

SSC0641

Redes de Computadores

Capítulo 4 - Camada de Rede

Prof. Jó Ueyama

Capítulo 4:

Camada de rede



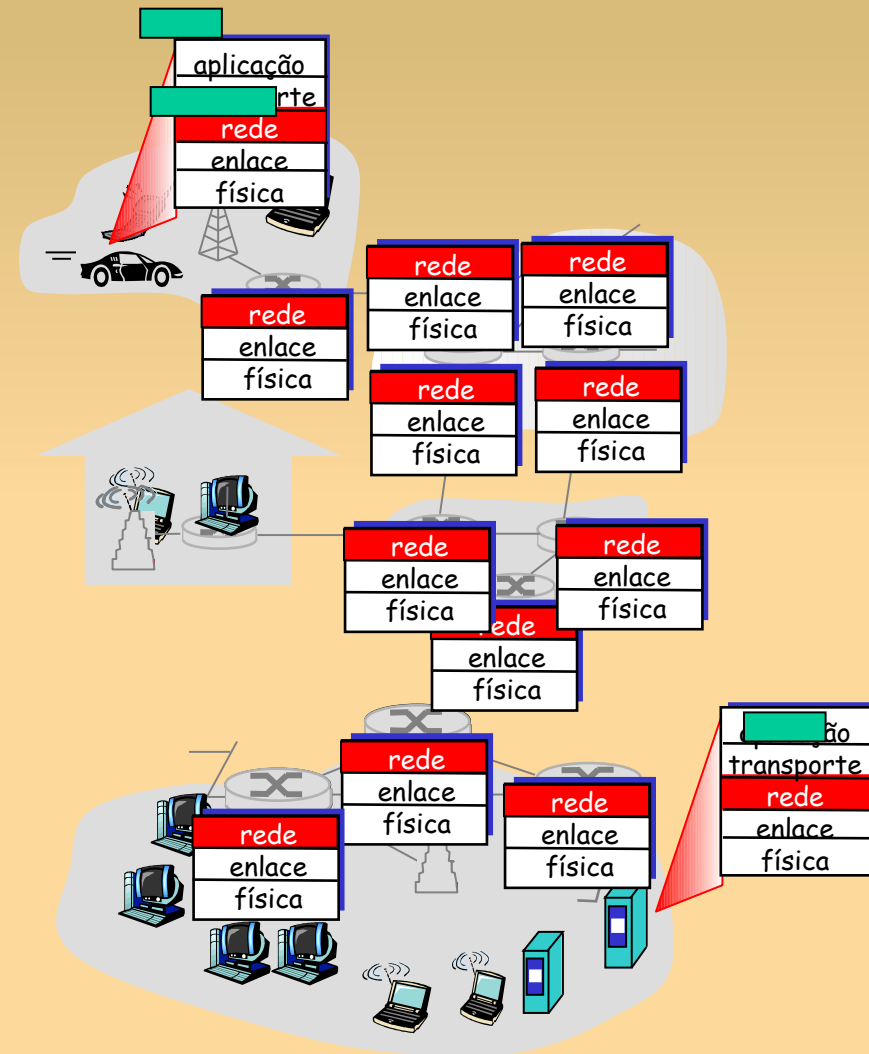
Objetivos do capítulo:

- entender os princípios por trás dos serviços da camada de rede:
 - modelos de serviço da camada de rede
 - repasse *versus* roteamento
 - como funciona um roteador
 - roteamento (seleção de caminho)
 - lidando com escala
 - tópicos avançados: IPv6, mobilidade
- instanciação, implementação na Internet

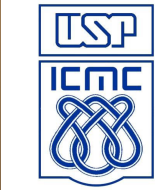
- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador?
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - formato do datagrama
 - endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - estado de enlace
 - vetor de distâncias
 - roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento broadcast e multicast

Camada de rede

- segmento de transporte do hosp. emissor ao receptor
- o lado emissor encapsula segmentos em datagramas
- o lado receptor entrega segmentos à camada de transporte
- protocolos da camada de rede em *cada* hosp., roteador
- roteador examina campos de cabeçalho em todos os datagramas IP que passam por ele



Duas importantes funções da camada de rede



- *repasse*: mover pacotes da entrada do roteador para a saída apropriada do roteador
- *roteamento*: determinar rota seguida pelos pacotes da origem ao destino

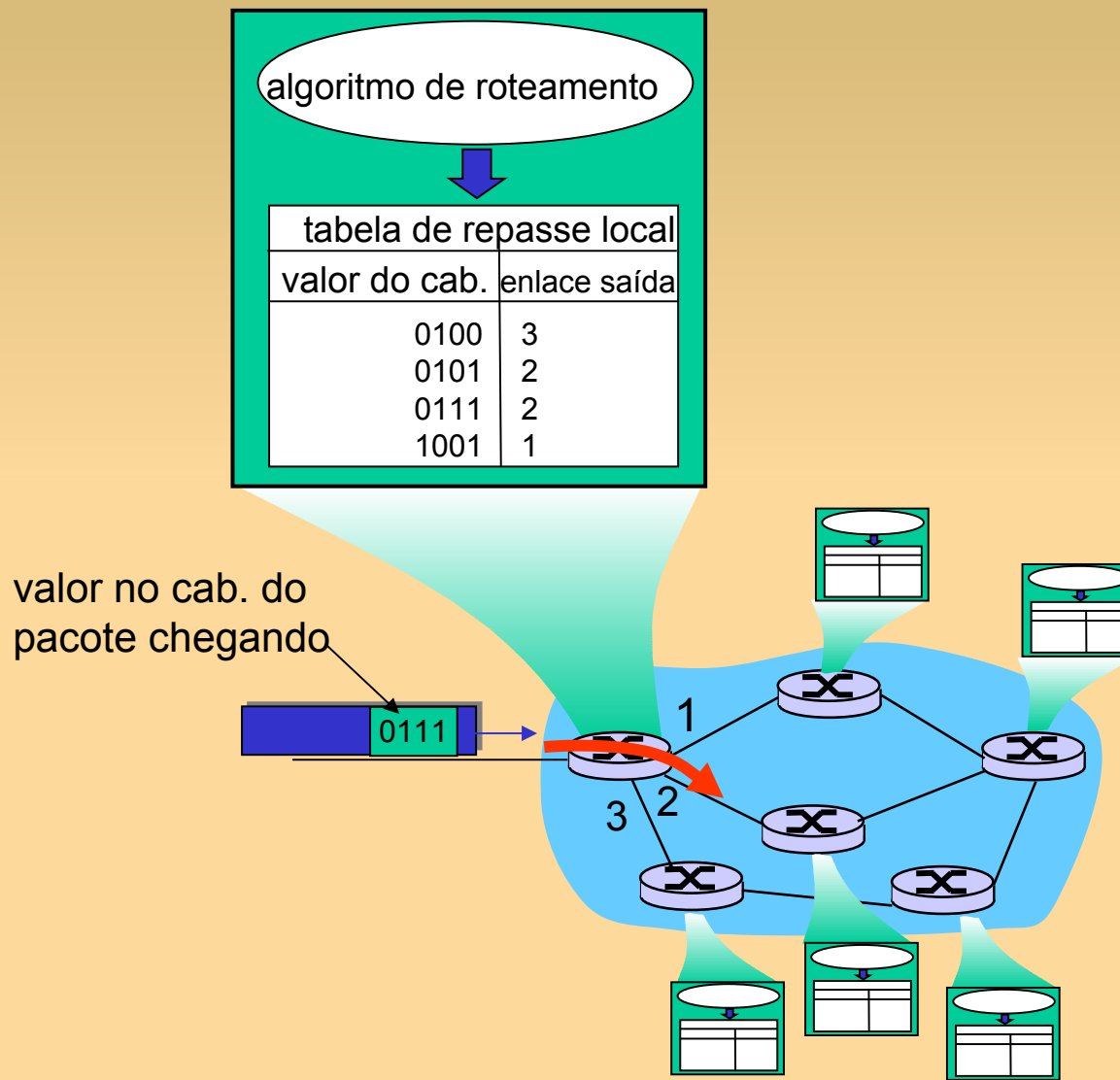
analogia:

roteamento: processo de planejamento da viagem da origem ao destino

repasse: processo de passar por um único cruzamento

algoritmos de roteamento

Interação entre roteamento e repasse



Estabelecimento de conexão

- 3ª função importante em *algumas* arquiteturas de rede:
ATM, frame relay, X.25
- antes que os datagramas fluam, dois hospedeiros finais e roteadores entre eles estabelecem conexão virtual
roteadores são envolvidos
- serviço de conexão da camada de rede *versus* transporte:
 - rede:** entre dois hospedeiros (também pode envolver roteadores entre eles, no caso de VCs)
 - transporte:** entre dois processos

Modelo de serviço de rede

P: Que *modelo de serviço* é o melhor para o "canal" que transporta datagramas do remetente ao destinatário?

exemplo de serviços para datagramas individuais:

- entrega garantida
- entrega garantida com atraso limitado

exemplo de serviços para fluxo de datagramas:

- entrega de datagrama na ordem
- largura de banda mínima garantida
- restrições sobre mudanças no espaçamento entre pacotes (Jitter?)

Modelos de serviço da camada de rede:



Arquitetura da rede	Modelo de serviço	Garantia de largura de banda	Garantia contra perda	Ordenamento	Temporização	Indicação de congestionamento
Internet	Melhor esforço	Nenhuma	Nenhuma	Qualquer ordem possível	Não mantida	Nenhuma
ATM	CBR	Taxa constante garantida	Sim	Na ordem	Mantida	Não ocorrerá congestionamento
ATM	ABR	Mínima garantida	Nenhuma	Na ordem	Não mantida	Indicação de congestionamento

Capítulo 4:

Camada de rede



- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador?
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - formato do datagrama
 - endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - estado de enlace
 - vetor de distâncias
 - roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento broadcast e multicast

Serviço com e sem conexão da camada de rede



- rede de datagrama fornece serviço sem conexão da camada de rede
- rede VC fornece serviço com conexão da camada de rede
- análogo aos serviços da camada de transporte, mas:
 - serviço:** hospedeiro a hospedeiro
 - sem escolha:** a rede oferece um ou outro
 - implementação:** no núcleo da rede

Circuitos virtuais

“Caminho da origem ao destino comporta-se como um circuito telefônico”

com respeito ao desempenho

ações da rede ao longo do caminho da origem ao destino

- estabelecimento e término para cada chamada *antes* que os dados possam fluir
- cada pacote carrega identificador VC (não endereço do hospedeiro de destino)
- *cada* roteador no caminho origem-destino mantém “estado” para cada conexão que estiver passando
- recursos do enlace e roteador (largura de banda, buffers) podem ser *alocados* ao VC (recursos dedicados = serviço previsível)

Implementação do VC

Um VC consiste em:

1. caminho da origem ao destino
2. números de VC, um número para cada enlace ao longo do caminho
3. entradas em tabelas de repasse nos roteadores ao longo do caminho

pacote pertencente ao VC carrega número do VC (em vez do endereço de destino)

número do VC pode ser alterado em cada enlace

 novo número de VC vem da tabela de repasse

Tabela de repasse

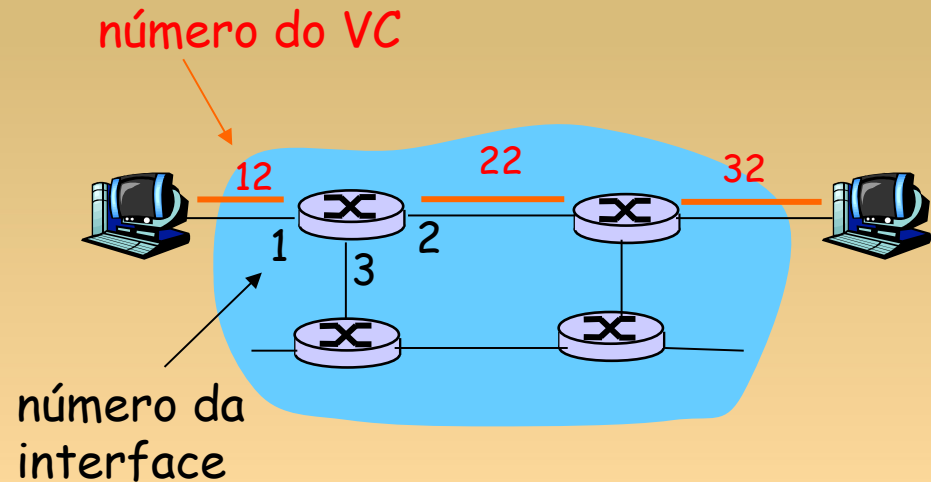


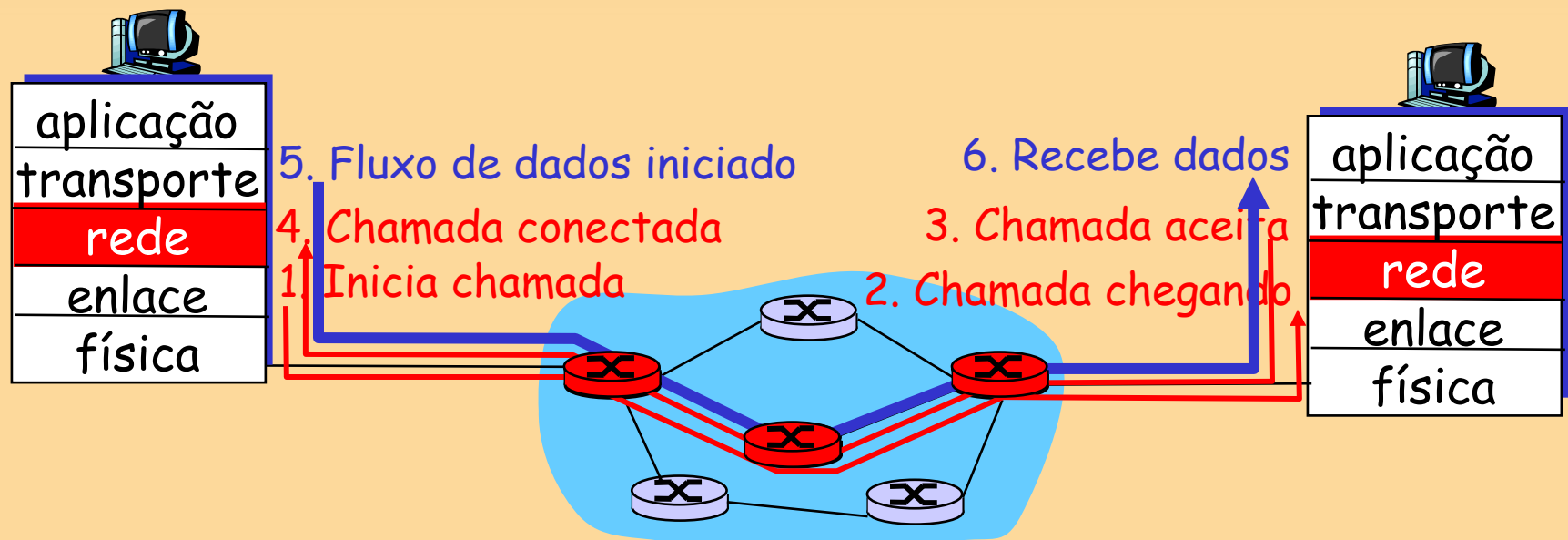
tabela de repasse no roteador noroeste:

Interface de entrada	Nº do CV de entrada	Interface de saída	Nº do CV de saída
1	12	2	22
2	63	1	18
3	7	2	17
1	97	3	87
...

Roteadores mantêm informação de estado da conexão!

Circuitos virtuais: protocolos de sinalização

- usados para estabelecer, manter e terminar VC
- usados em ATM, frame-relay, X.25
- não usados na Internet de hoje



Redes de datagrama

- sem estabelecimento de chamada na camada de rede
- roteadores: sem estado sobre conexões fim a fim
sem conceito em nível de rede da "conexão"
- pacotes repassados usando endereço do hospedeiro de destino

pacotes entre mesmo par origem-destino podem tomar caminhos diferentes

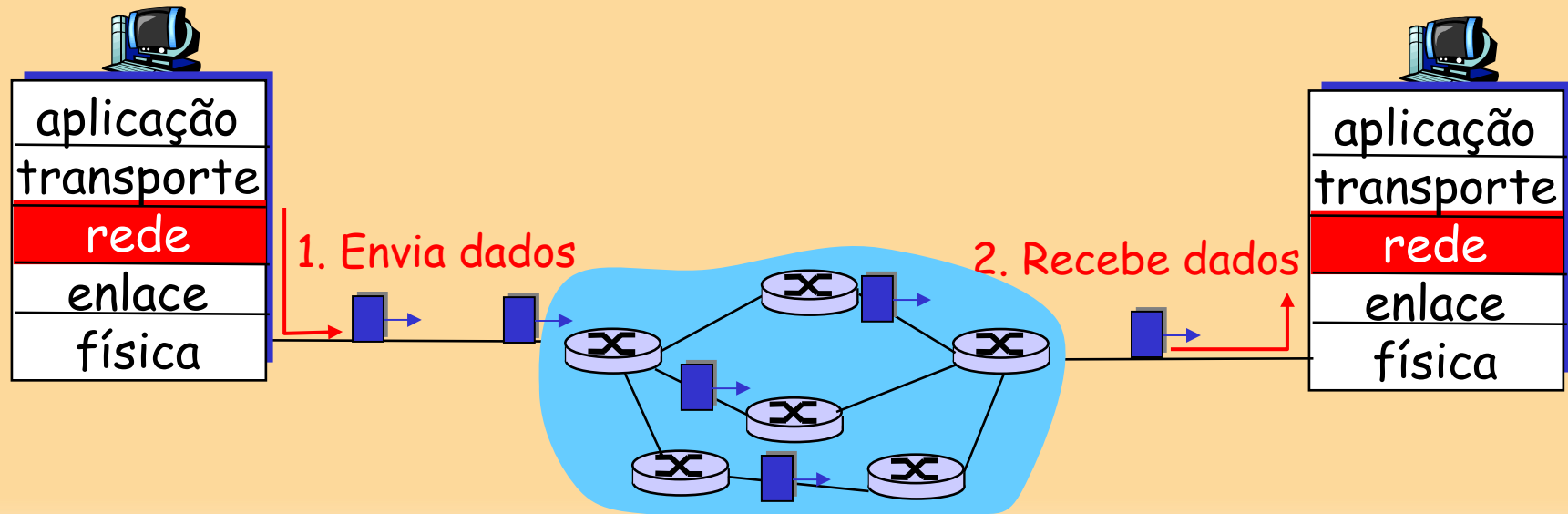


Tabela de repasse

4 bilhões de entradas possíveis

Faixa de endereços de destino

Interface de enlace

11001000 00010111 00010000 00000000
até

0

11001000 00010111 00010111 11111111

11001000 00010111 00011000 00000000
até

1

11001000 00010111 00011000 11111111

11001000 00010111 00011001 00000000
até

2

11001000 00010111 00011111 11111111

senão

3

Concordância do prefixo mais longo



<u>Concordância do prefixo</u>	<u>Interface do enlace</u>
11001000 00010111 00010	0
11001000 00010111 00011000	1
11001000 00010111 00011	2
senão	3

Exemplos: 0-1

DA: 11001000 00010111 00010110 10100001

Qual interface?

DA: 11001000 00010111 00011000 10101010

Qual interface?

Rede de datagramas ou VC:



Internet (datagrama)

- troca de dados entre computadores
 - serviço "elástico", sem requisitos de temporização estritos*
- sistemas finais "inteligentes" (computadores)
 - pode adaptar, realizar controle, recup. de erros simples dentro da rede, complexidade na "borda"*
- muitos tipos de enlace
 - diferentes características*
 - serviço uniforme difícil*

ATM (VC)

- evoluída da telefonia
- conversação humana:
 - requisitos de temporização estritos, confiabilidade*
 - necessário para serviço garantido*
- sistemas finais "burros"
 - telefones*
 - complexidade dentro da rede*

Capítulo 4:

Camada de rede

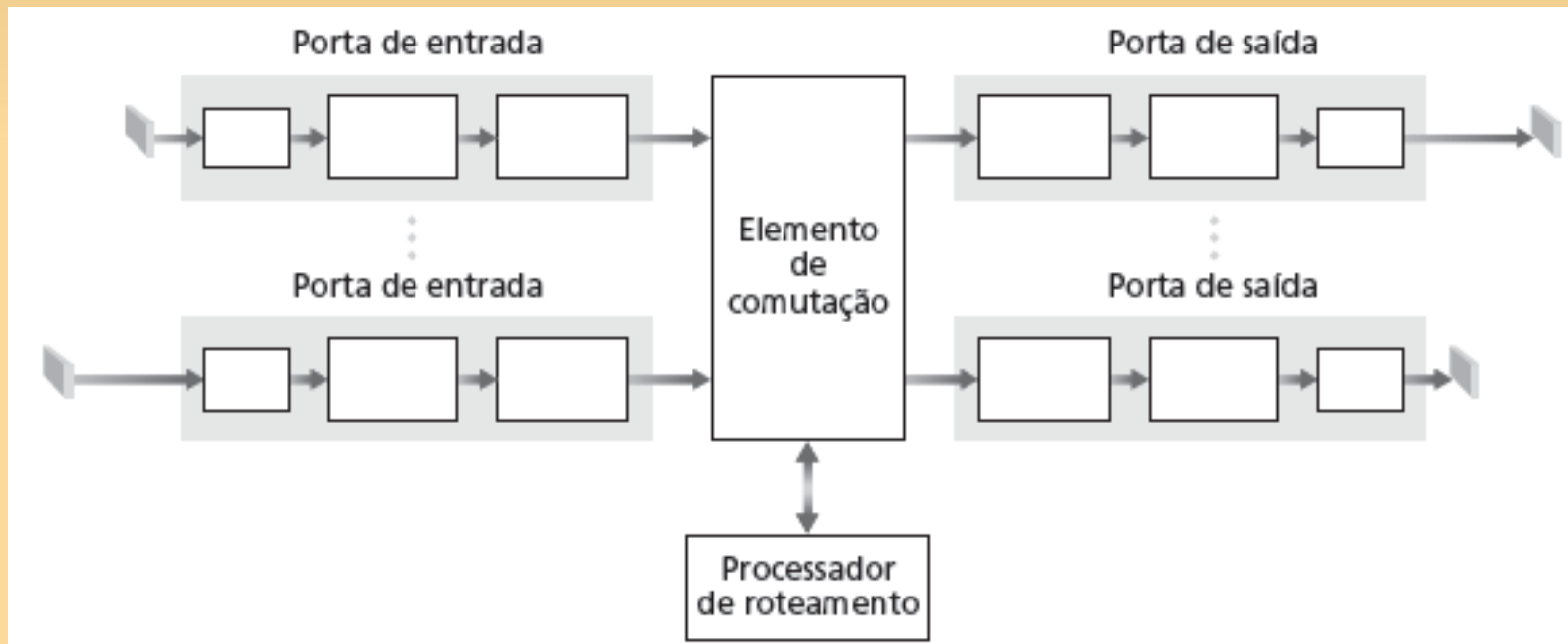


- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador?
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - formato do datagrama
 - endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - estado de enlace
 - vetor de distâncias
 - roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento broadcast e multicast

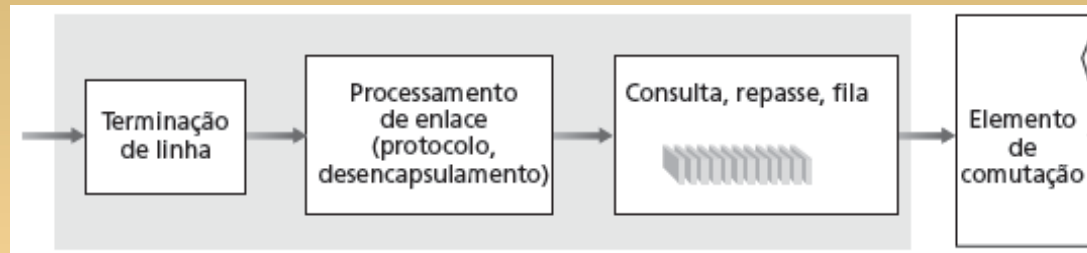
Visão geral da arquitetura do roteador

Duas funções principais do roteador:

- executar algoritmos/protocolo de roteamento (RIP, OSPF, BGP)
- *repassar* datagramas do enlace de entrada para saída



