

Capítulo 1

Introdução

Uma observação sobre o uso desses slides do PowerPoint:

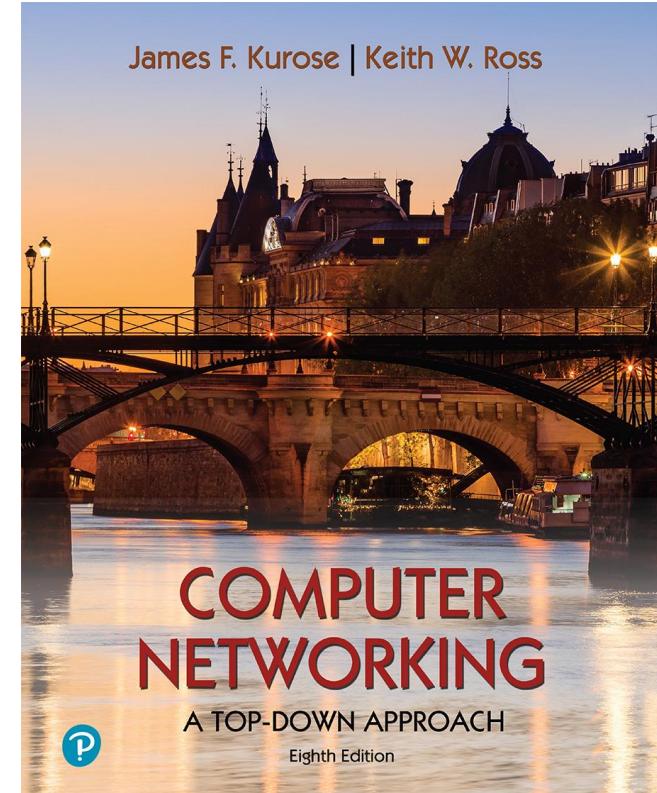
Estamos disponibilizando esses slides gratuitamente para todos (professores, alunos, leitores). Eles estão no formato PowerPoint para que você veja as animações e possa adicionar, modificar e excluir slides (inclusive este) e o conteúdo dos slides para atender às suas necessidades. Obviamente, eles representam *muito* trabalho de nossa parte. Em troca do uso, pedimos apenas o seguinte:

- Se você usar esses slides (por exemplo, em uma aula), mencione a fonte (afinal, gostaríamos que as pessoas usassem nosso livro!)
- Se você publicar algum slide em um site www, informe que ele foi adaptado de nossos slides (ou talvez idêntico a eles) e informe nossos direitos autorais sobre esse material.

Para obter um histórico de revisões, consulte a nota do slide desta página.

Obrigado e divirta-se! JFK/KWR

Todos os materiais têm direitos autorais de 1996 a 2023
J.F. Kurose e K.W. Ross, Todos os direitos reservados



*Redes de computadores: A
Top-Down Approach (Uma
abordagem de cima para
baixo)*

8th edition
Jim Kurose, Keith Ross
Pearson, 2020

Capítulo 1: Introdução

Objetivo do capítulo:

- Obter "sensação", "visão geral", introdução à terminologia
 - mais profundidade, detalhes mais *adiante* no curso



Visão geral/roteiro:

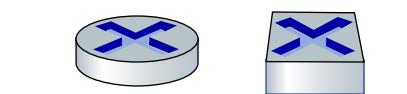
- O que é a Internet? O que é um protocolo?
- **Borda da rede:** hosts, rede de acesso, mídia física
- **Núcleo da rede:** comutação de pacotes/circuitos, quadro da Internet
- **Desempenho:** perda, atraso, taxa de transferência
- Camadas de protocolo, modelos de serviço
- Segurança
- Histórico

A Internet: componentes básicos



Bilhões de *dispositivos* de computação conectados:

- *hosts* = sistemas finais
- executando *aplicações de rede* na "borda" da Internet



Comutadores de pacotes: encaminham pacotes (pedaços de dados)

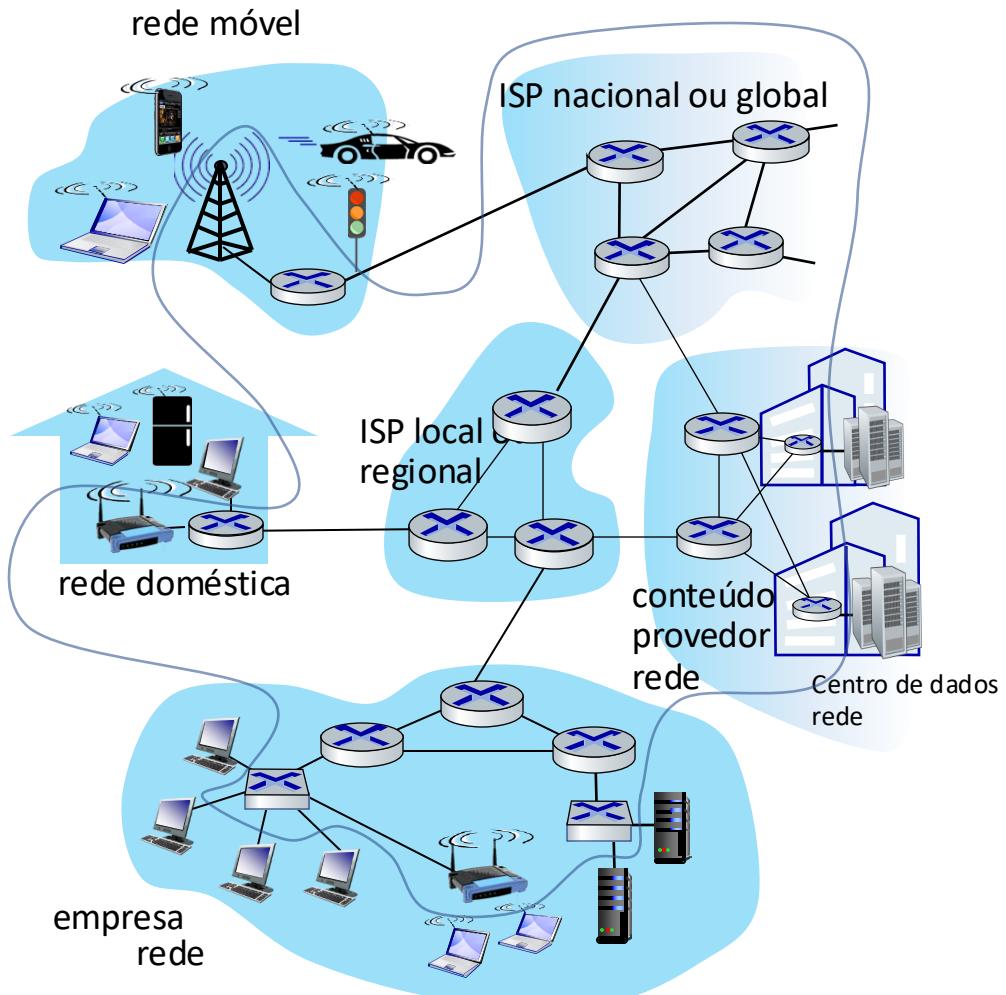
- roteadores, switches

Links de comunicação

- fibra, cobre, rádio, satélite
- taxa de transmissão: *largura de banda*

Redes

- coleção de dispositivos, roteadores, links: gerenciados por uma organização



Dispositivos "divertidos" conectados à Internet



Amazon Echo



Internet geladeira



âmera de segurança



Telefones com Internet



Porta-retratos IP



Slingbox: controle remoto
controle de TV a cabo



Marcapasso e monitor



Torradeira habilitada para a W
Previsão do tempo



sensorizado
cama
colchão



Fitbit



fraldas



Tweet por watt:
monitorar o uso de energia

bicicletas



carros

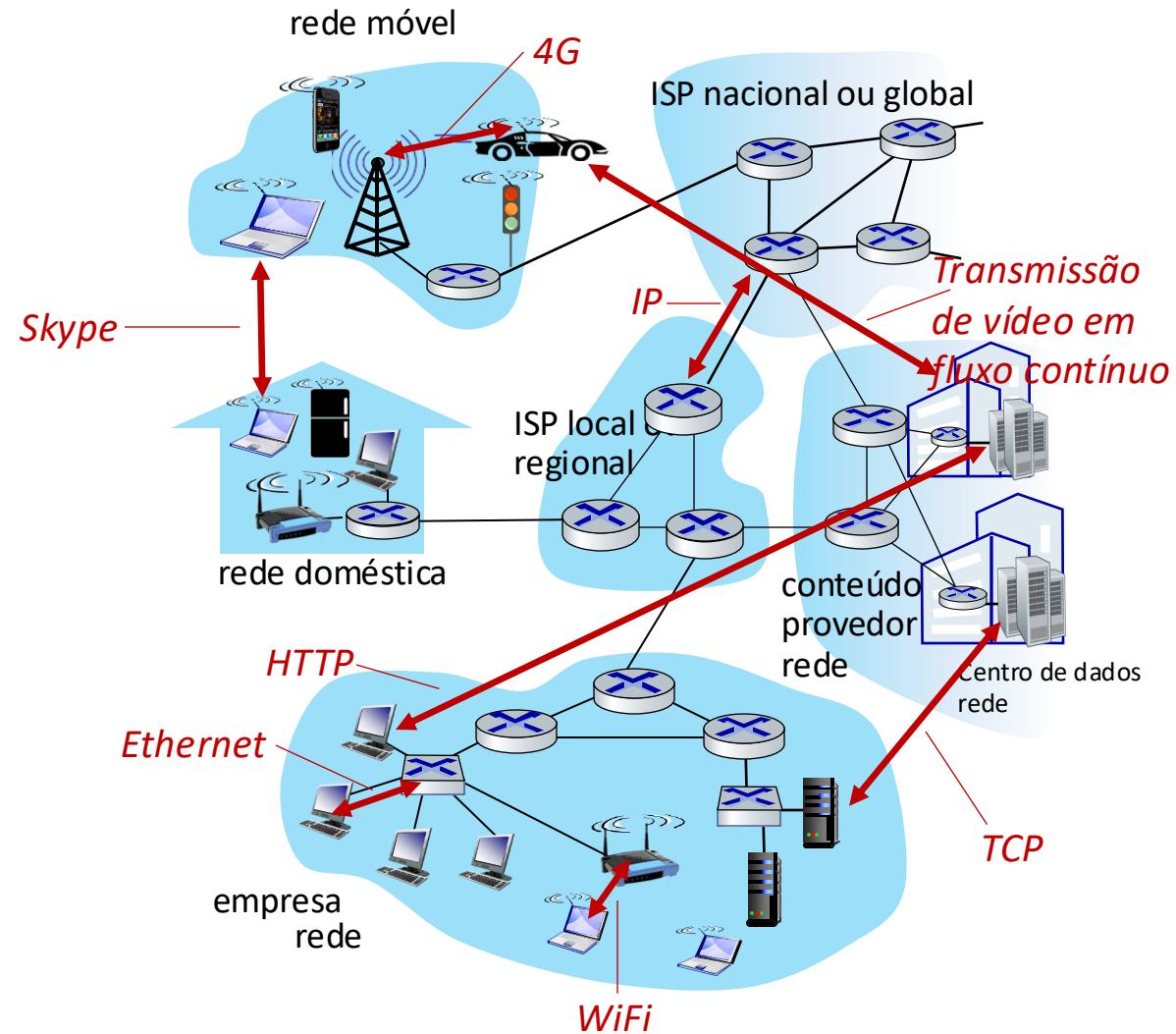


scooters

Outros?

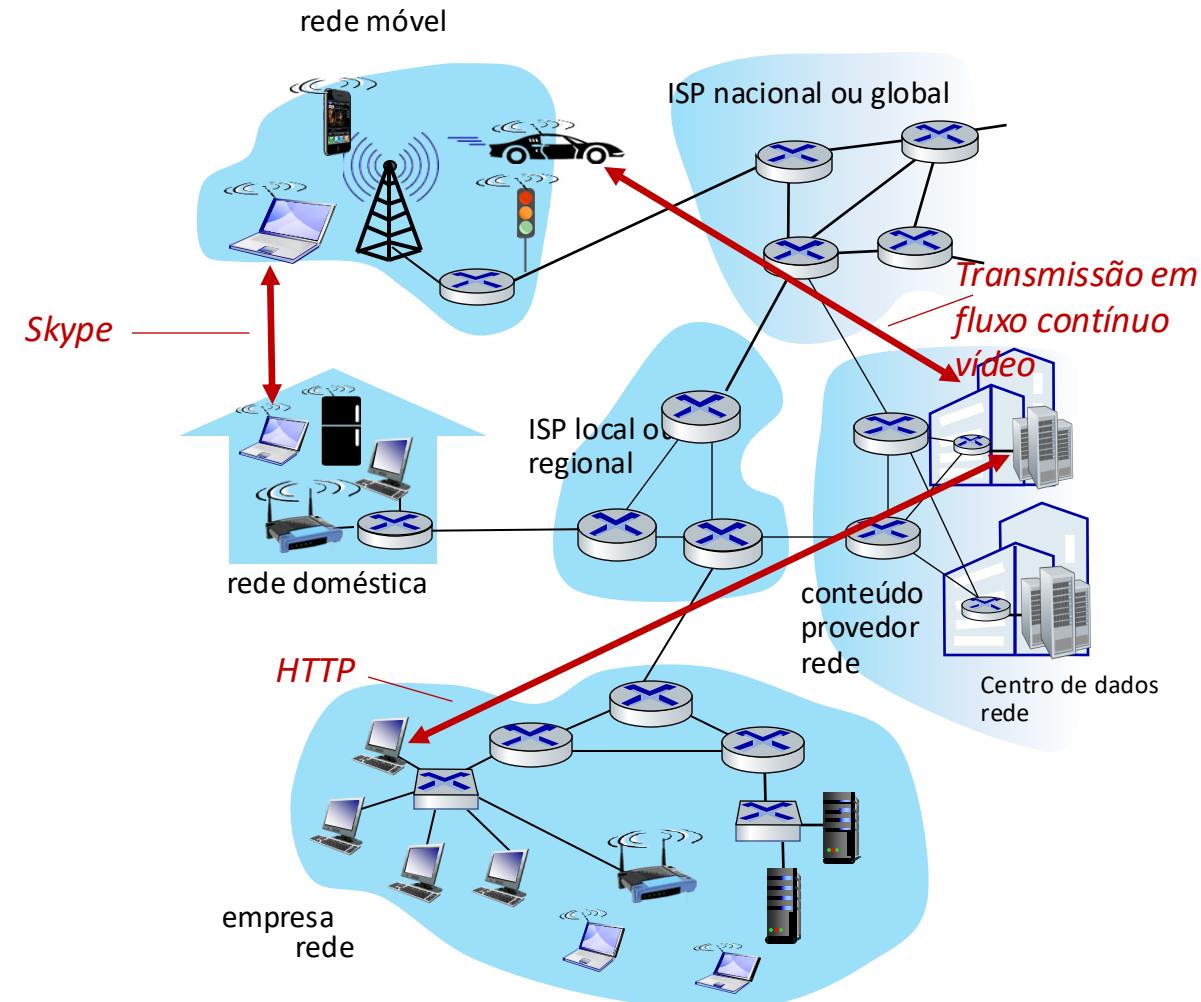
A Internet: componentes básicos

- *Internet: "rede de redes"*
 - ISPs interconectados
- *os protocolos estão em toda parte*
 - controle de envio e recebimento de mensagens
 - Por exemplo, HTTP (Web), streaming de vídeo, Skype, TCP, IP, WiFi, 4/5G, Ethernet
- *Padrões da Internet*
 - RFC: Solicitação de comentários
 - IETF: Força-tarefa de engenharia da Internet



A Internet: uma visão de "serviços"

- *Infraestrutura* que fornece serviços às aplicações:
 - Web, streaming de vídeo, teleconferência multimídia, e-mail, jogos, comércio eletrônico, mídia social, aparelhos interconectados, ...
- fornece *interface de programação* para aplicações distribuídos:
 - "ganchos" que permitem que os aplicativos de envio/recebimento se "conectem" e usem o serviço de transporte da Internet
 - fornece opções de serviço, análogas ao serviço postal



O que é um protocolo?

Protocolos humanos:

- "Que horas são?"
- "Eu tenho uma pergunta"
- apresentações

Regras para:

- ... mensagens específicas enviadas
- ... ações específicas tomadas quando a mensagem é recebida ou outros eventos

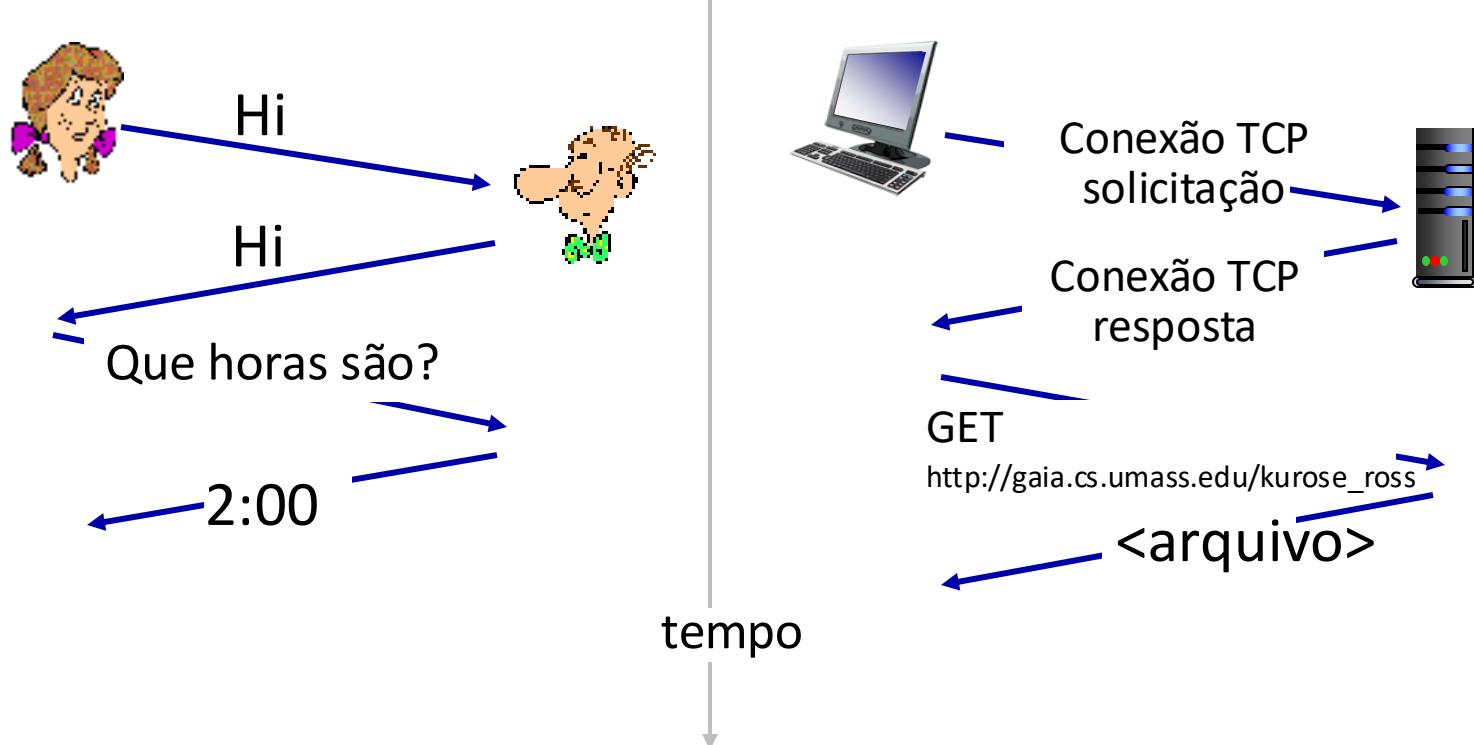
Protocolos de rede:

- computadores (dispositivos) em vez de humanos
- toda atividade de comunicação na Internet regida por protocolos

Os protocolos definem o formato, a ordem das mensagens enviadas e recebidas entre as entidades da rede e as ações tomadas na transmissão e no recebimento de mensagens

O que é um protocolo?

Um protocolo humano e um protocolo de rede de computadores:



Q: outros protocolos humanos?

