃO DA MPLS	17
2.2.1 Entendendo a MPLS	17
2.2.2 Redes ATM e Frame Relay	21
2.2.2.1 ATM	21
2.2.2.2 Frame Relay	28
2.2.3 MPLS TRAFFIC ENGINEERING	33
2.2.3.1 Teoria da engenharia de trafego	33
2.2.3.2 Configuração da MPLS-TE	35
3 CONCLUSÕES	43
REFERÊNCIAS	45
ANEXO 1	47

## 1 INTRODUÇÃO

As redes MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) estão se tornando a escolha tecnológica para a entrega de serviços de redes nas camadas 2 e 3 do modelo TCP/IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*). Uma das principais vantagens deste protocolo de comunicação está na simplicidade do encaminhamento de dados entre um ponto da rede para outro, utilizando pequenos rótulos de caminho ao invés de longos endereços de rede, dispensando buscas em complexas tabelas de rotas.

A Engenharia de Tráfego ou TE (*Traffic-Engineering*) permite controlar o tráfego de dados com base em restrições de roteamento. Essas restrições de roteamento permitem que uma rede orientada à reserva de recursos coexista com os atuais protocolos de roteamento orientados a topologia “salto-a-salto” (IGP – *Interior Gateway Protocols*).

Embora o roteamento IP convencional possa examinar rotas otimizadas, com a aplicação de métricas, ele não pode analisar a disponibilidade de largura de banda em cada enlace individualmente. A MPLS-TE permite o estabelecimento de rotas otimizadas e a análise de banda disponível nos vários enlaces necessários a fim de potencializar o uso dos recursos da rede.

A figura 1 apresenta como o roteamento explícito do MPLS se aplica para resolver um problema conhecido pelos administradores de redes, denominado “problema do peixe”.

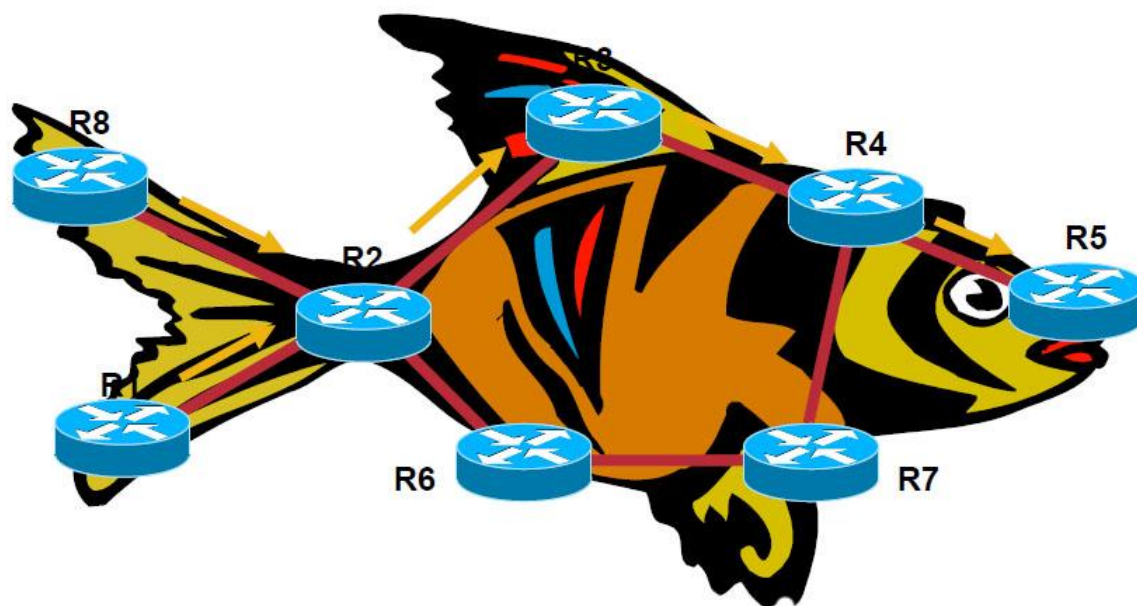


Figura 1 – O Problema do “Peixe” (Menor Caminho)

Ao observar a figura 1, vê-se que existem dois caminhos entre os roteadores R2 e R5:

- R2 -> R3 -> R4 -> R5;
- R2 -> R6 -> R7 -> R4 -> R5.

Na rede da figura 1, suponha-se que um administrador tenha determinado que qualquer tráfego indo de R8 para R5 deva seguir o caminho R8 -> R2 -> R6-> R7 -> R4 -> R5, e que qualquer tráfego indo de R1 para R5 deve seguir o caminho R1 -> R2 -> R3 -> R4 -> R5. O motivo para essa escolha seria fazer o melhor uso da capacidade disponível ao longo dos dois caminhos distintos entre R2 e R5. Essa requisição não pode ser feita de maneira fácil com o roteamento IP tradicional porque R2 não examina de onde o tráfego veio ao tomar suas decisões de encaminhamento de pacotes. Usando o protocolo MPLS, que se utiliza da comutação de rótulos (ou *Tags* em inglês), é possível conseguir o roteamento desejável [GOLVEIA, José / MAGALHÃES, Alberto].

## **2 ESTRUTURA DO TRABALHO CIENTÍFICO**

### **2.1 ROTEAMENTO IP BÁSICO**

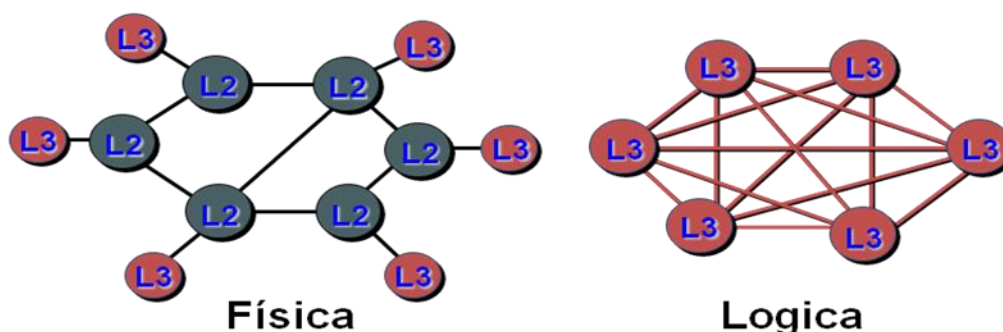
Pode-se dizer que roteamento é o processo de encaminhar pacotes entre redes interconectadas. O roteamento faz parte do protocolo IP em redes baseadas nos protocolos TCP/IP, e é usado em conjunto com outros serviços de protocolo de rede para fornecer recursos de encaminhamento entre dispositivos localizados em segmentos de rede distintos em uma rede maior.

Cada pacote IP, de entrada ou saída, é chamado de datagrama IP. Um datagrama IP contém dois endereços IP: o endereço do dispositivo de origem e o endereço do destinatário. Ao contrário dos endereços de hardware (MAC - Media Access Control) os endereços IP em um datagrama continuam idênticos ao percorrerem uma rede TCP/IP.

Basicamente o roteamento envolve duas atividades:

1. Determinação das rotas ótimas;
2. Transporte da informação (datagramas) ao longo da rede por um processo de comutação em camada 2

Pode-se notar que na figura 2 existe a diferença entre os enlaces físicos entre roteadores e o roteamento em camada 3, mostrando que se podem ter inúmeras rotas lógicas de um ponto da rede ao outro.



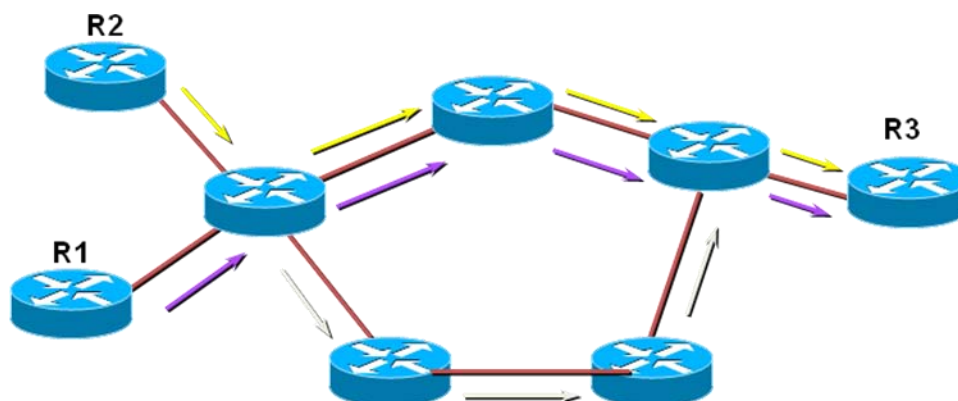
- Roteamento em camada 2 (L2)
- Roteamento em camada 3 (L3)

Figura 2 – Enlace físico e enlace lógico.

Serviços de transporte no dispositivo de origem, acima da camada IP, passam dados na forma de segmentos TCP ou mensagens UDP (User Datagram Protocol) para a camada IP. Essa combina os datagramas IP com endereços de origem e de destino para rotear os dados pela rede. A camada IP passa os datagramas para a camada de interface da rede. Cada datagrama IP contém um endereço IP de origem e outro de destino.

Serviços da camada IP, em cada equipamento ao longo da rede, examinam o endereço de destino de cada datagrama, comparam esse endereço a uma tabela de roteamento mantida localmente, e decidem a ação de encaminhamento a ser tomada. Os roteadores IP são conectados a dois ou mais segmentos de rede IP ativados para encaminhar pacotes entre eles.

Na figura 3 os roteadores, dispositivos que passam datagramas IP de um segmento de rede a outro, são responsáveis por interconectar os segmentos de uma rede baseada em IP. Esse processo é conhecido como roteamento IP.



### Roteamento IP: roteamento de menor custo com base no destino

- Caminho para o tráfego do R2 ao R3
- Caminho para o tráfego do R1 ao R3
- Caminho alternativo subutilizado

Figura 3 – Roteamento IP

Os roteadores IP são o principal meio para combinar dois ou mais segmentos de rede IP fisicamente separados. Os roteadores IP têm ao menos algumas características principais:

- Roteadores IP usam duas ou mais interfaces de conexão de rede para conectar-se a cada segmento de rede fisicamente separado.
- Roteadores IP fornecem encaminhamento de datagramas para outros equipamentos TCP/IP.

É possível implantar roteadores IP usando uma série de produtos de hardware e software.

Os dispositivos TCP/IP usam uma tabela de roteamento para alcançar outras redes e outros dispositivos IP. As redes e dispositivos são identificados por um endereço IP e uma máscara de sub-rede. Essas tabelas de roteamento são muito



importantes, pois fornecem informações sobre como comunicar-se com redes e dispositivos localizados em destinos remotos.

