

# Aula 23 - Camada de Enlace: MPLS

Diego Passos

Universidade Federal Fluminense

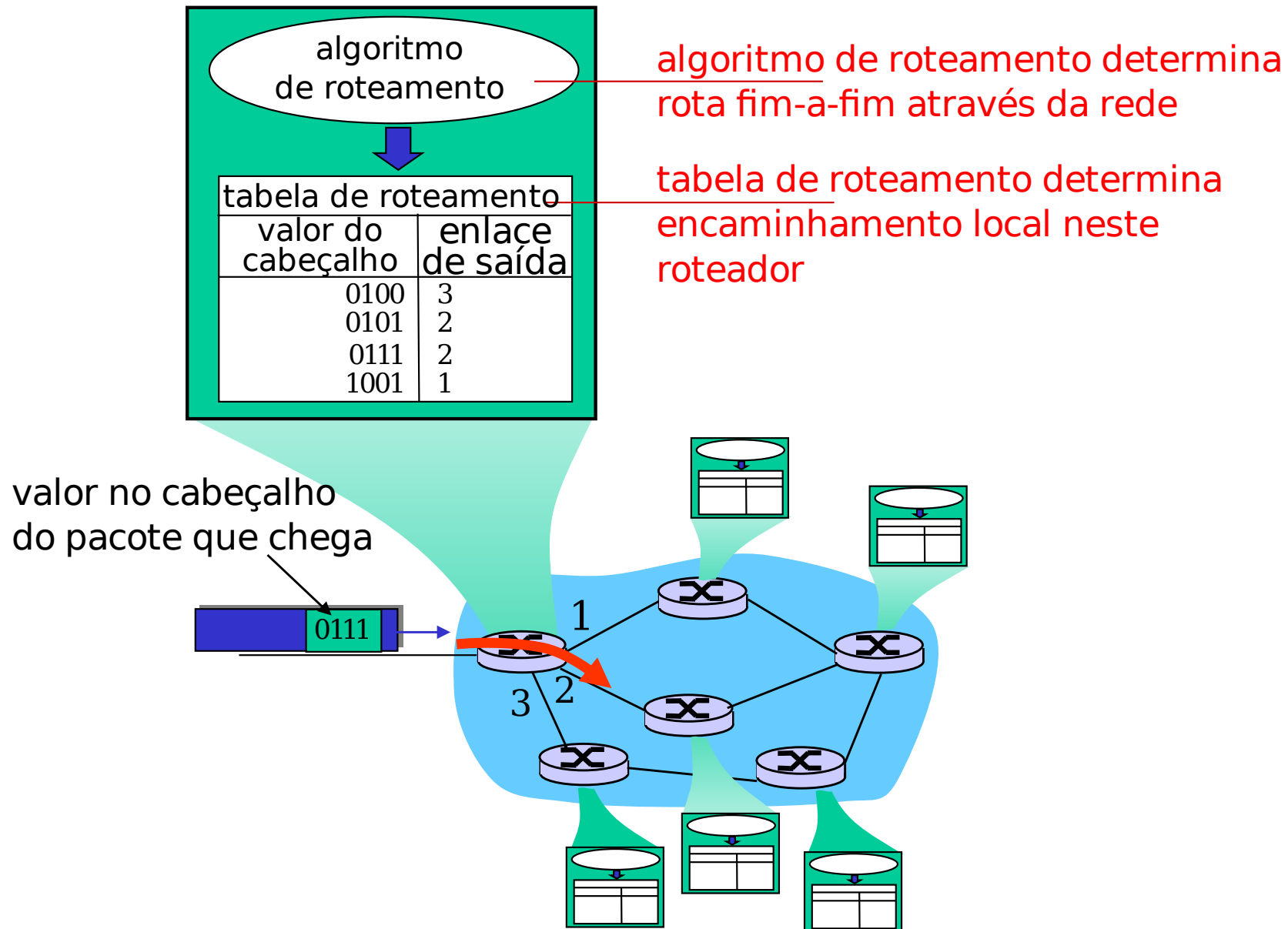
Redes de Computadores

# MPLS

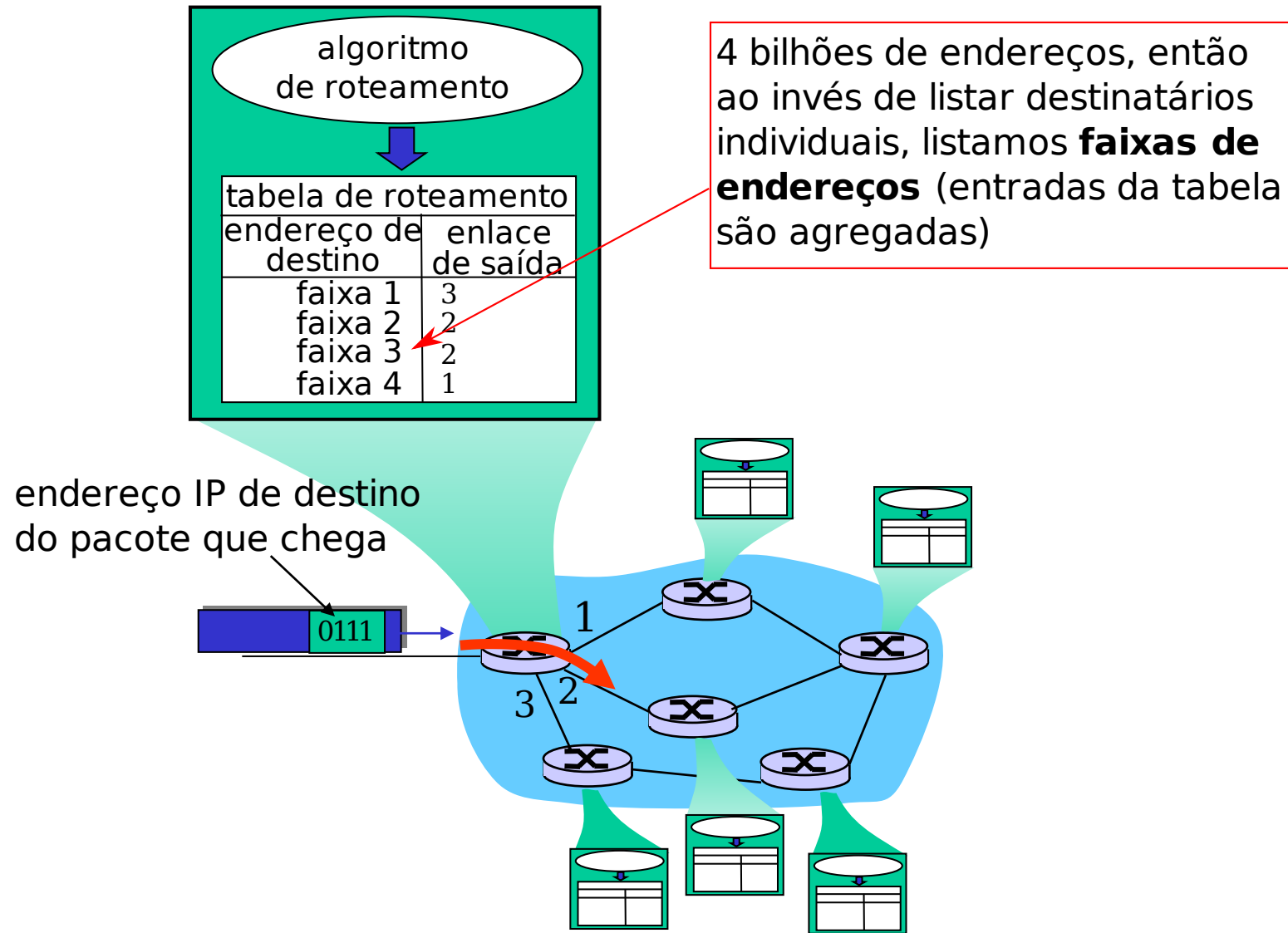
# Duas Funções Chave da Camada de Rede [Revisão]

- **Encaminhamento:** mover pacotes da entrada para a saída de um roteador.
- **Roteamento:** determina rota usada por pacote da origem ao destino.
  - **Algoritmos de roteamento.**
- **Analogia:**
  - **Roteamento:** processo de planejar uma viagem da origem ao destino.
  - **Encaminhamento:** processo de realizar um trecho da viagem.

# Sinergia entre Roteamento e Encaminhamento [Revisão]



# Redes de Datagramas: Tabela de Roteamento (I) [Revisão]



# Redes de Datagramas: Tabela de Roteamento (II) [Revisão]

Faixa de Endereços de Destino	Enlace
11001000 00010111 00010000 00000000 até 11001000 00010111 00010111 11111111	0
11001000 00010111 00011000 00000000 até 11001000 00010111 00011000 11111111	1
11001000 00010111 00011001 00000000 até 11001000 00010111 00011111 11111111	2
Caso contrário	3

- **Pergunta:** e se os endereços não são divididos de forma tão organizada?

# Casamento por Prefixo mais Longo [Revisão]

## Casamento por Prefixo mais longo

Ao procurar por uma entrada na tabela de roteamento para um destino, opte sempre pelo **prefixo mais longo** que casa com o endereço do destino.

Faixa de Endereços de Destino	Enlace
11001000 00010111 00010*** *****	0
11001000 00010111 00011000 *****	1
11001000 00010111 00011*** *****	2
Caso contrário	3

- Exemplos:
  - Destino: 11001000 00010111 00010110 10100001. Qual interface?
  - Destino: 11001000 00010111 00011000 10101010. Qual interface?

