

Redes de Computadores e a Internet

Capítulo 4: Camada de Rede

Prof. Raimundo Viégas Junior
rviegas@ufpa.br

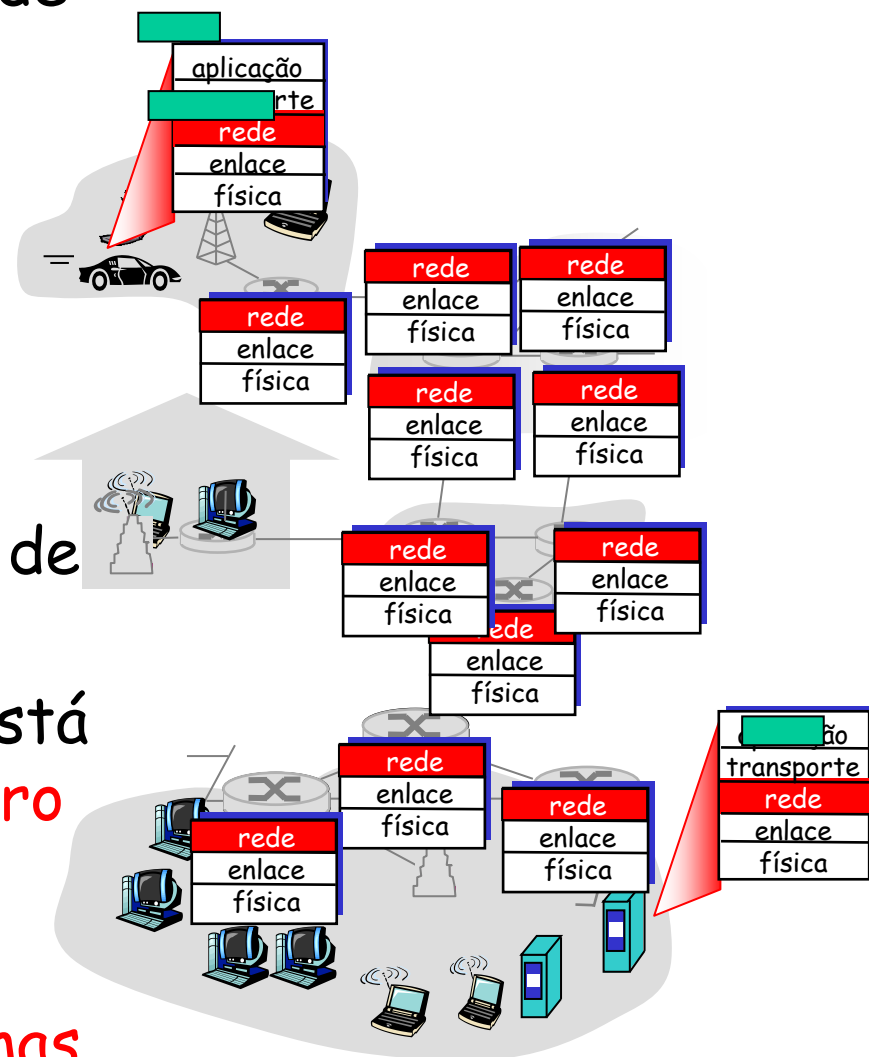


Capítulo 4: Camada de rede

- ❑ 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

Camada de rede

- ❑ Conecta (transporta) segmento de transporte do hosp. emissor ao receptor
- ❑ o lado emissor encapsula segmentos em datagramas (pacotes)
- ❑ o lado receptor desencapsula e entrega os segmentos à camada de transporte
- ❑ protocolos da camada de rede está implementado em cada hospedeiro e roteador na rede
- ❑ roteador examina campos de cabeçalho em todos os datagramas IP que passam por ele



Duas importantes funções da camada de rede

□ **repasse:** é uma **ação local** onde os pacotes são movidos do **enlace de entrada** para o **enlace de saída** do próprio roteador.

□ **roteamento:** envolve **todos os roteadores** para determinar a rota seguida pelos pacotes da **origem ao destino** utilizando algoritmos de roteamento

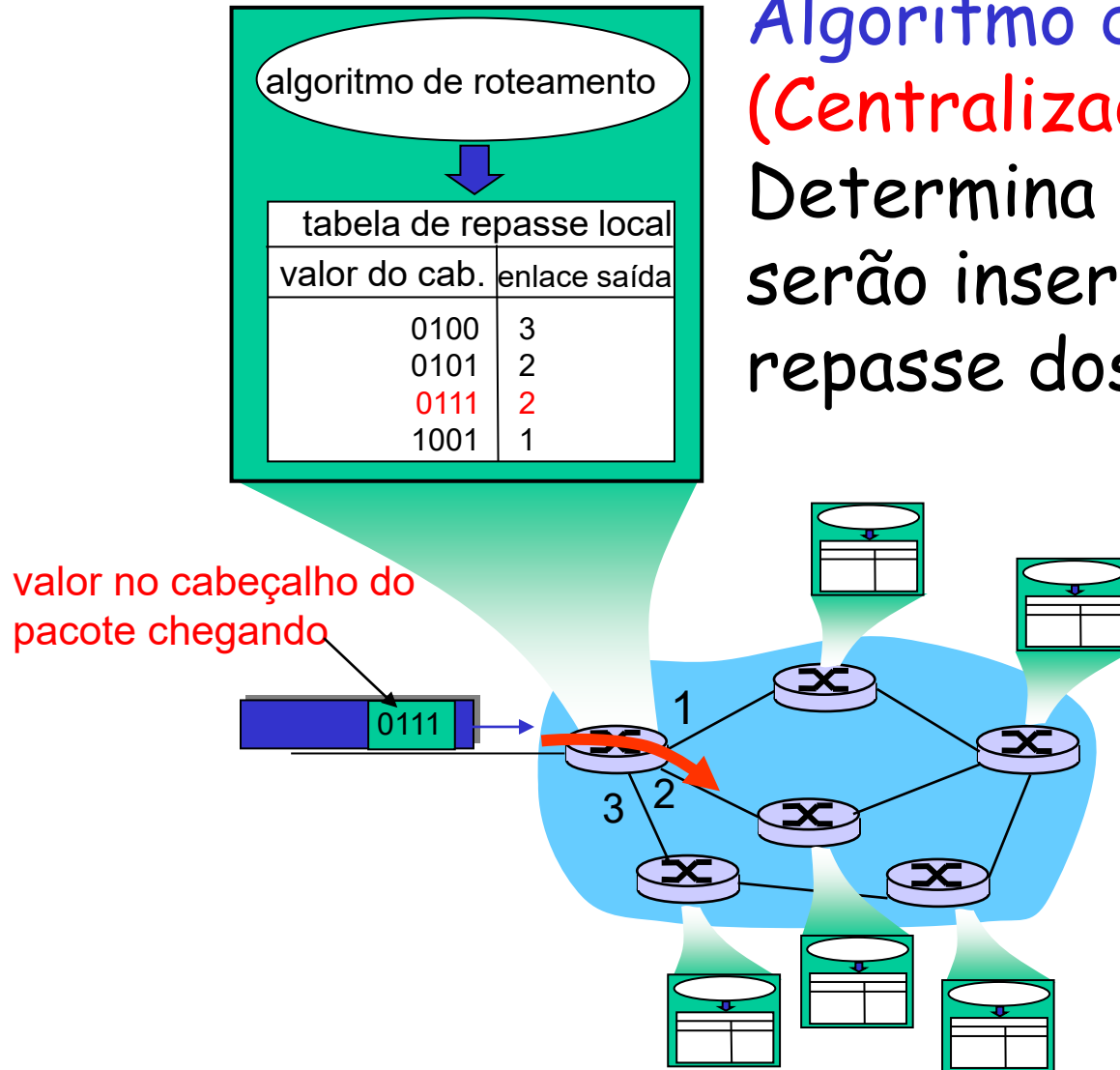
analogia:

□ **roteamento:** processo de planejamento da viagem da origem ao destino

□ **repasse:** processo de passar por um único cruzamento em uma rodovia.

Interação entre roteamento e repasse

Algoritmo de roteamento:
(Centralizado ou Distribuído)
Determina os valores que
serão inseridos na tabela de
repassse dos roteadores.



Estabelecimento de conexão: Função da Rede

- ❑ 3ª função importante em *algumas* arquiteturas de rede:
 - ATM, frame relay e MPLS (*mas não a Internet!*)
- ❑ antes que os *datagramas* fluam, dois *hospedeiros finais* e *roteadores* entre eles estabelecem uma conexão virtual (*CV*) ou seja trocam mensagens de apresentação (*handshake*).
 - 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 CVs)
 - *transporte*: entre dois processos

Modelo de serviço de rede (que poderiam ser oferecidos!)

P: Que *modelo de serviço (propriedades)* 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
 - (ex: Host to Host em 100ms)

exemplo de serviços para fluxo de datagramas:

- ❑ entrega de datagrama na ordem
- ❑ largura de banda mínima garantida
- ❑ Jitter máximo garantido
- ❑ Serviço de segurança -
Criptografia da carga útil!

Modelos de serviço da camada de rede (Real):

Melhor Esforço -> sem garantias que o pacote será entregue na ordem com que foram transmitidos obedecendo um delay constante!

TABELA 4.1 MODELOS DE SERVIÇO DAS REDES INTERNET, ATM CBR E ATM ABR

Arquitetura da rede	Modelo de serviço	Garantia de largura de banda	Garantia contra perda	Ordenação	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 haverá congestionamento
ATM	ABR	Mínima garantida	Nenhuma	Na ordem	Não mantida	Indicação de congestionamento

Constant Bit Rate (CBR) -> Serviço de rede de taxa constante

Available Bit Rate (ABR) -> Serviço de rede de taxa de bits disponível

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

Redes de Circuitos Virtuais e de Datagramas: Serviço com e sem conexão da camada de rede

- ❑ redes de datagramas fornecem **serviços sem conexão** da camada de rede
- ❑ redes de circuitos virtuais (**redes CV**) fornecem **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 serviço (**com ou sem conexão**)
 - **implementação**: no núcleo da rede e nos sistemas finais.

Rede de Circuitos Virtuais (CV)

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

- ações da rede ao longo do caminho (da origem ao destino) com relação ao desempenho (entrega de pacotes em ordem e com latência constante)

- estabelecimento e término de conexão para cada chamada antes que os dados possam fluir
- cada pacote carrega identificador CV (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 CV (recursos dedicados = serviço previsível)

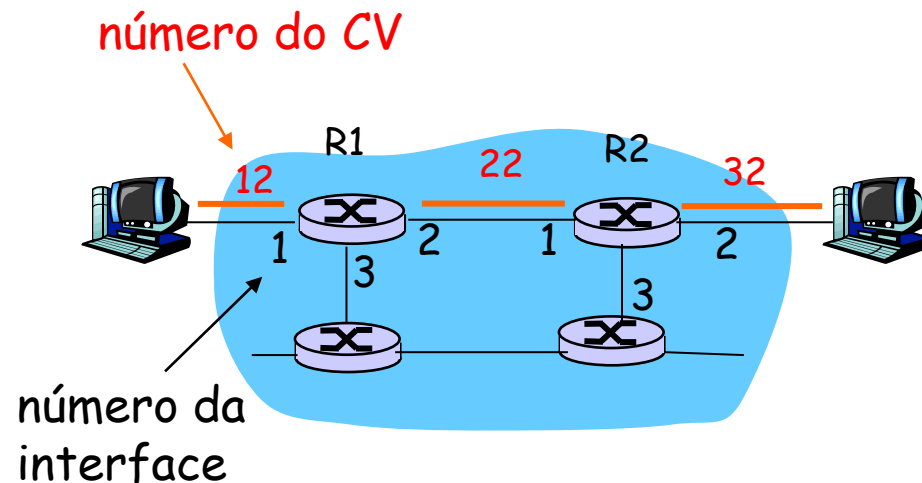
Implementação do CV

um CV consiste em:

1. caminho da origem ao destino
 2. números de CV, um número para cada enlace ao longo do caminho
 3. entradas em tabelas de repasse nos roteadores ao longo do caminho
- ❑ pacote pertencente ao CV carrega número do CV (em vez do endereço de destino)
 - ❑ número do CV pode ser alterado em cada enlace
 - novo número de CV vem da tabela de repasse

Tabela de repasse

tabela de repasse no roteador noroeste:

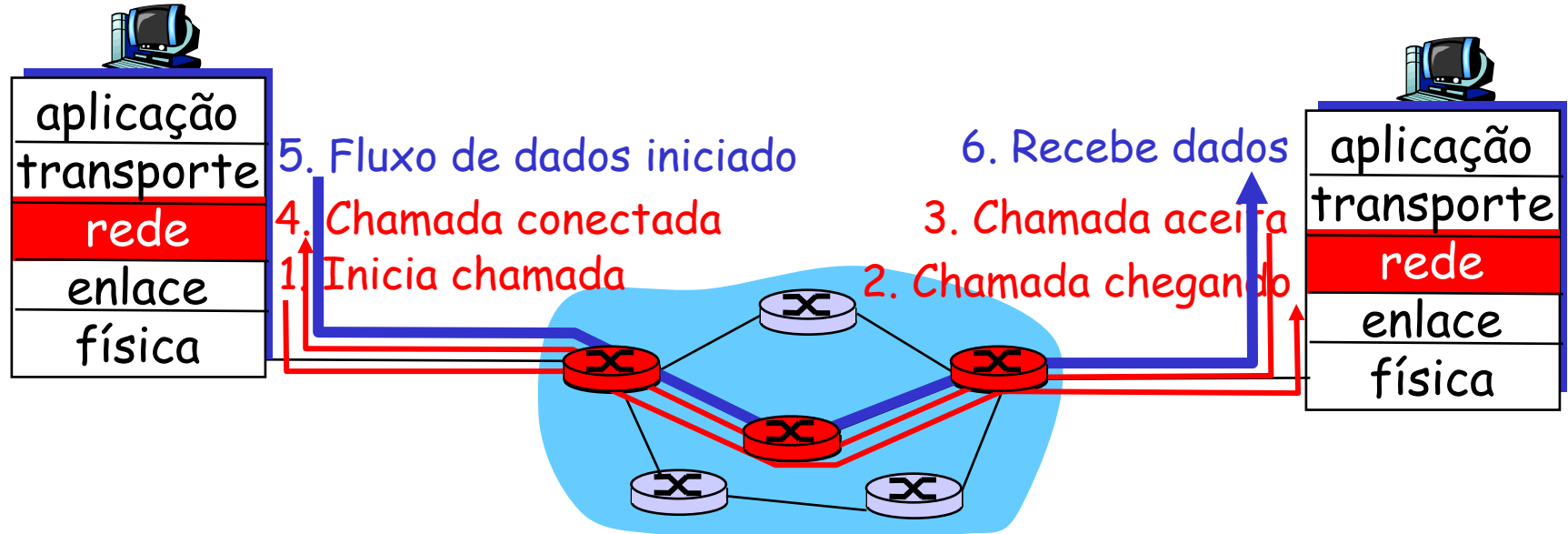


Interface de entrada		Nº do CV de entrada	Interface de saída		Nº do CV de saída
R1	1	12	2		22
	2	63	1		18
	3	7	2		17
R2	1 1	97 22	3 2		87 32
...	

Roteadores mantêm informação de estado da conexão!

Circuitos virtuais: protocolos de sinalização

- ❑ usados para **estabelecer, manter e terminar CV**
- ❑ usados em ATM, frame-relay e MPLS
- ❑ **Todos os roteadores entre os hosts** estão envolvidos com o CV
- ❑ 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 de destino do hospedeiro receptor**
 - pacotes entre mesmo par origem-destino podem tomar caminhos diferentes utilizando vários roteadores

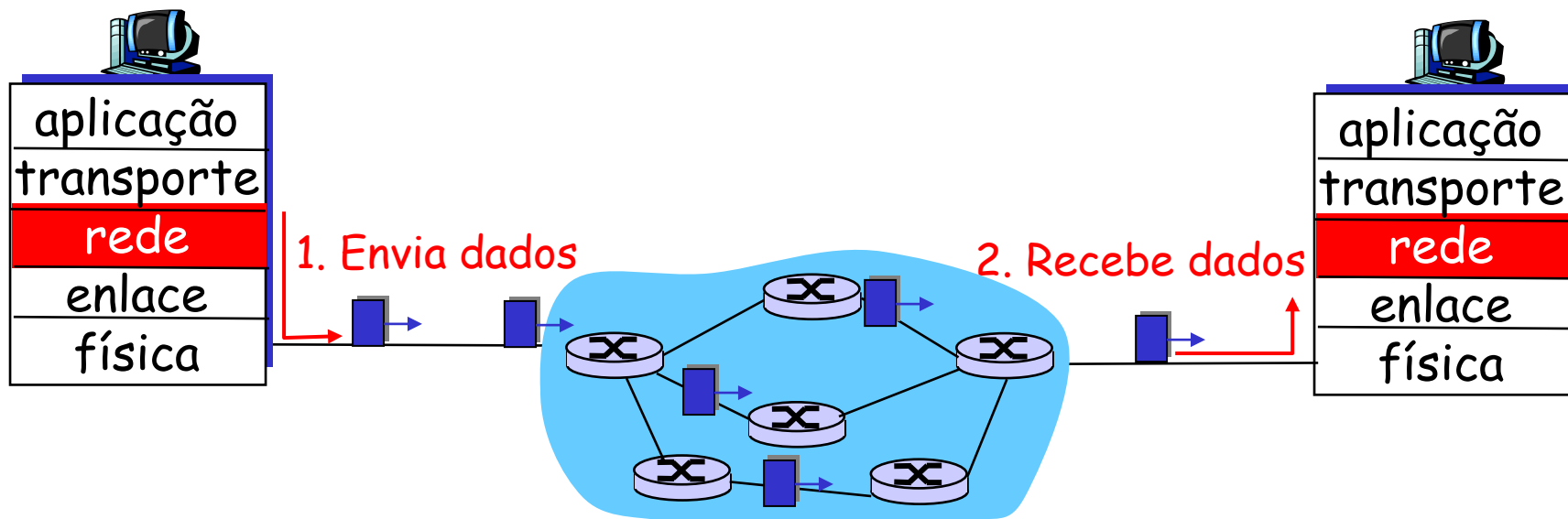
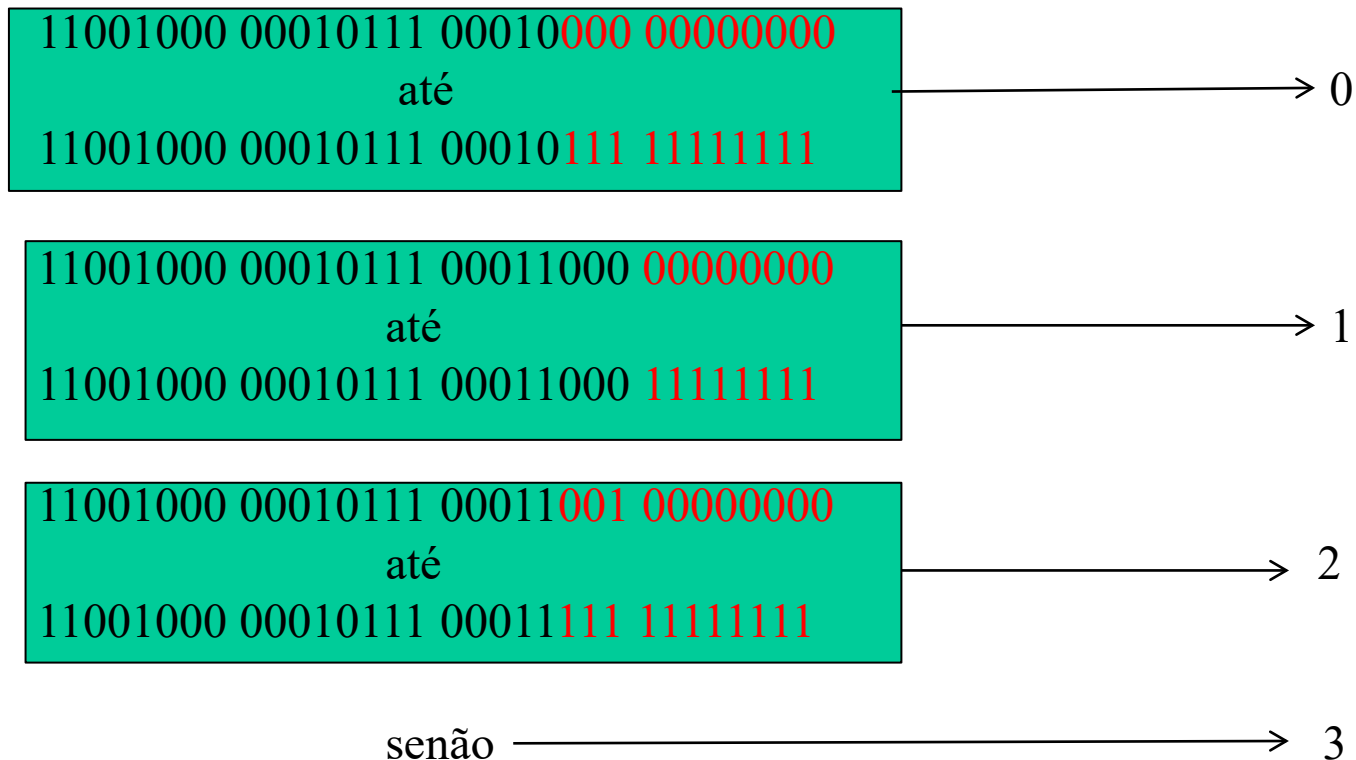


Tabela de repasse IPv4

4 bilhões de
entradas possíveis
(2^{32} bits)

Faixa de endereços de destino

Interface de enlace



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

DA: 11001000 00010111 00010110 10100001

Qual interface?
Enlace 0

DA: 11001000 00010111 00011000 10101010

Qual interface?
Enlace 3

Rede de datagramas ou CV: por quê?

Internet (datagrama)

- ❑ troca de dados entre computadores
 - serviço “**elástico**”, sem requisitos de temporização rígidos
- ❑ 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 (CV)

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

Capítulo 4:

Camada de rede

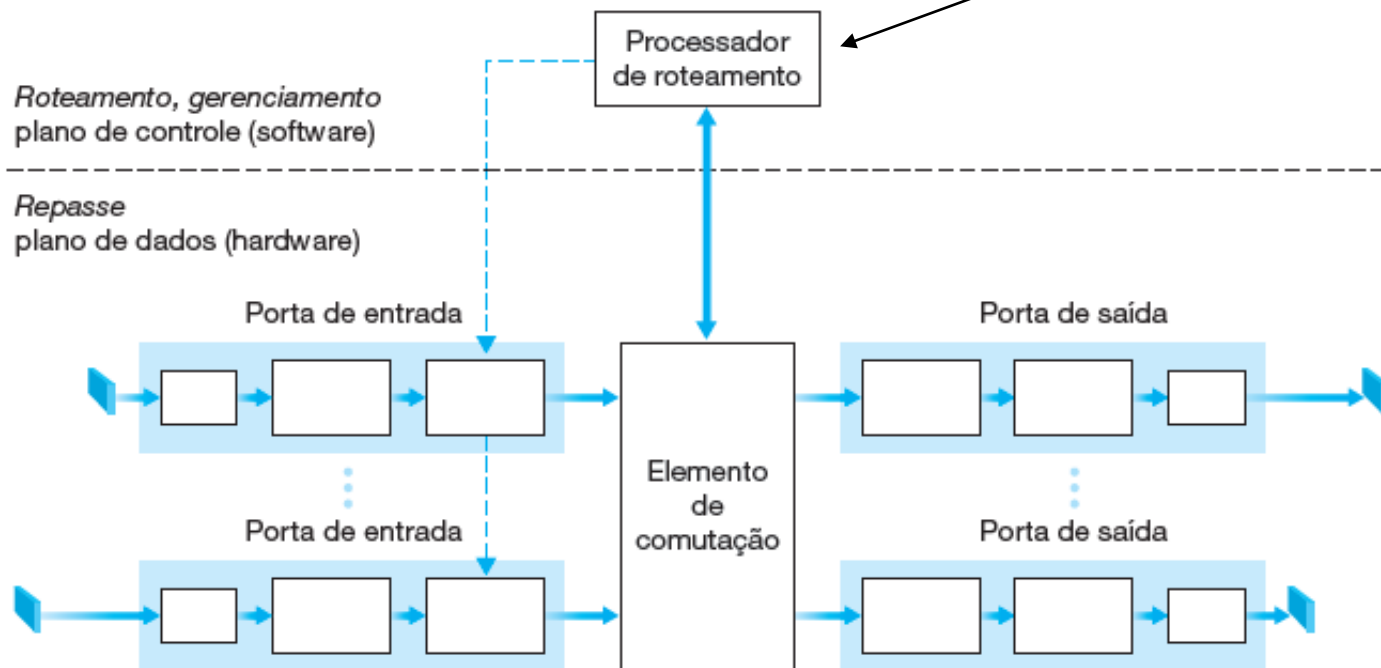
- ❑ 4.1 Introdução
- ❑ 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- ❑ 4.3 O que há dentro de um roteador?
- ❑ 4.4 IP: Internet Protocol
 - formato do datagrama
 - endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- ❑ 4.5 Algoritmos de roteamento
 - estado de enlace
 - vetor de distâncias
 - roteamento hierárquico
- ❑ 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*

FIGURA 4.6 ARQUITETURA DE ROTEADOR

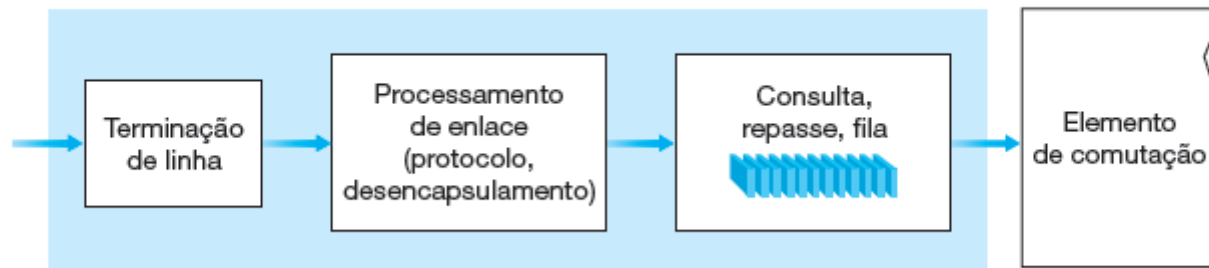


Trabalha na Camada Física, Enlace e rede.