Funções da porta de entrada



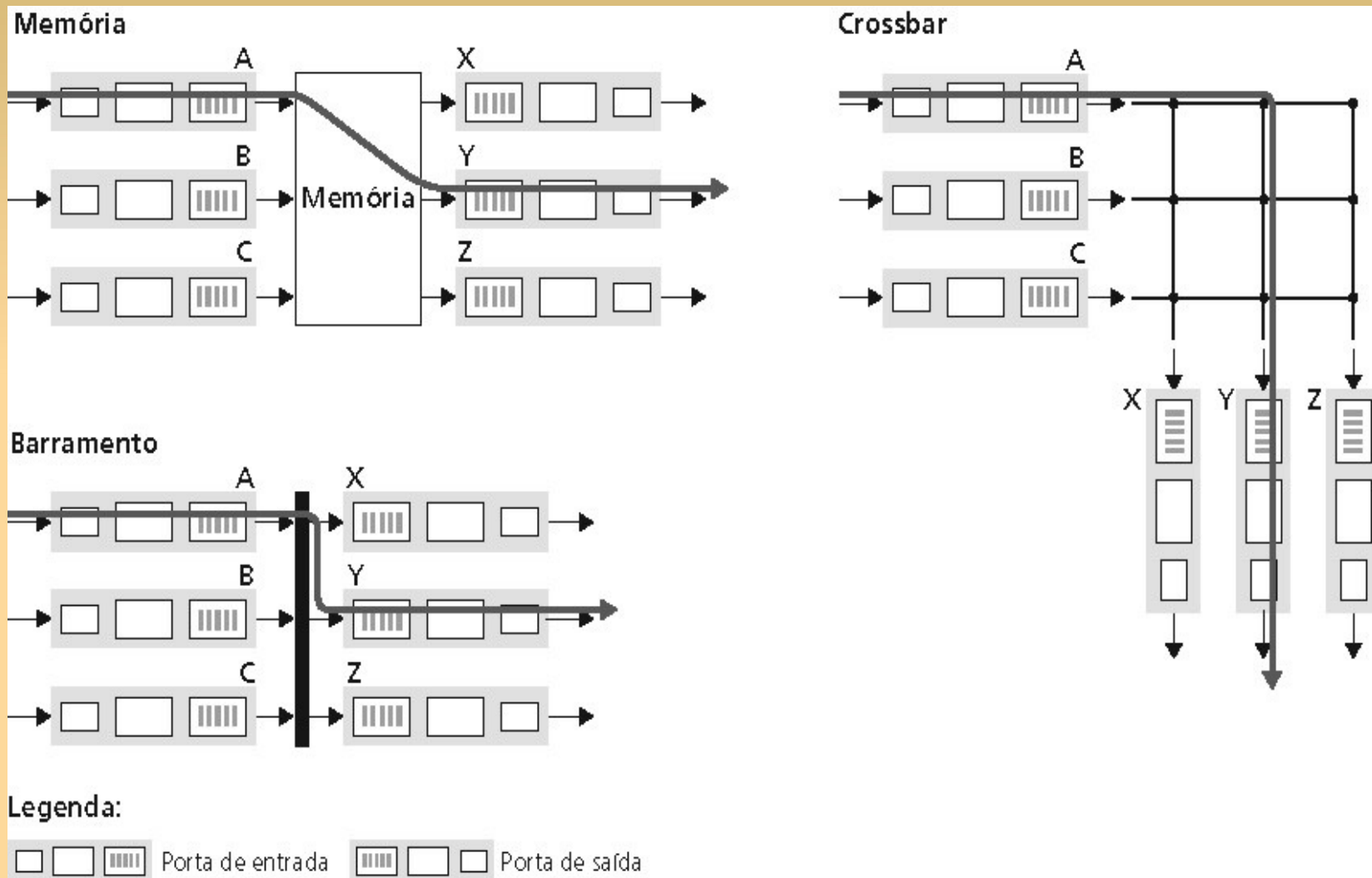
Camada física:
recepção por bit

Camada de enlace
de dados:
p. e., Ethernet
ver Capítulo 5

Comutação descentralizada:

- dado destino do datagrama, porta de saída é pesquisada usando tabela de repasse
- objetivo: processamento completo da porta de entrada na 'velocidade de linha'
- fila: se datagramas chegarem mais rápido que taxa de repasse no elemento de comutação

Três tipos de Estrutura de Comutação



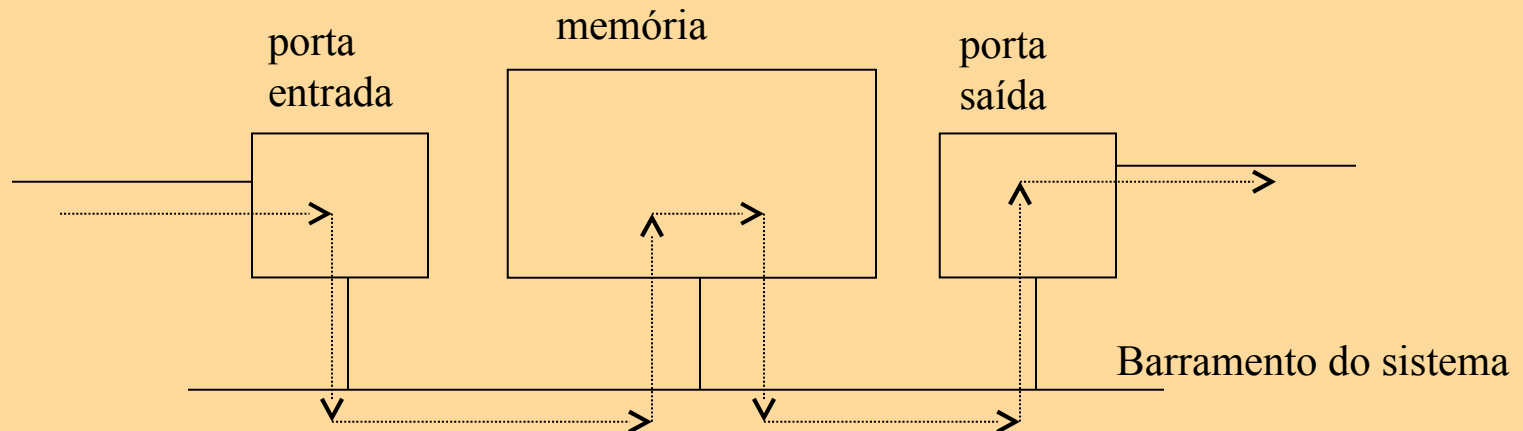
Comutação por memória

Roteadores de primeira geração:

computadores tradicionais com a comutação via controle direto da CPU

pacote copiado para a memória do sistema

velocidade limitada pela largura de banda da memória (2 travessias de barramento por datagrama)



Comutação por um barramento



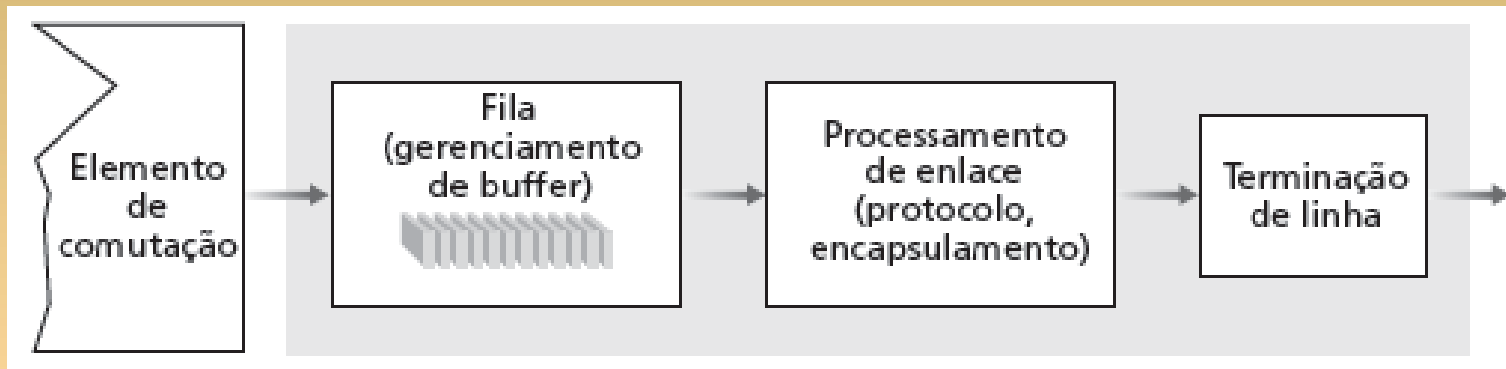
- datagrama da memória da porta de entrada à memória da porta de saída por um barramento compartilhado
- **disputa pelo barramento:** velocidade da comutação limitada pela largura de banda do barramento
- barramento Cisco 5600 de 32 Gbps: velocidade suficiente para roteadores de acesso e corporativos

Comutação por uma rede de interconexão



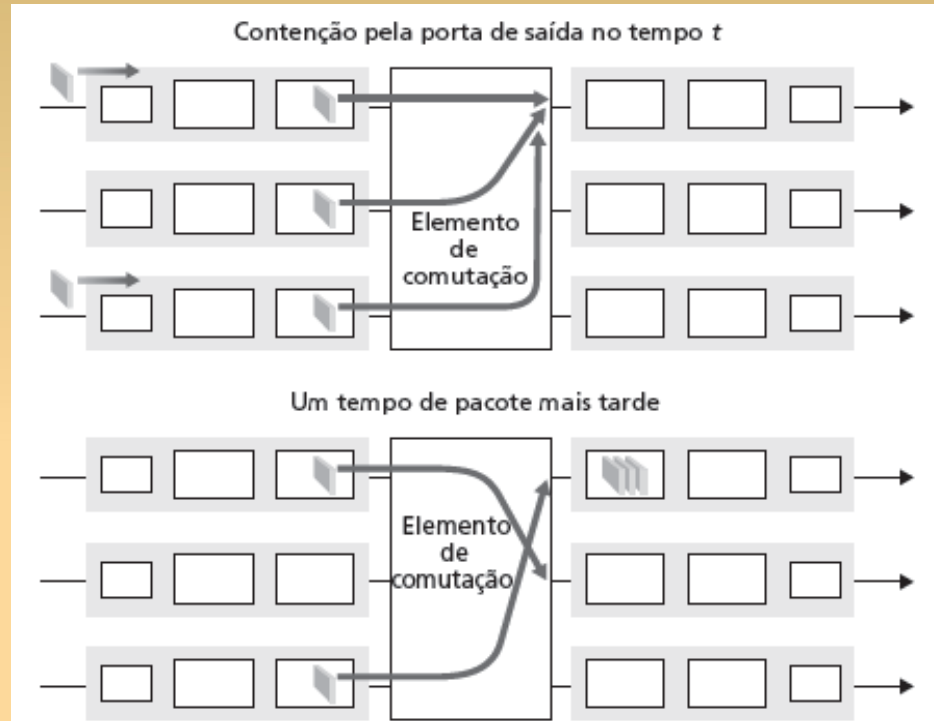
- contorna limitações de largura de banda do barramento
- Outras redes de interconexão desenvolvidas inicialmente para conectar processadores no multiprocessador
- projeto avançado: fragmenta datagrama em células de tamanho fixo, comuta células através do elemento de comutação
- Cisco 12000: comuta 60 Gbps através da rede de interconexão

Portas de saída



- **Buffering** exigido quando os datagramas chegam do elemento de comutação mais rápido que a taxa de transmissão
- **Disciplina de escalonamento** escolhe entre os datagramas enfileirados para transmissão

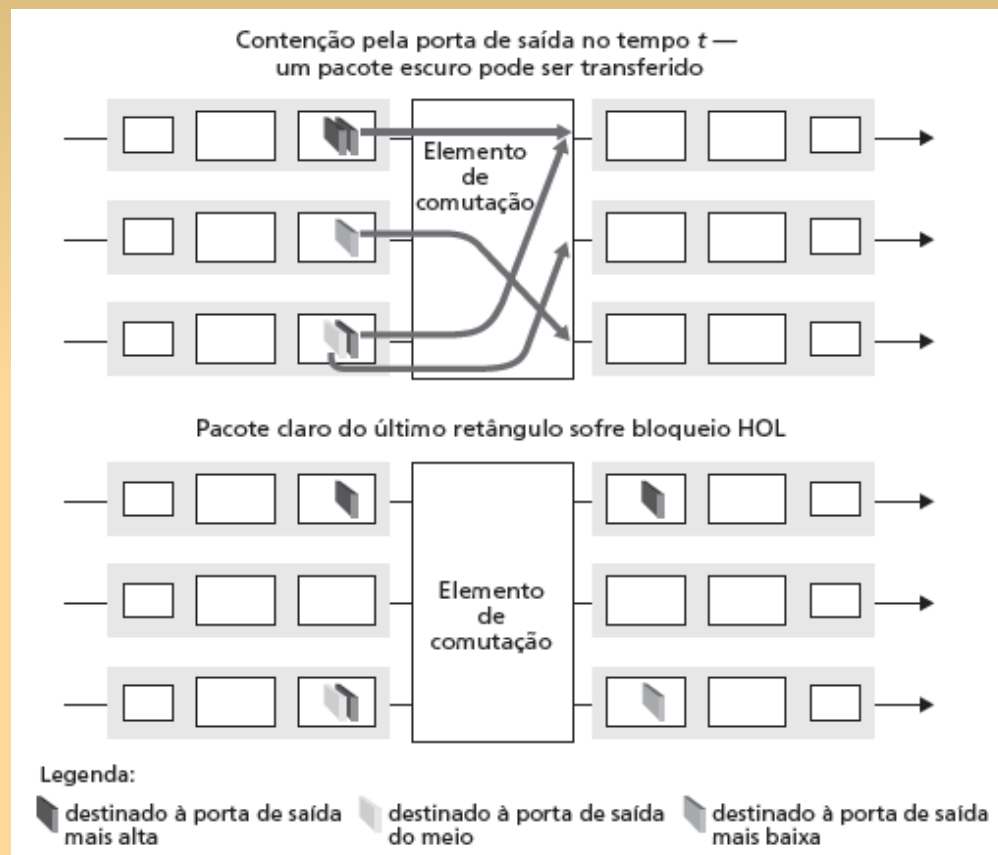
Enfileiramento na porta de saída



- buffering quando a taxa de chegada via comutador excede a velocidade da linha de saída
- *enfileiramento (atraso) e perda devidos a estouro de buffer na porta de saída!*

Enfileiramento da porta de entrada

- elemento de comutação mais lento que portas de entrada combinadas -> enfileiramento possível nas filas de entrada
- **bloqueio de cabeça de fila (HOL)** : datagrama enfileirado na frente da fila impede que outros na fila sigam adiante
- **atraso de enfileiramento e perda devidos a estouro no buffer de entrada**



Capítulo 4:

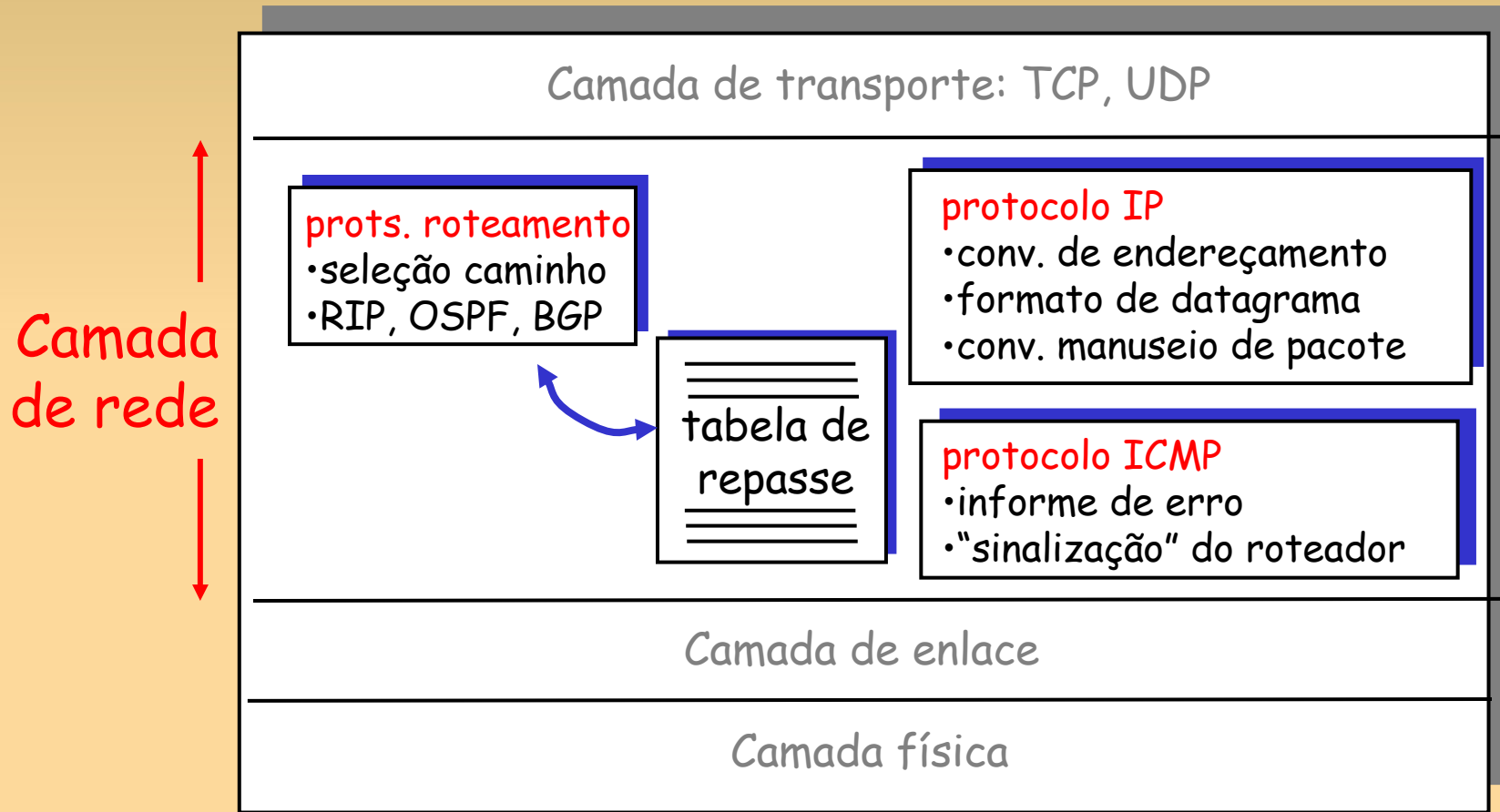
Camada de rede



- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador?
- **4.4 IP: Internet Protocol**
 - formato do datagrama
 - endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - estado de enlace
 - vetor de distâncias
 - roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento broadcast e multicast

A camada de rede da Internet

Funções na camada de rede do hospedeiro e roteador:



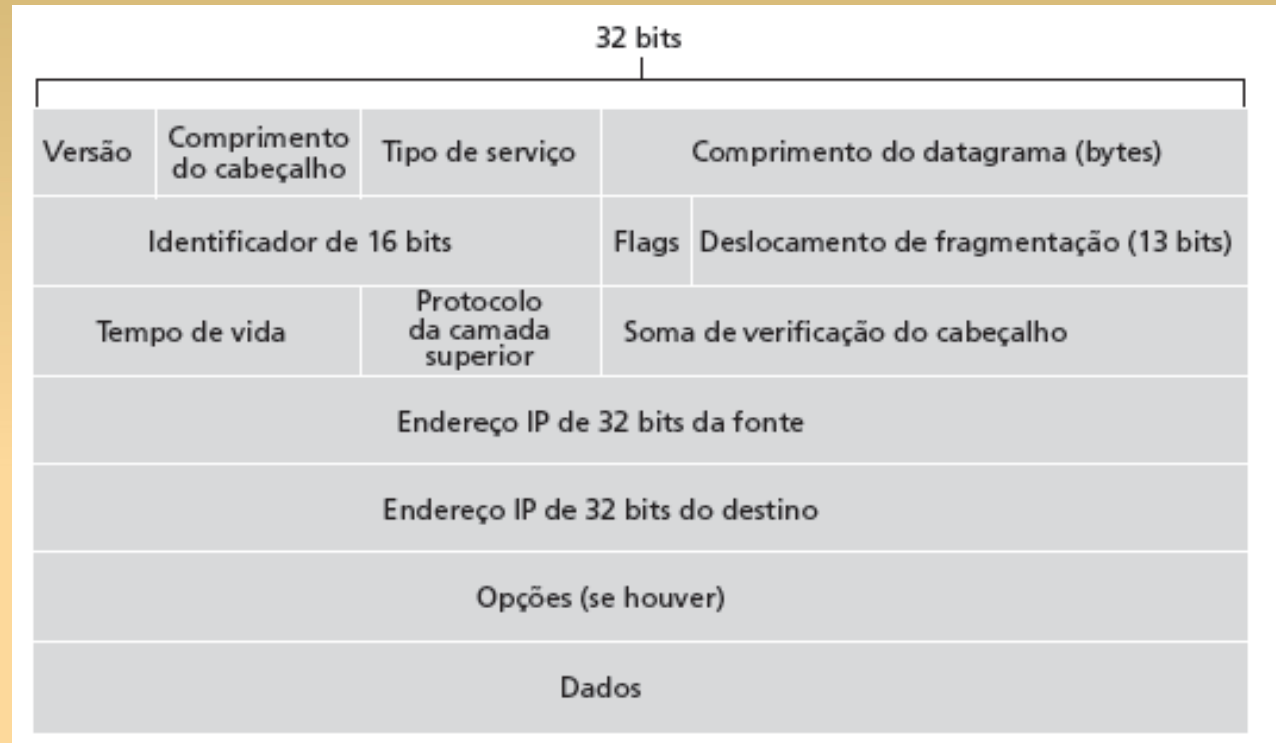
Capítulo 4:

Camada de rede



- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador?
- **4.4 IP: Internet Protocol**
 - formato do datagrama
 - endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - estado de enlace
 - vetor de distâncias
 - roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento broadcast e multicast

Formato do datagrama IP



Quanto overhead com TCP?

