

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

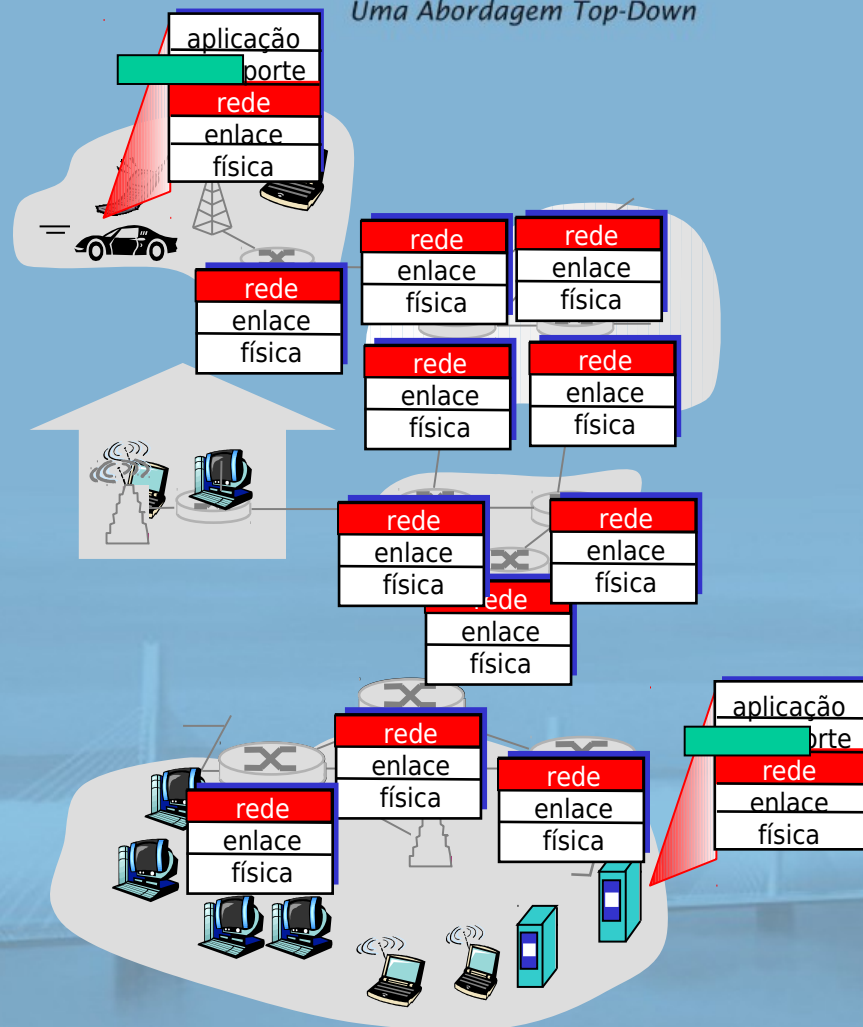
Camada de rede

- ❑ 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

REDES DE COMPUTADORES E A INTERNET

5ª edição

Uma Abordagem Top-Down



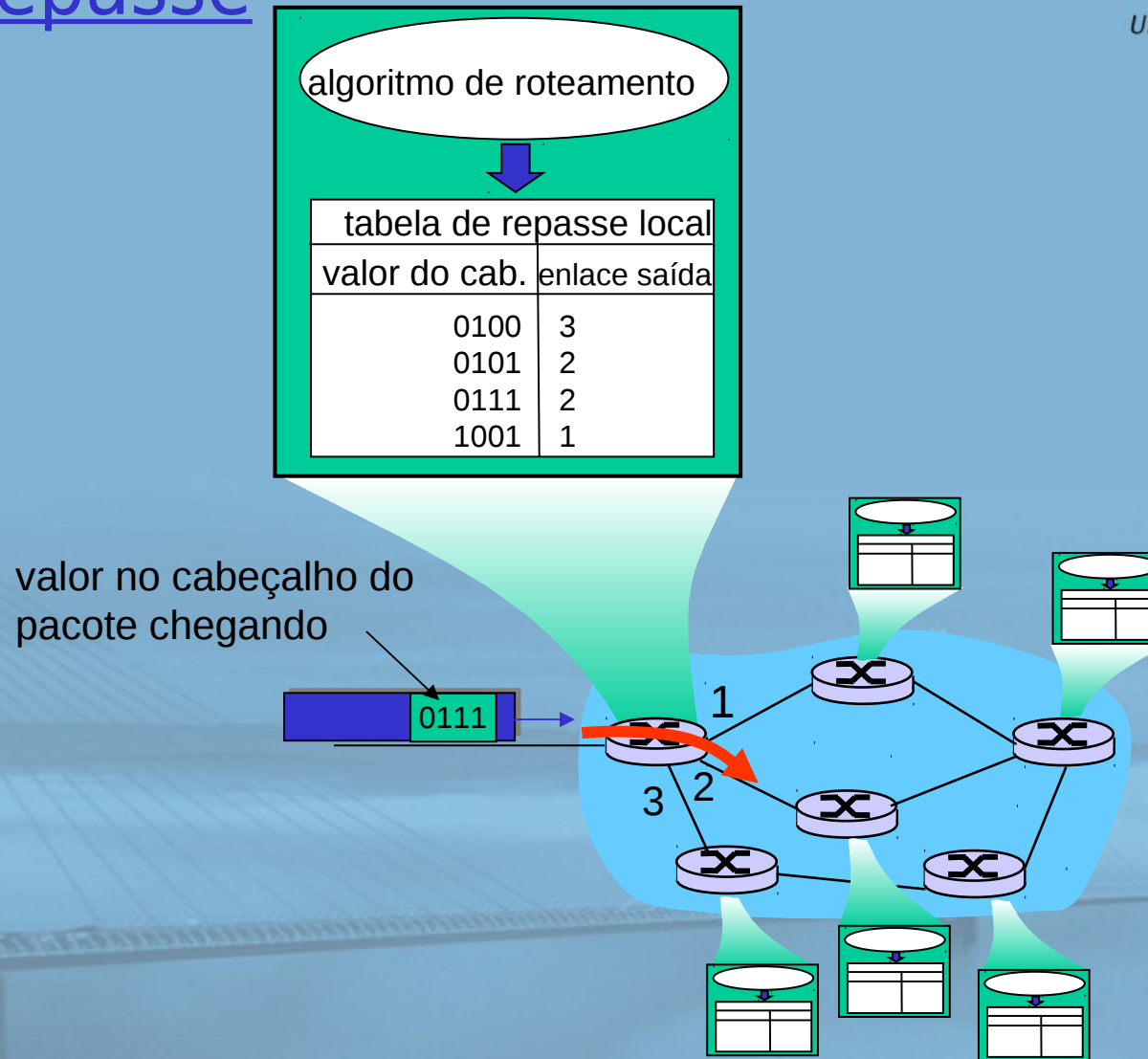
Duas importantes funções da camada de rede