Na figura 4 pode-se ver uma saída do comando *show ip route*, onde se identificam os endereços das redes conhecidas pelo roteador **PE1\_AS1**, assim como informações de custo, métricas e protocolos de roteamento utilizados.

```
PE1_AS1#show ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

    10.0.0.0/8 is variably subnetted, 11 subnets, 2 masks
C       10.10.10.8/30 is directly connected, Serial0/0
O       10.10.10.12/30 [110/192] via 0.0.0.0, 00:10:37, Tunnel0
C       10.10.10.0/30 is directly connected, Serial0/2
O       10.10.10.4/30 [110/128] via 10.10.10.2, 00:10:37, Serial0/2
O       10.10.10.24/30 [110/128] via 10.10.10.18, 00:10:37, Serial0/1
        [110/128] via 10.10.10.2, 00:10:37, Serial0/2
C       10.10.10.16/30 is directly connected, Serial0/1
O       10.10.10.20/30 [110/128] via 10.10.10.18, 00:10:39, Serial0/1
O       10.10.10.106/32 [110/65] via 10.10.10.18, 00:10:39, Serial0/1
O       10.10.10.102/32 [110/65] via 10.10.10.2, 00:10:39, Serial0/2
O       10.10.10.103/32 [110/129] via 0.0.0.0, 00:10:39, Tunnel0
C       10.10.10.101/32 is directly connected, Loopback0
PE1_AS1#
```

Figura 4 – Tabela de roteamento.

## 2.2 CONCEITOS E OPERAÇÃO DA MPLS

### 2.2.1 Entendendo a Rede MPLS

No surgimento das redes ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), acreditava-se que essa tecnologia iria dominar o mercado das redes devido às altas velocidades alcançadas na época. O grande problema para as redes ATM foi a incompatibilidade com o IP, o protocolo de rede mais difundido nas redes de computadores. Essa

incompatibilidade levou a criação LBS (*Label Based Switching*) pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*), que permitiu a união do que há de melhor nas redes baseadas em pacotes (redes IP) e nas redes orientadas a conexão (como redes ATM), da qual o MPLS se originou. [Golway, Tom,97]

Embora hoje o protocolo MPLS venha sendo largamente utilizado nas redes de computadores para a criação de novos serviços, ele não é nenhuma nova tecnologia. Outras iniciativas de protocolos baseados em métodos de engenharia, desde a década de 90, já utilizam essa tecnologia. Com a natural convergência desses protocolos, o IETF acabou fundindo-os ao MPLS, o que fez com que tanto as operadoras quanto os fabricantes de equipamentos percebessem o potencial da tecnologia.

Hoje grande parte dos padrões MPLS está na fase "*Internet Draft*", no entanto vários já foram para a fase RFC-STD (apenas para padrões aceitos pelo IETF). A próxima etapa será que estas RFC's juntas culminarão em um sistema MPLS. RFC's que padronizam o MPLS são a RFC 2702, RFC 3031, RFC 3033, RFC 3032, RFC 3034, RFC 3035 RFC 3036, RFC 3037, RFC 3038, RFC 3063 e RFC 310735.

Na figura 5 vê-se o processo de empilhamento de rótulos feitos nos roteadores de Egresso e Ingresso na rede MPLS. Esse roteadores, conhecidos com LSR (*Label Switching Router*), são responsáveis por determinar o caminho ou túnel até o LSR de destino. Esse caminho, conhecido como LSP (*Label Switching Path*), pode ser formado através da troca de pacotes LDP (*Label Distribution Protocol*), definido pelo IETF [RFC 5036], de forma bidirecional e dinâmica ou através de um LSP explícito formado de forma manual pelo administrador da rede.

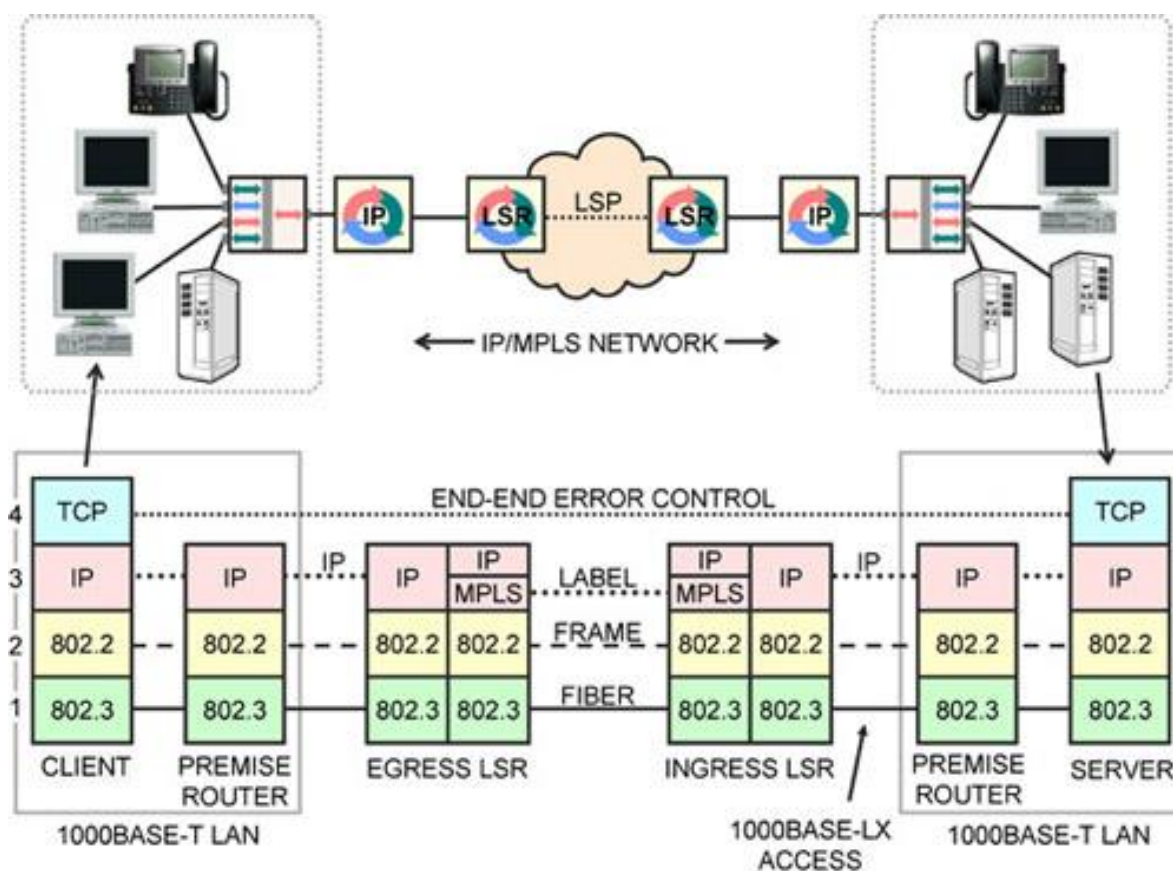
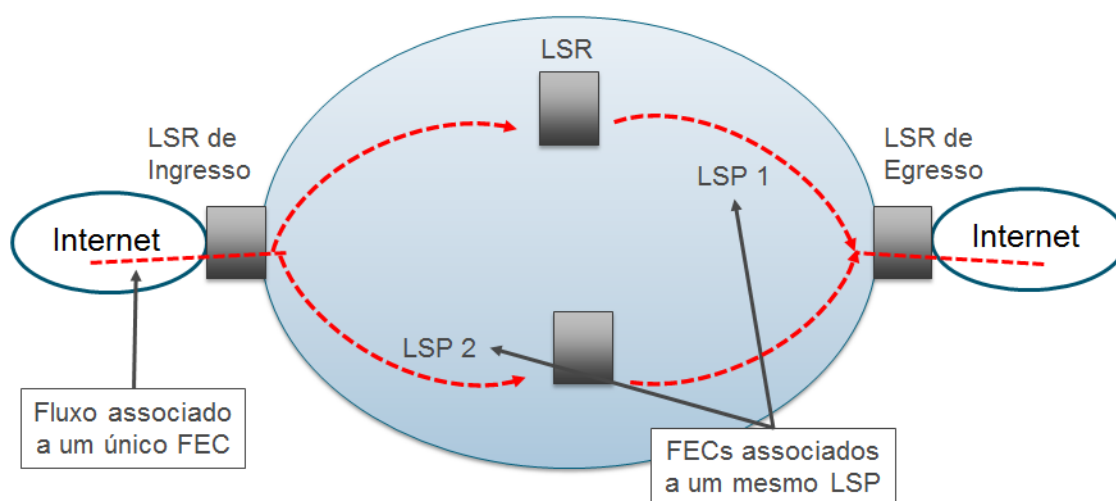


Figura 5 - Empilhamento de Rótulos.

Outro importante protocolo para o MPLS-TE é o RSVP (*Resource Reservation Protocol*), protocolo da camada de transporte do modelo TCP, desenhado para reservar recursos ao longo da rede para serviços integrados de Internet ou **IntServ**, a fim de garantir a qualidade de serviço em redes (QoS – *Quality of Service*).

A RFC 3031, *Multiprotocol Label Switching Architecture*, define um rótulo ou *Tag* como “um identificador curto de tamanho fixo e fisicamente contíguo, usado para identificar uma FEC (*Forwarding Equivalency Class* – conjunto de pacotes com características semelhantes e/ou idênticas que podem ser transmitidos da mesma maneira), normalmente com significado local”, como mostrado na figura 6.

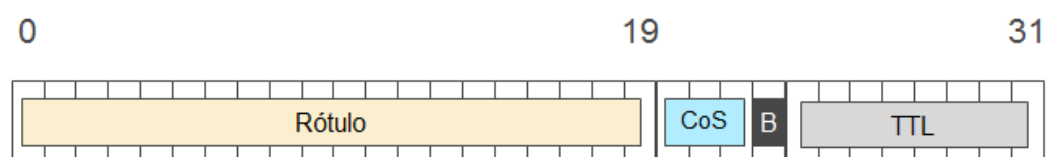


**FEC pode estar associado a diferentes LSPs, representados por diferentes rótulos**

- Permite escolha de rota alternativa.

Figura 6 – FECs associados a diferentes LSPs.

O cabeçalho MPLS deve ser posicionado depois de qualquer cabeçalho de camada 2 e antes de um cabeçalho de camada 3. Seu tamanho é definido em 32 bits. O rótulo associa pacotes às respectivas conexões, é algo semelhante ao VPI/VCI no ATM e DLCI no Frame Relay, abordados nos próximos capítulos.



**Uma pilha de rótulos pode ser formada como uma sequência de 4 octetos (32 Bits)**

- Rótulo – 20 bits
- CoS (Class of Serviço) – 3 bits
- TTL – 8 bits
- B – Fim da pilha (bottom of stack) – 1 bit
  - Indica se o rótulo é o último no caso de uma pilha de rótulos

Figura 7 - Formato do Rótulo MPLS

No nível mais simples, um rótulo pode ser pensado como nada mais que uma forma abreviada para o cabeçalho do pacote, de forma a indicar ao pacote a decisão de remessa que um roteador faria. [ROSEN,2001]

Neste contexto, o rótulo é nada mais que uma abreviação para um fluxo agregado de dados de usuário. Seu formato é ilustrado na figura 7.

### **2.2.2 Redes ATM e FRAME RELAY**

A camada de enlace de dados, do modelo de referência OSI, define as formas de encapsulamento para a transmissão entre equipamentos de rede, bem como as técnicas de transferência de quadros.

Tanto o ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) quanto o *Frame Relay* são tecnologias da camada de enlace de dados e possuem protocolos orientados a conexão. Cada técnica tem sua vantagem e desvantagem e serão abordadas nesse capítulo a fim de mostrar um comparativo com a tecnologia MPLS-TE.