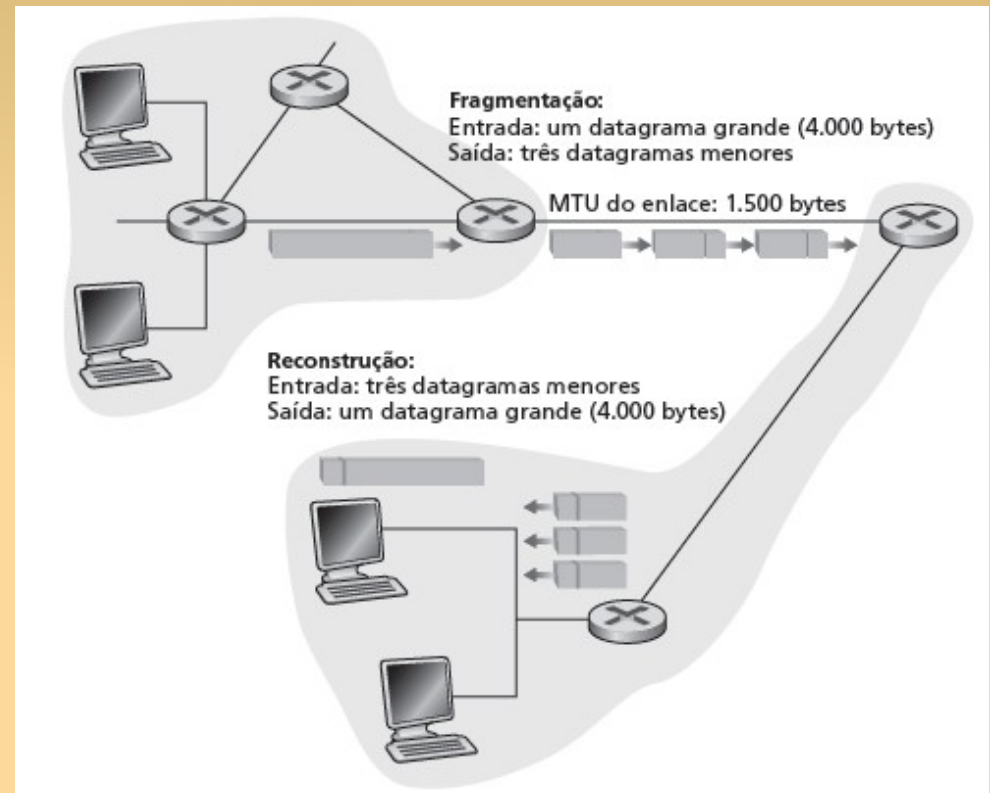
20 bytes de TCP

20 bytes de IP

= 40 bytes + overhead da camada de aplicação

Fragmentação e reconstrução do IP

- enlaces de rede têm MTU (tamanho máx. transferência) – maior quadro em nível de enlace possível.
 - diferentes tipos de enlace, diferentes MTUs
- grande datagrama IP dividido (“fragmentado”) dentro da rede
 - um datagrama torna-se vários datagramas
 - “reconstruído” somente no destino final
 - bits de cabeçalho IP usados para identificar, ordenar fragmentos relacionados



Exemplo

datagrama de 4000 bytes (3980 de dados)
 MTU = 1500 bytes

tam.	ID	fragflag	desloc.	
= 4000	= x	= 0	= 0	

Um datagrama grande torna-se vários datagramas menores

1480 bytes no campo de dados

1500 - total de bytes do pacotes

$$\text{deslocamento} = 1480/8 = 185$$

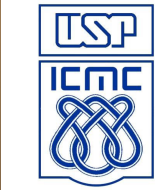
tam.	ID	fragflag	desloc.	
= 1500	= x	= 1	= 0	

tam.	ID	fragflag	desloc.	
▶ 1500	= x	= 1	= 185	

tam.	ID	fragflag	desloc.	
= 1040	= x	= 0	= 370	

Capítulo 4:

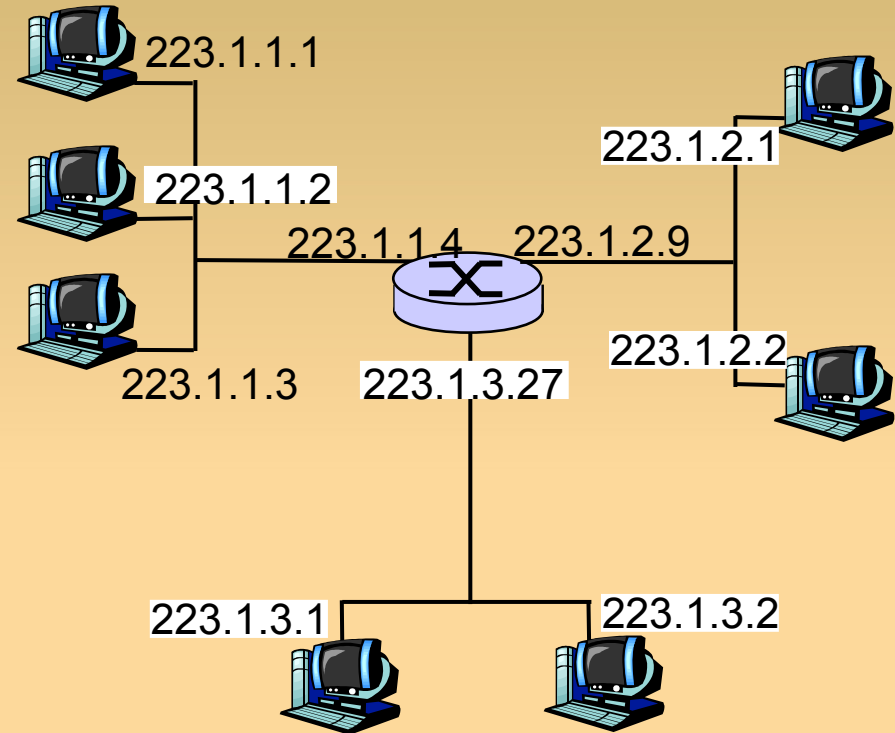
Camada de rede



- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador?
- **4.4 IP: Internet Protocol**
 - formato do datagrama
 - endereçamento IPv4**
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - estado de enlace
 - vetor de distâncias
 - roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento broadcast e multicast

Endereçamento IP: introdução

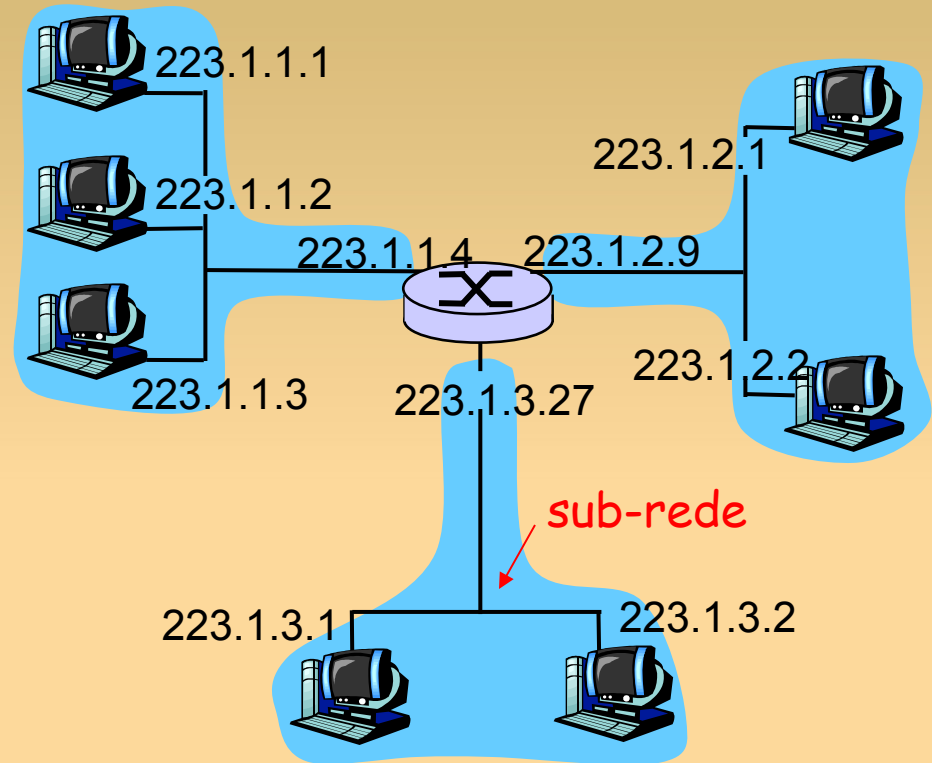
- **endereço IP:** identificador de 32 bits para *interface de* hospedeiro e roteador
- **interface:** conexão entre hospedeiro/ roteador e enlace físico
 - roteadores normalmente têm várias interfaces
 - hospedeiro normalmente tem uma interface
 - endereços IP associados a cada interface



$$223.1.1.1 = \underbrace{11011111}_{223} \underbrace{00000001}_1 \underbrace{00000001}_1 \underbrace{00000001}_1$$

Sub-redes

- endereço IP:**
 - parte da sub-rede (bits de alta ordem)
 - parte do host (bits de baixa ordem)
- O que é uma sub-rede?**
 - dispositivo se conecta à mesma parte da sub-rede do endereço IP
 - pode alcançar um ao outro fisicamente sem roteador intermediário

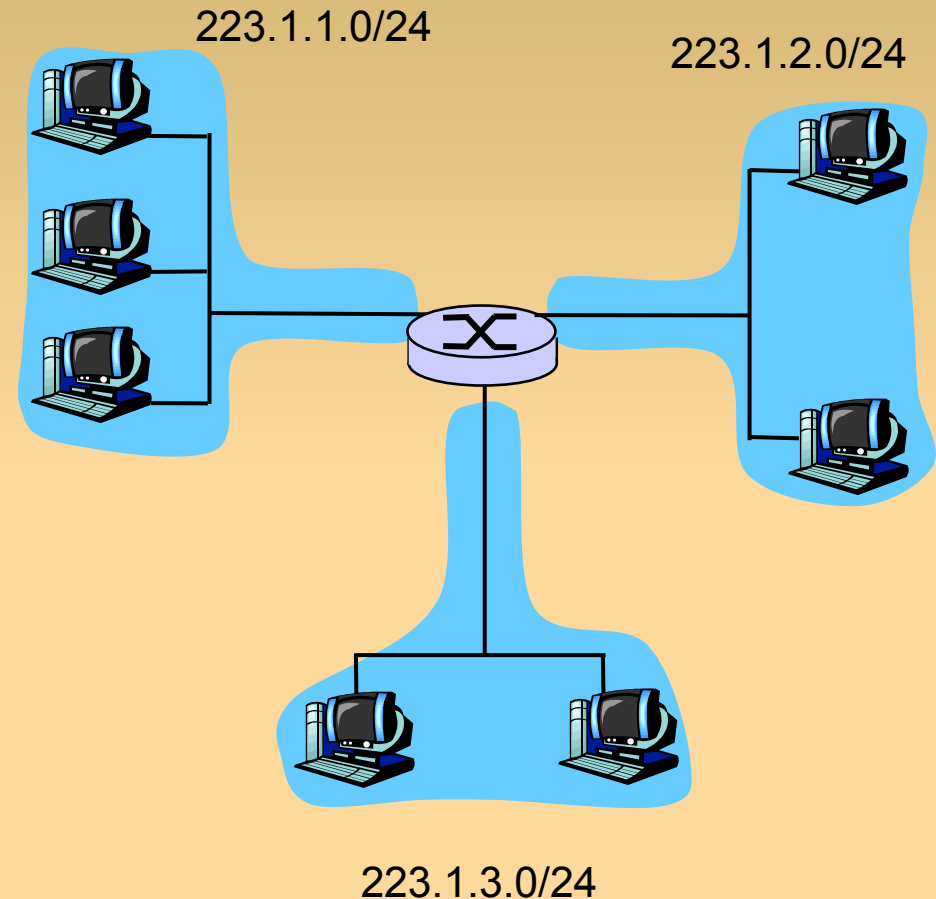


rede consistindo em 3 sub-redes

Sub-redes

Receita

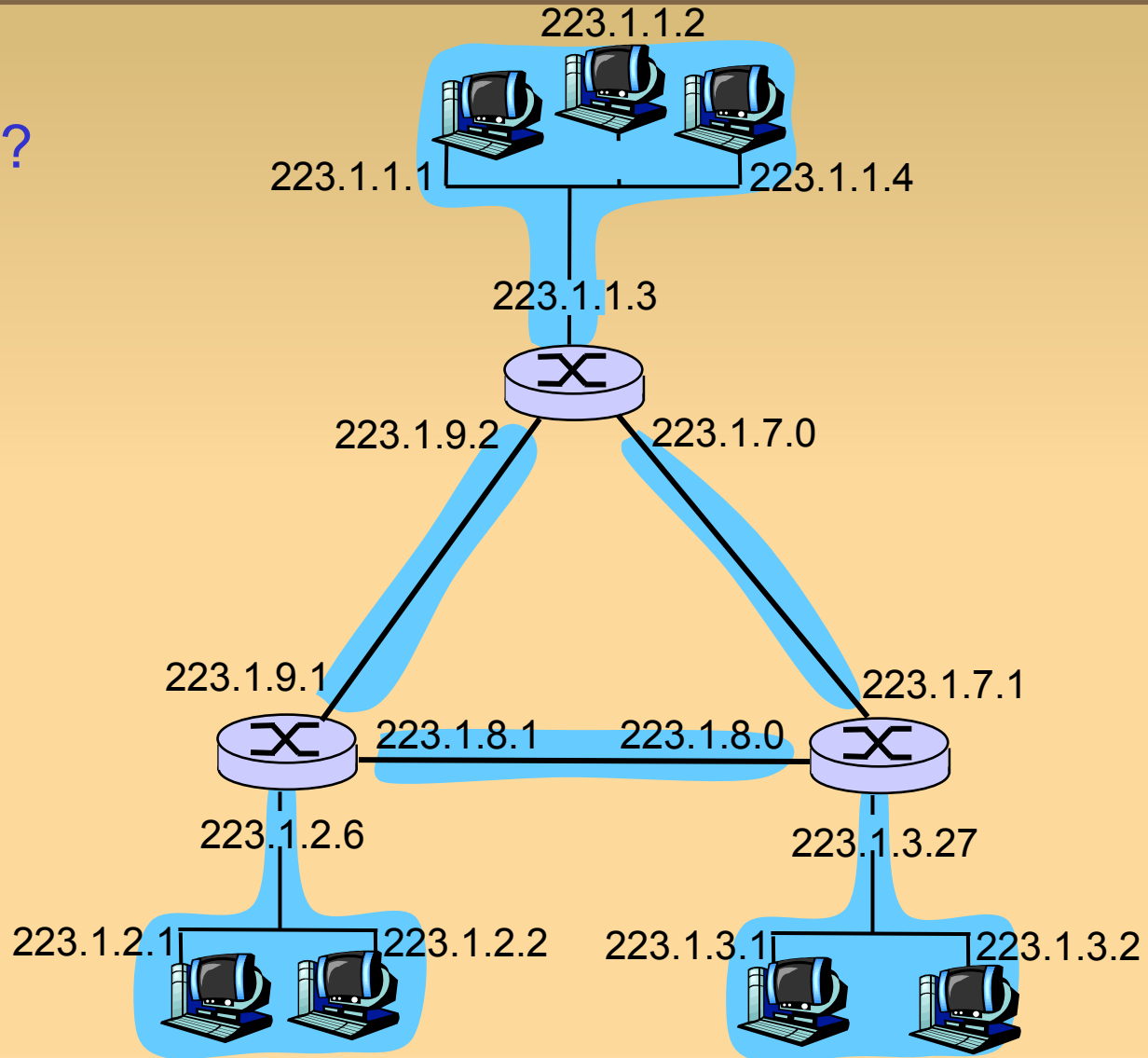
- para determinar as sub-redes, destaque cada interface de seu roteador, criando ilhas de redes isoladas. Cada rede isolada é denominada **sub-red**



Máscara de sub-rede: /24

Sub-redes

6) Quantas?

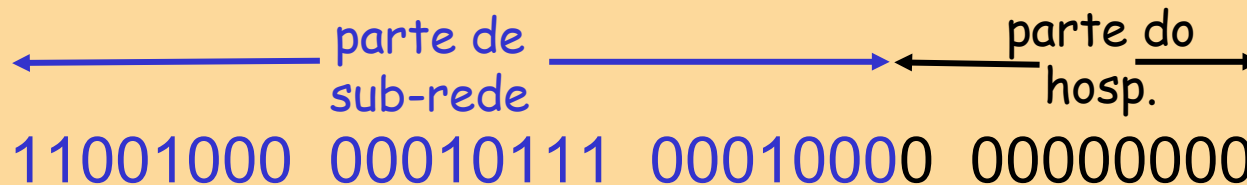


Endereçamento IP: CIDR

CIDR: **C**lassless **I**nter**D**omain **R**outing (roteamento interdomínio sem classes)

parte de sub-rede do endereço de tamanho arbitrário

formato do endereço: **a.b.c.d/x**, onde **x** é # bits na parte de sub-rede do endereço



200.23.16.0/23

Máscara da Rede

255.255.255.192

192 = 11000000

$2^6 - 2 = 62$ computadores na rede

Subnet Mask: 255.255.255.192

Router: 143.107.183.129

DNS Server: 143.107.231.12

Endereços IP: como obter um?



P: Como um *hospedeiro* obtém endereço IP?

- fornecido pelo administrador do sistema em um arquivo

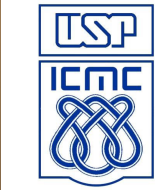
Windows: painel de controle->rede
->configuração->tcp/ip->propriedades

UNIX: /etc/rc.config

- **DHCP:** **D**ynamic **H**ost **C**onfiguration **P**rotocol: recebe endereço dinamicamente do servidor

“plug-and-play”

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol



Objetivo: permitir que o hospedeiro obtenha *dinamicamente* seu endereço IP do servidor de rede quando se conectar à rede

pode renovar seu prazo no endereço utilizado

permite reutilização de endereços (só mantém endereço enquanto conectado e "ligado")

aceita usuários móveis que queiram se juntar à rede (mais adiante)

Visão geral do DHCP:

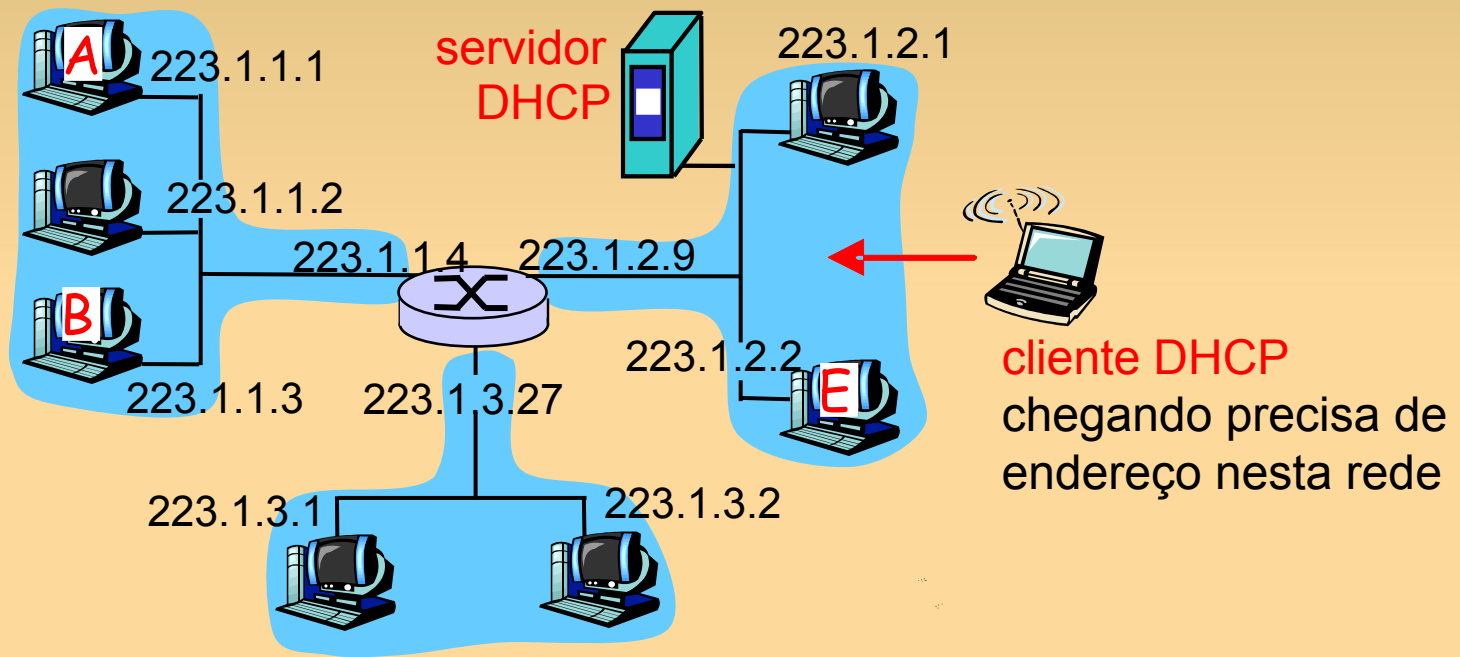
host broadcasts "DHCP discover" msg

servidor DHCP responde com msg "DHCP offer"

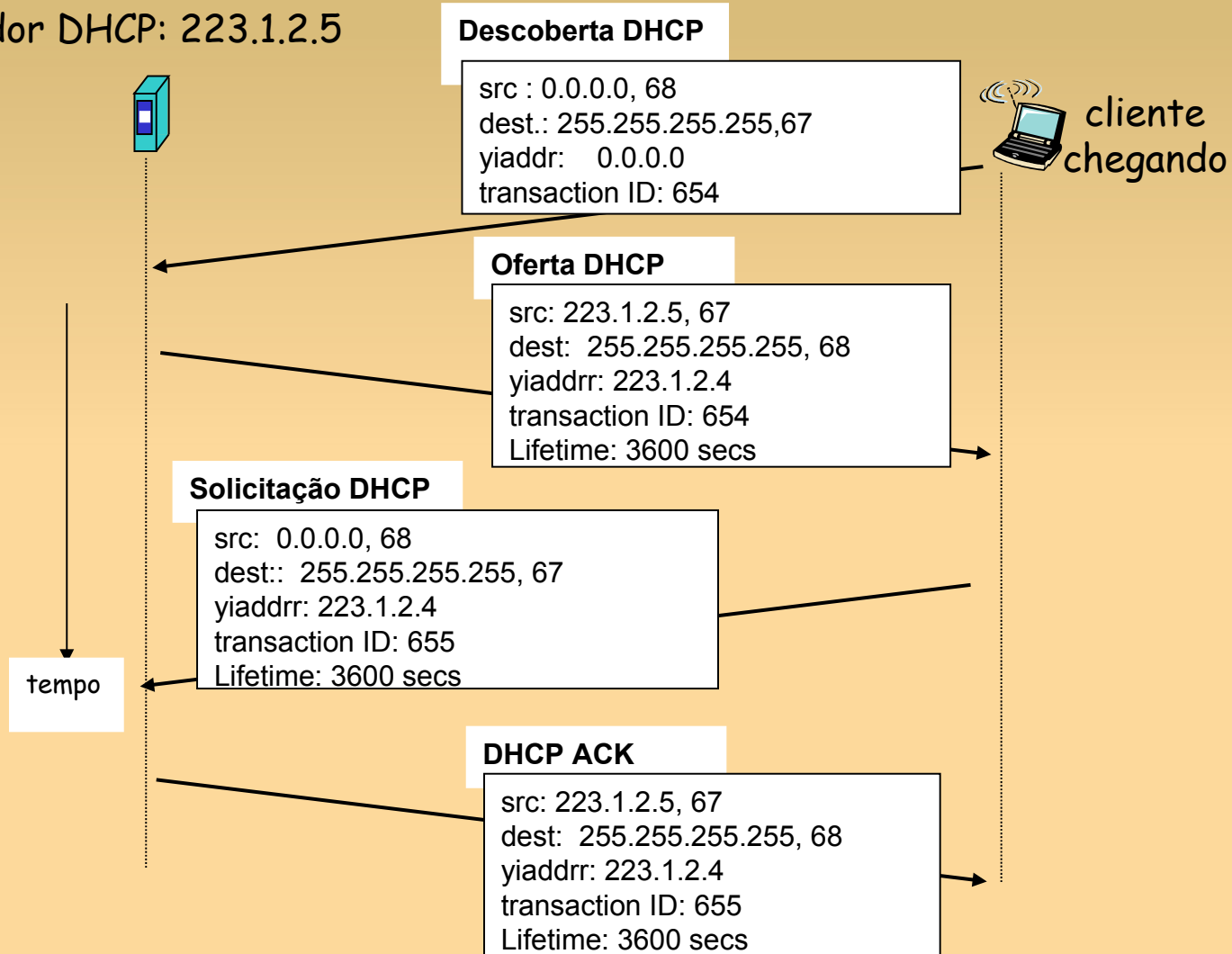
hospedeiro requer endereço IP: msg "DHCP request"

servidor DHCP envia endereço: msg "DHCP ack"

DHCP – cenário cliente/servidor



servidor DHCP: 223.1.2.5



DHCP: mais do que endereço IP



DHCP pode retornar mais do que apenas o endereço IP alocado na sub-rede:

- endereço do roteador do primeiro salto para o cliente
- nome e endereço IP do servidor DNS
- máscara de rede (indicando parte de rede *versus* hospedeiro do endereço)

Endereços IP: como obter um?



