

# Capítulo 4: Camada de Rede

## Objetivos do capítulo:

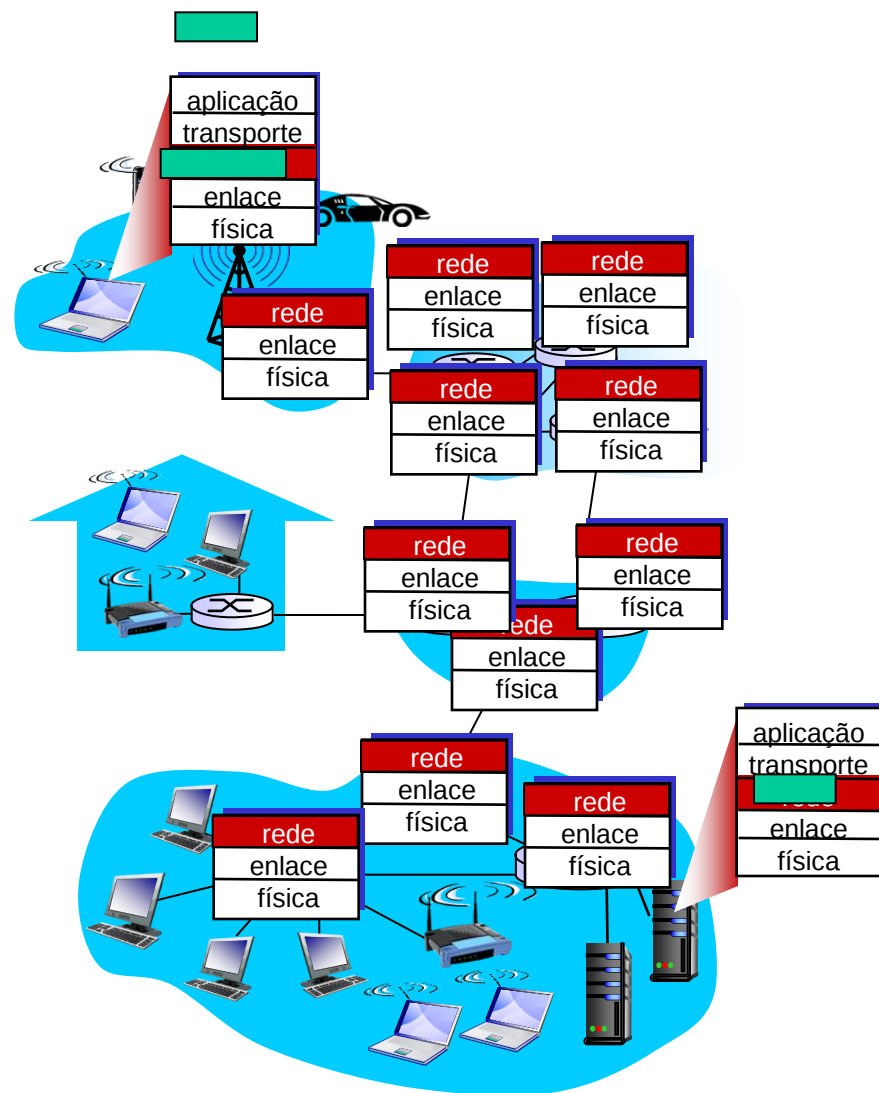
- ❑ entender os princípios por trás dos serviços da camada de rede:
  - modelos de serviço da camada de rede
  - repasse *versus* roteamento
  - como funciona um roteador
  - roteamento (seleção de caminho)
  - lidando com escala
  - tópicos avançados: IPv6, mobilidade
- ❑ instanciamento, implementação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

# 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 O Protocolo da Internet (IP)
  - 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

- ❑ transporta segmentos da estação remetente à receptora
- ❑ no lado remetente, encapsula segmentos dentro de datagramas
- ❑ no lado receptor, entrega os segmentos para a camada de transporte
- ❑ protocolos da camada de rede em todos os sistemas finais e roteadores
- ❑ roteadores examinam campos de cabeçalho de todos os datagramas IP que passam por eles



# Funções principais da camada de rede

□ *repasse*: move pacotes de uma entrada do roteador para a saída apropriada

□ *roteamento*: determina a rota a ser seguida pelos pacotes da fonte até o destino

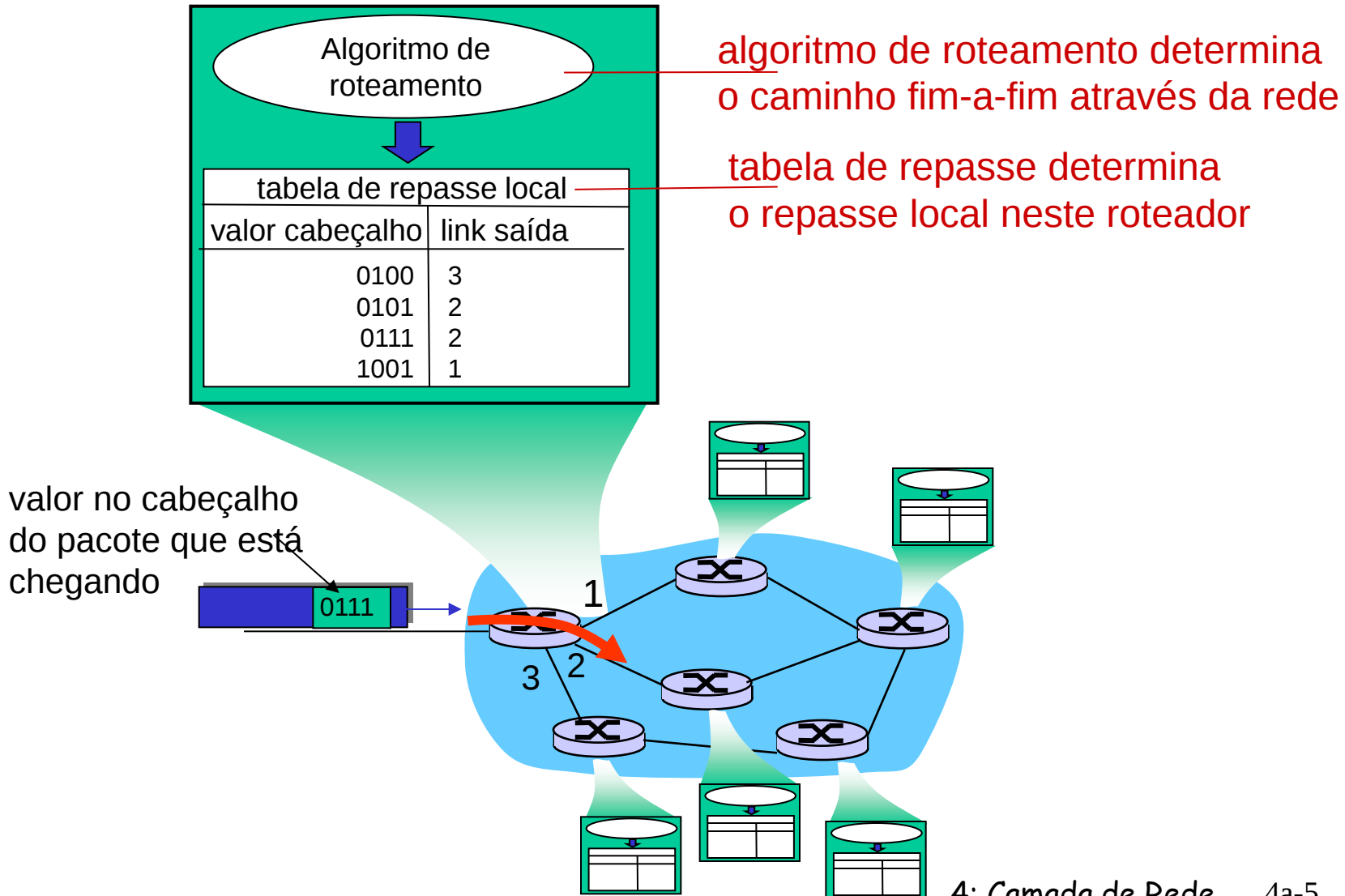
- *Algoritmos de roteamento*

*analogia*:

□ *roteamento*: processo de planejar uma viagem da origem até o destino

□ *repasse*: processo de atravessar uma encruzilhada durante a viagem

# Relacionamento entre roteamento e repasse



# Estabelecimento de conexão

- ❑ 3ª função importante em algumas arquiteturas de rede:
  - ATM, frame relay, X.25
- ❑ Antes dos pacotes fluírem, dois *hosts* e os roteadores intermediários estabelecem uma conexão virtual
  - roteadores são envolvidos
- ❑ Serviço de conexão das camadas de transporte e de rede:
  - **rede**: entre dois *hosts* (envolve também roteadores intermediários no caso de CVs)
  - **transporte**: entre dois processos

# Modelo de serviço de rede

**P:** Qual é o *modelo de serviço* para o “canal” que transfere pacotes do remetente ao receptor?

## Exemplos de serviços para pacotes individuais:

- ❑ Entrega garantida
- ❑ Entrega garantida com atraso limitado:
  - ❑ Ex.: menor que 40 mseg

## Exemplos de serviços para um fluxo de datagramas:

- ❑ Entrega ordenada de pacotes
- ❑ Largura de banda mínima garantida
- ❑ restrições em mudanças no espaçamento entre pacotes.

# Modelos de serviço da camada de rede:

| Arquitetura de Rede | Modelo de serviço | Garantias ?      |        |       |       | Indicação de congestion.? |
|---------------------|-------------------|------------------|--------|-------|-------|---------------------------|
|                     |                   | Banda            | Perdas | Ordem | Tempo |                           |
| Internet            | melhor esforço    | nenhuma          | não    | não   | não   | não (inferido via perdas) |
| ATM                 | CBR               | taxa constante   | sim    | sim   | sim   | sem congestion.           |
| ATM                 | VBR               | taxa garantida   | sim    | sim   | sim   | sem congestion.           |
| ATM                 | ABR               | mínima garantida | não    | sim   | não   | sim                       |
| ATM                 | UBR               | nenhuma          | não    | sim   | não   | não                       |

# 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 O Protocolo da Internet (IP)
  - Formato do datagrama
  - Endereçamento IPv4
  - ICMP
  - IPv6
  - IPSec
- ❑ 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*

# Serviços orientados e não orientados para conexão

- ❑ rede datagrama provê um serviço de camada de rede *sem conexões*
- ❑ rede *circuito virtual* provê um serviço de camada de rede *orientado para conexões*
- ❑ análogos aos serviços da camada de transporte (TCP/UDP), mas:
  - *Serviço*: *host-a-host*
  - *Sem escolha*: rede provê ou um ou o outro
  - *Implementação*: no núcleo da rede

# Redes de circuitos virtuais

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

- em termos de desempenho
- em ações da rede ao longo do caminho da-origem-ao-destino

- ❑ estabelecimento de cada chamada *antes* do envio dos dados
- ❑ cada pacote tem ident. de CV (e não endereços origem/dest)
- ❑ cada roteador no caminho da-origem-ao-destino mantém “estado” para cada conexão que o atravessa
- ❑ recursos de enlace, roteador (banda, *buffers*) podem ser *alocados* ao CV (recursos dedicados = serviço previsível)

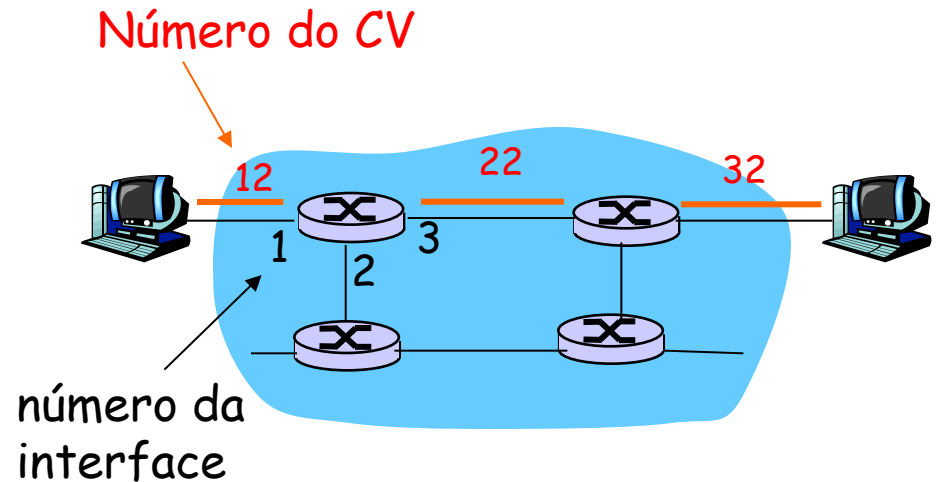
# Implementação de CV

Um CV consiste de:

1. **caminho** da origem para o destino
  2. **números (identificadores) de CV**, um número para cada enlace ao longo do caminho
  3. **entradas nas tabelas de repasse** dos roteadores ao longo do caminho
- ❑ pacote que pertence a um CV carrega o número do CV (ao invés do endereço de destino)
  - ❑ Número do CV deve ser trocado a cada enlace
    - Novo número do CV vem da tabela de repasse

# Tabela de repasse

Tabela de repasse  
no roteador noroeste:

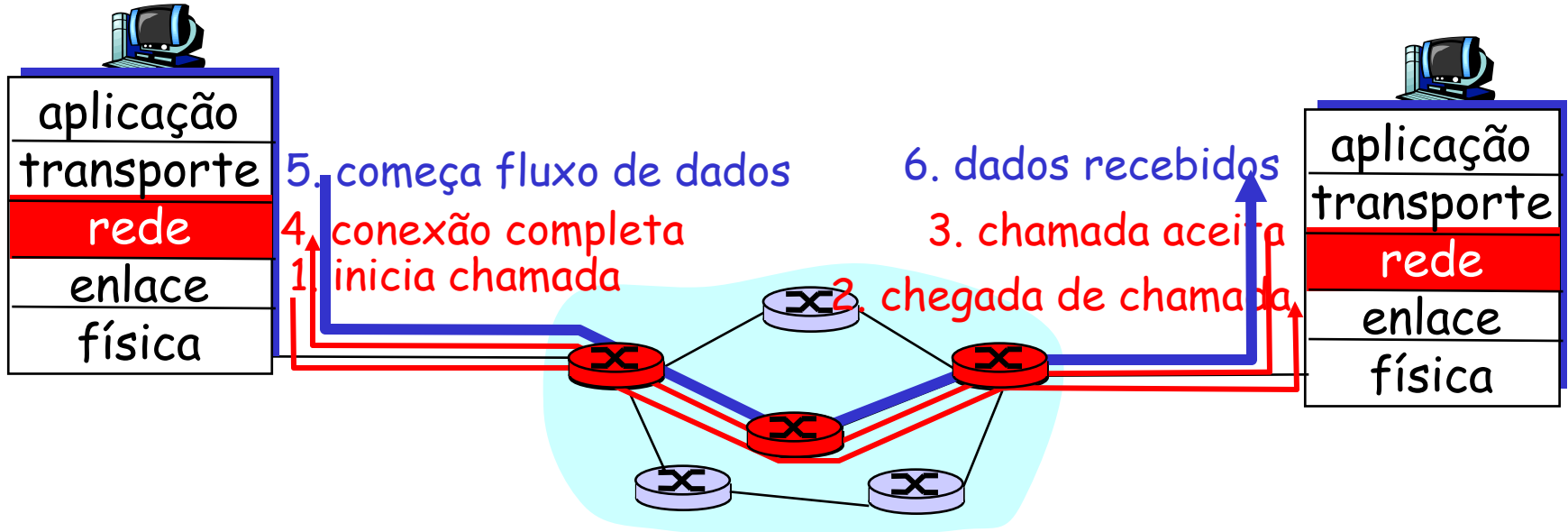


| Interface de entrada | # CV de entrada | Interface de saída | # CV de saída |
|----------------------|-----------------|--------------------|---------------|
| 1                    | 12              | 3                  | 22            |
| 2                    | 63              | 1                  | 18            |
| 3                    | 7               | 2                  | 17            |
| 1                    | 97              | 3                  | 87            |
| ...                  | ...             | ...                | ...           |

Roteadores mantêm informação sobre o estado da conexão!

