

# INTRODUÇÃO AO MPLS TRAFFIC ENGINEERING (MPLS-TE)

---

Leonardo Furtado  
Tech Talk | Redes & Telecom

/LeonardoFurtadoNYC

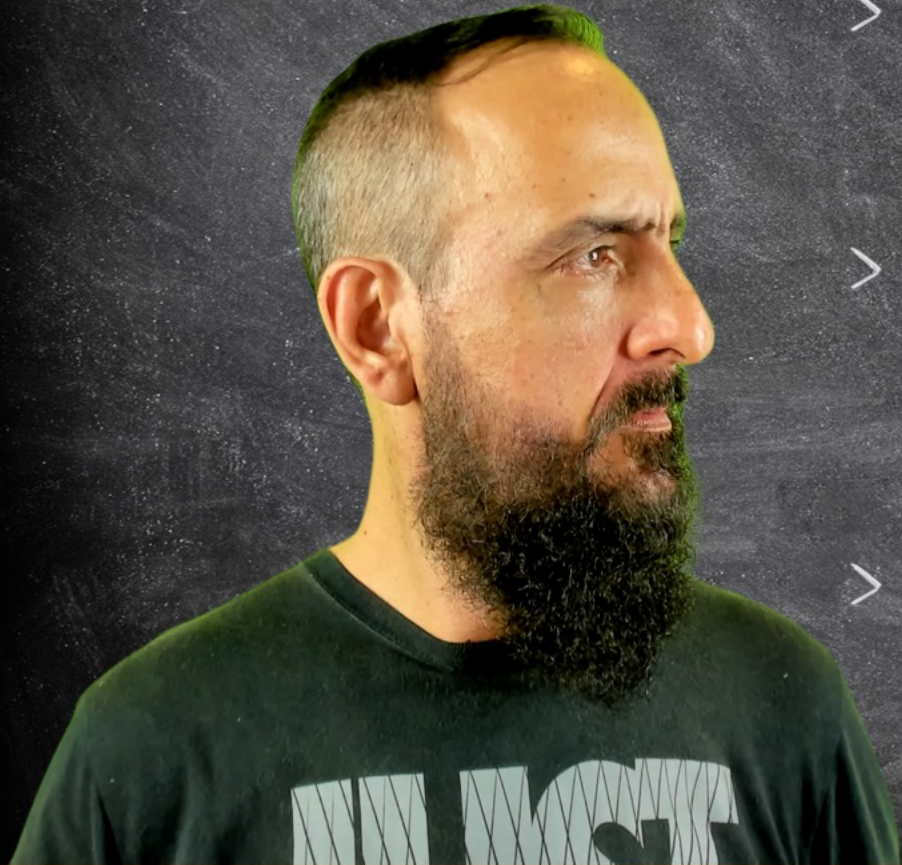
26 de novembro de 2021



# SOBRE O PALESTRANTE

---

- > Sou Principal Network Engineer (80%) e Instructor/Facilitator (20%).
- > Em adição, atuo pelo High Touch Delivery Learning Services / Cisco Advanced Services' Education, lecionando clientes Cisco em diversos países sobre as tecnologias e plataformas determinantes para as arquiteturas Carrier Ethernet e NGN de última geração.
- > Posso formação em Ciência da Computação e 26 anos de experiência em diversos segmentos de mercado e verticais tecnológicas, de routing & switching, wireless, segurança e colaboração, até Service Providers e Data Centers, sendo estes dois últimos meus segmentos de maior especialidade e interesse.
- > Atuação em empresas com perfil de missão crítica, tais como a New York Stock Exchange (NYSE/Euronext), instituições financeiras e operadoras de telecomunicações.



# SOBRE O PALESTRANTE

---

- > Atuei como chair do Comitê de Programa do Brasil Peering Forum (BPF)
- > Mantenho uma comunidade online pela plataforma do Discord.
- > Reunindo quase 4.500 aficionados pelos temas de redes e telecom.
- > Mantenho um canal no YouTube contendo dicas, minicursos, tutoriais, e eventos ao vivo com especialistas renomados!



/LeonardoFurtadoNYC



# Agenda

- O significado de “Traffic Engineering”
- Motivadores (business drivers) do Traffic Engineering
- Limitações do roteamento IP nativo
- Controle de congestionamentos e engenharia de tráfego
- Componentes do MPLS TE
  - Revisão do funcionamento de uma rede MPLS típica
  - Túneis de Tráfego
  - Atributos de Túneis de Tráfego
  - Enlaces e Atributos de Enlaces
  - Métrica Específica Baseada em Restrição (constraint-based)
  - RSVP-TE

# O que significa “Traffic Engineering”

Conceitos de Engenharia de Tráfego

# O significado de Traffic Engineering

- A proposta da engenharia de tráfego é permitir ações que possibilitem:
  - Medições dos padrões dos fluxos de tráfego em uma rede.
  - Modelar os fluxos de tráfego em uma rede para que objetivos pré-estabelecidos sejam conquistados:
    - Reduzir ou atenuar a frequência de investimentos de expansão da capacidade de uma rede.
    - Permitir que os fluxos de tráfego fluam mais confortavelmente sobre os recursos disponíveis em uma rede, especialmente em situações persistentes.
  - Reduzir os custos operacionais através do uso mais eficiente dos recursos da rede.

# O significado de Traffic Engineering

- Prevenir situações onde partes da rede de um operador/ISP fiquem sobrecarregadas (congestionadas), enquanto outras partes permanecem subutilizadas.
- Implementar proteção do tráfego contra diversas situações de falhas.
- Aprimorar os níveis de serviço (SLA) em combinação com estratégias de Quality of Service (QoS).

# *Motivadores para a adoção de TE*

*Business Drivers*



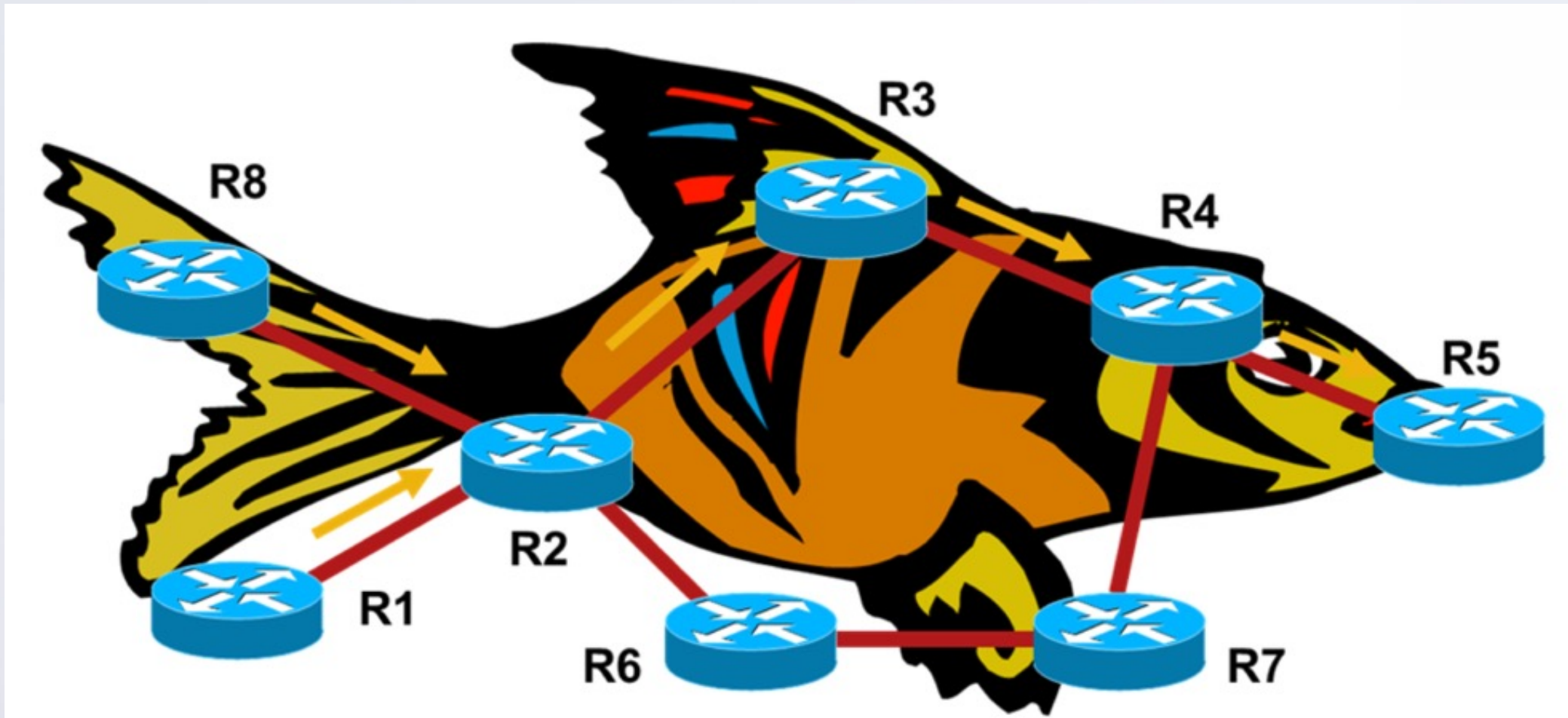
# Quais são as motivações para a adoção de TE? (Business Drivers)

- Roteadores sempre encaminham tráfego na rede através das rotas de menor métrica, conforme ditado pelos protocolos de roteamento de gateway interior (IGP).
- Os recursos de capacidades de uma rede (canais de comunicação; banda) frequentemente não são utilizados eficientemente:
  - A rota de menor custo poderá não ser a única opção disponível entre a origem e o destino de um fluxo de tráfego.
  - Esta rota de menor custo poderá não reunir recursos suficientes (capacidade) para acomodar toda a carga de tráfego ofertada sobre si.