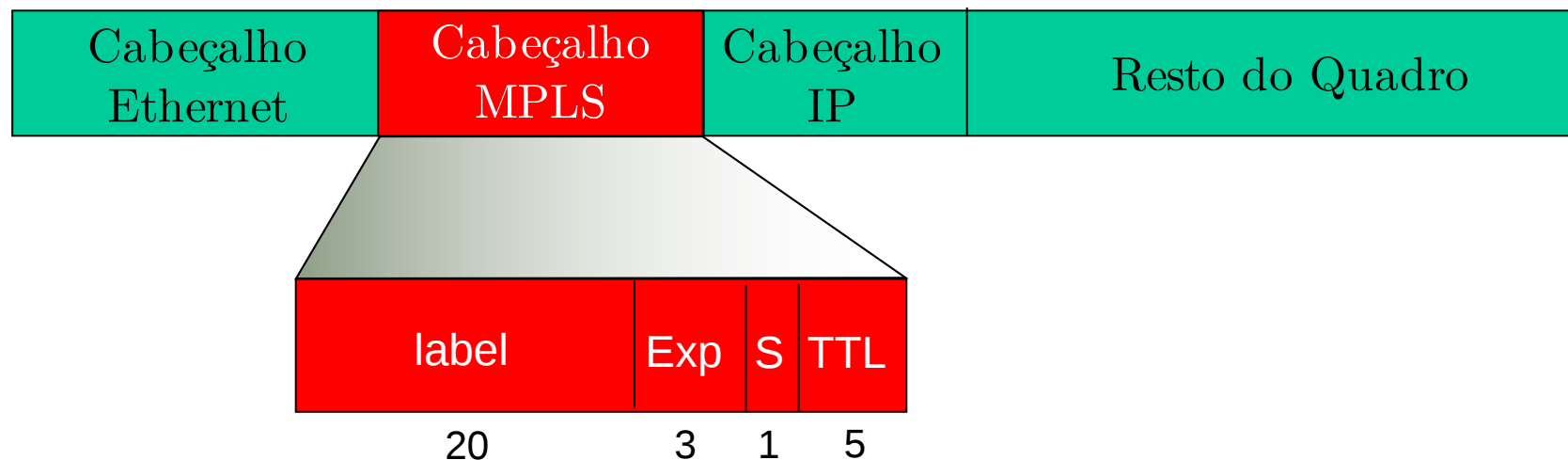
# Busca em Tabela de Roteamento

- Pode ser implementada de várias formas.
- Por *software*:
  - Busca linear:  $O(n)$ .
  - Busca binária (assumindo ordenação das entradas):  $O(\log_2 n)$
- Esta complexidade é “boa”?
- Lembre-se que:
  - Volume de pacotes encaminhados pode ser muito grande: pode chegar a vários **milhões por segundo**.
  - As tabelas de roteamento da Internet hoje não são tão compactas assim.



# Multiprotocol Label Switching (MPLS)

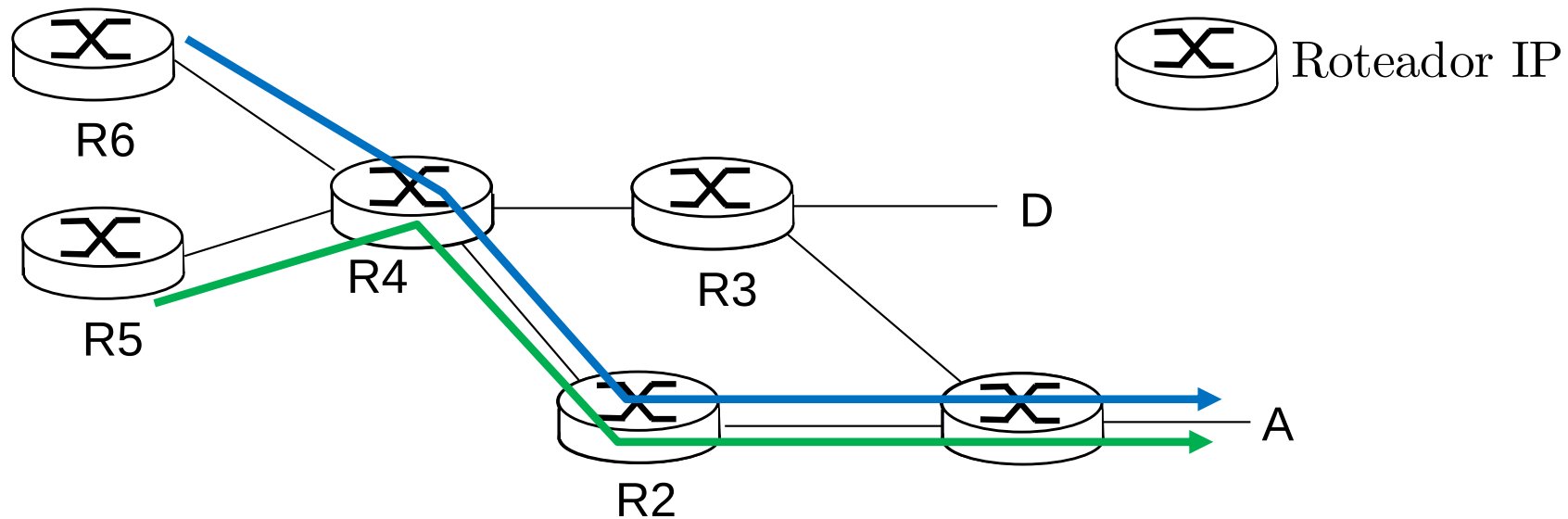
- Objetivo inicial: encaminhamento IP rápido utilizando *label* de tamanho fixo (ao invés de endereço IP).
  - Busca rápida em tabela de roteamento utilizando identificador como índice (ao invés de casamento de prefixo mais longo).
  - Empresta ideias das Redes de Circuitos Virtuais (VC).
  - Mas datagrama IP ainda mantém seus endereços IP de origem/destino.