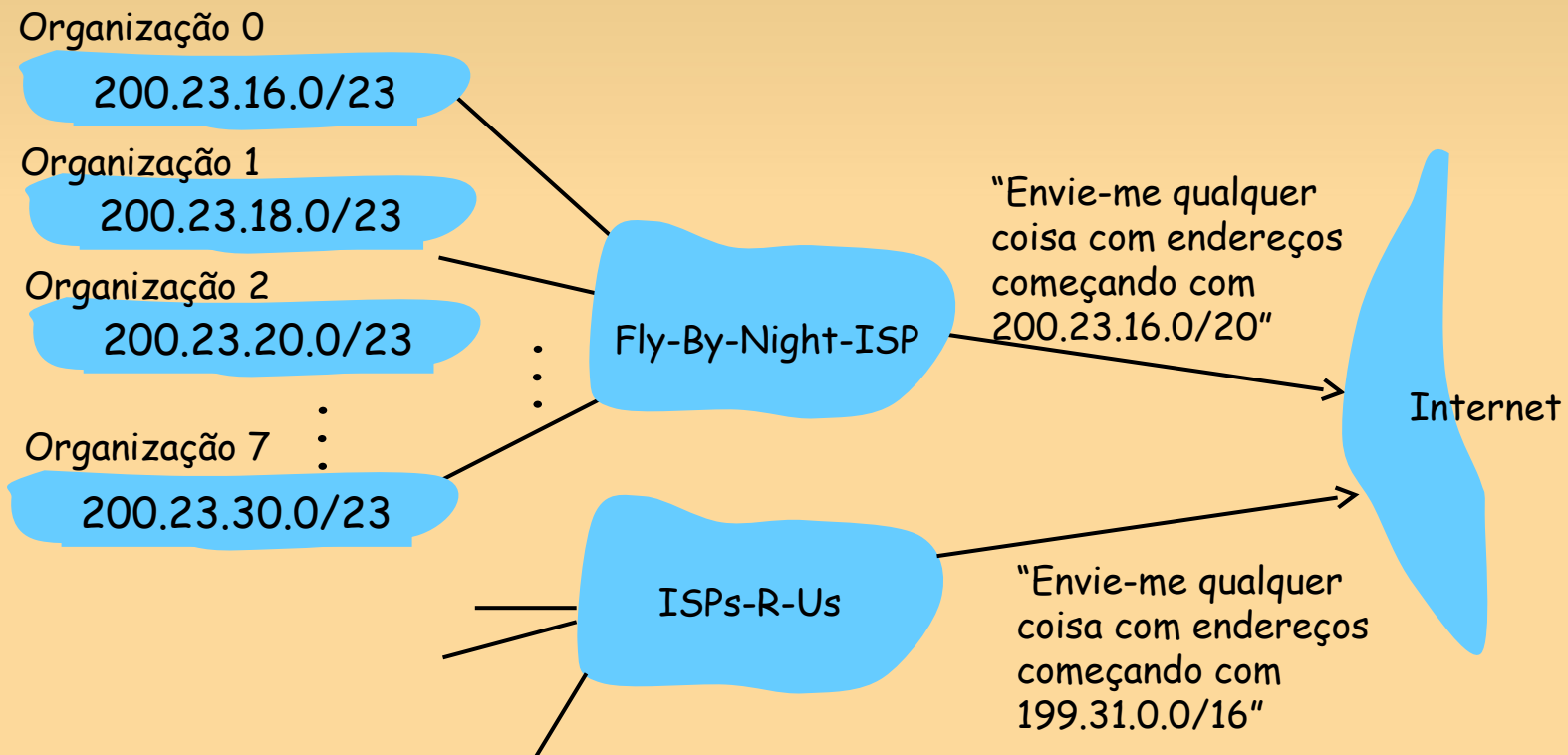
P: Como a *rede* obtém a parte de sub-rede do endereço IP?

R: Recebe parte alocada do espaço de endereços do seu ISP

Bloco do ISP	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010000</u>	00000000	200.23.16.0/20
Organização 0	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010000</u>	00000000	200.23.16.0/23
Organização 1	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010010</u>	00000000	200.23.18.0/23
Organização 2	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010100</u>	00000000	200.23.20.0/23
...
Organização 7	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00011110</u>	00000000	200.23.30.0/23

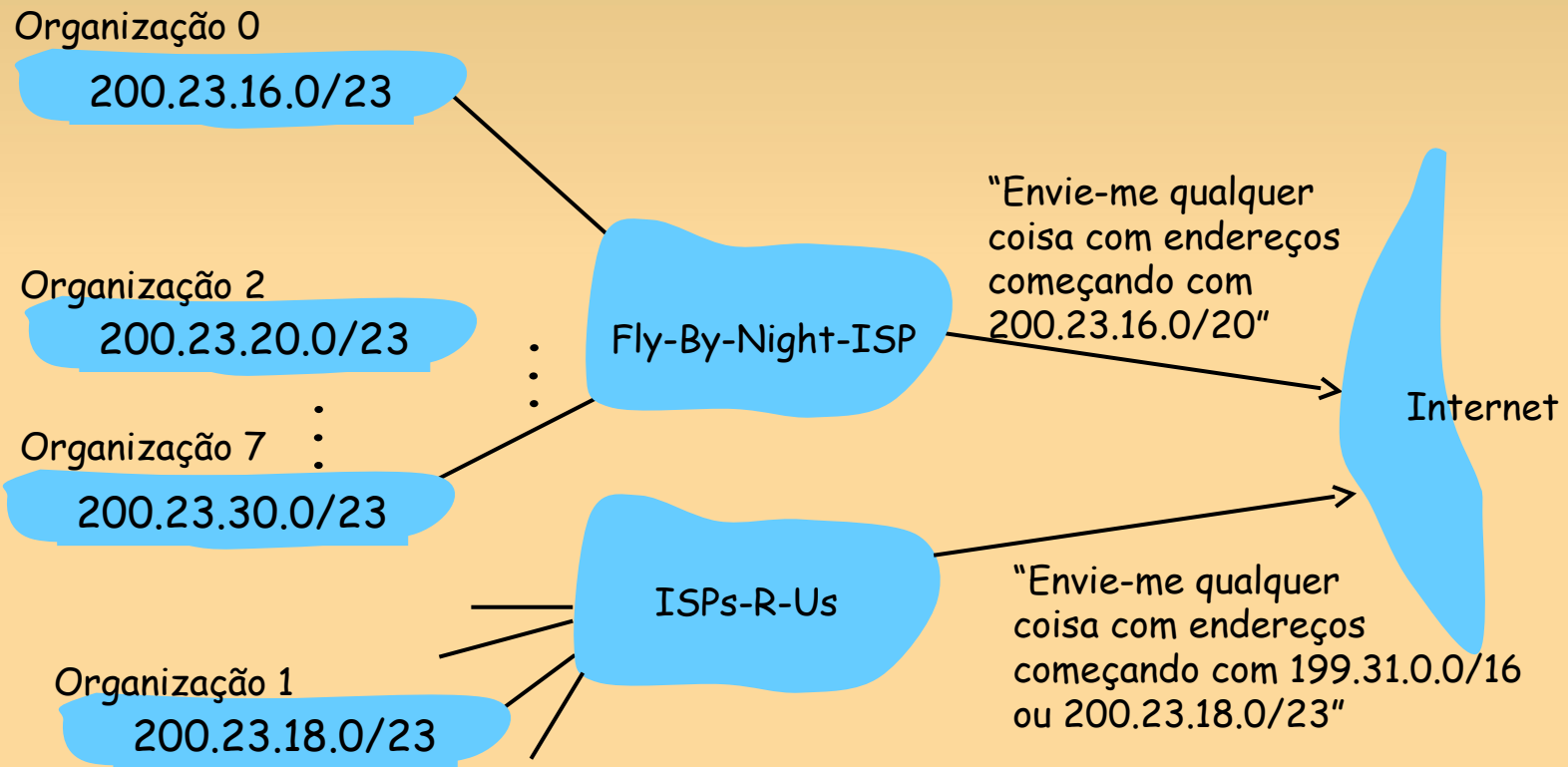
Endereçamento hierárquico: agregação de rota

Endereçamento hierárquico permite anúncio eficiente da informação de roteamento:



Endereçamento hierárquico: rotas mais específicas

ISPs-R-Us tem uma rota mais específica para Organização 1



Endereçamento IP: a última palavra...



P: Como um ISP recebe bloco de endereços?

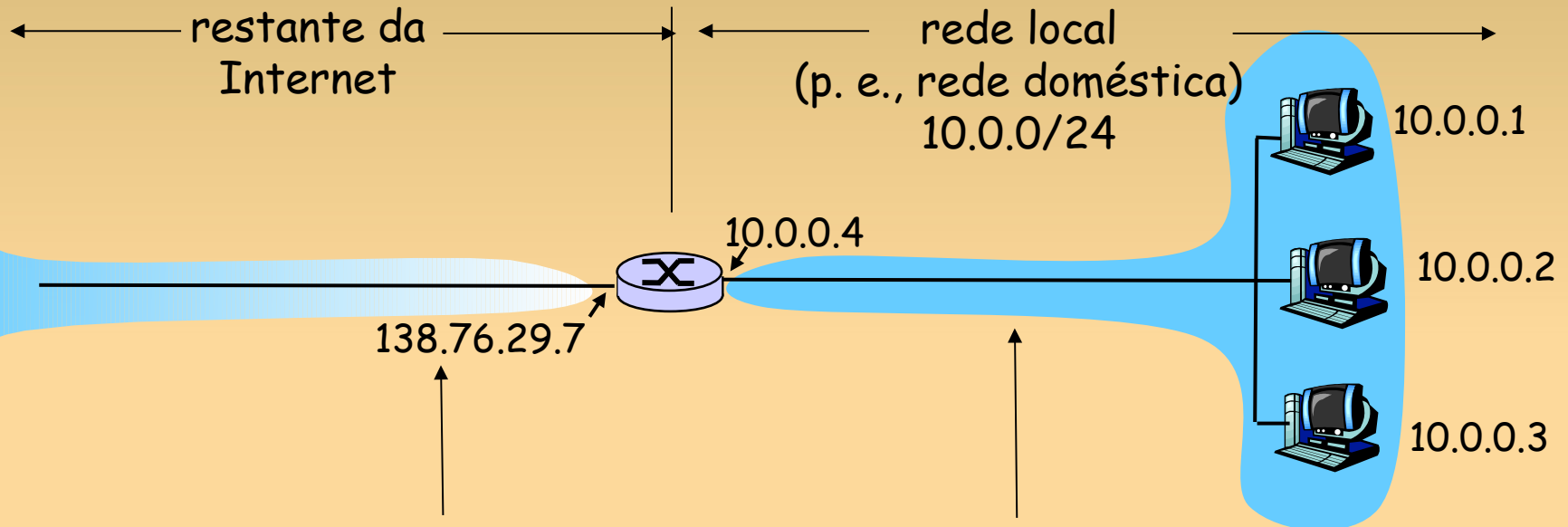
R: **ICANN**: Internet **C**orporation for **A**ssigned **N**ames and **N**umbers

aloca endereços

administra o DNS

atribui nomes de domínio e resolve disputas

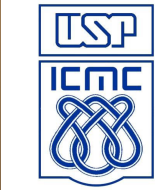
NAT: Network Address Translation



todos os datagramas *saindo* da rede local têm *mesmo* endereço IP NAT de origem: 138.76.29.7, mas diferentes números de porta de origem

datagramas com origem ou destino nesta rede têm endereço 10.0.0/24 para origem/destino (como sempre)

NAT: Network Address Translation



- **motivação:** rede local usa apenas um endereço IP no que se refere ao mundo exterior:
 - intervalo de endereços não necessário pelo ISP:
apenas um endereço IP para todos os dispositivos
pode mudar os endereços dos dispositivos na rede local sem notificar o mundo exterior
 - pode mudar de ISP sem alterar os endereços dos dispositivos na rede local
 - dispositivos dentro da rede local não precisam ser explicitamente endereçáveis ou visíveis pelo mundo exterior (uma questão de segurança).

NAT: Network Address Translation



Implementação: roteador NAT deve:

Enviar datagramas: substituir (endereço IP de origem, # porta) de cada datagrama saindo por (endereço IP da NAT, novo # porta)

... clientes/servidores remotos responderão usando (endereço IP da NAT, novo # porta) como endereço de destino

lembrar (na tabela de tradução NAT) de cada par de tradução (endereço IP de origem, # porta) para (endereço IP da NAT, novo # porta)

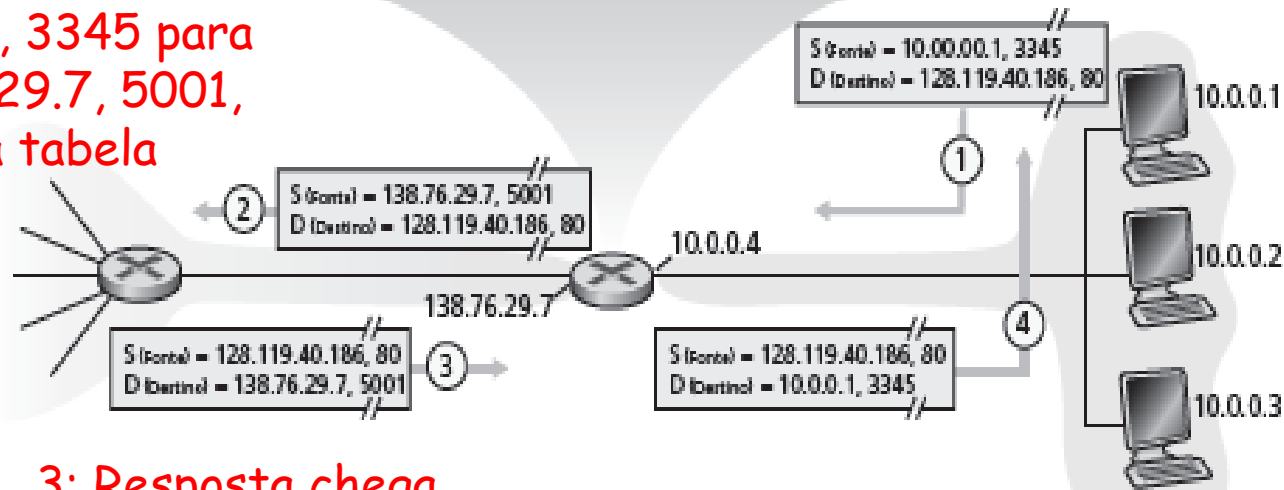
recebendo datagramas: substituir (endereço IP da NAT, novo # porta) nos campos de destino de cada datagrama chegando por (endereço IP origem, # porta) correspondente, armazenado na tabela NAT

NAT: Network Address Translation

2: roteador NAT muda endereço de origem do datagrama de 10.0.0.1, 3345 para 138.76.29.7, 5001, atualiza tabela

Tabela de tradução NAT	
Lado da WAN	Lado da LAN
138.76.29.7, 5001	10.0.0.1, 3345
...	...

1: hospedeiro 10.0.0.1 envia datagrama para 128.119.40.186, 80



3: Resposta chega endereço destino: 138.76.29.7, 5001

4: roteador NAT muda endereço de destino do datagrama de 138.76.29.7, 5001 para 10.0.0.1, 3345

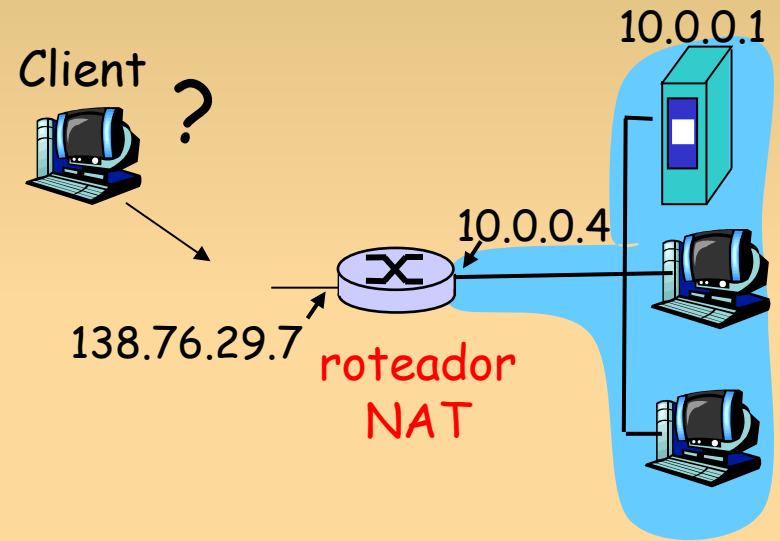
NAT: Network Address Translation



- campo de número de porta de 16 bits:
60.000 conexões simultâneas com um único endereço no lado da LAN!
- NAT é polêmico:
roteadores só devem processar até a camada 3
viola argumento de fim a fim
 - a possibilidade de NAT deve ser levada em conta pelos projetistas da aplicação, p. e., aplicações P2Pa falta de endereços deverá ser resolvida pelo IPv6

Problema da travessia da NAT

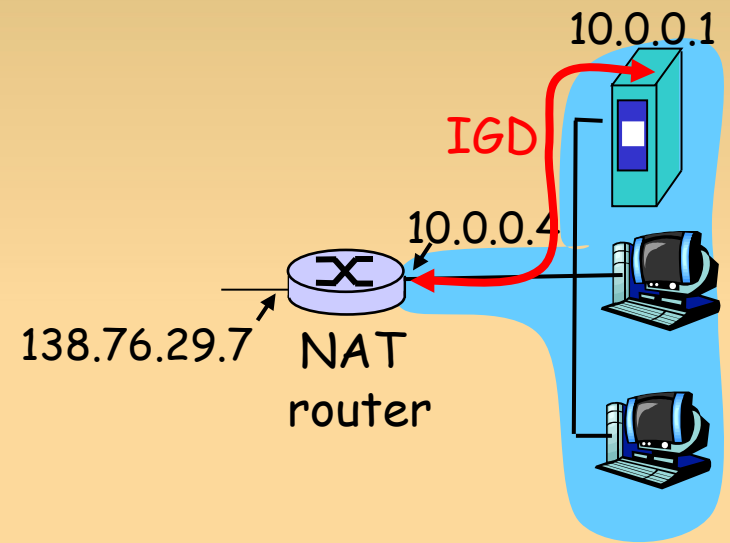
- cliente quer se conectar ao servidor com endereço 10.0.0.1
 - endereço do servidor 10.0.0.1 local à LAN (cliente não pode usá-lo como endereço destino)
 - apenas um endereço NAT visível externamente: 138.76.29.7
- **solução 1:** configure a NAT estaticamente para repassar as solicitações de conexão que chegam a determinada porta ao servidor
 - p. e., (138.76.29.7, porta 2500)
 - sempre repassado para 10.0.0.1 porta 25000



Problema da travessia da NAT

- **solução 2:** Universal Plug and Play (UPnP) Internet Gateway Device (IGD) Protocol. Permite que o hospedeiro com NAT:
 - ❖ descubra endereço IP público (138.76.29.7)
 - ❖ inclua/remova mapeamentos de porta (com tempos de posse)

ou seja, automatizar configuração estática do mapa de porta NAT



Capítulo 4:

Camada de rede



- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador?
- **4.4 IP: Internet Protocol**
 - formato do datagrama
 - endereçamento IPv4
 - ICMP**
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - estado de enlace
 - vetor de distâncias
 - roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento broadcast e multicast

ICMP: Internet Control Message Protocol



- usado por hospedeiros & roteadores para comunicar informações em nível de rede
 - relato de erro: hospedeiro, rede, porta, protocolo inalcançável
 - eco de solicitação/resposta (usado por ping)
- camada de rede “acima” do IP:
 - msgs ICMP transportadas em datagramas IP
- **mensagem ICMP:** tipo, código mais primeiros 8 bytes do datagrama IP causando erro

<u>Tipo</u>	<u>Cód.</u>	<u>Descrição</u>
0	0	resposta de eco (ping)
3	0	rede de destino inalcançável
3	1	hosp. de destino inalcançável
3	2	protocolo de destino inalcançável
3	3	porta de destino inalcançável
3	6	rede de destino desconhecida
3	7	hosp. de destino desconhecido
4	0	redução da fonte (controle de congestionamento – não usado)
8	0	solicitação de eco (ping)
9	0	anúncio de rota
10	0	descoberta do roteador
11	0	TTL expirado
12	0	cabeçalho IP inválido

Traceroute e ICMP

- origem envia série de segmentos UDP ao destino
 - primeiro tem TTL = 1
 - segundo tem TTL = 2 etc.
 - número de porta improvável
- quando nº datagrama chegar no nº roteador:
 - roteador descarta datagrama
 - e envia à origem uma msg ICMP (tipo 11, código 0)
 - mensagem inclui nome do roteador & endereço IP

- quando a mensagem ICMP chega, origem calcula RTT
- traceroute faz isso 3 vezes

Critério de término

- segmento UDP por fim chega no hospedeiro de destino
- destino retorna pacote ICMP “host inalcançável” (tipo 3, código 3)
- quando origem recebe esse ICMP, termina.

Capítulo 4:

Camada de rede



- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador?
- **4.4 IP: Internet Protocol**
 - formato do datagrama
 - endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6**
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - estado de enlace
 - vetor de distâncias
 - roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento broadcast e multicast

IPv6

- **motivação inicial:** espaço de endereço de 32 bits logo estará completamente alocado
- **motivação adicional:**
 - formato de cabeçalho ajuda a agilizar processamento e repasse
 - mudanças no capítulo para facilitar QoS
- formato de datagrama IPv6:**
 - cabeçalho de 40 bytes **de tamanho fixo**
 - fragmentação não permitida

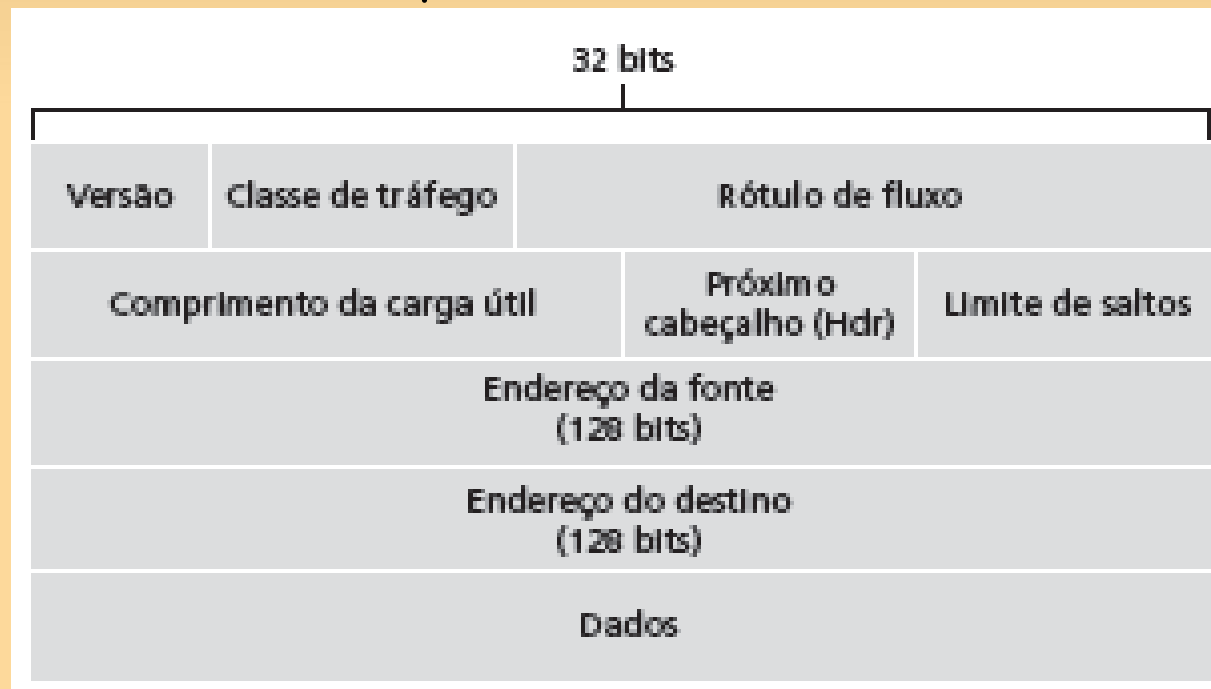
Cabeçalho IPv6

prioridade: identificar prioridade entre datagramas no fluxo

rótulo de fluxo: identificar datagramas no mesmo "fluxo."