Pacotes de controle (Rota) são repassados para o processador de roteamento

Processamento da porta de entrada

FIGURA 4.7 PROCESSAMENTO NA PORTA DE ENTRADA



Camada física:
recepção por bit

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

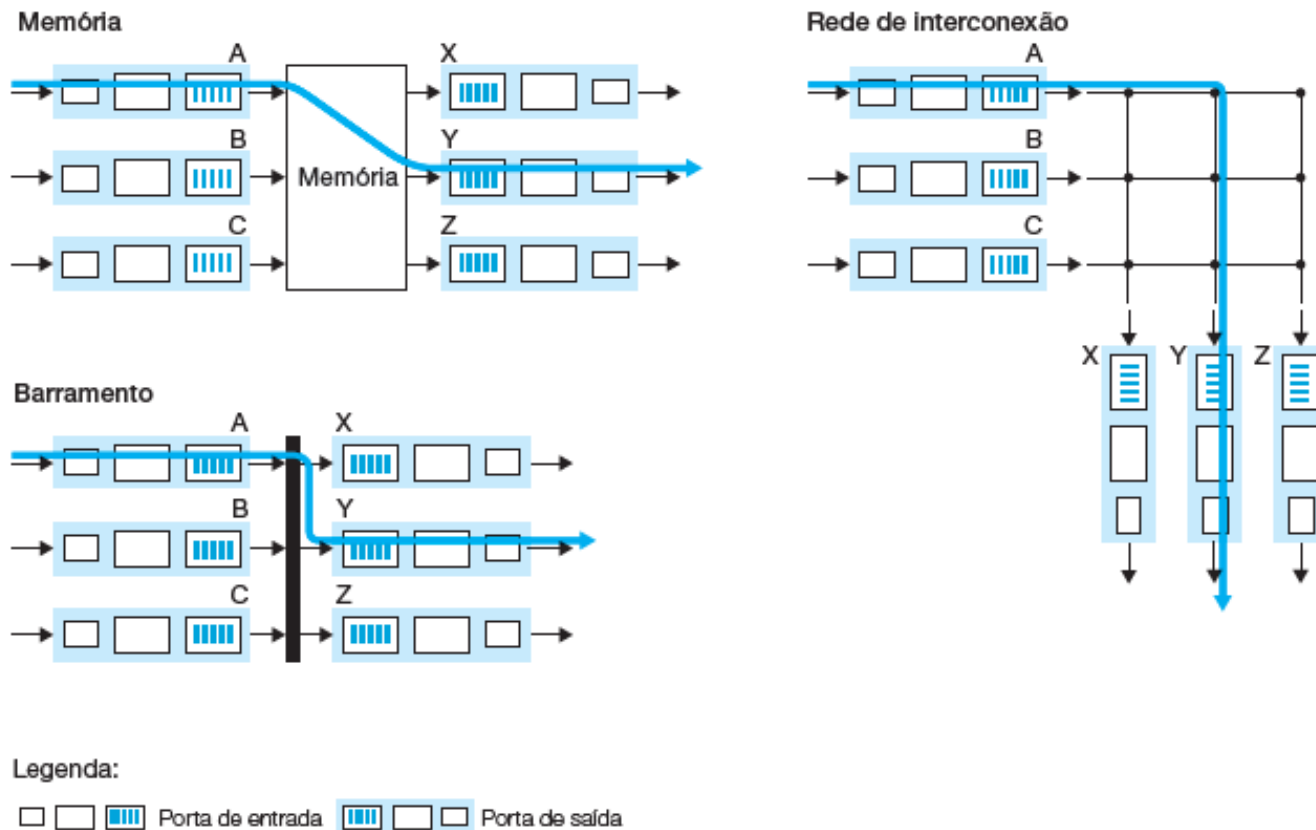
Comutação descentralizada:

- ❑ **dado o destino do datagrama**, procura porta de saída (**elemento de comutação**) usando tabela de repasse na memória da porta de entrada.
- ❑ **objetivo**: processamento completo da porta de entrada na 'velocidade de linha'
- ❑ **Fila se forma**: se **datagramas chegarem mais rápido** que taxa de repasse no elemento de comutação

Elemento de Comutação:

- O elemento de comutação está no coração de um roteador.
- E por meio do elemento de comutação que os pacotes são comutados (isto é, repassados) de uma porta de entrada para uma porta de saída.
- A comutação pode ser realizada de inúmeras maneiras, como mostra a Figura

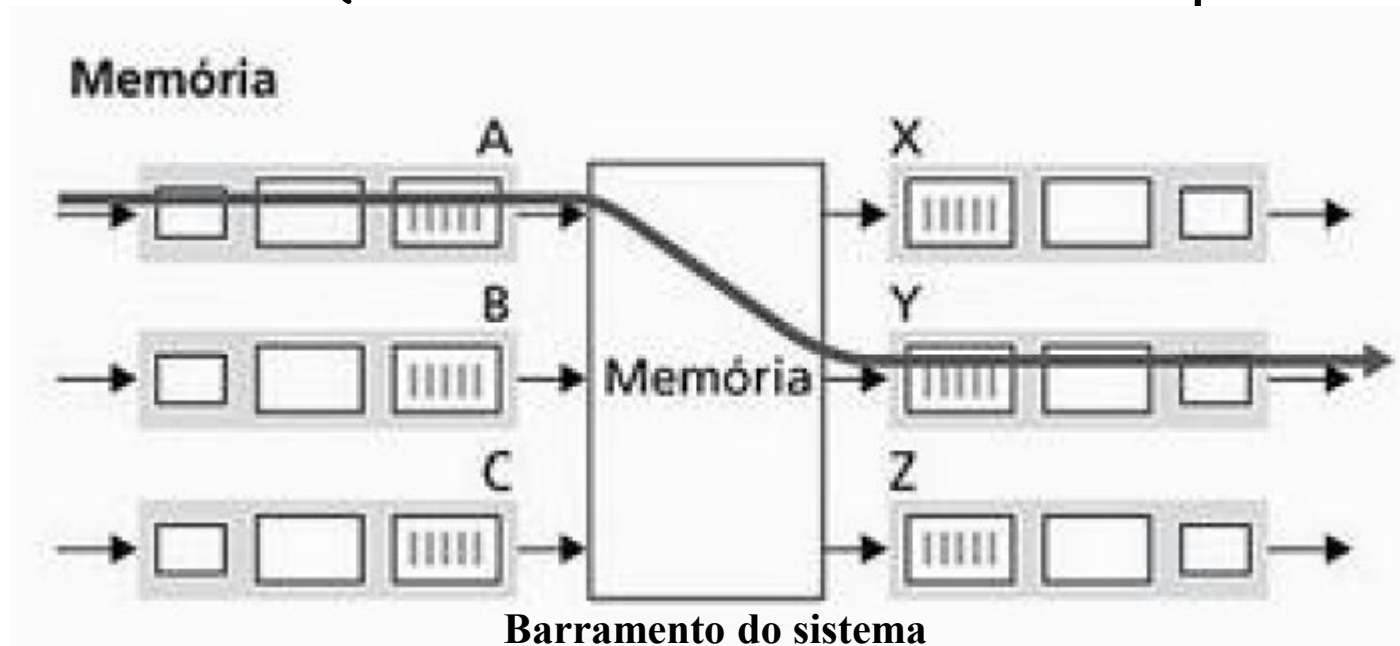
FIGURA 4.8 TRÊS TÉCNICAS DE COMUTAÇÃO



Técnica de Comutação por memória

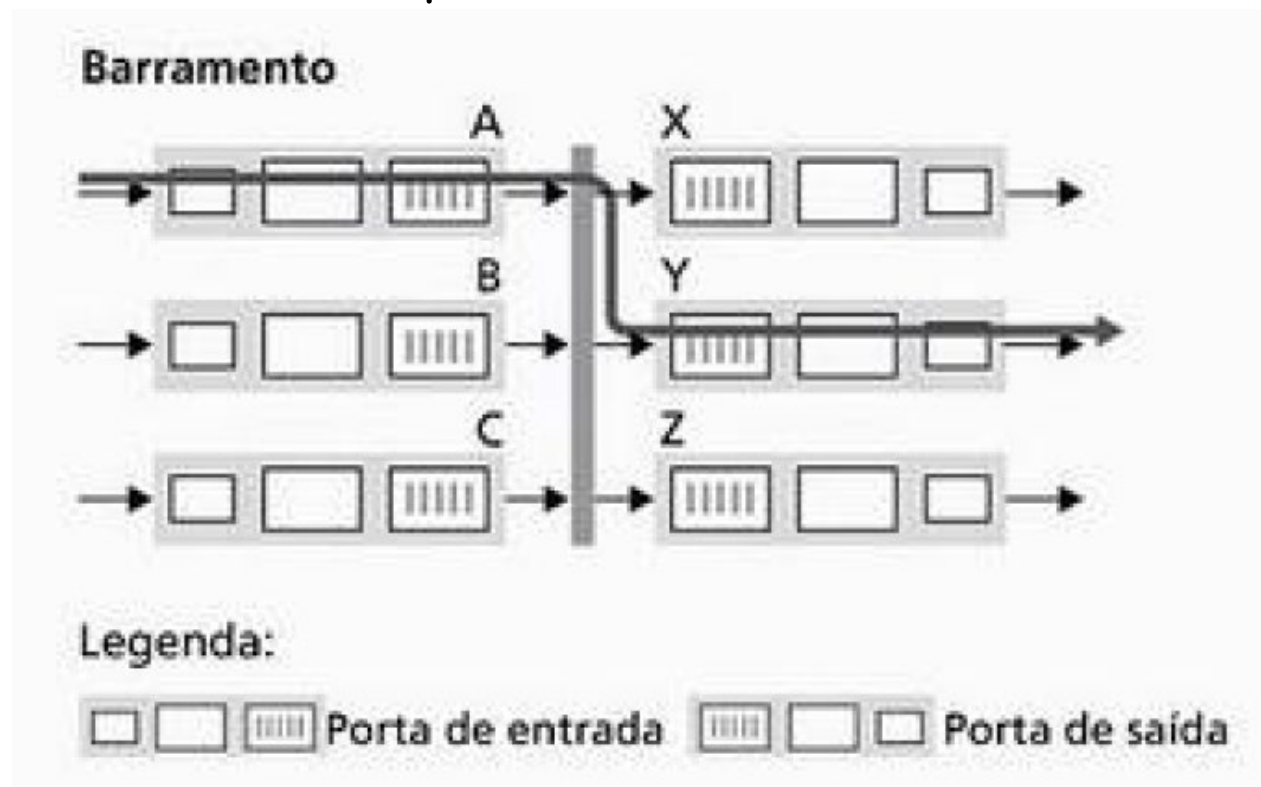
Roteadores de primeira geração:

- ❑ implementados como **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)



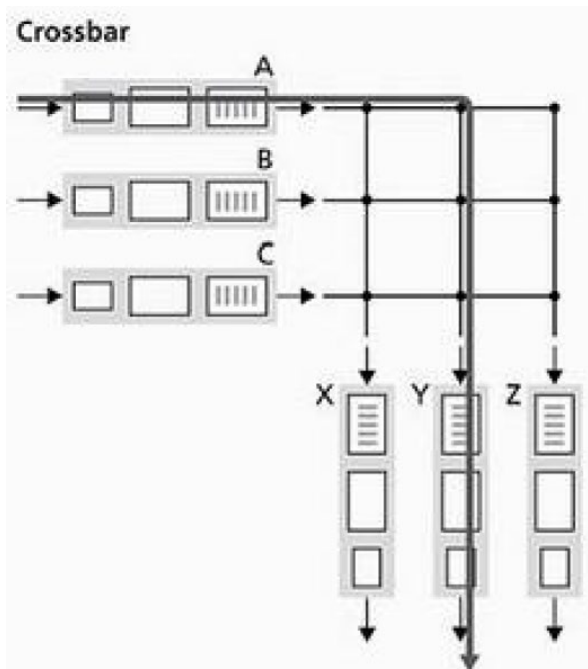
Técnica de Comutação por um barramento

- ❑ datagrama é **copiado** 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