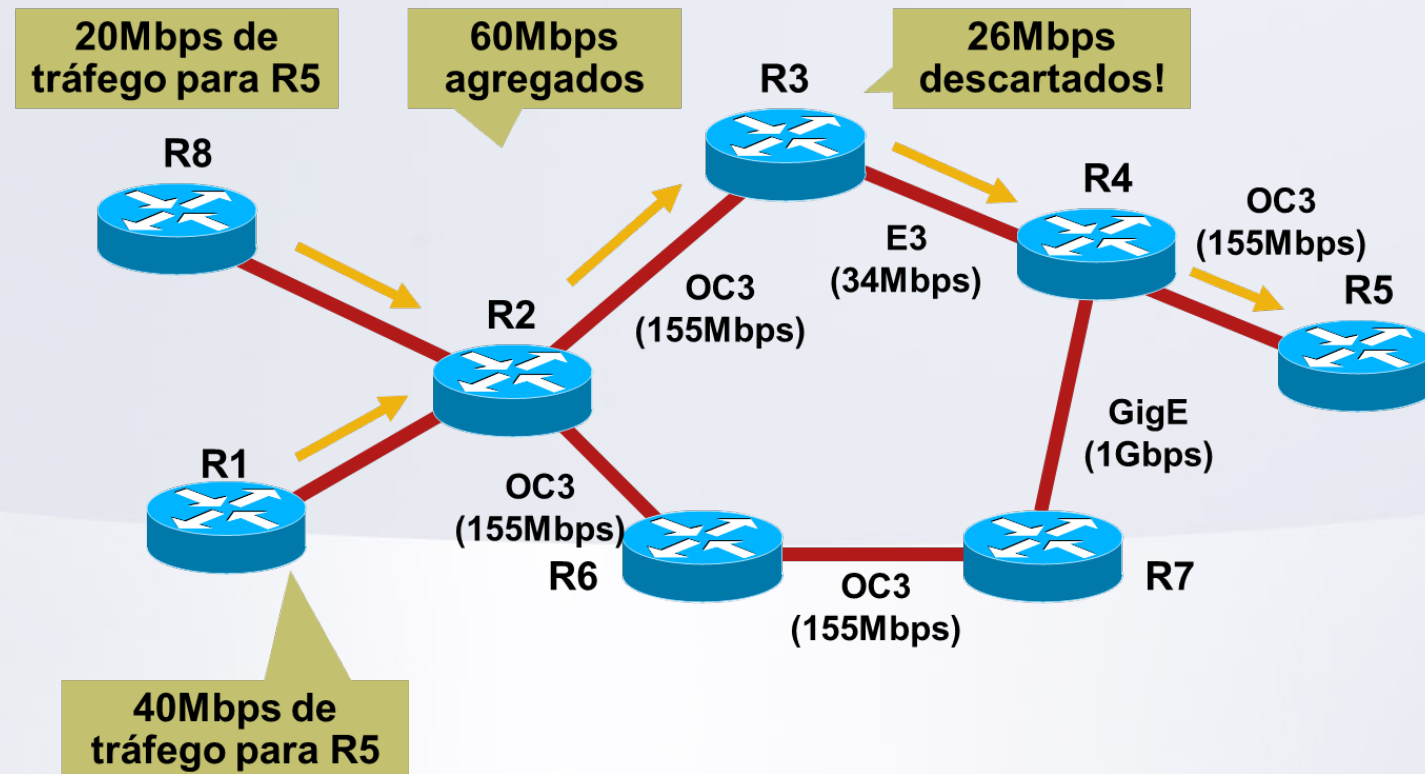
# Quais são as motivações para a adoção de TE? (Business Drivers)

- Esta insuficiência de recursos poderá resultar em congestionamentos de duas formas:
  - Quando os recursos da rede são insuficientes para acomodar a carga dos fluxos de tráfego.
  - Quando os fluxos de tráfego são mapeados ineficientemente sobre os recursos disponíveis na rede.
- Em ambos os casos, o resultado será:
  - Alguns poucos recursos (links) ficam sobrecarregados enquanto muitos recursos permanecem subutilizados!

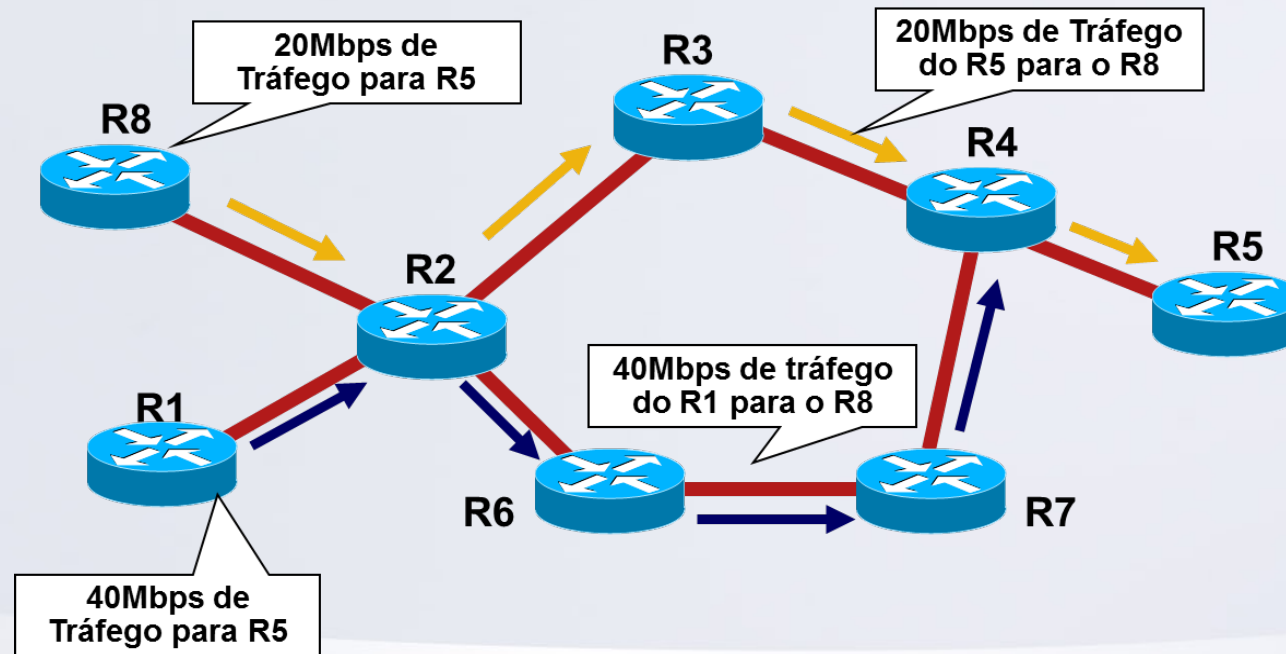
# Conheça o fenômeno “The Fish Problem”



# Conheça o fenômeno "The Fish Problem"



# Conheça o fenômeno "The Fish Problem"



- MPLS Labels podem ser usados para Engenharia de Tráfego
  - Túneis são **UNIDIRECIONAIS**
- > Caminho Normal: R8 → R2 → R3 → R4 → R5
- > Caminho Tunnel: R1 → R2 → R6 → R7 → R4

# *Limitações do roteamento IP nativo*

*Entenda por que TE possa vir a ser necessário  
em seu ambiente de redes!*

# Limitações do roteamento IP nativo

- Possui comportamento natural “salto-a-salto”
  - Também conhecido pelo termo “**per-hop behavior**”
- O roteamento IP está interessado somente no destino do pacote
  - Ou seja, roteadores em trânsito consultam apenas o endereço IP de destino citado no cabeçalho IP do pacote em trânsito.
- Isto leva frequentemente ao mapeamento ineficiente dos fluxos de tráfego sobre os recursos disponíveis na rede.
  - O que, conseqüentemente, faz com que alguns recursos (dispositivos e links) da rede fiquem congestionados, enquanto outros... subutilizados!

# Revisão: Como Funciona um Roteador?

- Um roteador, em suas funções mais básicas, realiza duas ações fundamentais:
  - **Determinação de caminhos** (“path determination”)
    - Consulta uma tabela contendo prefixos IP e localiza a rota mais específica (operação “longest prefix match”) sobre o endereço IP de destino contido no cabeçalho IP.
    - Determina a interface de saída associada à melhor rota encontrada, assim como as instruções necessárias para reescrever o cabeçalho de Camada 2.
  - **Encaminhamento de pacotes** (“packet switching”)
    - O roteamento do pacote propriamente dito.
    - Subtrai (-1) do campo TTL do cabeçalho IP, calcula o CRC do referido cabeçalho.
    - Reescreve o cabeçalho de Camada 2 com base nas instruções de adjacência L2 associadas com a interface de saída (ex: endereços MAC, tag de VLAN).
    - Encaminha o pacote para o próximo gateway (next-hop adjacente).

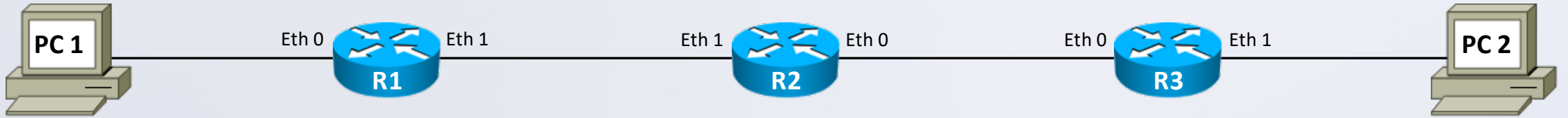


# Revisão: Como Funciona um Roteador? (cont.)

1. O roteador recebe o frame e valida a integridade do mesmo. Consulta o EtherType e entrega o payload para o protocolo de camada superior (ex: 0x0800 para o IPv4)
2. O cabeçalho IP é verificado (CRC) e o campo "Destination IP Address" é consultado.
3. O roteador buscará por uma rota mais específica para atender ao endereço IP de destino. A consulta realizada é do tipo "longest prefix match".
4. Determina as informações de adjacência (interface de saída e instruções L2 associadas à esta interface), consultando primeiro o ARP cache, ou fazendo a resolução Endereço IP  $\leftrightarrow$  MAC.
5. Modifica o campo TTL (-1) do IP header, recomputa o CRC do mesmo, encapsula o pacote com base nas instruções L2 da interface de saída em um novo quadro (L2), e transmite o pacote.