# Roteadores MPLS

- Também conhecidos como *label-switching router*.
- Encaminham pacotes para interfaces de saída com base apenas no valor do *label* (não inspecionam endereço IP).
  - Tabela de roteamento MPLS é distinta da tabela de roteamento IP.
- **Flexibilidade:** decisões de encaminhamento do MPLS podem ser diferentes das do IP.
  - Utilizar endereços de destino **e de origem** para rotear fluxos para o mesmo destino de forma diferente (**engenharia de tráfego**).
  - Re-rotear fluxos rapidamente se enlace falha: caminhos de *backup* pré-computados (útil para VoIP).

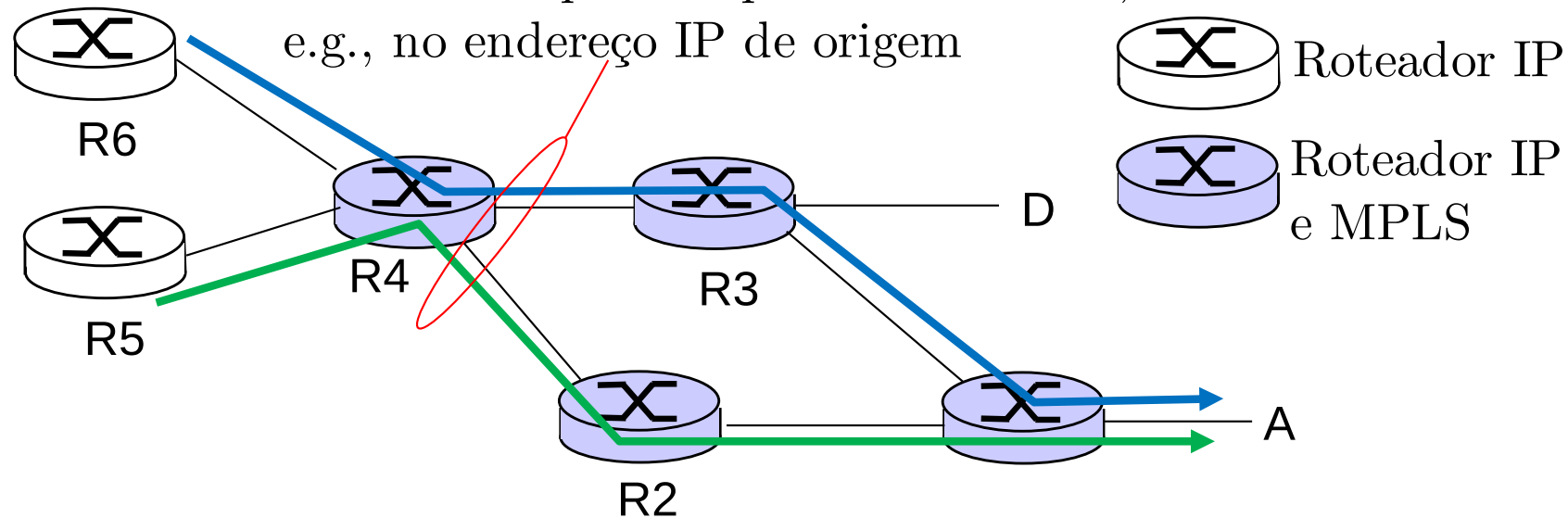
# Caminhos MPLS vs. Caminhos IP (I)



- **Roteamento IP:** caminho para o destinatário é determinado apenas pelo endereço IP de destino.