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

analogia:

- ❑ *roteamento*: processo de planejamento da viagem da origem ao destino
- ❑ *repasse*: processo de passar por um único cruzamento

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 circuitos virtuais)
 - **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:

REDES DE COMPUTADORES E A INTERNET

5ª edição

Uma Abordagem Top-Down

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 Circuito Virtual (CV) 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 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)

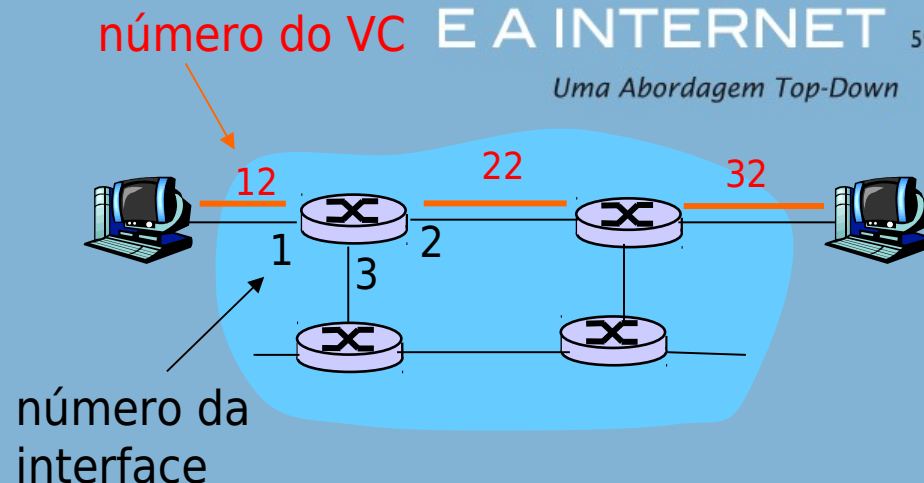
Implementação do VC

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:

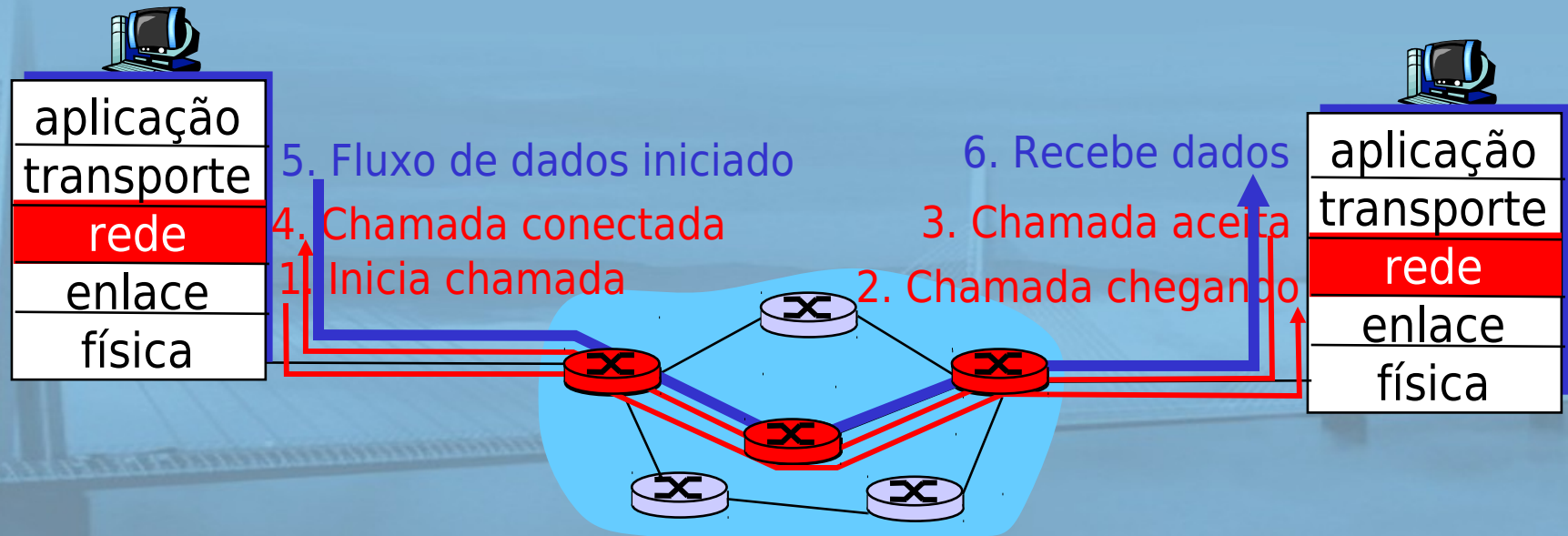


Interface de entrada	Nº do CV de entrada	Interface de saída	Nº do CV de saída
1	12	2	22
2	63	1	18
3	7	2	17
1	97	3	87
...