Endereço IP: **192.168.1.1**  
 Máscara Subrede: **/24**  
 Default Gateway: **192.168.1.254**  
 Endereço MAC: **0001.0001.1111**

**172.16.1.1** :Endereço IP  
**/24** :Máscara Subrede  
**172.16.1.254** :Default Gateway  
**0002.0002.2222**:Endereço MAC



**CABEÇALHO DE CAMADA 2**

**CABEÇALHO DE CAMADA 3**

# Revisão: Como Funciona um Roteador? (cont.)

- Para questões de objetividade, foram suprimidos detalhes acerca dos seguintes:
  - Pipelines “ingress” e “egress” de pacotes em trânsito em um roteador.
    - Utilização de instruções L2 e/ou L3 para classificação e posterior processamento com ações adicionais sobre pacotes.
      - Input e output ACL, classificação para QoS, policiamento QoS, marcação QoS, NetFlow, uRPF, NAT, IPsec, WCCP, NBAR e muitos outros.
  - Explicações sobre arquiteturas de comutação baseadas em silício especializado (ex: FIB, Forwarding Table), etc.
- Foquemos apenas na revisão de como um roteador comum funciona e em suas ações mais básicas: **determinação de caminhos** e **encaminhamento de pacotes**.

# *Controle de congestionamentos e engenharia de tráfego*

*Tentemos resolver o problema!*

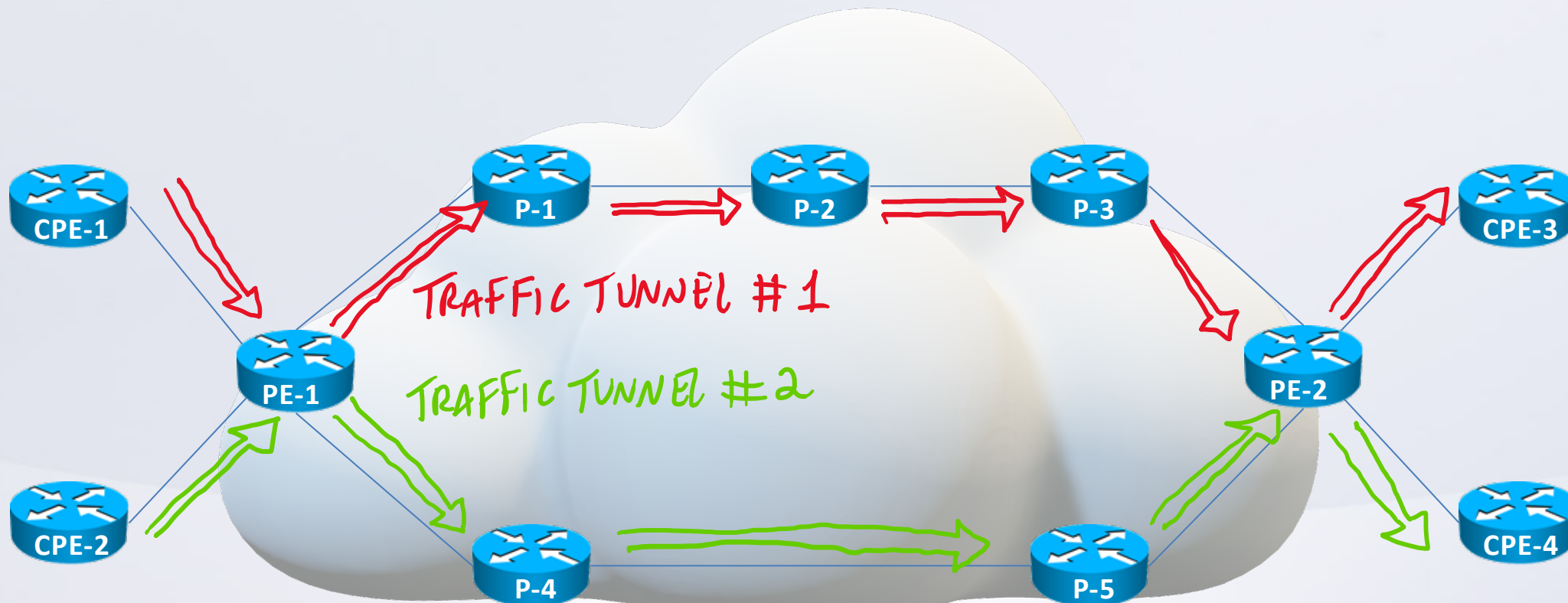
# Controle de congestionamentos e engenharia de tráfego

- Estes casos de congestionamentos da rede podem ser combatidos das seguintes formas:
  1. Expansão da capacidade dos circuitos de comunicação de dados.
  2. Técnicas de controle de congestionamento com base nas prioridades dos fluxos de tráfego:
    - Queueing, scheduling, policing, shaping
  3. Engenharia de tráfego, mas apenas se os problemas forem resultantes de alocações ineficientes dos recursos de rede.
    - Emprego de diversas ferramentas complexas, quase que “gambiarras” para aliviar o problema:
      - Policy-based Routing (PBR, ABF, e similares), rotas estáticas, manipulação das métricas IGP das interfaces, dentre outros casos “terríveis”

# Engenharia de tráfego com o MPLS TE

- O foco do MPLS TE não está no congestionamento de curto prazo!
  - O MPLS TE absolutamente NÃO faz mágica!
- O MPLS TE pode ser muito efetivo para aliviar os congestionamentos na rede, mas desde que:
  - em situações de congestionamentos prolongados ou persistentes!

# A engenharia de tráfego com o MPLS TE



- Labels são atribuídos para os túneis de tráfego, e representam o Label Switched Path (LSP) através da rede
- A comutação na rede se dá com o uso de labels, sem L3 (IP) lookup

# A engenharia de tráfego com o MPLS TE

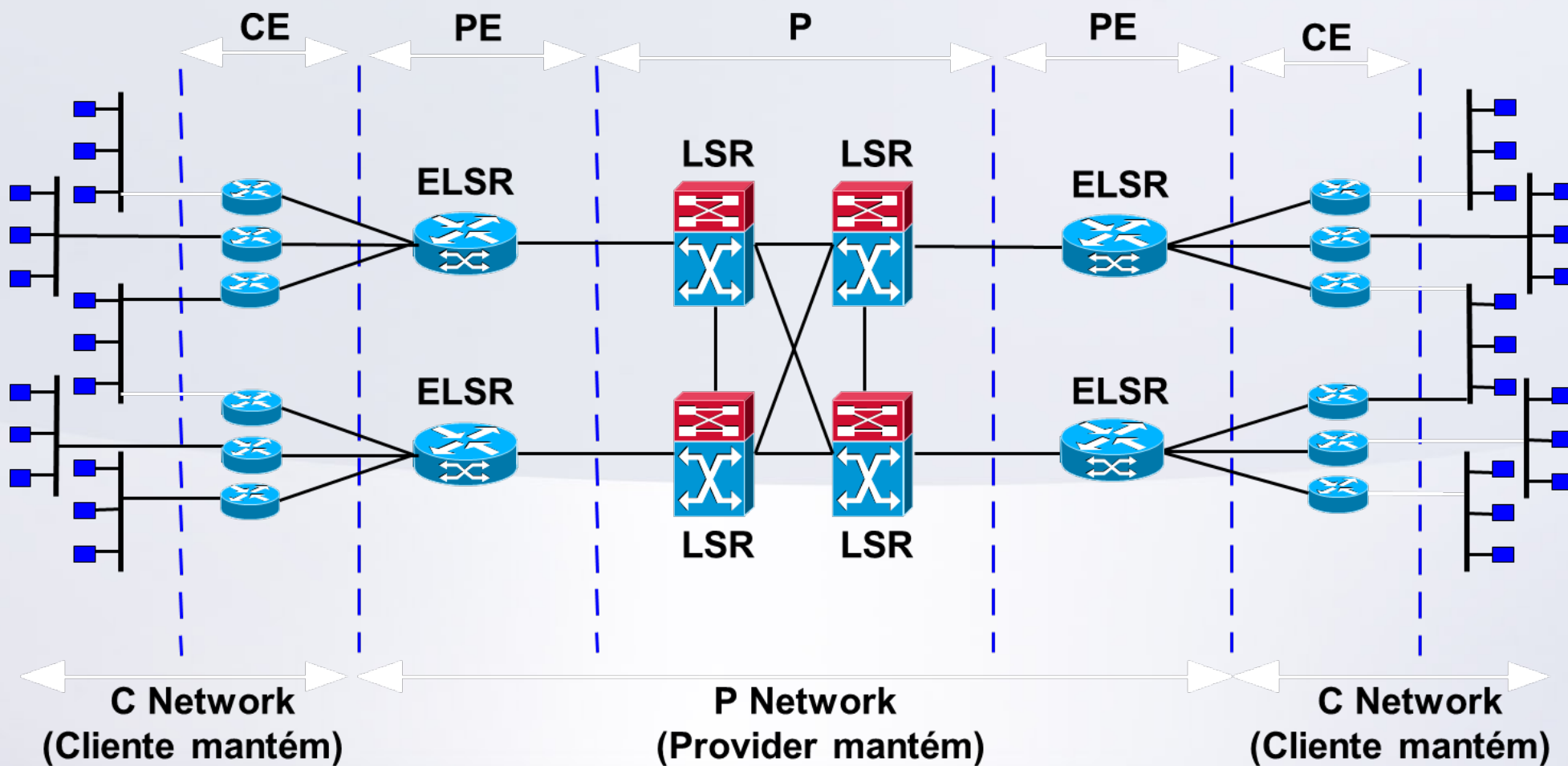
- Os LSP de MPLS-TE são criados com o auxílio do protocolo **RSVP-TE**.
- Os caminhos da rede que um túnel de tráfego poderá percorrer são ditados conforme:
  - Definições explícitas por parte do administrador da rede (estáticos)
  - Dinamicamente, com o auxílio do IGP e suas ferramentas complementares para suporte ao MPLS TE