#### **2.2.2.1 ATM**

ATM (Modo de Transferência Assíncrona) é um padrão da ITU-T (sigla em inglês para União Internacional de Telecomunicações) para a transmissão de células. As células ATM possuem tamanho fixo de 53 bytes e podem transportar vários tipos de serviços, como dados, voz ou vídeo. A grande diferença em relação ao padrão TDM (sigla em inglês para Multiplexador por Divisão de Tempo), é que o ATM utiliza uma tecnologia síncrona: um intervalo de tempo é designado a cada usuário e nenhum outro equipamento poderá enviar durante este intervalo, sendo que os intervalos estão disponíveis sob demanda para cada usuário.

O ATM surgiu em 1990 e foi desenhado como um protocolo de comunicação de alta velocidade que não depende de nenhuma topologia de rede específica. Usa uma tecnologia de comutação de células de alta velocidade que pode tratar tanto dados como vídeo e áudio em tempo real [S. Floyd, 1993].

O ATM utiliza padrões de identificação de origem da transmissão no cabeçalho da célula.

Alguns componentes básicos das redes ATM são switches ATM e dispositivos que contém um adaptador de interfaces de rede ATM, chamados de pontos finais (ou sistemas finais). Exemplos de sistemas finais são roteadores com interface ATM e Ethernet, DSU's (sigla em inglês para Unidade Digital de Serviço) e estações de trabalho. Os switches ATM suportam dois tipos de interfaces primárias: UNI (sigla em inglês para Interface Usuário-Rede) e NNI (sigla em inglês para Interface Rede-Rede). Além destas interfaces, existe o tipo B-ICI (*Broadband Interexchange Carrier Interconnect*) responsáveis pela interconexão entre diferentes provedores de ATM.

As interfaces UNI são utilizadas para interligar estações privadas e públicas. Quando uma interface UNI possui número privado, ela encontra-se configurada no sistema final ou no switch ATM e é utilizada para a comunicação de redes privadas, possuindo significância local. Quando possui UNI pública deve interligar uma rede privada com a rede pública. A grosso modo pode-se comparar as interfaces UNI privadas aos endereços IP não roteáveis, como o '10.0.0.0'. Ele é reconhecido apenas localmente, quando precisa ser roteado na rede pública utiliza uma tradução para endereço público (no caso do ATM uma interface de UNI público). As interfaces NNI são utilizadas para interconectar switches ATM públicos.

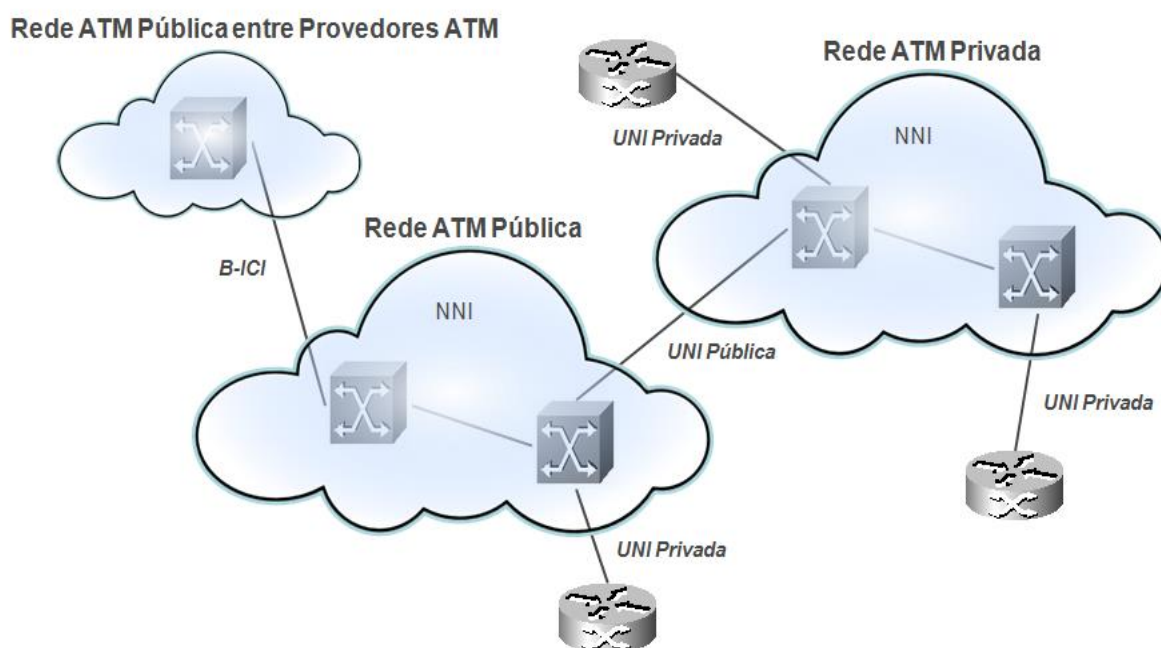


Figura 8 - Componentes Básicas das Redes ATM.

A estrutura das células ATM é diferenciada dos pacotes IP, sendo composta pelos campos cabeçalho e *payload* (os dados propriamente ditos – figura 9).

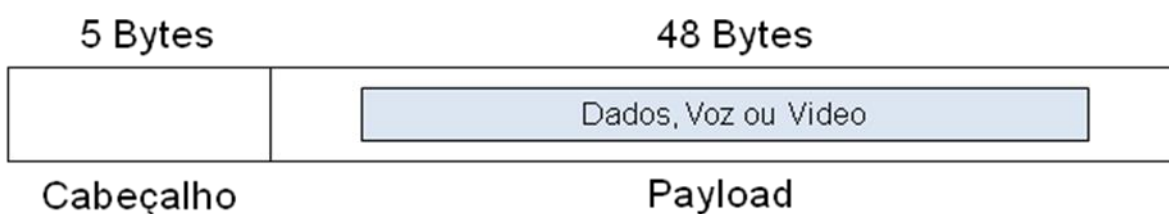


Figura 9 - Célula ATM.

O campo cabeçalho, figura 10, possui estruturas diferenciadas entre interfaces UNI e NNI.

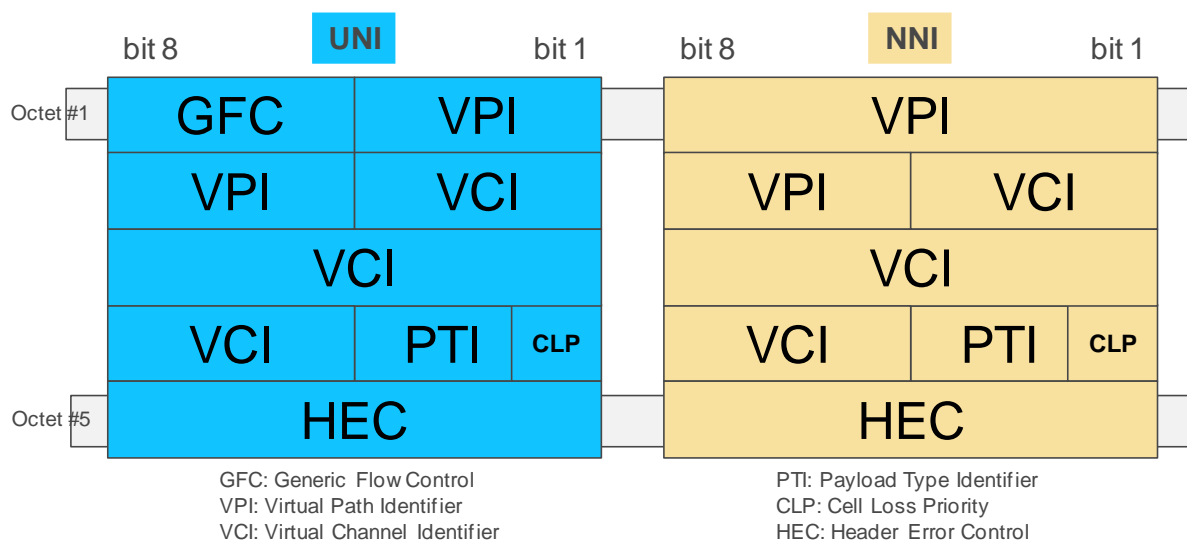


Figura 10 - Definição do Cabeçalho da Célula ATM na UNI e NNI.

Significado dos campos dos cabeçalhos UNI e NNI:

- **GFC (Controle de Fluxo Genérico)** – Fornece funções de significância local, como identificação de estações que compartilham a mesma interface ATM.
- **VPI (Identificador de Caminho Virtual)** – Junto com o VCI, fornece o destino seguinte de uma célula.
- **VCI (Identificador de Canal Virtual)** – Junto com VPI, fornece o destino seguinte de uma célula.
- **PTI (Tipo de Payload)** – Indica no primeiro bit se a célula contém dados do usuário ou dados de controle. O segundo bit é usado para indicar se há congestionamento e o terceiro bit informa se é a última célula de uma série.
- **CLP (Perda de Prioridade por Congestionamento)** – Indica se há célula deverá ser descartada em caso de congestionamento.
- **HEC (Controle de Erro de Cabeçalho)** – Calcula o total de verificação somente no próprio cabeçalho.



O ATM fornece três tipos de serviço, o PVC (sigla em inglês para Circuitos Permanentes Comutados), SVC (sigla em inglês para Circuitos Virtuais Comutados) e serviço sem conexão. O serviço PVC inclui a conectividade estática e de forma manual, garantindo a disponibilidade de uma conexão, não havendo a necessidade de se configurar procedimentos de chamada entre os switches. O SVC é criado e iniciado dinamicamente e permanece em uso somente enquanto os dados estão sendo transferidos. O SVC inclui flexibilidade de conexão e a configuração da chamada pode ser manipulada automaticamente por um dispositivo da rede.

As redes ATM são fundamentalmente orientadas a conexão, sendo necessária a configuração de um VC (Canal Virtual) antes de se realizar qualquer transferência de dados. Existem dois tipos de conexão ATM: os caminhos virtuais (VP) que utilizam identificadores de caminho virtual, e canais virtuais (VC) que utilizam a combinação de um VPI e um identificador de canal virtual (VCI).

O caminho virtual consiste em um pacote de canais virtuais, que são todos comutados de maneira transparente pela rede ATM com base em um VPI comum. Todos os VCIs e VPIs, porém, têm um significado apenas local em um determinado link e são remapeados em cada switch.

Quando uma célula é recebida por um link em um valor conhecido de VCI ou de VPI, o switch ATM confere o valor da conexão em sua tabela de tradução local para determinar a(s) porta(s) de saída da conexão e o novo valor do VPI/VCI da conexão nesse link. O switch, então, retransmite a célula com o identificador de conexão apropriado. Na figura 11 vê-se que estes valores são remapeados a cada switch.