Capítulo 1: roteiro

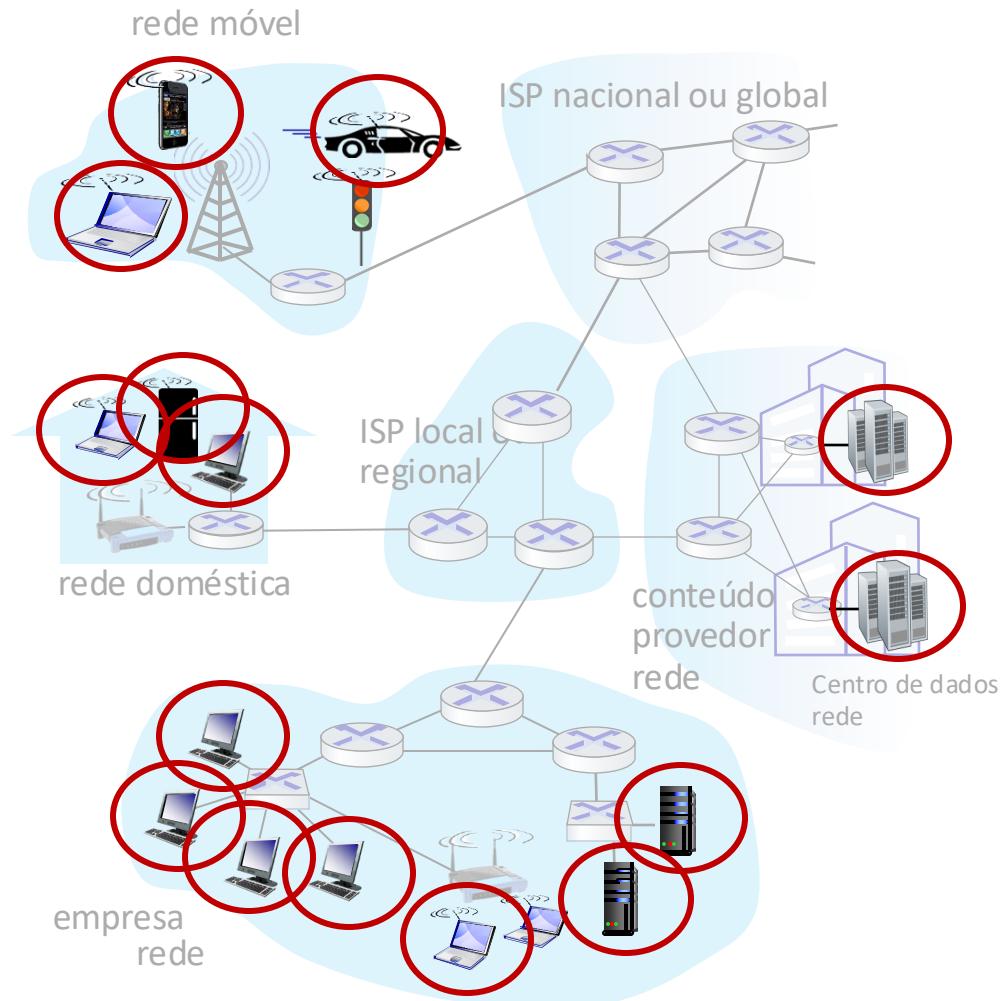
- O que é a Internet?
- O que é um protocolo?
- **Borda da rede:** hosts, rede de acesso, mídia física
- Núcleo da rede: comutação de pacotes/circuitos, quadro da Internet
- Desempenho: perda, atraso, taxa de transferência
- Segurança
- Camadas de protocolo, modelos de serviço
- Histórico



Um olhar mais atento à quadro da Internet

Borda da rede:

- hosts: clientes e servidores
- servidores frequentemente em centros de dados



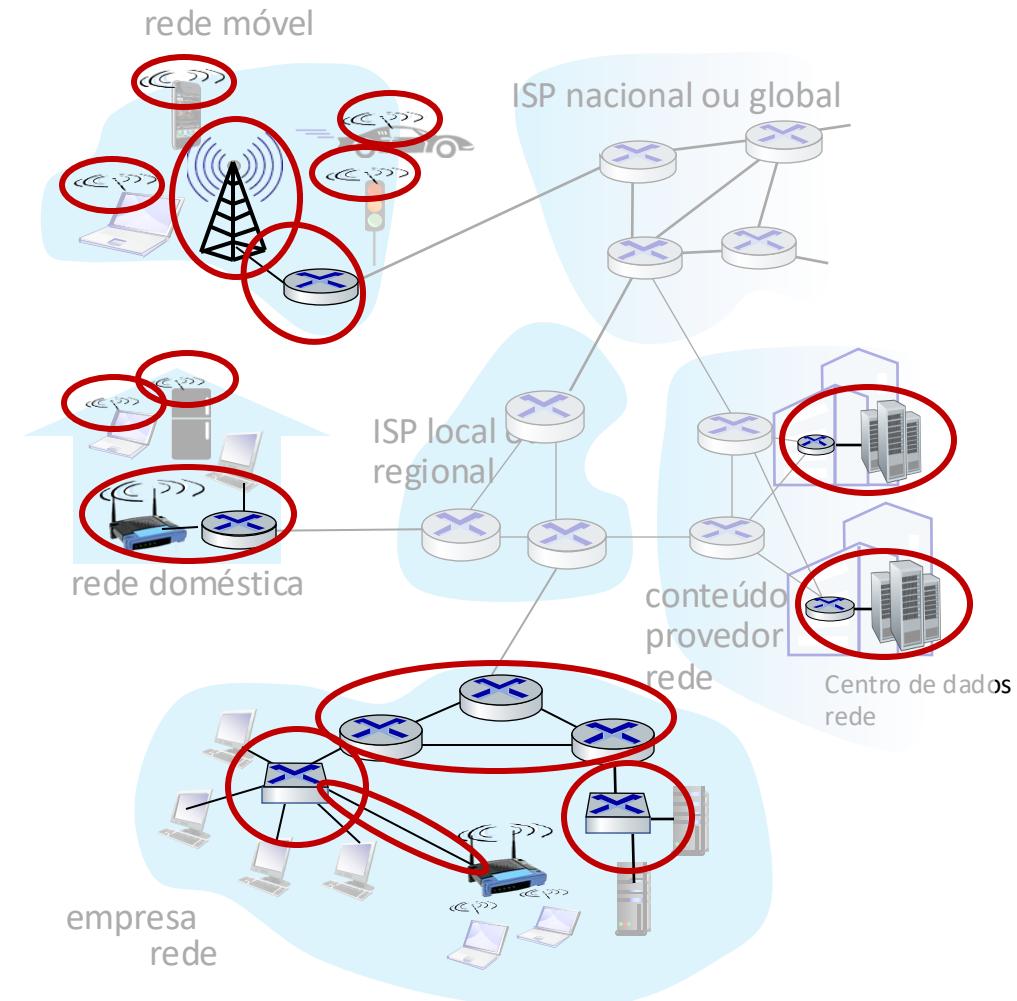
Um olhar mais atento à quadro da Internet

Borda da rede:

- hosts: clientes e servidores
- servidores frequentemente em centros de dados

Redes de acesso, mídia física:

- **links** de comunicação com fio e sem fio



Um olhar mais atento à quadro da Internet

Borda da rede:

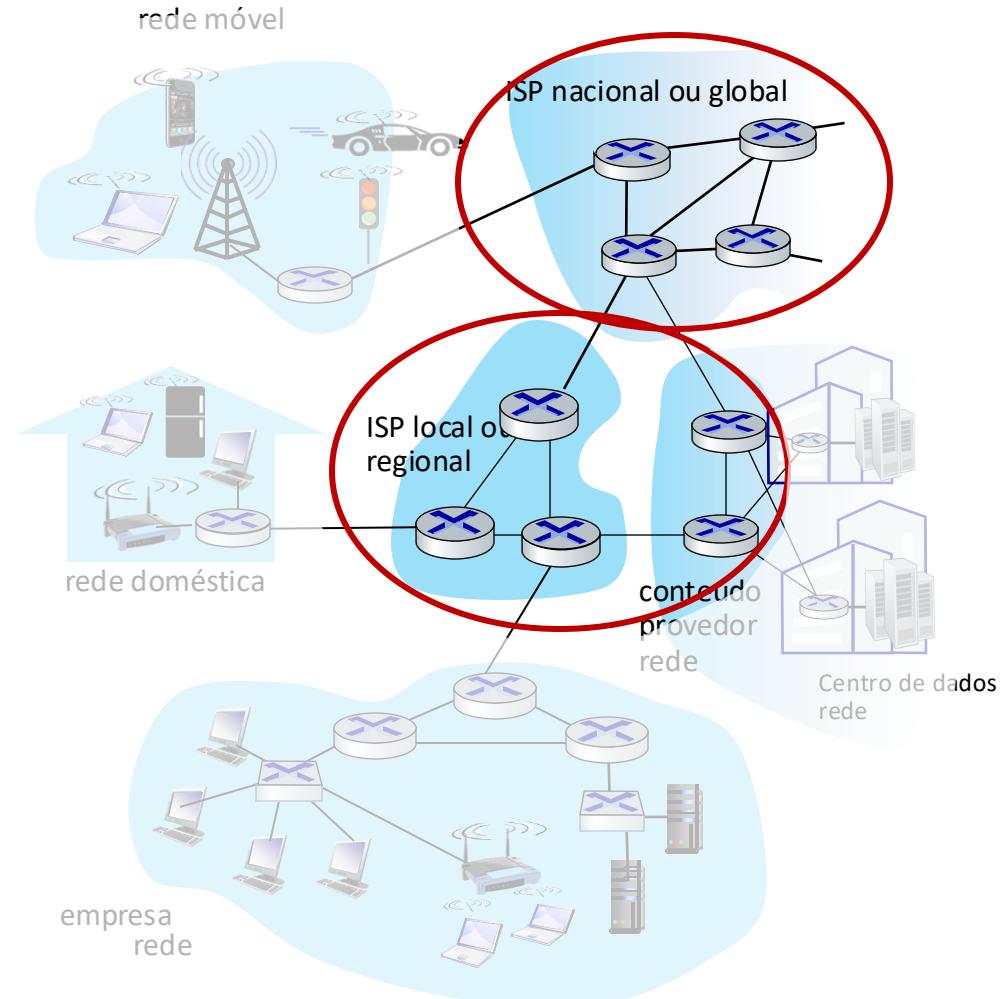
- hosts: clientes e servidores
- servidores frequentemente em centros de dados

Redes de acesso, mídia física:

- links de comunicação com fio e sem fio

Núcleo da rede:

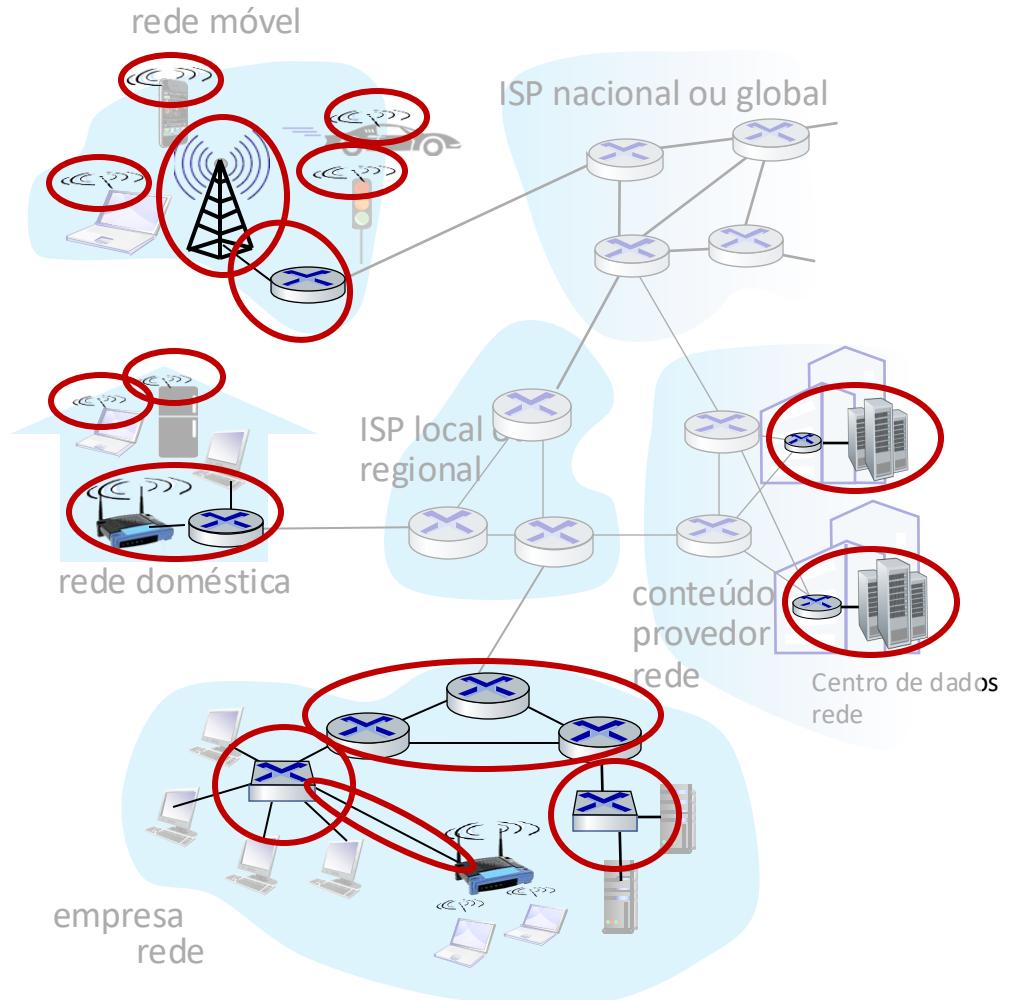
- roteadores interconectados
- rede de redes



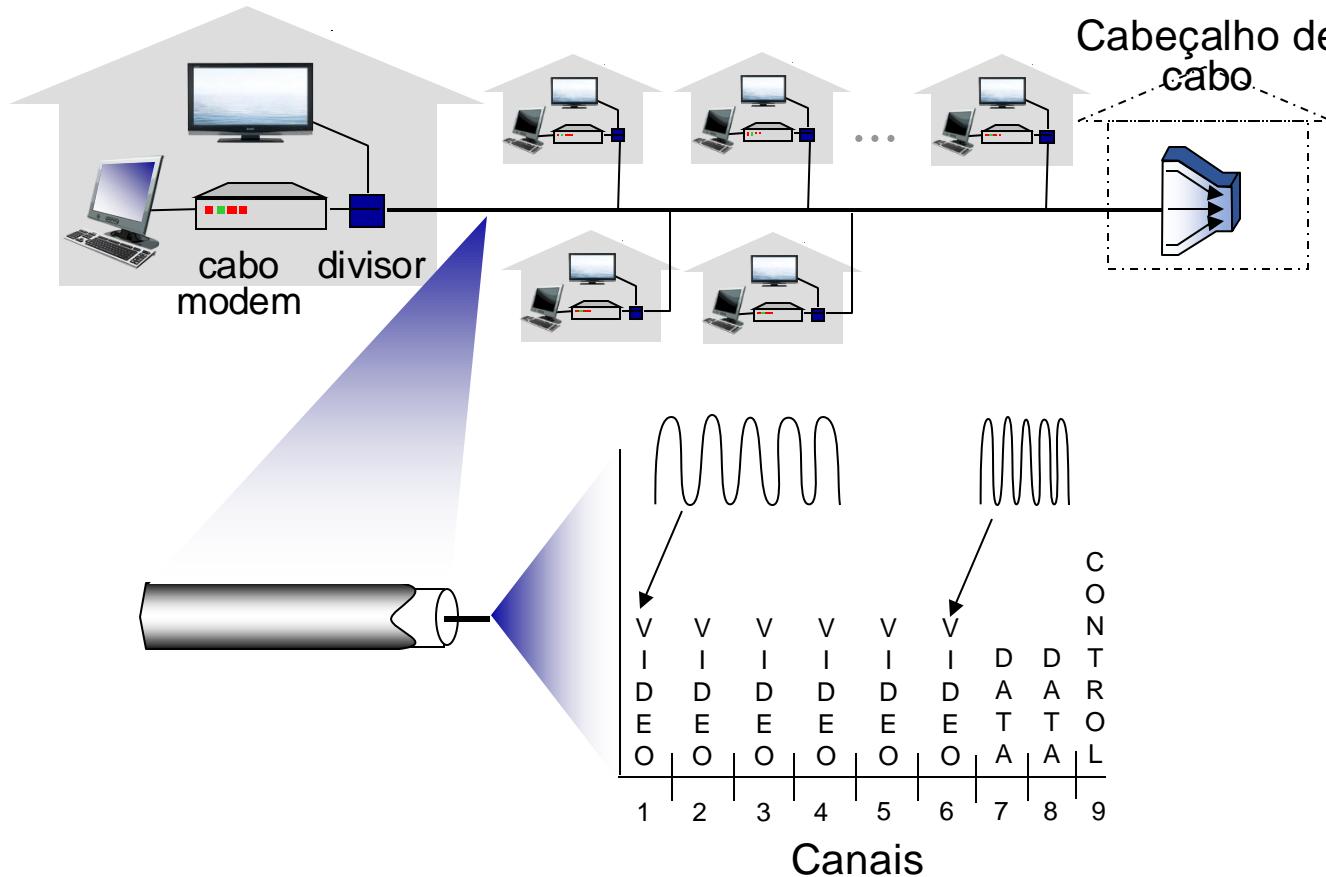
Acessar redes e mídias físicas

P: Como conectar sistemas finais ao roteador de borda?

- redes de acesso residencial
- redes de acesso institucional (escola, empresa)
- redes de acesso móvel (WiFi, 4G/5G)

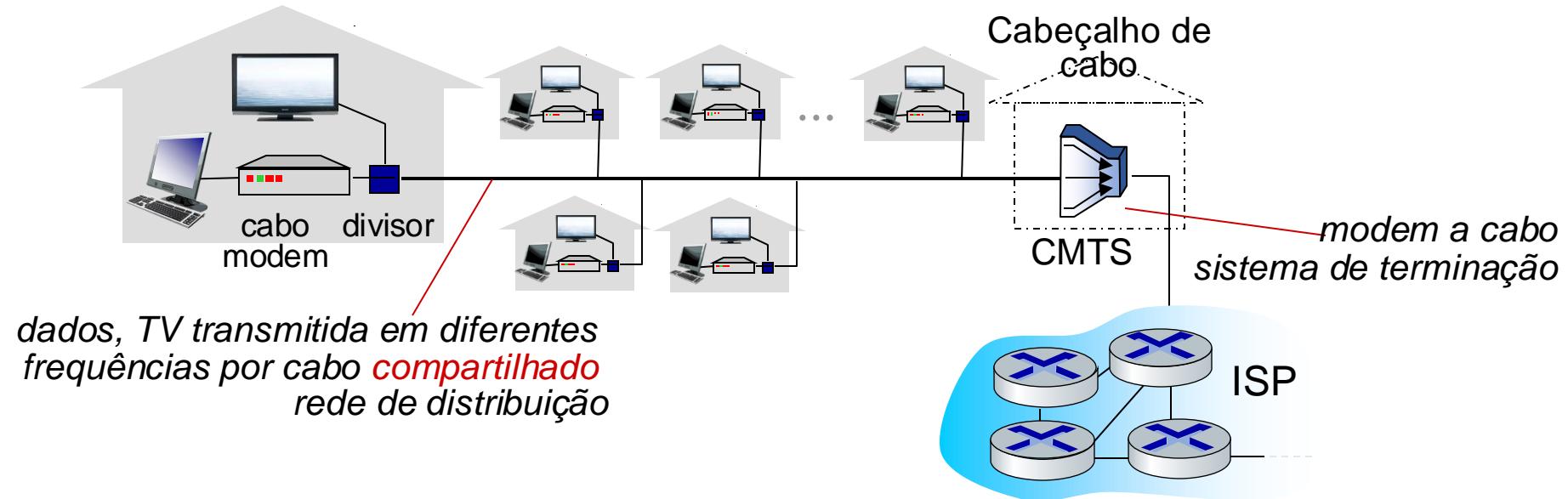


Redes de acesso: acesso baseado em cabo



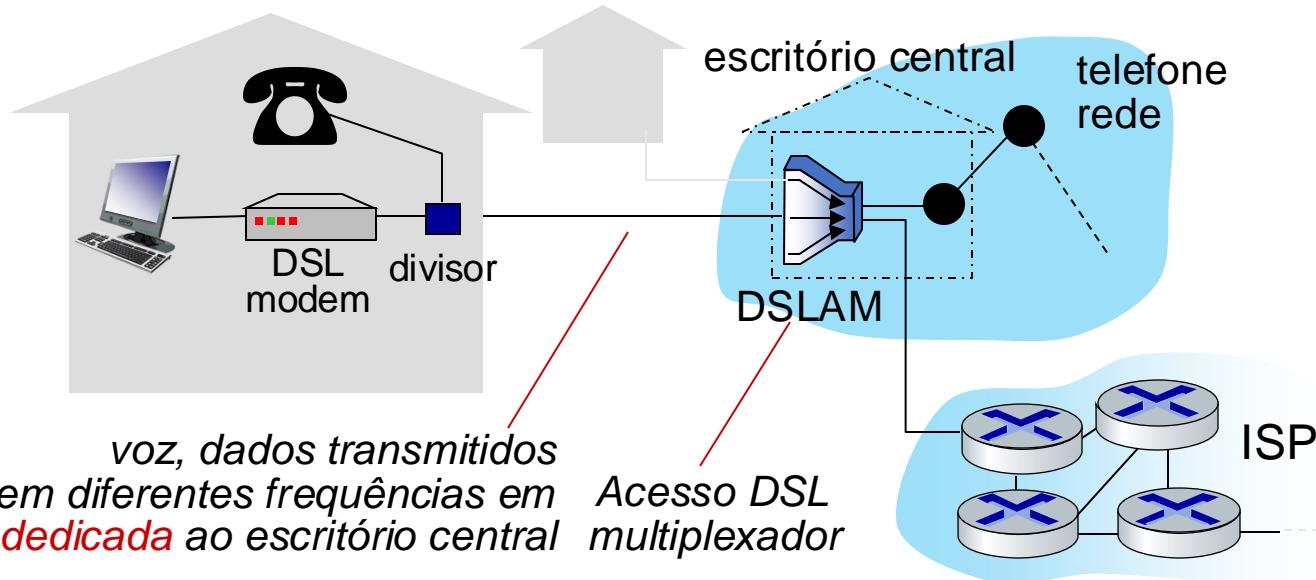
multiplexação por divisão de frequência (FDM): diferentes canais transmitidos em diferentes bandas de frequência