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

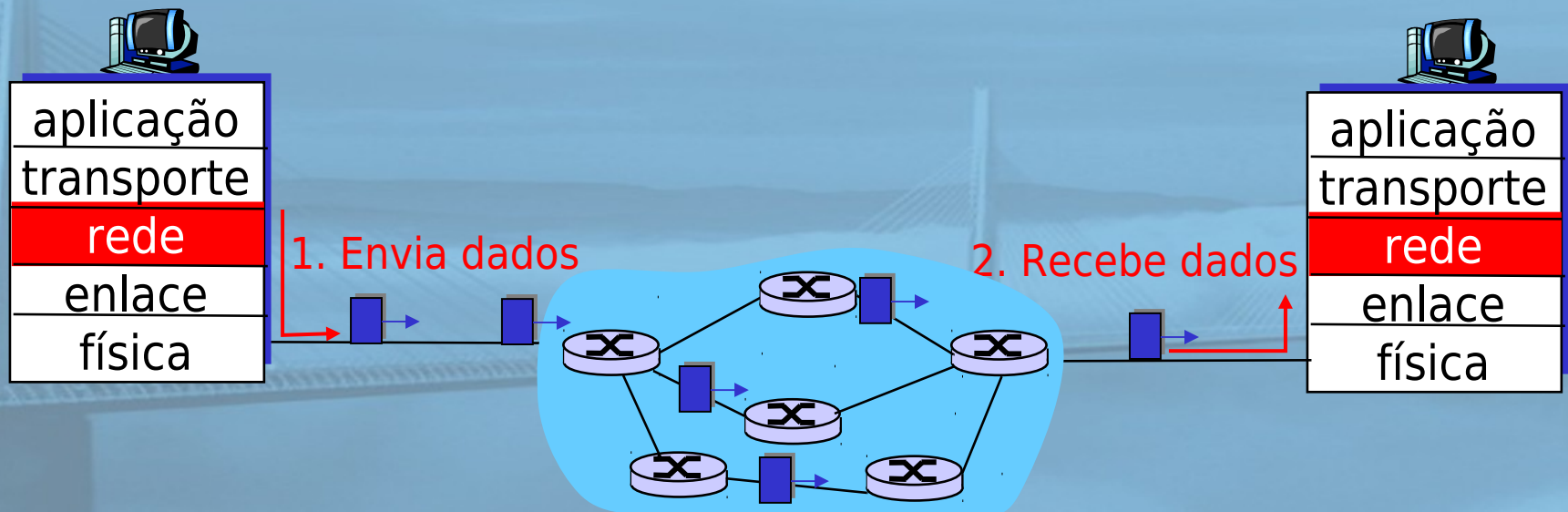


Tabela de repasse

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 (default)	3

Prefixos e Máscaras

- Tamanho do prefixo determinado por IP + máscara
- IP = 200.1.1.1 (11001000.00000001.00000001.00000001)
 - Máscara: 255.255.255.0/24 → 11001000.00000001.00000001
 - Máscara: 255.255.0.0/16 → 11001000.00000001
 - Máscara: 255.128.0.0/9 → 11001000.0

Exemplos

11001000 00010111 00010110 10100001

Qual interface?

11001000 00010111 00011000 10101010

Qual interface?

Rede de datagramas ou CV: por quê?

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 (CV)