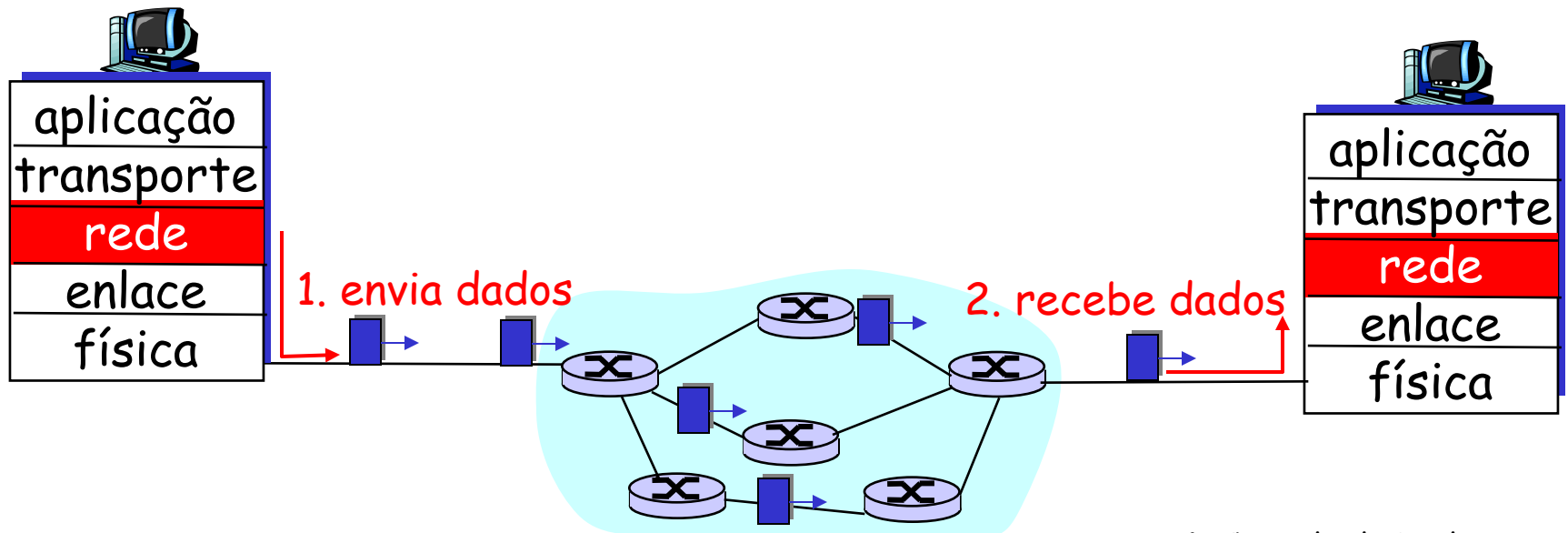
# Circuitos virtuais: protocolos de sinalização

- ❑ usados para estabelecer, manter, destruir CV
- ❑ usados em *ATM*, *frame-relay*, *X.25*
- ❑ não usados na Internet convencional

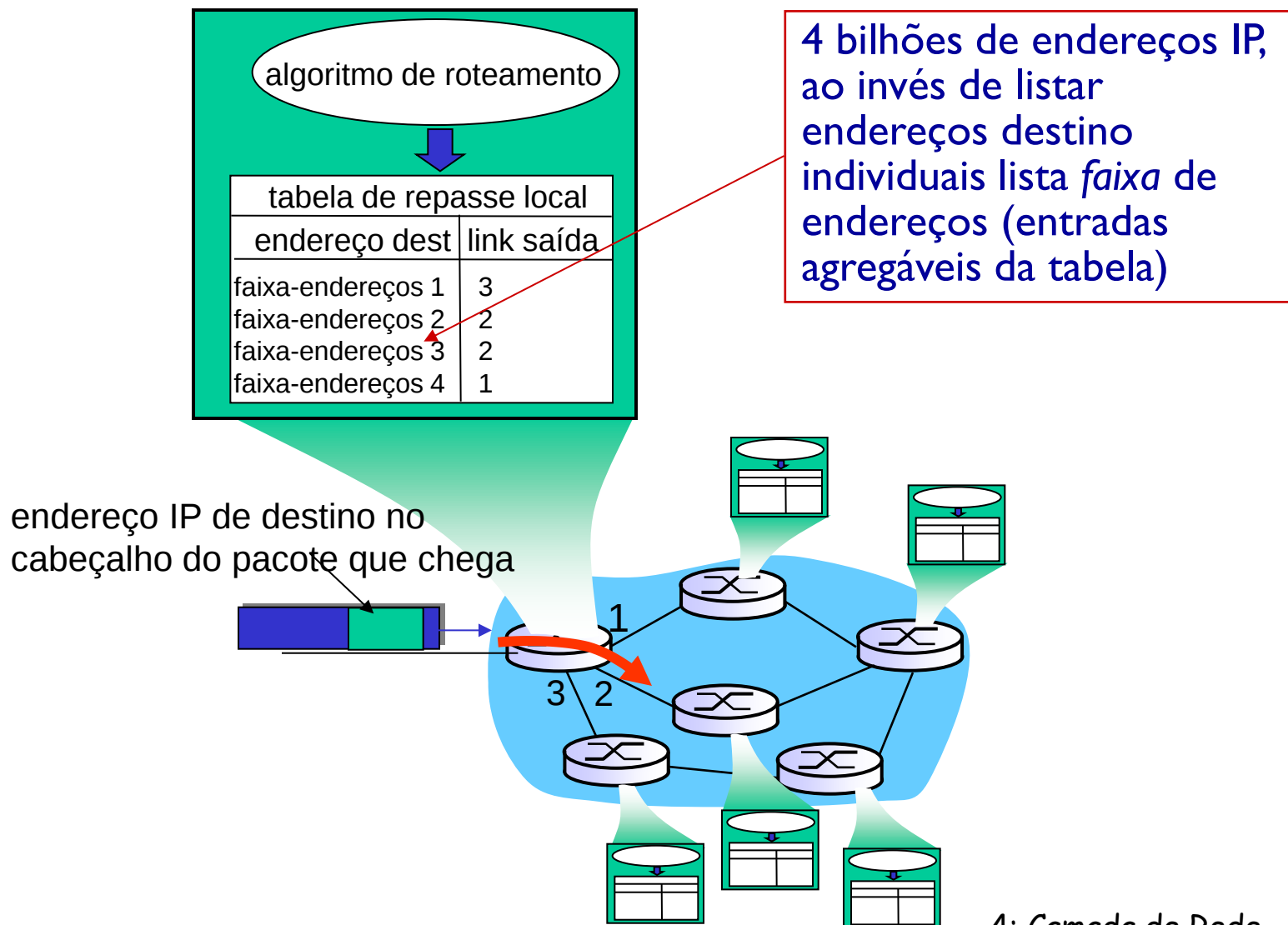


# Rede de datagramas: o modelo da Internet

- ❑ não requer estabelecimento de chamada na camada de rede
- ❑ roteadores: não guardam estado sobre conexões fim a fim
  - não existe o conceito de "conexão" na camada de rede
- ❑ pacotes são repassados tipicamente usando endereços de destino
  - 2 pacotes entre o mesmo par origem-destino podem seguir caminhos diferentes



# Tabela de repasse



# Tabela de repasse

| Faixa de endereços de destino                                                     | Interface de saída |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 11001000 00010111 00010000 00000000<br>até<br>11001000 00010111 00010111 11111111 | 0                  |
| 11001000 00010111 00011000 00000000<br>até<br>11001000 00010111 00011000 11111111 | 1                  |
| 11001000 00010111 00011001 00000000<br>até<br>11001000 00010111 00011111 11111111 | 2                  |
| caso contrário                                                                    | 3                  |

*P:* mas o que fazer se as faixas não forem assim tão arrumadas?

# Concordância do prefixo mais longo

ao buscar por entrada na tabela de repasse por um dado endereço de destino, usa o prefixo *mais longo* que casa/bate com o endereço do destino.

| Faixa do Endereço de Destino     | Interface do enlace |
|----------------------------------|---------------------|
| 11001000 00010111 00010*** ***** | 0                   |
| 11001000 00010111 00011000 ***** | 1                   |
| 11001000 00010111 00011*** ***** | 2                   |
| Caso contrário                   | 3                   |

exemplos:

ED: 11001000 00010111 00010110 10100001

qual interface?

ED: 11001000 00010111 00011000 10101010

qual interface?

# Origens das redes de circuitos virtuais e de datagramas

## Internet

- ❑ troca de dados entre computadores
  - serviço "elástico", sem reqs. temporais estritos
- ❑ muitos tipos de enlaces
  - características diferentes
  - serviço uniforme difícil
- ❑ sistemas terminais "inteligentes" (computadores)
  - podem se adaptar, exercer controle, recuperar de erros
  - **núcleo da rede simples, complexidade na "borda"**

## ATM

- ❑ evoluiu da telefonia
- ❑ conversação humana:
  - temporização estrita, requisitos de confiabilidade
  - requer serviço garantido
- ❑ sistemas terminais "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 O Protocolo da Internet (IP)
  - 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*

# Famílias de Roteadores

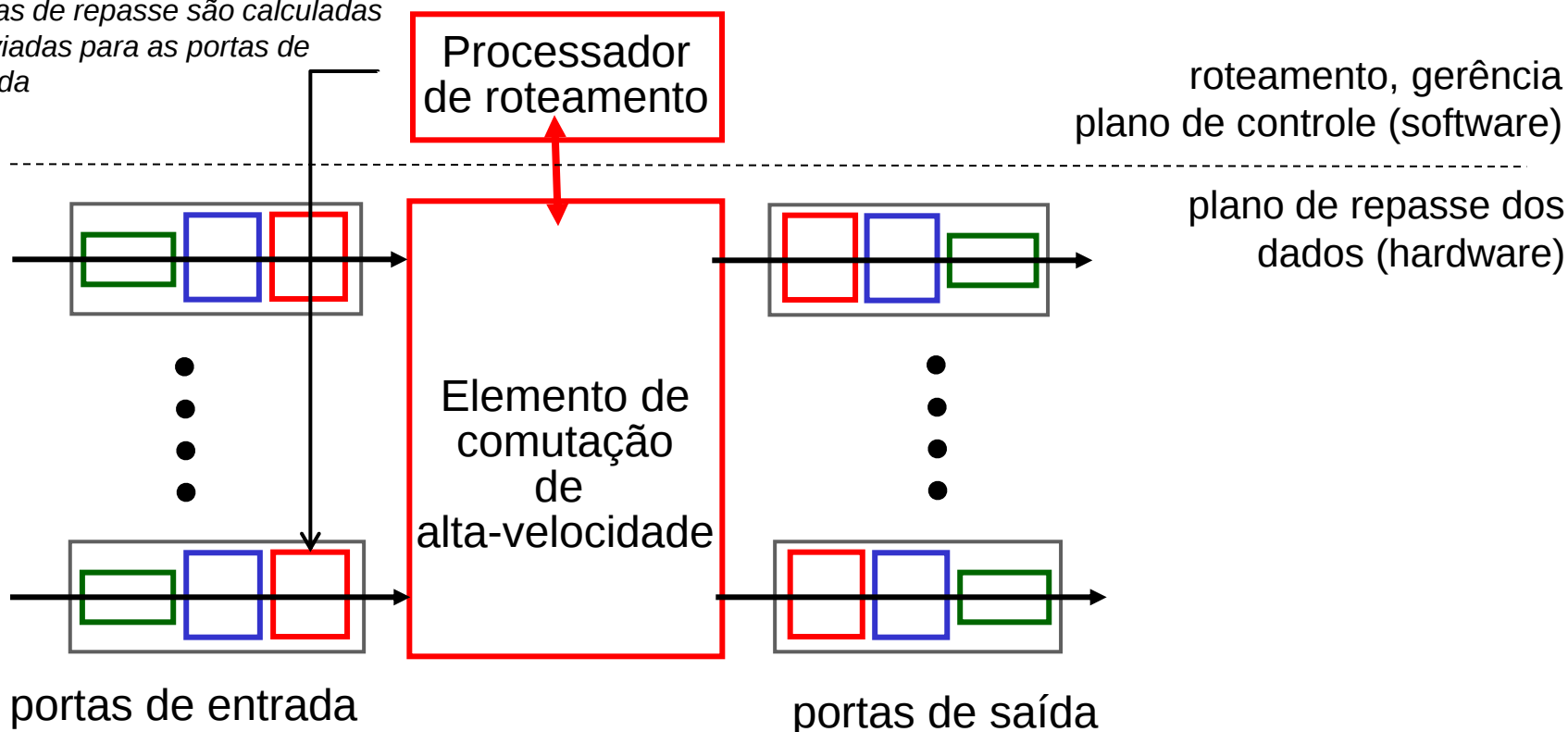


# Sumário da Arquitetura de Roteadores

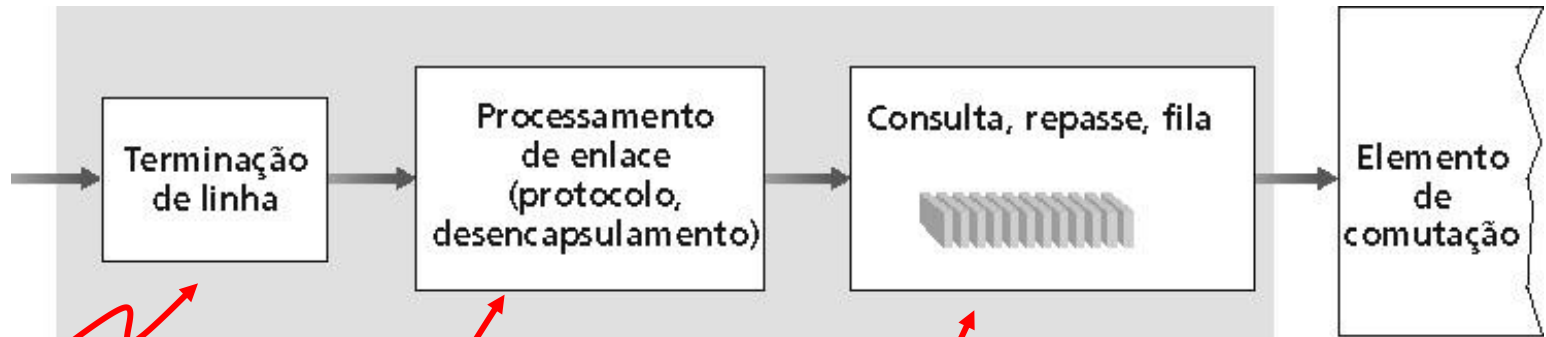
Duas funções chave de roteadores:

- ❑ rodam algoritmos/protocolos de roteamento (RIP, OSPF, BGP)
- ❑ *repassam* datagramas do enlace de entrada para o de saída

*tabelas de repasse são calculadas e enviadas para as portas de entrada*



# Funções das Portas de Entrada



Camada física:  
recepção de bits

Camada de enlace:  
p.ex., Ethernet  
veja capítulo 5

## Comutação descentralizada:

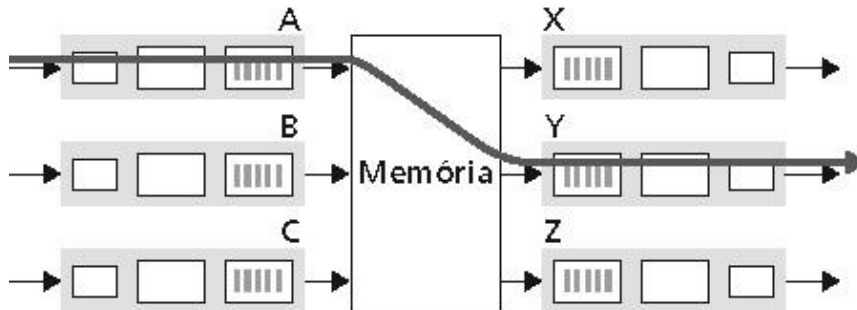
- ❑ dado o dest. do datagrama, procura porta de saída usando tab. de rotas na memória da porta de entrada
- ❑ meta: completar processamento da porta de entrada na '**velocidade da linha**'
- ❑ filas: se datagramas chegam mais rápido que taxa de re-envio para elemento de comutação

# Elemento (matriz) de comutação

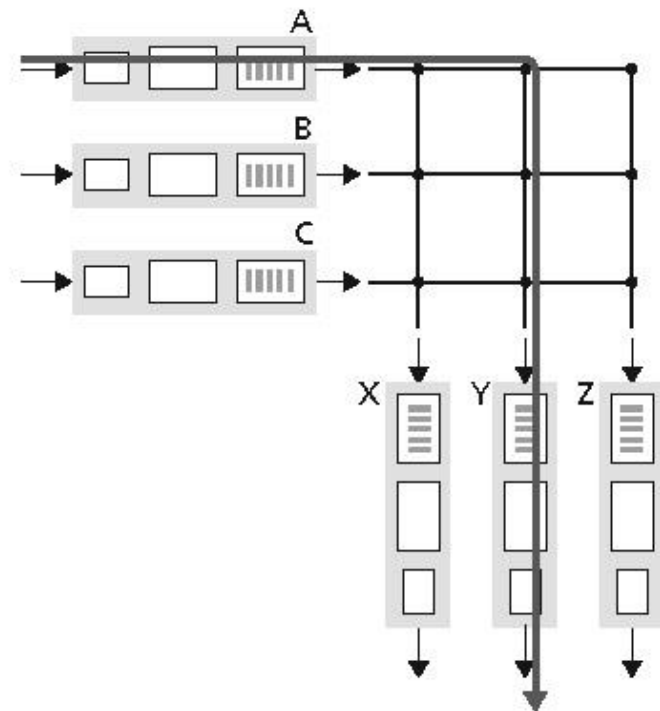
- ❑ transfere pacotes do buffer de entrada para o buffer de saída apropriado
- ❑ taxa de comutação: taxa na qual os pacotes podem ser transferidos das entradas para as saídas:
  - frequentemente medida como múltiplo das taxas das linhas de entrada/saída
  - $N$  entradas: desejável taxa de comutação  $N$  vezes a taxa da linha.

# Três tipos de elementos de comutação

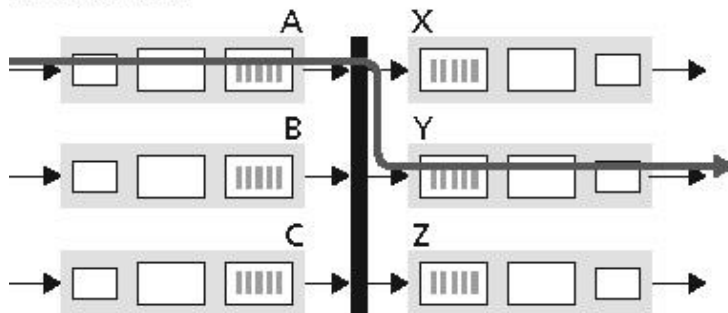
Memória



Crossbar



Barramento



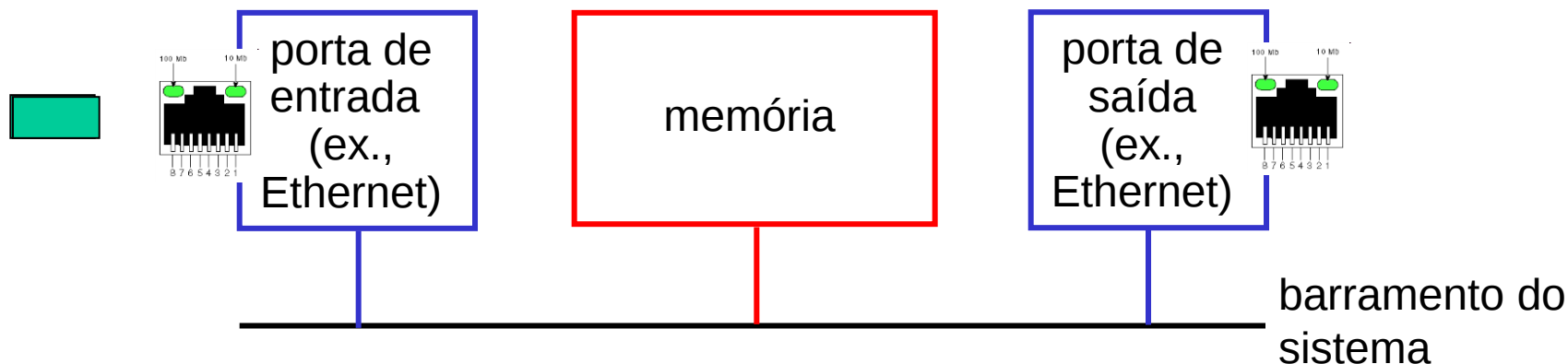
Legenda:

 Porta de entrada  Porta de saída

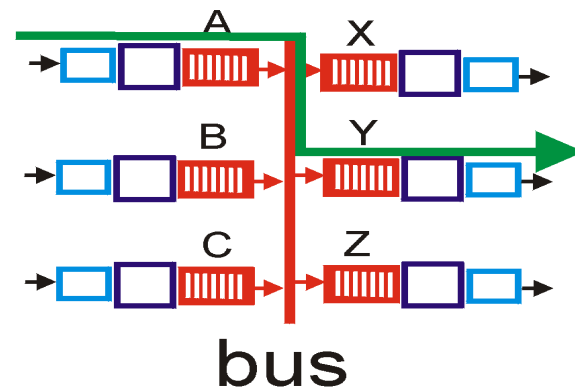
# Comutação por Memória

## Roteadores da primeira geração:

- ❑ computadores tradicionais com comutação controlada diretamente pela CPU
- ❑ pacote copiado para a memória do sistema
- ❑ velocidade limitada pela largura de banda da memória (2 travessias do barramento por datagrama)



# Comutação por um Barramento



- ❑ datagrama da memória da porta de entrada para a memória da porta de saída via um barramento compartilhado
- ❑ **Disputa (contenção) pelo barramento:** taxa de comutação limitada pela largura de banda do barramento
- ❑ Cisco 6500 usa barramento de 32 Gbps: velocidade suficiente para roteadores de acesso e corporativos.