# Caminhos MPLS vs. Caminhos IP (II)

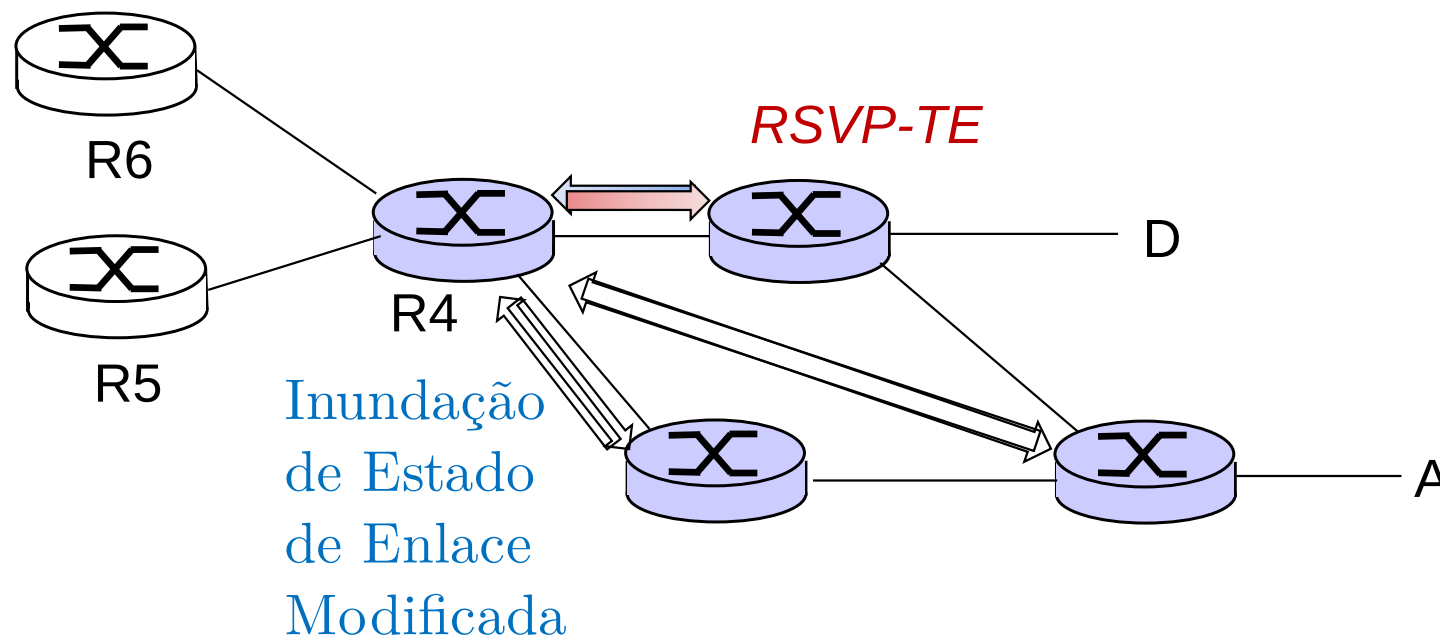
Label Edge Router (R4) - pode usar caminhos MPLS diferentes para encaminhar pacotes para A com base, e.g., no endereço IP de origem