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

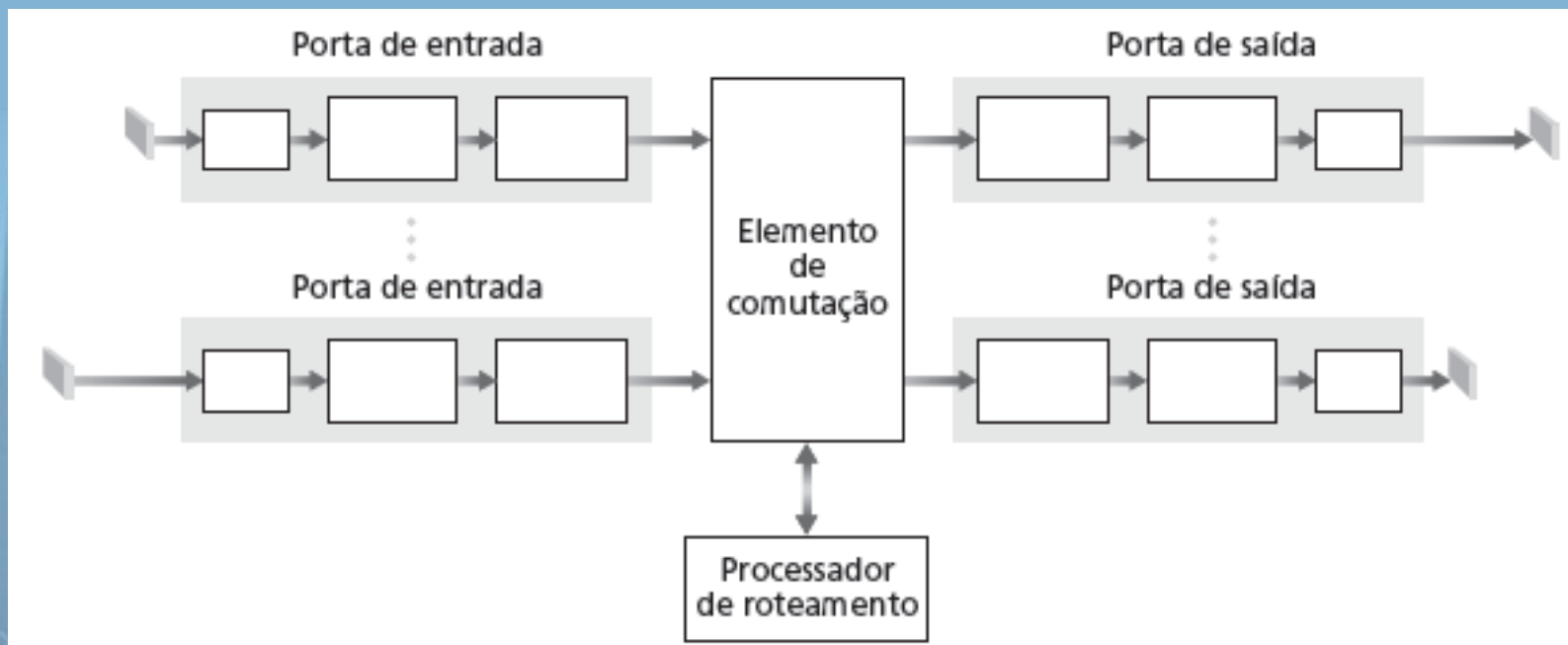
Capítulo 4: Camada de rede

- ❑ 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

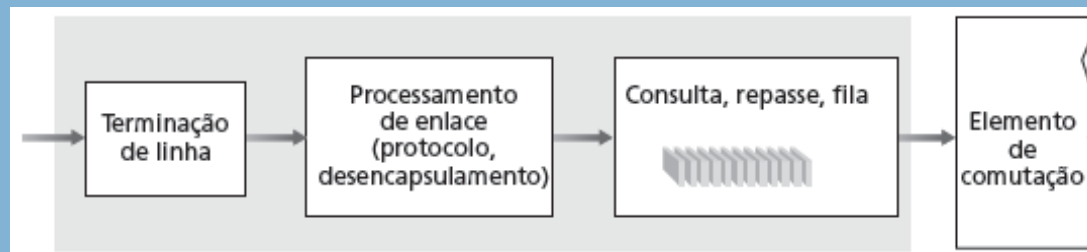
Visão geral da arquitetura do roteador

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

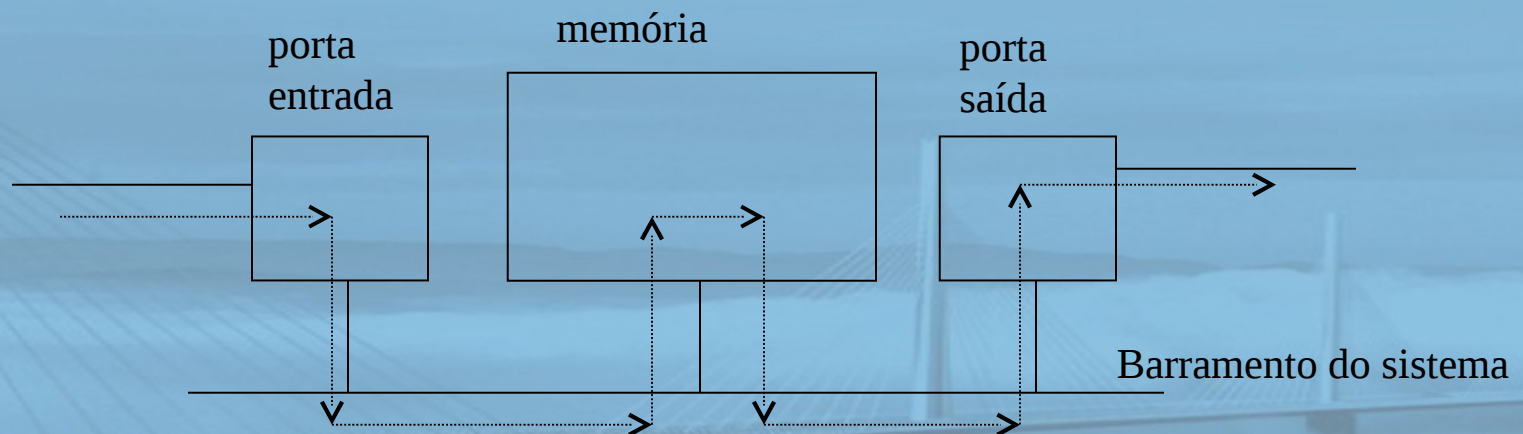
Comutação descentralizada:

- ❑ dado destino do datagrama, porta de saída de pesquisa usando tabela de repasse na memória da porta de entrada
- ❑ 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

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)



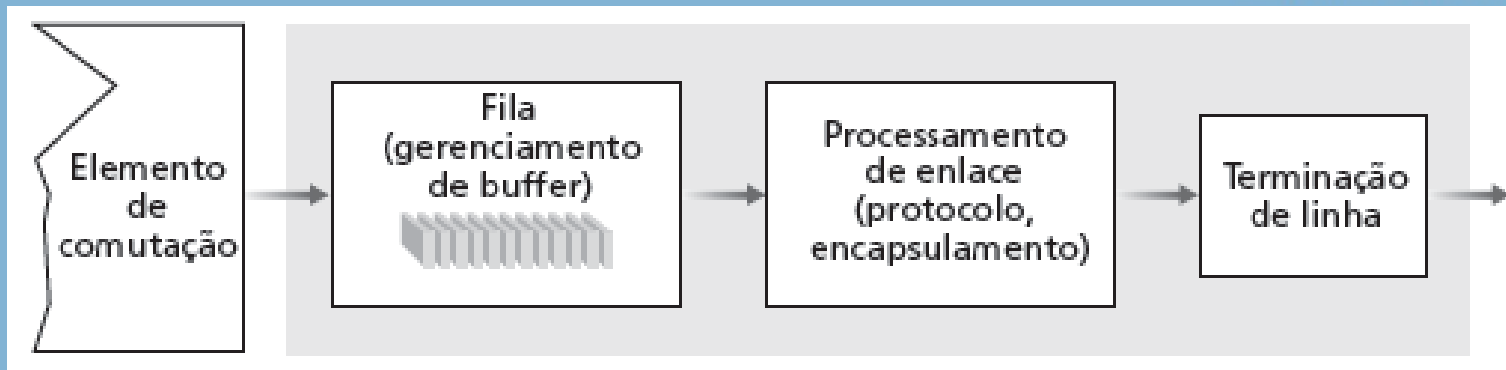
Comutação por um barramento

- ❑ 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

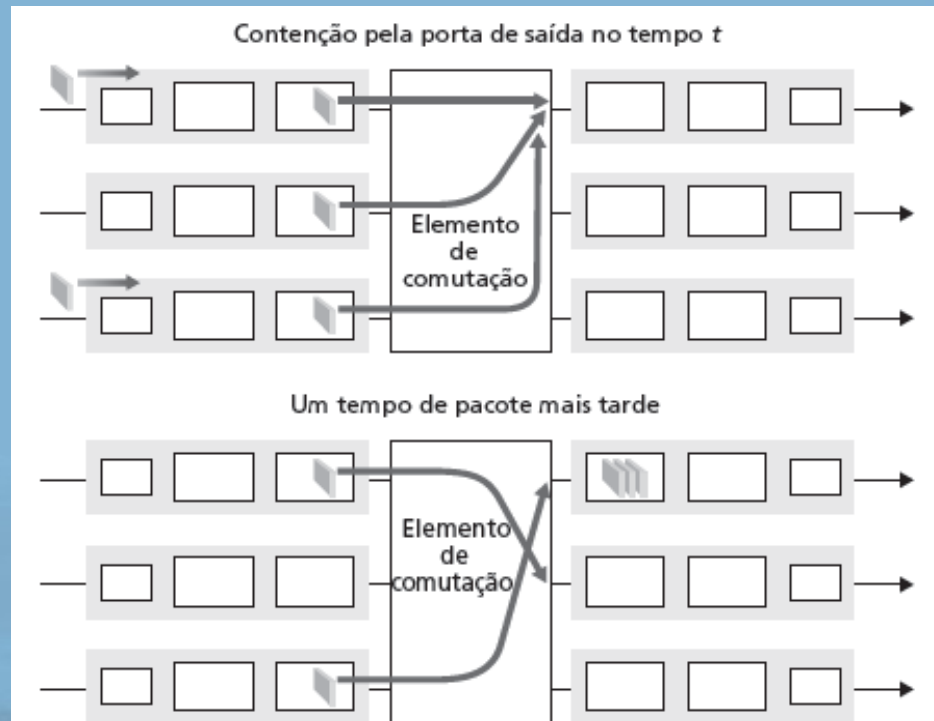
- ❑ contorna limitações de largura de banda do barramento
- ❑ outras redes de interconexão desenvolvidas inicialmente para conectar processadores no multiprocessador
- ❑ projeto avançado: fragmenta datagrama em células de tamanho fixo, comuta células através do elemento de comutação
- ❑ Cisco 12000: 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!*