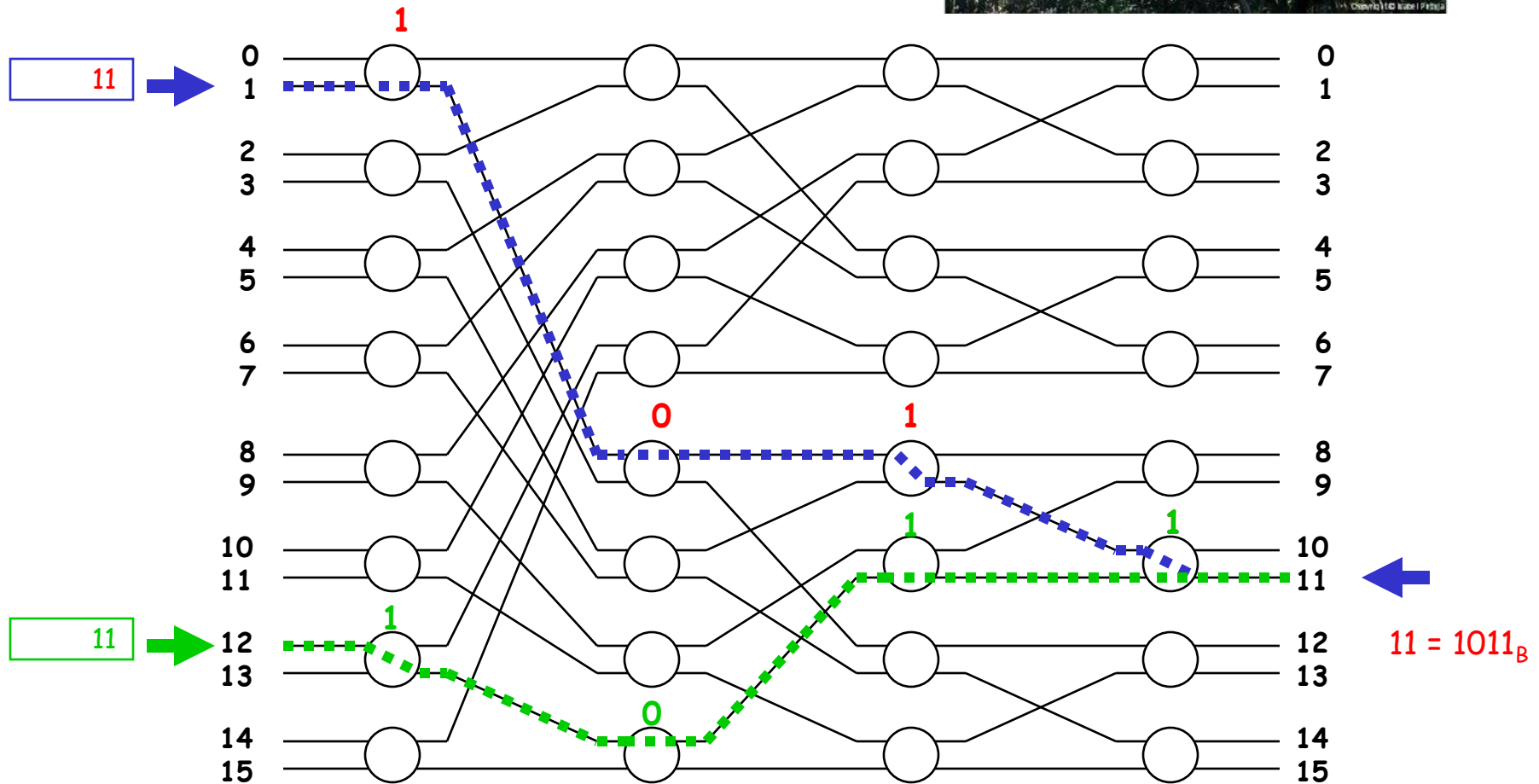


# Comutação por uma rede de interconexão

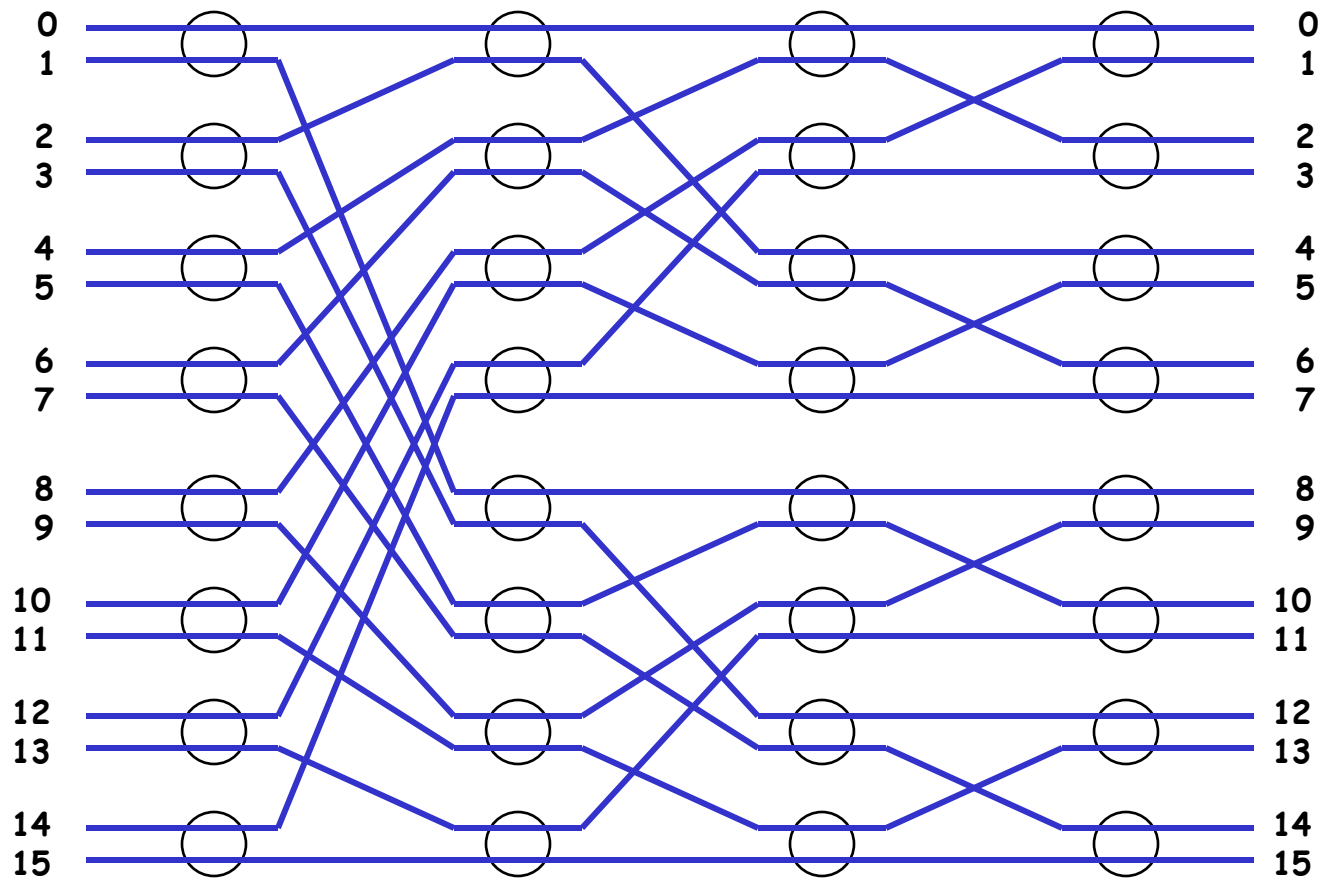
- ❑ supera limitações de banda dos barramentos
- ❑ Redes Banyan, outras redes de interconexão desenvolvidas inicialmente para interligar processadores num sistema multiprocessador
- ❑ Projeto avançado: fragmentar datagrama em células de tamanho fixo, comutar células através da matriz de comutação.
- ❑ Cisco 12000: comuta 60 Gbps pela rede de interconexão.



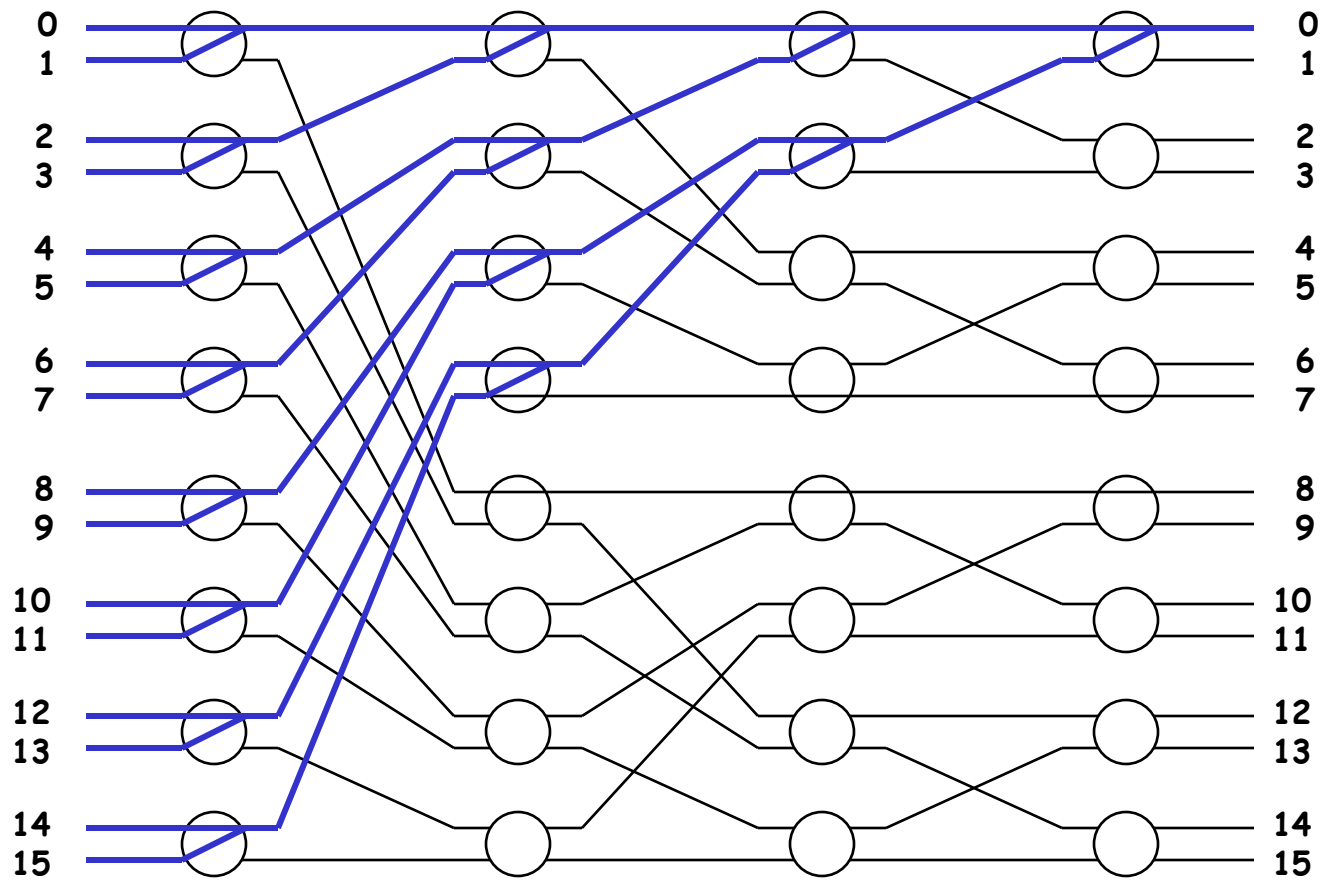
# Rede de Banyan



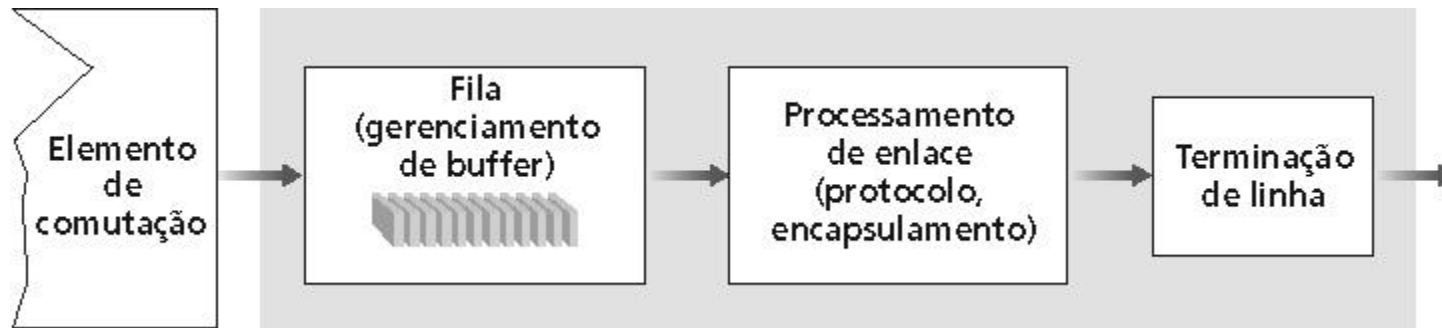
# Tráfego com interferência mínima



# Tráfego com interferência máxima (hot spot)



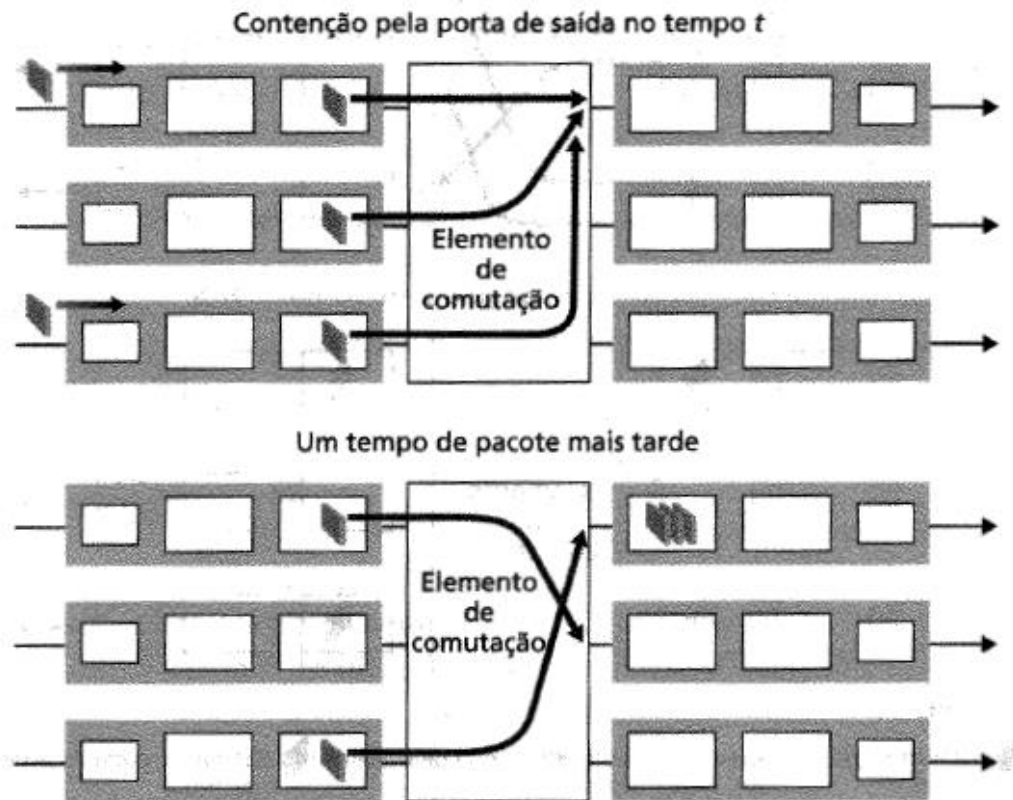
# Portas de Saída



- ❑ **enfileiramento** necessário quando datagramas chegam do elemento de comutação mais rapidamente do que a taxa de transmissão
- ❑ **disciplina de escalonamento** escolhe um dos datagramas enfileirados para transmissão

# Filas na Porta de Saída

- ❑ usa *buffers* quando taxa de chegada através do comutador excede taxa de transmissão de saída
- ❑ *enfileiramento (retardo), e perdas devidas ao transbordo do buffer da porta de saída!*



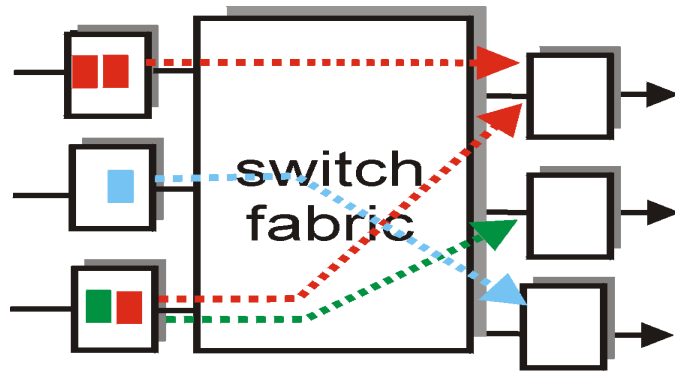
# Tamanho das filas

- ❑ regra prática da RFC3439: enfileiramento médio igual ao RTT "típico" (ex., 250 mseg) vezes a capacidade do link  $C$ 
  - Ex.:  $C = 10$  Gbps: buffer de 2,5 Gbit
- ❑ recomendação recente: com  $N$  fluxos, enfileiramento igual a:

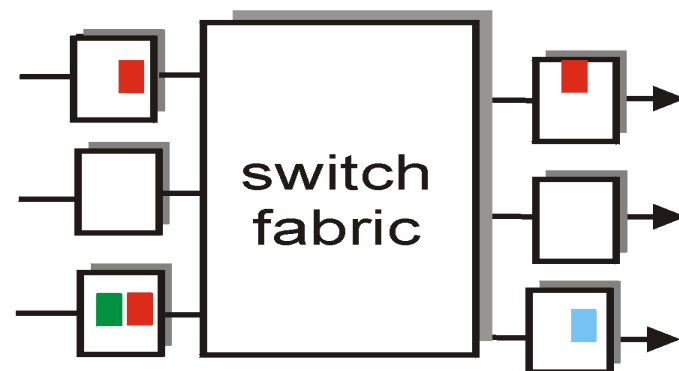
$$\frac{RTT \cdot C}{\sqrt{N}}$$

# Filas na Porta de Entrada

- Se o elemento de comutação for mais lento do que a soma das portas de entrada juntas -> pode haver filas nas portas de entrada
  - *retardo de enfileiramento e perdas devido ao transbordo do buffer de entrada!*
- **Bloqueio de cabeça de fila:** datagrama na cabeça da fila impede outros na mesma fila de avançarem



output port contention  
at time t - only one red  
packet can be transferred



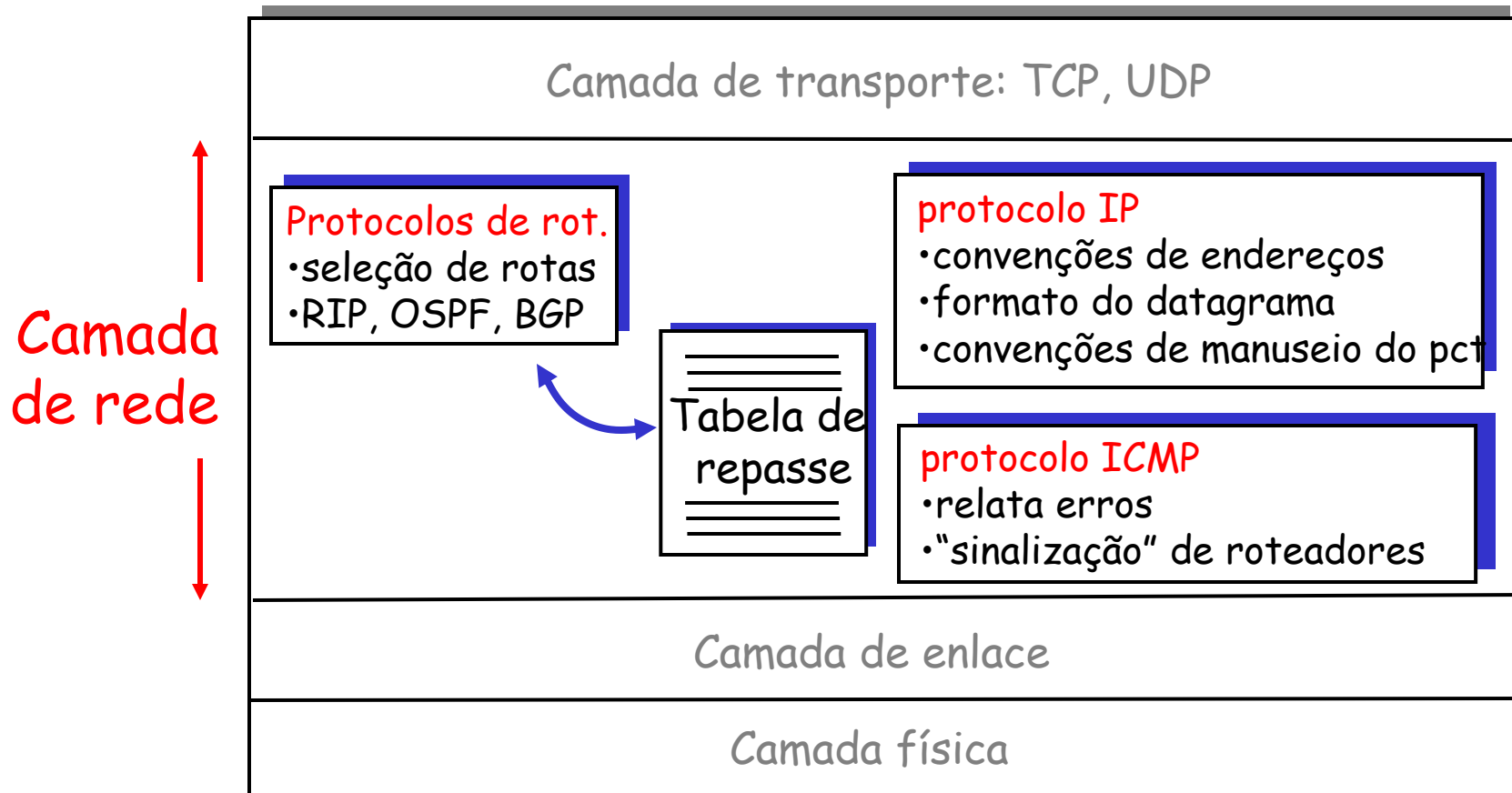
green packet  
experiences HOL blocking

# Capítulo 4: Camada de Rede

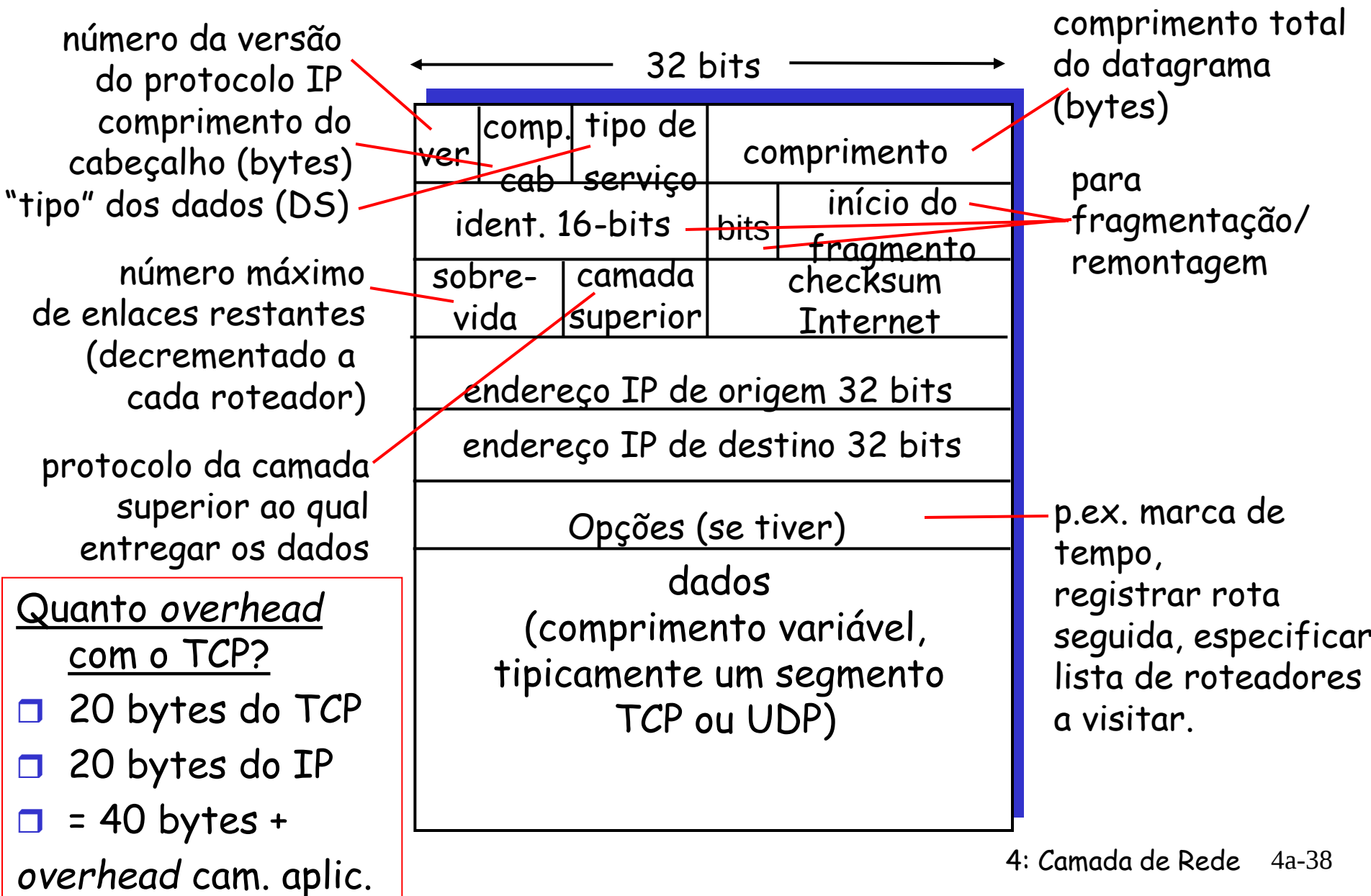
- ❑ 4.1 Introdução
- ❑ 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- ❑ 4.3 O que há dentro de um roteador
- ❑ 4.4 O Protocolo da Internet (IP)
  - Formato do datagrama
  - Endereçamento IPv4
  - ICMP
  - IPv6
- ❑ 4.5 Algoritmos de roteamento
  - Estado de enlace
  - Vetor de distâncias
  - Roteamento hierárquico
- ❑ 4.6 Roteamento na Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- ❑ 4.7 Roteamento *broadcast e multicast*

# A Camada de Rede na Internet

Funções da camada de rede em estações, roteadores:

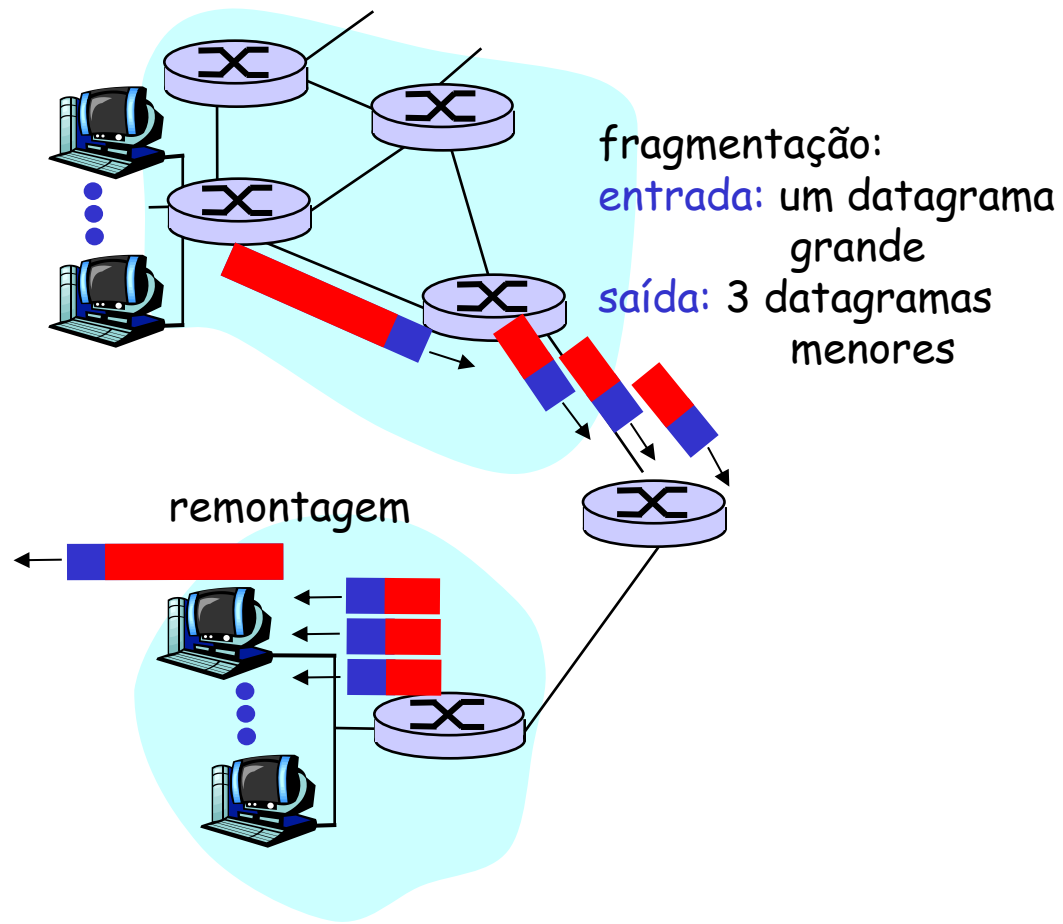


# Formato do datagrama IP



# IP: Fragmentação & Remontagem

- ❑ cada enlace de rede tem MTU (*max.transmission unit*) - maior tamanho possível de quadro neste enlace.
  - tipos diferentes de enlace têm MTUs diferentes
- ❑ datagrama IP muito grande dividido ("fragmentado") dentro da rede
  - um datagrama vira vários datagramas
  - "remontado" apenas no destino final
  - bits do cabeçalho IP usados para identificar, ordenar fragmentos relacionados



# IP: Fragmentação & Remontagem

## Exemplo

- ❑ Datagrama de 4000 bytes
- ❑ MTU = 1500 bytes

|  |       |    |          |        |  |
|--|-------|----|----------|--------|--|
|  | compr | ID | bit_frag | início |  |
|  | =4000 | =x | =0       | =0     |  |

um datagrama grande vira  
vários datagramas menores

1480 bytes de  
dados

início =  
 $1480/8$

|  |       |    |          |        |  |
|--|-------|----|----------|--------|--|
|  | compr | ID | bit_frag | início |  |
|  | =1500 | =x | =1       | =0     |  |

|  |       |    |          |        |  |
|--|-------|----|----------|--------|--|
|  | compr | ID | bit_frag | início |  |
|  | =1500 | =x | =1       | =185   |  |

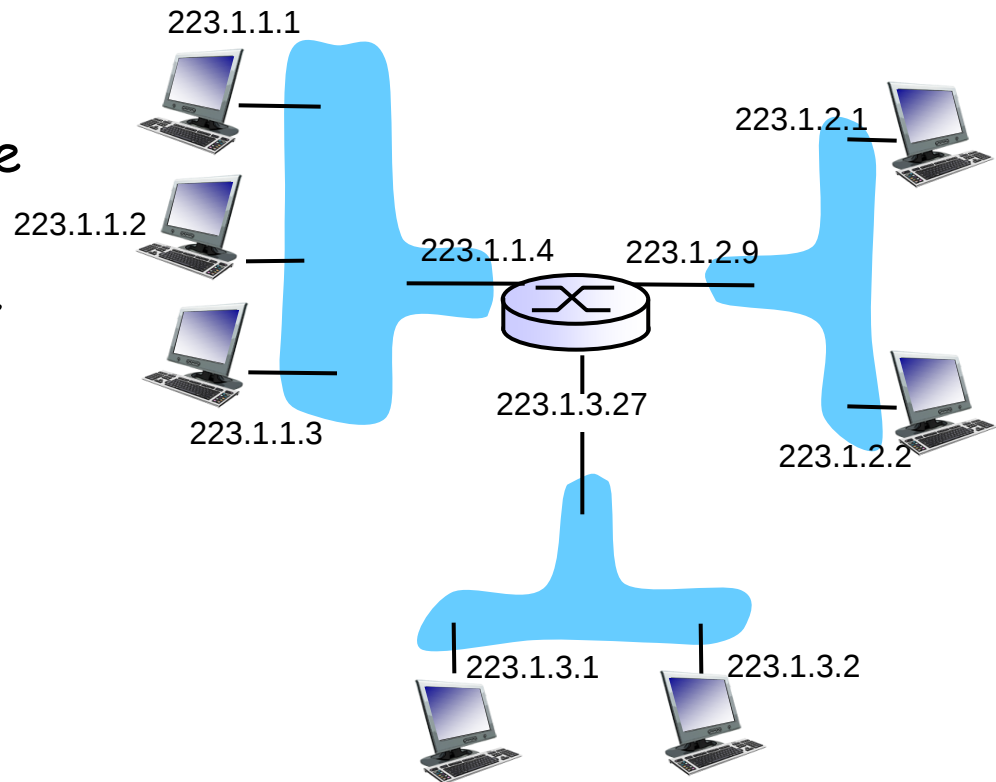
|  |       |    |          |        |  |
|--|-------|----|----------|--------|--|
|  | compr | ID | bit_frag | início |  |
|  | =1040 | =x | =0       | =370   |  |

# 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 O Protocolo da Internet (IP)
  - 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:** ident. de 32-bits para *interface* de estação, roteador
- ❑ **interface:** conexão entre estação, roteador e enlace físico
  - roteador típico tem múltiplas interfaces
  - estação típica possui uma ou duas interfaces (ex.: Ethernet e Wi-fi)
- ❑ **endereços IP**  
**associados a cada interface**



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

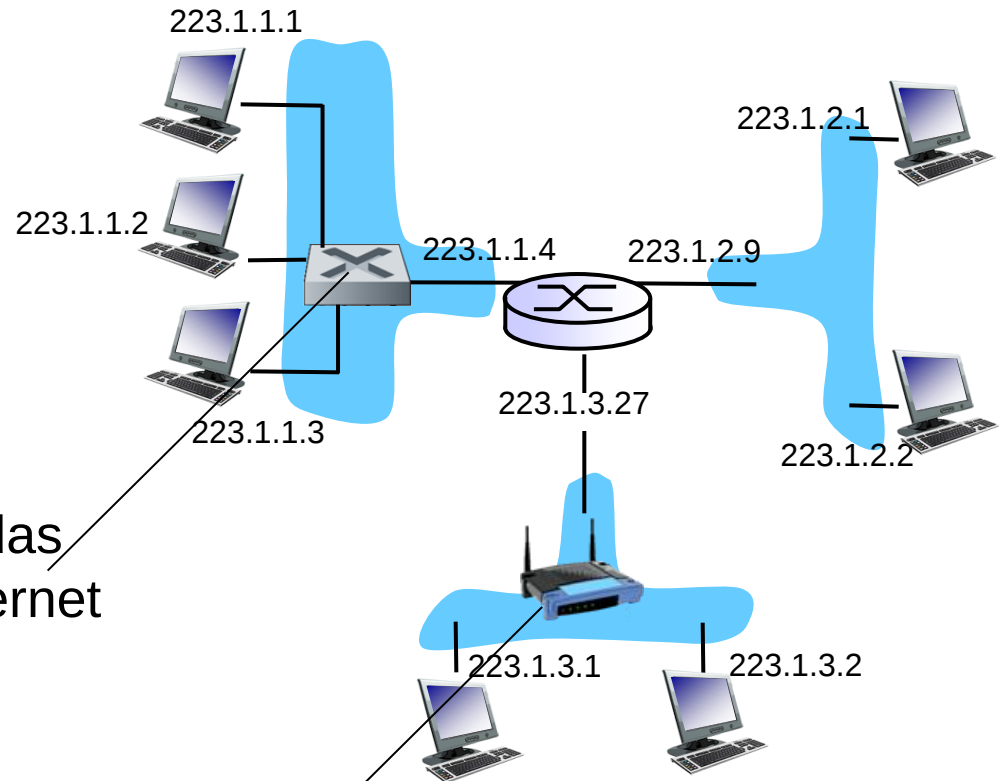
# Endereçamento IP: introdução

*P: como as interfaces são realmente conectadas?*

*R: aprenderemos nos capítulos 5 e 6.*

*R: Ethernet interfaces cabeadas conectadas por switches Ethernet*

*Por enquanto:* não nos preocupemos em como uma interface está conectada a outra (sem participação de um roteador)