# *Componentes do MPLS TE*

*Desmembrando a arquitetura do MPLS TE*

# Revisão: componentes de uma Rede MPLS Típica

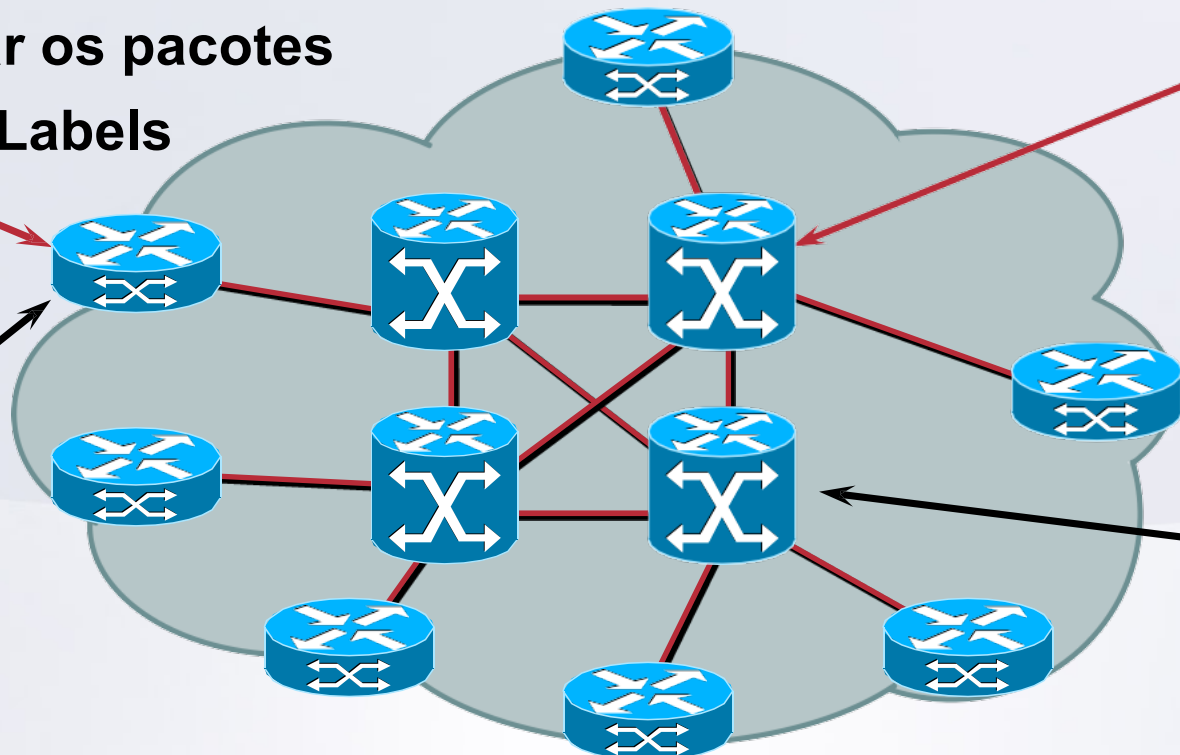


# Revisão: conceitos básicos e operação do MPLS

- **Na Borda:**

Classificar os pacotes  
Impor os Labels

**Edge Label  
Switch Router  
Router**



- **No Core:**

Encaminhar pacotes usando os Labels (ao invés de consultar endereços IP)

O Label indica uma classe de serviço e destino

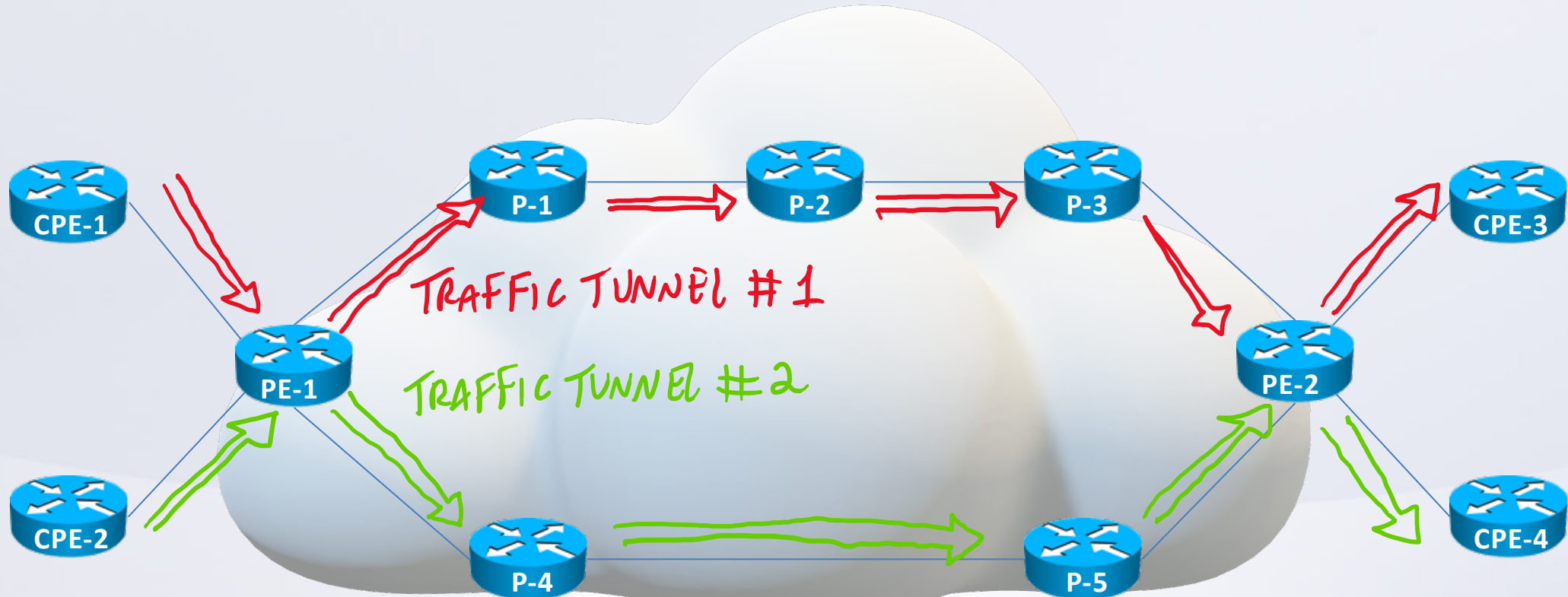
**Label Switch  
Router (LSR)  
Router**

**Label Distribution  
Protocol (LDP)**

# Túneis de Tráfego

- Fluxos de tráfego, conforme desejados, podem ser mapeados para os chamados “**túneis de tráfego**”.
- Túneis de tráfego são objetos roteáveis, e podem utilizar diversos caminhos ao longo da rede.
- Normalmente implementamos atributos que influenciam características diversas dos túneis de tráfego para os propósitos de engenharia de tráfego.

# Túneis de Tráfego



- Labels são atribuídos para os túneis de tráfego, e representam o Label Switched Path (LSP) através da rede
- A comutação na rede se dá com o uso de labels, sem L3 (IP) lookup

# Túneis de Tráfego

- Atributos são explicitamente definidos para os túneis de tráfego através de ações executadas previamente pelo administrador da rede.
- Um túnel de tráfego pode ser caracterizado por:
  - Roteadores “ingress LSR” e “egress LSR”. Ou LER.
  - A chamada classe de equivalência de comutação (**Forwarding Equivalence Class**) mapeada para o túnel.
  - Um conjunto de atributos que determinam as características do túnel de tráfego.

# Túneis de Tráfego: atributos

- O administrador da rede define as informações pertinentes – os atributos – no roteador **headend** do túnel de tráfego:
  - **Parâmetro de tráfego:** recursos requeridos para o túnel (ex: banda)
  - **Gerenciamento e seleção genérica de caminhos:** caminhos da rede, que podem ser escolhidos estática ou dinamicamente
  - **Afinidade de classe de recurso:** a inclusão ou exclusão de certos links da rede para determinados túneis de tráfego
  - **Adaptabilidade:** se o túnel de tráfego poderá ser otimizado ou não
  - **Prioridade e preempção:** a importância relativa do túnel de tráfego e a possibilidade de preempção por parte de outro túnel
  - **Resiliência:** comportamento desejado em situações de falhas na rede

# Enlaces de rede e Atributos de Enlaces

- Atributos de recursos, tais como disponibilidade de links, são configurados nas interfaces dos roteadores da rede:
- **Máximo de banda disponível**
  - Montante máximo de banda disponível no link
- **String de Afinidade de Enlace (link)**
  - String que permite a inclusão ou exclusão de links do processo de cálculo de caminhos para um túnel de tráfego
- **Métrica específica baseada em restrição (TE Metric)**
  - Métrica padrão para engenharia de tráfego