Redes de acesso: acesso baseado em cabo



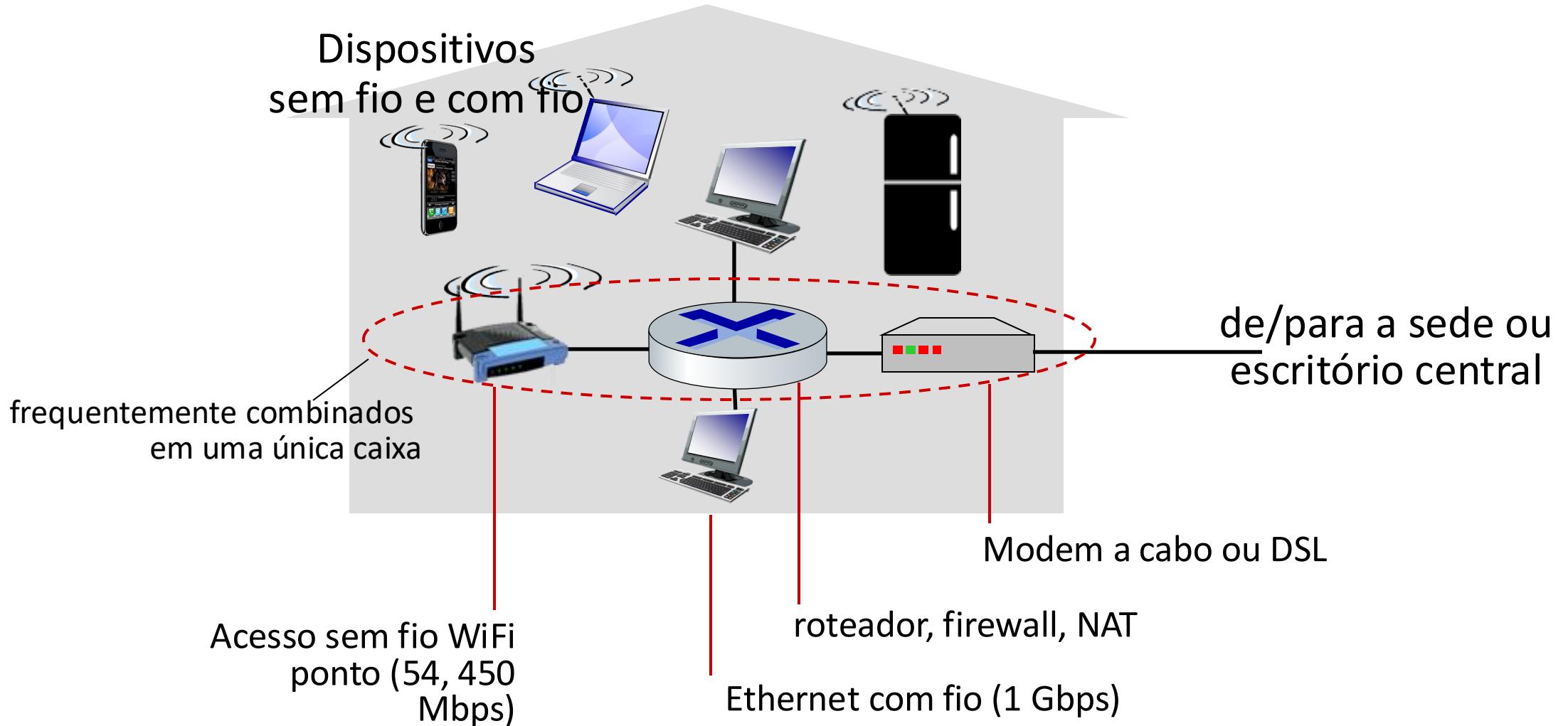
- HFC: coaxial de fibra híbrida
 - assimétrica: taxa de transmissão downstream de até 40 Mbps - 1,2 Gbps, taxa de transmissão upstream de 30-100 Mbps
- rede de cabos e fibras conecta residências ao roteador ISP
 - as residências **compartilham a rede de acesso** ao headend de cabo

Redes de acesso: linha de assinante digital (DSL)



- usar a linha telefônica **existente** para o DSLAM do escritório central
 - os dados da linha telefônica DSL vão para a Internet
 - a voz sobre a linha telefônica DSL vai para a rede telefônica
- Taxa de transmissão downstream dedicada de 24 a 52 Mbps
- Taxa de transmissão upstream dedicada de 3,5 a 16 Mbps

Redes de acesso: redes domésticas



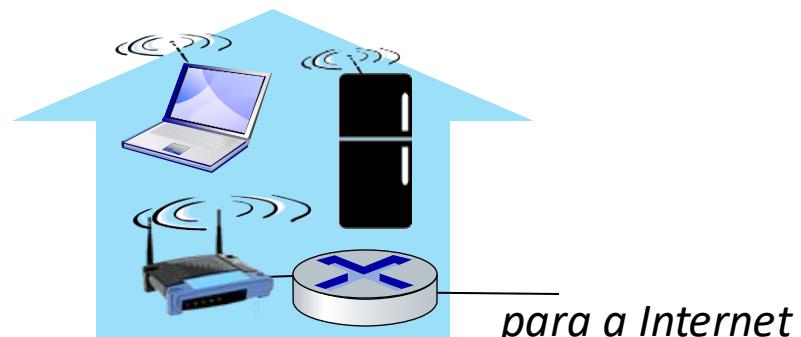
Redes de acesso sem fio

A rede de acesso *sem fio* compartilhada conecta o sistema final ao roteador

- via estação base, também conhecida como "ponto de acesso"

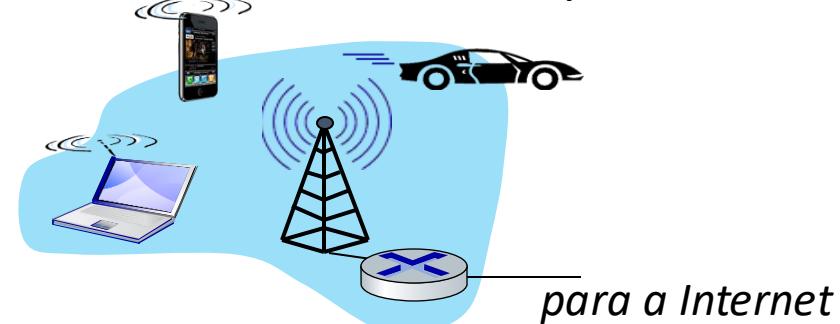
Redes locais sem fio (WLANs)

- normalmente dentro ou ao redor do prédio (~70 m)
- IEEE 802.11b/g/n (WiFi): Taxa de transmissão de 11, 54, 450 Mbps

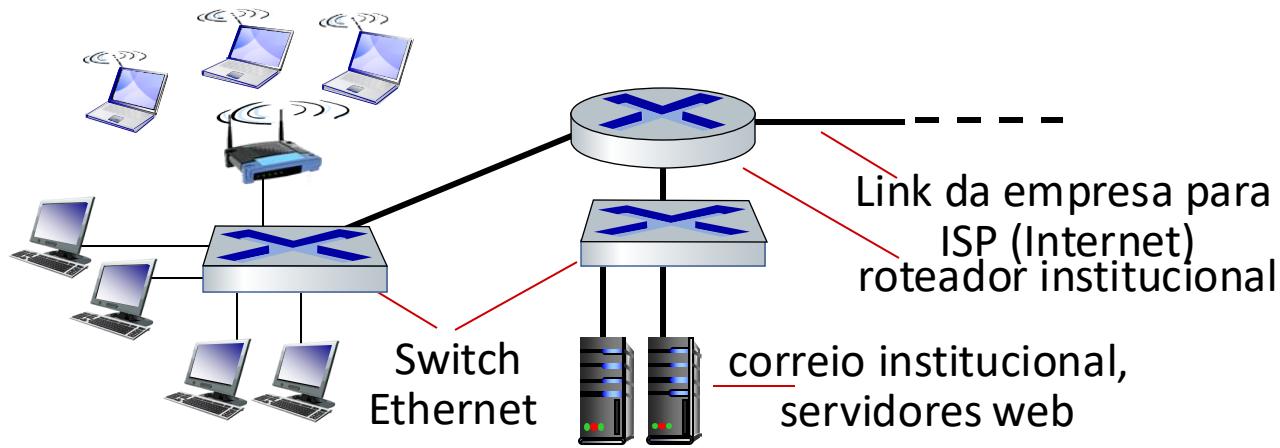


Redes de acesso celular de área ampla

- fornecido pela operadora de rede móvel e celular (10 km)
- 10 Mbps
- Redes celulares 4G/5G



Redes de acesso: redes corporativas



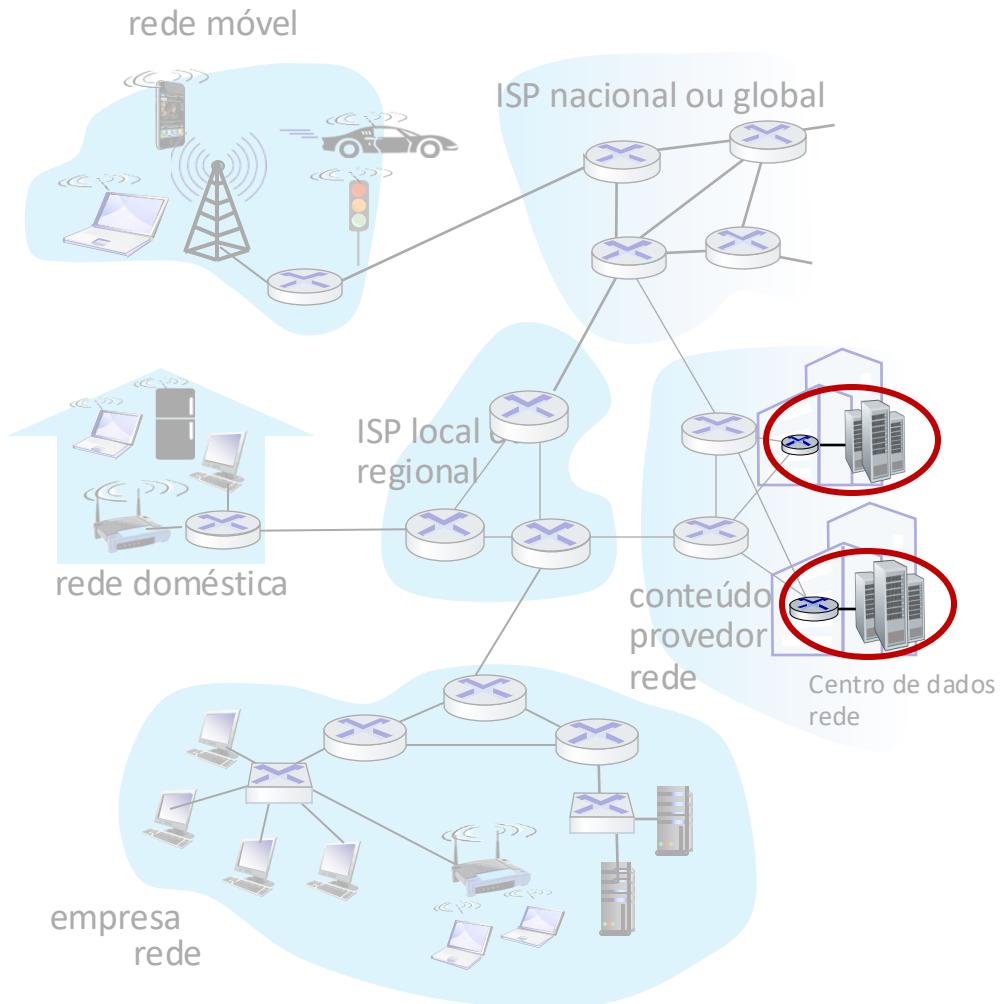
- empresas, universidades, etc.
- combinação de tecnologias de link com fio e sem fio, conectando uma combinação de switches e roteadores (abordaremos as diferenças em breve)
 - Ethernet: acesso com fio a 100 Mbps, 1 Gbps, 10 Gbps
 - WiFi: pontos de acesso sem fio a 11, 54, 450 Mbps

Redes de acesso: redes de data center

- Links de alta largura de banda (de 10 a 100 Gbps) conectam centenas a milhares de servidores entre si e à Internet



Cortesia: Centro de computação verde de alto desempenho de Massachusetts (mghpcc.org)

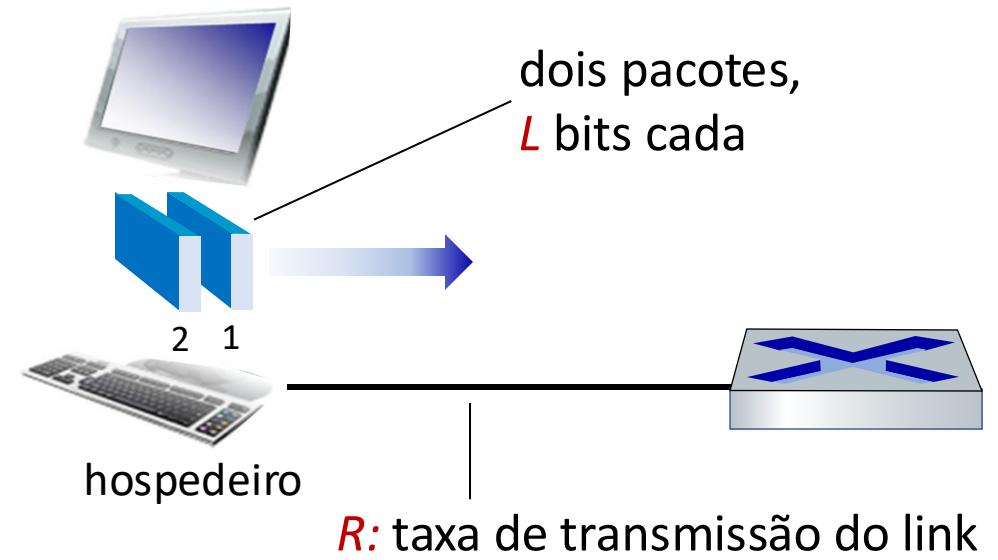


Host: envia pacotes de dados

função de envio do host:

- recebe a mensagem do aplicação
- se divide em pedaços menores, conhecidos como *pacotes*, de comprimento L bits
- transmite o pacote para a rede de acesso a uma *taxa de transmissão R*
 - taxa de transmissão do link, também conhecida como *capacidade* do link, *também conhecida como largura de banda do link*

$$\text{pacote transmissão atraso} = \frac{\text{tempo necessário para transmitir } L\text{-bit pacote no link}}{R \text{ (bits/seg.)}} = \frac{L \text{ (bits)}}{R \text{ (bits/seg.)}}$$



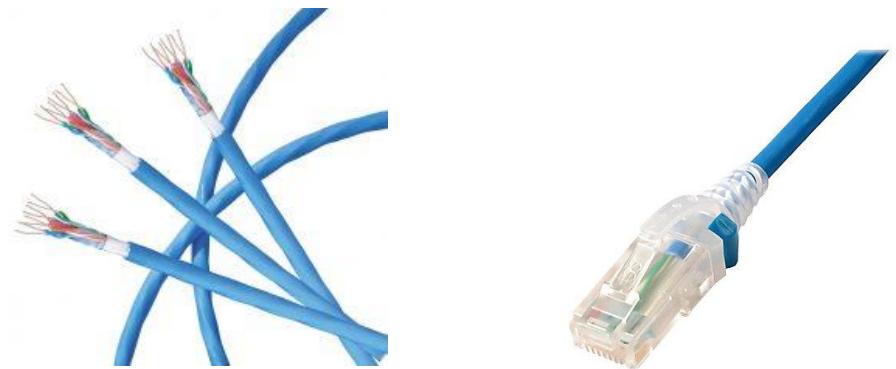
R : taxa de transmissão do link

Links: mídia física

- **bit**: propaga-se entre pares transmissor/receptor
- **link físico**: o que existe entre o transmissor e o receptor
- **mídia guiada**:
 - os sinais se propagam em meios sólidos: cobre, fibra, coaxial
- **mídia não guiada**:
 - os sinais se propagam livremente, por exemplo, rádio

Par trançado (TP)

- dois fios de cobre isolados
 - Categoria 5: 100 Mbps, 1 Gbps Ethernet
 - Categoria 6: Ethernet de 10 Gbps



Links: mídia física

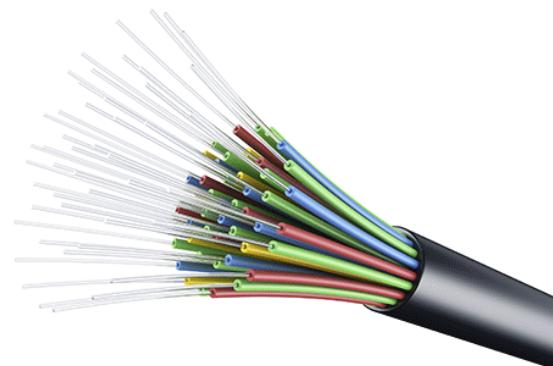
Cabo coaxial:

- dois condutores de cobre concêntricos
- bidirecional
- banda larga:
 - vários canais de frequência no cabo
 - 100 Mbps por canal



Cabo de fibra óptica:

- fibra de vidro que transporta pulsos de luz, sendo cada pulso um bit
- operação em alta velocidade:
 - transmissão ponto a ponto de alta velocidade (10 a 100 Gbps)
- baixa taxa de erro:
 - repetidores espaçados entre si
 - imune a ruídos eletromagnéticos



Links: mídia física

Rádio sem fio

- sinal transmitido em várias "bandas" no espectro eletromagnético
- sem "fio" físico
- transmissão, "half-duplex" (do remetente para o receptor)
- efeitos do ambiente de propagação:
 - reflexão
 - obstrução por objetos
 - Interferência/ruído

Tipos de links de rádio:

- LAN sem fio (WiFi)
 - 10-100 Mbps; 10 metros
- área ampla (por exemplo, celular 4G/5G)
 - 10 Mbps (4G) em ~10 Km
- Bluetooth: substituição do cabo
 - distâncias curtas, tarifas limitadas
- microondas terrestres
 - ponto a ponto; canais de 45 Mbps
- satélite
 - downlink de até < 100 Mbps (Starlink)
 - 270 mseg de atraso final (geoestacionário)

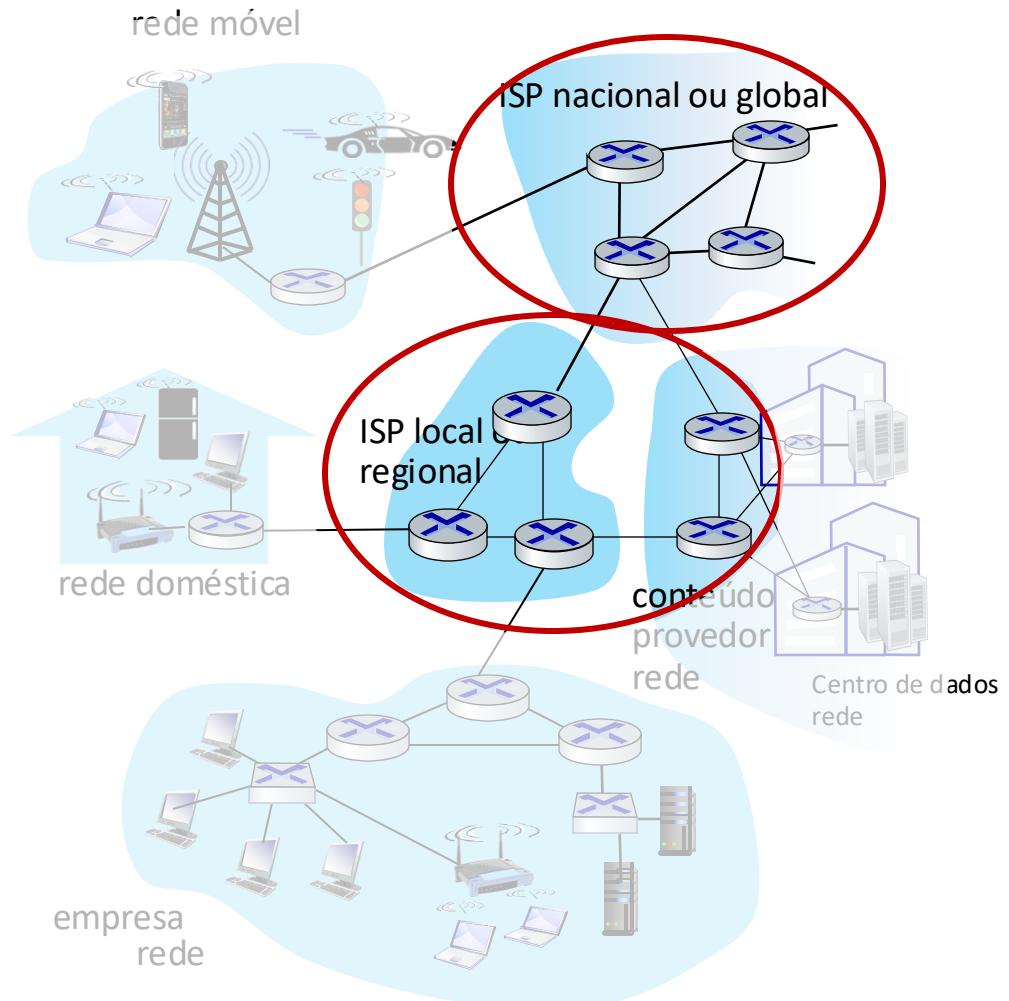
Capítulo 1: roteiro

- O que é a Internet?
- O que é um protocolo?
- Borda da rede: hosts, rede de acesso, mídia física
- **Núcleo da rede:** comutação de pacotes/circuitos, quadro da Internet
- Desempenho: perda, atraso, taxa de transferência
- Segurança
- Camadas de protocolo, modelos de serviço
- Histórico