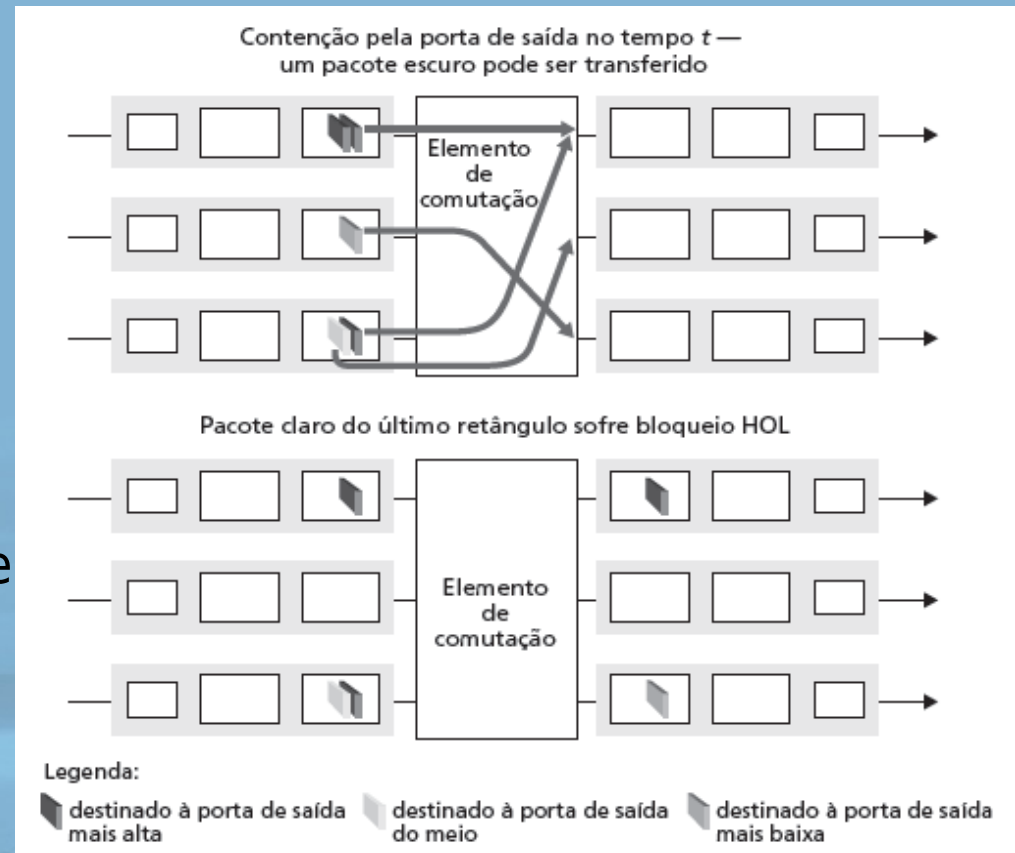
Quanto armazenamento em buffer?

- ❑ regra prática da RFC 3439: armazenamento médio em buffer igual à RTT “típica” (digamos, 250 ms) vezes capacidade do enlace C
 - p. e., C = enlace de 10 Gps: buffer de 2,5 Gbit
- ❑ recomendação recente: com N fluxos, armazenamento deve ser igual a