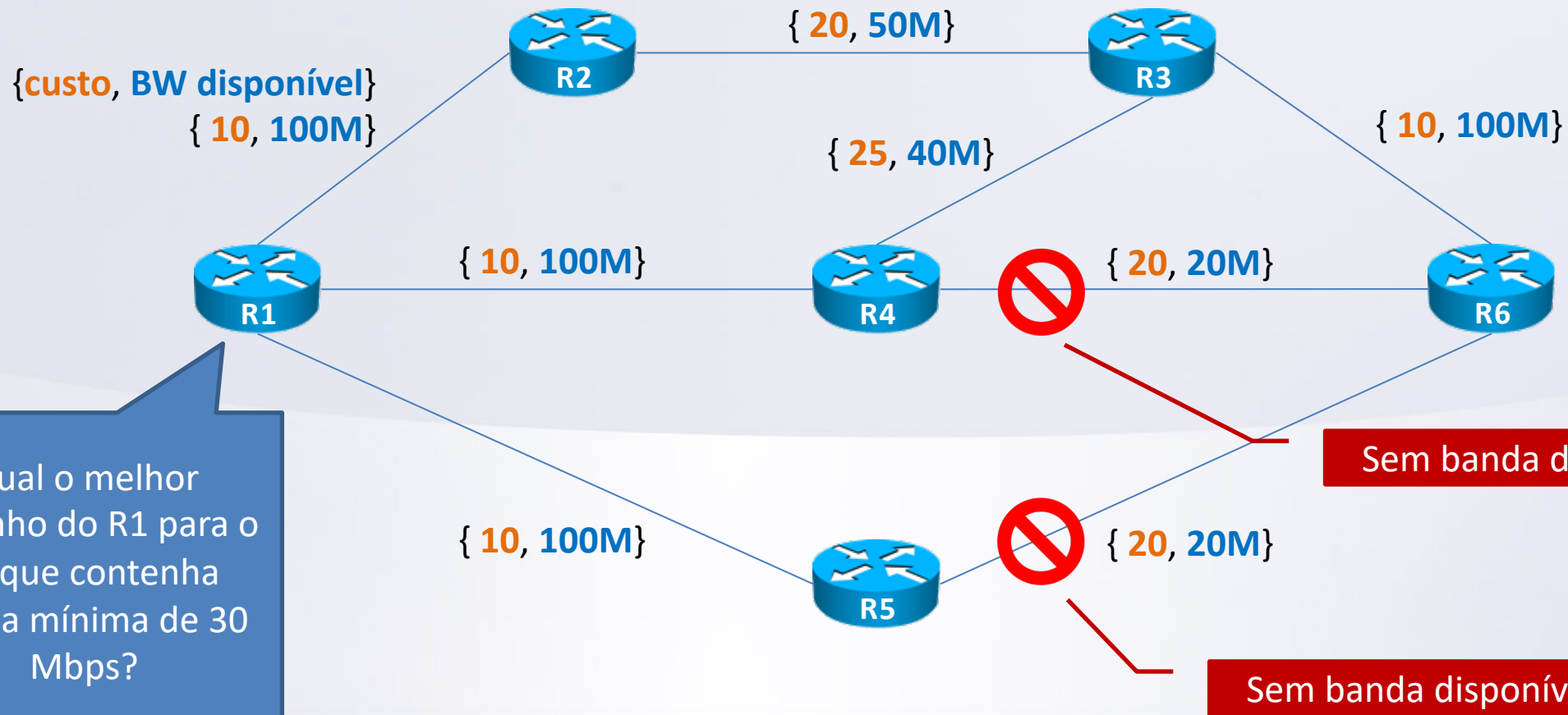
# Métrica específica baseada em restrição (Constraint-Based Path Computation)

- O roteamento baseado em restrição (**constraint-based routing**) é impulsionado por demanda.
- Paradigma de roteamento ciente de reserva de recursos:
  - Baseado em critérios que incluem, dentre outros, a própria reserva de recursos.
  - Calculado na borda da rede (especificamente no **headend**):
    - Uma **versão modificada do algoritmo Dijkstra** no headend do túnel de tráfego, ou seja, um **CSPF (constrained SPF)** ou **PCALC (Path Calculation)**.
    - O output é uma lista sequencial de endereços IP de next-hops entre os endpoints do túnel (headend → tailend)

# Métrica específica baseada em restrição (Constraint-Based Path Computation)

- O **constraint-based routing** considera os seguintes:
  - Restrições de política associadas ao túnel de tráfego e enlaces físicos da rede.
  - Disponibilidade dos recursos físicos.
  - Estado da topologia da rede.
- Dois tipos de túneis de tráfego podem ser estabelecidos através dos links físicos da rede com os atributos incidentes:
  - **Dinâmico (dynamic)**: usando os caminhos de menor custo computados pelos algoritmos modificados do OSPF ou IS-IS.
  - **Estático (static)**: definição estática dos caminhos desejados por configurações do administrador.

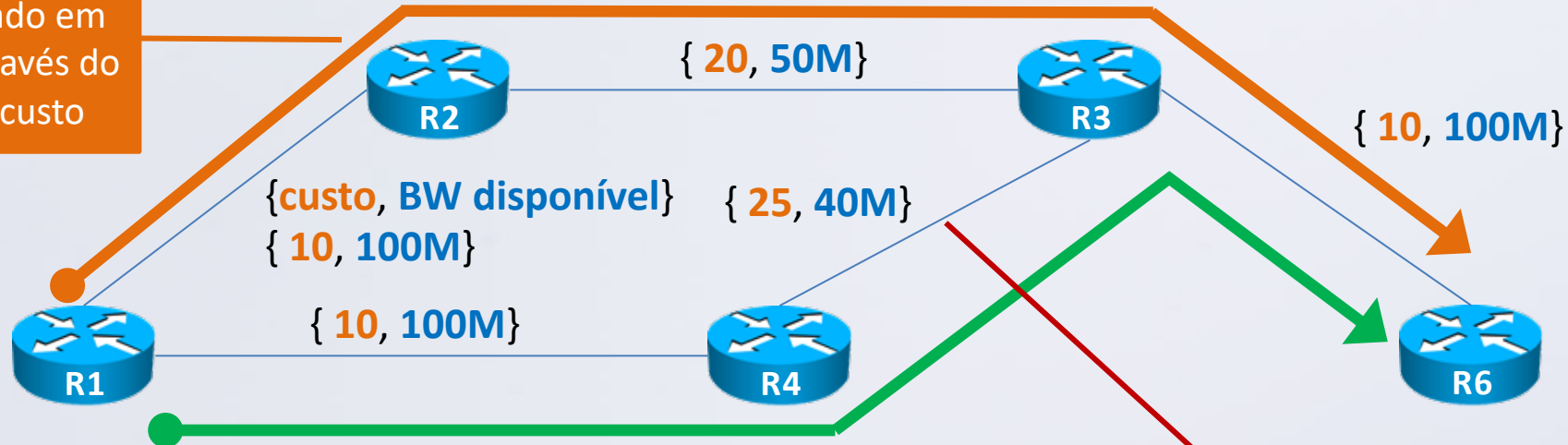
# Métrica específica baseada em restrição (Constraint-Based Path Computation)



Qual o melhor caminho do R1 para o R6 que contenha banda mínima de 30 Mbps?

# Métrica específica baseada em restrição (Constraint-Based Path Computation)

Caminho computado para um túnel baseado em restrição dinâmica através do caminho de menor custo



Caminho explícito definido administrativamente para o túnel

O túnel, por este caminho, possui um custo de 45, o que não é o melhor custo para esta topologia

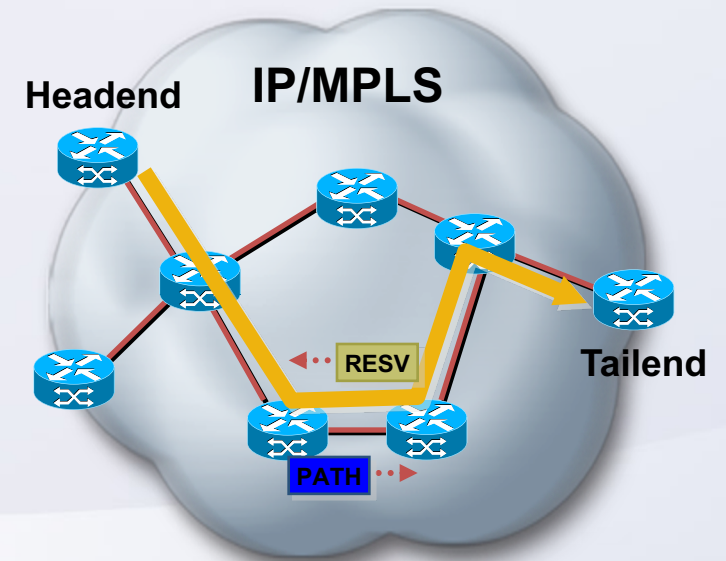
Ambos os túneis podem ser estabelecidos, pois os bits de afinidade são compatíveis e os caminhos pretendidos reúnem a banda mínima sinalizada por estes túneis

# O papel do protocolo **RSVP-TE** para os procedimentos de Path Setup

- Uma vez que o caminho tiver sido determinado, um protocolo de sinalização é necessário e precisa ser invocado para:
  - Estabelecer e manter o Label Switched Path (LSP) usado pelo túnel de tráfego, ou seja, fornecer e distribuir os labels necessários.
  - Criar e manter os estados de reservas de recursos através da rede (alocação de banda), fazendo controle do uso de banda de control-plane por prioridade (0 - 7).
- O **Resource Reservation Protocol (RSVP-TE)** pelo IETF.