O núcleo da rede

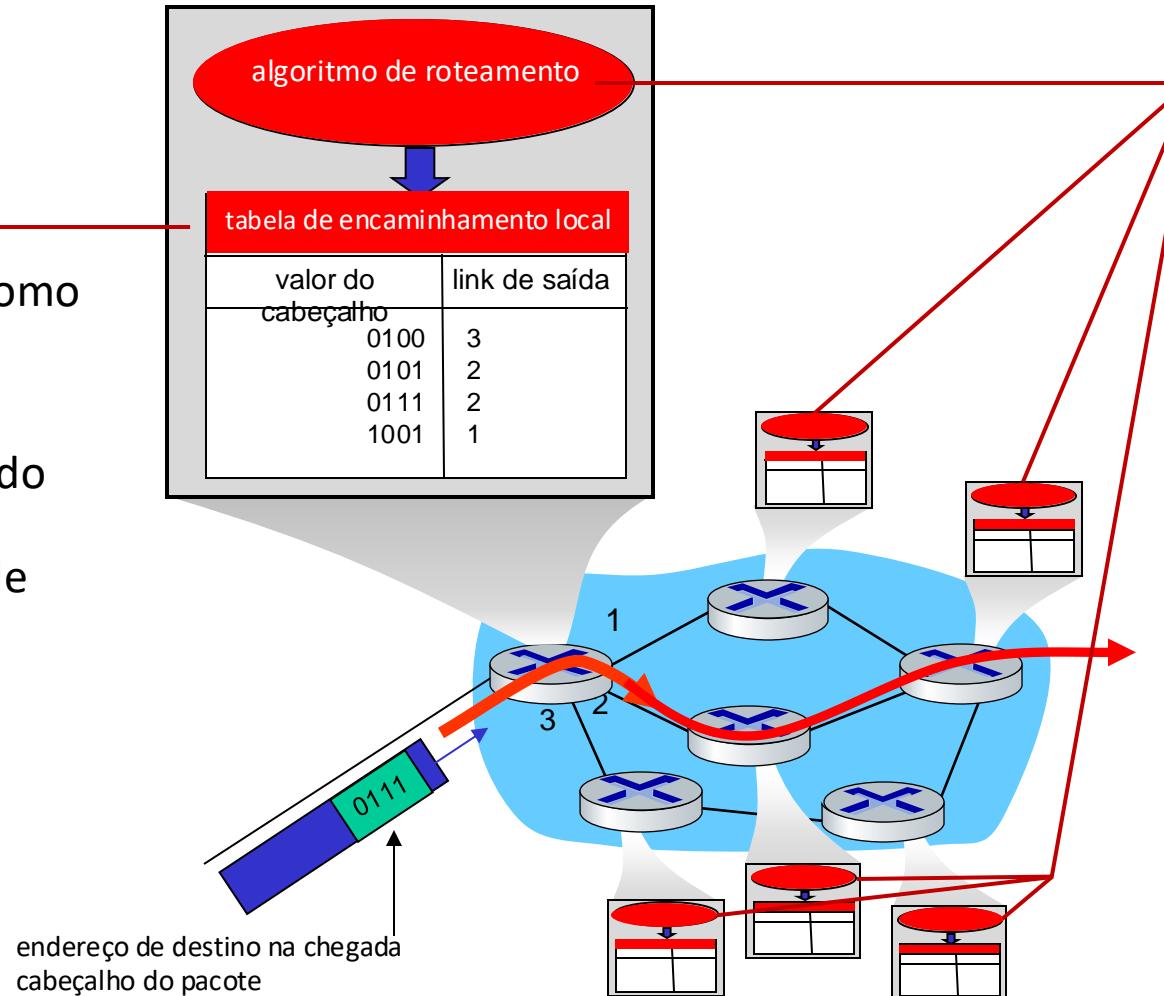
- malha de roteadores interconectados
- **comutação de pacotes:** os hosts dividem as mensagens da camada de aplicações em *pacotes*
 - a rede **encaminha** pacotes de um roteador para o próximo, através de links no caminho da **origem ao destino**



Duas funções essenciais do núcleo da rede

Encaminhamento:

- também conhecido como "switching" (troca)
- ação *local*: mover os pacotes que chegam do link de entrada do roteador para o link de saída apropriado do roteador



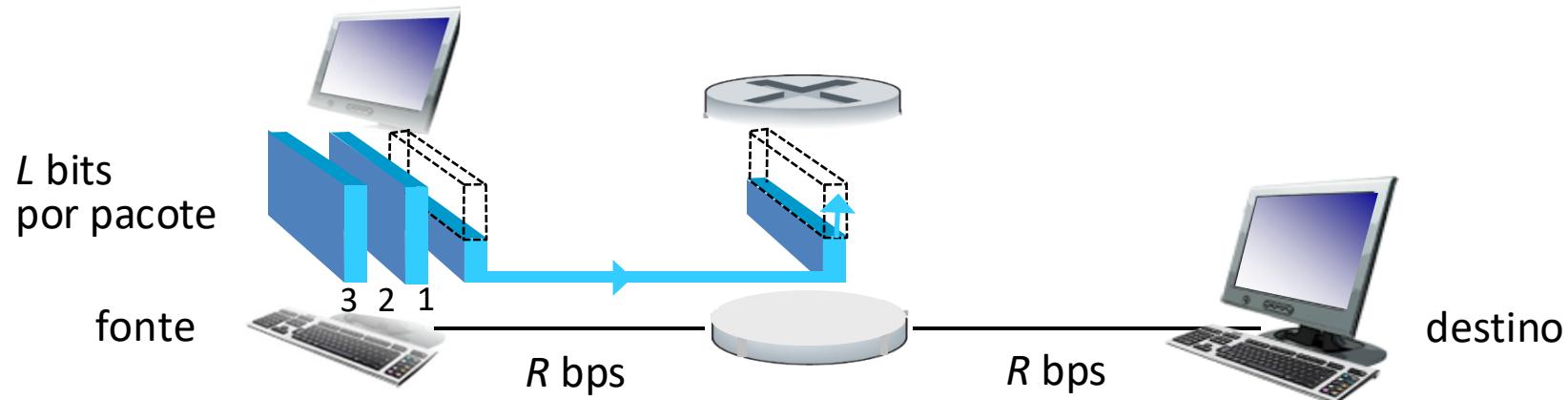
Roteamento:

- ação *global*: determinar os caminhos de origem-destino usados pelos pacotes
- algoritmos de roteamento





Comutação de pacotes: armazena-e-reenvia

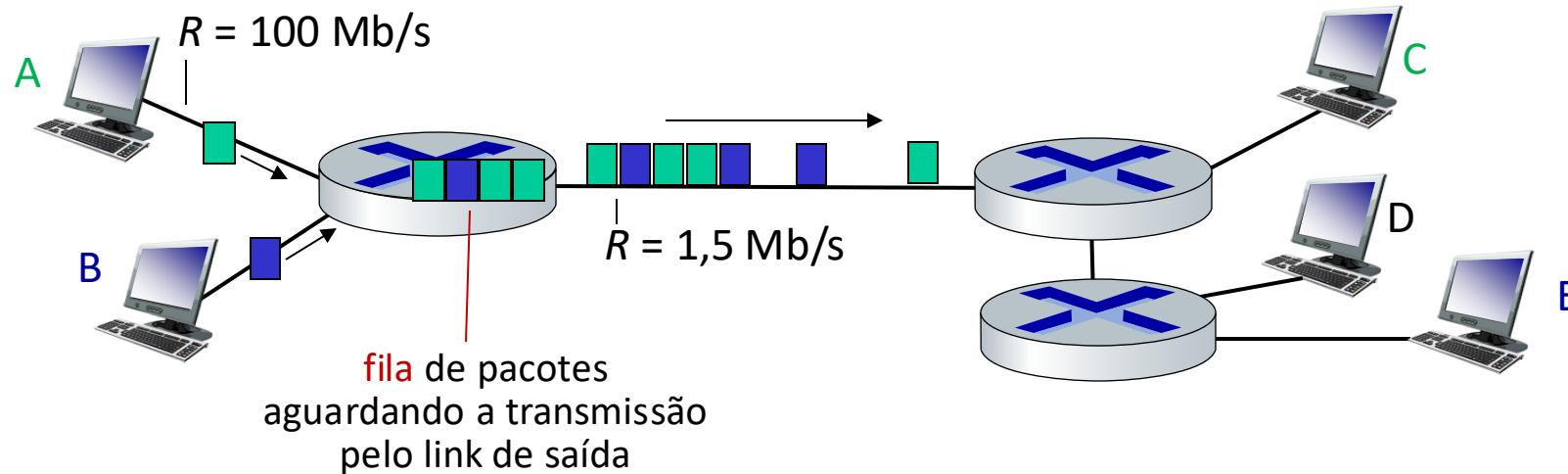


- **atraso na transmissão do pacote:** leva L/R segundos para transmitir (empurrar) um pacote *de L bits* para o link a R bps
- **armazena-e-reenvia:** o pacote *inteiro* deve chegar ao roteador antes de ser transmitido no próximo link

Exemplo numérico de um salto:

- $L = 10$ Kbits
- $R = 100$ Mbps
- atraso de transmissão de um salto = 0,1 mseg

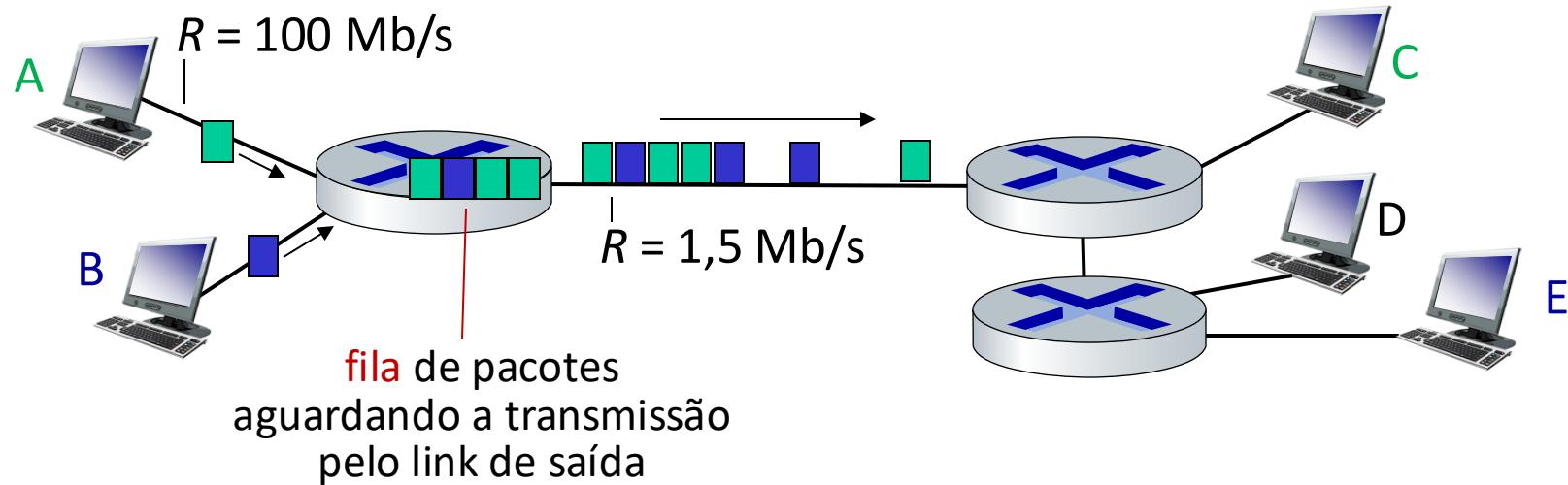
Comutação de pacotes: enfileiramento



O **enfileiramento** ocorre quando o trabalho chega mais rápido do que pode ser atendido:



Comutação de pacotes: enfileiramento



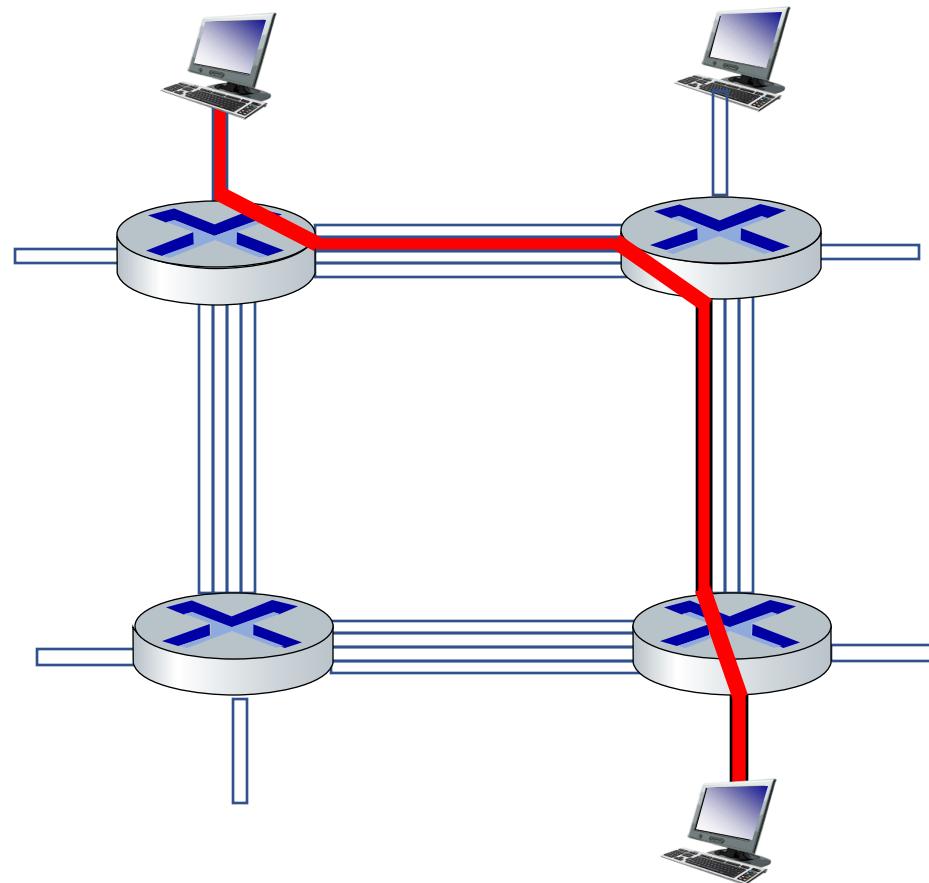
Enfileiramento e perda de pacotes: se a taxa de chegada (em bps) ao link exceder a taxa de transmissão (bps) do link por algum período de tempo:

- os pacotes ficarão na fila, esperando para serem transmitidos no link de saída
- os pacotes podem ser descartados (perdidos) se a memória (buffer) do roteador ficar cheia

Alternativa à comutação de pacotes: comutação de circuitos

Recursos fim-a-fim reservados para a "chamada" entre a origem e o destino

- No diagrama, cada link tem quatro circuitos.
 - A chamada recebe o segundo circuito no link superior e primeiro circuito no link direito.
- recursos dedicados: sem compartilhamento
 - desempenho semelhante ao de um circuito (garantido)
- segmento de circuito ocioso se não for usado pela chamada (**sem compartilhamento**)
- comumente usado em redes telefônicas tradicionais



* Confira os exercícios interativos on-line para obter mais exemplos: http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/interactive

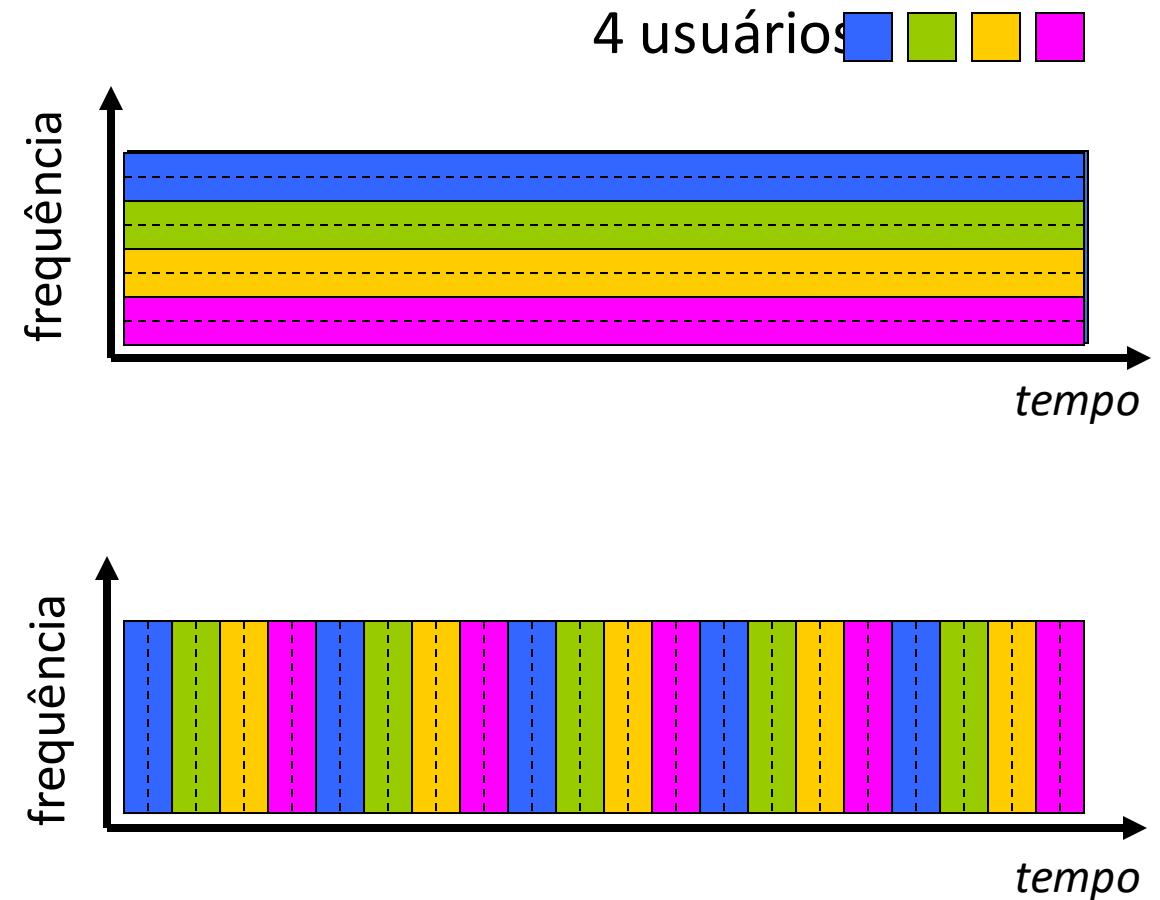
Comutação de circuitos: FDM e TDM

Multiplexação por divisão de frequência (FDM)

- frequências ópticas e eletromagnéticas divididas em bandas de frequência (estreitas)
- cada chamada tem sua própria banda alocada e pode transmitir na taxa máxima dessa banda estreita

Multiplexação por divisão de tempo (TDM)

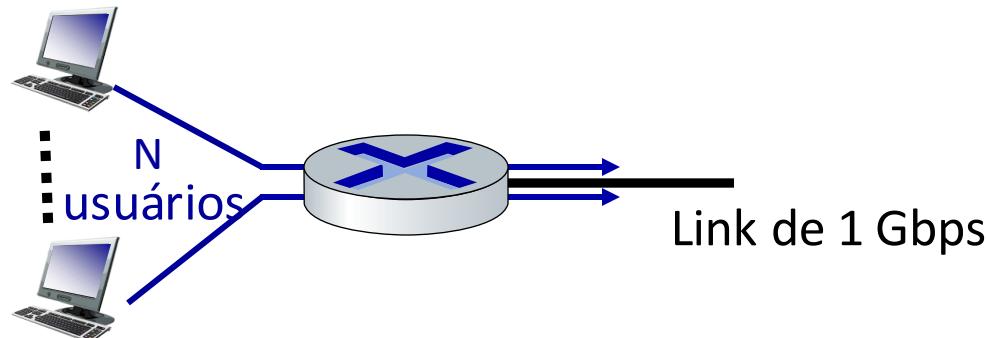
- tempo dividido em intervalos
- cada chamada alocada em slot(s) periódico(s) pode transmitir na taxa máxima da banda de frequência (mais ampla) (somente) durante seu(s) slot(s) de tempo



Comutação de pacotes versus comutação de circuitos

exemplo:

- Link de 1 Gb/s
- cada usuário:
 - 100 Mb/s quando "ativo"
 - ativo 10% do tempo



P: Quantos usuários podem usar essa rede com comutação de circuitos e comutação de pacotes?

- **comutação de circuitos:** 10 usuários
- comutação **de pacotes:** com 35 usuários, a probabilidade > 10 ativos ao mesmo tempo é menor que 0,0004 *.

P: Como obtivemos o valor 0,0004?