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

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**

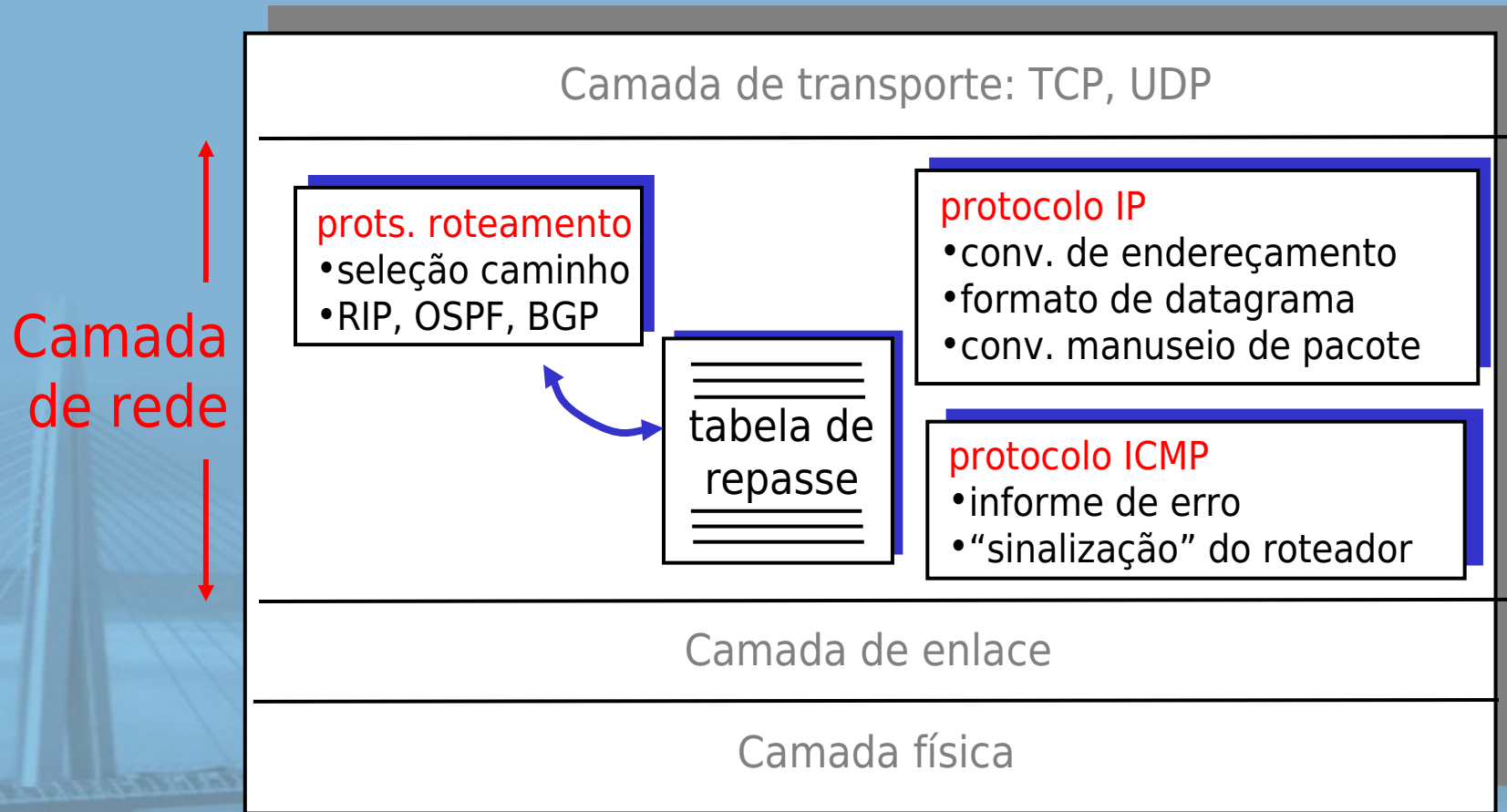


Capítulo 4: Camada de rede

- ❑ 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

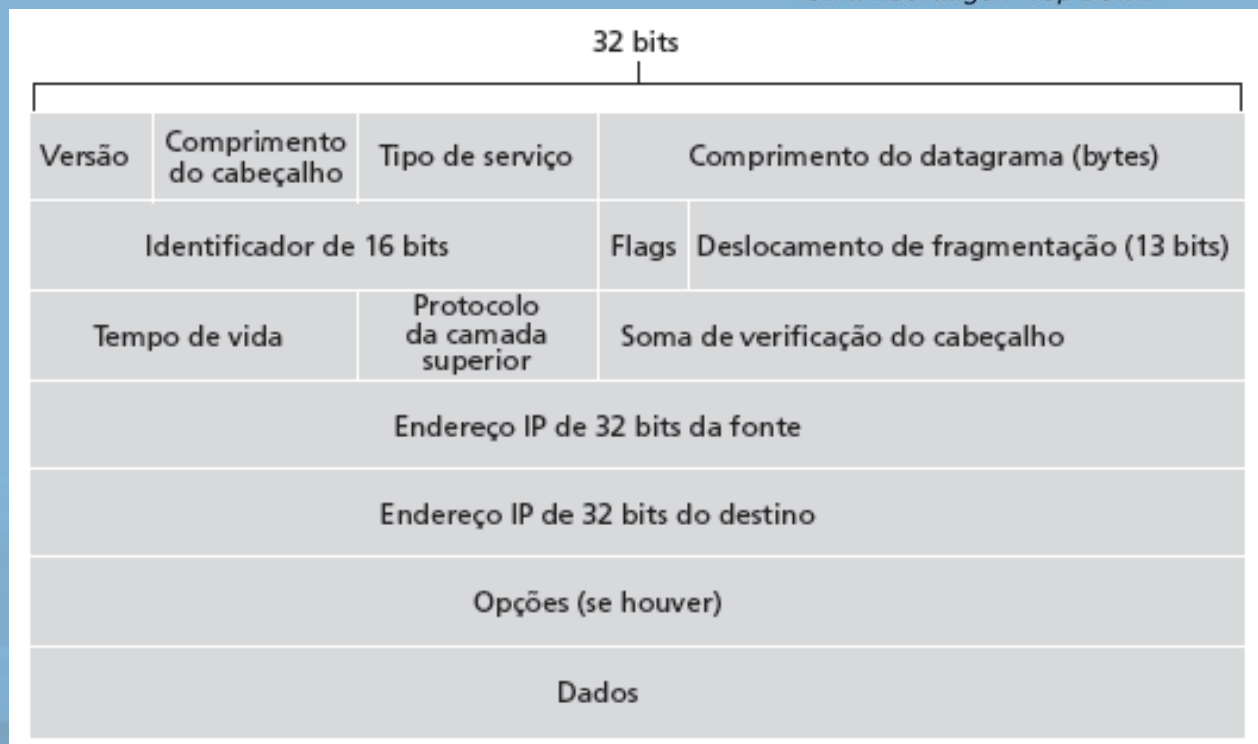
Funções na camada de rede do hospedeiro e roteador:



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

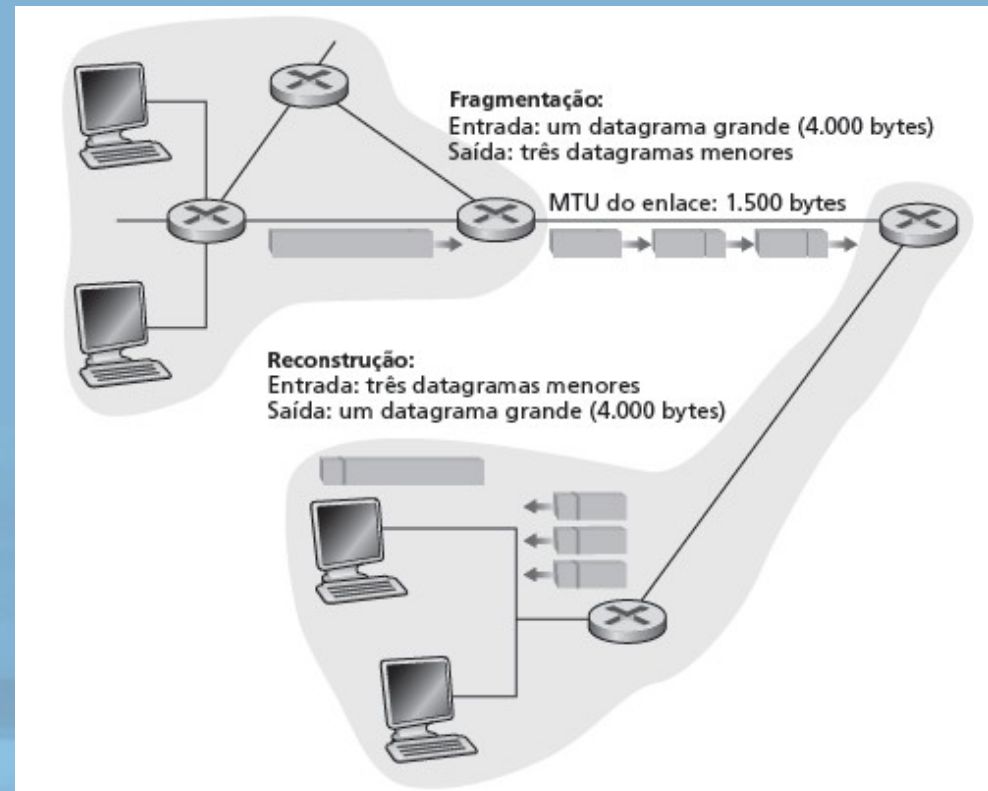


Quanto overhead com TCP?