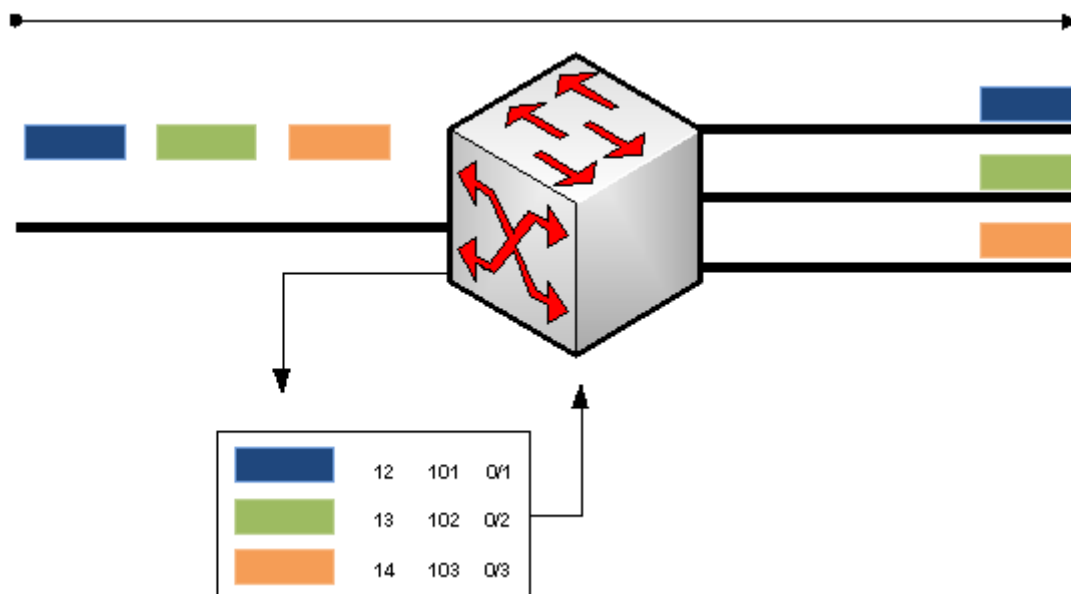


Figura 11 - Switch ATM retransmitindo uma célula com o identificador apropriado.

Ao realizar uma comparação do modelo de referência OSI com o modelo de referência ATM, pode se observar que o ATM corresponde à camada física e a uma parte da camada de enlace de dados do modelo de referência OSI.

O modelo de referência ATM é composto pelos planos:

- **Controle** – Responsável pela geração e administração das solicitações de sinalização.
- **Usuário** – Responsável pela administração da transferência de dados.
- **Administração** – Contém dois componentes:
  - **Administração da camada** – Gerencia as funções específicas da camada como a detecção de falhas e problemas de protocolos.
  - **Administração do plano** – Gerencia e coordena as funções relacionadas ao sistema completo.

O modelo de referência ATM é composto pelas seguintes camadas ATM:

- **Camada física** – Análoga à camada física do modelo OSI.

- **Camada ATM** – a camada ATM combinada com a camada de adaptação ATM é quase análoga à camada de link de dados do modelo OSI. Ela estabelece conexões e é responsável pela passagem de células ATM na rede.
- **Camada de adaptação ATM (AAL)** – É responsável pelo isolamento dos protocolos da camada superior dos detalhes dos processos ATM.

A camada física ATM é dividida em duas subcamadas:

- **PMD** (Dependente do Meio Físico) – Possui duas funções: sincronizar a transmissão e a recepção, enviando e recebendo um fluxo contínuo de bits com informações associadas referentes ao tempo, e especificar as mídias físicas para o meio físico utilizado. Exemplo DS-3/E3 de 155 Mbps usando 8B/10B em cabo STP.
- **TC** (Convergência de Transmissão) – Possui quatro funções: verificar o delineamento de células, geração e verificação de sequências para o HEC, ajuste da taxa de células, e adaptação de frames para a transmissão.

A camada de adaptação ATM é dividida em:

- **AAL1** – Serviço orientado a conexão. Adequado para a manipulação de aplicações de emulação de circuitos, como conferência de voz e vídeo.
- **AAL3/4** – Serviço tanto orientado a conexão como sem uma conexão. Projetada para servidores de serviços de rede, com conformidade com o SMDS.

- **AAL5** – Serviço tanto orientado a conexão como sem uma conexão.

Adequado para o uso de dados.

Os endereços ATM são baseados no uso de endereços E.164 para redes públicas ATM, com formatos de endereço baseado na estrutura dos endereços de pontos de acesso de serviços (NSAP). O NSAP é formado por três componentes: Identificador de Autoridade e Formato (AFI), Identificador de Domínio Inicial (IDI) e Parte Específica do Domínio (DSP).

O ATM oferece serviços de garantia de QoS, incluindo contrato, modelagem e política de tráfego. Para estabelecer uma conexão com outro dispositivo ATM o switch envia um pacote de solicitação diretamente ao switch a que está conectado. Essa solicitação contém o endereço de destino, como qualquer parâmetro de QoS exigido para a conexão. Os protocolos de sinalização poderão variar conforme o tipo de link ATM, que poderão ser UNI ou NNI. A sinalização UNI 3.1 se baseia na sinalização Q.2931 de rede pública, desenvolvido pelo ITU-T, sendo VPI=0, VPI=5.

#### **2.2.2.2 FRAME RELAY**

O *Frame Relay* é um serviço para pessoas que desejam um meio totalmente orientado à conexão para mover bits de A para B a uma velocidade razoável e a um custo baixo [SMITH, 1993]. Sua existência se deve a mudanças na tecnologia das duas últimas décadas. Há 30 anos, a comunicação usando linhas telefônicas era lenta, analógica e não confiável, e os computadores eram lentos e caros. Portanto, era necessário o uso de protocolos complexos que mascaravam os erros. Além disso, os computadores dos usuários eram caros demais para esse trabalho.

A situação mudou radicalmente. As linhas telefônicas privadas atuais são rápidas, digitais e confiáveis, e os computadores são rápidos e baratos. Isso sugere o uso de protocolos simples, com a maior parte do trabalho sendo executada pelos computadores dos usuários, e não pela rede. Esse é o ambiente no qual o *Frame Relay* se destina.

O *Frame Relay* é, na verdade, uma linha privada virtual. O cliente instala um circuito virtual permanente entre dois pontos e, em seguida, pode enviar quadros (ou seja, pacotes) de até 1.600 bytes entre esses pontos. Também é possível instalar circuitos virtuais permanentes entre um determinado site e vários outros sites. Assim, cada quadro transporta um número de 10 bits que determina o circuito virtual a ser usado.

A diferença entre uma linha privada real e uma linha privada virtual é que, com a primeira o usuário pode encaminhar as mensagens a toda a velocidade durante um dia inteiro. Com um circuito virtual, as rajadas de dados podem ser enviadas a toda velocidade, mas o uso médio a longo prazo deve ser abaixo de um nível predeterminado. Por sua vez, o preço da linha virtual é muito menor do que o da linha física.

Além de competir com as linhas privadas, o frame relay competia com os circuitos virtuais permanentes X.25, conjunto de protocolos padronizado pela ITU para redes de longa distância e que usam o sistema telefônico ou ISDN como meio de transmissão.

O *Frame Relay* oferece um serviço mínimo, basicamente uma forma de definir o início e o fim de cada quadro e detecção de erros de transmissão. Se um quadro defeituoso for recebido o serviço de frame relay o descartará. Cabe ao usuário

descobrir que está faltando um quadro e tomar as providências necessárias para recuperá-lo. Ao contrário do X.25, o *Frame Relay* não oferece controle de fluxo normal ou mensagens de reconhecimento. No entanto, o frame relay tem um bit no cabeçalho que pode ser configurado por uma extremidade da conexão a fim de que seja revelada a existência de problemas para a outra extremidade. O uso desse bit é de responsabilidade dos usuários.

Em 2006, a internet baseada em ATM e IP nativo começam, lentamente, a impelir o desuso do frame relay. Também o advento do VPN (sigla em inglês para Rede Privada Virtual) e de outros serviços de acesso dedicados, como o *Cable Modem* e o DSL, aceleram a tendência de substituição do frame relay. Há, entretanto, muitas áreas rurais onde o DSL e o serviço de cable modem não estão disponíveis e a modalidade de comunicação de dados mais econômica muitas vezes é uma linha frame relay. Assim, uma rede de lojas de varejo, por exemplo, pode usar frame relay para conectar lojas rurais ou interioranas em sua WAN corporativa, provavelmente com a adoção de uma VPN para segurança [CARDOSO, Rogério, 2003].

O *Frame Relay* é uma técnica de comutação de quadros efetuada de maneira confiável, considerando as seguintes características: redes locais com um serviço orientado a conexão, operando no nível 2 do modelo OSI, com baixo retardo e com praticamente nenhum controle de erro nos nós. Ele é um serviço de pacotes ideal para tráfego de dados IP, que organiza as informações em frames, ou seja, em pacotes de dados com endereço de destino definido, ao invés de colocá-los em intervalos fixos de tempo, como é o caso do TDM. Este procedimento permite ao

protocolo implementar as características de multiplexação estatística e de compartilhamento de portas.

Considerando o modelo OSI para protocolos, o *Frame Relay* elimina todo o processamento da camada de rede (*layer 3*) do X.25. Apenas algumas funcionalidades básicas da camada de enlace de dados (*layer 2*) são implementadas, tais como a verificação de frames válidos, porém sem a solicitação de retransmissão em caso de erro. Desta forma, as funcionalidades implementadas nos protocolos de aplicação, tais como verificação de sequência de frames, uso de quadros de confirmações e supervisão, entre outras, não são duplicadas na rede *Frame Relay*. Isto permite um tráfego de quadros (*frames*) ou pacotes em alta velocidade (até 1,984 Mbps), com um atraso mínimo e uma utilização eficiente da largura de banda.

O protocolo *Frame Relay* é um protocolo WAN de alta performance que opera nas camadas física e de enlace do modelo de referência OSI. Esta tecnologia utiliza comutação por pacotes para promover a interface com outras redes através de dispositivos de borda (roteadores), compartilhando dinamicamente os meios de transmissão e a largura de banda disponíveis, de forma mais eficiente e flexível. Sendo descendente direto do protocolo de comunicação X-25, utiliza-se das funcionalidades de multiplexação estatística e compartilhamento de portas, porém com a alta velocidade e baixo atraso (*delay*) dos circuitos TDM. Isto é possível pois o mesmo não utiliza o processamento da camada de rede (*layer 3*) do X.25. Isto exige redes confiáveis para a sua implementação eficiente, pois em caso de erro no meio de transmissão ocorre um aumento significativo no número de retransmissões, pois a checagem de erros ocorre somente nas pontas.

O *Frame Relay* é baseado no uso de Circuitos Virtuais (VC's). Um VC é um circuito de dados virtual bidirecional entre 2 portas quaisquer da rede, que funciona como se fosse um circuito dedicado. Existem 2 tipos de Circuitos Virtuais: o *Permanent Virtual Circuit* (PVC) e *Switched Virtual Circuit* (SVC). O *Frame Relay* também possibilita a utilização de múltiplos canais lógicos em uma mesma linha de acesso, o que torna o mesmo ponto-multiponto. Isto significa que pode-se, utilizando uma única linha de dados em um ponto de concentração (cpd, por exemplo), acessar diversos pontos remotos. Cada ponto remoto é acessado através de um endereço lógico diferente, chamado DLCI.