(conceito de "fluxo" não bem definido)

próximo cabeçalho: identificar protocolo da camada superior para dados



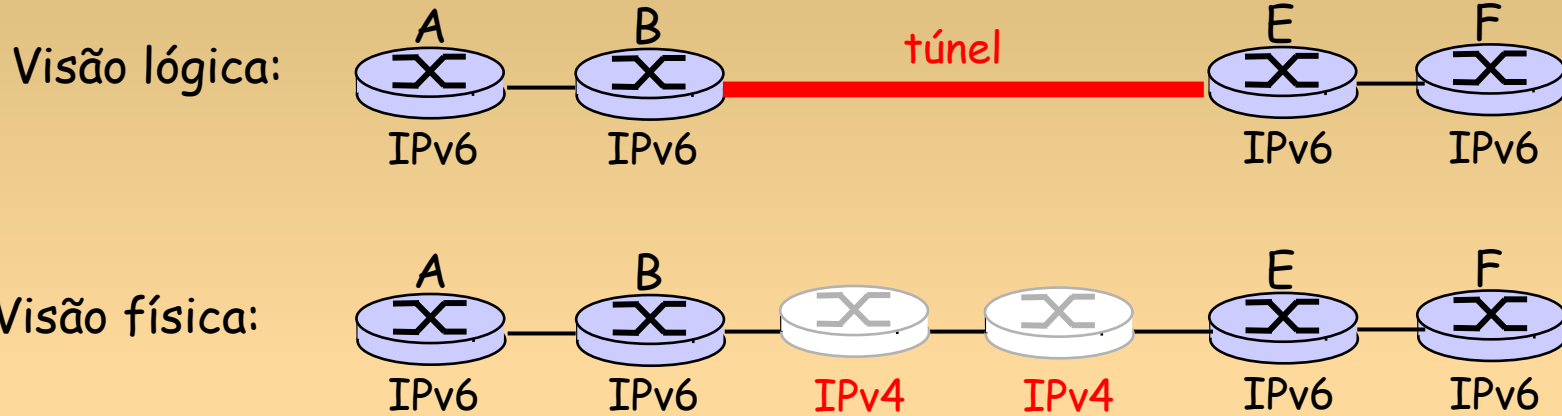
Outras mudanças do IPv4

- *soma de verificação*: removida inteiramente para reduzir tempo de processamento em cada salto
- *opções*: permitidas, mas fora do cabeçalho, indicadas pelo campo de “Próximo Cabeçalho”
- *ICMPv6*: nova versão do ICMP
 - tipos de mensagem adicionais, p. e. “Pacote Muito Grande”
 - funções de gerenciamento de grupo multicast

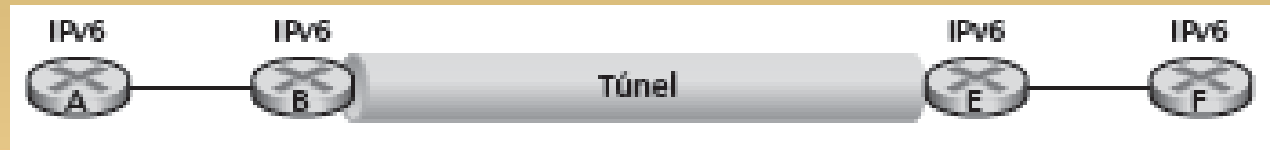
Transição de IPv4 para IPv6

- nem todos os roteadores podem ser atualizados simultaneamente
 sem "dia de conversão"
 como a rede operará com roteadores IPv4 e IPv6 misturados?
- *implantação de túnel*: IPv6 transportado como carga útil no datagrama IPv4 entre roteadores IPv4

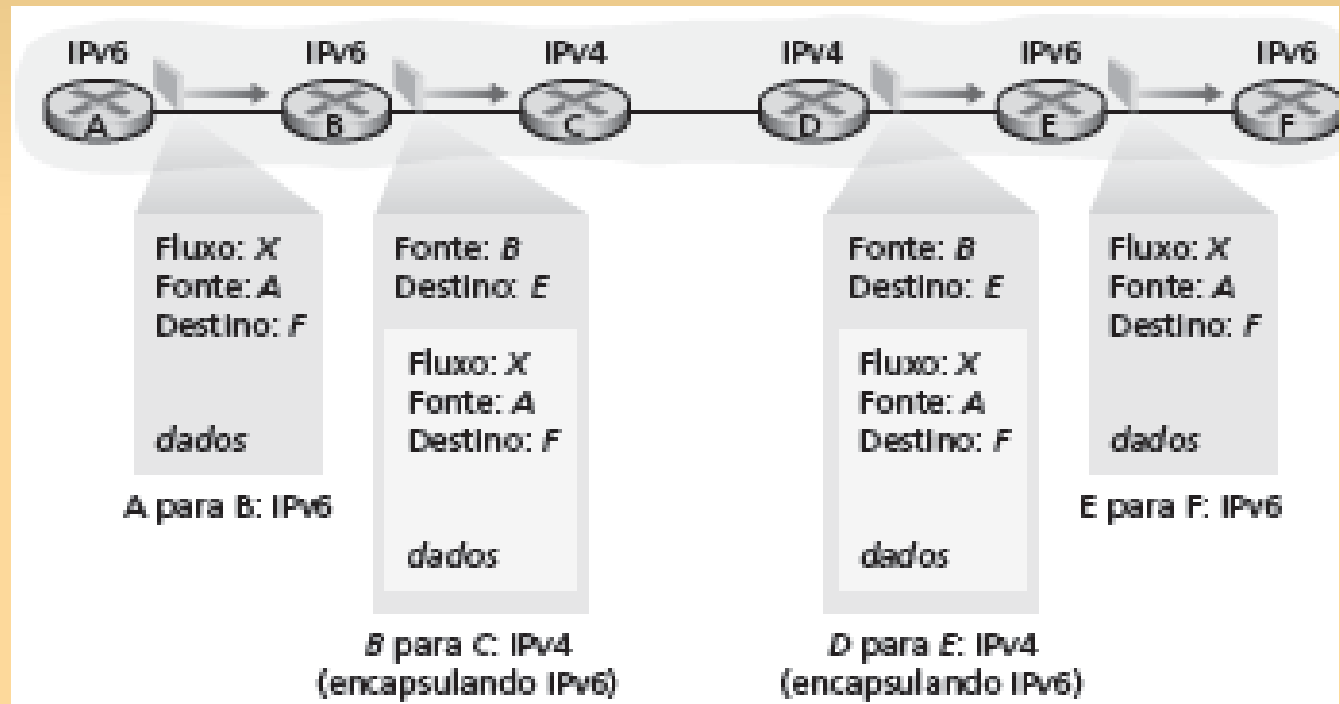
Implantação de túnel



Visão lógica:

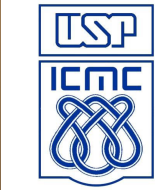


Visão física:



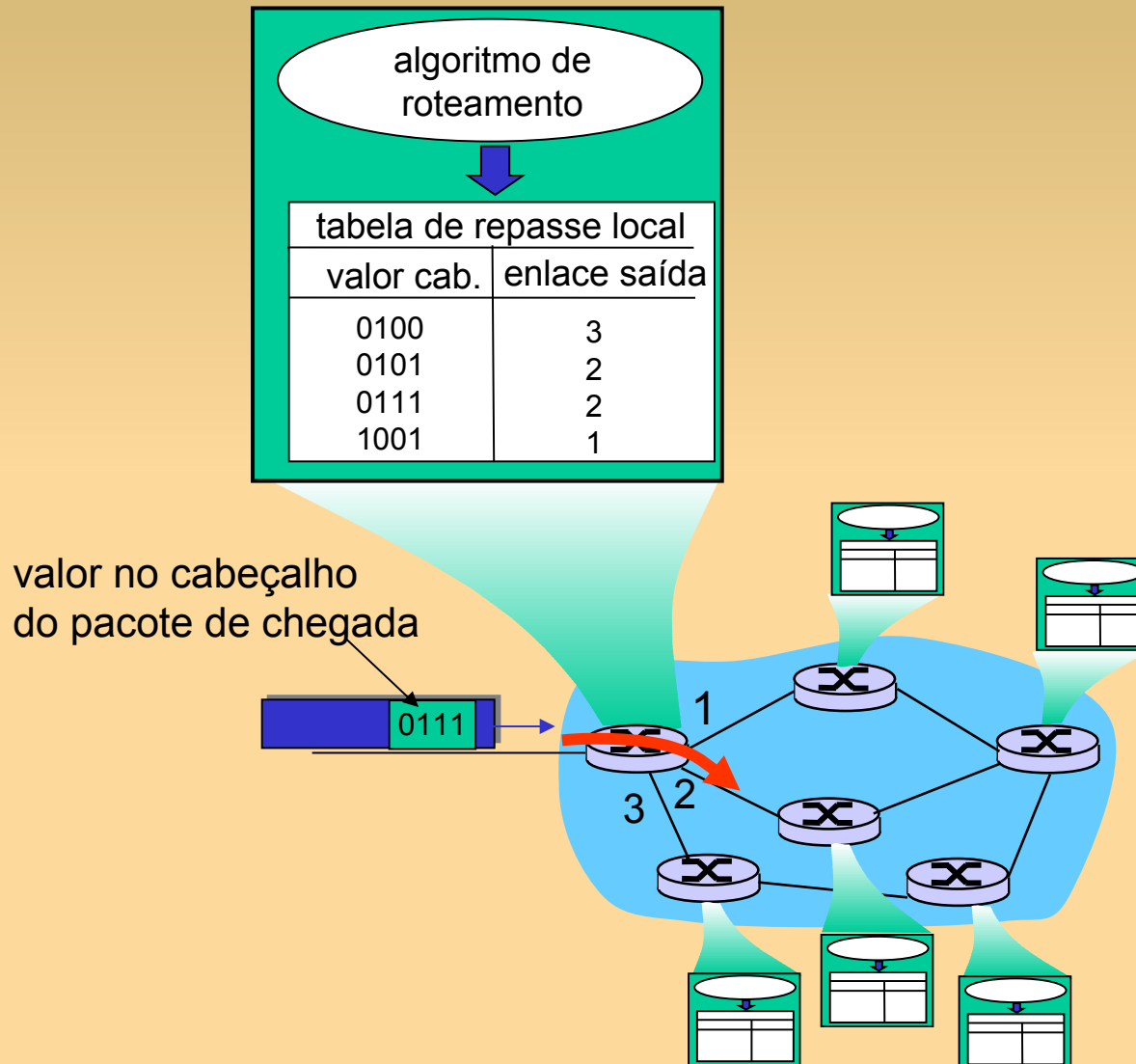
Capítulo 4:

Camada de rede

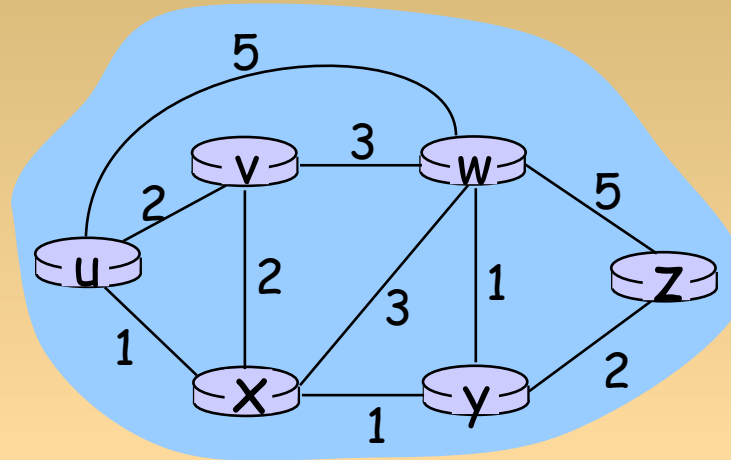


- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador?
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - formato do datagrama
 - endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - estado de enlace
 - vetor de distâncias
 - roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento broadcast e multicast

Interação entre roteamento e repasse



Abstração de grafo



Grafo: $G = (N,E)$

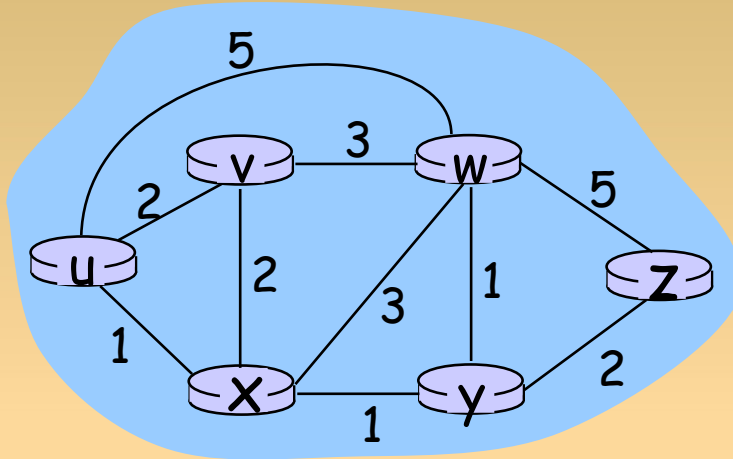
$N =$ conjunto de roteadores $= \{ u, v, w, x, y, z \}$

$E =$ conjunto de enlaces $= \{ (u,v), (u,x), (v,x), (v,w), (x,w), (x,y), (w,y), (w,z), (y,z) \}$

Comentário: Abstração de grafo é útil em outros contextos de rede

Exemplo: P2P, onde N é conj. de pares e E é conj. de conexões TCP

Abstração de grafo: custos



- $c(x,x')$ = custo do enlace (x,x')
 - p. e., $c(w,z) = 5$
- custo poderia ser sempre 1, ou inversamente relacionado à largura ou inversamente relacionado ao congestionamento

Custo do caminho $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_p) = c(x_1, x_2) + c(x_2, x_3) + \dots + c(x_{p-1}, x_p)$

Pergunta: Qual é o caminho de menor custo entre u e z?

algoritmo de roteamento: algoritmo que encontra o caminho de menor custo

Classificação do algoritmo de roteamento



informação global ou descentralizada?

global:

- todos os roteadores têm topologia completa, informação de custo do enlace
- **algoritmos de “estado do enlace”**

descentralizada:

- roteador conhece vizinhos conectados fisicamente, custos de enlace para vizinhos
- processo de computação iterativo, troca de informações com vizinhos
- **algoritmos de “vetor de distância”**

Estático ou dinâmico?

estático:

- rotas mudam lentamente com o tempo

dinâmico:

- rotas mudam mais rapidamente

atualização periódica em resposta a mudanças no custo do enlace

Capítulo 4:

Camada de rede



- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador?
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - formato do datagrama
 - endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - estado de enlace*
 - vetor de distâncias
 - roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento broadcast e multicast

Algoritmo de roteamento de estado do enlace



algoritmo de Dijkstra

- nova topologia, custos de enlace conhecidos de todos os nós
realizado por "broadcast de estado do enlace"
todos os nós têm a mesma informação
- calcula caminhos de menor custo de um nó ("origem") para todos os outros nós
da **tabela de repasse** para esse nó
- iterativo: após k iterações, sabe caminho de menor custo para k destinos

notação:

- $c(x,y)$: custo do enlace do nó x até y ; $= \infty$ se não forem vizinhos diretos
- $D(v)$: valor atual do custo do caminho da origem ao destino v
- $p(v)$: nó predecessor ao longo do caminho da origem até v
- N' : conjunto de nós cujo caminho de menor custo é definitivamente conhecido

Algoritmo de Dijkstra

1 **Inicialização:**

2 $N' = \{u\}$

3 para todos os nós v

4 se v adjacente a u

5 então $D(v) = c(u,v)$

6 senão $D(v) = \infty$

7

8 **Loop**

9 acha w não em N' tal que $D(w)$ é mínimo

10 acrescenta w a N'

11 atualiza $D(v)$ para todo v adjacente a w e não em N' :

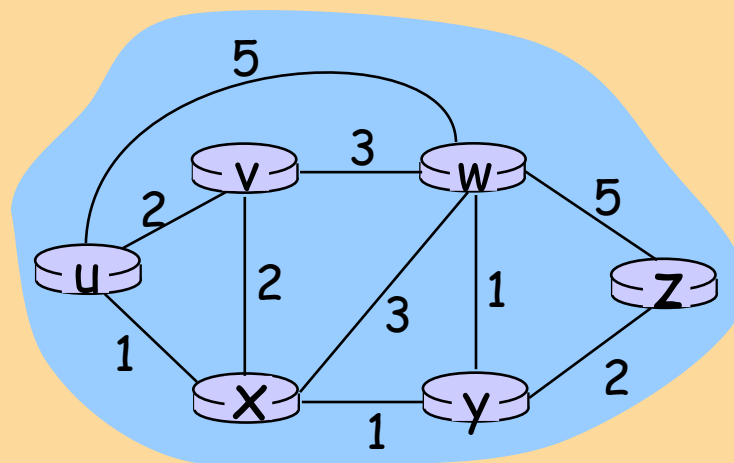
12 $D(v) = \min(D(v), D(w) + c(w,v))$

13 /* novo custo para v é custo antigo para v ou custo conhecido
14 do caminho mais curto para w + custo de w para v */

15 **até todos os nós em N'**

Algoritmo de Dijkstra: exemplo

Etapa	N'	D(v),p(v)	D(w),p(w)	D(x),p(x)	D(y),p(y)	D(z),p(z)
0	u	2,u	5,u	1,u	∞	∞
1	ux	2,u	4,x		2,x	∞
2	uxy	2,u	3,y			4,y
3	uxyv		3,y			4,y
4	uxyvw					4,y
5	uxyvwz					



Algoritmo de Dijkstra: exemplo (2)

árvore resultante do caminho mais curto a partir de u:

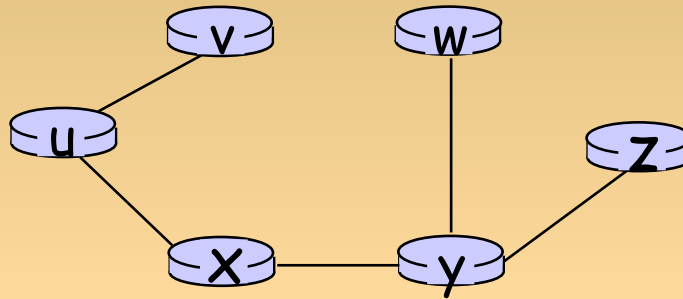


tabela de repasse resultante em u:

destino	enlace
v	(u,v)
x	(u,x)
y	(u,x)
w	(u,x)
z	(u,x)

Capítulo 4:

Camada de rede



- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador?
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - formato do datagrama
 - endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - estado de enlace
 - vetor de distâncias
 - roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento broadcast e multicast

Algoritmo de vetor de distância



Equação de Bellman-Ford (programação dinâmica)

defina

$d_x(y) :=$ custo do caminho de menor custo de x para y

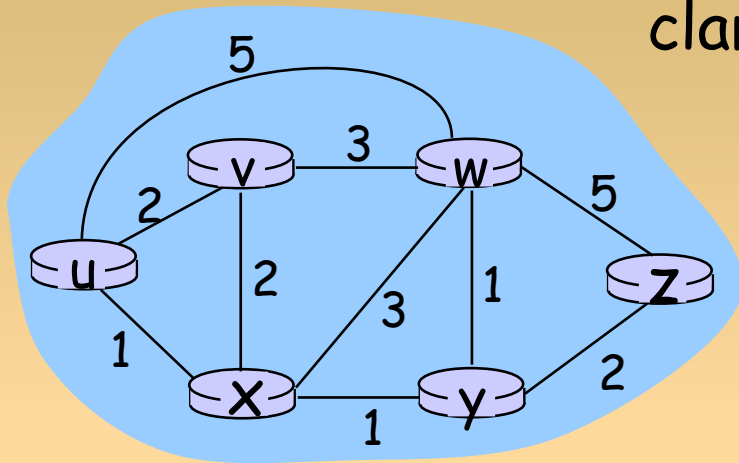
depois

$$d_x(y) = \min_v \{c(x,v) + d_v(y)\}$$

onde min assume todos os vizinhos v de x

Exemplo de Bellman-Ford

claramente, $d_v(z) = 5$, $d_x(z) = 3$, $d_w(z) = 3$



equação B-F diz:

$$\begin{aligned}
 d_u(z) &= \min \{ c(u,v) + d_v(z), \\
 &\quad c(u,x) + d_x(z), \\
 &\quad c(u,w) + d_w(z) \} \\
 &= \min \{ 2 + 5, \\
 &\quad 1 + 3, \\
 &\quad 5 + 3 \} = 4
 \end{aligned}$$

nó que alcança mínimo é o próximo salto
no caminho mais curto → tabela de repasse

Algoritmo de vetor de distância (4)



ideia básica:

- de tempos em tempos, cada nó envia sua própria estimativa de vetor de distância aos vizinhos
- assíncrono
- quando um nó x recebe nova estimativa DV do vizinho, ele atualiza seu próprio DV usando a equação de B-F:

$$D_x(y) \leftarrow \min\{c(x,v) + D_v(y)\} \quad \text{para cada nó } y \in N$$

normalmente, a estimativa $D_x(y)$ converge para o menor custo real $d_x(y)$

Algoritmo de vetor de distância (5)



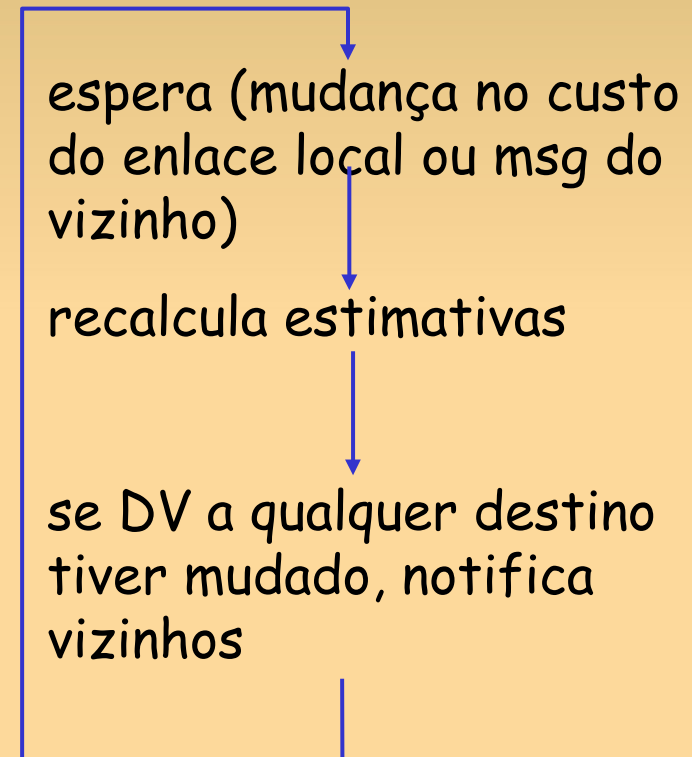
iterativo, assíncrono: cada iteração local causada por:

- mudança de custo do enlace local
- mensagem de atualização do DV do vizinho

distribuído:

- cada nó notifica os vizinhos *apenas* quando seu DV muda vizinhos, então, notificam seus vizinhos, se necessário

Cada nó:



$$D_x(y) = \min\{c(x,y) + D_y(y), c(x,z) + D_z(y)\}$$

$$= \min\{2+0, 7+1\} = 2$$

tabela nó x

		custo para		
		x	y	z
de	x	0	2	7
	y	∞	∞	∞
	z	∞	∞	∞

		custo para		
		x	y	z
de	x	0	2	3
	y	2	0	1
	z	7	1	0

$$D_x(z) = \min\{c(x,y) + D_y(z), c(x,z) + D_z(z)\}$$

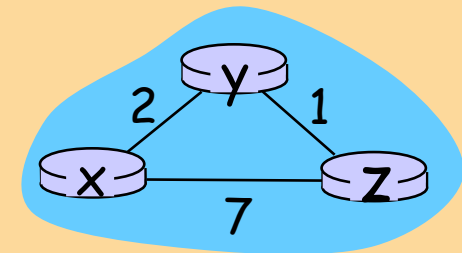
$$= \min\{2+1, 7+0\} = 3$$

tabela nó y

		custo para		
		x	y	z
de	x	∞	∞	∞
	y	2	0	1
	z	∞	∞	∞

tabela nó z

		custo para		
		x	y	z
de	x	∞	∞	∞
	y	∞	∞	∞
	z	7	1	0



► tempo

$$D_x(y) = \min\{c(x,y) + D_y(y), c(x,z) + D_z(y)\}$$

$$= \min\{2+0, 7+1\} = 2$$

tabela nó x

		custo para		
		x	y	z
de	x	0	2	7
	y	∞	∞	∞
	z	∞	∞	∞

		custo para		
		x	y	z
de	x	0	2	3
	y	2	0	1
	z	7	1	0

		custo para		
		x	y	z
de	x	0	2	3
	y	2	0	1
	z	3	1	0

$$D_x(z) = \min\{c(x,y) + D_y(z), c(x,z) + D_z(z)\}$$

$$= \min\{2+1, 7+0\} = 3$$

tabela nó y

		custo para		
		x	y	z
de	x	∞	∞	∞
	y	2	0	1
	z	∞	∞	∞

		custo para		
		x	y	z
de	x	0	2	7
	y	2	0	1
	z	7	1	0

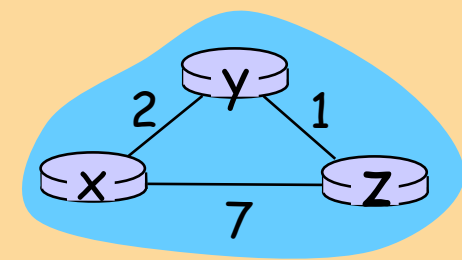
		custo para		
		x	y	z
de	x	0	2	3
	y	2	0	1
	z	3	1	0

tabela nó z

		custo para		
		x	y	z
de	x	∞	∞	∞
	y	∞	∞	∞
	z	7	1	0

		custo para		
		x	y	z
de	x	0	2	7
	y	2	0	1
	z	3	1	0

		custo para		
		x	y	z
de	x	0	2	3
	y	2	0	1
	z	3	1	0



▶ tempo

Comparação dos algoritmos LS e DV



- Distance vector (e.g. RIP, BGP)
Cada roteador envia a tabela (vetor) para o seu vizinho; apenas enviam o vetor para os seus vizinhos
Os vizinhos não conhecem a topologia da rede (i.e. como outros roteadores estão interconectados)
- Link state (e.g. OSPF)
Roteadores trocam informações sobre as suas conexões dentro de uma rede e constrói a topologia
Cada nó possui conhecimento da topologia de rede
Cada roteador utiliza o algoritmo de Dijkstra para calcular a melhor rota