- ❑ 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
- ❑ 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

deslocamento = $1480/8$

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

x

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

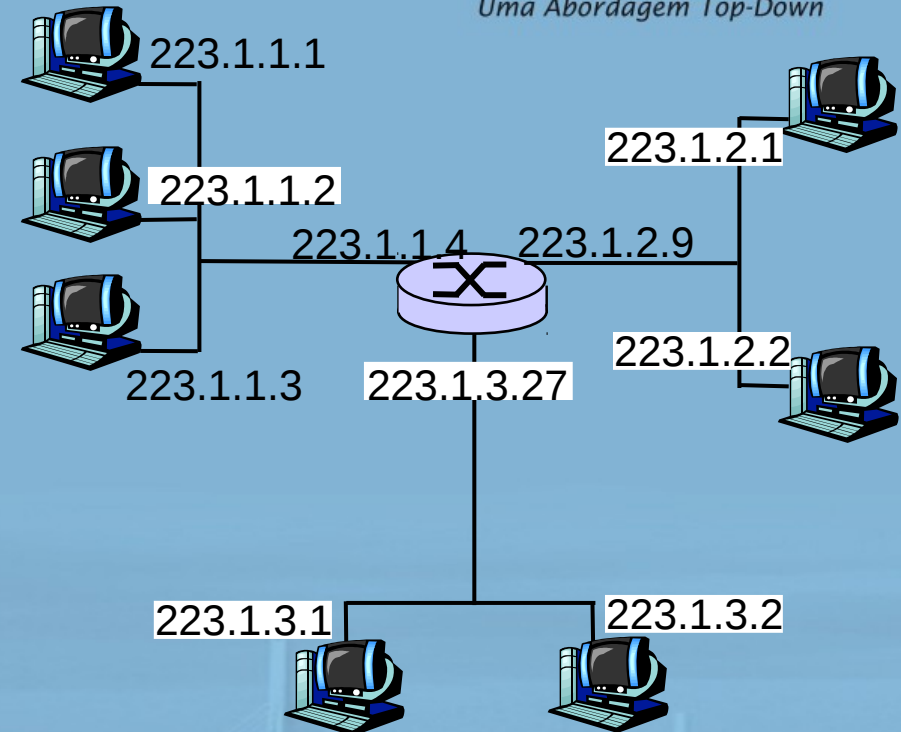
	tam.	ID	fragflag	desloc.	
	= 1060	= x	= 0	= 370	

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



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

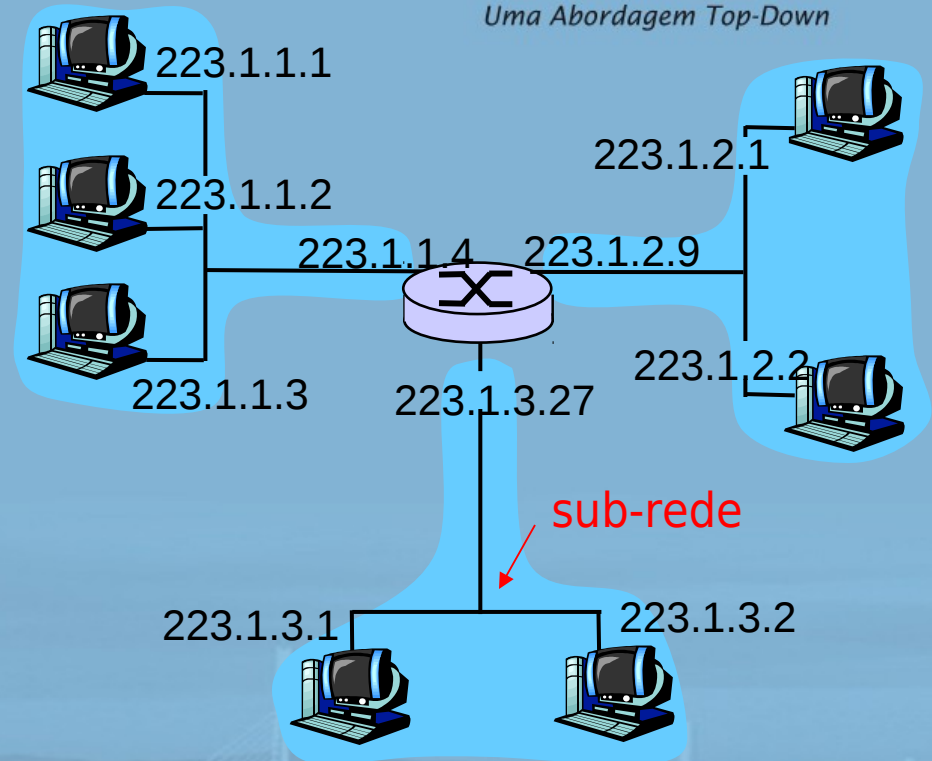
Sub-redes

❑ endereço IP:

- parte da sub-rede (bits de alta ordem)
- parte do host (bits de baixa ordem)