A: Problema de HW (somente para quem tem curso de probabilidade)

* Confira os exercícios interativos on-line para obter mais exemplos: http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/interactive

Comutação de pacotes versus comutação de circuitos

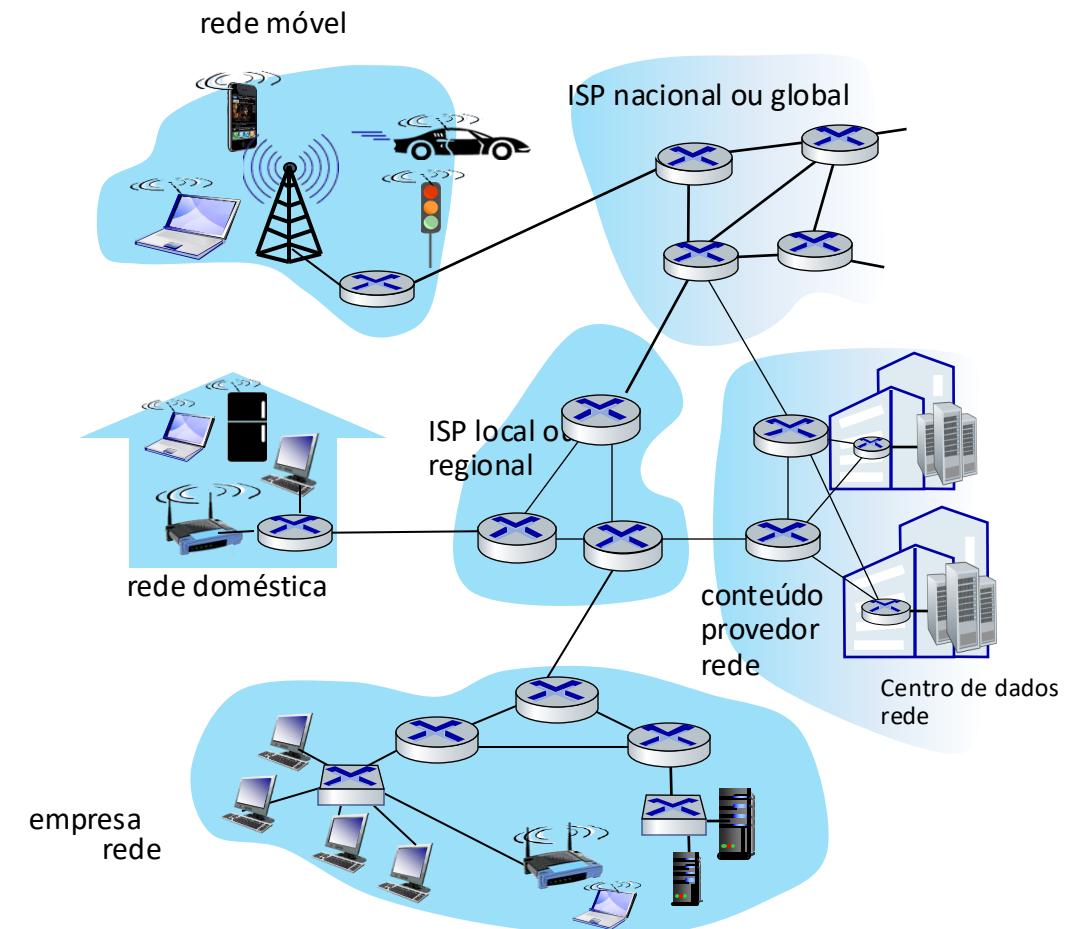
A comutação de pacotes é um "vencedor absoluto"?

- ótimo para dados "intermitentes" - às vezes tem dados para enviar, mas em outros momentos não
 - compartilhamento de recursos
 - mais simples, sem configuração de chamada
- Possibilidade de congestionamento excessivo: atraso e perda de pacotes devido ao estouro do buffer
 - protocolos necessários para a transferência confiável de dados, controle de congestionamento
- *P: Como proporcionar um comportamento semelhante ao de um circuito com comutação de pacotes?*
 - "É complicado." Estudaremos várias técnicas que tentam tornar a comutação de pacotes o mais "semelhante a um circuito" possível.

P: Analogias humanas de recursos reservados (comutação de circuitos) versus alocação sob demanda (comutação de pacotes)?

quadro da Internet: uma "rede de redes"

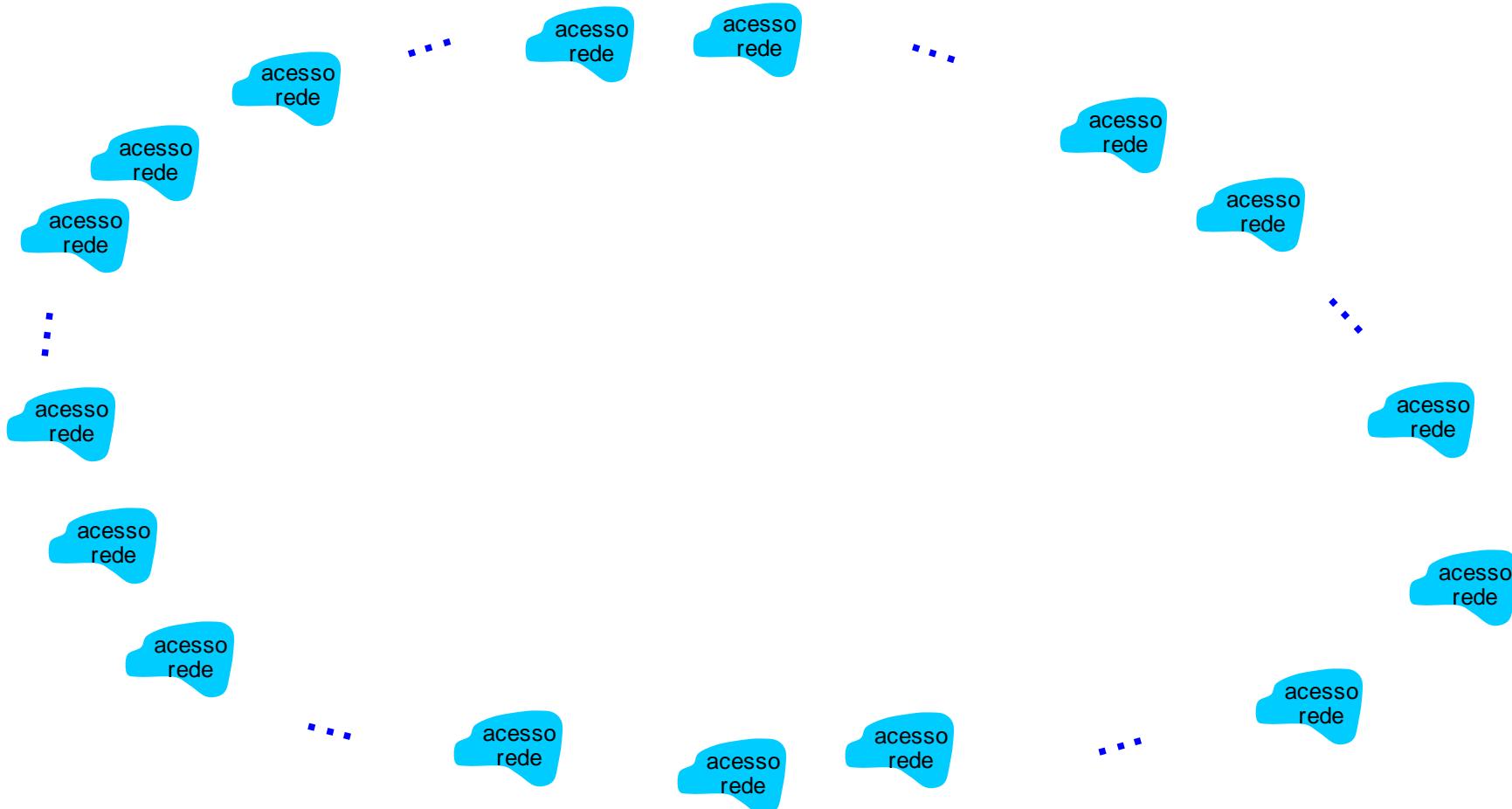
- os hosts se conectam à Internet por meio do **acesso a provedores de serviços de Internet (ISPs)**
- Os ISPs de acesso, por sua vez, devem estar interconectados
 - para que dois hosts *quaisquer* (*em qualquer lugar!*) possam enviar pacotes um para o outro
- A rede de redes resultante é muito complexa
 - evolução impulsionada pela **economia, políticas nacionais**



Vamos adotar uma abordagem passo a passo para descrever a quadro atual da Internet

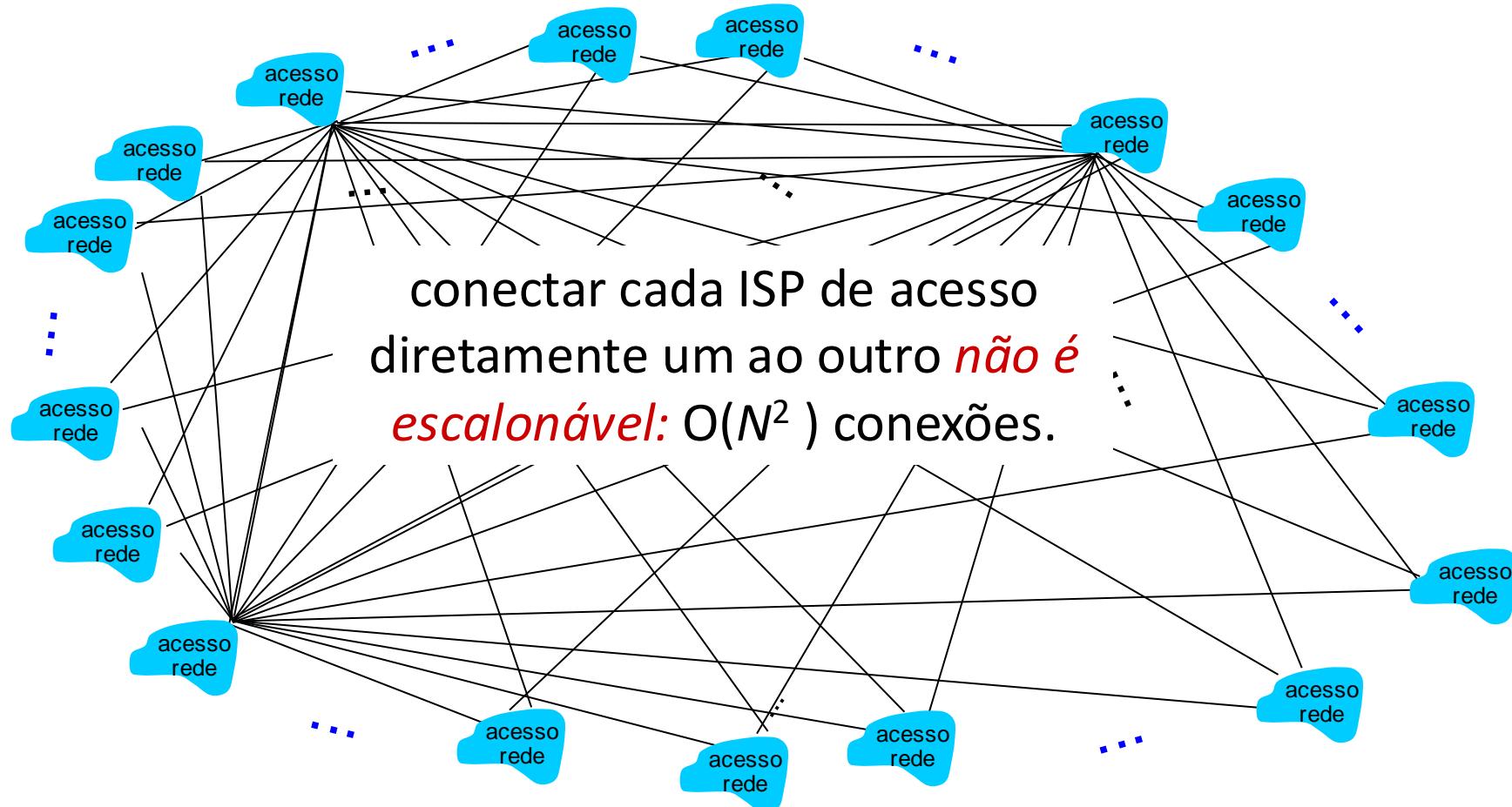
quadro da Internet: uma "rede de redes"

Pergunta: considerando *milhões* de ISPs de acesso, como conectá-los entre si?



quadro da Internet: uma "rede de redes"

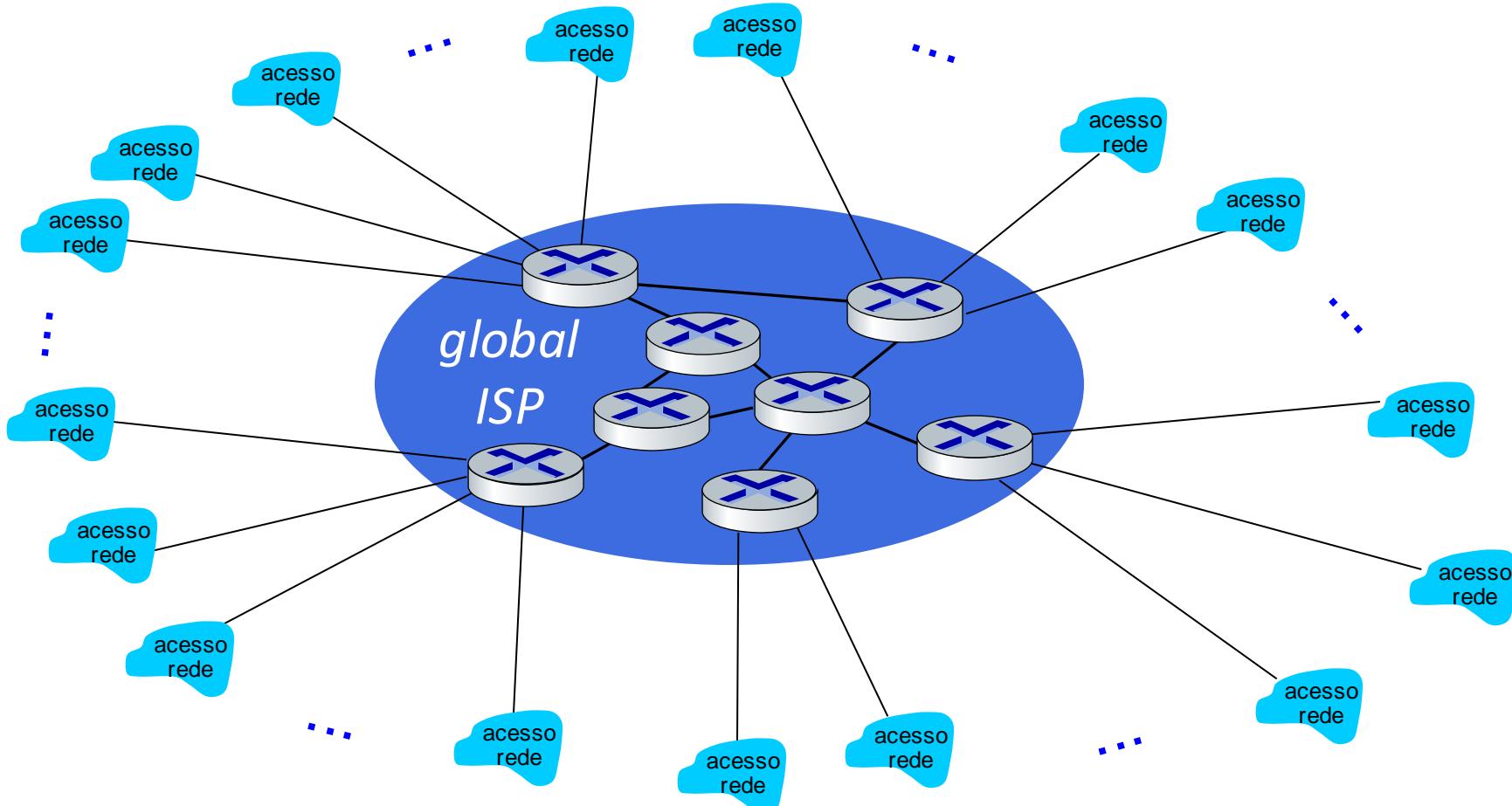
Pergunta: considerando *milhões* de ISPs de acesso, como conectá-los entre si?



quadro da Internet: uma "rede de redes"

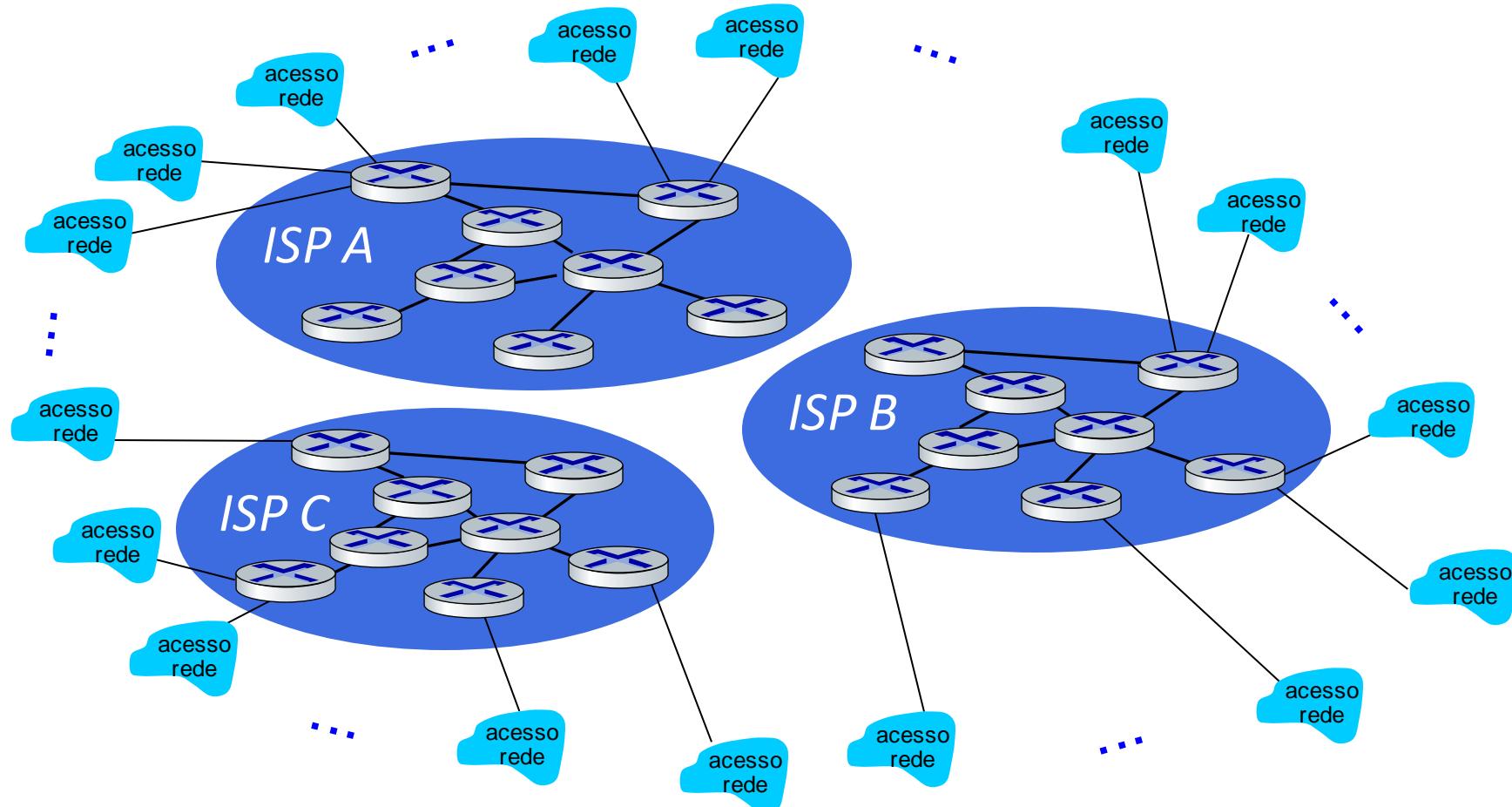
Opção: conectar cada ISP de acesso a um ISP de trânsito global?

Os ISPs do cliente e do provedor têm um acordo econômico.