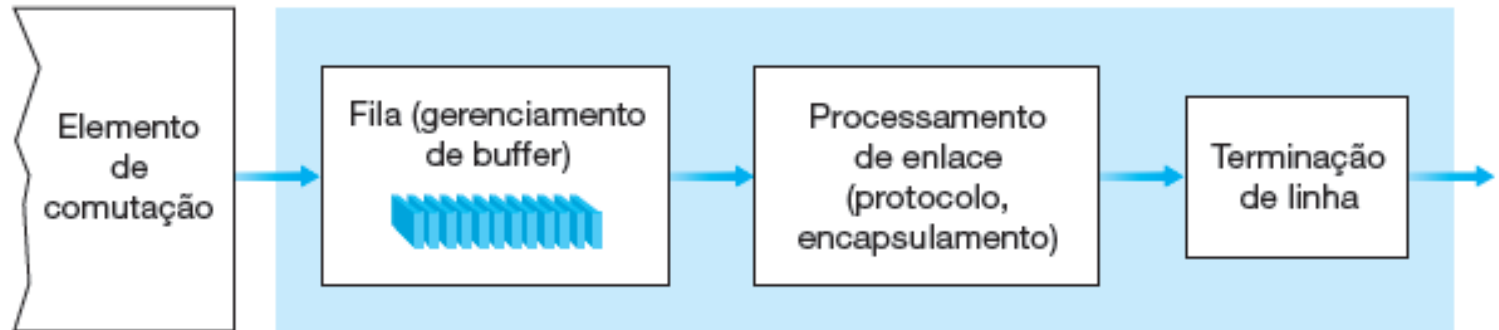
Técnica de comutação por uma rede de interconexão

- contorna **limitações de largura de banda** do barramento
- utilização de outras redes de interconexão (**redes crossbar**) desenvolvidas inicialmente para conectar processadores em uma arquitetura de 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

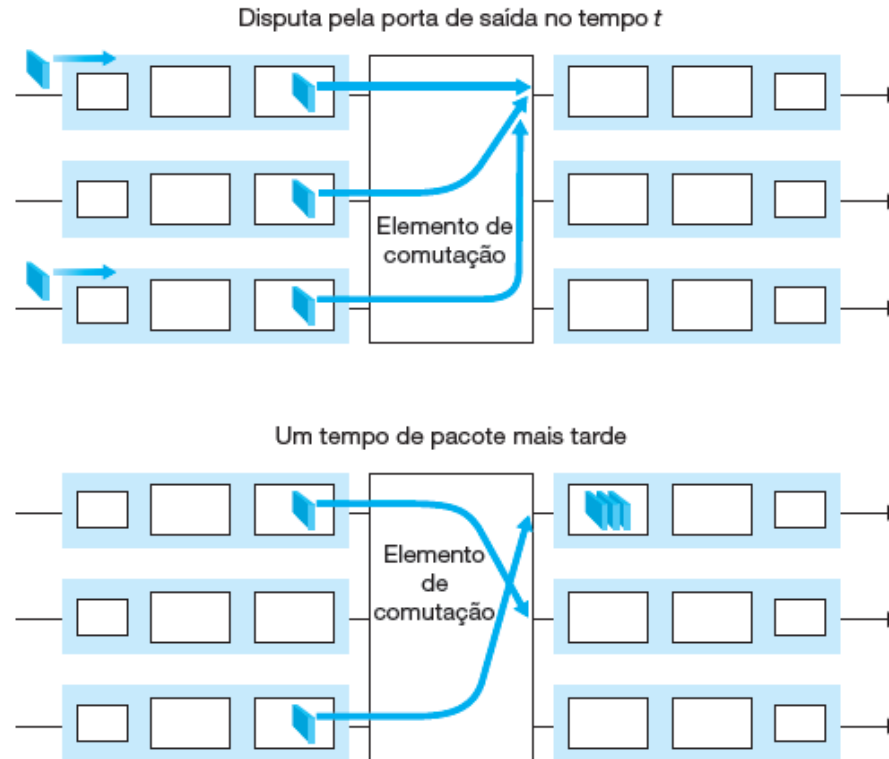
FIGURA 4.9 PROCESSAMENTO DE PORTA DE SAÍDA



- ❑ **Buffering** é exigido quando os datagramas chegam do elemento de comutação mais rápido que a taxa de transmissão.
- ❑ Toma os pacotes que foram armazenados na memória da porta e saída e o transmite pelo enlace de saída.
 - **Disciplina de escalonamento** escolhe entre os datagramas enfileirados quais devem ter prioridade de transmissão pelo enlace de saída.

Enfileiramento na porta de saída

FIGURA 4.10 FORMAÇÃO DE FILA NA PORTA DE SAÍDA



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

Quanto armazenamento em buffer?

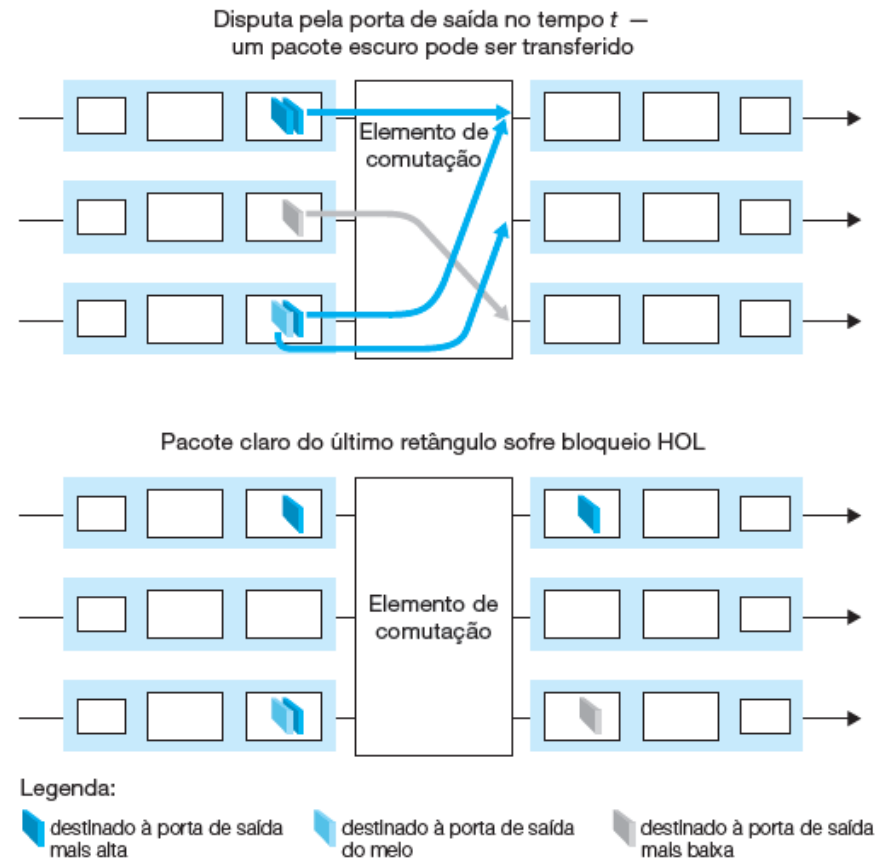
- regra prática da RFC 3439: **armazenamento médio (B)** em buffer igual à **RTT** "típica" (digamos, 250 ms) vezes **(X)** capacidade do **enlace C**
($B = RTT * C$)
 - p. e., **C** = enlace de 10 Gbps: então, buffer deve ser de 2,5 Gbit
- recomendação recente: com **N** fluxos, o armazenamento **(B)** deve ser igual a:

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

Enfileiramento da porta de entrada

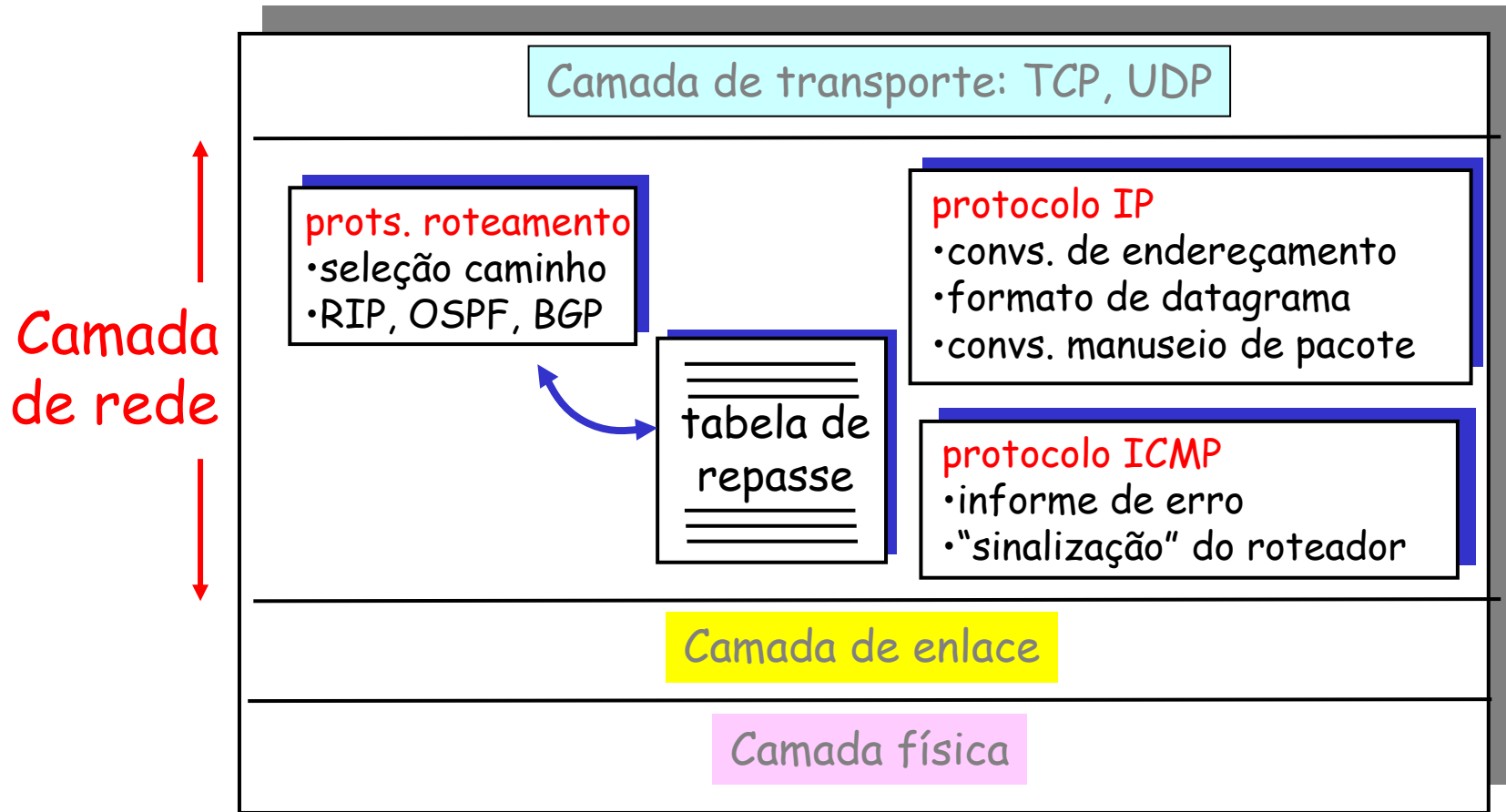
- ❑ elemento de comutação mais lento que portas de entrada combinadas -> enfileiramento possível nas filas de entrada
- ❑ **bloqueio de cabeça de fila:** datagrama enfileirado na frente da fila impede que outros na fila sigam adiante
- ❑ *atraso de enfileiramento e perda devidos a estouro no buffer de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