❑ *O que é uma sub-rede?*

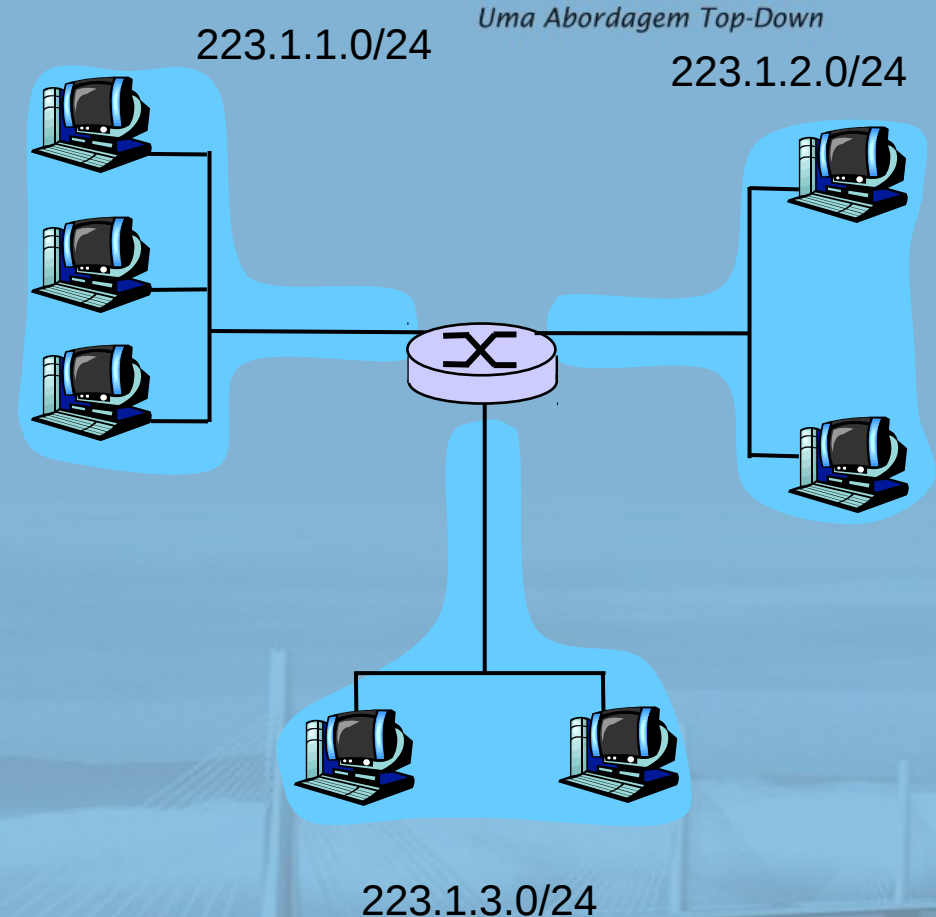
- dispositivo se conecta à mesma parte da sub-rede do endereço IP
- pode alcançar um ao outro fisicamente sem roteador intermediário



rede consistindo em 3 sub-redes

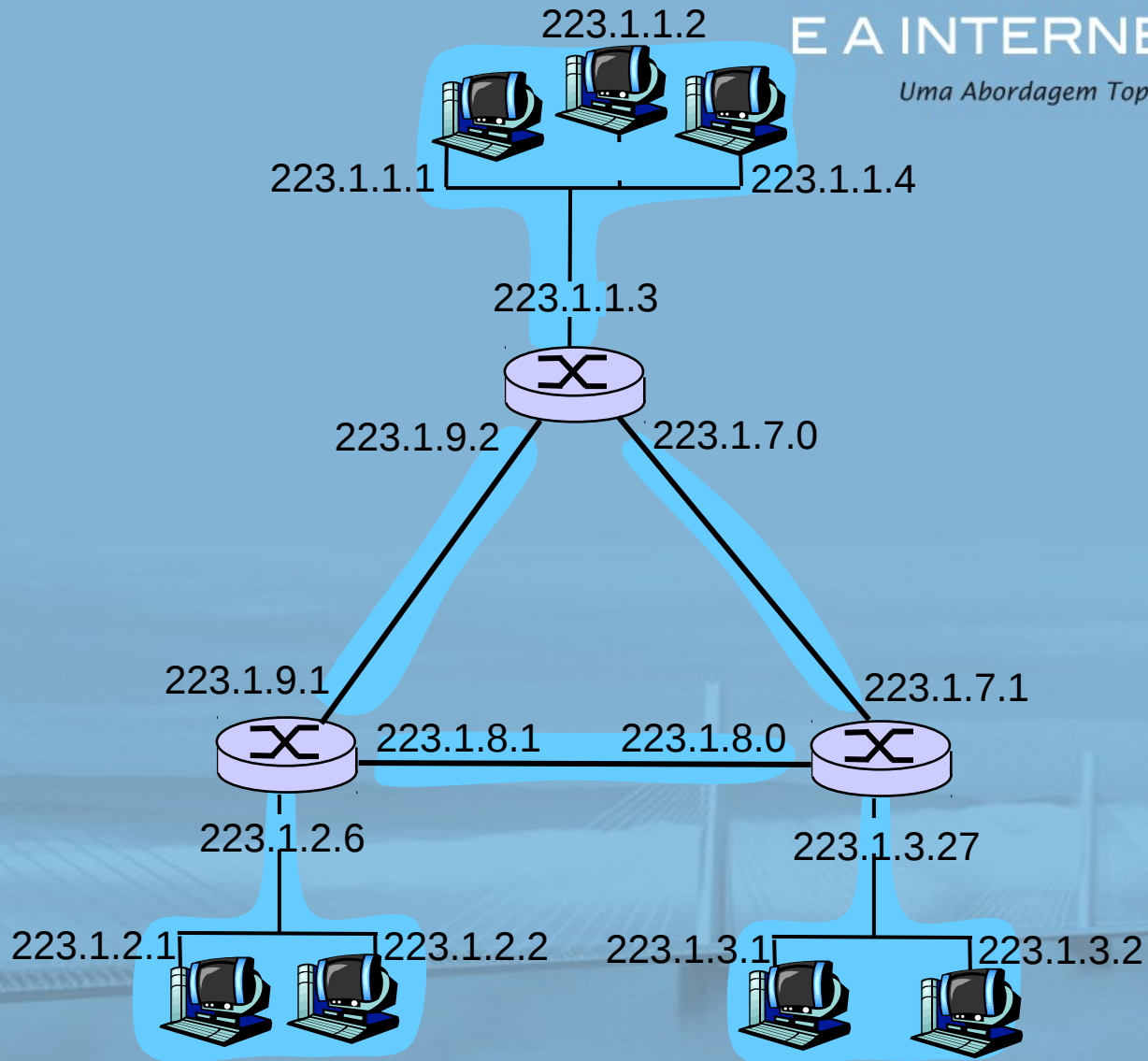
Receita

- 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

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
- x é a quantidade de uns na máscara de rede



200.23.16.0/23