# A sinalização do TE LSP com o RSVP-TE

- Túnel sinalizado com extensões de TE para o protocolo RSVP
- “Soft state” mantido com mensagens *downstream PATH*
- “Soft state” mantido com mensagens *upstream RESV* messages
- Novos objetos RSVP
  - LABEL\_REQUEST (PATH)
  - LABEL (RESV)
  - EXPLICIT\_ROUTE
  - RECORD\_ROUTE (PATH/RESV)
  - SESSION\_ATTRIBUTE (PATH)
- A LFIB (ou Forwarding Table...) preenchida com labels fornecidos pelo RSVP-TE



# Modificações das estruturas de comutação para suporte ao MPLS TE

- Os fluxos de tráfego precisam ser mapeados para os túneis de tráfego:
  - **Rotas estáticas:** apontando as redes de destino desejadas para o túnel no roteador headend.
  - **Policy-based routing ou similar:** permitindo, no roteador headend, identificar qual deverá ser o tipo de tráfego a percorrer o túnel.
  - **Forwarding Adjacency (Cisco), Advertise-LSP (Juniper):** onde, automaticamente, todas as redes atrás do roteador tailend serão automaticamente associadas à interface Tunnel no roteador headend, logo, portanto, o tráfego de interesse para estas redes de destino será encaminhado através deste túnel.
  - **Auto-route Announce (Cisco), IGP-Shortcut (Juniper e Huawei):** permite anunciar a interface Tunnel como enlace ponto-a-ponto numa rede OSPF, o que, por sua vez, permitiria melhor seleção de caminhos e o efetivo load balancing dos links internos do backbone por roteadores não participantes do MPLS TE, especialmente em ambientes de interconexão de POPs.

# Cálculo de caminhos baseado em restrições (Constraint-based Path Computation)

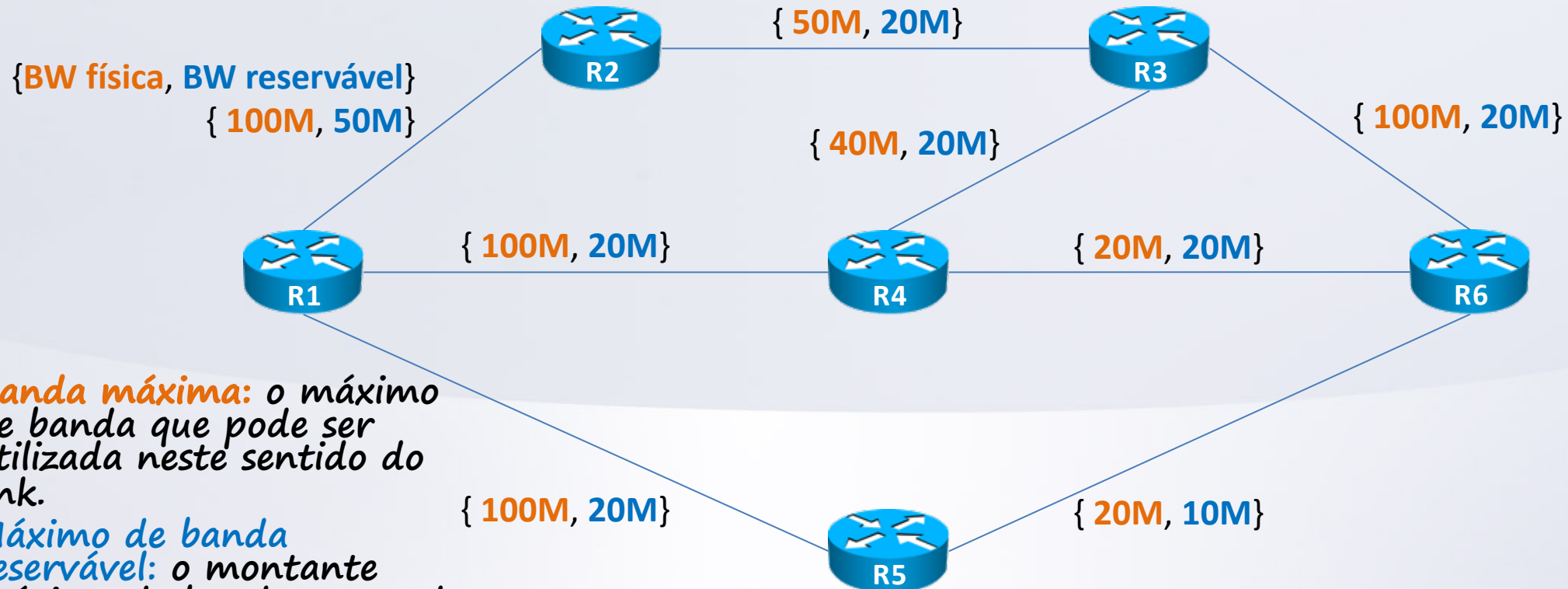
- Fornece diversos atributos de recursos para controlar a determinação de caminhos de um LSP de TE:
  - **Atributos de recursos de enlaces** que proveem informações sobre os recursos de cada link.
  - **Atributos de túneis de tráfego** que caracterizam o túnel de tráfego.



# Atributos de Recursos de Enlaces (Link Resource Attributes)

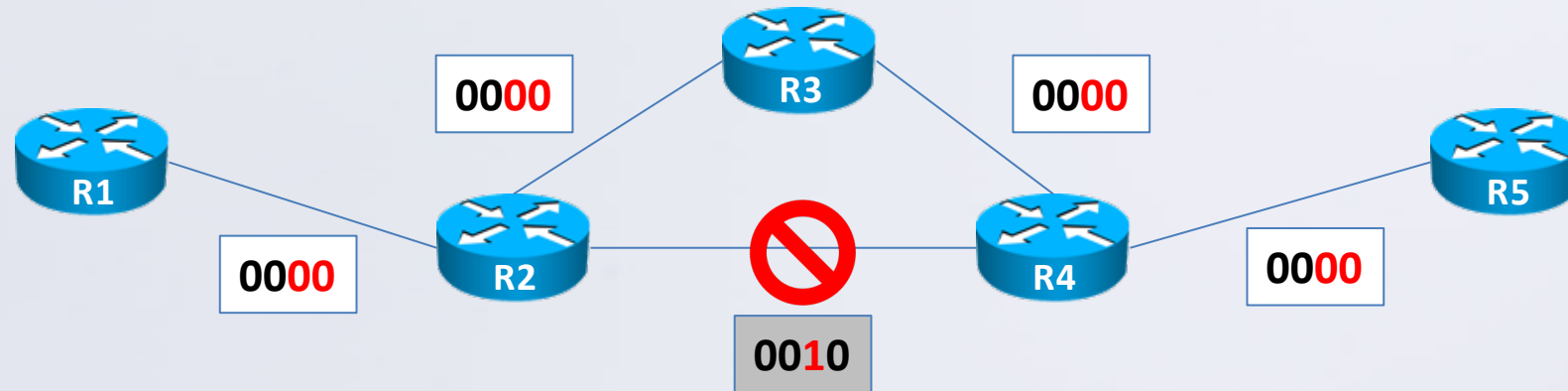
- Banda máxima das interfaces
- Banda máxima reservável sobre estas interfaces
- Classe de recursos de enlaces
- Métrica de link específica baseada em restrição

# Atributos de Recursos de Enlaces (Link Resource Attributes): *banda máxima e reserv.*



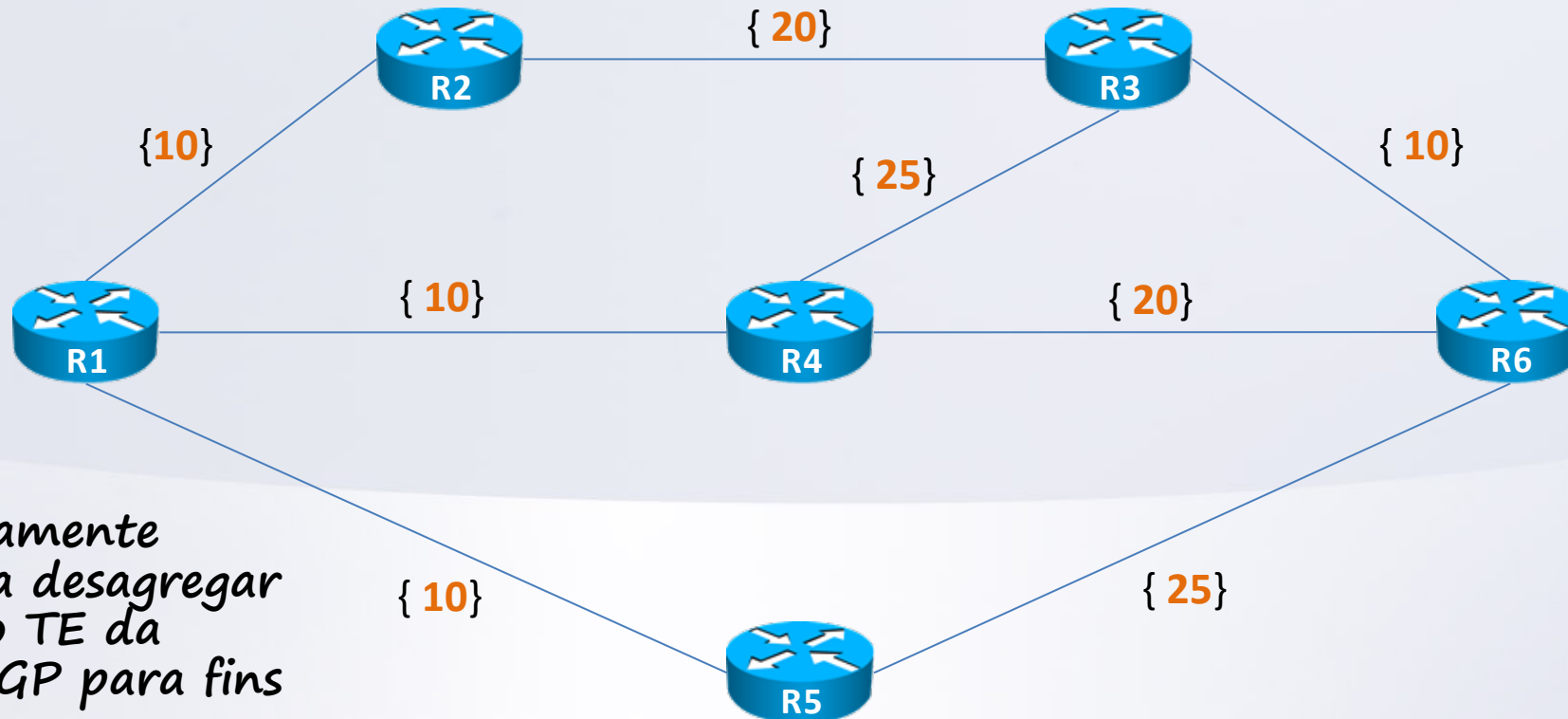
- **Banda máxima:** o máximo de banda que pode ser utilizada neste sentido do link.
- **Máximo de banda reservável:** o montante máximo de banda que pode ser reservada para TE neste sentido, neste link.