*R: interfaces WiFi sem fio conectadas por estação base WiFi*

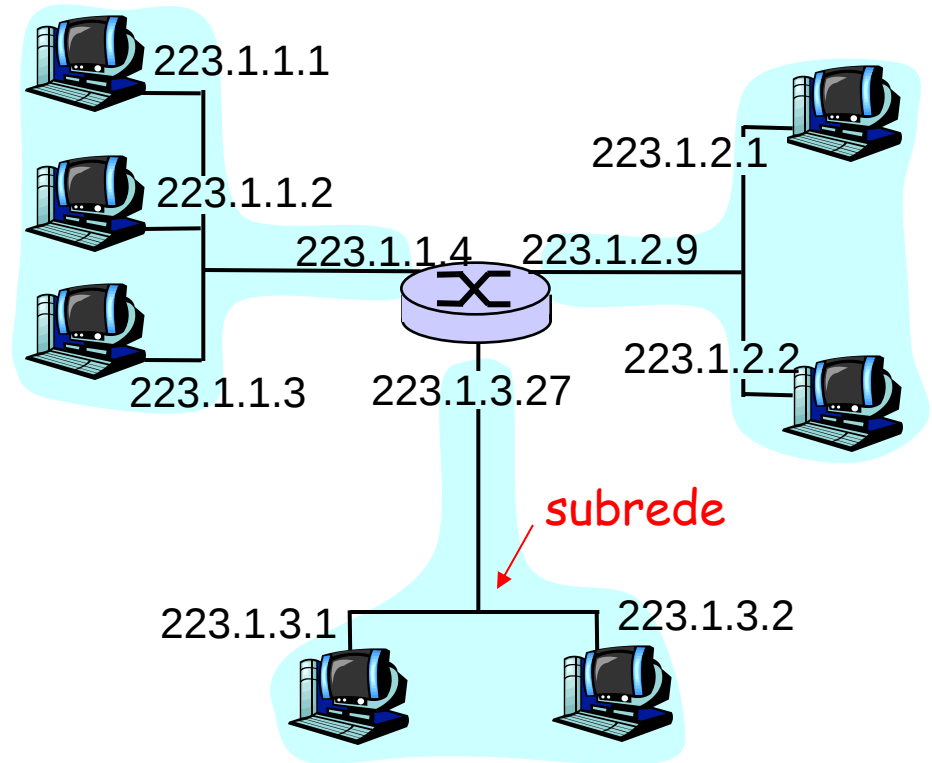
# Subredes

## □ endereço IP:

- parte de rede (bits de mais alta ordem)
- parte de estação (bits de mais baixa ordem)

## □ *O que é uma subrede IP?*

- interfaces de dispositivos com a mesma parte de subrede nos seus endereços IP
- podem alcançar um ao outro **sem passar por um roteador intermediário**

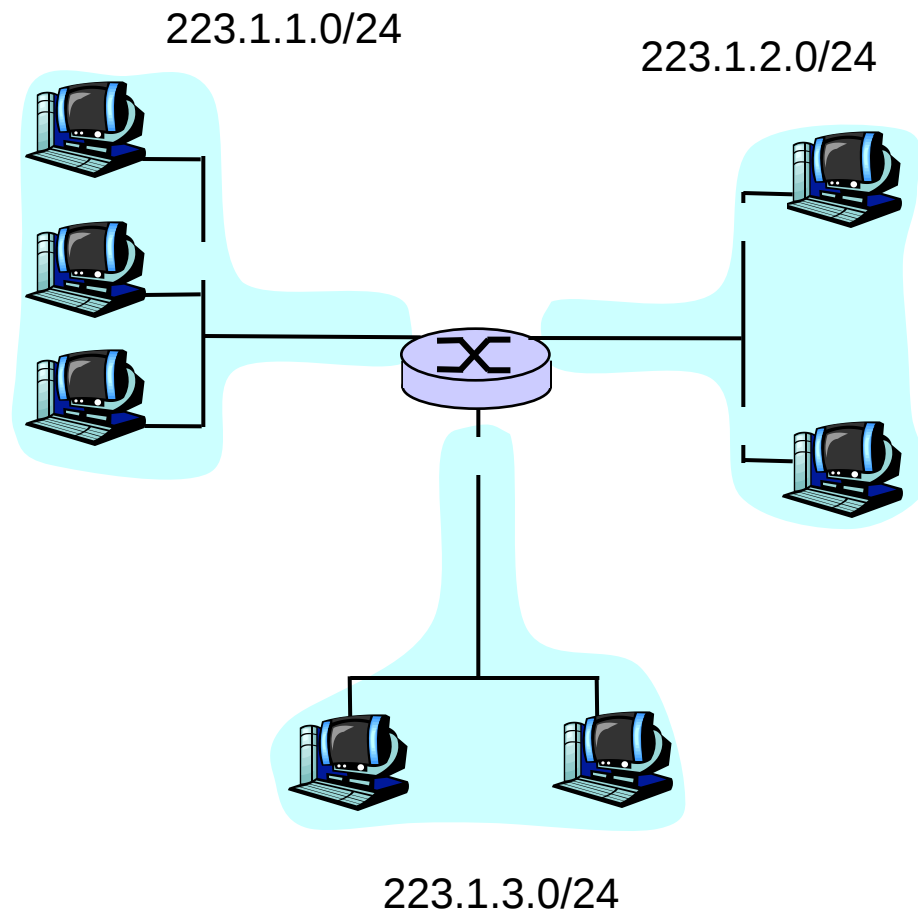


rede composta por 3 subredes

# Subredes

## Receita

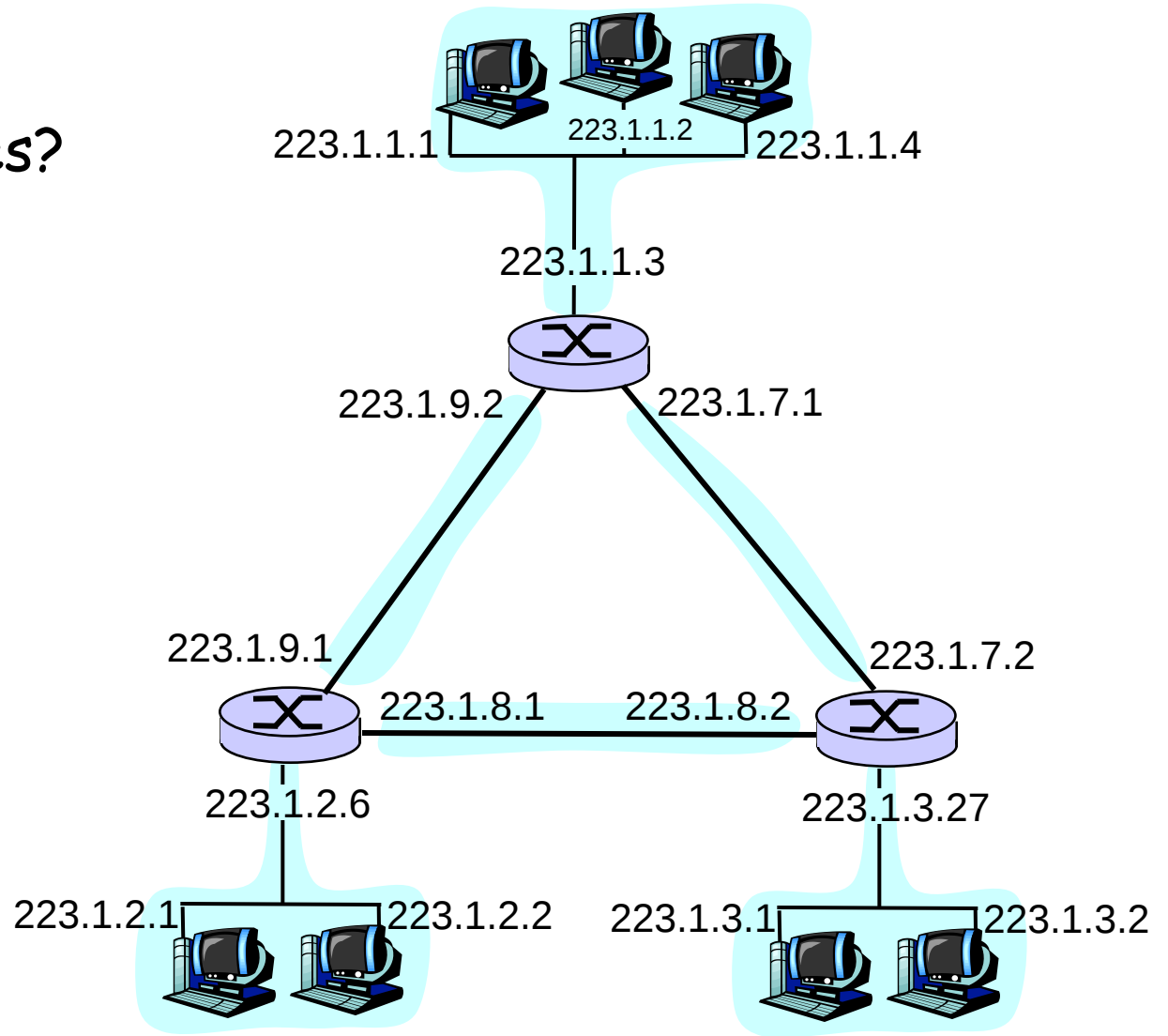
- ❑ desassociar cada interface do seu roteador, estação
- ❑ criar "ilhas" de redes isoladas
- ❑ cada rede isolada é uma **subrede**



Máscara da  
sub-rede: /24

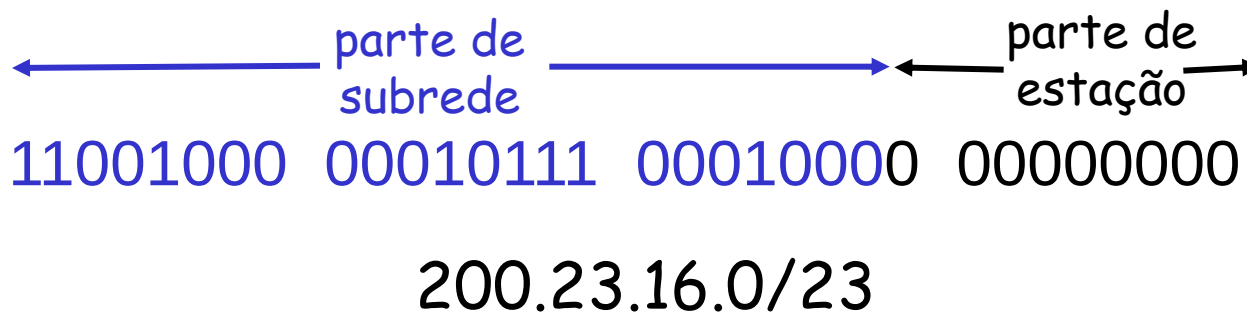
# Subredes

Quantas subredes?



# Endereçamento IP: CIDR

- **CIDR: Classless InterDomain Routing**  
(Roteamento Interdomínio sem classes)
  - parte de rede do endereço de comprimento arbitrário
  - formato de endereço: **a.b.c.d/x**, onde x é o no. de bits na parte de subrede do endereço



# Endereços IP: como conseguir um?

P: Como o *host* obtém um endereço IP?

- ❑ codificado pelo administrador num arquivo
  - Windows: Painel de controle->Rede->Configuração>tcp/ip->propriedades
  - UNIX: /etc/rc.config
- ❑ **DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol:** obtém endereço dinamicamente de um servidor
  - "plug-and-play"

# DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

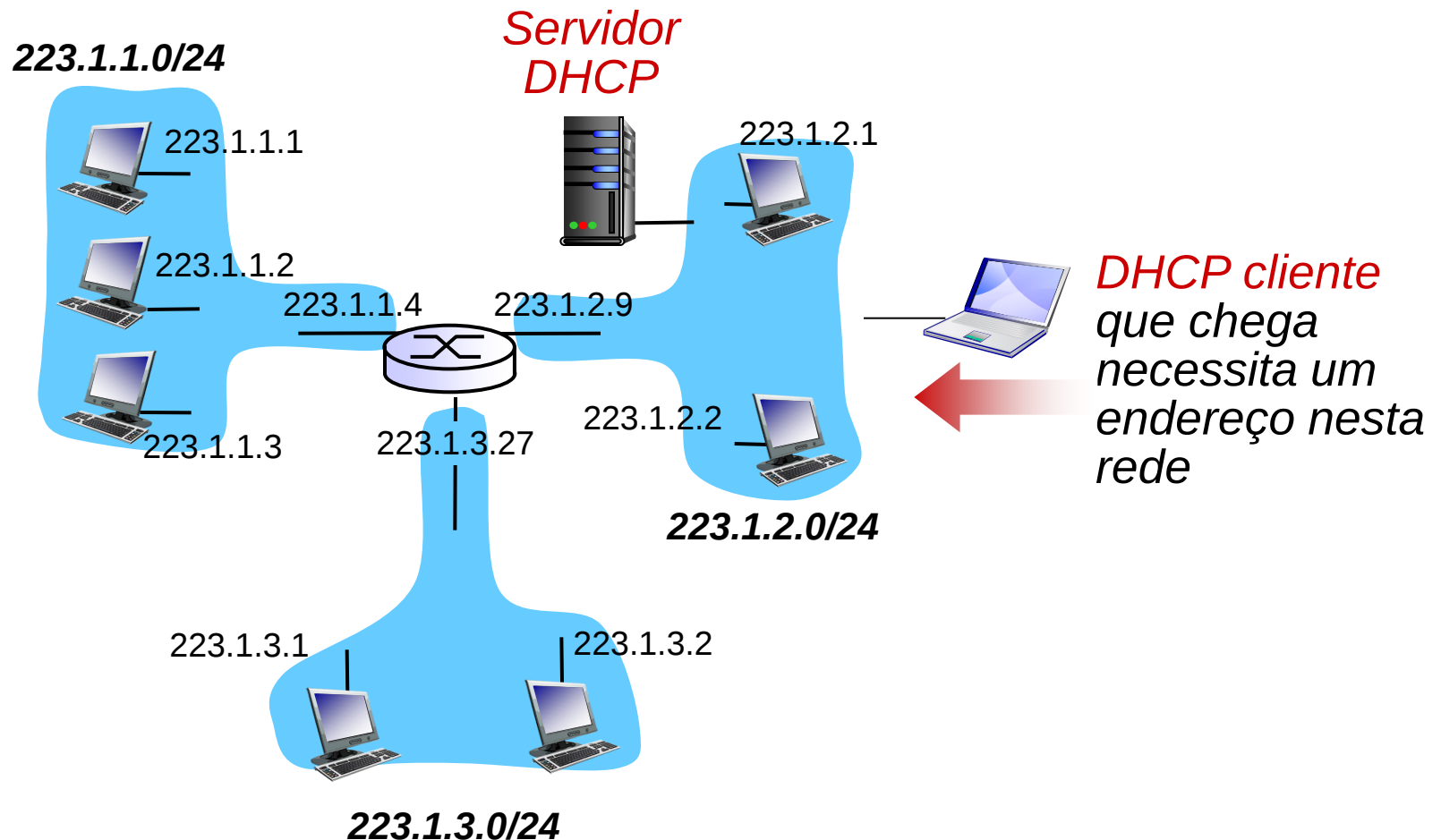
Objetivo: permitir ao *host* obter *dinamicamente* o seu endereço IP do servidor da rede quando entra na rede

- pode renovar o empréstimo pelo uso do endereço
- permite a reutilização de endereços (retém o endereço apenas enquanto estiver conectado)
- suporte a usuários móveis que queiram entrar na rede (mais brevemente)

## Visão geral do DHCP:

- host envia em broadcast msg "DHCP discover" [opcional]
- servidor DHCP responde com msg "DHCP offer" [opcional]
- host solicita endereço IP: msg "DHCP request"
- servidor DHCP envia endereço: msg "DHCP ack"