Outra característica interessante do *Frame Relay* é o CIR (*Committed Information Rate*). O *Frame Relay* é um protocolo de redes estatístico, voltado principalmente para o tráfego tipo rajada, em que a sua infraestrutura é compartilhada pela operadora de telefonia e, conseqüentemente, tem um custo mais acessível do que uma linha privada. Isto significa que quando um usuário de serviços de telecomunicações contrata uma linha *Frame Relay* com 128 Kb/s, não quer dizer que ele tenha alocado na rede da operadora esta banda todo o tempo, pois, já que a infraestrutura é compartilhada, haverá momentos em que ocorrerá congestionamento. No ato da assinatura do contrato com a operadora o usuário escolhe uma taxa de CIR, que pode ser de 25%, 50%, a que o usuário escolher, e no momento do congestionamento a operadora garante que terá disponível a banda correspondente ao CIR. Por exemplo, se um usuário tem um *Frame Relay* de 128 KB/s com um CIR de 50%, caso a rede não esteja congestionada o mesmo poderá realizar rajada de tráfego até 128 KB/s. Porém, caso haja congestionamento, esta banda vai sendo automaticamente reduzida até o valor de CIR, podendo este



usuário no pior caso trafegar a 64 KB/s, que corresponde a 50% de 128 KB/s. Quando maior o CIR, maior o custo da linha.

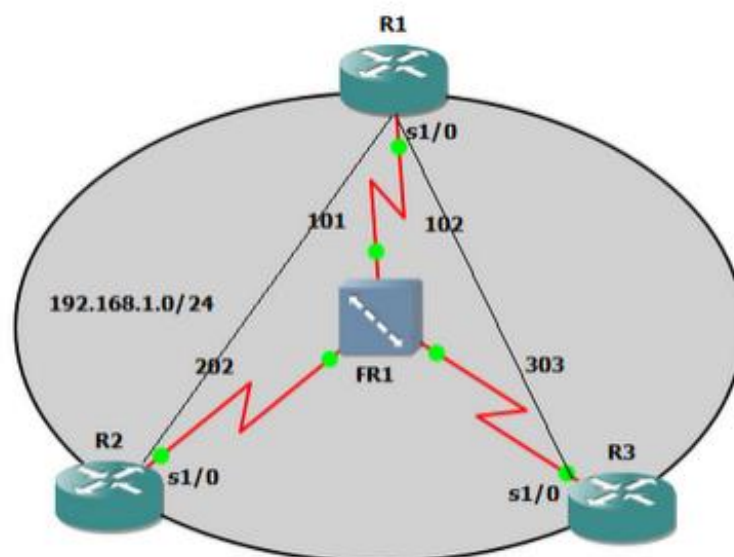


Figura 12 – Topologia Frame Relay Hub & Spoke.

A figura 12 mostra uma topologia *Frame Relay Hub & Spoke* onde os roteadores distribuídos geograficamente podem se comunicar por subinterfaces através de um único link *Frame Relay* por diferentes DLCIs.

## 2.2.3 MPLS TRAFFIC ENGINEERING

### 2.2.3.1 Teoria da Engenharia de Tráfego

A partir do paradigma relativamente simples de comutação de rótulos proposto no MPLS, podem-se criar mecanismos poderosos para atender uma série de questões críticas nos serviços da Internet. Uma das aplicações iniciais mais importantes do MPLS será na área de Engenharia de Tráfego.

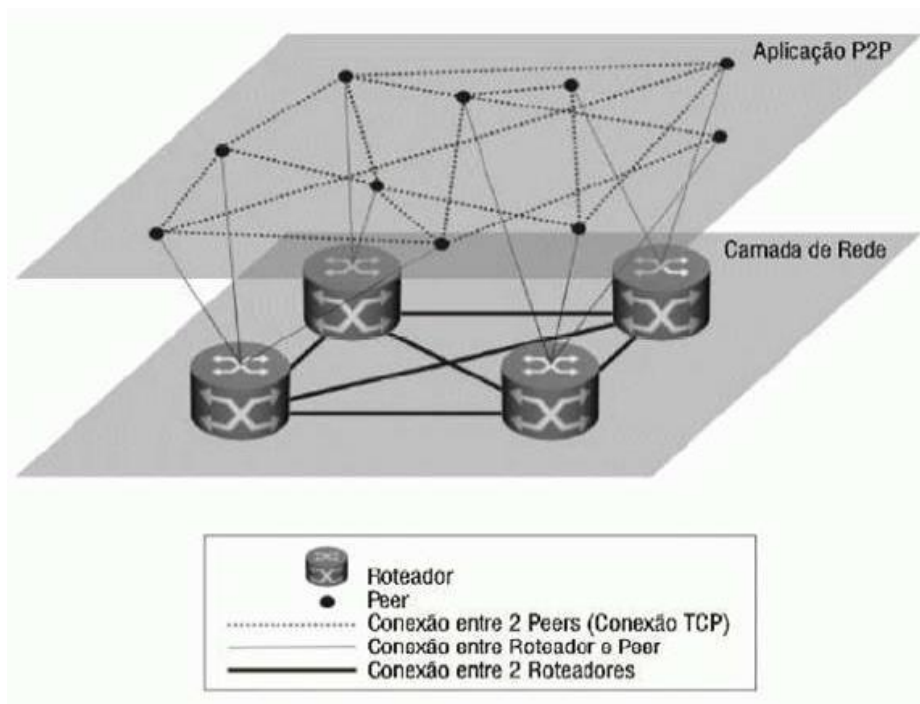


Figura 13 - Modelo *Overlay*.

MPLS é importante para Engenharia de Tráfego porque provê a funcionalidade disponível nos modelos *overlay*, redes construídas sobre redes físicas, com o intuito de migrar parte da complexidade do roteamento para a camada de aplicação como na figura 13, porém de uma maneira integrada e a custos menores. Além disso, oferece a possibilidade de automatizar as funções de Engenharia de Tráfego.

Os aspectos do MPLS mais atrativos à Engenharia de Tráfego são:

- Suporte a roteamento explícito de maneira eficiente, os quais podem ser criados pelo operador ou de forma automática pelos protocolos (possivelmente a característica mais importante introduzida pelo MPLS para a Engenharia de Tráfego);
- LDP's podem ser mantidos de maneira eficiente;
- Troncos de tráfego podem ser instanciados e mapeados em LSP's;

- Pode-se associar um conjunto de atributos a um tronco de tráfego de forma a reger suas características comportamentais;
- Pode-se associar atributos a recursos de forma a restringir a criação de LSP's e troncos de tráfego através deles;
- MPLS permite agregação e desagregação de tráfego, ao passo que o encaminhamento baseado no esquema clássico do IP permite apenas agregação;
- É simples integrar mecanismos de roteamento baseados em restrições com o MPLS *Constraint Based Routing*, uma extensão do LDP para ampliar suas capacidades tais como caminhos de configuração (*setup paths*) além do que está disponível para os protocolos de roteamento. Por exemplo, um rótulo ligado a um caminho pode ser configurado com base nas restrições de rotas explícitas, qualidade de serviços e outros. Todas essas funcionalidades são a chave para a introdução de serviços diferenciados;
- MPLS pode oferecer um *overhead* menor do que outras soluções para Engenharia de Tráfego.

### 2.2.3.2 Configuração da MPLS-TE

Supondo que as configurações básicas do protocolo IGP já estão efetuadas, segue um passo a passo para a configuração do MPLS-TE.

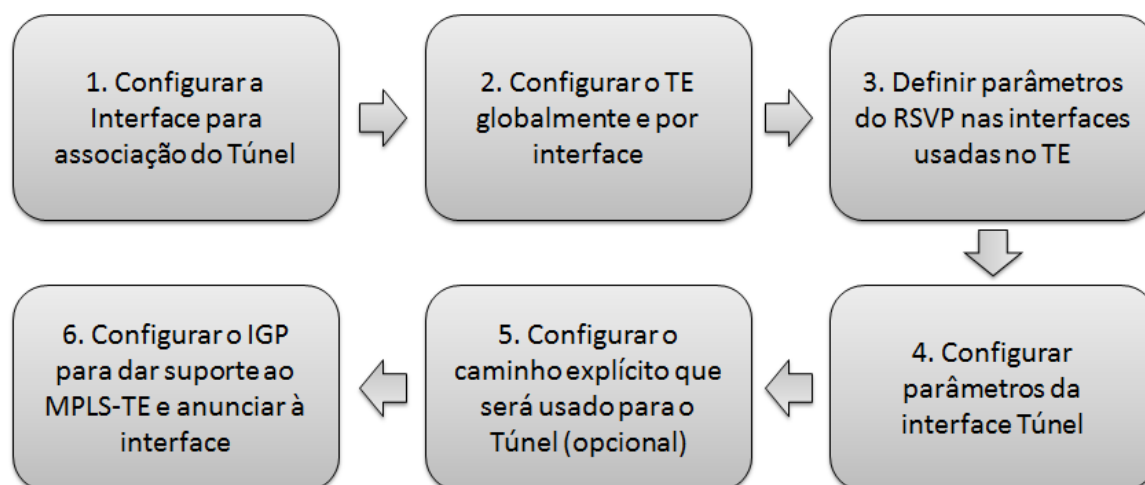


Figura 14 – Configuração básica do MPLS-TE.

**Primeiro Passo:** configurar a interface para associação do Túnel.

Uma interface *loopback* é recomendável para se usar como ID do roteador para a engenharia de tráfego, pois se trata de uma interface que está sempre ativa, não sendo afetada pelo estado das interfaces físicas do roteador.

```
Router (config)#interface Loopback {numero}
Router(config-if)#ip address {endereço IP} {mascara}
```

**Segundo Passo:** configurar o TE globalmente e por interface.

```
Router (config)#mpls traffic-eng tunnels
Router (config)# interface {tipo} {numero}
Router(config-if)#ip address {endereço IP} {mascara}
Router (config-if)#mpls traffic-eng tunnels
```

**Terceiro Passo:** definir parâmetros do RSVP nas interfaces usadas no TE.

Nessa etapa a configuração do RSVP *bandwidth* será usada na interface para sinalização e alocação de recurso para as sessões de engenharia de tráfego. Esse comando pode utilizar dois parâmetros: a quantidade de largura de banda total

reservada na interface e a quantidade máxima de largura de banda que pode ser reservada por fluxo na interface em Kbps.

```
Router (config)#interface {tipo} {numero}
Router(config-if)#ip rsvp bandwidth {reserve de banda 1-10000000 Kbps} {reserve maxima de banda por fluxo 1-10000000 Kbps}
```

#### **Quarto Passo:** configurar parâmetros da interface Túnel

Este passo trata das configurações dos parâmetros que serão utilizados pela interface túnel. Neste caso, se o caminho escolhido pelo LSP é feito usando IGP, a *path option* é escolhida para ser *dynamic*.

```
Router (config)#interface Tunnel {numero}
Router(config-if)#ip unnumbered loopback {numero}
Router(config-if)#tunnel mode mpls traffic-eng
Router(config-if)#tunnel destination {ip do endereço Loopback remote}
Router(config-if)#tunnel mpls traffic-eng path-option {prioridade} dynamic
Router(config-if)#tunnel mpls traffic-eng bandwidth {kbps}
Router(config-if)#tunnel mpls traffic-eng priority {valor da prioridade} {valor do tempo de espera da prioridade}
Router(config-if)#tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
```

#### **Quinto Passo:** configurar o caminho explícito que será usado para o Túnel

(opcional)

```
Router (config)#interface Tunnel {numero}
Router(config-if)#ip unnumbered loopback {numero}
Router(config-if)#tunnel mode mpls traffic-eng
Router(config-if)#tunnel destination {ip do endereço Loopback remote}
Router(config-if)#tunnel mpls traffic-eng path-option {prioridade} name {nome do LSP}
Router(config-if)#tunnel mpls traffic-eng bandwidth {kbps}
Router(config-if)#tunnel mpls traffic-eng priority {valor da prioridade} {valor do tempo de espera da prioridade}
Router(config-if)#tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
Router(config-if)#exit
Router(config)#ip explicit-path name {nome do LSP}
```

```

Router(cfg-ip-expl-path)#next-address {endereço ip do proximo
salto}
Router(cfg-ip-expl-path)#next-address {...}
Router(cfg-ip-expl-path)#next-address {endereço ip do proximo
salto até a chegada ao Loopback de destino}

```

**Sexto Passo:** configurar o IGP para dar suporte ao MPLS-TE e anunciar à interface Túnel para uso pelo IGP

```

Router (config)# router ospf {numero do processo}
Router (config-router)# mpls traffic-eng area {numero da area}
Router (config-router)# mpls traffic-eng router-id {tipo}
{numero da interface}

```

No Anexo encontra-se a configuração completa da topologia da figura 15 que representa uma nuvem MPLS-TE.