BLOQUEIO DE CABEÇA DE FILA EM UM COMUTADOR COM FILA DE ENTRADA



A camada de rede da Internet

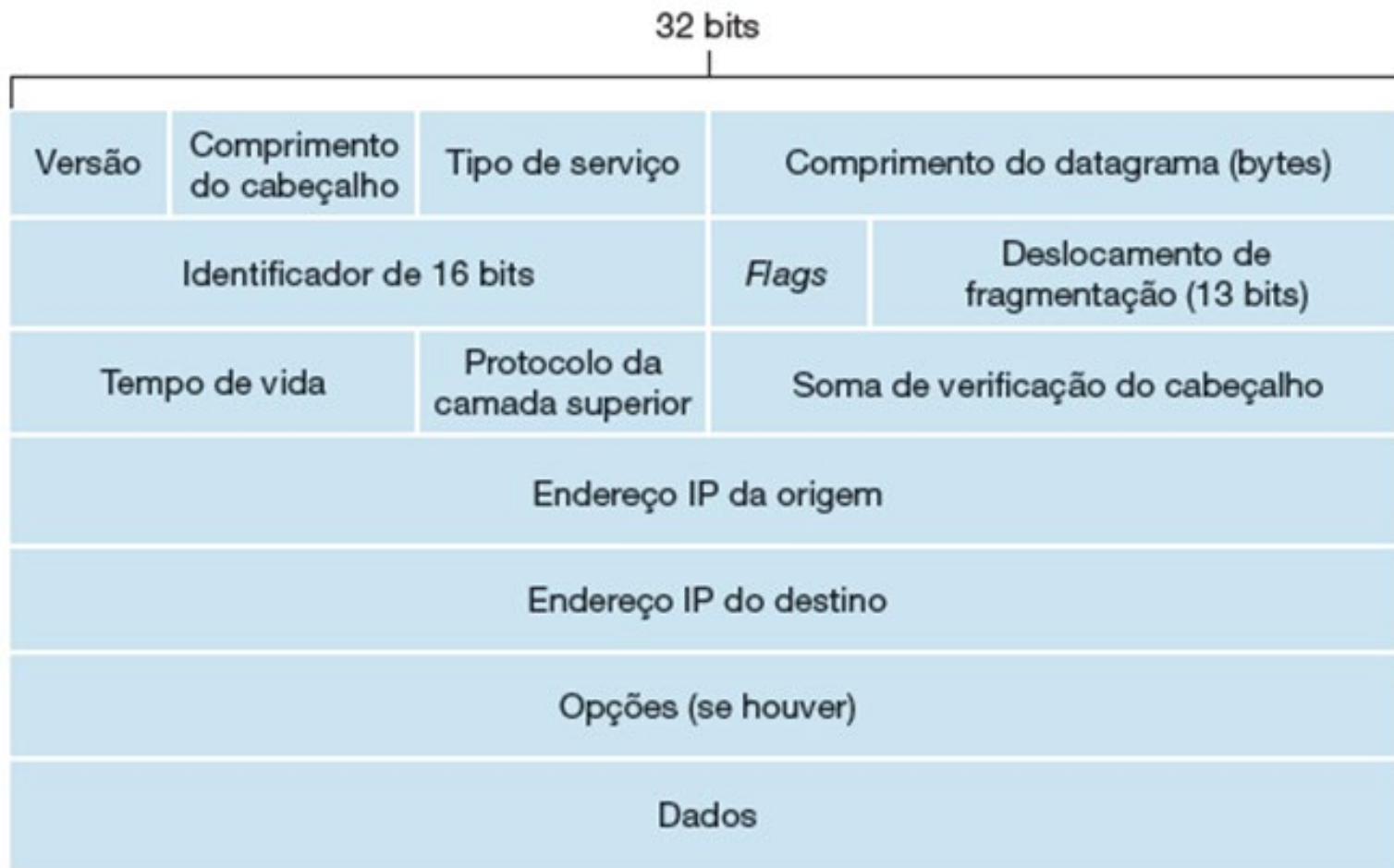
Funções na camada de rede do hospedeiro e roteador:



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 IPv4



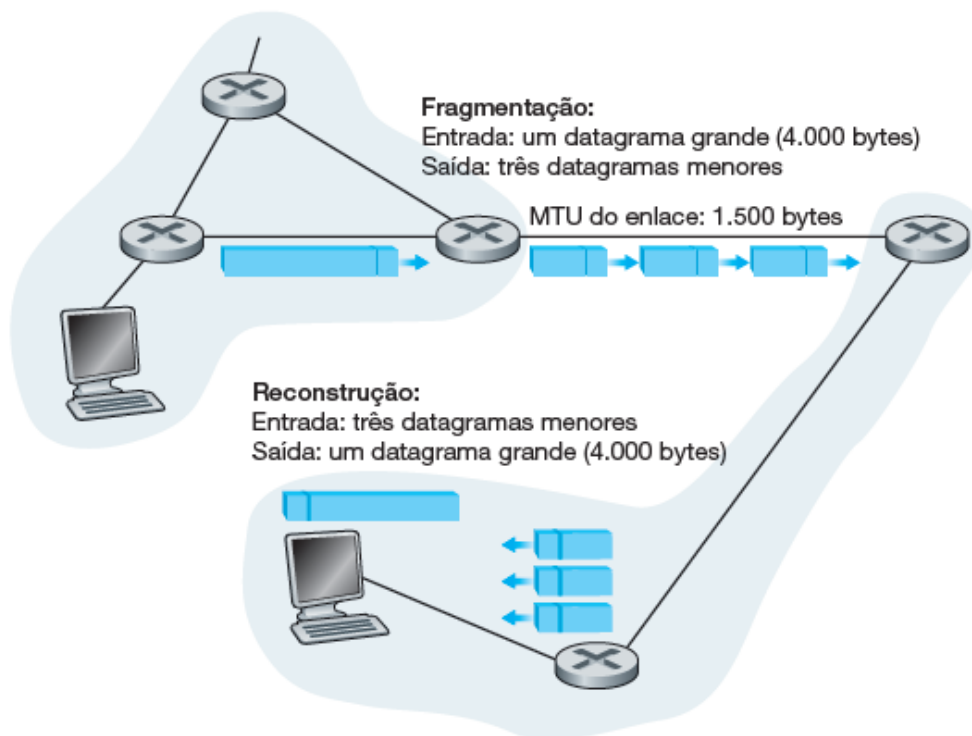
Quanto overhead com TCP?

- ❑ 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

FRAGMENTAÇÃO E RECONSTRUÇÃO IP



Fragmentação e reconstrução do IP

Exemplo

- ❑ datagrama de 4000 bytes
- ❑ MTU = 1500 bytes
- ❑ $(1480 + 1480) + 1040 \Rightarrow 4000$ Bytes

1480 bytes no
campo de dados

deslocamento =
 $1480/8$

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

Um datagrama grande torna-se
vários datagramas menores

	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

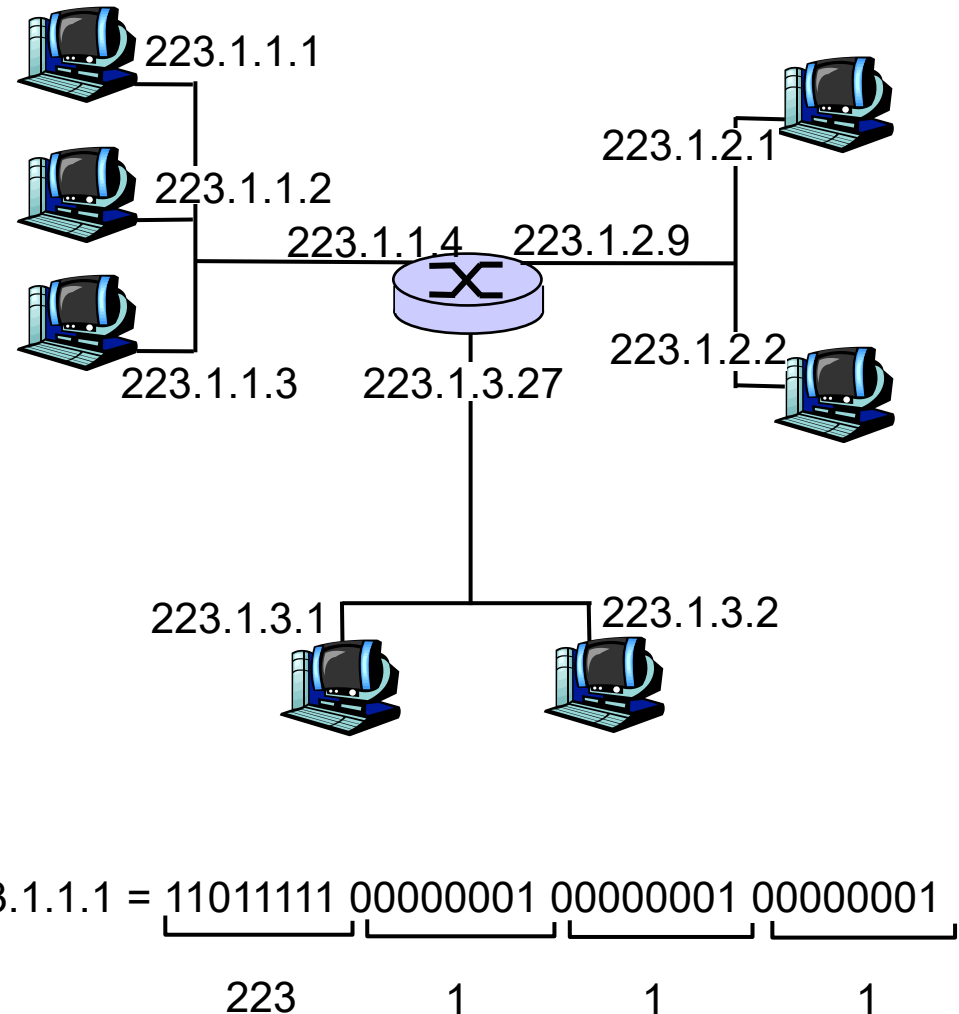
- ❑ 4.1 Introdução
- ❑ 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- ❑ 4.3 O que há dentro de um roteador?
- ❑ 4.4 IP: Internet Protocol
 - formato do datagrama
 - endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- ❑ 4.5 Algoritmos de roteamento
 - estado de enlace
 - vetor de distâncias
 - roteamento hierárquico
- ❑ 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**