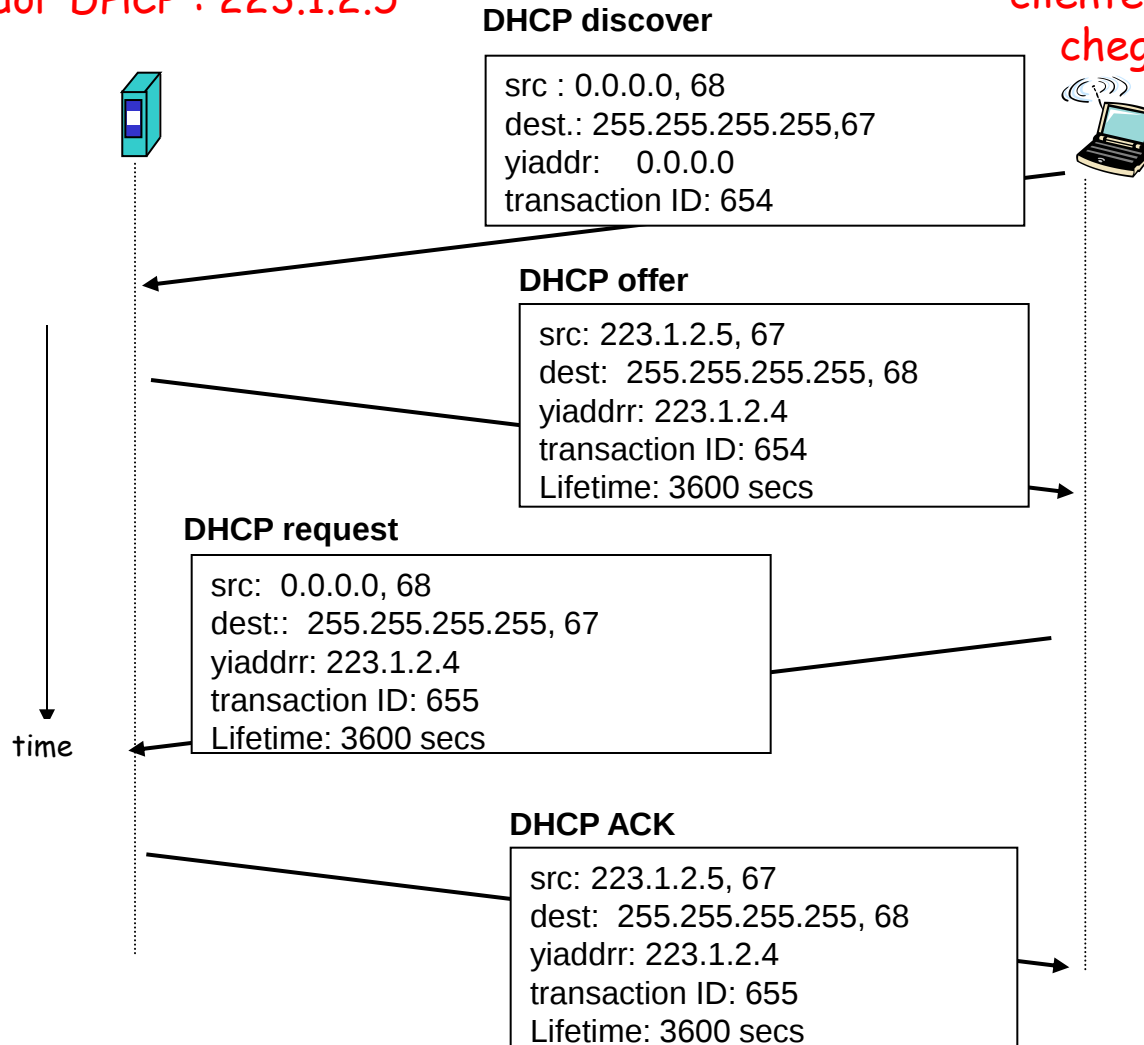
# cenário DHCP cliente-servidor



# cenário DHCP cliente-servidor

servidor DHCP : 223.1.2.5

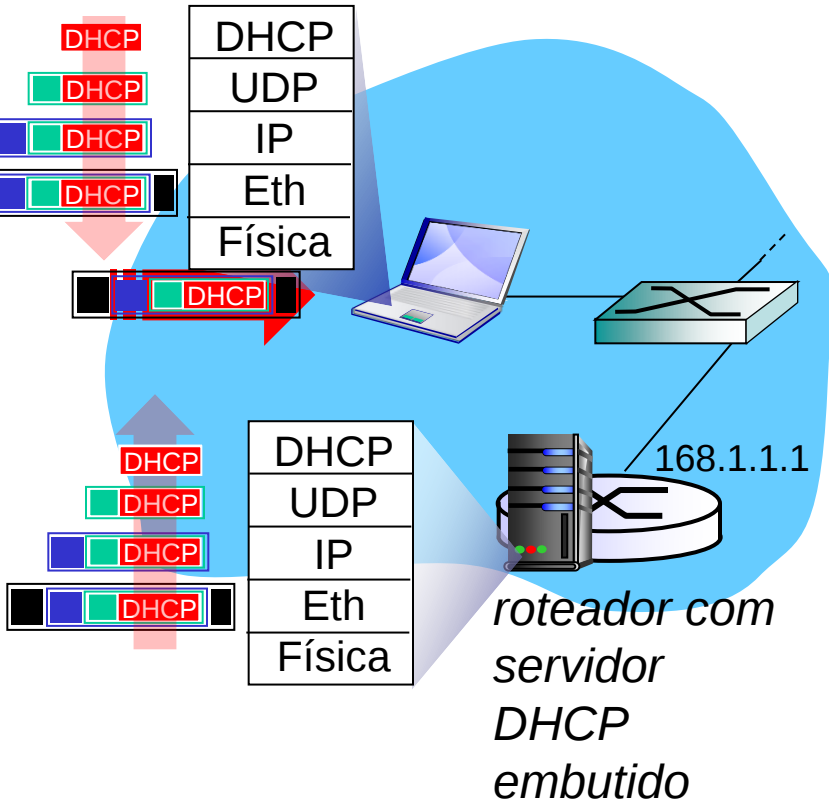
cliente que  
chega



# DHCP: mais do que endereços IP

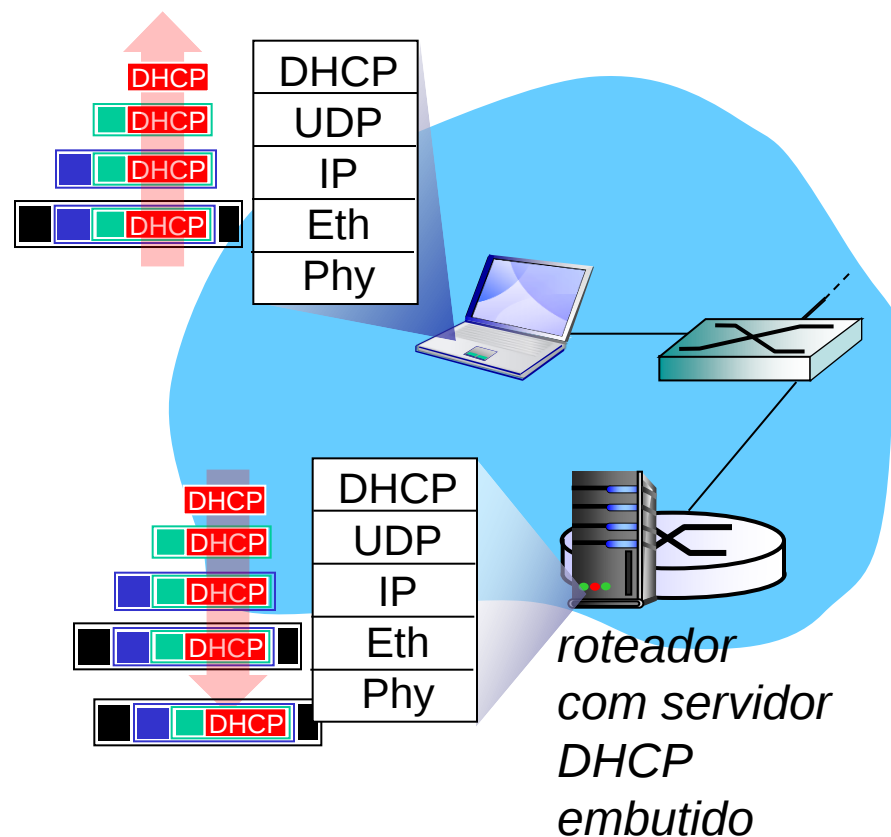
- ❑ O DHCP pode retornar mais do que apenas o endereço IP alocado na subrede:
  - endereço do próximo roteador para o cliente
  - nome e endereço IP do servidor DNS
  - máscara de rede (indicando as porções do endereço que identificam a rede e o hospedeiro)

## DHCP: exemplo



- ❑ laptop ao se conectar necessita seu endereço IP, end. do primeiro roteador, end. do servidor DNS: usa DHCP
- ❑ pedido DHCP encapsulado em UDP, encapsulado no IP, encapsulado no Ethernet 802.1
- ❑ quadro Ethernet difundido (dest.: FFFFFFFFFFFFFFFF) na LAN, recebido no roteador que está rodando o servidor DHCP
- ❑ Ethernet demultiplexado para IP, demultiplexado para UDP, demultiplexado para DHCP

# DHCP: exemplo



- ❑ servidor DHCP prepara o ACK DHCP contendo o endereço IP do cliente, o endereço IP do primeiro roteador para o cliente, o nome e o endereço IP do servidor DNS
- ❑ encapsula a mensagem DHCP no servidor, quadro é repassado para o cliente, e é demultiplexado até o DHCP no cliente.
- ❑ cliente agora conhece o seu endereço IP, o nome e end. IP do servidor DNS, end. IP do seu primeiro roteador

# DHCP: saída do Wireshark

Message type: **Boot Request (1)**

Hardware type: Ethernet

Hardware address length: 6

Hops: 0

**Transaction ID: 0x6b3a11b7**

Seconds elapsed: 0

Bootp flags: 0x0000 (Unicast)

Client IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)

Your (client) IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)

Next server IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)

Relay agent IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)

**Client MAC address: Wistron\_23:68:8a (00:16:d3:23:68:8a)**

Server host name not given

Boot file name not given

Magic cookie: (OK)

Option: (t=53,l=1) **DHCP Message Type = DHCP Request**

Option: (61) Client identifier

Length: 7; Value: 010016D323688A;

Hardware type: Ethernet

Client MAC address: Wistron\_23:68:8a (00:16:d3:23:68:8a)

Option: (t=50,l=4) Requested IP Address = 192.168.1.101

Option: (t=12,l=5) Host Name = "nomad"

**Option: (55) Parameter Request List**

Length: 11; Value: 010F03062C2E2F1F21F92B

**1 = Subnet Mask; 15 = Domain Name**

**3 = Router; 6 = Domain Name Server**

44 = NetBIOS over TCP/IP Name Server

.....

pedido

Message type: **Boot Reply (2)**

Hardware type: Ethernet

Hardware address length: 6

Hops: 0

**Transaction ID: 0x6b3a11b7**

Seconds elapsed: 0

Bootp flags: 0x0000 (Unicast)

**Client IP address: 192.168.1.101 (192.168.1.101)**

Your (client) IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)

**Next server IP address: 192.168.1.1 (192.168.1.1)**

Relay agent IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)

Client MAC address: Wistron\_23:68:8a (00:16:d3:23:68:8a)

Server host name not given

Boot file name not given

Magic cookie: (OK)

**Option: (t=53,l=1) DHCP Message Type = DHCP ACK**

**Option: (t=54,l=4) Server Identifier = 192.168.1.1**

**Option: (t=1,l=4) Subnet Mask = 255.255.255.0**

**Option: (t=3,l=4) Router = 192.168.1.1**

**Option: (6) Domain Name Server**

**Length: 12; Value: 445747E2445749F244574092;**

**IP Address: 68.87.71.226;**

**IP Address: 68.87.73.242;**

**IP Address: 68.87.64.146**

**Option: (t=15,l=20) Domain Name = "hsd1.ma.comcast.net."**

resposta

# Endereços IP: como conseguir um?

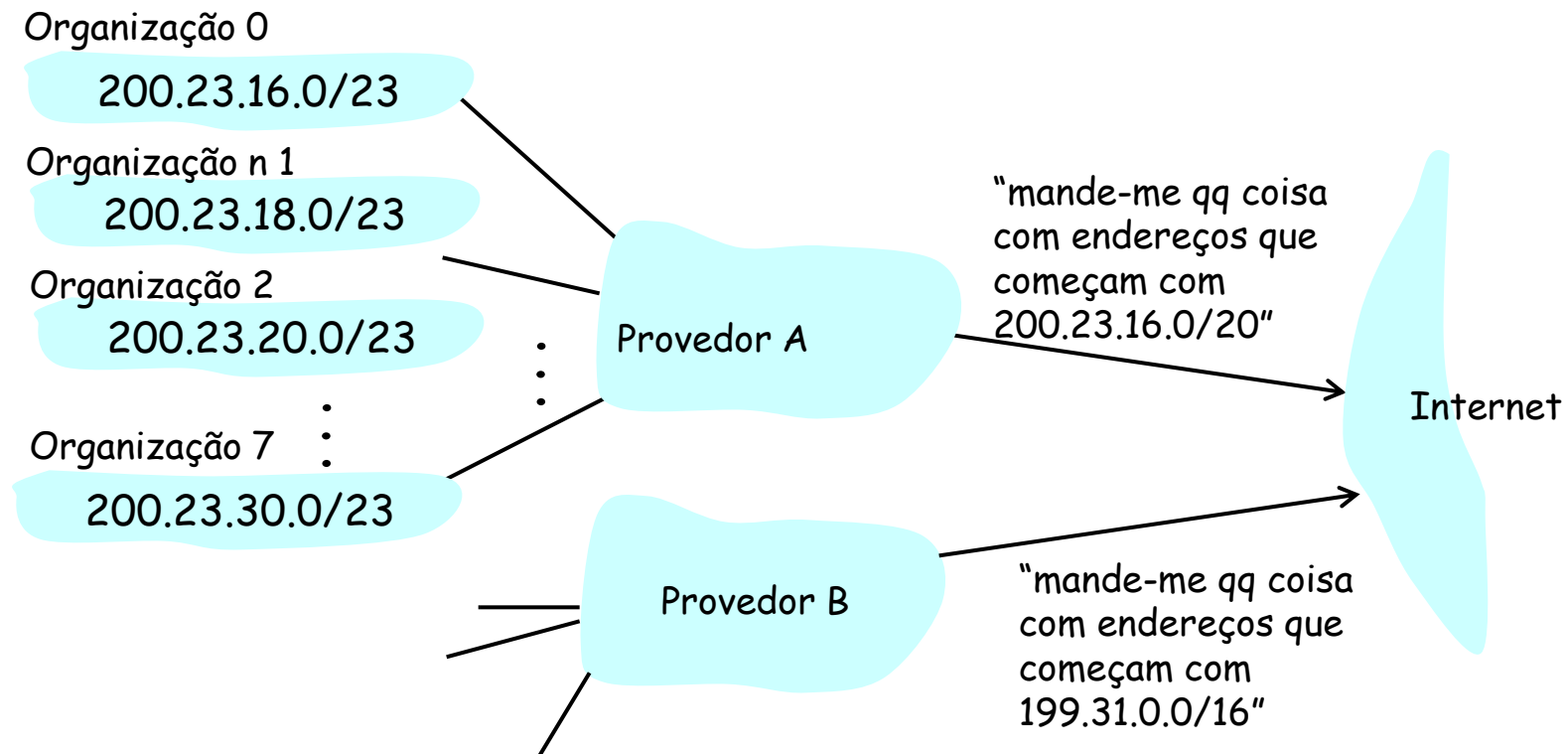
P: Como a rede obtém a parte de rede do endereço IP?

R: Recebe uma porção do espaço de endereços do seu ISP (provedor)

|                   |                 |                 |                 |          |                |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|----------------|
| Bloco do provedor | <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 |

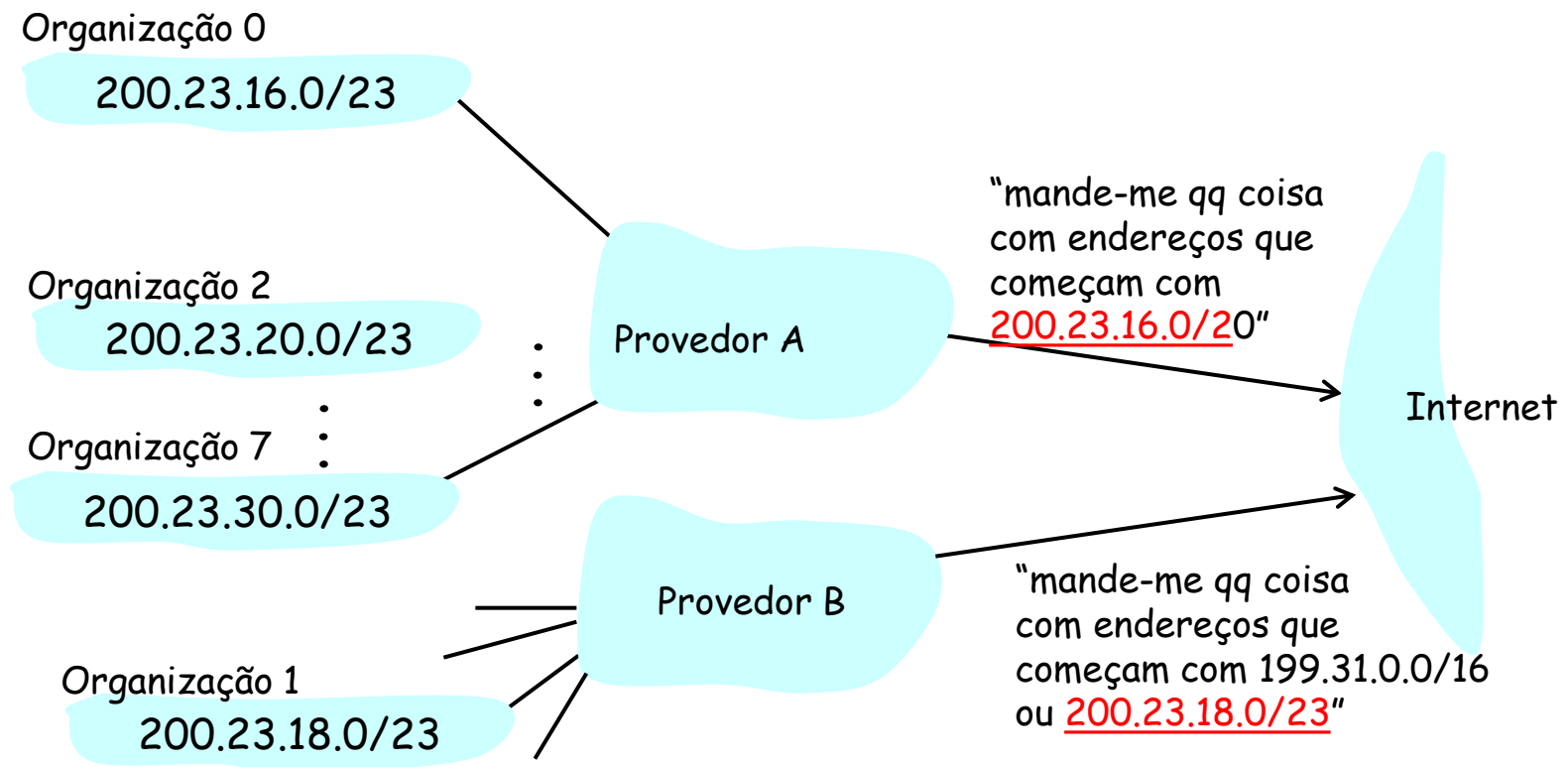
# Endereçamento hierárquico: agregação de rotas

Endereçamento hierárquico permite anunciar eficientemente informação sobre rotas:



# Endereçamento hierárquico: rotas mais específicas

Provedor B tem uma rota mais específica para a Organização 1



# Endereçamento IP: a última palavra...

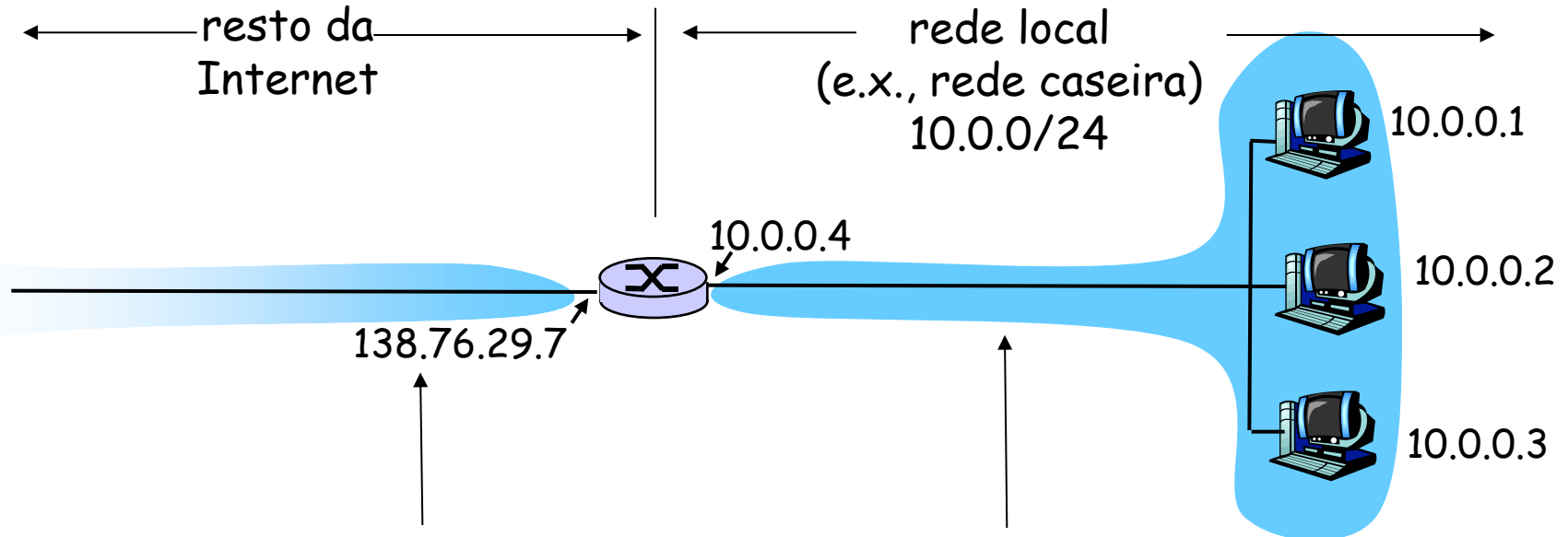
P: Como um provedor IP consegue um bloco de endereços?