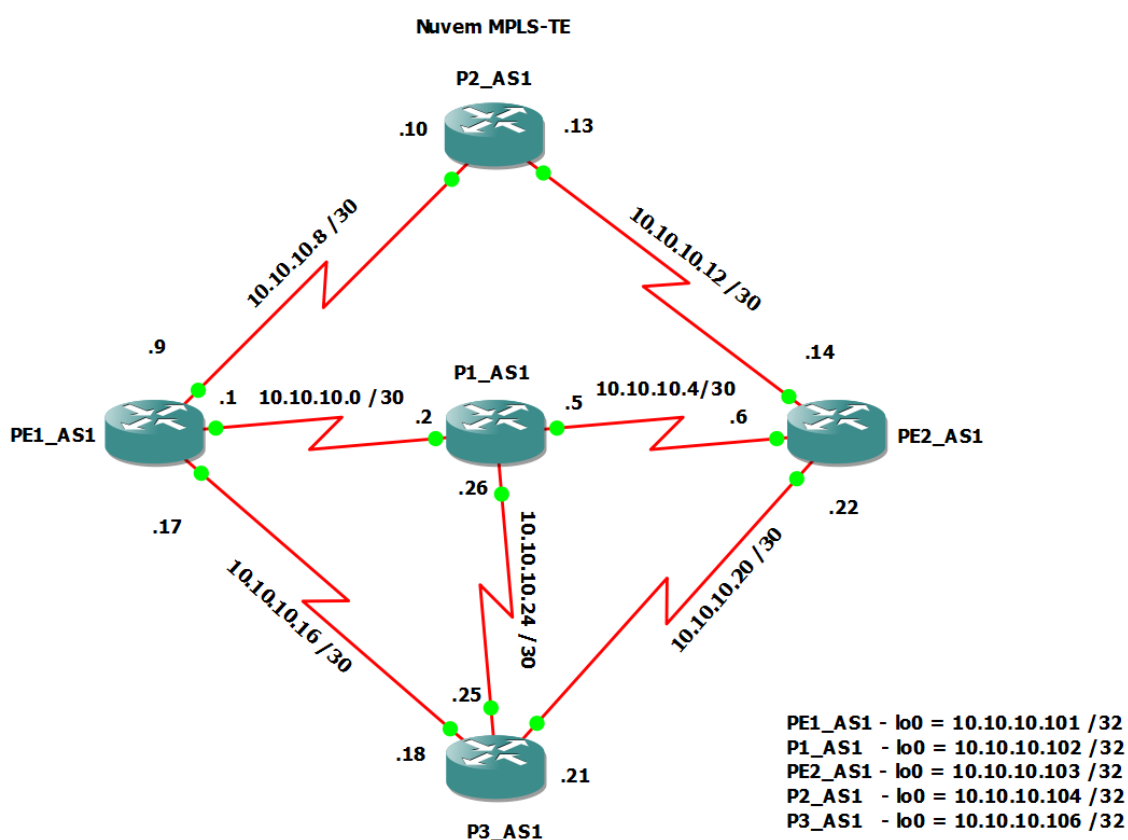


Figura 15 – Exemplo de uma nuvem MPLS-TE

Pode-se analisar a topologia criada através da distribuição de rótulos pelo LDP ao longo dos roteadores com o comando *show mpls traffic-eng topology brief*.

```
PE1_AS1#show mpls traffic-eng topology brief
My_System_id: 10.10.10.101, Globl Link Generation 11
Signalling error holddown: 10 sec

IGP Id: 10.10.10.101, MPLS TE Id:10.10.10.101 Router Node
  link[0 ]:Nbr IGP Id: 10.10.10.106, gen:11
    frag_id 0, Intf Address:10.10.10.17, Nbr Intf Address:10.10.10.18
    TE metric:64, IGP metric:64, attribute_flags:0x0

  link[1 ]:Nbr IGP Id: 10.10.10.102, gen:9
    frag_id 1, Intf Address:10.10.10.1, Nbr Intf Address:10.10.10.2
    TE metric:64, IGP metric:64, attribute_flags:0x0

IGP Id: 10.10.10.102, MPLS TE Id:10.10.10.102 Router Node
  link[0 ]:Nbr IGP Id: 10.10.10.106, gen:10
    frag_id 0, Intf Address:10.10.10.26, Nbr Intf Address:10.10.10.25
    TE metric:64, IGP metric:64, attribute_flags:0x0

  link[1 ]:Nbr IGP Id: 10.10.10.103, gen:10
    frag_id 1, Intf Address:10.10.10.5, Nbr Intf Address:10.10.10.6
    TE metric:64, IGP metric:64, attribute_flags:0x0

  link[2 ]:Nbr IGP Id: 10.10.10.101, gen:10
    frag_id 2, Intf Address:10.10.10.2, Nbr Intf Address:10.10.10.1
    TE metric:64, IGP metric:64, attribute_flags:0x0

IGP Id: 10.10.10.103, MPLS TE Id:10.10.10.103 Router Node
  link[0 ]:Nbr IGP Id: 10.10.10.106, gen:8
    frag_id 0, Intf Address:10.10.10.22, Nbr Intf Address:10.10.10.21
    TE metric:64, IGP metric:64, attribute_flags:0x0

  link[1 ]:Nbr IGP Id: 10.10.10.102, gen:8
    frag_id 1, Intf Address:10.10.10.6, Nbr Intf Address:10.10.10.5
    TE metric:64, IGP metric:64, attribute_flags:0x0

IGP Id: 10.10.10.106, MPLS TE Id:10.10.10.106 Router Node
  link[0 ]:Nbr IGP Id: 10.10.10.102, gen:6
    frag_id 0, Intf Address:10.10.10.25, Nbr Intf Address:10.10.10.26
    TE metric:64, IGP metric:64, attribute_flags:0x0

  link[1 ]:Nbr IGP Id: 10.10.10.101, gen:6
    frag_id 1, Intf Address:10.10.10.18, Nbr Intf Address:10.10.10.17
    TE metric:64, IGP metric:64, attribute_flags:0x0

  link[2 ]:Nbr IGP Id: 10.10.10.103, gen:6
    frag_id 2, Intf Address:10.10.10.21, Nbr Intf Address:10.10.10.22
    TE metric:64, IGP metric:64, attribute_flags:0x0
```

Pode-se comparar a tabela de roteamento tradicional com a tabela de encaminhamento do MPLS com os comandos *show ip route* e *show mpls forwarding-table*.

```
PE1_AS1#show ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U-per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route
```

Gateway of last resort is not set

```

10.0.0.0/8 is variably subnetted, 11 subnets, 2 masks
C    10.10.10.8/30 is directly connected, Serial0/0
O    10.10.10.12/30 [110/192] via 0.0.0.0, 01:03:46, Tunnel0
C    10.10.10.0/30 is directly connected, Serial0/2
O    10.10.10.4/30 [110/128] via 10.10.10.2, 01:03:46, Serial0/2
O    10.10.10.24/30 [110/128] via 10.10.10.18, 01:03:46, Serial0/1
      [110/128] via 10.10.10.2, 01:03:46, Serial0/2
C    10.10.10.16/30 is directly connected, Serial0/1
O    10.10.10.20/30 [110/128] via 10.10.10.18, 01:03:48, Serial0/1
O    10.10.10.106/32 [110/65] via 10.10.10.18, 01:03:48, Serial0/1
O    10.10.10.102/32 [110/65] via 10.10.10.2, 01:03:48, Serial0/2
O    10.10.10.103/32 [110/129] via 0.0.0.0, 01:03:48, Tunnel0
C    10.10.10.101/32 is directly connected, Loopback0
```

```
PE1_AS1#show mpls forwarding-table
```

Local tag	Outgoing tag or VC	Prefix or Tunnel Id	Bytes tag switched	Outgoing interface	Next Hop
16	Pop tag	10.10.10.4/30	0	Se0/2	point2point
17	Untagged[T]	10.10.10.12/30	0	Tu0	point2point
18	Pop tag	10.10.10.20/30	0	Se0/1	point2point
19	Pop tag	10.10.10.24/30	0	Se0/1	point2point
	Pop tag	10.10.10.24/30	0	Se0/2	point2point
20	Pop tag	10.10.10.102/32	0	Se0/2	point2point
21	Pop tag [T]	10.10.10.103/32	0	Tu0	point2point
22	Pop tag	10.10.10.106/32	0	Se0/1	point2point

```
[T] Forwarding through a TSP tunnel.
View additional tagging info with the 'detail' option
```

Os túneis MPLS-TE podem ser vistos com o comando *show mpls traffic-eng tunnels brief*.



```

PE1_AS1#show mpls traffic-eng tunnels brief
Signalling Summary:
  LSP Tunnels Process:      running
  RSVP Process:            running
  Forwarding:              enabled
  Periodic reoptimization: every 3600 seconds, next in 3114 seconds
  Periodic auto-bw collection: disabled
TUNNEL NAME                DESTINATION    UP IF    DOWN IF    STATE/PROT
PE1_AS1_t0                 10.10.10.103  -       Se0/1     up/up
PE1_AS1_t1                 10.10.10.103  -       unknown   up/down
Displayed 2 (of 2) heads, 0 (of 0) midpoints, 0 (of 0) tails

```

De uma forma mais detalhada pode-se verificar o caminho que túnel MPLS-TE percorre com o comando *show mpls traffic-eng tunnels destination {ip de destino}*.

```

PE1_AS1#show mpls traffic-eng tunnels destination 10.10.10.103

Name: PE1_AS1_t0                (Tunnel0) Destination: 10.10.10.103
Status: Admin: up    Oper: up    Path: valid    Signalling: connected

    path option 1, type dynamic (Basis for Setup, path weight 128)

Config Parameters:
  Bandwidth: 100      kbps (Global) Priority: 1 1  Affinity: 0x0/0xFFFF
  Metric Type: TE (default)
  AutoRoute: enabled  LockDown: disabled Loadshare: 100      bw-based
  auto-bw: disabled

InLabel : -
OutLabel : Serial0/1, 16
RSVP Signalling Info:
  Src 10.10.10.101, Dst 10.10.10.103, Tun_Id 0, Tun_Instance 11
RSVP Path Info:
  My Address: 10.10.10.101
  Explicit Route: 10.10.10.18 10.10.10.22 10.10.10.103
  Record Route: NONE
  Tspec: ave rate=100 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=100 kbits
RSVP Resv Info:
  Record Route: NONE
  Fspec: ave rate=100 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=100 kbits
History:
  Tunnel:
    Time since created: 1 hours, 11 minutes
    Time since path change: 1 hours, 10 minutes
  Current LSP:
    Uptime: 1 hours, 10 minutes
--More--

```

Na figura 16 vê-se a extensão LSA tipo 10 do protocolo OSPF definida na RFC 3630 *Traffic Engineering (TE) Extensions to OSPF Version 2* [IETF RFC 3630] para anuncios de links MPLS-TE.