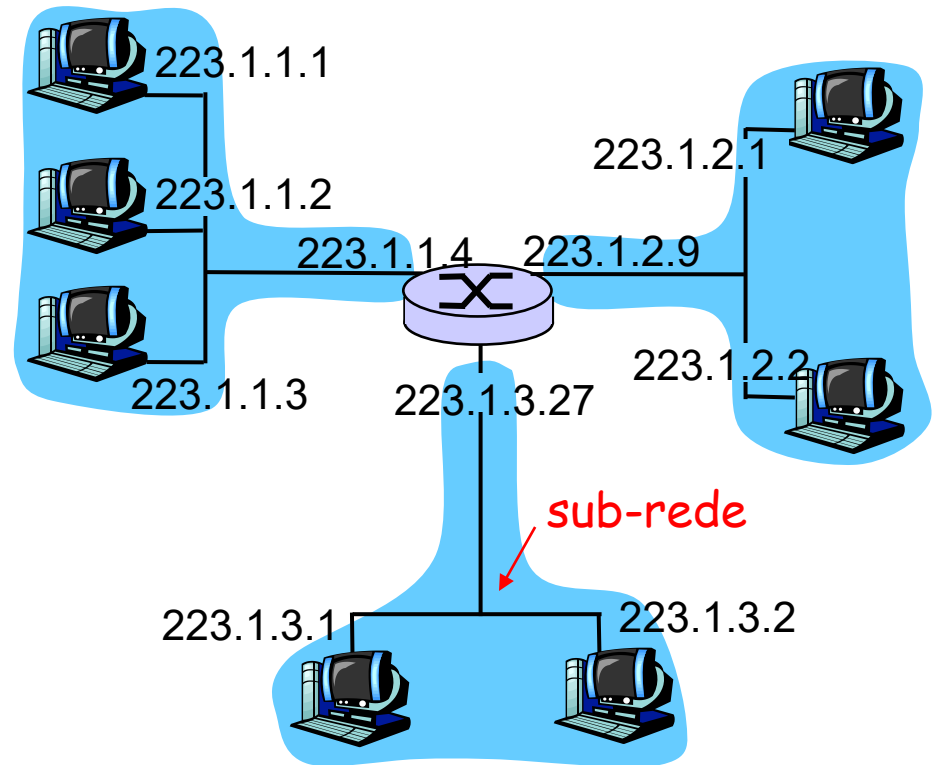
Sub-redes

❑ 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

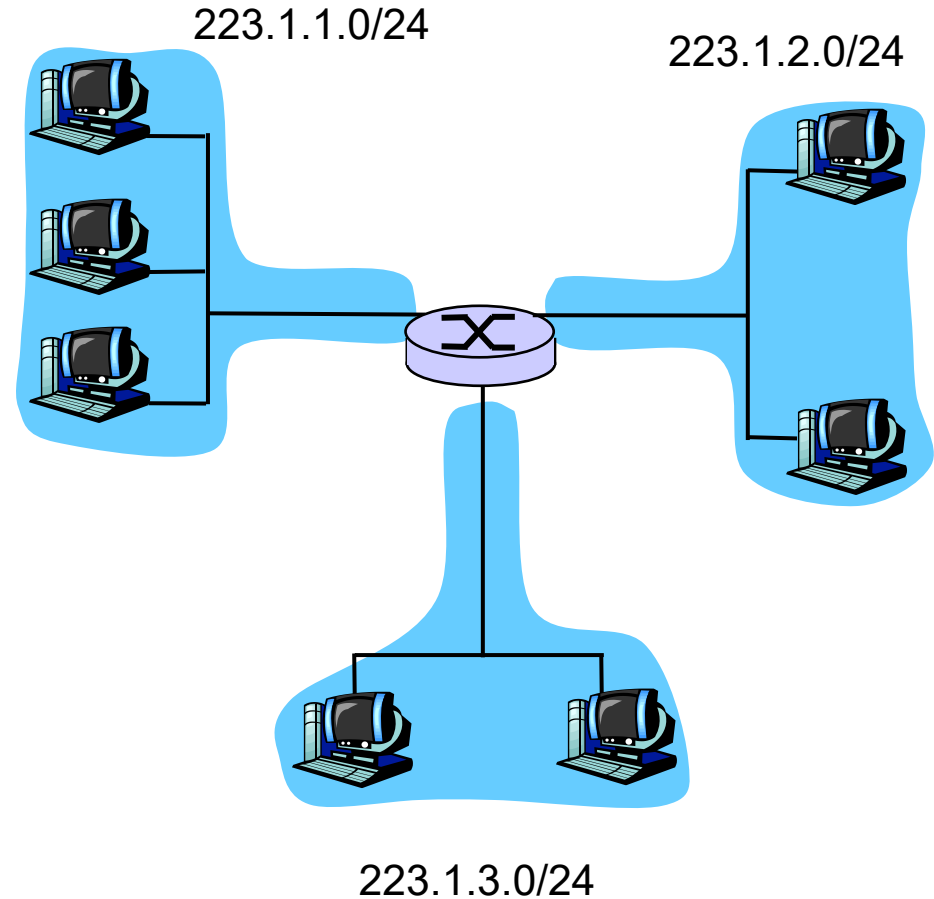


rede consistindo em 3 sub-redes

Sub-redes

Receita

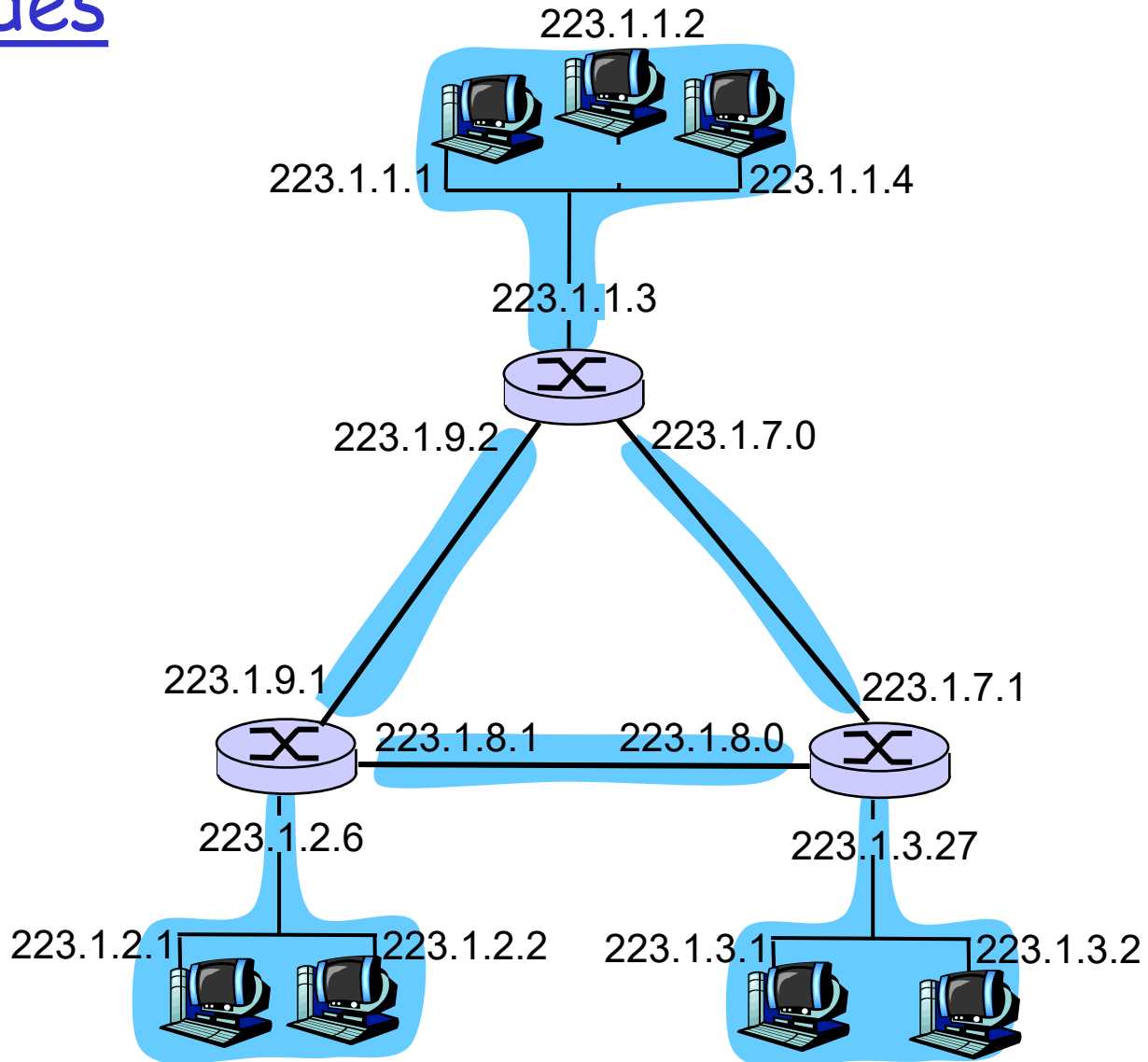
- para determinar as sub-redes, destaque cada interface de seu hospedeiro ou roteador, criando ilhas de redes isoladas. Cada rede isolada é denominada **sub-rede**



Máscara de sub-rede: /24

Sub-redes

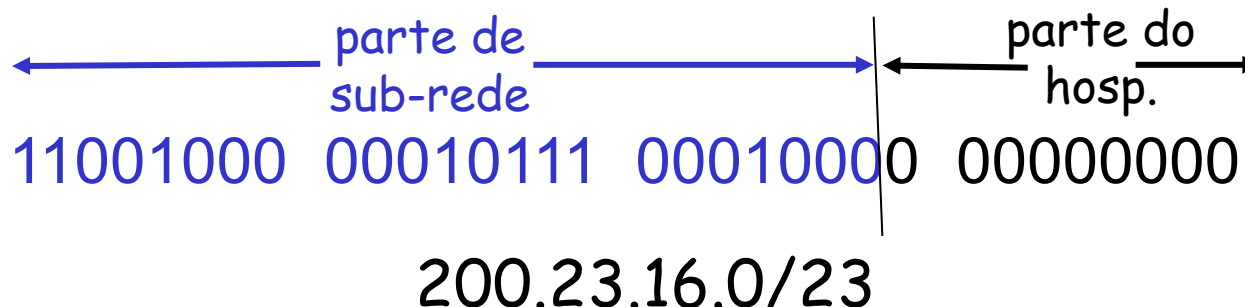
Quantas?



Endereçamento IP: CIDR

CIDR: Classless InterDomain Routing (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



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

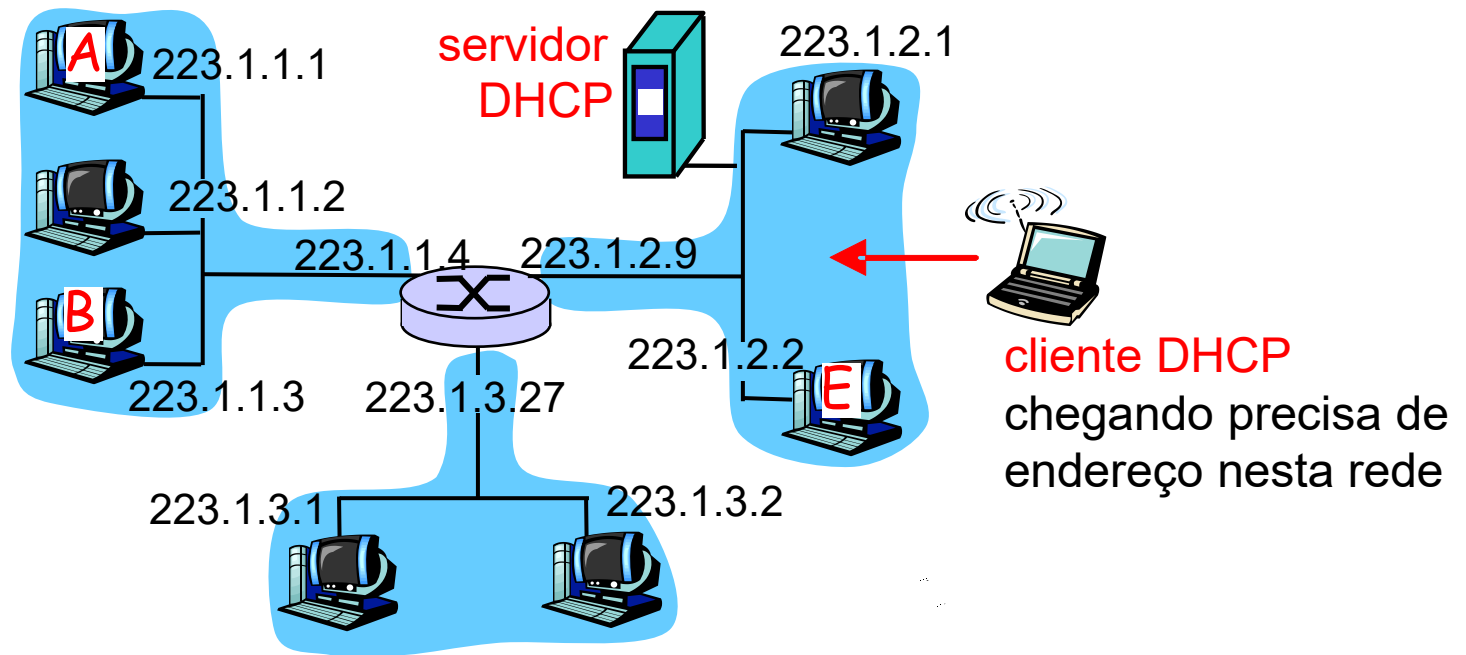
permite reutilização de endereços (só mantém endereço enquanto conectado e "ligado")

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

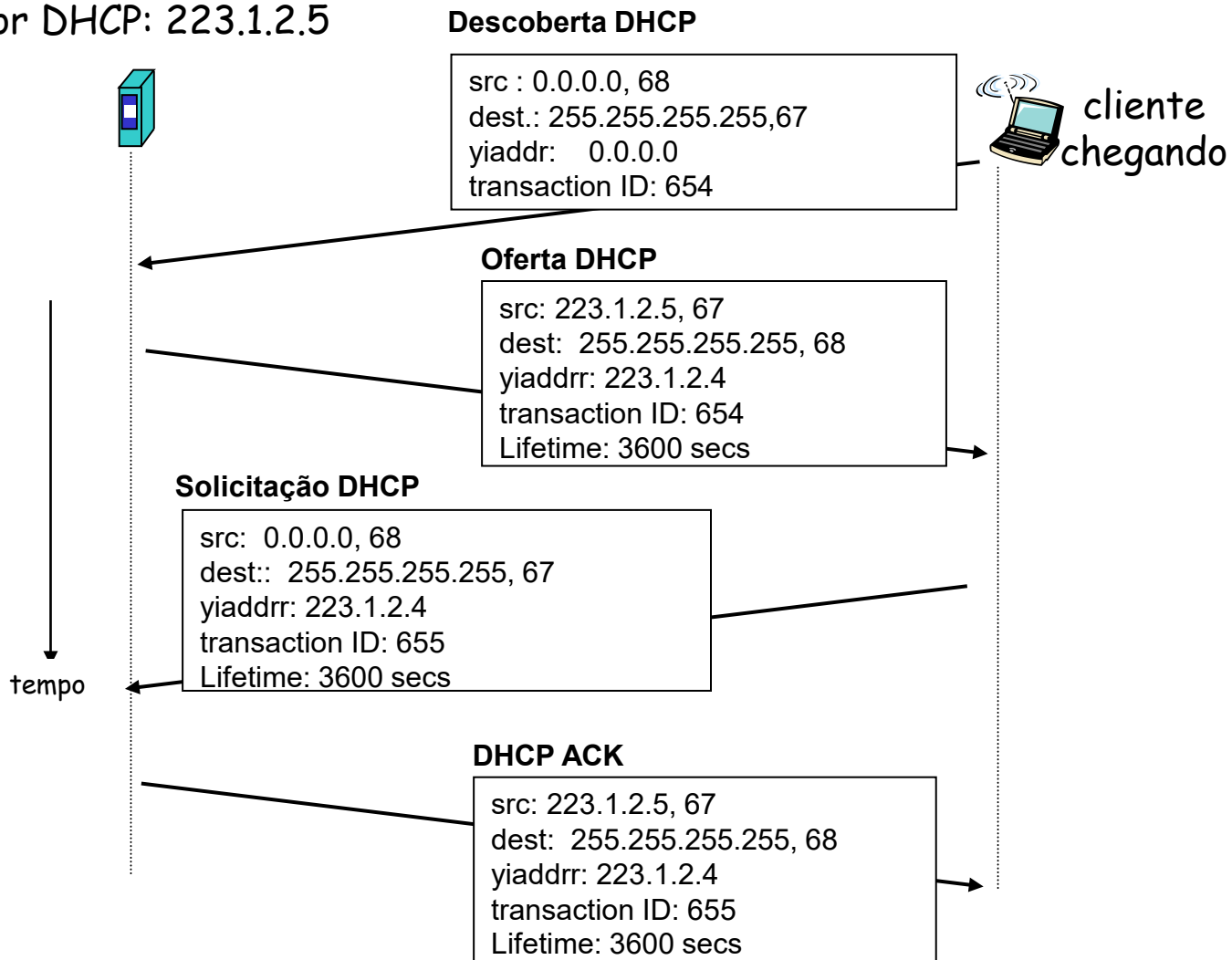
Visão geral do DHCP:

- host broadcasts "DHCP discover" msg [optional]
- servidor DHCP responde com msg "DHCP offer" [opcional]
- hospedeiro requer endereço IP: msg "DHCP request"
- servidor DHCP envia endereço: msg "DHCP ack"

DHCP - cenário cliente/servidor



servidor DHCP: 223.1.2.5

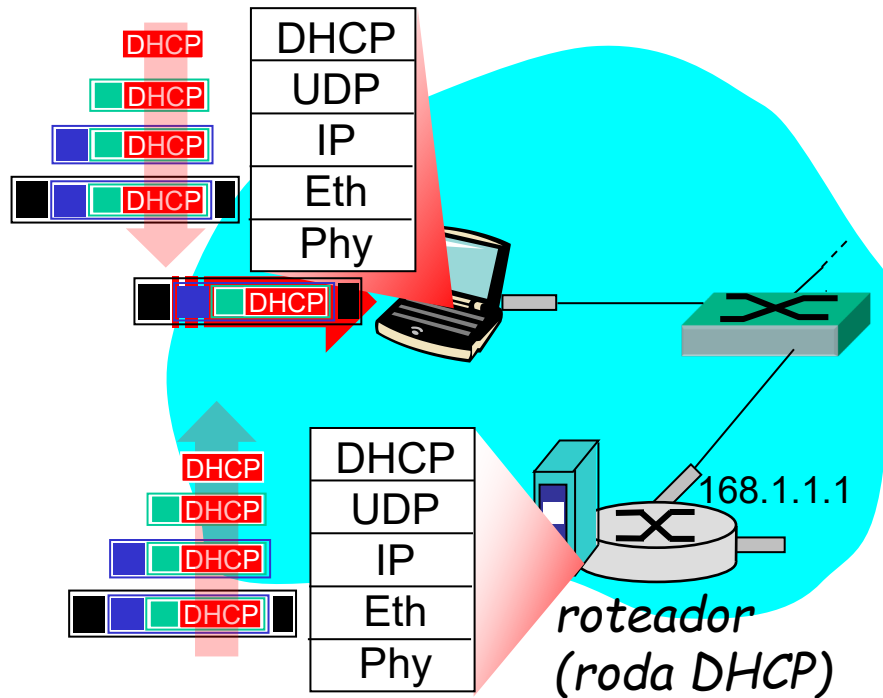


DHCP: mais do que endereço IP

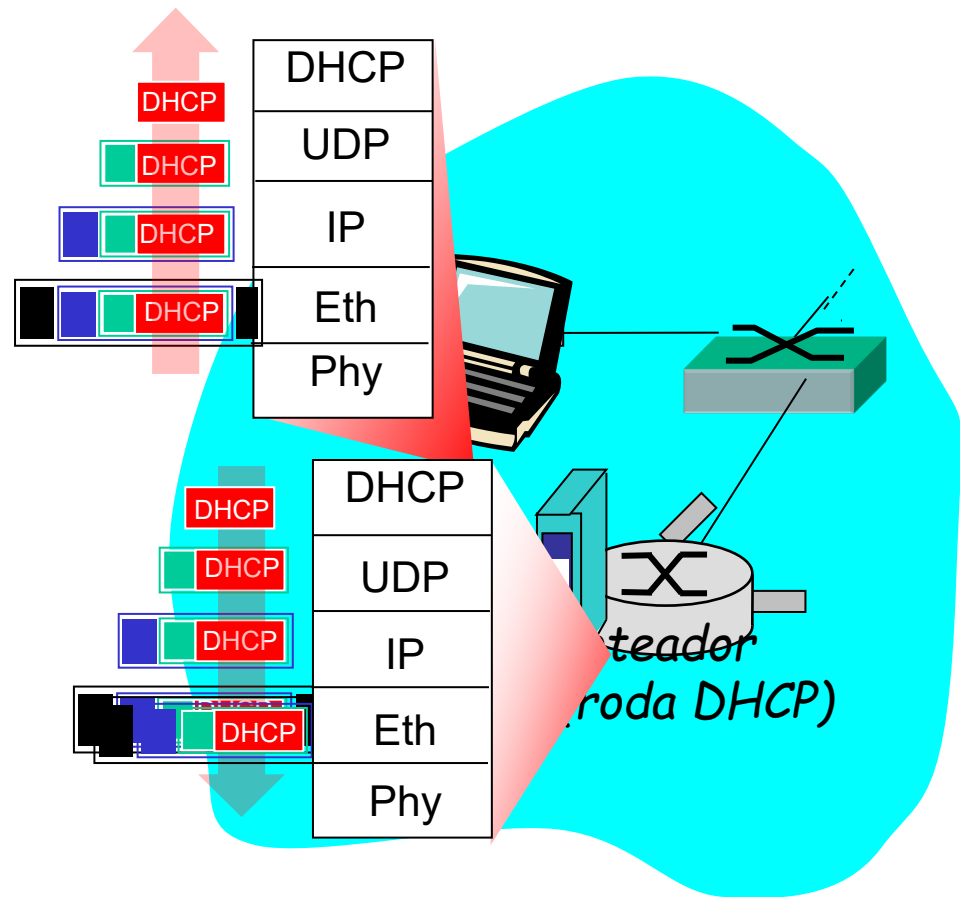
DHCP pode retornar mais do que apenas o endereço IP alocado na sub-rede:

- 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)

DHCP: exemplo



- conexão de laptop precisa do seu endereço IP, endereço do roteador do primeiro salto, endereço do servidor DNS: use DHCP
- solicitação DHCP encapsulada no UDP, encapsulada no IP, encapsulado no Ethernet 802.1
- broadcast de quadro Ethernet (dest: FFFFFFFFFFFFFFFF) na LAN, recebido no roteador rodando DHCP
- Ethernet demultiplexado para IP demultiplexado, UDP demultiplexado para DHCP



- ❑ servidor DHCP formula DHCP ACK contendo endereço IP do cliente, endereço IP do roteador do primeiro salto para cliente, nome & endereço IP do servidor DNS
- ❑ encapsulamento do servidor DHCP, quadro repassado ao cliente, demultiplexando para DHCP no cliente
- ❑ cliente agora sabe seu endereço IP, nome e endereço IP do servidor DNS, endereço IP do seu roteador do primeiro salto

DHCP: Saída wireshark (LAN doméstica)

solicitação

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

resposta

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."

Endereços IP: como obter um?

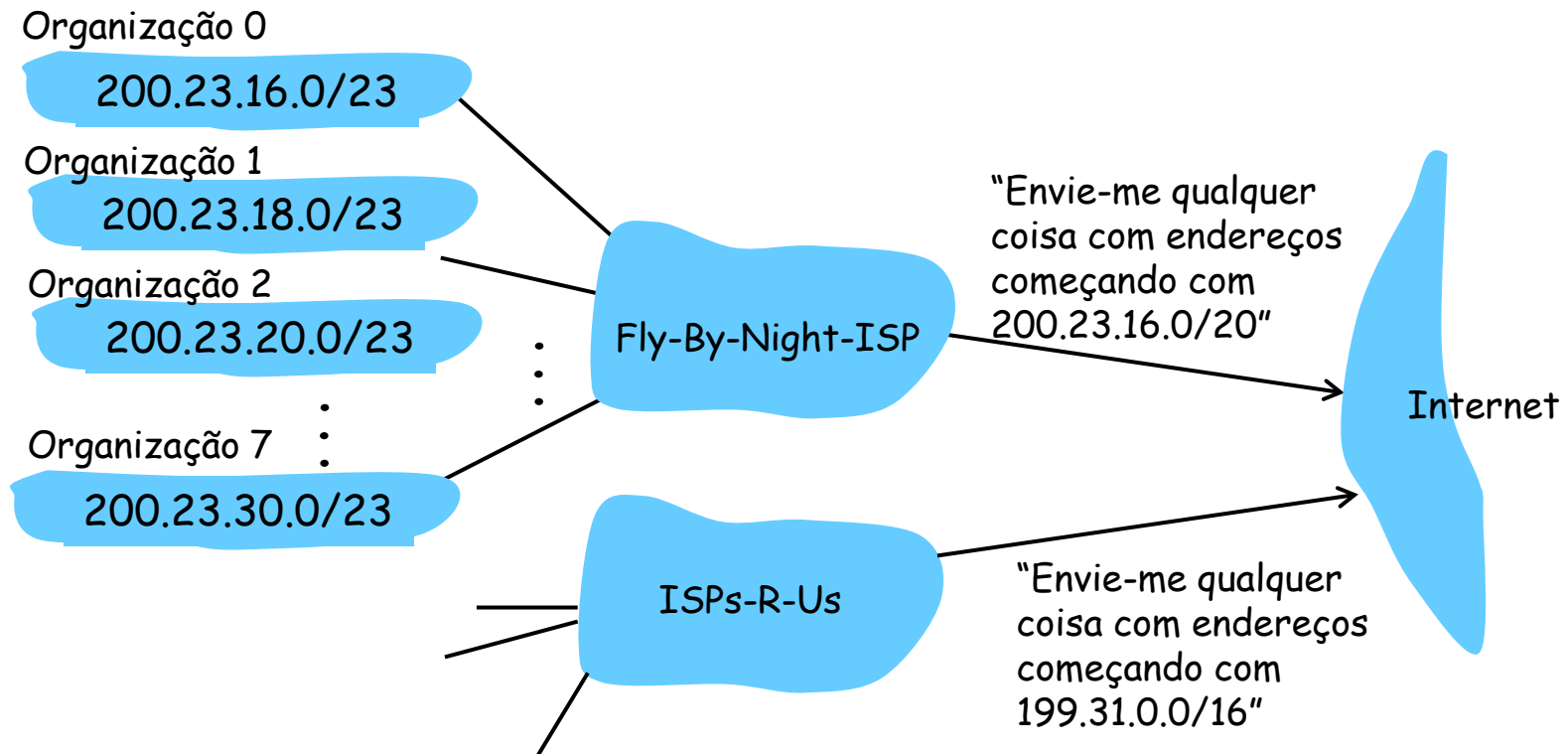
P: Como a rede obtém a parte de sub-rede do endereço IP?

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

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

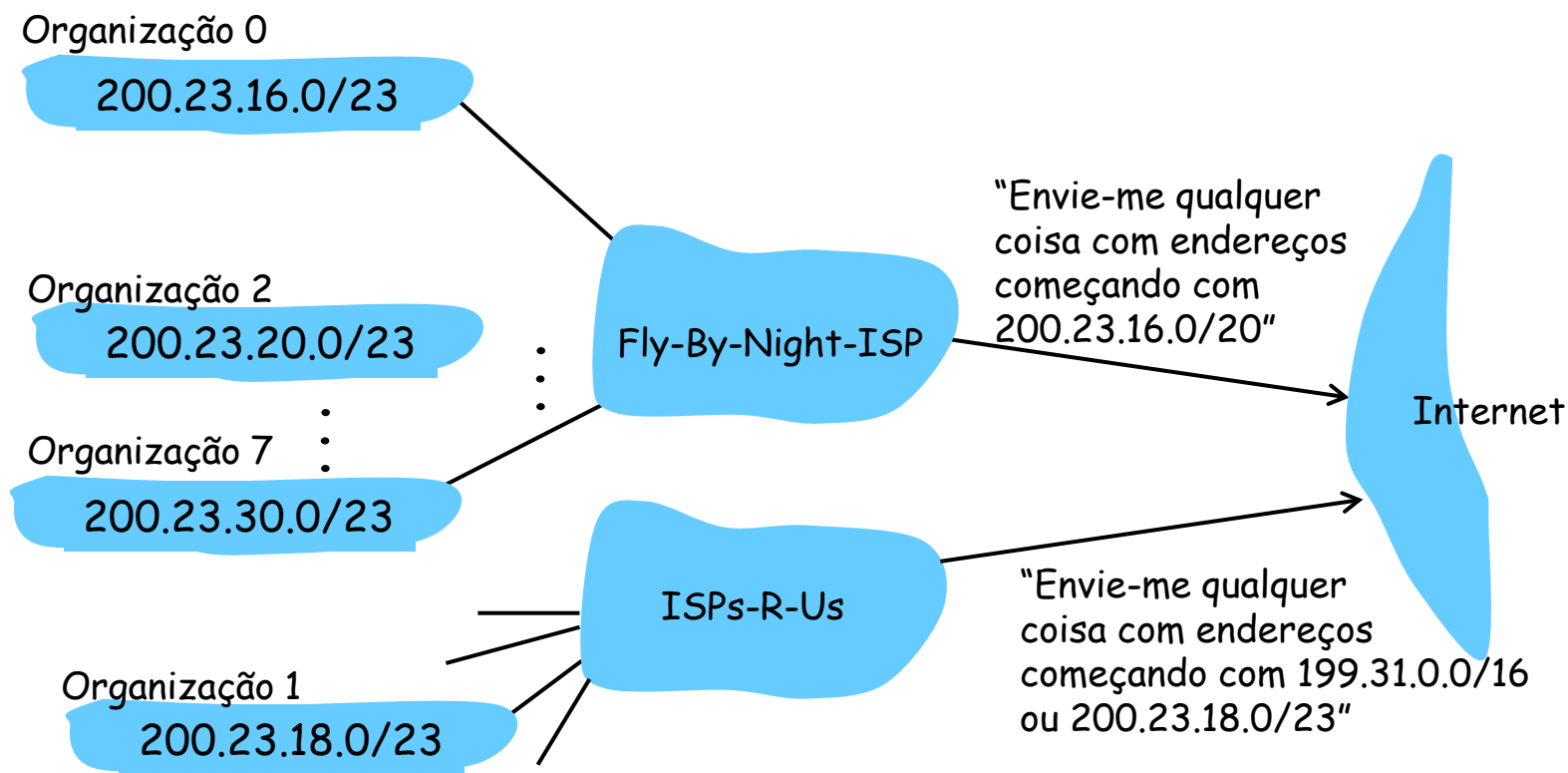
Endereçamento hierárquico: agregação de rota