R: **ICANN**: Internet Corporation for Assigned Names and Numbers ([www.icann.org.br](http://www.icann.org.br))

- aloca endereços
- gerencia DNS
- aloca nomes de domínio, resolve disputas

Através da IANA (*Internet Assigned Numbers Authority*)

# Tradução de endereços na rede (NAT)



**Todos** os datagramas **deixando** a rede local têm o **mesmo** único endereço IP NAT origem: 138.76.29.7, e diferentes números de porta origem

Datagramas com origem ou destino nesta rede usam endereços 10.0.0/24 para origem e destino (como usual)

# Tradução de endereços na rede (NAT)

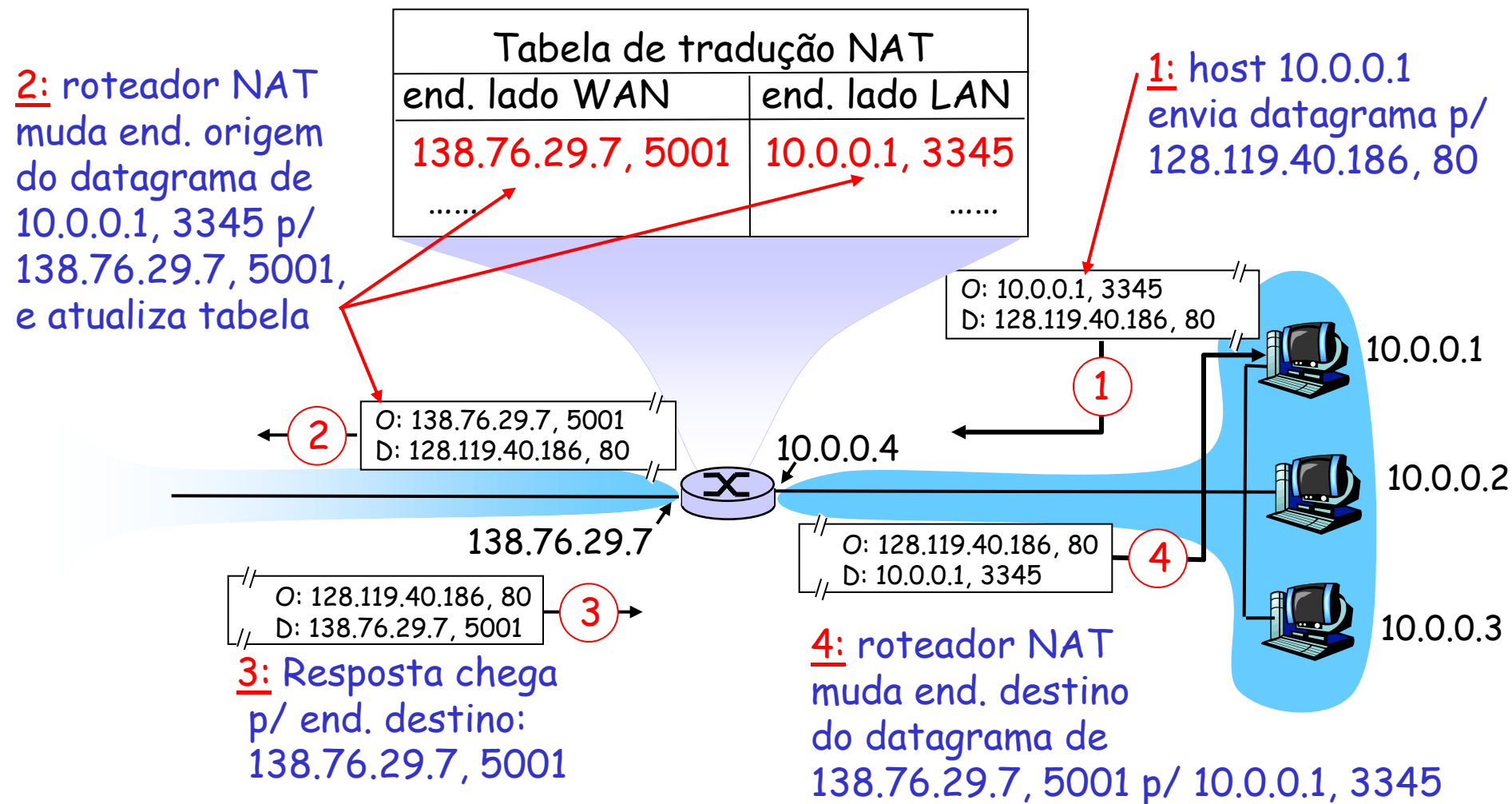
- ❑ **Motivação:** a rede local usa apenas um endereço IP, no que concerne ao mundo exterior:
  - não há necessidade de alocar faixas de endereços do ISP:
    - apenas um endereço IP é usado para todos os dispositivos
  - pode modificar endereços de dispositivos na rede local sem notificar o mundo exterior
  - pode trocar de ISP sem mudar os endereços dos dispositivos na rede local
  - dispositivos dentro da rede local não são explicitamente endereçáveis, i.e., visíveis do mundo exterior (um incremento de segurança)

# Tradução de endereços na rede (NAT)

**Implementação:** um roteador NAT deve:

- *datagramas saindo: trocar* (IP origem, # porta ) de cada datagrama saindo para (IP NAT, novo # porta) ... clientes/servidores remotos vão responder usando (IP NAT, novo # porta) como endereço destino.
- *lembrar (na tabela de tradução NAT)* cada par de tradução (IP origem, # porta ) para (IP NAT, novo # porta)
- *datagramas entrando: trocar* (IP NAT, novo # porta) nos campos de destino de cada datagrama entrando para o (IP origem, # porta) correspondente armazenado na tabela NAT

# Tradução de endereços na rede (NAT)

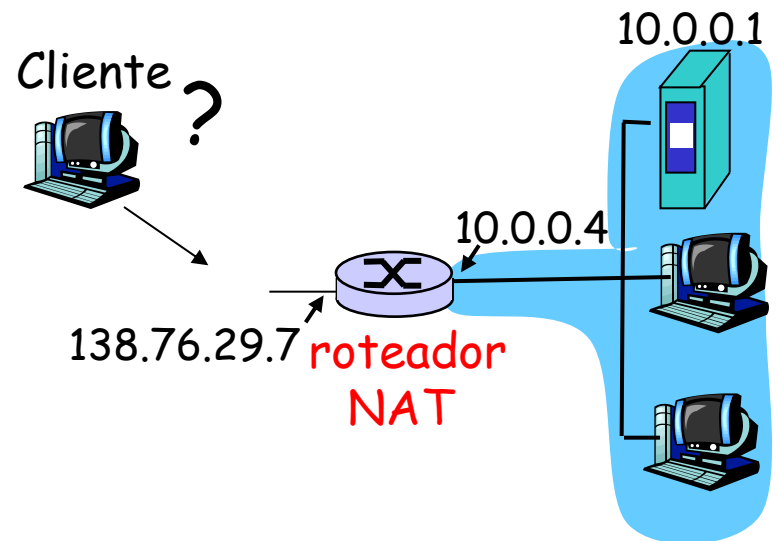


# Tradução de endereços na rede (NAT)

- ❑ campo do número de porta com 16-bits:
  - 60.000 conexões simultâneas com um único endereço no lado WAN!
- ❑ NAT é controverso:
  - roteadores deveriam processar somente até a camada 3
  - viola o argumento fim-a-fim
    - possibilidade do uso de NAT deve ser levado em conta pelos projetistas de aplicações (p.e., P2P)
  - escassez de endereços, por outro lado, deveria ser resolvida com o IPv6

# Problema de travessia do NAT

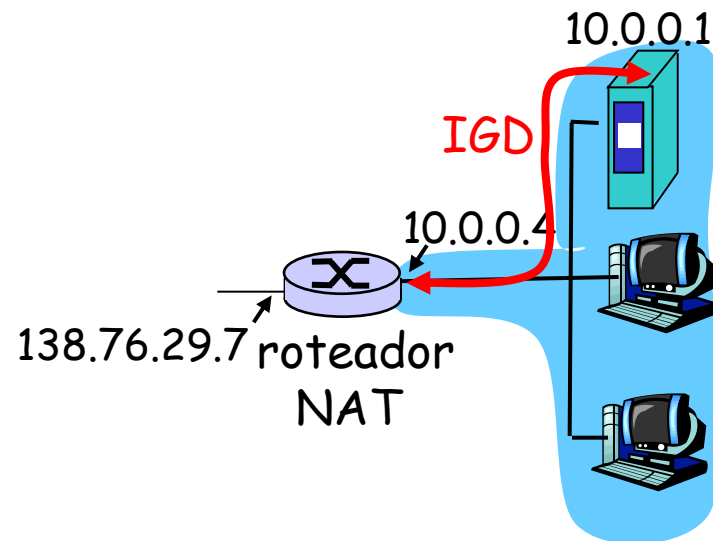
- ❑ o cliente quer conectar com o servidor com end. 10.0.0.1
  - endereço 10.0.0.1 é local à LAN (cliente não pode usá-lo como endereço de destino)
  - há apenas um endereço visível externamente: 138.76.29.7
- ❑ **solução 1:** configurar estaticamente o NAT para encaminhar para o servidor pedidos de conexão entrantes numa dada porta.
  - ❑ Ex: (123.76.29.7, porta 2500) sempre encaminhado para 10.0.0.1 porta 25000



# Problema de travessia do NAT

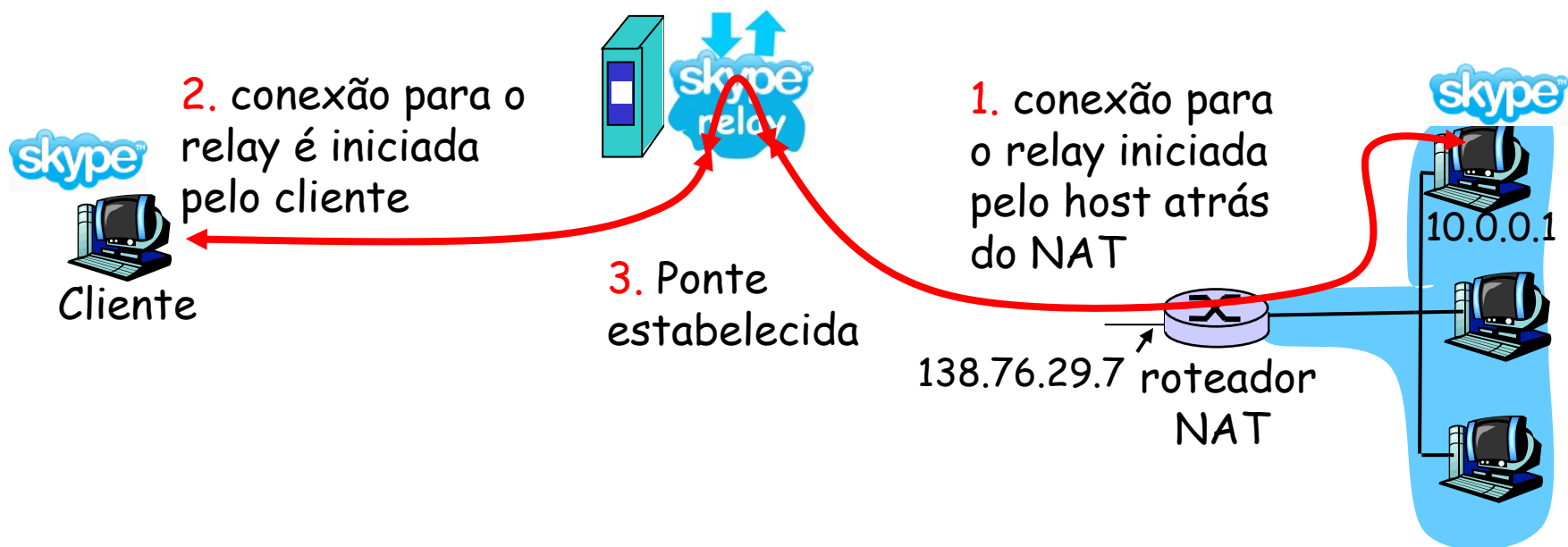
- ❑ **solução 2:** Protocolo Internet Gateway Device (IGD) do Universal Plug and Play (UPnP). Permite aos hosts que estejam atrás de NATs:
  - ❖ descobrir o endereço público IP (138.76.29.7)
  - ❖ Adicionar/remover mapeamento de portas (com tempos de validade)

i.e., automatiza a configuração do mapeamento estático de portas NAT



# Problema de travessia do NAT

- ❑ **solução 3:** repasse (usado pelo Skype)
  - clientes atrás do NAT se conecta ao relay
  - cliente externo também se conecta ao relay
  - Repasse serve de intermediário entre pacotes de uma conexão para a outra



# 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 O Protocolo da Internet (IP)
  - 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*

# Protocolo de Mensagens de Controle da Internet (ICMP)

- usado por estações, roteadores para comunicar informação s/ camada de rede

- relatar erros: estação, rede, porta, protocolo inalcançáveis
- pedido/resposta de eco (usado por ping)

- camada de rede "acima de" IP:

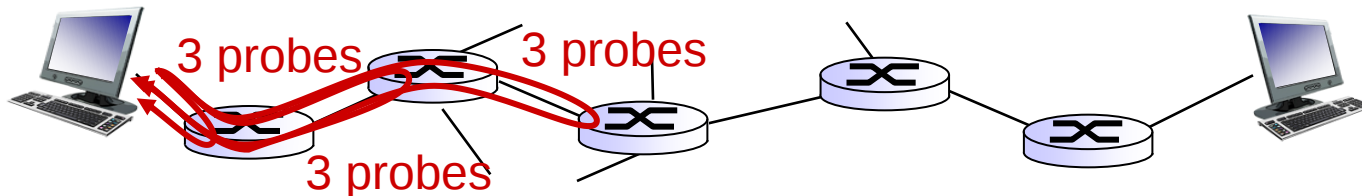
- msgs ICMP transportadas em datagramas IP

- **mensagem ICMP:** tipo, código mais primeiros 8 bytes do datagrama IP causando erro

| <u>Tipo</u> | <u>Código</u> | <u>descrição</u>                                       |
|-------------|---------------|--------------------------------------------------------|
| 0           | 0             | resposta de eco (ping)                                 |
| 3           | 0             | rede dest. inalcançável                                |
| 3           | 1             | estação dest. inalcançável                             |
| 3           | 2             | protocolo dest. inalcançável                           |
| 3           | 3             | porta dest. inalcançável                               |
| 3           | 6             | rede dest. desconhecida                                |
| 3           | 7             | estação dest. desconhecida                             |
| 4           | 0             | abaixar fonte (controle de congestionamento - ã usado) |
| 8           | 0             | pedido eco (ping)                                      |
| 9           | 0             | anúncio de rota                                        |
| 10          | 0             | descobrir roteador                                     |
| 11          | 0             | TTL (sobrevida) expirada                               |
| 12          | 0             | erro de cabeçalho IP                                   |

# Traceroute e ICMP

- ❑ Origem envia uma série de segmentos UDP para o destino
    - Primeiro tem TTL = 1
    - Segundo tem TTL=2, etc.
    - Número de porta improvável
  - ❑ Quando n-ésimo datagrama chega ao n-ésimo roteador:
    - Roteador descarta datagrama
    - Envia p/ origem uma mensagem ICMP (tipo 11, código 0)
    - Mensagem inclui nome e endereço IP do roteador
  - ❑ Quando a mensagem ICMP chega, origem calcula RTT
  - ❑ Traceroute faz isto 3 vezes
- Critério de parada
- ❑ Segmento UDP eventualmente chega à estação destino
  - ❑ Destino retorna pacote ICMP "porta inalcançável" (tipo 3, código 3)
  - ❑ Quando origem recebe este pacote ICMP, pára.