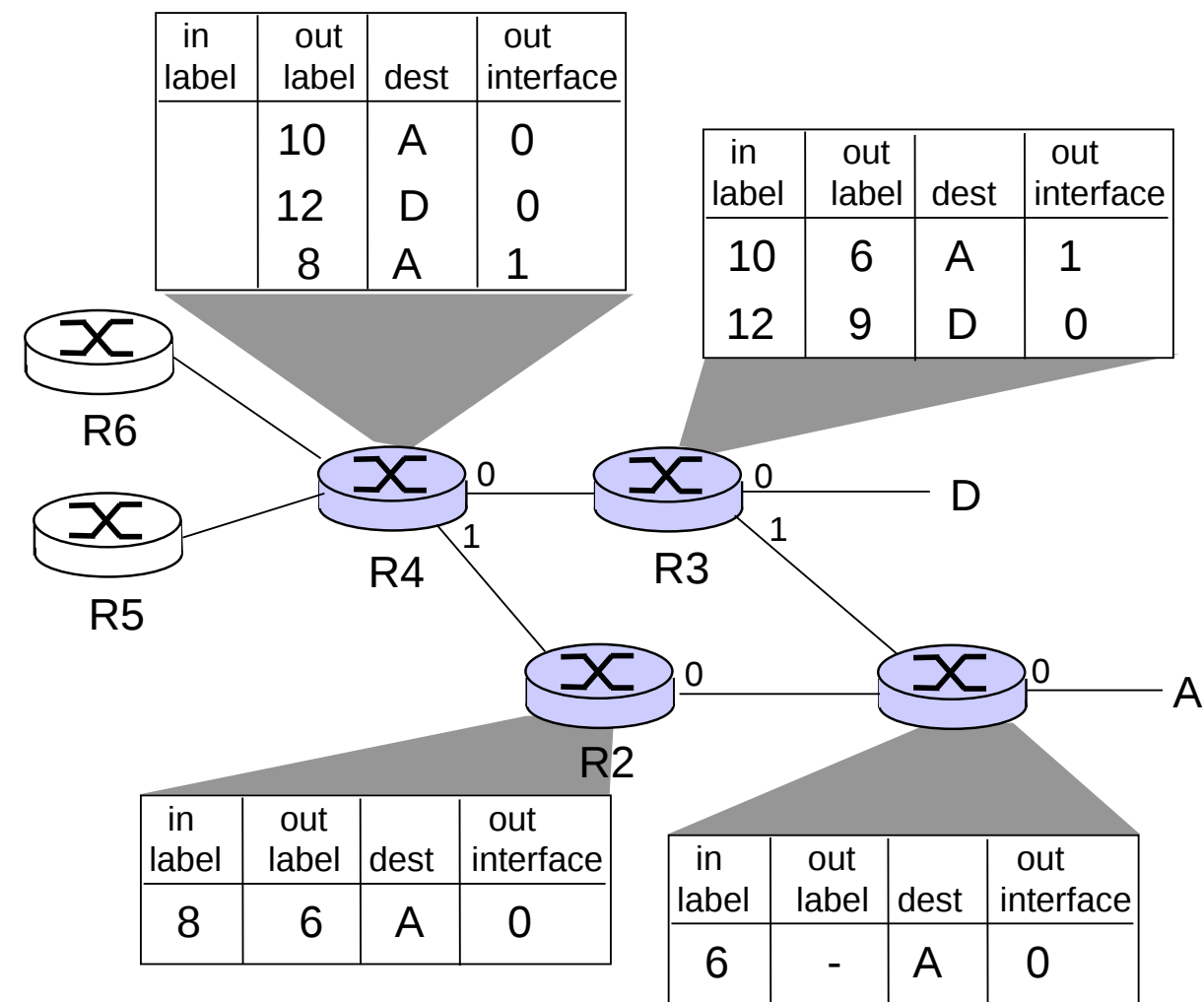
- **Roteamento IP:** caminho para o destinatário é determinado apenas pelo endereço IP de destino.
- **Roteamento MPLS:** caminho para o destino pode ser baseado em ambos os endereços de origem e destino.
  - Reestabelecimento rápido de rotas: rotas de *backup* pré-computadas em caso de falhas de enlaces.

# Sinalização MPLS

- Modificar protocolos de estado de enlace como o OSPF e o IS-IS para carregar informação utilizada pelo roteamento MPLS.
  - e.g., largura de banda dos enlaces, quantidade de banda “reservada”.
- Roteadores MPLS de borda (LERs) usam o protocolo de sinalização RSVP-TE para configurar o encaminhamento MPLS dos demais roteadores MPLS.