Comparação dos algoritmos LS e DV



- Distance vector

 - Envia updates periódicos a cada 30 a 90 segundos

 - Envia apenas para os seus vizinhos o custo do enlace baseado no # de hops

 - Pode carregar informações erradas (confiam nos seus vizinhos)

- Link state

 - Updates são enviados para toda a rede (broadcast) e não apenas para os vizinhos

 - Mas, enviam apenas os custos dos enlaces ligados diretamente a eles

Comparação dos algoritmos LS e DV



- Distance vector

Mais simples e eficiente em redes menores e com pouca variação

Envia updates periódicos

Vire a direita = 200Km São Paulo; Vire a esquerda = 150Km Jundiaí; siga reto = Ribeirão

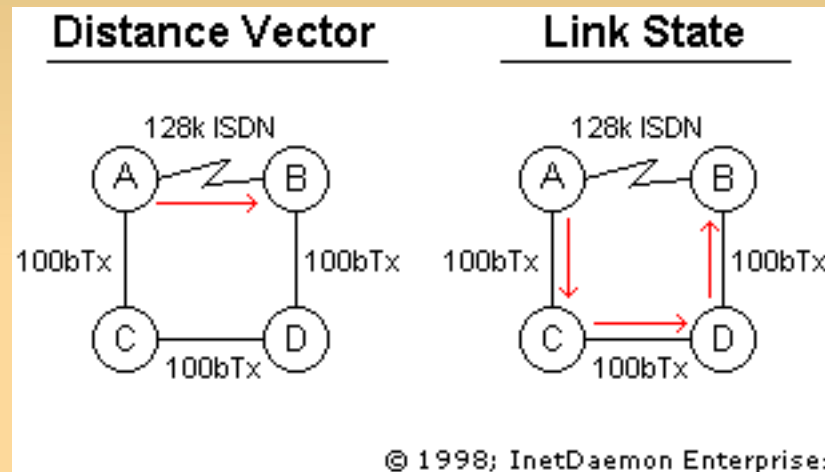
- Link state

Utiliza outros critérios como largura de banda, atraso, confiabilidade e balanceamento de carga

Envia updates apenas quando há mudança no link

Fornece o mapa; você pode ver uma visão geral do percurso

Comparação dos algoritmos LS e DV



Capítulo 4:

Camada de rede



- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador?
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - formato do datagrama
 - endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - estado de enlace
 - vetor de distâncias
 - roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento broadcast e multicast

Roteamento hierárquico

nosso estudo de roteamento até aqui - o ideal:
 todos os roteadores idênticos
 rede "achatada"
 ... *não* acontece na prática

escala: com 200 milhões de destinos:

- não pode armazenar todos os destinos nas tabelas de roteamento!
- troca de tabela de roteamento atolaria os enlaces!

autonomia administrativa

- Internet = rede de redes
- cada administrador de rede pode querer controlar o roteamento em sua própria rede

Roteamento hierárquico

- roteadores agregados em regiões, “sistemas autônomos” (AS)
- roteadores no mesmo AS rodam o mesmo protocolo de roteamento

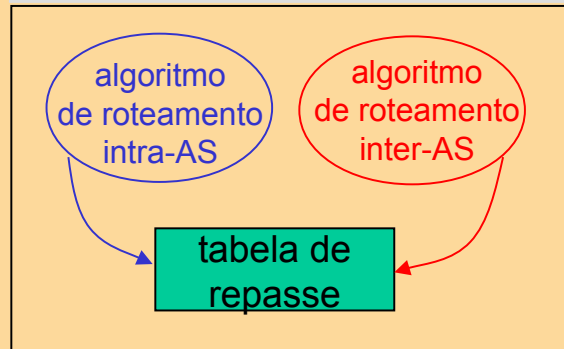
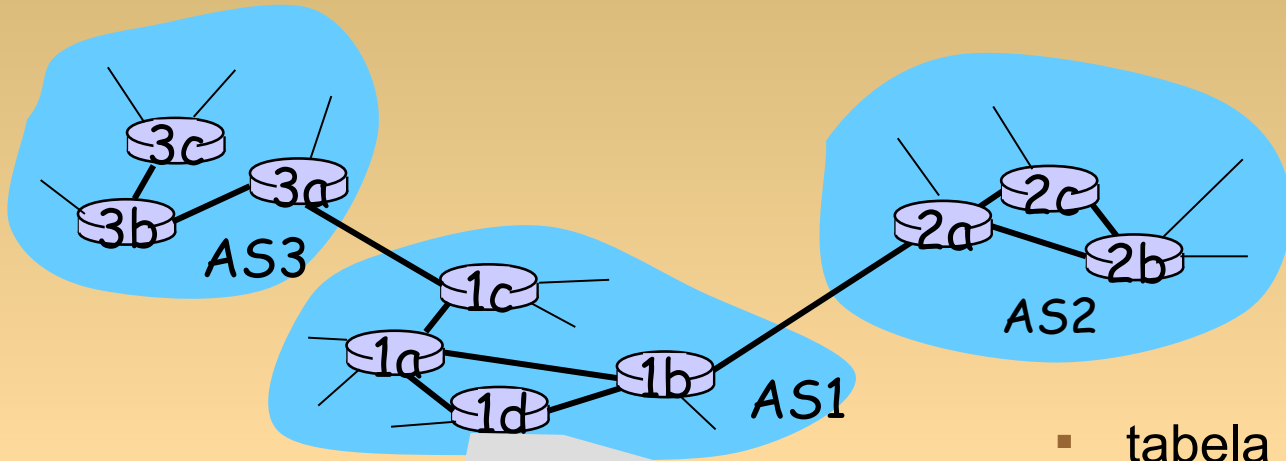
protocolo de roteamento “intra-AS”

roteadores em ASes diferentes podem executar protocolo de roteamento intra-AS diferente

roteador de borda

- Enlace direto com roteador em outro AS

ASes interconectados



- tabela de repasse configurada por algoritmo de roteamento intra e inter-AS

intra-AS define entradas para destinos internos
inter-AS & intra-AS definem entradas para destinos externos

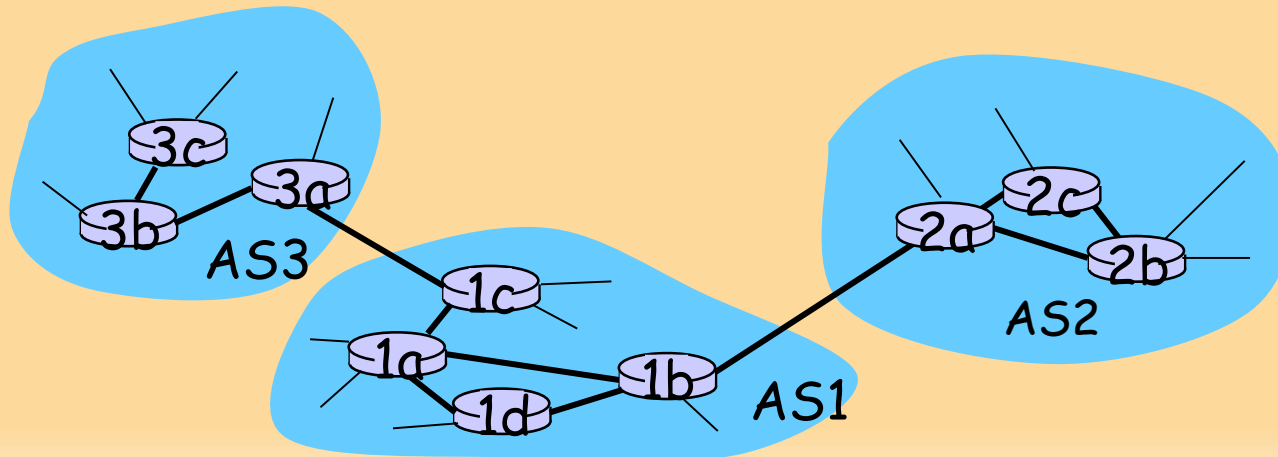
Tarefas inter-AS

- suponha que roteador no AS1 recebe datagrama destinado para fora do AS1:
roteador deve encaminhar pacote ao roteador de borda, mas qual?

AS1 deve:

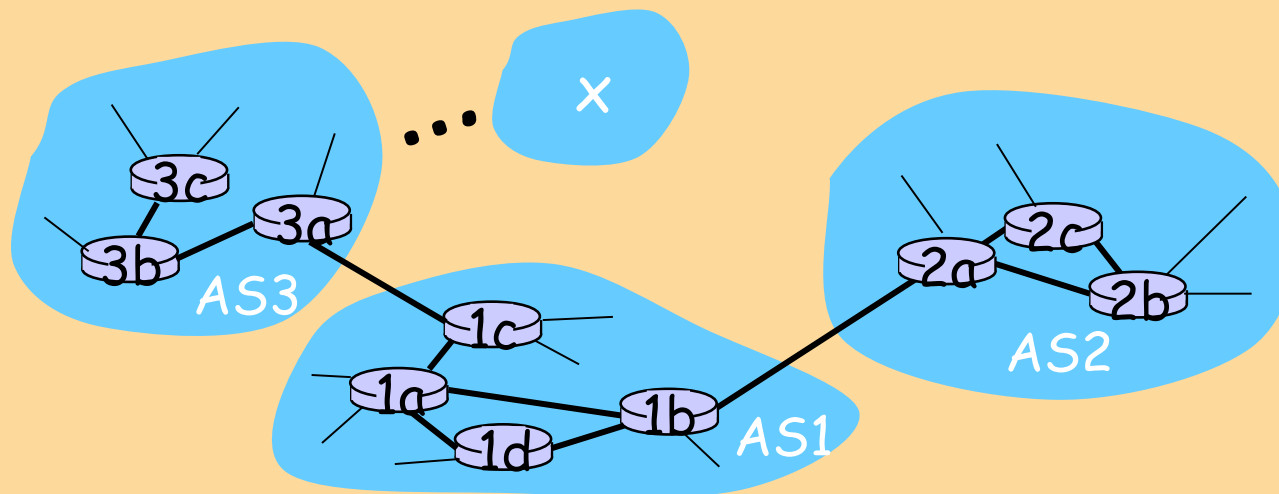
- descobrir quais destinos são alcançáveis por AS2 e quais por AS3
- propagar essa informação de acessibilidade a todos os roteadores no AS1

Tarefa do roteamento inter-AS!



Exemplo: definindo tabela de repasse no roteador 1d

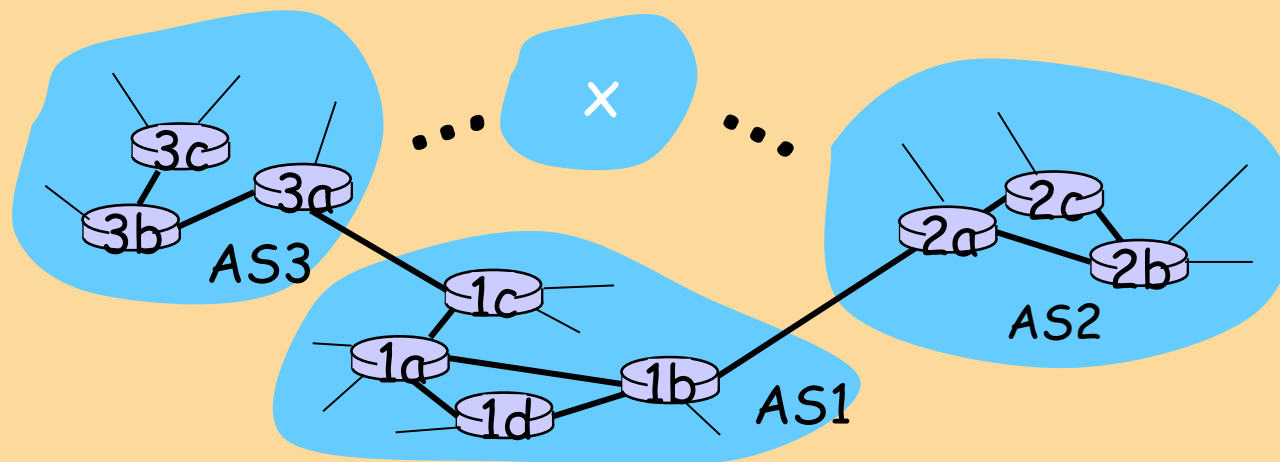
- suponha que AS1 descubra (pelo protocolo inter-AS) que a sub-rede **x** é alcançável via AS3 (gateway 1c), mas não via AS2.
- protocolo inter-AS propaga informação de acessibilidade a todos os roteadores internos.
- roteador 1d determina pelo roteamento intra-AS informação de que sua interface **I** está no caminho de menor custo para 1c.
instala entrada da tabela de repasse **(x,I)**



Exemplo: escolhendo entre múltiplos ASes

- agora suponha que o AS1 descubra pelo protocolo inter-AS que a sub-rede **x** pode ser alcançada por AS3 e por AS2.
- para configurar a tabela de repasse, roteador 1d deve determinar para que gateway ele deve repassar os pacotes para o destino **x**.

isso também é tarefa do protocolo de roteamento inter-AS!



Capítulo 4:

Camada de rede



- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador?
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - formato do datagrama
 - endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - estado de enlace
 - vetor de distâncias
 - roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento broadcast e multicast

Roteamento intra-AS

- também conhecido como **Interior Gateway Protocols (IGP)**
- protocolos de roteamento intra-AS mais comuns:

RIP: Routing Information Protocol (DV)

OSPF: Open Shortest Path First (LS)

IGRP: Interior Gateway roteamento Protocol (proprietário da Cisco) (DV)

Capítulo 4:

Camada de rede

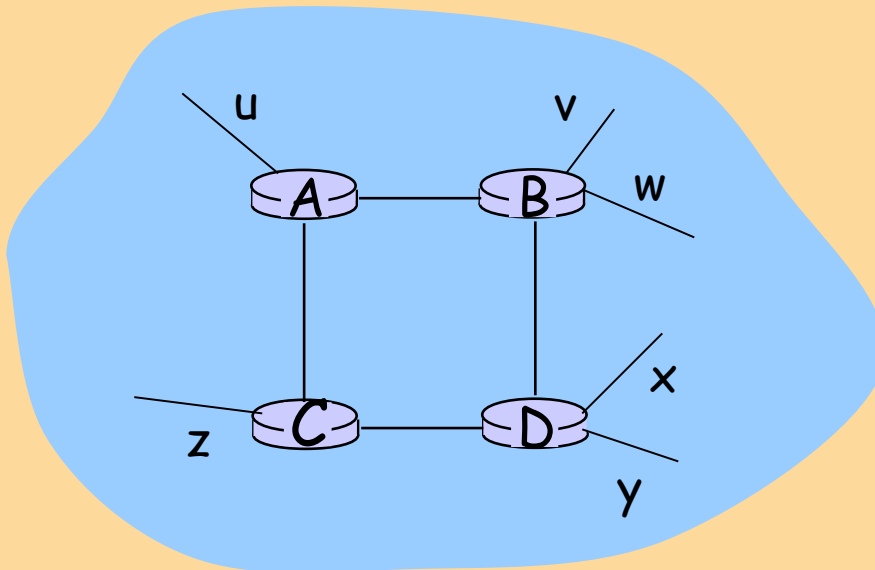


- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador?
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - formato do datagrama
 - endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - estado de enlace
 - vetor de distâncias
 - roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento broadcast e multicast

RIP (Routing Information Protocol)

- algoritmo de vetor de distância
- incluído na distribuição BSD-UNIX em 1982
- métrica de distância: # de saltos (máx. = 15 saltos)
- Tabelas são intercambiadas a cada 30 segundos

Do roteador A às sub-redes:

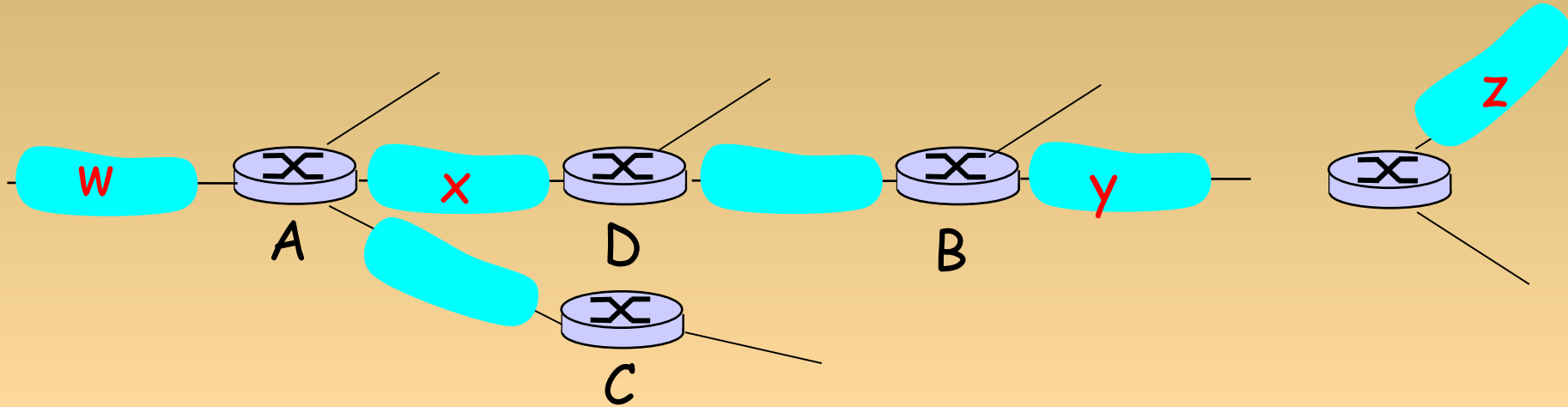


<u>destino</u>	<u>saltos</u>
u	1
v	2
w	2
x	3
y	3
z	2

Anúncios RIP

- *vetores de distância*: trocados entre vizinhos a cada 30 s por meio de mensagem de resposta (também conhecida como **anúncio**)
- cada anúncio: lista de até 25 sub-redes de destino dentro do AS

RIP: Exemplo

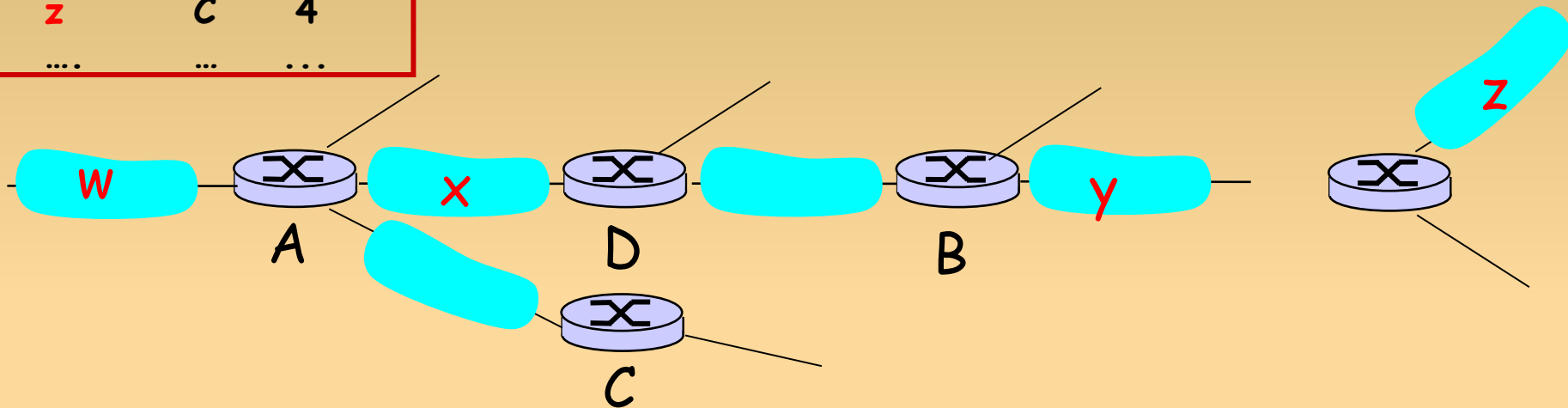


Rede de destino	Roteador seguinte	Núm. saltos até dest.
W	A	2
Y	B	2
Z	B	7
X	--	1
...

tabela de roteamento/repasse em D

Destino	Próx. saltos
w	- 1
x	- 1
z	C 4
....

anúncio de A para D



Rede de destino até dest.	Roteador seguinte	Núm. saltos
w	A	2
y	B	2
z	B A	7 5
x	--	1
....

tabela de roteamento/repasse em D

RIP: falha e recuperação do enlace



se nenhum anúncio for ouvido após 180 s --> vizinho/enlace declarado morto

rotas via vizinho invalidadas

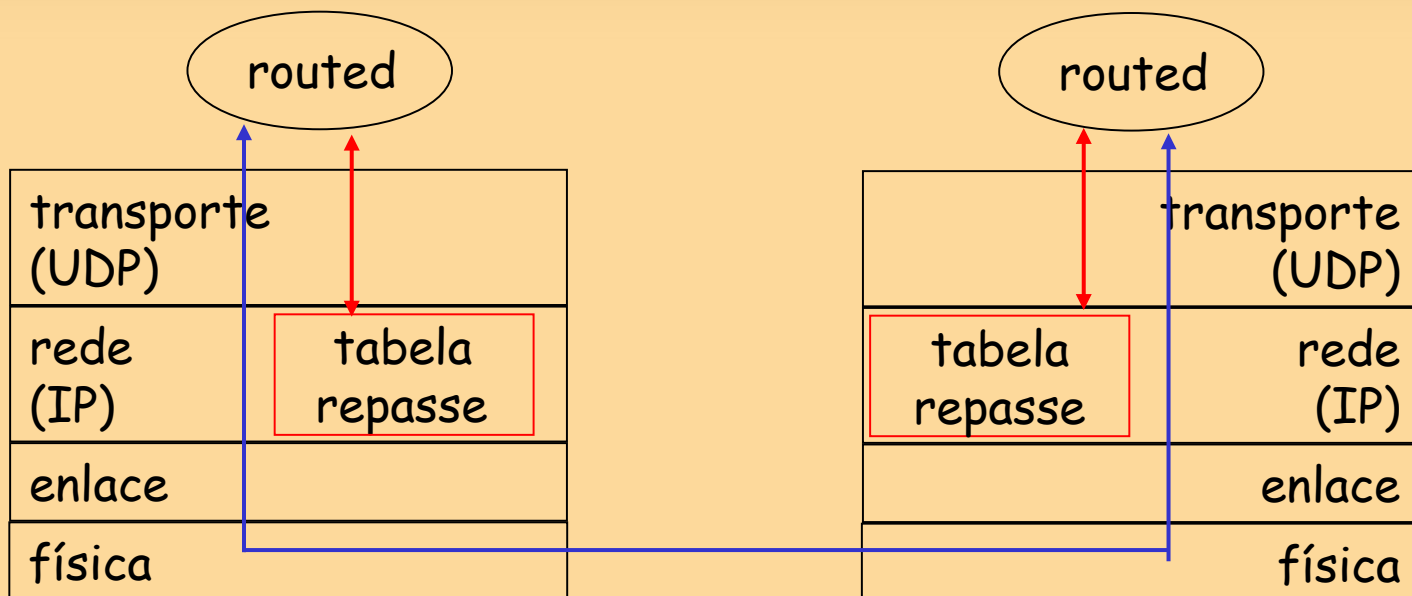
novos anúncios enviados aos vizinhos

vizinhos por sua vez enviam novos anúncios
(se não houver tabelas alteradas)

informação de falha do enlace rapidamente se propaga para rede inteira

Processamento de tabela RIP

- tabelas de roteamento RIP controladas por processo em **nível de aplicação** chamado routed (daemon)
- anúncios enviados em pacotes UDP, repetidos periodicamente