# Atributos de Recursos de Enlaces (Link Resource Attributes): atributo de classe de rec.



- Cada link é caracterizado por um atributo de classe de recurso/link de 32 bits.
- Associado com o túnel de tráfego para incluir ou excluir determinados links da computação para aquele túnel.

# Atributos de Recursos de Enlaces (Link Resource Attributes): métrica de TE



- A métrica é administrativamente atribuída para desagregar a topologia do TE da topologia do IGP para fins de SPF.
  - Administrative Weight = TE Metric

# Atributos de Túnel de MPLS TE

- *Parâmetros de tráfego*
- *Gerenciamento e seleção genérica de caminhos*
- *Afinidade de classe de recurso de túnel*
- *Adaptabilidade*
- *Prioridade*
- *Preempção*
- *Resiliência*

# Atributos de Túnel de MPLS TE: parâmetros, gerenciamento e seleção de caminhos

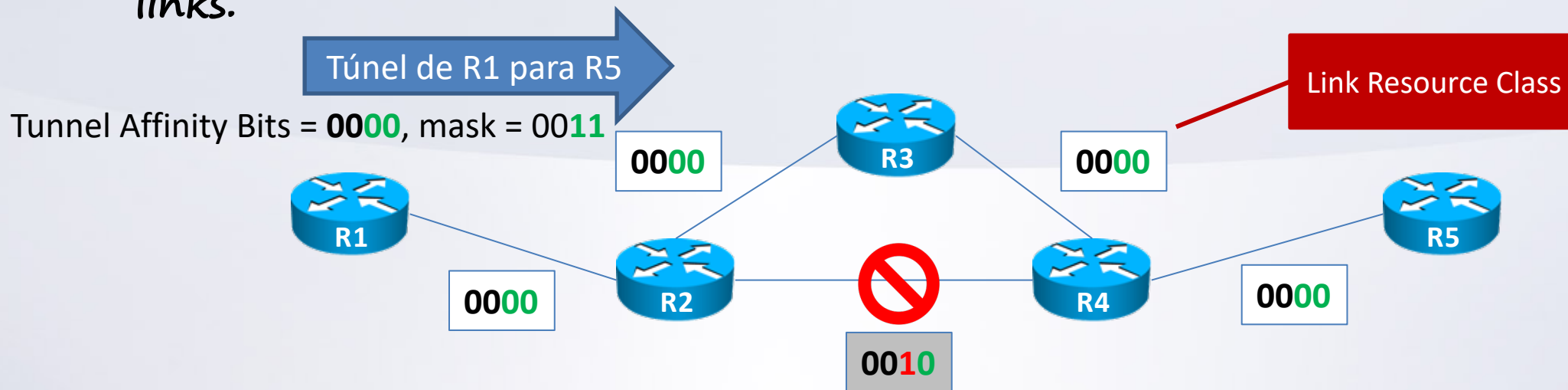
- **Parâmetros de tráfego:**
  - Indica os requerimentos de recursos (ex: banda) do túnel de tráfego.
- **Gerenciamento e seleção genérica de caminhos:**
  - Especifica como os caminhos para o túnel deverão ser computados:
    - **LSP dinâmico:** computados por constraint-based em uma combinação de banda e políticas de admissão do túnel.
    - **LSP explícito:** administrativamente configurado pelo operador.

# Atributos de Túnel de MPLS TE: afinidade de classe de recursos de túnel

- O link é caracterizado por uma **classe de recursos de enlaces**.
  - O valor padrão de bits em plataformas Cisco é 0 (zero).
- O túnel é caracterizado por:
  - **Afinidade de classe de recursos de túnel**
    - O valor padrão em plataformas Cisco é 0 (zero).
  - **Máscara de afinidade de classe de recursos de túnel**
    - 0 = do not care, 1 = care
    - Valor padrão da máscara (em Cisco) é **0X0000FFFF**.

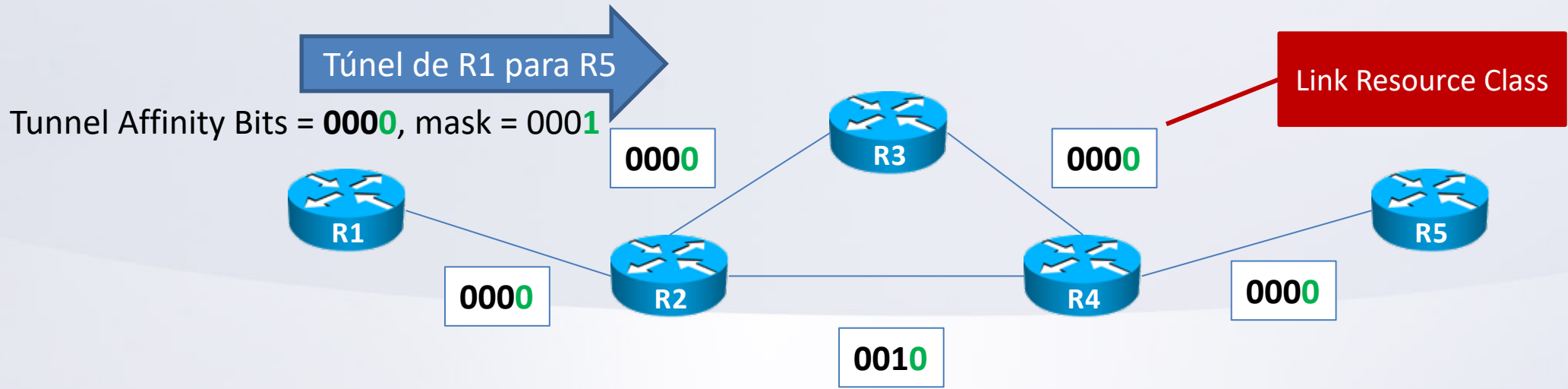
# Atributos de Túnel de MPLS TE: afinidade de classe de recursos de túnel

- As propriedades que o túnel exige dos links internos da rede:
  - String de bits de afinidade de classe de recursos de 32 bits + máscara de classe de recursos de 32 bits.
  - O link somente é incluído no LSP quando a string de afinidade de recursos de túnel ou máscara forem compatíveis com os atributos de classe de recursos de links.





# Atributos de Túnel de MPLS TE: afinidade de classe de recursos de túnel



# Atributos de Túnel de MPLS TE:

## adaptabilidade

- **Adaptabilidade:**

- Caso a reotimização esteja habilitada, o túnel de tráfego poderá ser reroteado através de caminhos distintos quando caminhos melhores tornarem-se disponíveis.
- Suponhamos que, em determinado momento, seja em seleção dinâmica ou estática de caminhos para um dado túnel, um dos links ideais não estava disponível
  - Estava desligado/down, ou não reunia a banda mínima disponível para a prioridade de setup daquele túnel...
  - ... mas que, depois, o link passou a ficar disponível e reunir os recursos mínimos para o túnel...
  - ... o TE ajustará o túnel, transferindo o tráfego para este link, automaticamente.

# Atributos de Túnel de MPLS TE: *prioridade e preempção*

- *Prioridade:*

- Importância relativa dos túneis de tráfego.
- Determina a ordem em que a seleção de caminhos é feita para os túneis de tráfego no momento do setup do túnel ou em eventos de falhas. A menor (melhor) prioridade, vence.
  - *Setup priority:* prioridade para assumir um recurso; 8 prioridades (0-7).

- *Preempção:*

- Determina se outro túnel de tráfego pode “expulsar” um túnel de tráfego específico quando houver disputa por recursos:
  - *Hold priority:* prioridade para manter um recurso; 8 prioridades (0-7).

# Atributos de Túnel de MPLS TE: *resiliência*

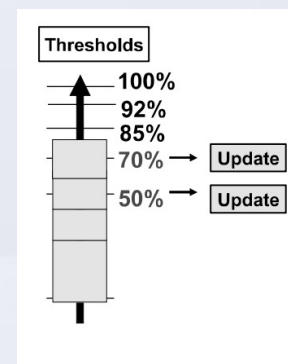
- *Resiliência:*

- *Determina o comportamento do túnel de tráfego em eventos de falhas:*

- *Não faça o reroute do túnel.*
    - *Faça o reroute através de um caminho factível que reúna os recursos exigidos.*
    - *Faça o reroute através de qualquer caminho disponível, independentemente de haver ou não o atendimento aos recursos exigidos.*