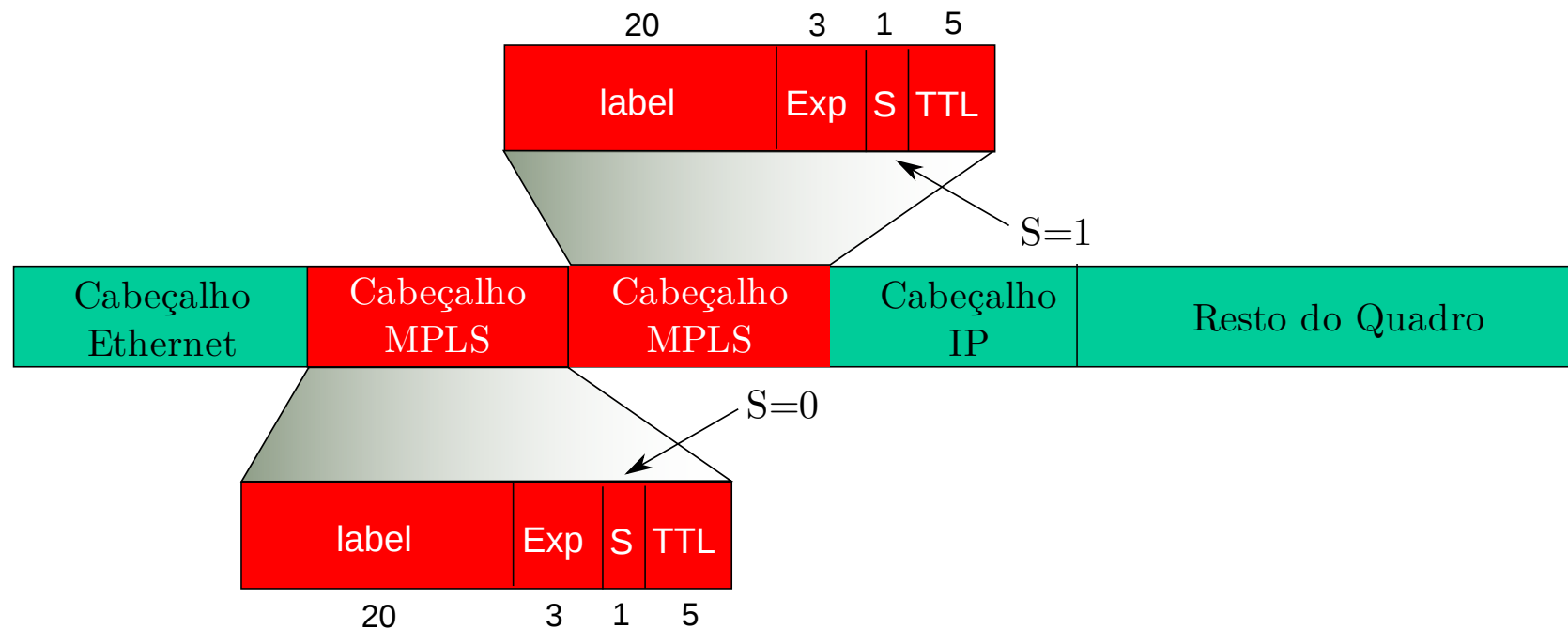


# Tabelas de Roteamento MPLS



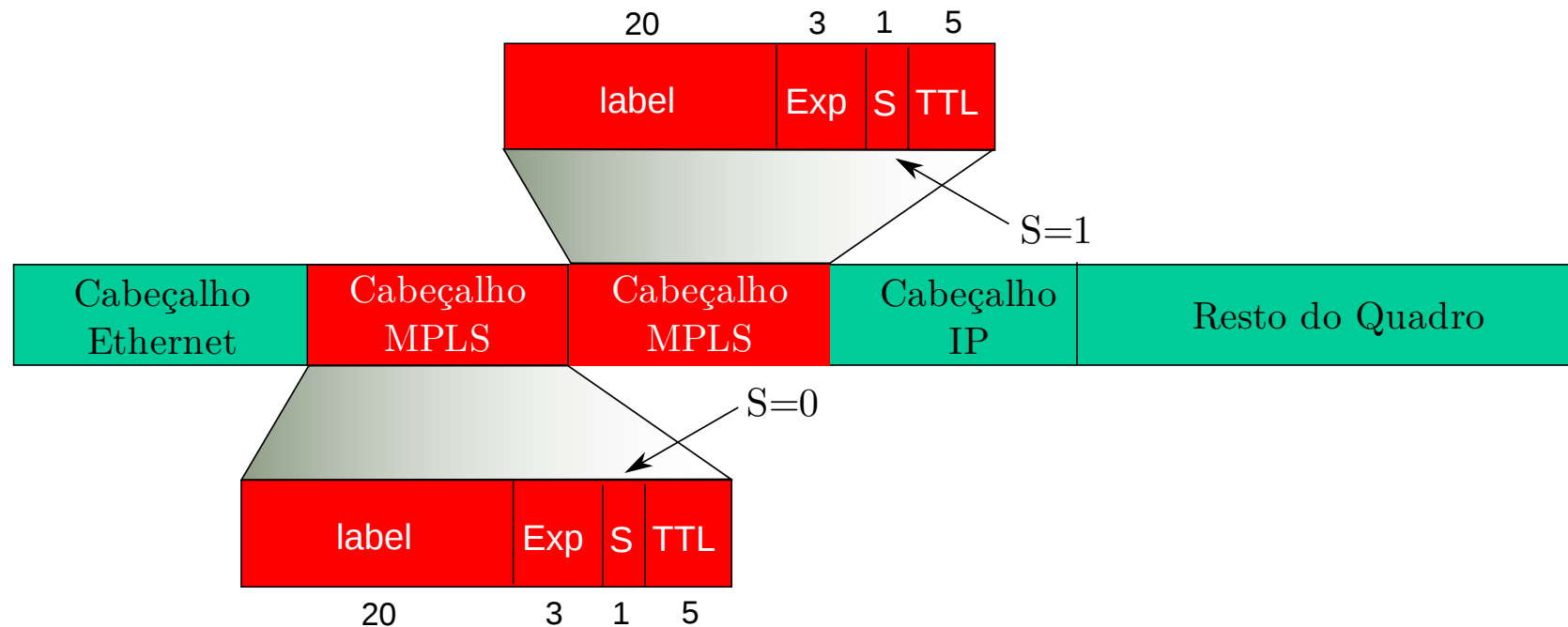
# MPLS: Empilhamento de Labels (I)

- Roteadores MLPS podem “empilhar” *labels*.
  - Pacote MPLS (i.e., incluindo cabeçalho MPLS) é encapsulado em outro cabeçalho MPLS.
  - *Label* original é mantido, novo *label externo* é adicionado.
  - Operação de *push*.