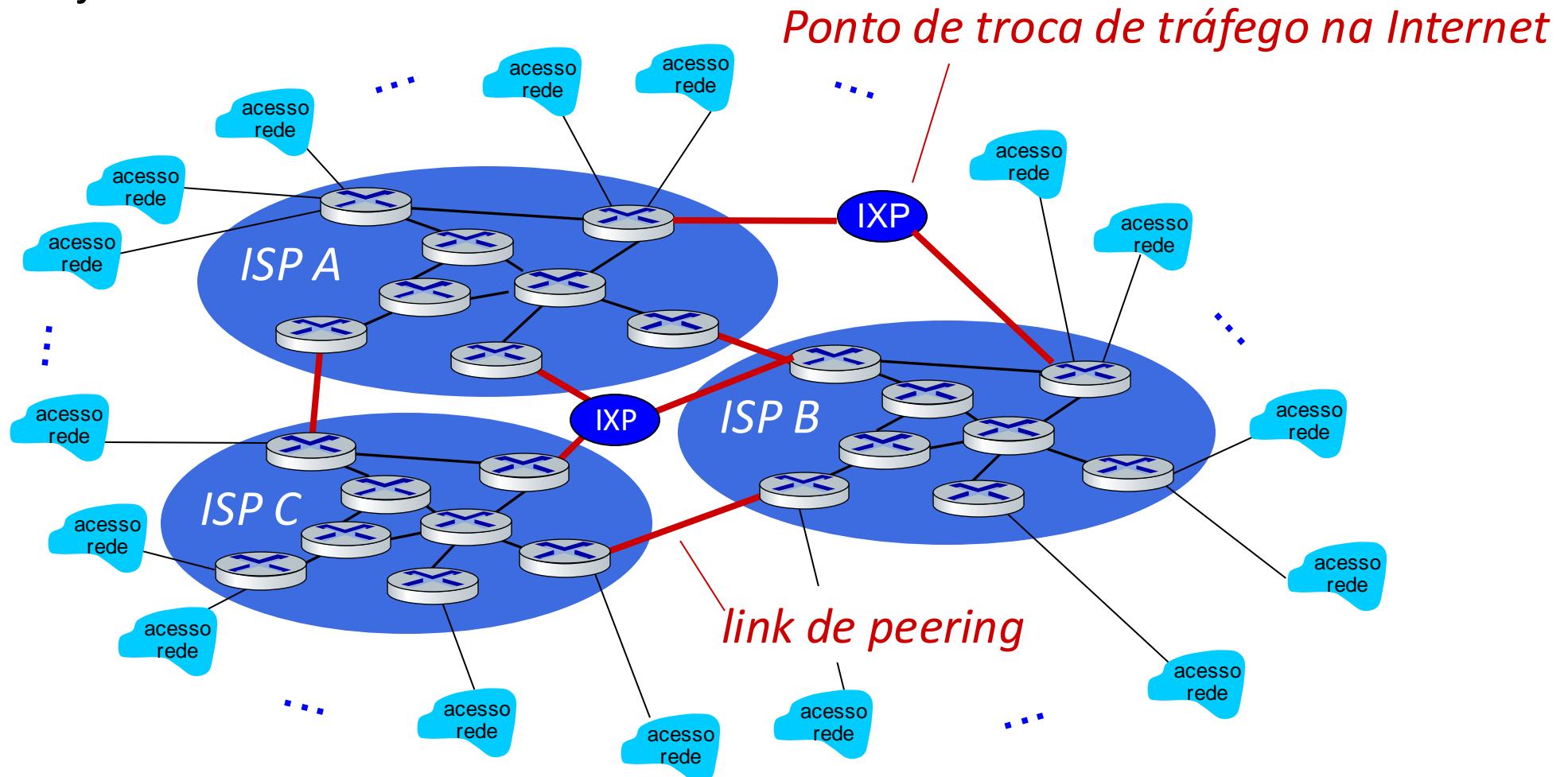
quadro da Internet: uma "rede de redes"

Mas se um ISP global for um negócio viável, haverá concorrentes



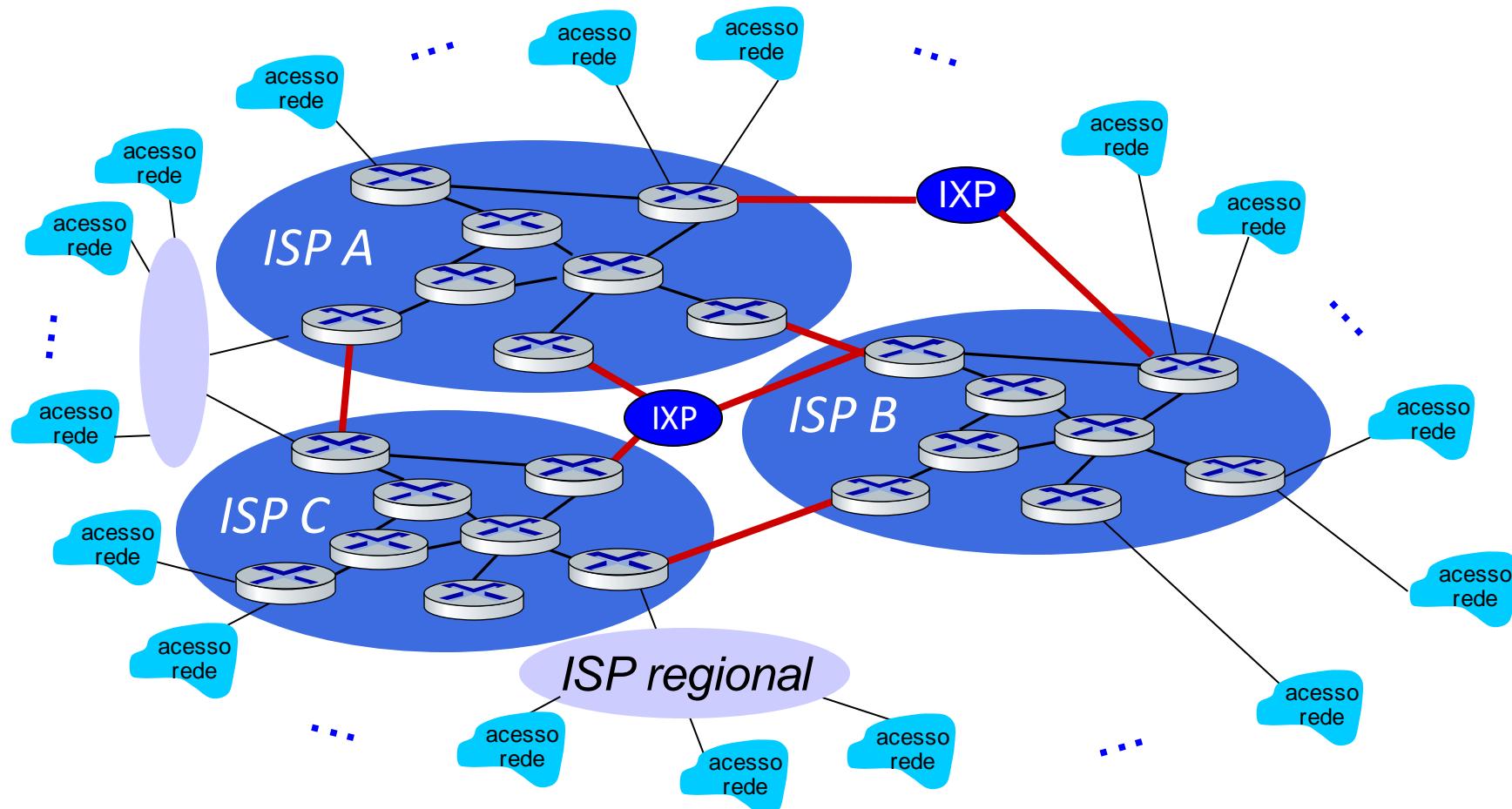
quadro da Internet: uma "rede de redes"

Mas se um ISP global for um negócio viável, haverá concorrentes que desejarão se conectar



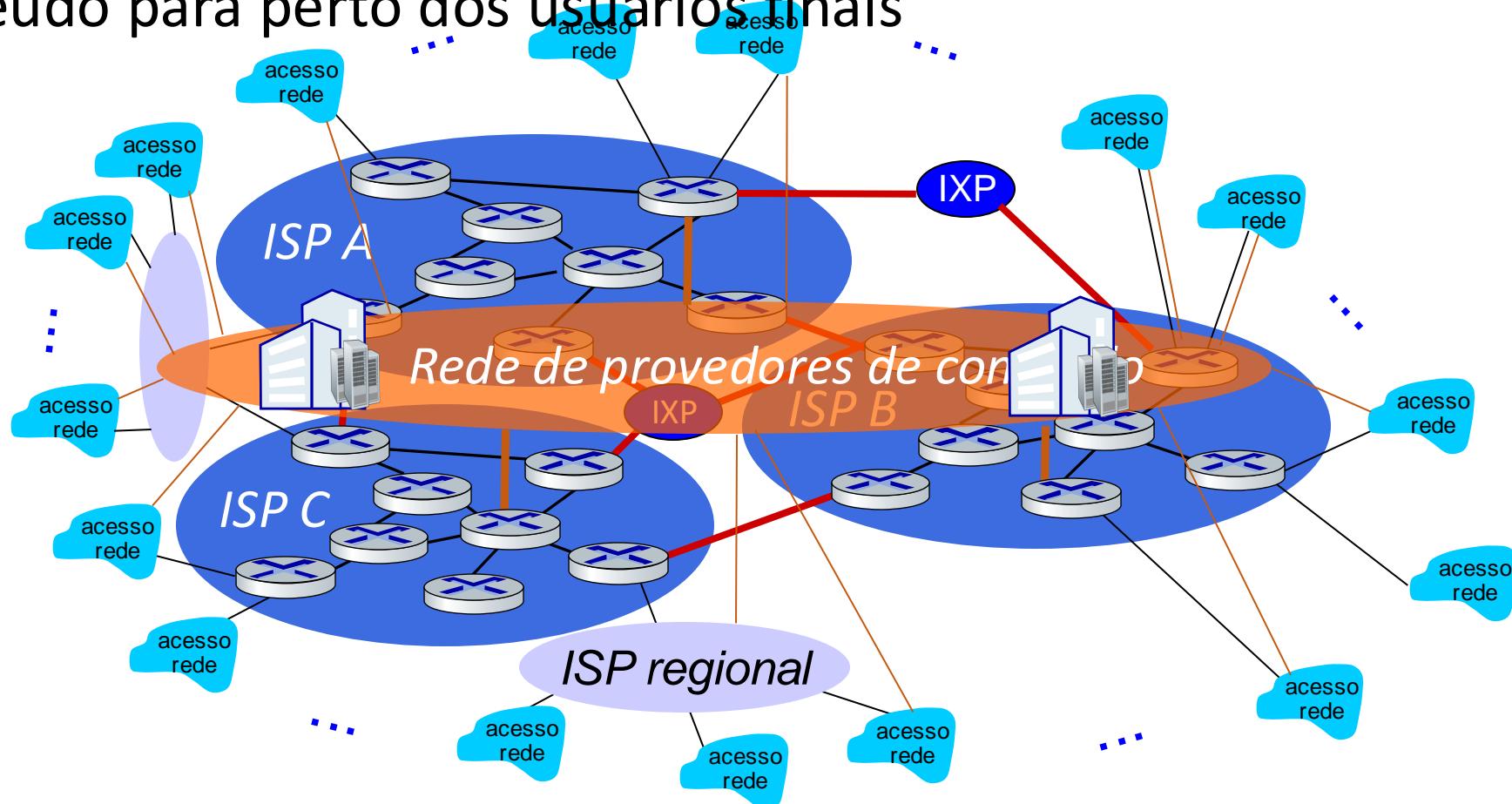
quadro da Internet: uma "rede de redes"

... e podem surgir redes regionais para conectar as redes de acesso aos ISPs

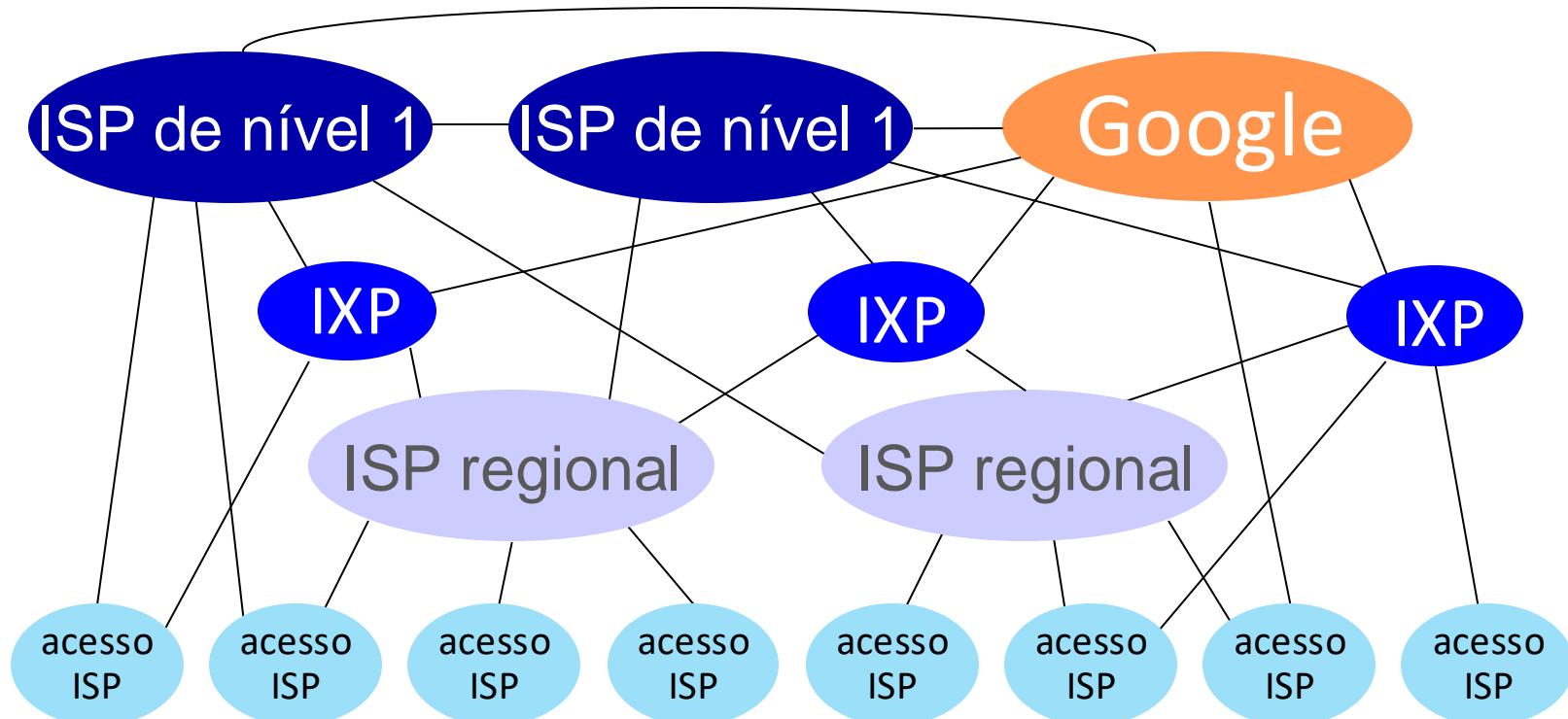


quadro da Internet: uma "rede de redes"

... e as redes de provedores de conteúdo (por exemplo, Google, Microsoft, Akamai) podem executar sua própria rede para levar serviços e conteúdo para perto dos usuários finais



quadro da Internet: uma "rede de redes"



No "centro": um pequeno número de grandes redes bem conectadas

- **ISPs comerciais de "nível 1"** (por exemplo, Level 3, Sprint, AT&T, NTT), cobertura nacional e internacional
- **redes de provedores de conteúdo** (por exemplo, Google, Facebook): rede privada que conecta seus data centers à Internet, geralmente ignorando ISPs regionais de nível 1

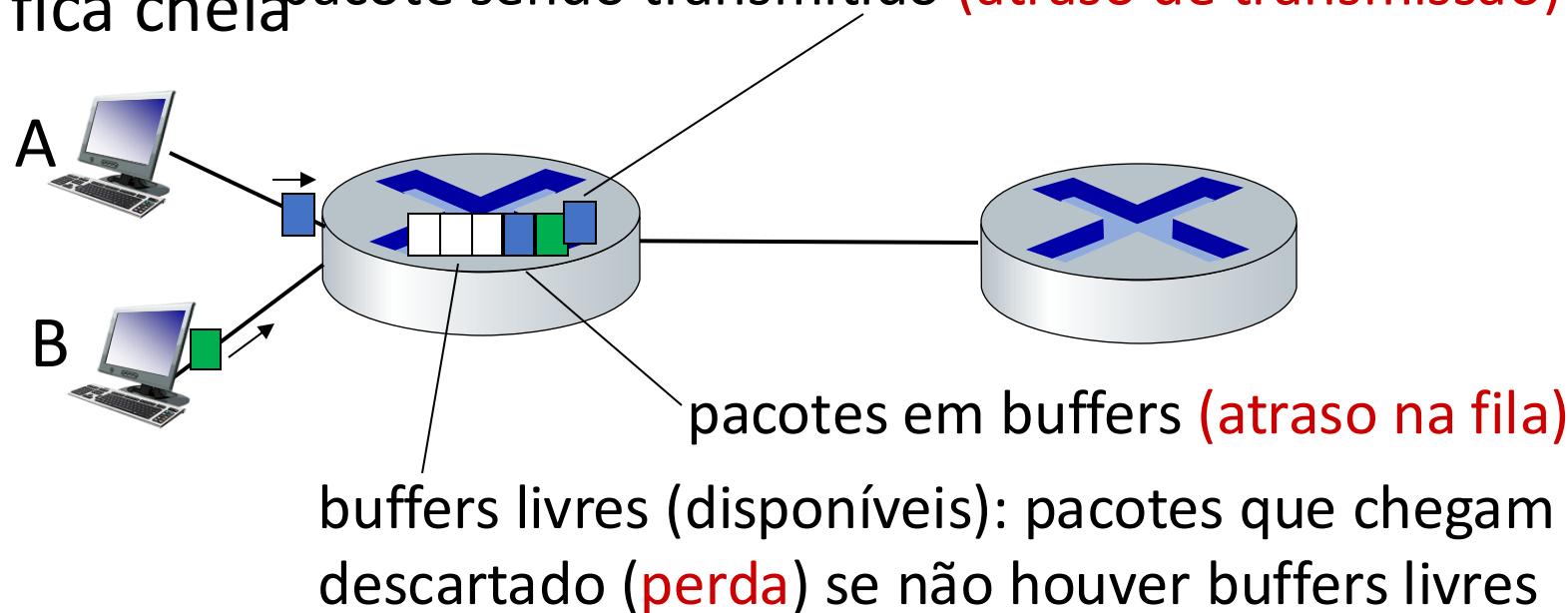
Capítulo 1: roteiro

- O que é a Internet?
- O que é um protocolo?
- Borda da rede: hosts, rede de acesso, mídia física
- Núcleo da rede: comutação de pacotes/circuitos, quadro da Internet
- Desempenho: perda, atraso, taxa de transferência
- Segurança
- Camadas de protocolo, modelos de serviço
- Histórico

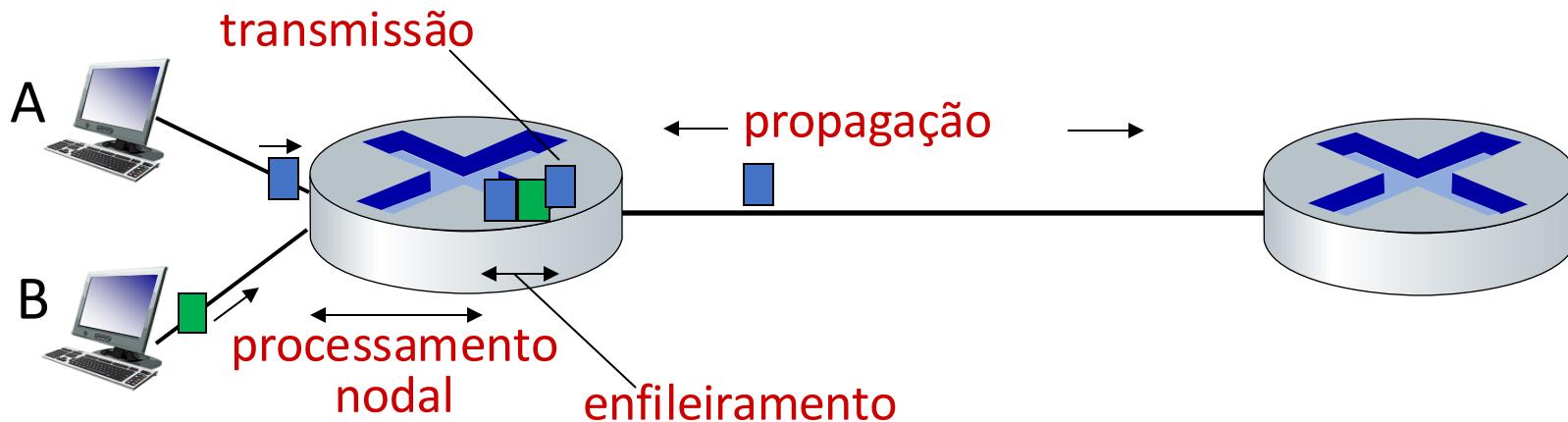


Como ocorrem o atraso e a perda de pacotes?