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



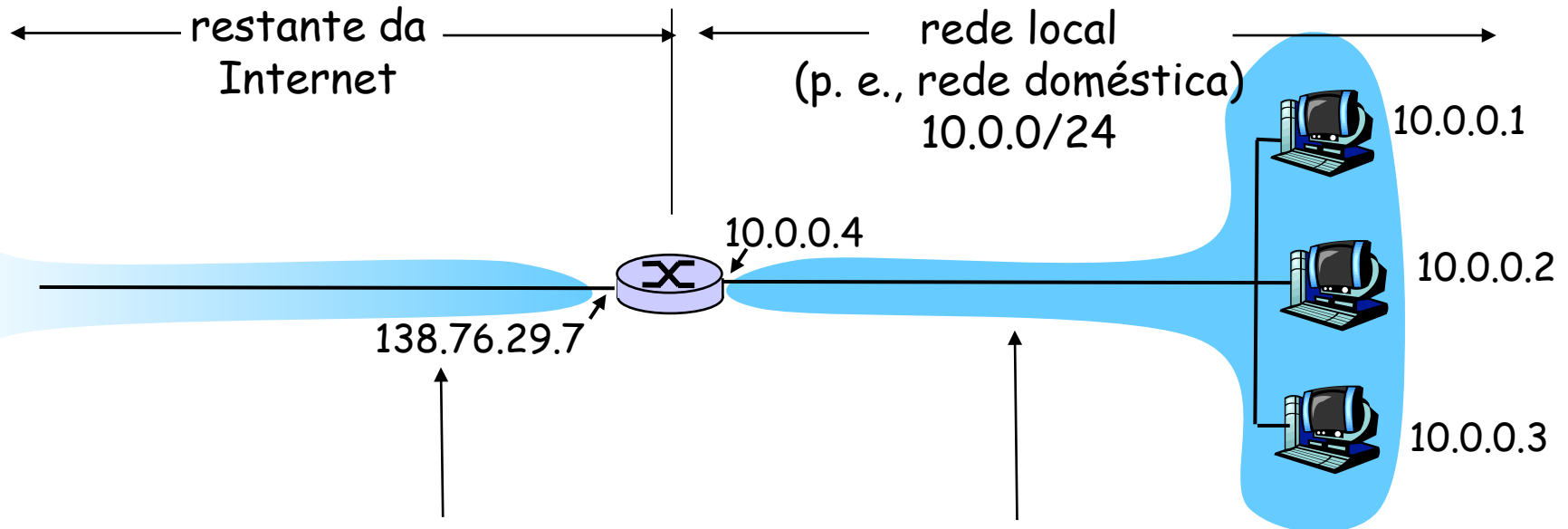
Endereçamento IP: a última palavra...

P: Como um ISP recebe bloco de endereços?

R: **ICANN**: Internet **C**orporation for **A**ssigned
Names 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:

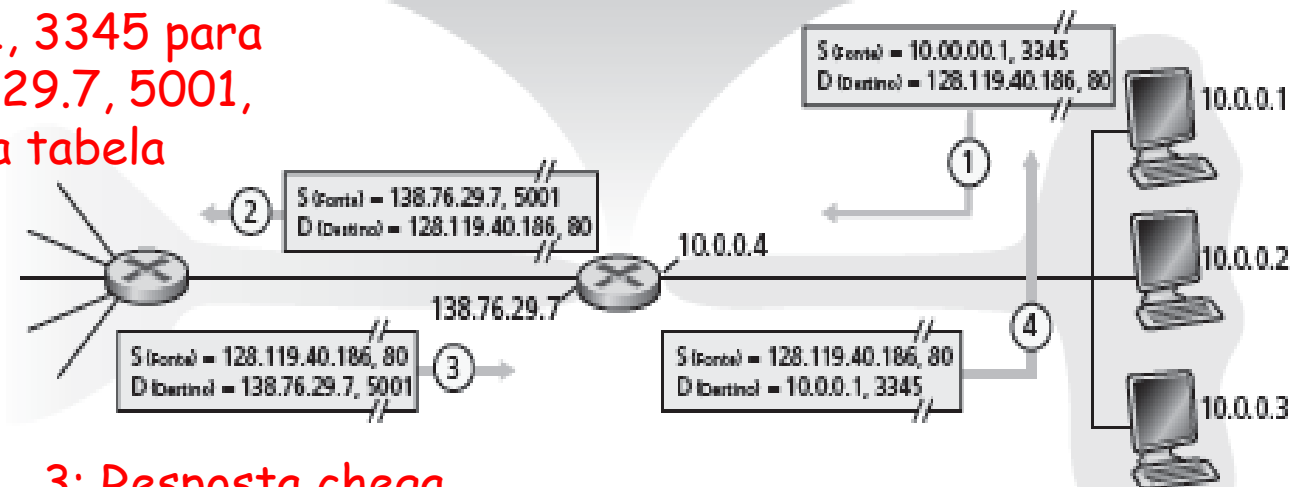
- *enviando datagramas: substituir* (endereço IP de origem, # porta) de cada datagrama saindo por (endereço IP da NAT, novo # porta)
... clientes/servidores remotos responderão usando (endereço IP da NAT, novo # porta) como endereço de destino
- *lembrar (na tabela de tradução NAT)* de cada par de tradução (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

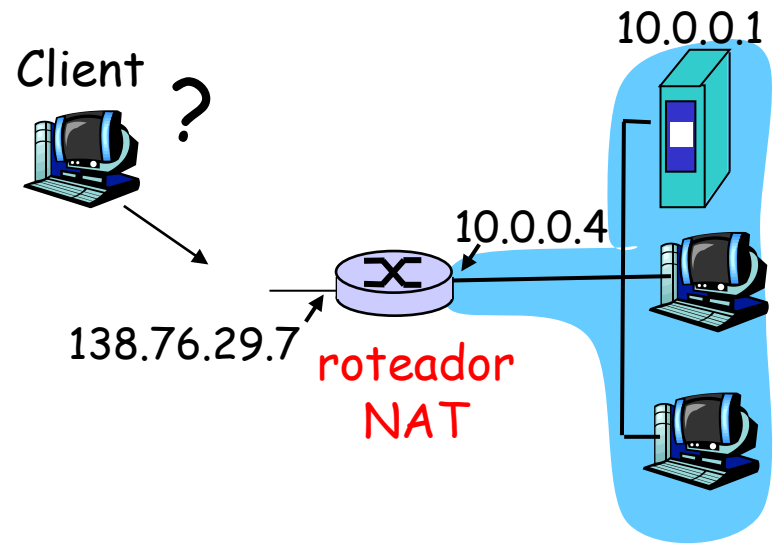
4: roteador NAT muda endereço de destino do datagrama de 138.76.29.7, 5001 para 10.0.0.1, 3345

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 controvertido:
 - 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 P2P
 - a falta de endereços será ser resolvida pelo IPv6

Problema da travessia da NAT

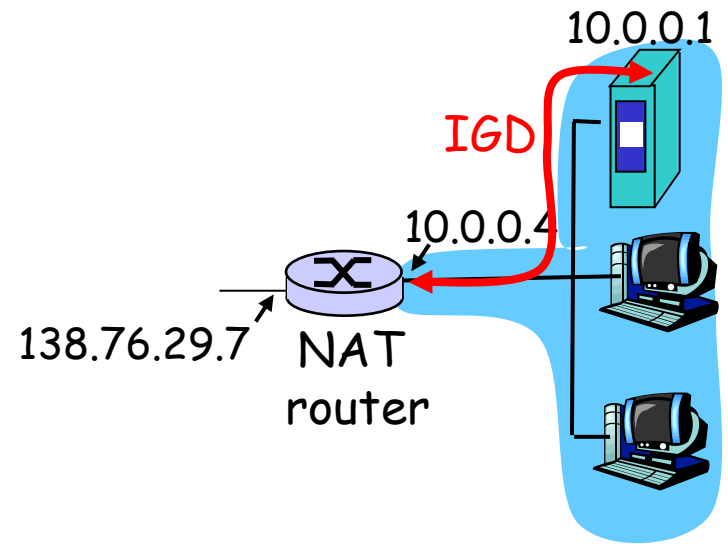
- ❑ cliente quer se conectar ao servidor com endereço 10.0.0.1
 - endereço do servidor 10.0.0.1 local à LAN (cliente não pode usá-lo como endereço destino)
 - apenas um endereço NAT visível externamente: 138.76.29.7
- ❑ solução 1: configure a NAT estaticamente para repassar as solicitações de conexão que chegam a determinada porta ao servidor
 - p. e., (123.76.29.7, porta 2500) sempre repassado para 10.0.0.1 porta 25000



Problema da travessia da NAT

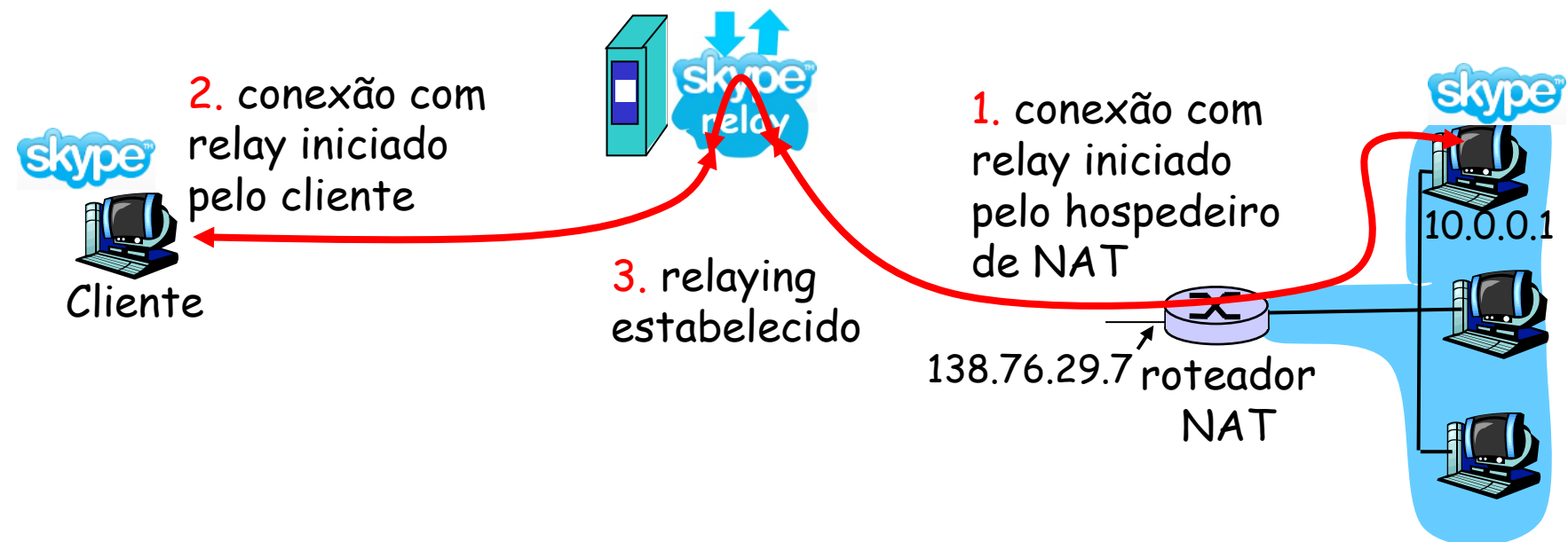
- ❑ solução 2: Universal Plug and Play (UPnP) Internet Gateway Device (IGD) Protocol. Permite que o hospedeiro com NAT:
 - ❖ descubra endereço IP público (138.76.29.7)
 - ❖ inclua/remova mapeamentos de porta (com tempos de posse)

ou seja, automatizar configuração estática do mapa de porta NAT



Problema da travessia da NAT

- ❑ solução 3: repasse (usado no Skype)
 - cliente com NAT estabelece conexão com repasse
 - cliente externo se conecta ao repasse
 - repasse liga pacotes entre duas conexões



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

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