Filter: `ospf.lsa==10` Expression... Clear Apply

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
2303	2451.59297	10.10.10.5	224.0.0.5	OSPF	184	LS Update
2304	2454.13450	10.10.10.6	224.0.0.5	OSPF	68	LS Acknowledge
2313	2460.58967	10.10.10.5	224.0.0.5	OSPF	184	LS Update
2315	2463.13120	10.10.10.6	224.0.0.5	OSPF	68	LS Acknowledge
2319	2465.57918	10.10.10.5	224.0.0.5	OSPF	184	LS Update
2320	2465.65714	10.10.10.6	224.0.0.5	OSPF	184	LS Update
2337	2482.35639	10.10.10.5	224.0.0.5	OSPF	192	LS Update
2338	2482.35639	10.10.10.6	224.0.0.5	OSPF	192	LS Update
2477	2617.61948	10.10.10.5	224.0.0.5	OSPF	192	LS Update
2484	2620.20780	10.10.10.6	224.0.0.5	OSPF	68	LS Acknowledge
2486	2623.37301	10.10.10.5	224.0.0.5	OSPF	192	LS Update
2488	2625.89895	10.10.10.6	224.0.0.5	OSPF	68	LS Acknowledge
2492	2628.34692	10.10.10.5	224.0.0.5	OSPF	192	LS Update
2493	2628.39370	10.10.10.6	224.0.0.5	OSPF	192	LS Update
2572	2703.20508	10.10.10.6	224.0.0.5	OSPF	192	LS Update
2575	2705.73101	10.10.10.5	224.0.0.5	OSPF	68	LS Acknowledge

Area ID: 0.0.0.0 (Backbone)  
 Packet Checksum: 0x3d8b [correct]  
 Auth Type: Null  
 Auth Data (none)

- LS Update Packet
  - Number of LSAs: 1
  - LS Type: opaque LSA, Area-local scope
    - LS Age: 2 seconds
    - Do Not Age: False
    - Options: 0x20 (DC)
    - Link-State Advertisement Type: Opaque LSA, Area-local scope (10)
      - Link State ID opaque Type: Traffic Engineering LSA (1)
      - Link State ID TE-LSA Reserved: 0
      - Link State ID TE-LSA Instance: 0
      - Advertising Router: 10.10.10.104 (10.10.10.104)
      - LS Sequence Number: 0x80000005
      - LS Checksum: 0x9d39
      - Length: 140
      - MPLS Traffic Engineering LSA
        - Router Address: 10.10.10.104
        - Link Information

```

2030 00 00 00 01 00 02 20 0a 01 00 00 00 0a 0a 0a 68 .....h
2040 80 00 00 05 9d 39 00 8c 00 01 00 04 0a 0a 0a 68 .....9..h
2050 00 02 00 6c 00 01 00 01 01 00 00 00 00 02 00 04 ...1....
2060 0a 0a 0a 67 00 03 00 04 0a 0a 0a 0d 00 04 00 04 ...g....
2070 0a 0a 0a 0e 00 05 00 04 00 00 00 40 00 06 00 04 .....@....
2080 48 3c 7a 00 00 07 00 04 47 f4 24 00 00 08 00 20 H<Z....G.$...
2090 47 f4 24 00 47 f4 24 00 47 f4 24 00 47 e7 ef 00 G.$$.G.$$.G...
20a0 47 e7 ef 00 47 e7 ef 00 47 e7 ef 00 47 e7 ef 00 G...G...G...G...
20b0 00 09 00 04 00 00 00 80 02 00 04 00 00 00 40 .....@
  
```

Figura 16 – OSPF extensão LSA tipo 10

### 3 CONCLUSÃO

Engenharia de Tráfego é uma tendência para aplicações primárias em MPLS em função do crescimento explosivo em demanda por recursos na rede, missão crítica em aplicações IP e crescimento competitivo em serviços no mercado. A Engenharia de Tráfego permite aos ISPs mover o fluxo de tráfego ausente em caminhos curtos calculados pelo IGP em caminhos físicos através da rede potencialmente menos congestionados. Na Engenharia de Tráfego pode-se equilibrar a rede agregando o tráfego carregado em vários links, roteadores e switches na rede, de forma que nenhum desses componentes individuais é sobrecarregado ou subutilizado. Resulta em uma rede que é mais eficientemente operada e provê serviços de forma mais estável e previsível.

Todos os ISPs enfrentam o desafio de administrar rápido crescimento. Ao mesmo tempo, a multiplexação, a engenharia de tráfego e os benefícios de performance ganham do modelo IP sobre ATM que precisa ser mantido em ambiente multiserviço. A rede MPLS-TE fornece alguns benefícios sobre o modelo IP sobre ATM ou *Frame Relay*:

- Desenho simples
- Operação em redes baseadas no IP
- Melhor escalabilidade

Porém a principal vantagem do MPLS-TE está no fato deste protocolo proporcionar a combinação das capacidades do ATM com a diferenciação de classes de serviço proporcionada pelo IP. O MPLS-TE permite a construção de LSPs através dos quais é feito o envio da informação. Os LSPs do MPLS-TE deixam o túnel TE controlar o caminho que seu tráfego toma para um determinado destino. Este

modelo é mais flexível do que aquele que encaminha o tráfego com base apenas no endereço de destino.

O MPLS-TE evita problemas de inundação que o ATM e outros modelos *overlay* apresentam. Em vez de formar adjacências automáticas entre LSPs, o MPLS-TE usa um mecanismo denominado *autoroute* para construir uma tabela de encaminhamento sem formar uma rede complexa de vizinho. Tal como o ATM o MPLS-TE faz reserva de largura de banda na rede quando cria os LSPs. Ao reservar largura de banda para um LSP introduzido-se o conceito de recurso consumível na rede.

Com isso o MPLS-TE fornece a flexibilidade para evoluir a funcionalidade dos controles sem mudar o mecanismo de encaminhamento das redes *overlay* já estabelecidas, necessários para a Internet continuar seu crescimento explosivo.

## REFERÊNCIAS

**CARDOSO**, Rogério N. Pereira – VPN – Programa Cisco 1 a 1 – Maio/2003. Disponível em <<http://www.mier.com/reports/cisco/MPLS-VPN.pdf>> Acesso em 20 Dez.12.

**CARVALHO**, Tereza Cristina – Arquitetura de redes de computadores - Editora Brisa.1994.Cap. 3 P. 137 – 236.

**CISCO SYSTEM** – Programa Cisco 1 a 1 – Maio/2003. Disponível em <<http://www.cisco.com.br>> Acesso em 20 out. 2012.

**D. Comer**, J.C. Lin, "TCP Buffering and Performance Over an ATM Network", Technical Report CSD-TR 94-026, Purdue University, 03/94.

**F. Bonomi**, K.W. Fendick, "The Rate-Based Flow Control Framework for the Available Bit Rate ATM Service", IEEE Network, 03/95.

**GOLVEIA**, José / **MAGALHÃES**, Alberto. "Redes de Computadores (Curso Completo)" vol.1, 09/11.

**GOLWAY**, Tom (1997). Planning and Managing ATM Network

**GRANADO**, Filho, Arlindo Garcia, Trabalho sobre MPLS, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – Universidade Estadual de Campinas, Dez de 98. Disponível em <[www.cisco.com.br](http://www.cisco.com.br) > Acesso em 20 Out 12.

**H.T. Kung**, A. Chapman, "The FCVC (Flow-Controlled Virtual Channels) Proposal for ATM Networks", versão 2.0, 93. Proc. 93 International Conf. on Network Protocols, San Francisco, California, 10/93.

**J.C. Mogul**, "Observing TCP Dynamics in Real Networks", ACM Communications, 08/92.

**K.K. Ramakrishnan**, P. Newman, "Integration of Rate and Credit Schemes for ATM Flow Control", IEEE Network, 03/95.

**M. Perloff, K. Reiss**, "Improvements to TCP Performance in High-Speed ATM Networks", Communications of the ACM, 02/95, vol.38,no.2.

**MATA**, Renê Souza da. Dimensionamento de Enlaces em Redes com Integração de Serviços (61 Páginas). Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000252448>> - Acessado em Fev/2013.Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas. Abril/2002. Disponível em :

**MESQUITA**, Márcio G. . MPLS- Multiplrotocolo Label Switching – Trabalho de curso de Graduação (27 Páginas). Universidade Estadual do Ceará – UECE, Disciplina: Tópicos Avançados em Sistemas de Computação. Junho/2001. Disponível

em <[http://www.larces.uece.br/tutoriais/MPLS\\_TUTORIAL.PDF](http://www.larces.uece.br/tutoriais/MPLS_TUTORIAL.PDF)> - Acessado em nov/2003.

**OSBORNE**, Eirc – Engenharia de Tráfego com MPLS – 1ª Edição – Editora Campus,02, Cap. 1 P. 9 – 30.

**R. Jain, K.K.** Ramakrishnan, D.M. Chiu, "Congestion Avoidance in Computer Networks with a Connectionless Network Layer", Digital Equipment Corporation, Technical Report, DEC-TR-506, 08/87. Também em C. Patridge, Ed., "Innovations in Internetworking", Artech House, 88.

**ROSEN**, E, Network Working Group - Request for Comments – Janeiro de 2001 Disponível em <<http://neacm.fe.up.pt/pub/rfc/rfc3031.txt>> Acessado em Jan 13.

**S. Floyd**, "TCP and Explicit Congestion Notification".

**S. Floyd**, V. Jacobson, "Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance", IEEE/ACM Transactions on Networking, vol.1, no.4, 08/93.

**SMITH**, Philip, Frame Relay: Principles and Applications, 93.

**TANENBAUM**, Andrew S., "Redes de Computadores", Editora Campus, 94.

**The ATM Forum Technical Committee**: 622.08 Mbps Physical Layer Specification af-phy-0046.000. Disponível em: <[http://jeri.larces.uece.br/larces/?page\\_id=38](http://jeri.larces.uece.br/larces/?page_id=38)> Acessado em Mar de 13.

**V. Jacobson**, "Congestion Avoidance and Control", ACM Computer Communication Review, vol.18, 08/88. Proceedings of the Sigcomm'88 Symposium in Stanford, CA, <ftp://ftp.ee.lbl.gov/papers/congavoid.ps.Z>, 08/88.