- os pacotes *são enfileirados* nos buffers do roteador, aguardando a vez de serem transmitidos
 - o comprimento da fila aumenta quando a taxa de chegada ao link (temporariamente) excede a capacidade do link de saída
- a perda de* pacotes ocorre quando a memória para armazenar os pacotes enfileirados fica cheia pacote sendo transmitido (*atraso de transmissão*)



Atraso do pacote: quatro fontes



$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

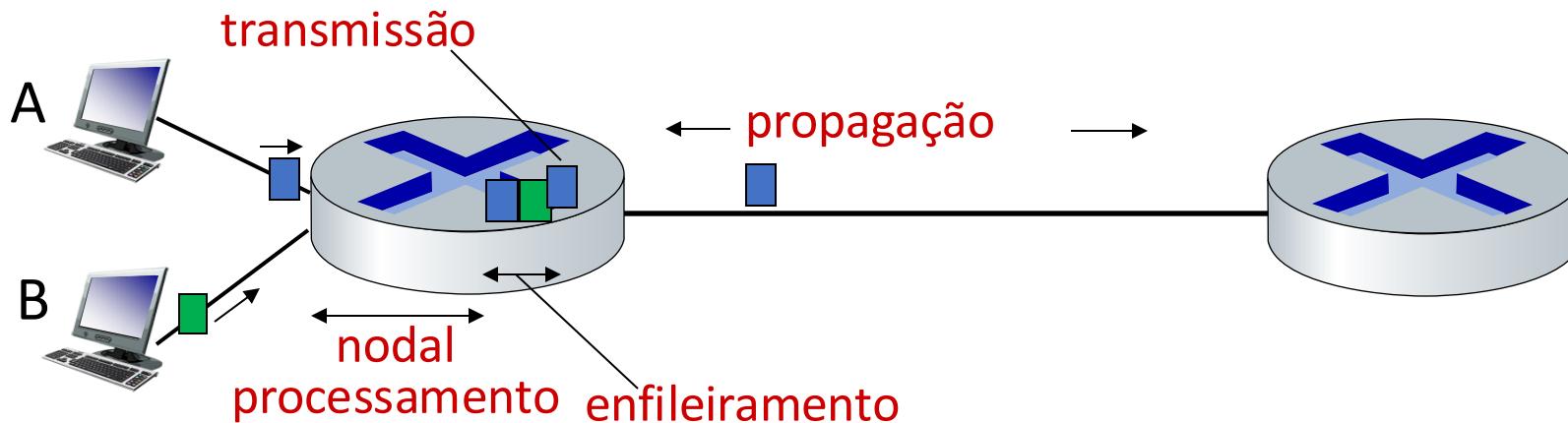
d_{proc} : processamento **nodal**

- verificar erros de bit
- determinar o link de saída
- normalmente <
microsssegundos

d_{queue} : atraso na fila

- tempo de espera no link de saída para transmissão
- depende do nível de congestionamento do roteador

Atraso do pacote: quatro fontes



$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

d_{trans} : atraso na transmissão:

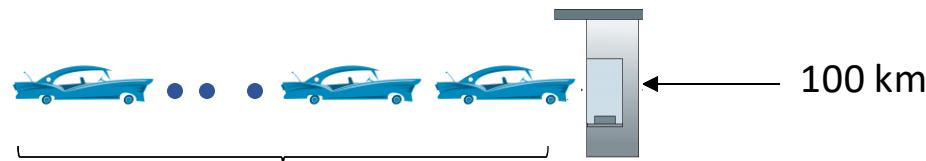
- L : comprimento do pacote (bits)
- R : taxa de transmissão do link (bps)
- $d_{\text{trans}} = L/R$

d_{prop} : atraso de propagação:

- d : comprimento do link físico
- s : velocidade de propagação ($\sim 2 \times 10^8$ m/s)
- $d_{\text{prop}} = d/s$

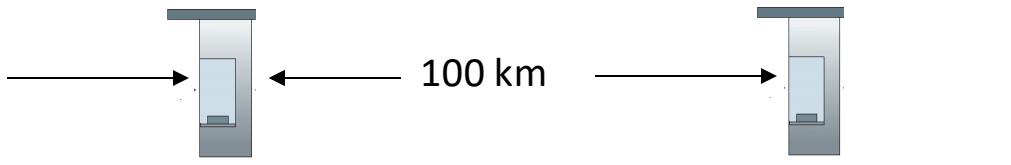
d_{trans} e d_{prop}
muito diferentes

Analogia de caravanas



Caravana com dez
carros
(também conhecido
como pacote de 10
bits)

cabine de pedágio
(também conhecido
como link)

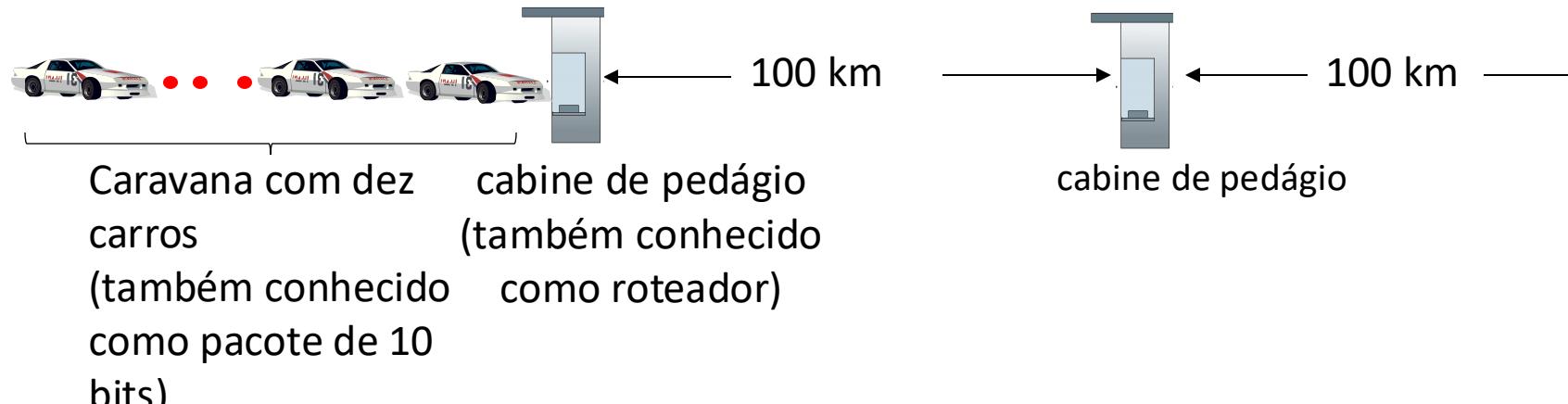


cabine de pedágio

- carro \sim bit; caravana \sim pacote; serviço de pedágio \sim transmissão de link
- A cabine de pedágio leva 12 segundos para atender o carro (tempo de transmissão de bits)
- "propagar" a 100 km/h
- **P:** Quanto tempo até que a caravana esteja alinhada diante da segunda cabine de pedágio?

- Tempo para "empurrar" toda a caravana através da cabine de pedágio para a rodovia = $12 * 10 = 120$ segundos
- tempo para o último carro se propagar do primeiro para o segundo pedágio ambos: $100\text{km}/(100\text{km/hr}) = 1$ hora
- **R: 62 minutos**

Analogia de caravanas



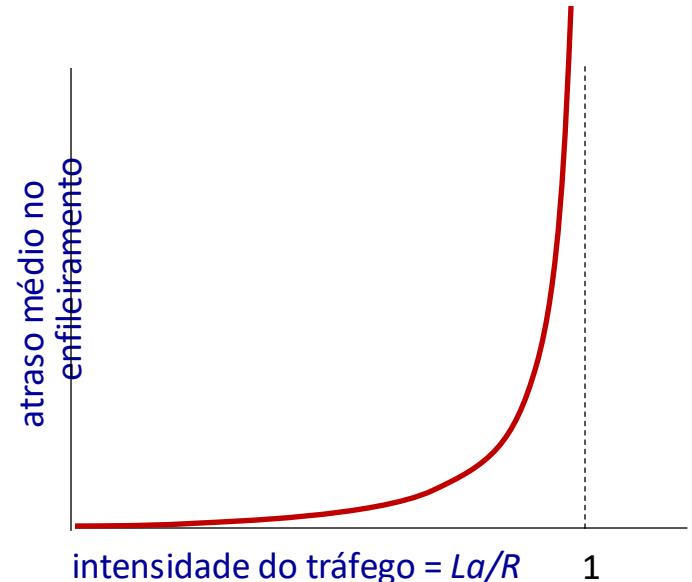
- suponha que os carros agora "se propaguem" a 1.000 km/h
- e suponha que a cabine de pedágio agora leve um minuto para atender um carro
- **P:** Os carros chegarão ao segundo estande antes de todos os carros atendidos no primeiro estande?
R: Sim! Após 7 minutos, o primeiro carro chega à segunda cabine; três carros ainda estão na primeira cabine

Atraso na fila de pacotes (revisitado)

- a : taxa média de chegada de pacotes
- L : comprimento do pacote (bits)
- R : largura de banda do link (taxa de transmissão de bits)

$$\frac{L \cdot a}{R} : \frac{\text{taxa de chegada de bits}}{\text{taxa de serviço de bits}}$$

"tráfego intensidade"



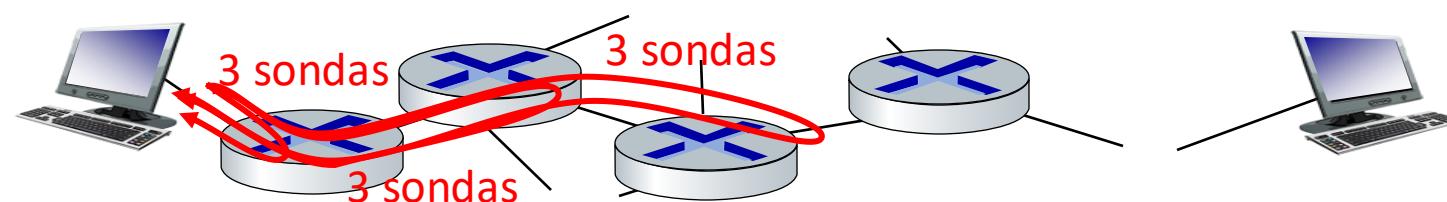
- $La/R \sim 0$: atraso médio de enfileiramento pequeno
- $La/R \rightarrow 1$: atraso médio de enfileiramento grande
- $La/R > 1$: mais "trabalho" chegando é mais do que pode ser atendido - atraso médio infinito!



$La/R \rightarrow 1$

Atrasos e rotas "reais" da Internet

- Como são os atrasos e as perdas "reais" na Internet?
- Programa **traceroute**: fornece medição de atraso da origem ao roteador ao longo do caminho final da Internet até o destino. Para todos os i :
 - envia três pacotes que chegarão ao roteador i no caminho para o destino (com o valor do campo time-to-live de i)
 - roteador i devolverá os pacotes ao remetente
 - O remetente mede o intervalo de tempo entre a transmissão e a resposta



Atrasos e rotas reais da Internet

traceroute: gaia.cs.umass.edu para www.eurecom.fr

3 medições de atraso de
gaia.cs.umass.edu para cs-gw.cs.umass.edu

3 medições de atraso
para border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu

ligação transoceânica

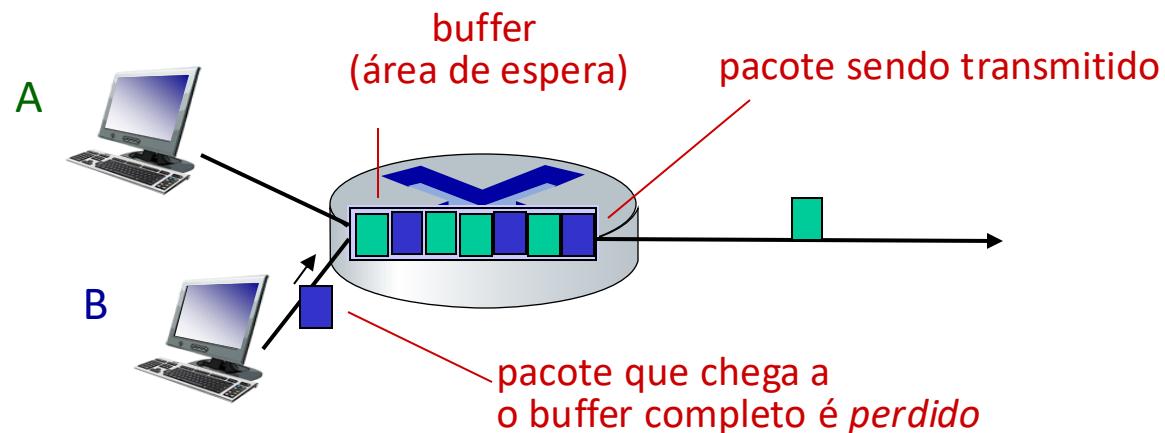
parece que os atrasos
diminuíram! Por quê?

1 cs-gw (128.119.240.254) 1 ms 1 ms 2 ms
2 border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145) 1 ms 1 ms 2 ms
3 cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130) 6 ms 5 ms 5 ms
4 jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129) 16 ms 11 ms 13 ms
5 jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136) 21 ms 18 ms 18 ms
6 abilene-vbns.abilene.ucaid.edu (198.32.11.9) 22 ms 18 ms 22 ms
7 nycm-wash.abilene.ucaid.edu (198.32.8.46) 22 ms 22 ms 22 ms
8 62.40.103.253 (62.40.103.253) 104 ms 109 ms 106 ms
9 de2-1.de1.de.geant.net (62.40.96.129) 109 ms 102 ms 104 ms
10 de.fr1.fr.geant.net (62.40.96.50) 113 ms 121 ms 114 ms
11 renater-gw.fr1.fr.geant.net (62.40.103.54) 112 ms 114 ms 112 ms
12 nio-n2.cssi.renater.fr (193.51.206.13) 111 ms 114 ms 116 ms
13 nice.cssi.renater.fr (195.220.98.102) 123 ms 125 ms 124 ms
14 r3t2-nice.cssi.renater.fr (195.220.98.110) 126 ms 126 ms 124 ms
15 eurecom-valbonne.r3t2.ft.net (193.48.50.54) 135 ms 128 ms 133 ms
16 194.214.211.25 (194.214.211.25) 126 ms 128 ms 126 ms
17 ***
18 *** * significa que não há resposta (sonda perdida, roteador não está respondendo)
19 fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142) 132 ms 128 ms 136 ms

* Faça alguns traceroutes de países exóticos em www.traceroute.org

Perda de pacotes

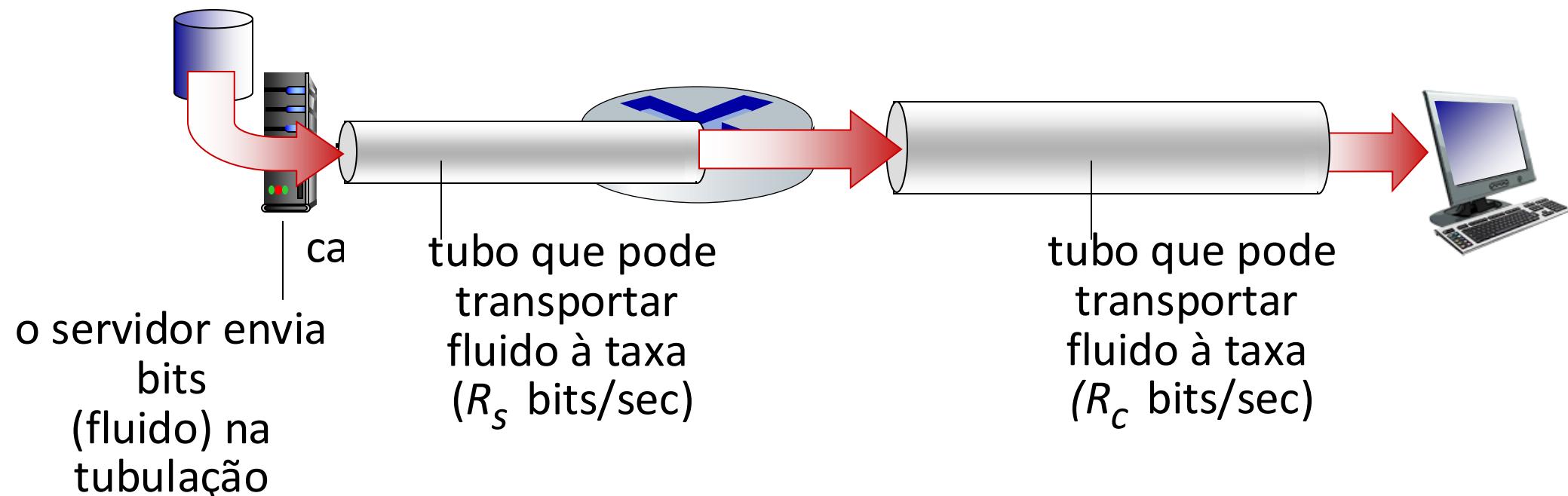
- fila (também conhecida como buffer) o link anterior no buffer tem capacidade finita
- o pacote que chega à fila cheia é descartado (também conhecido como perdido)
- o pacote perdido pode ser retransmitido pelo nó anterior, pelo sistema final de origem ou não ser retransmitido



* Confira o applet Java para uma animação interativa (no site do editor) sobre filas e perdas

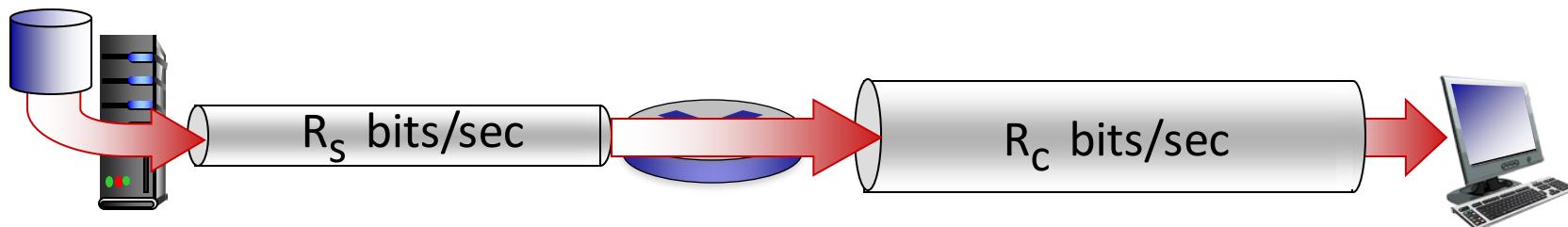
Taxa de transferência

- taxa de *transferência*: taxa (bits/unidade de tempo) na qual os bits estão sendo enviados do remetente para o receptor
 - *instantânea*: taxa em um determinado momento
 - *média*: taxa durante um longo período de tempo

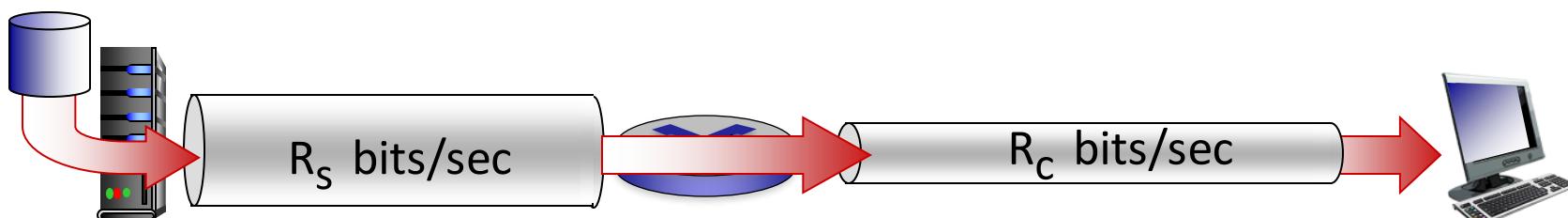


Taxa de transferência

$R_s < R_c$ Qual é a taxa de transferência média de fim de linha?



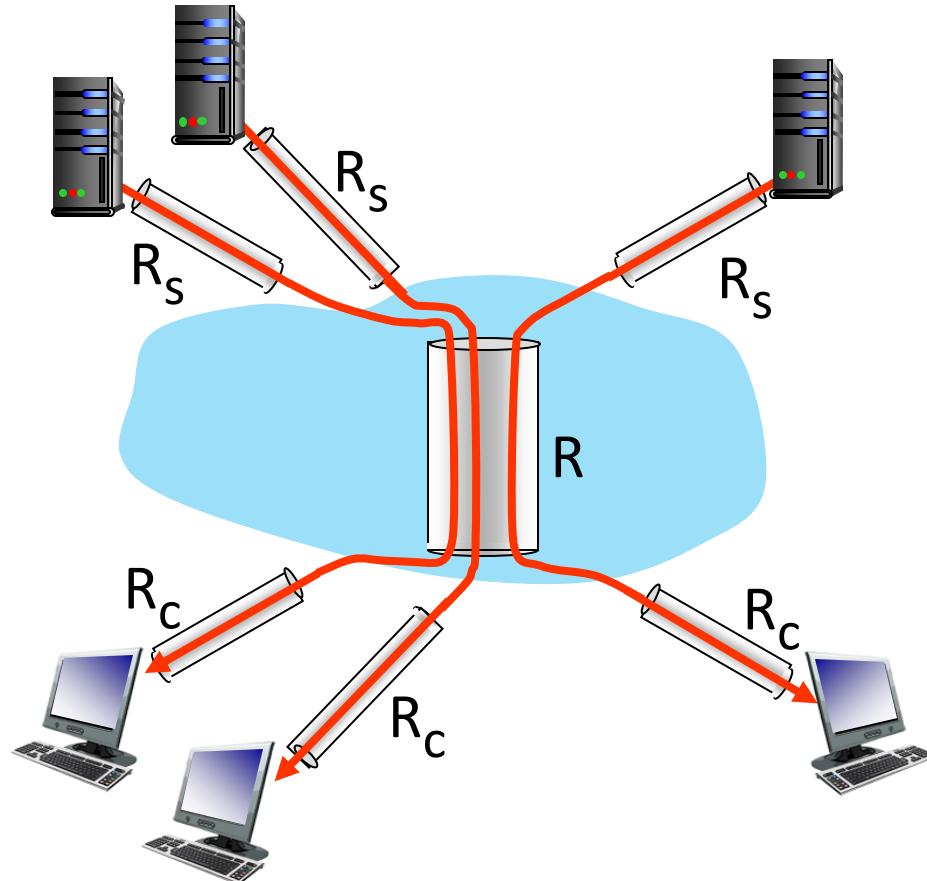
$R_s > R_c$ Qual é a taxa de transferência média de fim de linha?



link de gargalo

link no caminho final que limita a taxa de transferência final

Taxa de transferência: cenário de rede



10 conexões (de forma justa)
compartilham o link de gargalo do
backbone R bits/sec

- taxa de transferência final por conexão: $\min(R_c, R_s, R/10)$
- Na prática: O R_c ou o R_s costuma ser o gargalo

* Confira os exercícios interativos on-line para obter mais exemplos: http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/

Capítulo 1: roteiro

- O que é a Internet?
- O que é um protocolo?
- Borda da rede: hosts, rede de acesso, mídia física
- Núcleo da rede: comutação de pacotes/circuitos, quadro da Internet
- Desempenho: perda, atraso, taxa de transferência
- **Segurança**
- Camadas de protocolo, modelos de serviço
- Histórico



Segurança de rede

- A Internet não foi projetada originalmente com (muita) segurança em mente
 - *visão original:* "um grupo de usuários que confiam mutuamente e estão ligados a uma rede transparente" ☺
 - Os projetistas de protocolos da Internet estão tentando "recuperar o atraso"
 - considerações de segurança em todas as camadas!
- Agora precisamos pensar sobre isso:
 - como os bandidos podem atacar as redes de computadores
 - como podemos defender as redes contra ataques
 - como projetar arquiteturas imunes a ataques