# Propagação de atributos de enlaces do MPLS-TE com o protocolo IGP

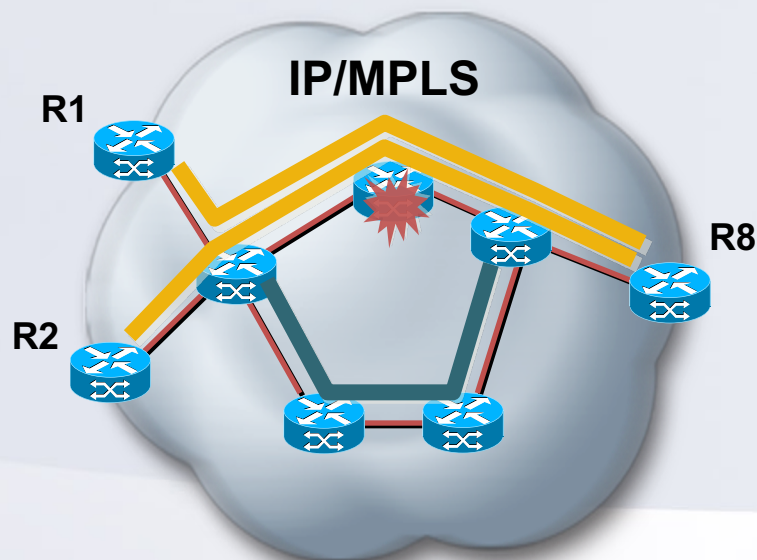
- A inundação (flooding) ocorre nas seguintes circunstâncias:
  - Alterações na topologia da rede (conforme detectado pelo IGP).
  - Mudanças na classe de recursos de um link ocorrem nos seguintes eventos:
    - Reconfiguração manual de interfaces do backbone.
    - Montante de banda disponível de uma interface do backbone um dos “thresholds” pré-configurados.
    - Periodicamente (time-based)
      - Um roteador checa pelos atributos. Se estiverem diferentes, inunda as informações atualizadas pela rede com o IGP.
    - Durante uma falha de setup de um LSP de um túnel.
      - A computação do túnel escolheu um link, mas, na hora de sinalizá-lo com o protocolo RSVP-TE, não havia mais a banda mínima disponível para aquela prioridade sinalizada para aquele túnel.



# Como o MPLS TE escolhe os caminhos para um túnel de tráfego?

- Quais caminhos **não** podem ser utilizados por um túnel?
  - Qualquer caminho que **não** reunir os requisitos a seguir não poderá ser considerado para a computação:
    - Afinidade de túnel não for compatível com a afinidade de links.
    - Banda mínima requerida indisponível para a prioridade do túnel (confronto entre **setup** e **hold**; e **priority** e **preempt**).
- Seleção de caminhos:
  1. O CBR utiliza a sua própria métrica (**Administrative Weight** ou **TE metric**), a qual é usada somente durante a computação modificada. O menor, vence.
  2. Escolher o caminho que possuir o máximo de banda mínima disponível.
  3. Escolher o caminho que tiver o menor diâmetro de saltos de roteadores.
  4. Se ainda assim houver empate, um caminho será selecionado aleatoriamente.

# MPLS TE Fast Re-Route (FRR)



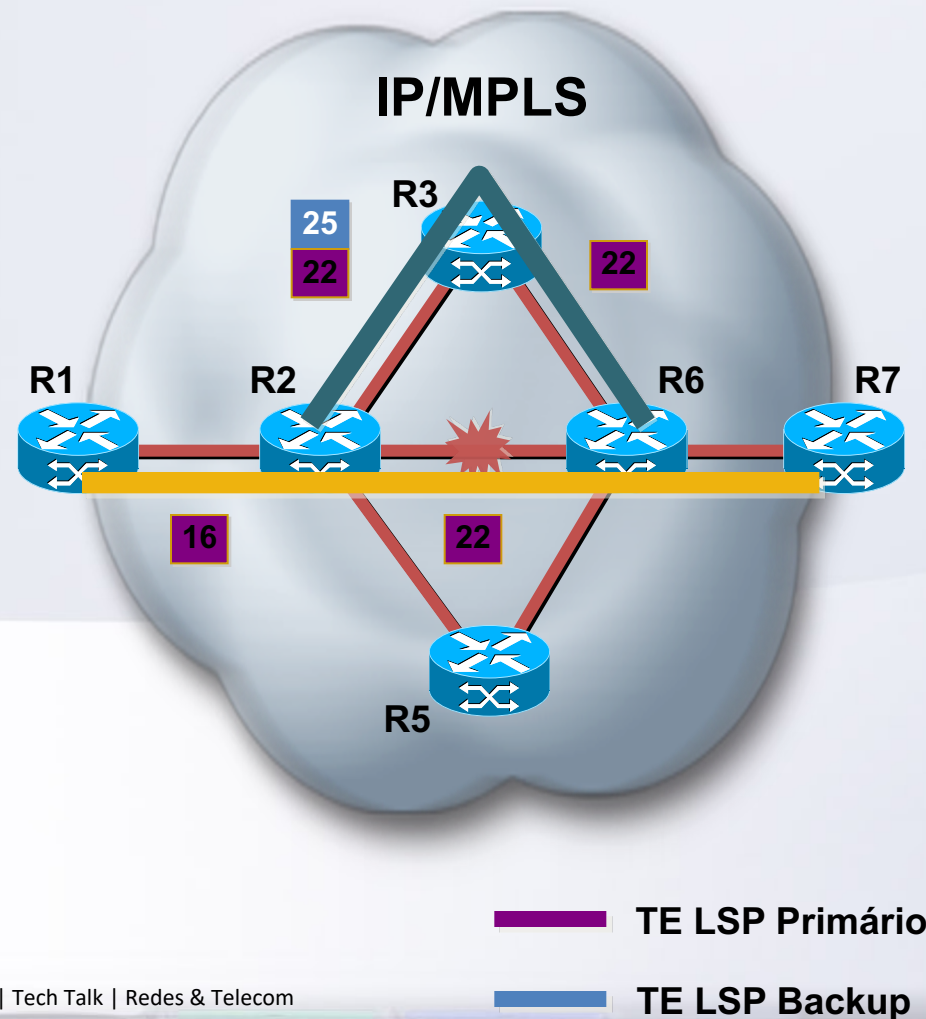
— TE LSP Primário

— TE LSP Backup

- Recuperação *subsegundo* contra falhas de roteadores ou enlaces
- Escalável para proteção 1:N

# Operação da proteção de link do FRR

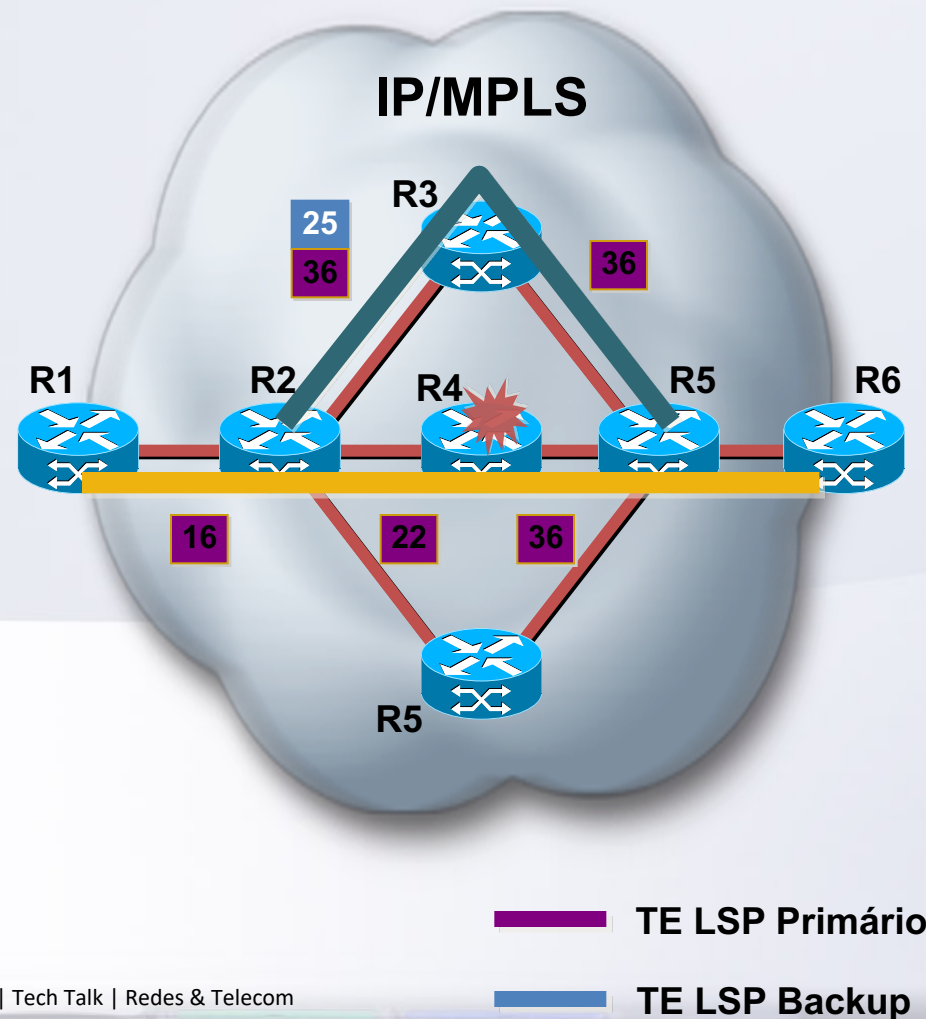
- Exige um túnel backup **next-hop** (NHOP)
- Point of Local Repair (PLR) troca o label e empurra o label de backup
- O backup termina no Merge Point (MP), onde o tráfego se junta ao túnel primário
- Tempo de restauração esperado é de ~50 ms





# Operação da proteção de link do FRR

- Requer túnel backup *next-next-hop* (NNHOP)
- Point of Local Repair (PLR) troca o *next-hop label* e empurra o backup label
- O backup termina no Merge Point (MP), onde se junta ao túnel primário
- Tempo de restauração depende do tempo de detecção da falha



# Uma breve demonstração

Ambiente MPLS TE com BGP-Free Core para  
acomodar Túneis de Tráfego para Clientes de  
L3VPN MPLS

Obrigado e bons estudos!

<https://www.youtube.com/c/LeonardoFurtadoNYC>

<https://discord.gg/leonardofurtado>

• TECH TALK | REDES & TELECOM •

LEONARDO FURTADO

Minicursos . Tutoriais . Entrevistas