Capítulo 4:

Camada de rede



- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador?
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - formato do datagrama
 - endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - estado de enlace
 - vetor de distâncias
 - roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento broadcast e multicast

OSPF

(Open Shortest Path First)



- “open”: publicamente disponível
- usa algoritmo Link State
 - disseminação de pacote LS
 - mapa de topologia em cada nó
 - cálculo de rota usando algoritmo de Dijkstra
- anúncio OSPF transporta uma entrada por roteador vizinho
- anúncios disseminados ao AS **inteiro** (com inundação)
 - transportados nas mensagens OSPF diretamente por IP (em vez de TCP ou UDP)

Recursos “avançados” do OSPF (não no RIP)



- **segurança**: todas as mensagens OSPF autenticadas (para impedir intrusão maliciosa)
- **múltiplos caminhos** de mesmo custo permitidos (apenas um caminho no RIP)
- para cada enlace, múltiplas métricas de custo para diferentes **TOS** (type of service; alto para tempo real)
- suporte integrado para uni e **multicast**:

Multicast OSPF (MOSPF) usa mesma base de dados de topologia que o OSPF
- OSPF **hierárquico** em grandes domínios

Capítulo 4:

Camada de rede



- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador?
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - formato do datagrama
 - endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - estado de enlace
 - vetor de distâncias
 - roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento broadcast e multicast

Roteamento inter-AS da Internet: BGP



BGP (Border Gateway Protocol): o padrão de fato

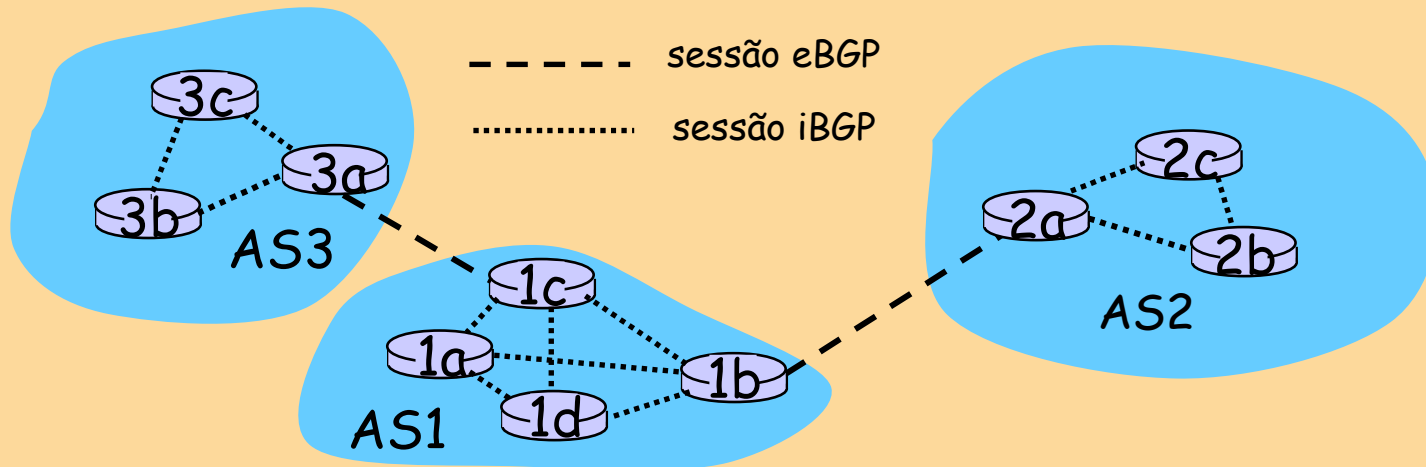
BGP oferece a cada AS um meio de:

1. obter informação de acessibilidade da sub-rede a partir de ASs vizinhos.
2. propagar informação de acessibilidade a todos os roteadores internos ao AS.
3. determinar rotas "boas" para sub-redes com base na informação e política de acessibilidade.

permite que a sub-rede anuncie sua existência ao resto da Internet: *"Estou aqui"*

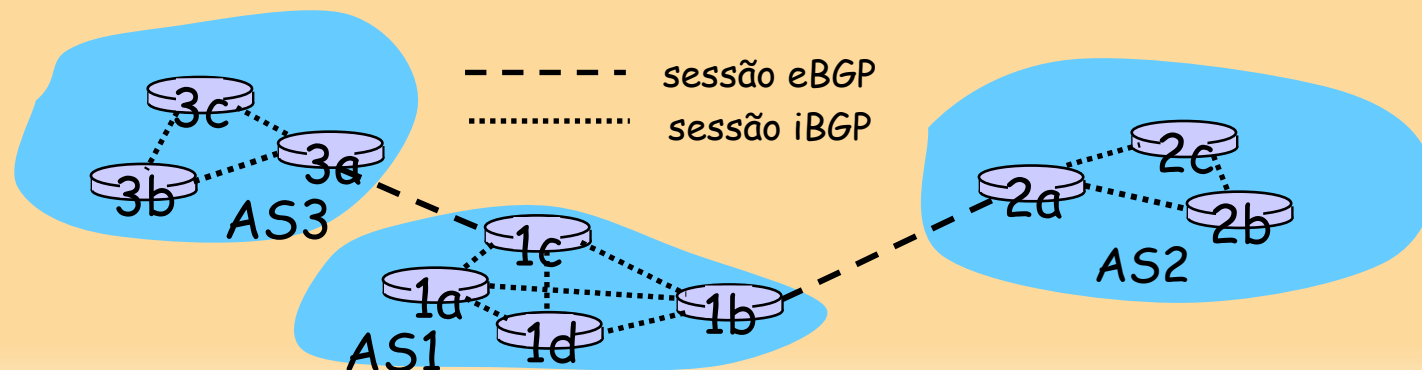
Fundamentos do BGP

- pares de roteadores (pares BGP) trocam informações de roteamento nas conexões TCP semipermanentes: sessões **BGP**
 sessões BGP não precisam corresponder a enlaces físicos
- quando AS2 anuncia um prefixo para AS1:
 AS2 *promete* que repassará datagramas para esse prefixo
 AS2 pode agregar prefixos em seu anúncio



Distribuindo informações de atingibilidade

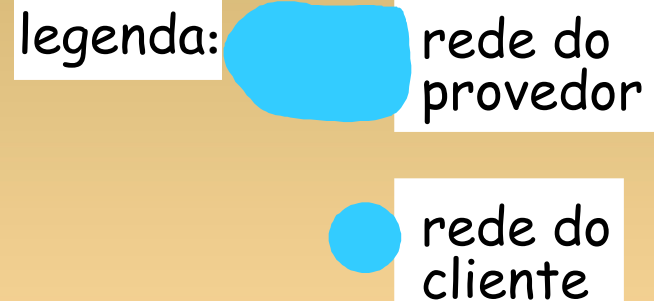
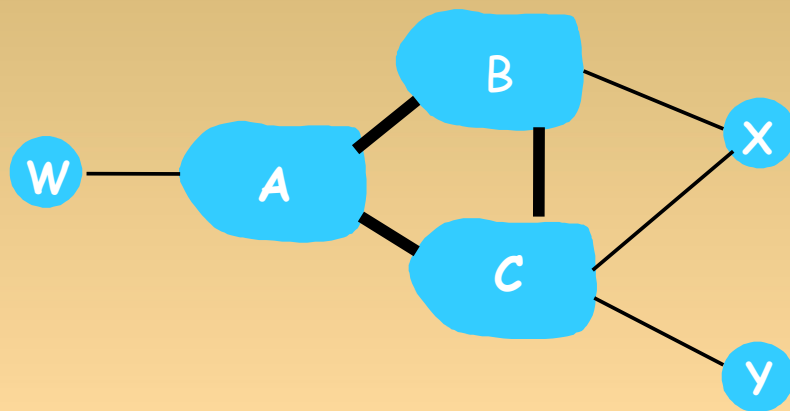
- usando sessão eBGP entre 3a e 1c, AS3 envia informação de atingibilidade do prefixo a AS1.
 - 1c pode então usar iBGP para distribuir nova informação de prefixo a todos os roteadores em AS1
 - 1b pode então reanunciar nova informação de atingibilidade para AS2 por sessão eBGP (1b-para-2a)
- quando roteador descobre novo prefixo, ele cria entrada para prefixo em sua tabela de repasse.



Mensagens BGP

- Mensagens BGP trocadas usando TCP.
- Mensagens BGP:
 - OPEN:** abre conexão TCP com par e autentica remetente
 - UPDATE:** anuncia novo caminho (ou retira antigo)
 - KEEPALIVE** mantém conexão viva na ausência de UPDATES; também envia ACK para solicitação OPEN
 - NOTIFICATION:** informa erros na msg anterior; também usada para fechar conexão

Política de roteamento BGP



A, B, C são **redes do provedor**

X, W, Y são clientes (de redes do provedor)

X é **dual-homed**: conectada a duas redes

X não quer rotear a partir de B por meio de X para C

.. logo, X não anunciará a B uma rota para C

Por que roteamento intra e inter-AS diferente?



política:

- inter-AS: admin deseja controle sobre como seu tráfego é roteado, quem roteia através de sua rede
- intra-AS: único admin, de modo que nenhuma decisão política é necessária

escala:

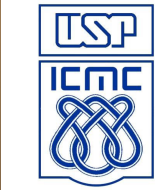
- roteamento hierárquico salva tamanho de tabela, tráfego de atualização reduzido
- onde a escalabilidade é mais preocupante? Intra ou inter?

desempenho:

- intra-AS: pode focalizar no desempenho
- inter-AS: política pode dominar sobre desempenho

Capítulo 4:

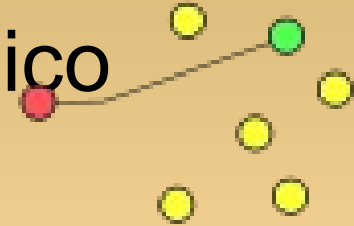
Camada de rede



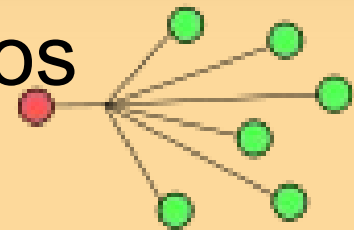
- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador?
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - formato do datagrama
 - endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - estado de enlace
 - vetor de distâncias
 - roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento broadcast e multicast

Tipos de tráfego

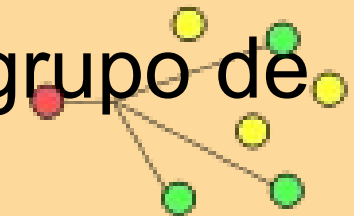
- unicast: pacote enviado a um único destino.



- broadcast: pacote enviado a todos endereços.



- multicast: pacote enviado a um grupo de endereços.



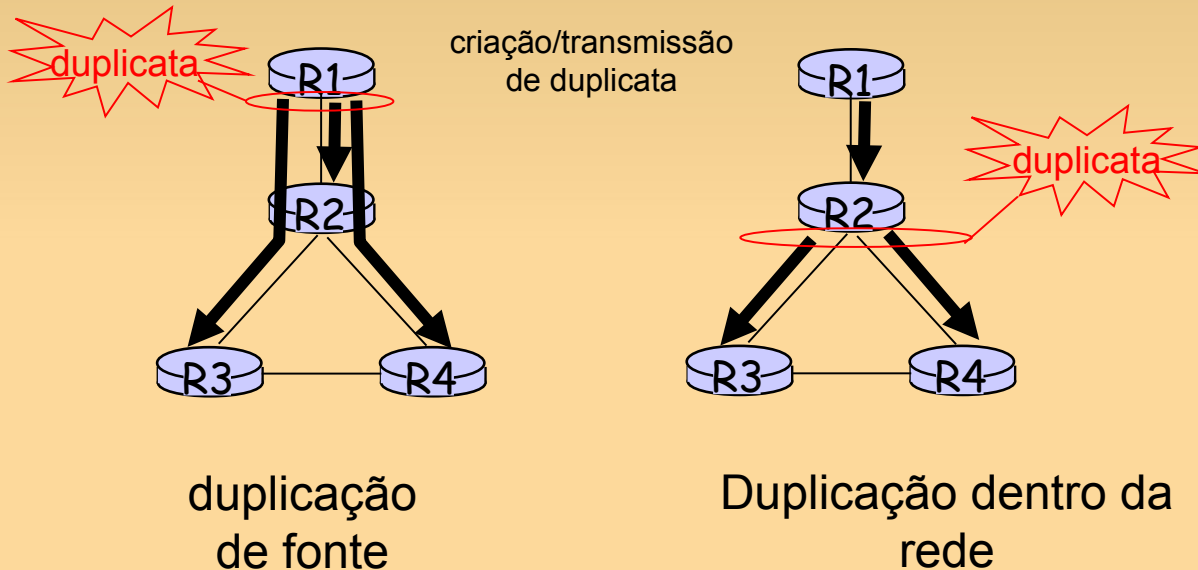
Aplicações Multicast



- Transferência de grandes volumes de dados: atualização de software.
- Taxa constante: áudio, vídeo e texto de uma palestra *online*.
- Dados compartilhados: vídeo-conferência.
- Alimentação de dados: cotação de ações.
- Jogos multiusuários (ex. Quake).
- ...

Roteamento broadcast

- entrega pacotes da fonte para todos os outros nós
- duplicação de fonte é ineficaz:



duplicação de fonte: como a fonte determina endereços de destinatário?

Inundação (não controlada)

- Cada nó envia uma cópia do pacote recebido a todos os seus vizinhos.
- Dois problemas:
 - em caso de ciclo (loop), pacotes são enviados repetidamente;*
 - tempestade de broadcast: multiplicação de pacotes de broadcast.*

Inundação Controlada



- Nodos NÃO repassam pacotes já recebidos e encaminhados.
- Implementado através de:
 - 1) número de seqüência de *broadcast*.
 - Ex.: Em algumas plataformas P2P
 - 2) RPF (*Reverse Path Forwarding*) - Repasse pelo Caminho Inverso:
 - encaminha pacote para todas as interfaces, exceto por onde recebeu, se pacote chegou pelo enlace que está no seu caminho *unicast* mais curto.

Inundação Controlada



Implementado através de uma:

- 3) Spanning Tree

Cria primeiro a árvore

Utiliza os enlaces para enviar broadcast

Desvantagem: criação e manutenção da árvore

Reverse Path Forwarding

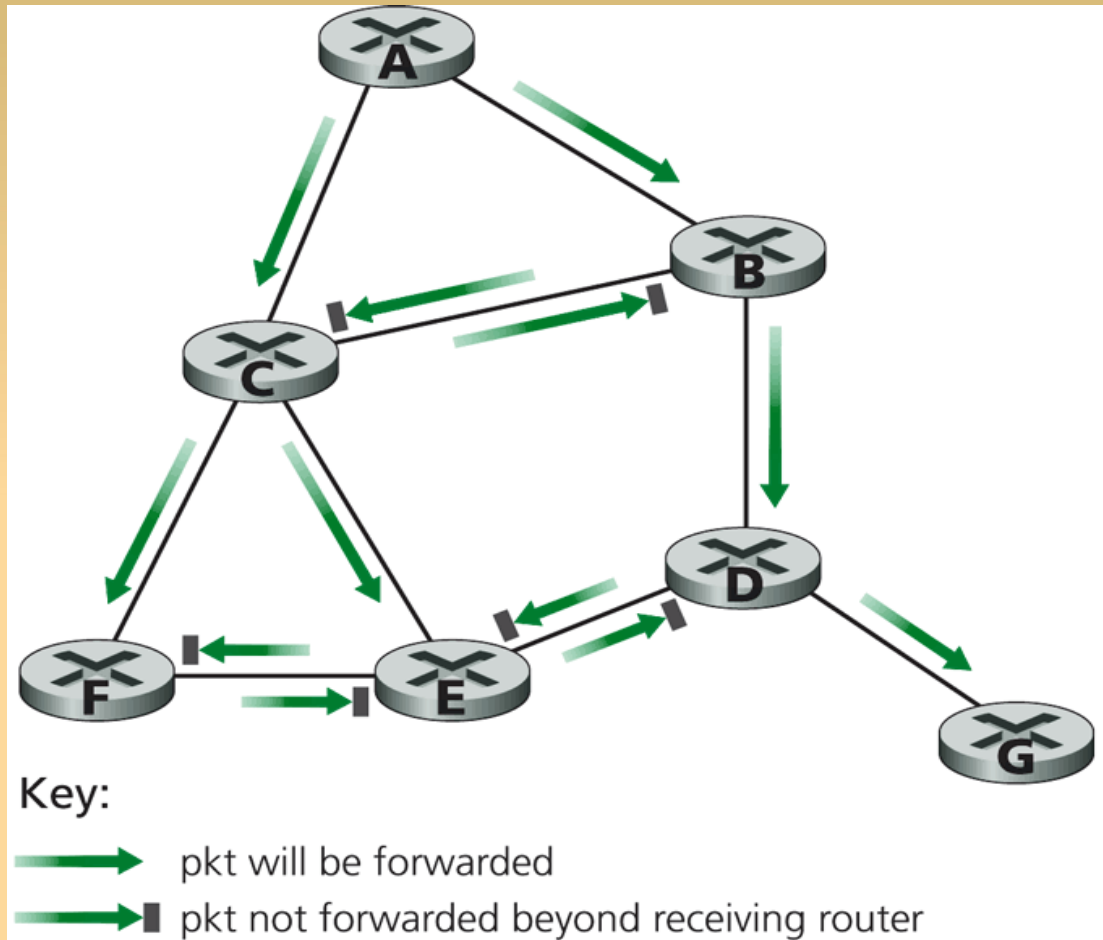
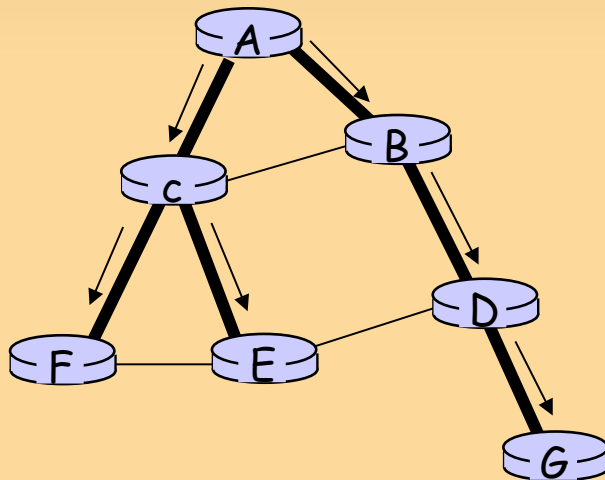


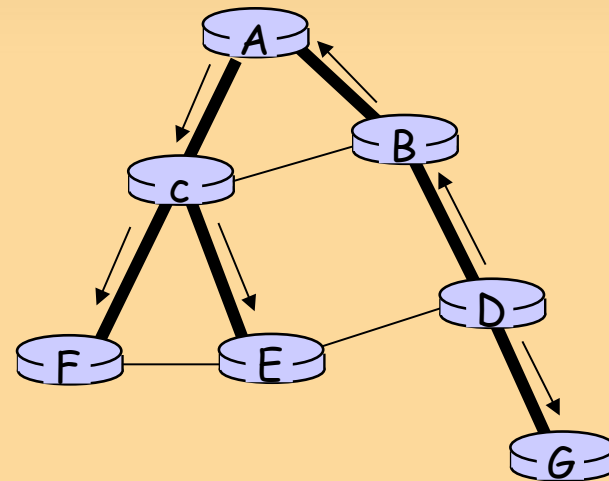
Figure 4.41 ♦ Reverse path forwarding

3) Broadcast por Spanning Tree

- primeiro construa uma spanning tree
- nós repassam cópias apenas ao longo da spanning tree



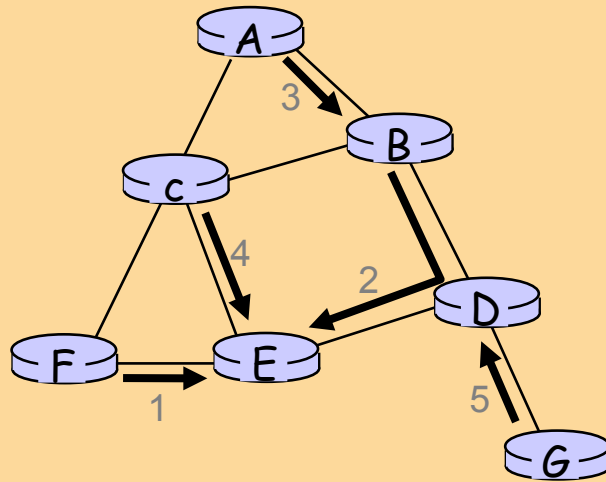
(a) broadcast iniciado em A



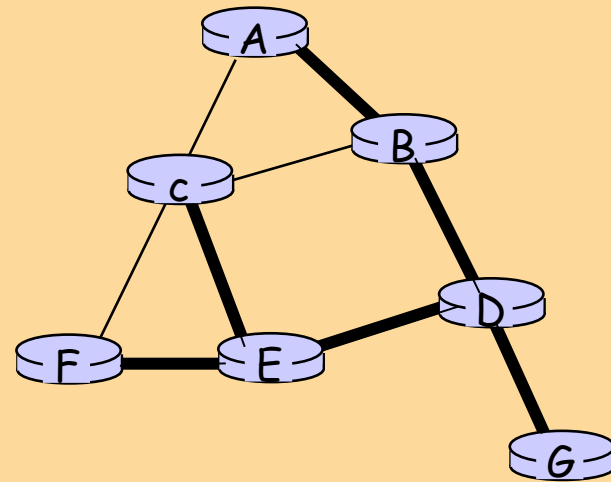
(b) broadcast iniciado em D

Spanning Tree: criação

- nó central E
- Pacote de B passa por D porque está no caminho unicast de B para E
- cada nó envia mensagem de unicast conjunto para nó central
mensagem encaminhada até que chegue a um nó já pertencente à spanning tree



(a) construção passo a passo da spanning tree



(b) spanning tree construída

Multicast: funcionamento

- Endereçamento indireto: pacotes são entregues a quem possui um endereço multicast (classe D).
- Um único identificador é utilizado para o grupo de destinatários
- Uma cópia do pacote é endereçado ao grupo
- Todos os elementos de um mesmo grupo possuem mesmo endereço IP.
- Lembre-se: cada elemento do grupo multicast possui um endereço IP unicast exclusivo e um endereço IP multicast que identifica o grupo.