# 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 O Protocolo da Internet (IP)
  - 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 endereços de 32-bits em breve completamente alocado.
  - Esgotou em 2011 na ICANN
- ❑ **Motivação adicional:**
  - formato do cabeçalho facilita acelerar processamento/repasse
  - mudanças no cabeçalho para facilitar QoS

## **formato do datagrama IPv6:**

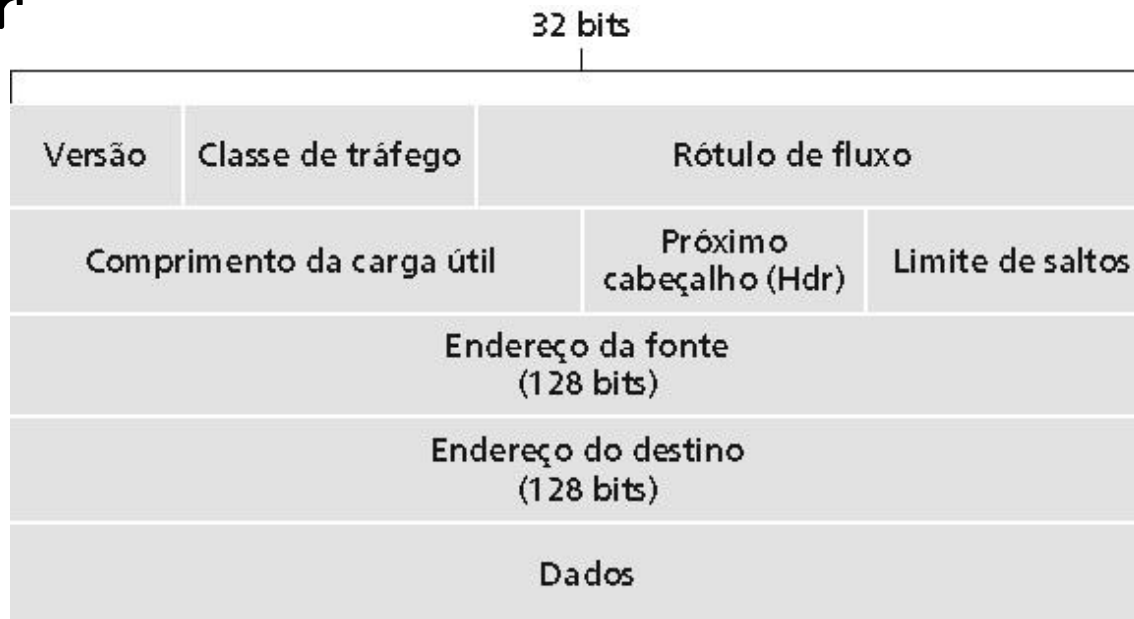
- cabeçalho de tamanho fixo de 40 bytes
- não admite fragmentação

# Cabeçalho IPv6

*Classe de tráfego:* identifica prioridade entre datagramas no fluxo

*Rótulo do Fluxo:* identifica datagramas no mesmo "fluxo" (conceito de "fluxo" mal definido).

*Próximo cabeçalho:* identifica protocolo da camada superior



# Outras mudanças em relação ao IPv4

- ❑ *Checksum*: removido completamente para reduzir tempo de processamento a cada roteador
- ❑ *Opções*: permitidas, porém fora do cabeçalho, indicadas pelo campo "Próximo Cabeçalho"
- ❑ *ICMPv6*: versão nova de ICMP
  - tipos adicionais de mensagens, p.ex. "Pacote Muito Grande"
  - funções de gerenciamento de grupo multiponto

# Espaço de Endereçamento

❑ Um endereço IPv4 é formado por 32 bits.

- $2^{32} = 4.294.967.296$

❑ Um endereço IPv6 é formado por 128 bits.

- $2^{128} =$

340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768  
.211.456

- ~56 octilhões ( $5,6 \times 10^{28}$ ) de endereços IP por ser humano

- ~79 octilhões ( $7,9 \times 10^{28}$ ) de vezes a quantidade de endereços IPv4

# Endereços IPv6 (RFC 4291)

## ❑ Exemplos:

- ABCD:EF01:2345:6789:ABCD:EF01:2345:6789
- 2001:DB8:0:0:8:800:200C:417A

## ❑ Representação de endereços IPv4:

- 0:0:0:0:0:FFFF:129.144.52.38

## ❑ Ou em formato comprimido

- ::FFFF:129.144.52.38

# Endereços IPv6

## ❑ Eliminação de zeros:

### ○ Os endereços:

- 2001:DB8:0:0:8:800:200C:417A endereço unicast
- FF01:0:0:0:0:0:0:101 endereço multicast
- 0:0:0:0:0:0:0:1 endereço de loopback
- 0:0:0:0:0:0:0:0 endereço não especificado

### ○ Podem ser escritos como:

- 2001:DB8::8:800:200C:417A endereço unicast
- FF01::101 endereço multicast
- ::1 endereço de loopback
- :: endereço não especificado

# Espaço de Endereçamento do IPv6 (19/07/2007)

|             |                      |           |
|-------------|----------------------|-----------|
| ❑ 0000::/8  | Reserved by IETF     | [RFC4291] |
| ❑ 0100::/8  | Reserved by IETF     | [RFC4291] |
| ❑ 0200::/7  | Reserved by IETF     | [RFC4048] |
| ❑ 0400::/6  | Reserved by IETF     | [RFC4291] |
| ❑ 0800::/5  | Reserved by IETF     | [RFC4291] |
| ❑ 1000::/4  | Reserved by IETF     | [RFC4291] |
| ❑ 2000::/3  | Global Unicast       | [RFC4291] |
| ❑ 4000::/3  | Reserved by IETF     | [RFC4291] |
| ❑ 6000::/3  | Reserved by IETF     | [RFC4291] |
| ❑ 8000::/3  | Reserved by IETF     | [RFC4291] |
| ❑ A000::/3  | Reserved by IETF     | [RFC4291] |
| ❑ C000::/3  | Reserved by IETF     | [RFC4291] |
| ❑ E000::/4  | Reserved by IETF     | [RFC4291] |
| ❑ F000::/5  | Reserved by IETF     | [RFC4291] |
| ❑ F800::/6  | Reserved by IETF     | [RFC4291] |
| ❑ FC00::/7  | Unique Local Unicast | [RFC4193] |
| ❑ FE00::/9  | Reserved by IETF     | [RFC4291] |
| ❑ FE80::/10 | Link Local Unicast   | [RFC4291] |
| ❑ FEC0::/10 | Reserved by IETF     | [RFC3879] |
| ❑ FF00::/8  | Multicast            | [RFC4291] |

# Alocação de Endereços Unicast

## Globais (22/12/2006)

|   |                       |               |                  |     |
|---|-----------------------|---------------|------------------|-----|
| ❑ | 2001:0000::/23        | IANA          | 01 Jul 99        | [1] |
| ❑ | 2001:0200::/23        | APNIC         | 01 Jul 99        |     |
| ❑ | 2001:0400::/23        | ARIN          | 01 Jul 99        |     |
| ❑ | 2001:0600::/23        | RIPE NCC      | 01 Jul 99        |     |
| ❑ | 2001:0800::/23        | RIPE NCC      | 01 May 02        |     |
| ❑ | 2001:0A00::/23        | RIPE NCC      | 02 Nov 02        |     |
| ❑ | 2001:0C00::/23        | APNIC         | 01 May 02        | [2] |
| ❑ | 2001:0E00::/23        | APNIC         | 01 Jan 03        |     |
| ❑ | <b>2001:1200::/23</b> | <b>LACNIC</b> | <b>01 Nov 02</b> |     |
| ❑ | 2001:1400::/23        | RIPE NCC      | 01 Feb 03        |     |
| ❑ | 2001:1600::/23        | RIPE NCC      | 01 Jul 03        |     |
| ❑ | 2001:1800::/23        | ARIN          | 01 Apr 03        |     |
| ❑ | 2001:1A00::/23        | RIPE NCC      | 01 Jan 04        |     |
| ❑ | 2001:1C00::/22        | RIPE NCC      | 01 May 04        |     |
| ❑ | 2001:2000::/20        | RIPE NCC      | 01 May 04        |     |
| ❑ | 2001:3000::/21        | RIPE NCC      | 01 May 04        |     |
| ❑ | 2001:3800::/22        | RIPE NCC      | 01 May 04        |     |
| ❑ | 2001:3C00::/22        | RESERVED      | 11 Jun 04        | [3] |
| ❑ | 2001:4000::/23        | RIPE NCC      | 11 Jun 04        |     |

2001:12F0::/ 32 Bloco de produção alocado à RNP.  
Blocos alocados para a UFPE em 09/10/15:  
2001:12F0:912::/48,  
2001:12F0:913::/48,  
2001:12F0:914::/48.

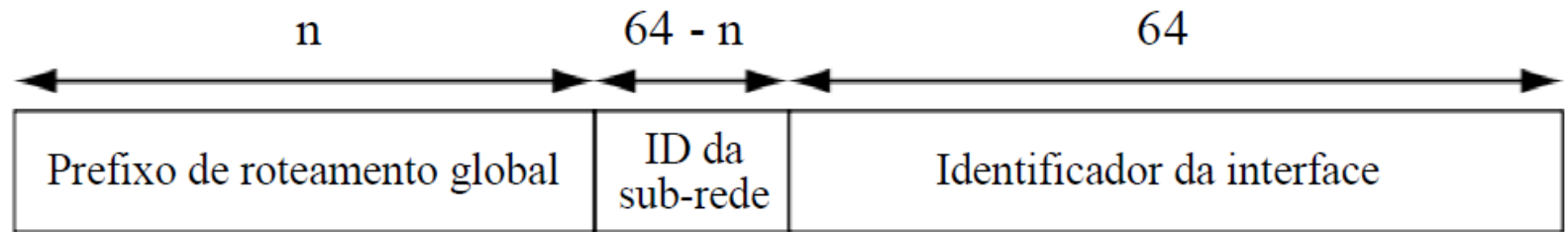
# Alocação de Endereços Unicast

## Globais (22/12/2006)

|   |                |          |           |
|---|----------------|----------|-----------|
| ❑ | 2001:4200::/23 | AfriNIC  | 01 Jun 04 |
| ❑ | 2001:4400::/23 | APNIC    | 11 Jun 04 |
| ❑ | 2001:4600::/23 | RIPE NCC | 17 Aug 04 |
| ❑ | 2001:4800::/23 | ARIN     | 24 Aug 04 |
| ❑ | 2001:4A00::/23 | RIPE NCC | 15 Oct 04 |
| ❑ | 2001:4C00::/23 | RIPE NCC | 17 Dec 04 |
| ❑ | 2001:5000::/20 | RIPE NCC | 10 Sep 04 |
| ❑ | 2001:8000::/19 | APNIC    | 30 Nov 04 |
| ❑ | 2001:A000::/20 | APNIC    | 30 Nov 04 |
| ❑ | 2001:B000::/20 | APNIC    | 08 Mar 06 |
| ❑ | 2002:0000::/16 | 6to4     | 01 Feb 01 |
| ❑ | 2003:0000::/18 | RIPE NCC | 12 Jan 05 |
| ❑ | 2400:0000::/12 | APNIC    | 03 Oct 06 |
| ❑ | 2600:0000::/12 | ARIN     | 03 Oct 06 |
| ❑ | 2610:0000::/23 | ARIN     | 17 Nov 05 |
| ❑ | 2620:0000::/23 | ARIN     | 12 Sep 06 |
| ❑ | 2800:0000::/12 | LACNIC   | 03 Oct 06 |
| ❑ | 2A00:0000::/12 | RIPE NCC | 03 Oct 06 |
| ❑ | 2C00:0000::/12 | AfriNIC  | 03 Oct 06 |

# Endereçamento Unicast

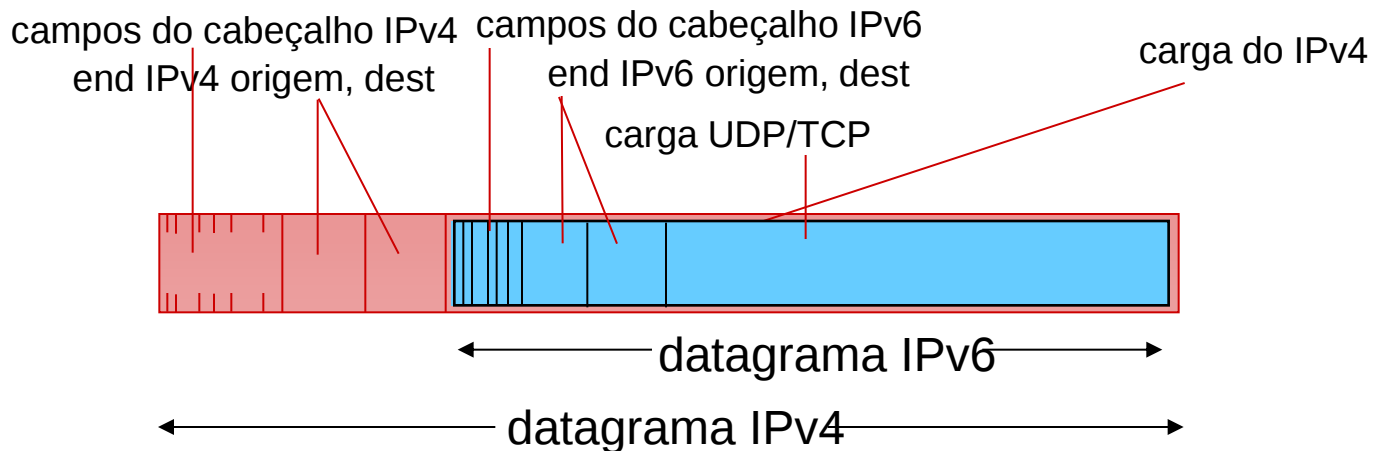
## □ Global Unicast



- Divisão de endereços:
  - <http://ipv6.br/paginas/subnet>

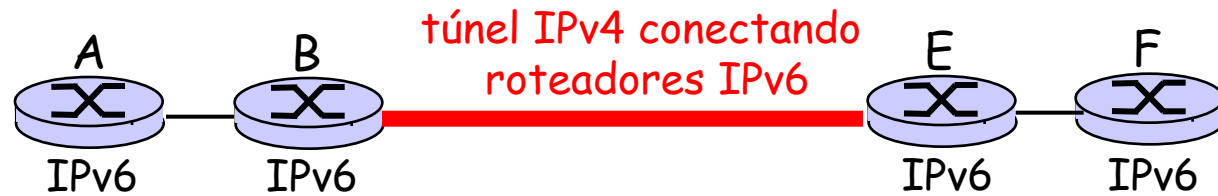
# Transição do IPv4 para o IPv6

- ❑ Nem todos os roteadores podem ser atualizados simultaneamente
  - “dias de mudança geral” inviáveis
  - Como a rede pode funcionar com uma mistura de roteadores IPv4 e IPv6?
- ❑ **Tunelamento:** datagramas IPv6 carregados em datagramas IPv4 entre roteadores IPv4

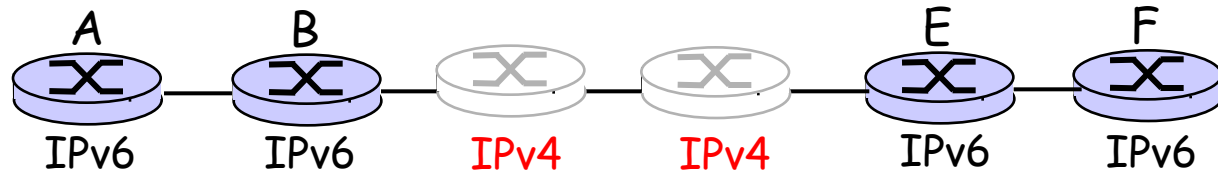


# Tunelamento

Visão lógica:



Visão física:

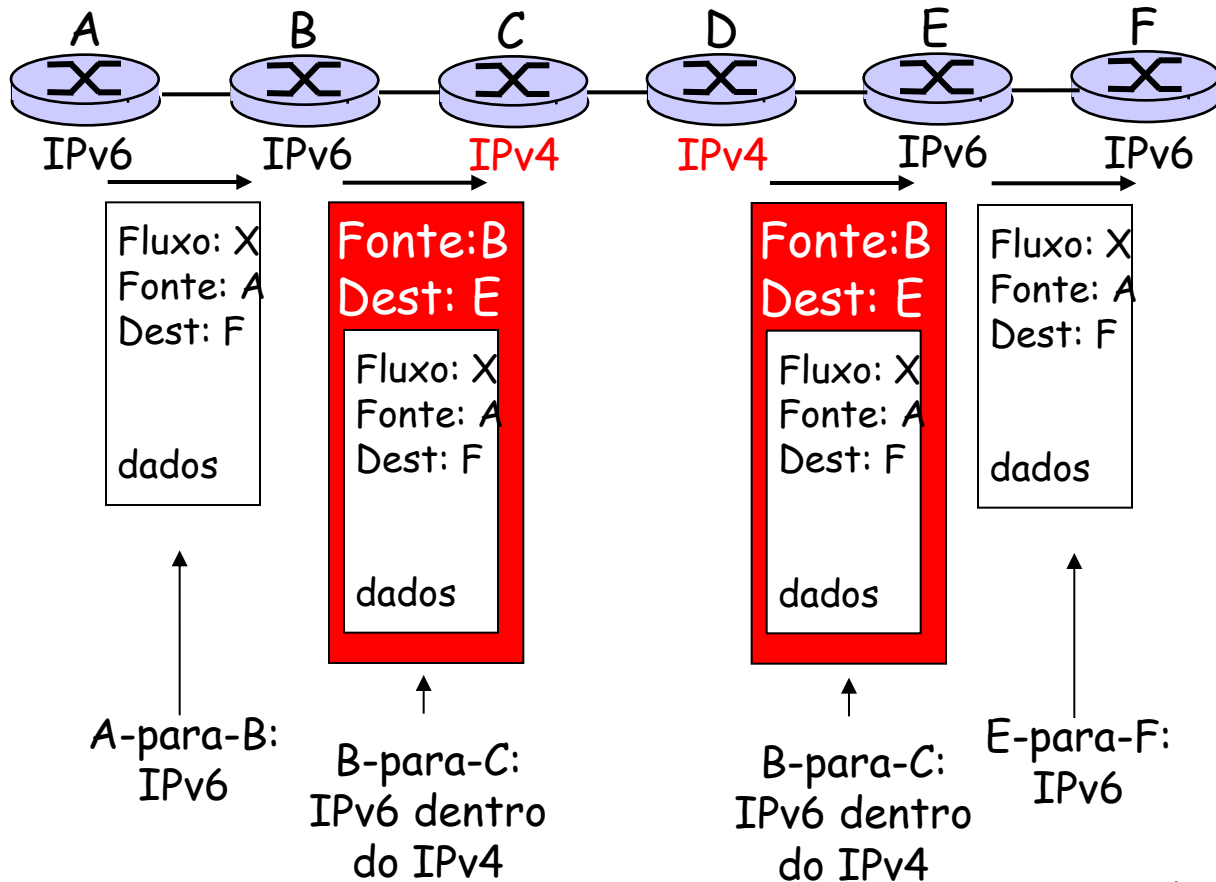


# Tunelamento

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 O Protocolo da Internet (IP)
  - 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*