**V. Jacobson**, D. Borman, R. Braden, "TCP extensions for high performance", RFC-1323, IETF, 05/92.

## ANEXO – CONFIGURAÇÃO DOS ROTEADORES

### A1 ROUTER P1\_AS1

```
version 12.3
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname P1_AS1
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
no aaa new-model
!
resource policy
!
memory-size iomem 5
ip subnet-zero
!
ip cef
no ip domain lookup
ip domain name lab.local
no ip dhcp use vrf connected
!
no ip ips deny-action ips-interface
!
mpls label protocol ldp
mpls traffic-eng tunnels
no ftp-server write-enable
!
no crypto isakmp ccm
!
interface Loopback0
 ip address 10.10.10.102 255.255.255.255
!
interface Serial0/0
 ip address 10.10.10.5 255.255.255.252
 mpls traffic-eng tunnels
 tag-switching ip
 serial restart-delay 0
 no dce-terminal-timing-enable
 ip rsvp bandwidth 1000
!
interface Serial0/1
 ip address 10.10.10.2 255.255.255.252
```

```
mpls traffic-eng tunnels
tag-switching ip
serial restart-delay 0
no dce-terminal-timing-enable
ip rsvp bandwidth 1000
!
interface Serial0/2
ip address 10.10.10.26 255.255.255.252
mpls traffic-eng tunnels
tag-switching ip
serial restart-delay 0
no dce-terminal-timing-enable
ip rsvp bandwidth 1000
!
interface Serial0/3
no ip address
shutdown
serial restart-delay 0
no dce-terminal-timing-enable
!
interface FastEthernet1/0
no ip address
shutdown
duplex auto
speed auto
!
router ospf 10
mpls traffic-eng router-id Loopback0
mpls traffic-eng area 0
log-adjacency-changes
network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
!
no ip http server
no ip http secure-server
ip classless
!
control-plane
!
line con 0
exec-timeout 0 0
privilege level 15
logging synchronous
line aux 0
exec-timeout 0 0
privilege level 15
logging synchronous
line vty 0 4
```



```
login
!  
end
```

## A2 ROUTER P2\_AS1

```
version 12.3  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
no service password-encryption  
!  
hostname P2_AS1  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
no aaa new-model  
!  
resource policy  
!  
memory-size iomem 5  
ip subnet-zero  
!  
ip cef  
no ip domain lookup  
ip domain name lab.local  
no ip dhcp use vrf connected  
!  
no ip ips deny-action ips-interface  
!  
mpls label protocol ldp  
mpls traffic-eng tunnels  
no ftp-server write-enable  
!  
no crypto isakmp ccm  
!  
interface Loopback0  
ip address 10.10.10.104 255.255.255.255  
!  
interface Serial0/0  
ip address 10.10.10.13 255.255.255.252  
mpls traffic-eng tunnels  
tag-switching ip  
serial restart-delay 0  
no dce-terminal-timing-enable  
ip rsvp bandwidth 1000
```

```
!  
interface Serial0/1  
  ip address 10.10.10.10 255.255.255.252  
  mpls traffic-eng tunnels  
  tag-switching ip  
  serial restart-delay 0  
  no dce-terminal-timing-enable  
  ip rsvp bandwidth 1000  
!  
interface Serial0/2  
  no ip address  
  shutdown  
  serial restart-delay 0  
  no dce-terminal-timing-enable  
!  
interface Serial0/3  
  no ip address  
  shutdown  
  serial restart-delay 0  
  no dce-terminal-timing-enable  
!  
interface FastEthernet1/0  
  no ip address  
  shutdown  
  duplex auto  
  speed auto  
!  
router ospf 10  
  mpls traffic-eng router-id Loopback0  
  mpls traffic-eng area 0  
  log-adjacency-changes  
  network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0  
!  
no ip http server  
no ip http secure-server  
ip classless  
!  
control-plane  
!  
line con 0  
  exec-timeout 0 0  
  privilege level 15  
  logging synchronous  
line aux 0  
  exec-timeout 0 0  
  privilege level 15  
  logging synchronous
```

```
line vty 0 4
  login
!
end
```

### A3 ROUTER P3\_AS1

```
version 12.3
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname P3_AS1
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
no aaa new-model
!
resource policy
!
memory-size iomem 5
ip subnet-zero
!
ip cef
no ip domain lookup
ip domain name lab.local
no ip dhcp use vrf connected
!
no ip ips deny-action ips-interface
!
mpls label protocol ldp
mpls traffic-eng tunnels
no ftp-server write-enable
!
no crypto isakmp ccm
!
interface Loopback0
 ip address 10.10.10.106 255.255.255.255
!
interface Serial0/0
 ip address 10.10.10.18 255.255.255.252
 mpls traffic-eng tunnels
 tag-switching ip
 serial restart-delay 0
 no dce-terminal-timing-enable
```

```
    ip rsvp bandwidth 1000
!
interface Serial0/1
  ip address 10.10.10.21 255.255.255.252
  mpls traffic-eng tunnels
  tag-switching ip
  serial restart-delay 0
  no dce-terminal-timing-enable
  ip rsvp bandwidth 1000
!
interface Serial0/2
  ip address 10.10.10.25 255.255.255.252
  mpls traffic-eng tunnels
  tag-switching ip
  serial restart-delay 0
  no dce-terminal-timing-enable
  ip rsvp bandwidth 1000
!
interface Serial0/3
  no ip address
  shutdown
  serial restart-delay 0
  no dce-terminal-timing-enable
!
interface FastEthernet1/0
  no ip address
  shutdown
  duplex auto
  speed auto
!
router ospf 10
  mpls traffic-eng router-id Loopback0
  mpls traffic-eng area 0
  log-adjacency-changes
  network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
!
no ip http server
no ip http secure-server
ip classless
!
control-plane
!
line con 0
  exec-timeout 0 0
  privilege level 15
  logging synchronous
line aux 0
```

```
exec-timeout 0 0
privilege level 15
logging synchronous
line vty 0 4
  login
!
End
```

#### A4 ROUTER PE1\_AS1

```
version 12.3
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname PE1_AS1
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
no aaa new-model
!
resource policy
!
memory-size iomem 5
ip subnet-zero
!
ip cef
no ip domain lookup
ip domain name lab.local
no ip dhcp use vrf connected
!
no ip ips deny-action ips-interface
!
mpls label protocol ldp
mpls traffic-eng tunnels
no ftp-server write-enable
!
no crypto isakmp ccm
!
interface Tunnel0
  ip unnumbered Loopback0
  tunnel destination 10.10.10.103
  tunnel mode mpls traffic-eng
  tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
  tunnel mpls traffic-eng priority 1 1
```

```
tunnel mpls traffic-eng bandwidth 100
tunnel mpls traffic-eng path-option 1 dynamic
no routing dynamic
!
interface Tunnel1
 ip unnumbered Loopback0
 tunnel destination 10.10.10.103
 tunnel mode mpls traffic-eng
 tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
 tunnel mpls traffic-eng priority 1 1
 tunnel mpls traffic-eng bandwidth 100
 tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name LSP1
 no routing dynamic
!
interface Tunnel2
 ip unnumbered Loopback0
 tunnel destination 10.10.10.103
 tunnel mode mpls traffic-eng
 tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
 tunnel mpls traffic-eng priority 3 3
 tunnel mpls traffic-eng bandwidth 50
 tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name LSP2
 no routing dynamic
!
interface Loopback0
 ip address 10.10.10.101 255.255.255.255
!
interface Serial0/0
 ip address 10.10.10.9 255.255.255.252
 mpls traffic-eng tunnels
 tag-switching ip
 serial restart-delay 0
 no dce-terminal-timing-enable
 ip rsvp bandwidth 256 256
!
interface Serial0/1
 ip address 10.10.10.17 255.255.255.252
 mpls traffic-eng tunnels
 tag-switching ip
 serial restart-delay 0
 no dce-terminal-timing-enable
 ip rsvp bandwidth 256 256
!
interface Serial0/2
 ip address 10.10.10.1 255.255.255.252
 mpls traffic-eng tunnels
 tag-switching ip
```

```
serial restart-delay 0
no dce-terminal-timing-enable
ip rsvp bandwidth 256 256
!
interface Serial0/3
no ip address
shutdown
serial restart-delay 0
no dce-terminal-timing-enable
!
interface FastEthernet1/0
no ip address
shutdown
duplex auto
speed auto
!
router ospf 10
mpls traffic-eng router-id Loopback0
mpls traffic-eng area 0
log-adjacency-changes
network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
!
no ip http server
no ip http secure-server
ip classless
!
ip explicit-path name LSP1 enable
next-address 10.10.10.18
next-address 10.10.10.22
next-address 10.10.10.103
!
ip explicit-path name LSP2 enable
next-address 10.10.10.2
next-address 10.10.10.6
next-address 10.10.10.103
!
control-plane
!
line con 0
exec-timeout 0 0
privilege level 15
logging synchronous
line aux 0
exec-timeout 0 0
privilege level 15
logging synchronous
line vty 0 4
```

```
login
!  
End
```

#### A5 ROUTER PE2\_AS1

```
version 12.3  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
no service password-encryption  
!  
hostname PE2_AS1  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
no aaa new-model  
!  
resource policy  
!  
memory-size iomem 5  
ip subnet-zero  
!  
ip cef  
no ip domain lookup  
ip domain name lab.local  
no ip dhcp use vrf connected  
!  
no ip ips deny-action ips-interface  
!  
mpls label protocol ldp  
mpls traffic-eng tunnels  
no ftp-server write-enable  
!  
no crypto isakmp ccm  
!  
interface Loopback0  
ip address 10.10.10.103 255.255.255.255  
!  
interface Serial0/0  
ip address 10.10.10.22 255.255.255.252  
mpls traffic-eng tunnels  
tag-switching ip  
serial restart-delay 0  
no dce-terminal-timing-enable  
fair-queue 64 256 32
```



```
    ip rsvp bandwidth 1000
!
interface Serial0/1
 ip address 10.10.10.14 255.255.255.252
 mpls traffic-eng tunnels
 tag-switching ip
 serial restart-delay 0
 no dce-terminal-timing-enable
 fair-queue 64 256 32
 ip rsvp bandwidth 1000
!
interface Serial0/2
 ip address 10.10.10.6 255.255.255.252
 mpls traffic-eng tunnels
 tag-switching ip
 serial restart-delay 0
 no dce-terminal-timing-enable
 fair-queue 64 256 32
 ip rsvp bandwidth 1000
!
interface Serial0/3
 no ip address
 shutdown
 serial restart-delay 0
 no dce-terminal-timing-enable
!
interface FastEthernet1/0
 no ip address
 shutdown
 duplex auto
 speed auto
!
router ospf 10
 mpls traffic-eng router-id Loopback0
 mpls traffic-eng area 0
 log-adjacency-changes
 network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
!
no ip http server
no ip http secure-server
ip classless
!
control-plane
!
line con 0
 exec-timeout 0 0
 privilege level 15
```

```
logging synchronous
line aux 0
  exec-timeout 0 0
  privilege level 15
  logging synchronous
line vty 0 4
  login
!
End
```