# MPLS: Empilhamento de *Labels* (II)

- Encaminhamento realizado apenas com base no *label* mais externo.
- Em certo roteador, tabela pode instruir a realização de um *pop*, revelando *label* mais interno.

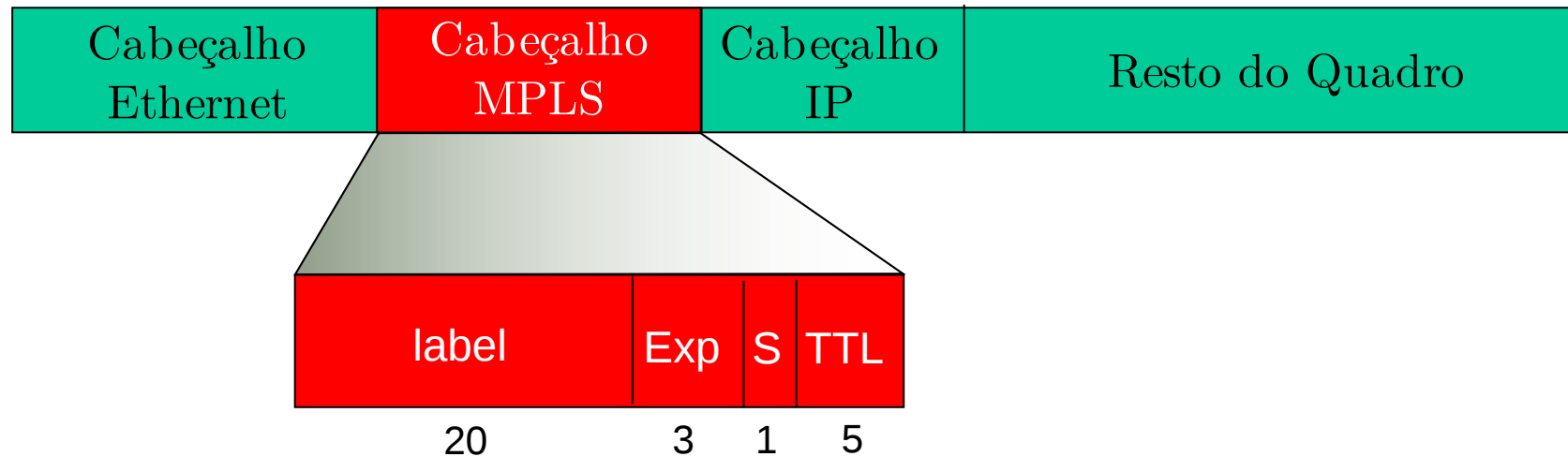


- Permite **roteamento hierárquico**.



# MPLS: Classes de Tráfego

- O campo Exp, de 3 bits, atualmente é usado como um identificador de Classe de Serviço (CoS).
- Permite diferenciar, para um mesmo *label*, pacotes que devem ser tratados de forma distinta.
- **Diferenciação de tráfego.**
  - Mais detalhes no Capítulo 7.



# MPLS: Camada 2.5

- MPLS não é um protocolo de camada 2.
  - Se preocupa com encaminhamento de pacotes por **múltiplos saltos**.
- Também não é exatamente um protocolo de camada 3.
  - Encapsula o IP.
- Sua localização exata na pilha de protocolos é discutível.
  - e.g., Kurose e Ross o apresentam no capítulo da camada de enlace.
  - e.g., Tanenbaum e Wetherall o apresentam no capítulo de camada de rede.
- Por isso, alguns autores classificam o MPLS como um protocolo de **camada 2.5**.

# MPLS e Outros Protocolos

- MPLS foi idealizado para encapsular tráfego IP.
- **Mas** é genérico o suficiente para trabalhar com outros protocolos da camada de rede.
- Também pode ser usado com diversas tecnologias de camada de enlace.
  - Não necessariamente Ethernet.

- Motivação original era acelerar encaminhamento de datagramas IP, simplificando buscas na tabela de roteamento.
  - Ainda relevante com tecnologias como TCAM?
- Hoje, muito empregado por sua flexibilidade.
  - Dissocia roteamento do encaminhamento.
  - Permite aplicação de critérios variados, diferenciação de tráfego.
  - Simplifica implantação de soluções de **Engenharia de Tráfego**.
  - Simplifica a utilização de múltiplas rotas entre origem e destino.
  - ...