Grupo Multicast

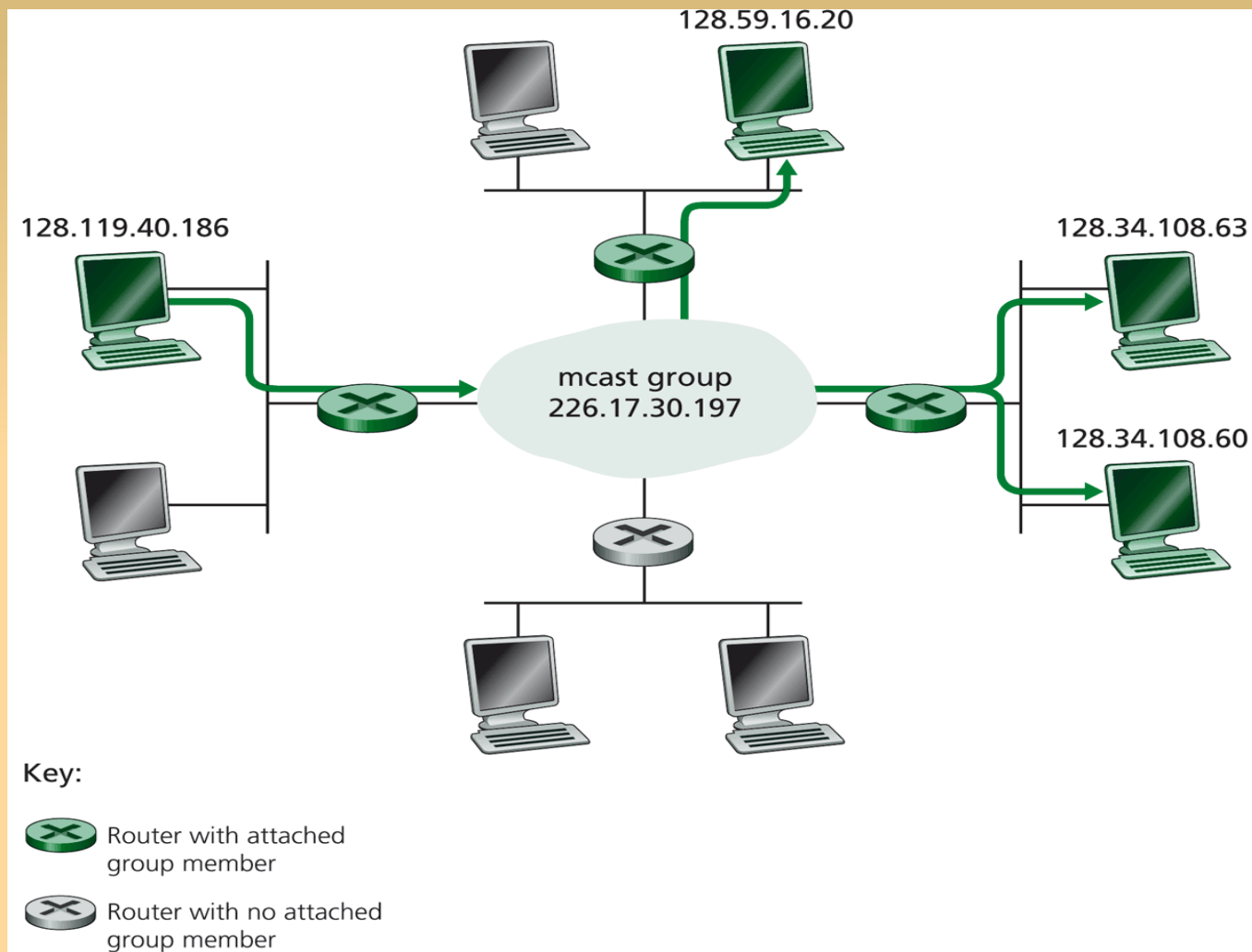


Figure 4.44 ♦ The multicast group: A datagram addressed to the group is delivered to all members of the multicast group.

Componentes Multicast: IGMP e protocolos de roteamento

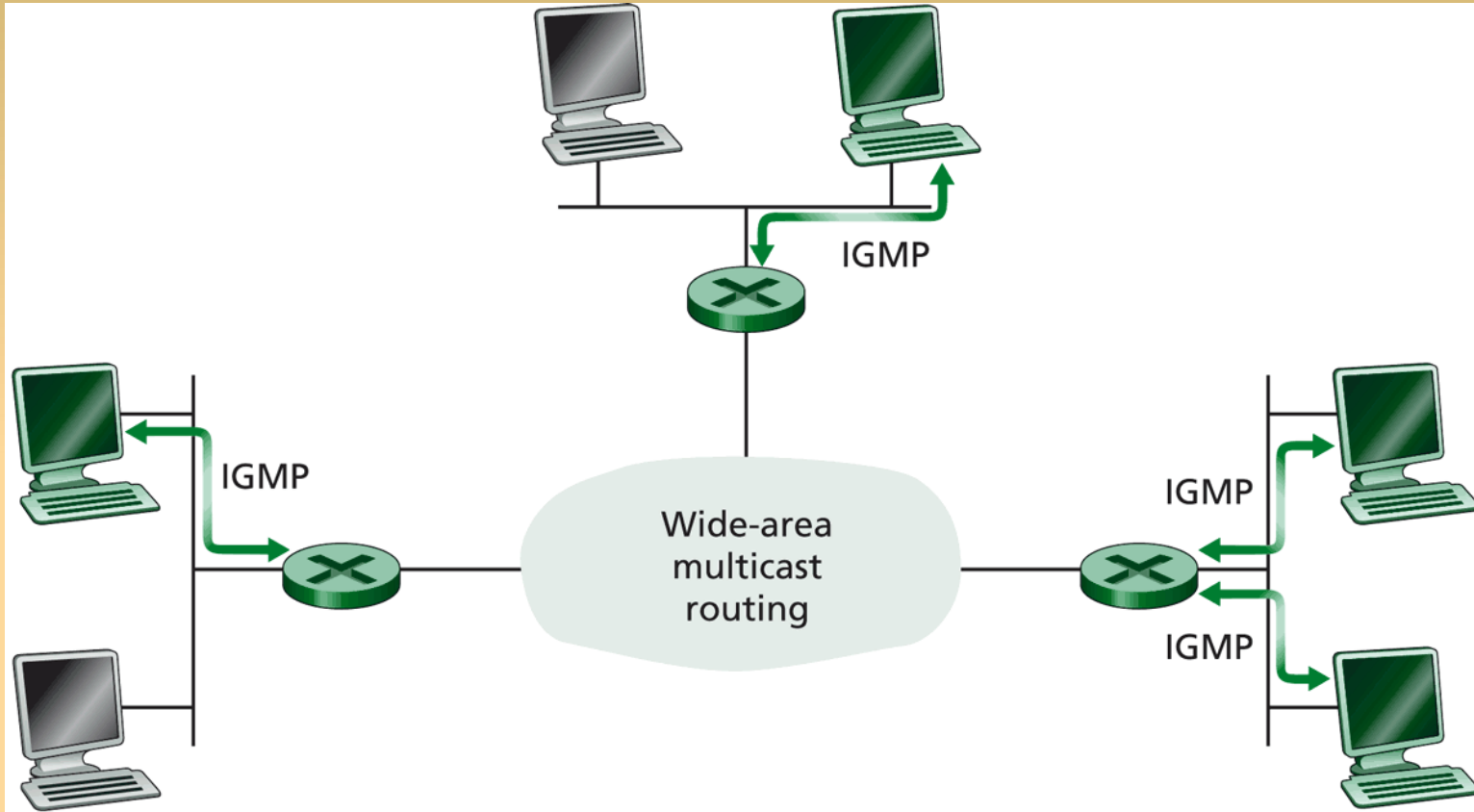


Figure 4.45 ♦ The two components of network-layer multicast: IGMP and multicast routing protocols

IGMP (*Internet Group Management Protocol*)



- Opera entre o *host* e o roteador diretamente conectado a ele.
 - ! escopo de operação: local!
- Provê meios para *host* informar ao roteador que uma aplicação deseja juntar-se a um grupo multicast.
- Também é utilizado por roteadores para juntarem-se a grupos *multicast*.

Mensagens IGMP

- membership_query
- membership_report
- leave_group

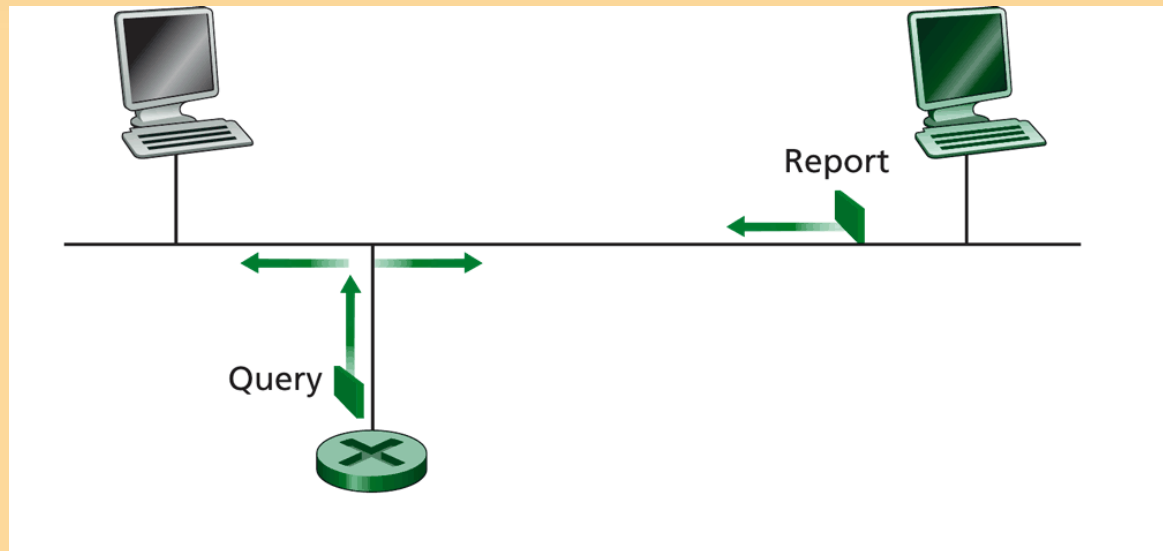


Figure 4.47 ♦ IGMP member query and membership report

Protocolos de Roteamento Multicast

- Exemplos:
 - ! PIM (Protocol Independent Multicast);
 - ! DVMRP (Distance Vector Routing Protocol);
 - ! MOSPF (OSPF multicast).

Definindo o problema do roteamento multicast



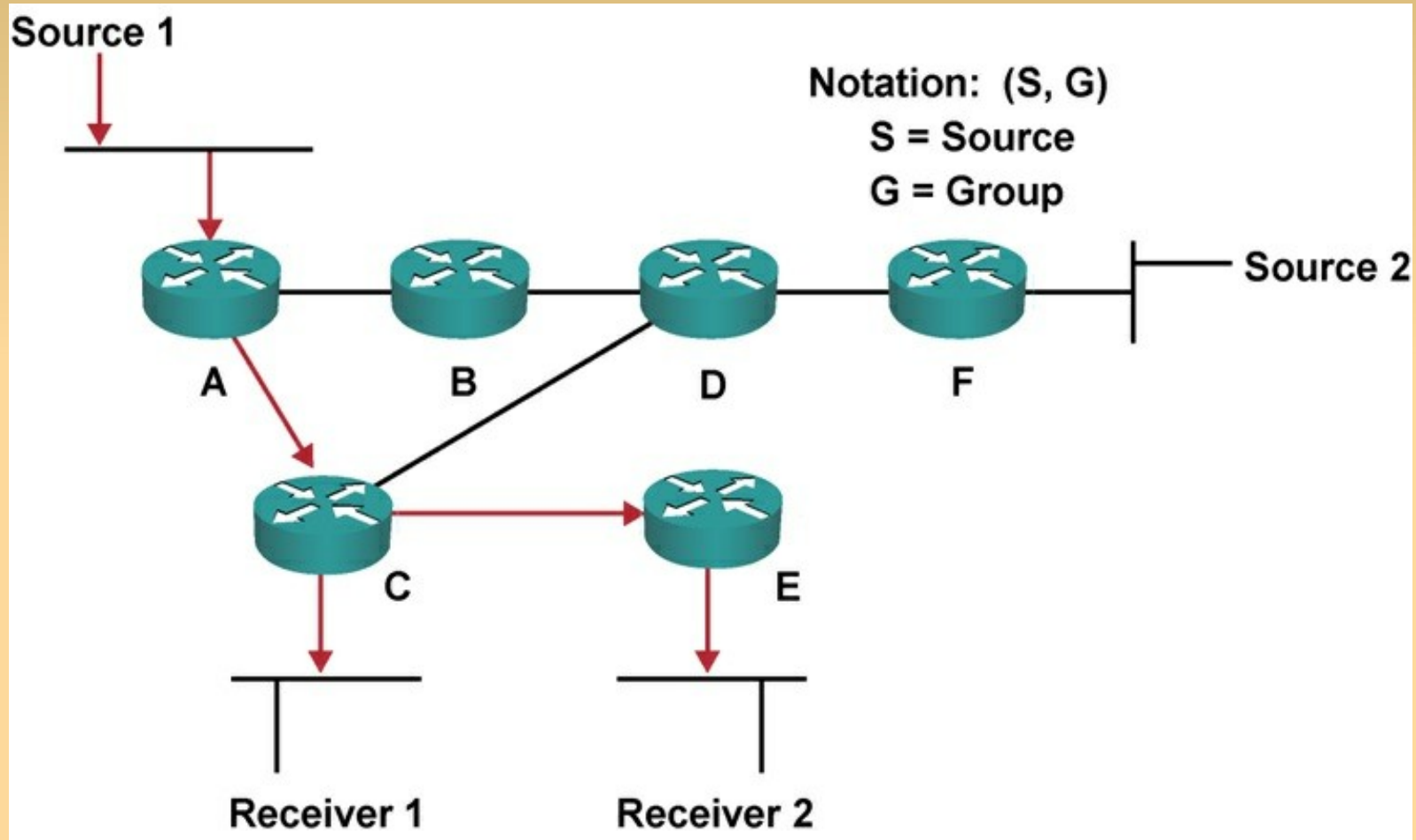
- ! Objetivo: encontrar uma árvore (ou árvores) conectando roteadores que possuem membros do grupo multicast.
- ! Árvore: enlaces necessários para conectar todos os roteadores, mas não inclui todos os caminhos!

Métodos para construir árvores multicast

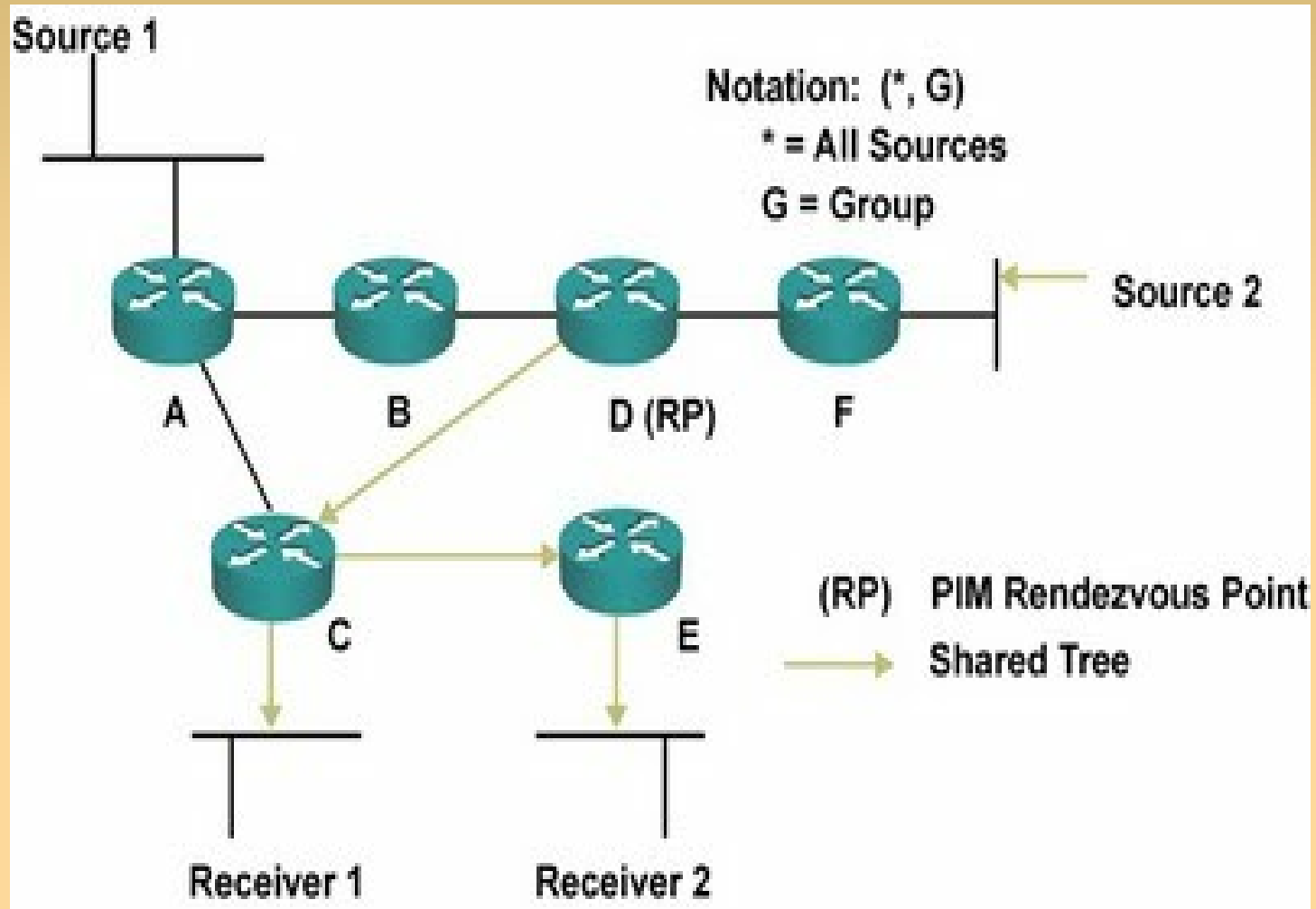


- ! **Árvore baseada na fonte:**
 - uma árvore por origem;
 - utiliza algoritmo RPF (Repasse pelo Caminho Inverso) para construir árvore para cada fonte;
 - ex.: DVMRP.
- ! **Árvore compartilhada pelo grupo:**
 - grupo usa uma única árvore;
 - Todos os roteadores de borda usam a árvore árvore construída baseada no nó central;
 - ex.: PIM.

Técnicas para criação de árvores mcast: técnicas



Técnicas para criação de árvores mcast: técnicas



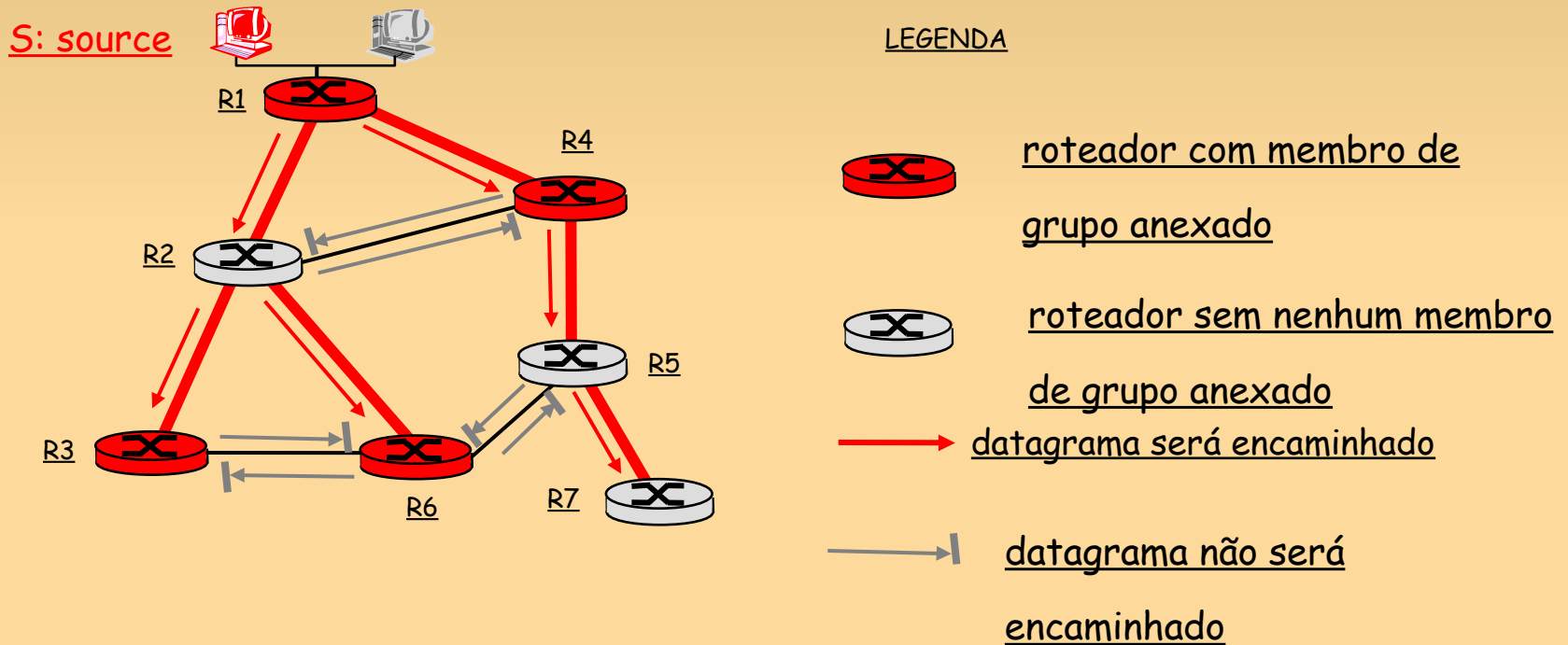
DVMRP

- ! Distance Vector Multicast Routing Protocol [RFC1075].
- ! Mais utilizada.
- ! Baseado em vetor de distância!
- ! Implementa árvores específicas de fonte com repasse de caminho inverso e poda.
- ! Árvore RPF baseada em tabelas de roteamento do DVMRP construídas pelos roteadores de comunicação do DVMRP.
- ! Comumente implementado em roteadores comerciais;
 - roteamento Mbone é feito usando DVMRP.

Repasse de Caminho Inverso

- Baseia-se no conhecimento dos roteadores sobre caminhos de unicast mais curtos dele até o transmissor.
- Cada roteador possui comportamento de encaminhamento simples:
 - se datagrama multicast recebido na interface de entrada no menor caminho retorna ao centro, então envia datagramas para todas as interfaces de saída;
 - caso contrário, ignora datagrama.

RFP: Exemplo

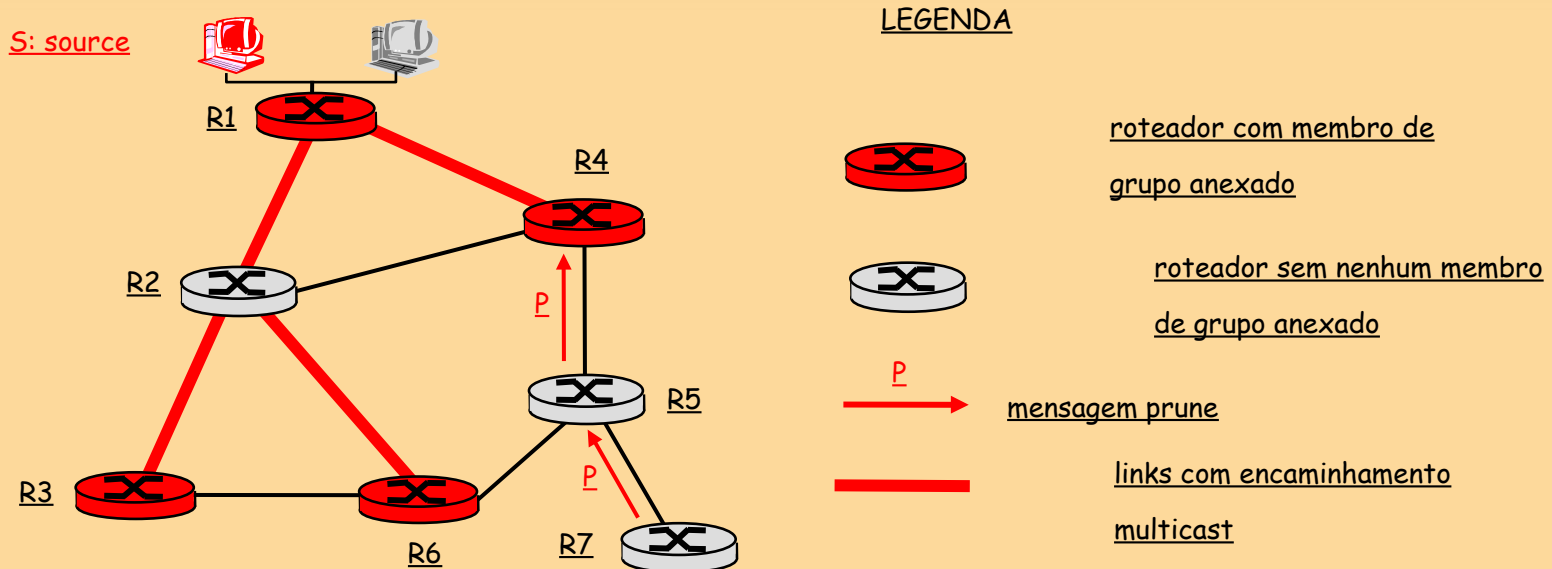


RFP: Poda

! Árvores de encaminhamento contêm subárvores com membros de grupo sem multicast:

! não necessita encaminhar datagramas por subárvores abaixo.

! mensagens “prune” são enviadas por upstream pelo roteador com membros de grupo sem nenhum downstream.



Capítulo 4: Resumo

- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador?
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - formato do datagrama
 - endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - estado de enlace
 - vetor de distâncias
 - roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento broadcast e multicast