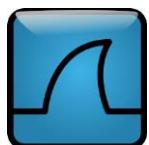
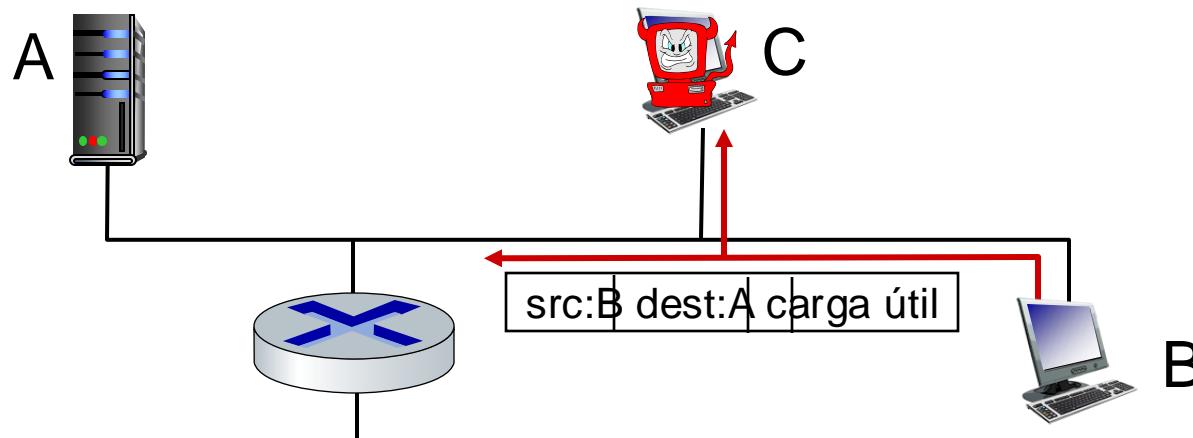
Segurança de rede

- A Internet não foi projetada originalmente com (muita) segurança em mente
 - *visão original:* "um grupo de usuários que confiam mutuamente e estão ligados a uma rede transparente" ☺
 - Os projetistas de protocolos da Internet estão tentando "recuperar o atraso"
 - considerações de segurança em todas as camadas!
- Agora precisamos pensar sobre isso:
 - como os bandidos podem atacar as redes de computadores
 - como podemos defender as redes contra ataques
 - como projetar arquiteturas imunes a ataques

Vilões: interceptação de pacotes

pacote "sniffing":

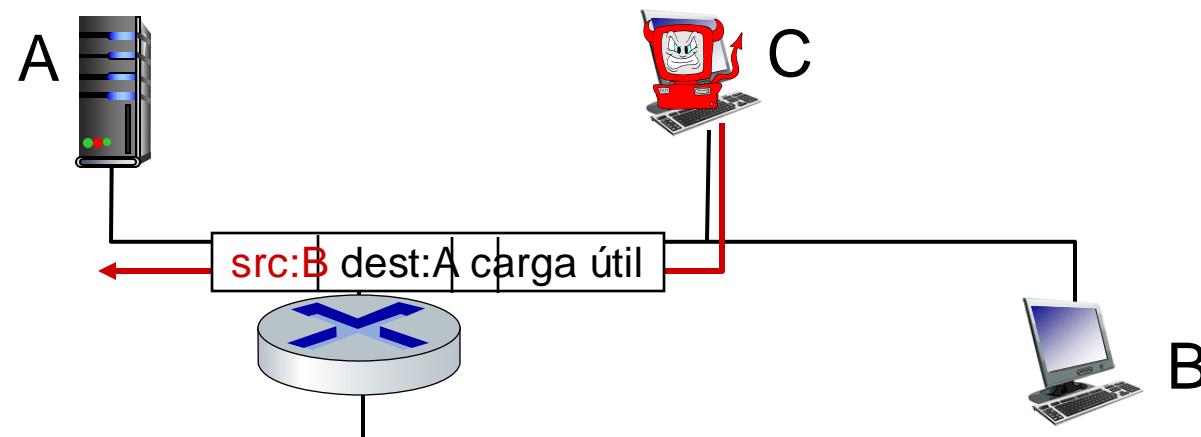
- mídia de transmissão (Ethernet compartilhada, sem fio)
- a interface de rede promiscua lê/registra todos os pacotes (por exemplo, incluindo senhas!) que passam por ela



O software Wireshark, usado em nossos laboratórios de final de capítulo, é um farejador de pacotes (gratuito)

Vilões: identidade falsa

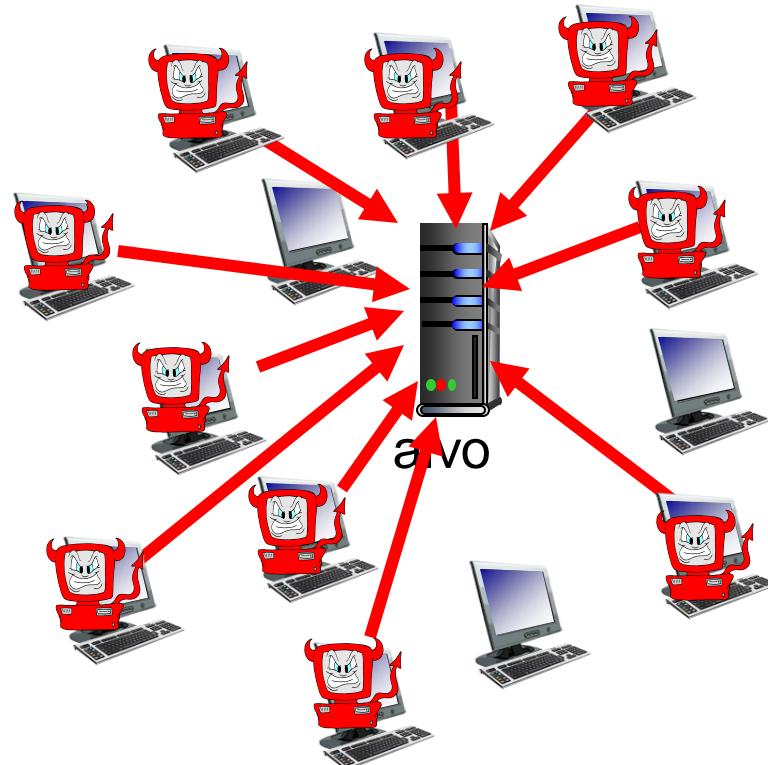
IP spoofing: injeção de pacote com endereço de origem falso



Bandidos: negação de serviço

Negação de serviço (DoS): os invasores tornam os recursos (servidor, largura de banda) indisponíveis para o tráfego legítimo ao sobrecarregar o recurso com tráfego falso

1. selecione o alvo
2. invadir hosts na rede
(consulte botnet)
3. enviar pacotes para o alvo a partir de hosts comprometidos



Linhas de defesa:

- **autenticação:** provando que você é quem diz ser
 - as redes celulares fornecem identidade de hardware por meio do cartão SIM; esse tipo de hardware não ajuda na Internet tradicional
 - **confidencialidade:** por meio de criptografia
 - **verificações de integridade:** as assinaturas digitais evitam/detectam adulterações
 - **restrições de acesso:** VPNs protegidas por senha
 - **firewalls:** "middleboxes" especializados em redes de acesso e centrais:
 - off-by-default: filtra pacotes de entrada para restringir remetentes, receptores e aplicações
 - detecção/reação a ataques DOS
- ... muito mais sobre segurança (em todo o Capítulo 8)*

Capítulo 1: roteiro

- O que é a Internet?
- O que é um protocolo?
- Borda da rede: hosts, rede de acesso, mídia física
- Núcleo da rede: comutação de pacotes/circuitos, quadro da Internet
- Desempenho: perda, atraso, taxa de transferência
- Segurança
- Camadas de protocolo, modelos de serviço
- Histórico



"Camadas" de protocolo e modelos de referência

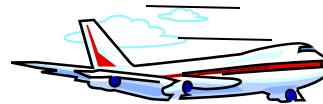
As redes são complexas,
com muitas "peças":

- anfitriões
- roteadores
- links de várias mídias
- aplicações
- protocolos
- hardware, software

Pergunta: há alguma esperança de *organizar* a quadro da rede?

- e/ou nossa *discussão* sobre redes?

Exemplo: organização de viagens aéreas



transferência de ponta a ponta de pessoa e bagagem

bilhete (compra)

Bagagem (check)

portões (carga)

decolagem na pista

roteamento de avião

ticket (reclamação)

bagagem (reivindicação)

portões (descarregamento)

aterrissagem na pista

roteamento de avião

roteamento de avião

Como você *definiria/discutiria* o sistema de viagens aéreas?

- uma série de etapas, envolvendo muitos serviços

Exemplo: organização de viagens aéreas

bilhete (compra)	<i>serviço de emissão de bilhetes</i>	ticket (reclamação)
Bagagem (check)	<i>serviço de bagagem</i>	bagagem (reivindicação)
portões (carga)	<i>serviço de portão portões</i>	(descarregamento)
decolagem na pista	<i>serviço de pista</i>	aterrissagem na pista
roteamento de avião	<i>serviço de roteamento</i>	roteamento de avião

camadas: cada camada implementa um serviço

- por meio de suas próprias ações de camada interna
- depender de serviços fornecidos pela camada abaixo

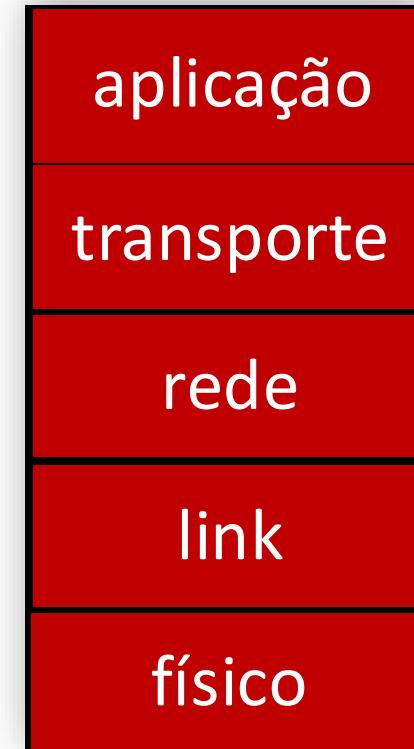
Por que usar camadas?

Abordagem para projetar/discutir sistemas complexos:

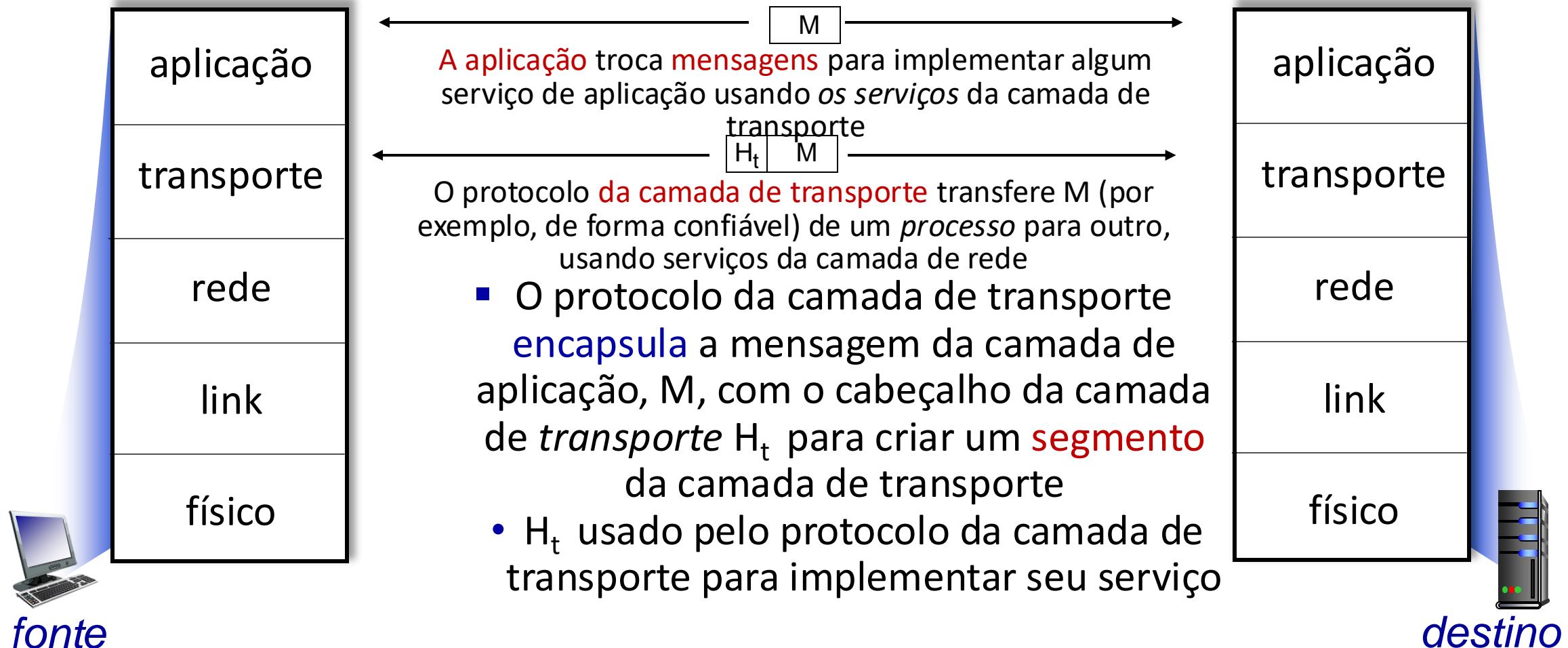
- A quadro explícita permite a identificação e o relacionamento das partes do sistema
 - *modelo de referência* em camadas para discussão
- a modularização facilita a manutenção e a atualização do sistema
 - alteração na *implementação* do serviço da camada: transparente para o restante do sistema
 - Por exemplo, a alteração no procedimento do portão não afeta o restante do sistema

Pilha de protocolos da Internet em camadas

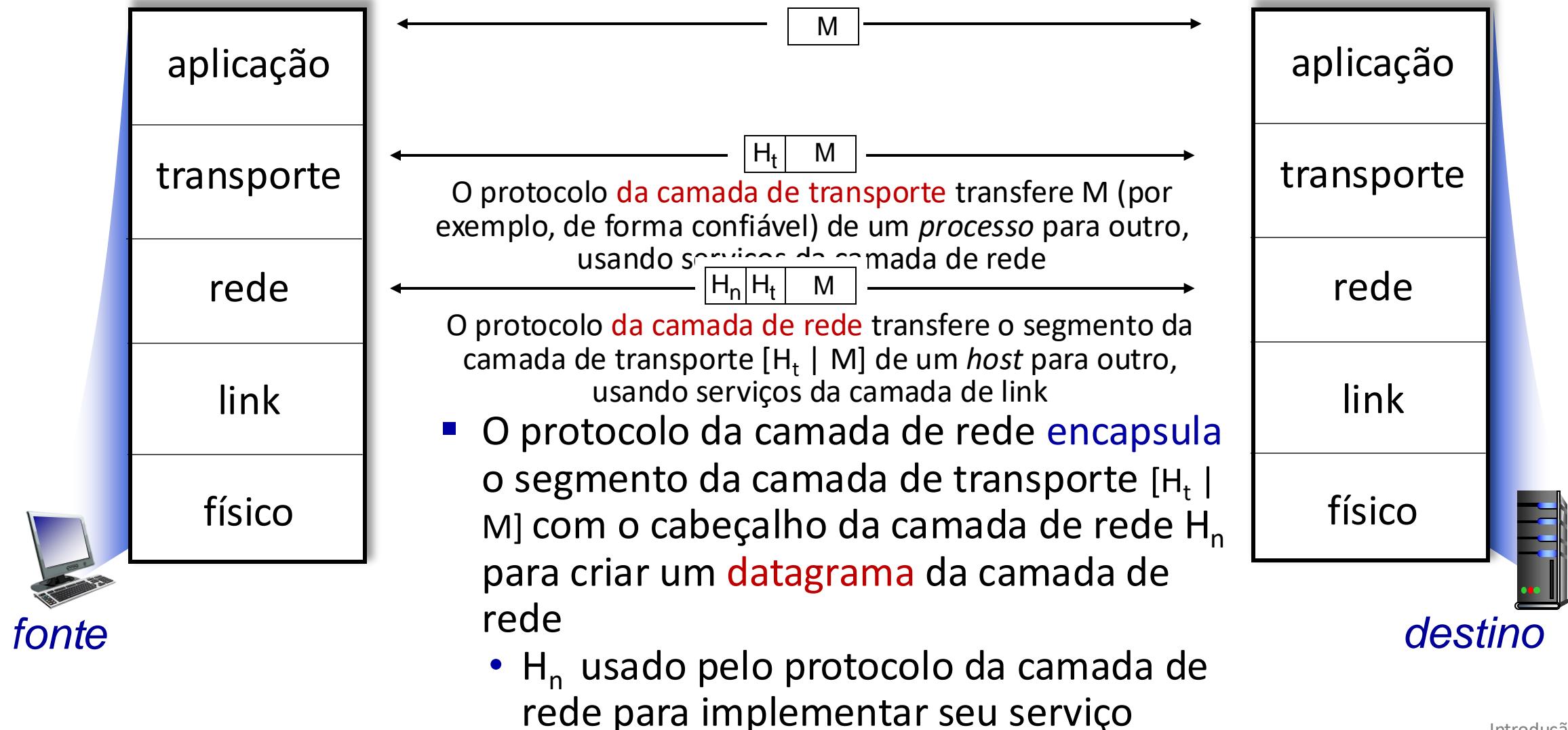
- *Aplicação*: suporte a aplicações de rede
 - HTTP, IMAP, SMTP, DNS
- *transporte*: transferência de dados processo-processo
 - TCP, UDP
- *rede*: roteamento de datagramas da origem ao destino
 - IP, protocolos de roteamento
- *link*: transferência de dados entre elementos de rede vizinhos
 - Ethernet, 802.11 (WiFi), PPP
- *físico*: bits "no fio"



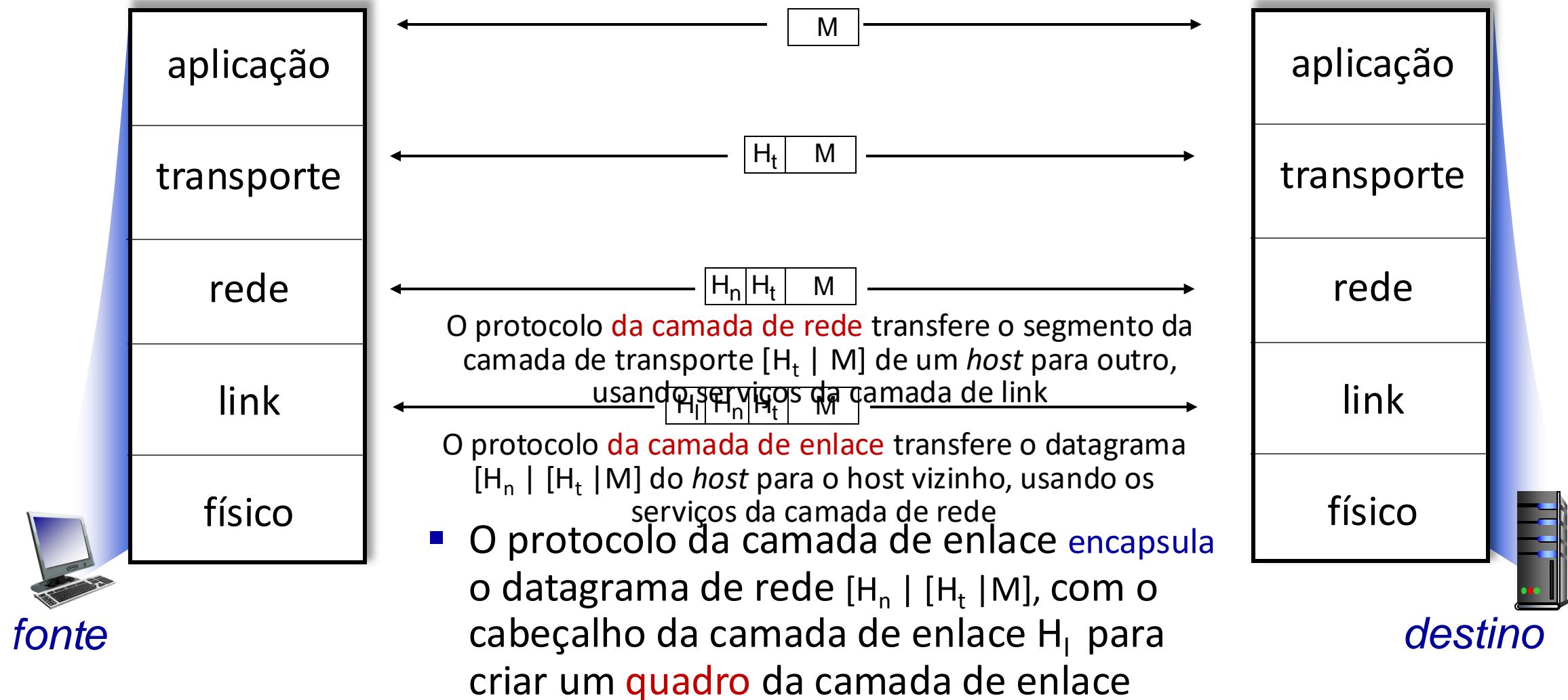
Serviços, camadas e encapsulamento



Serviços, camadas e encapsulamento

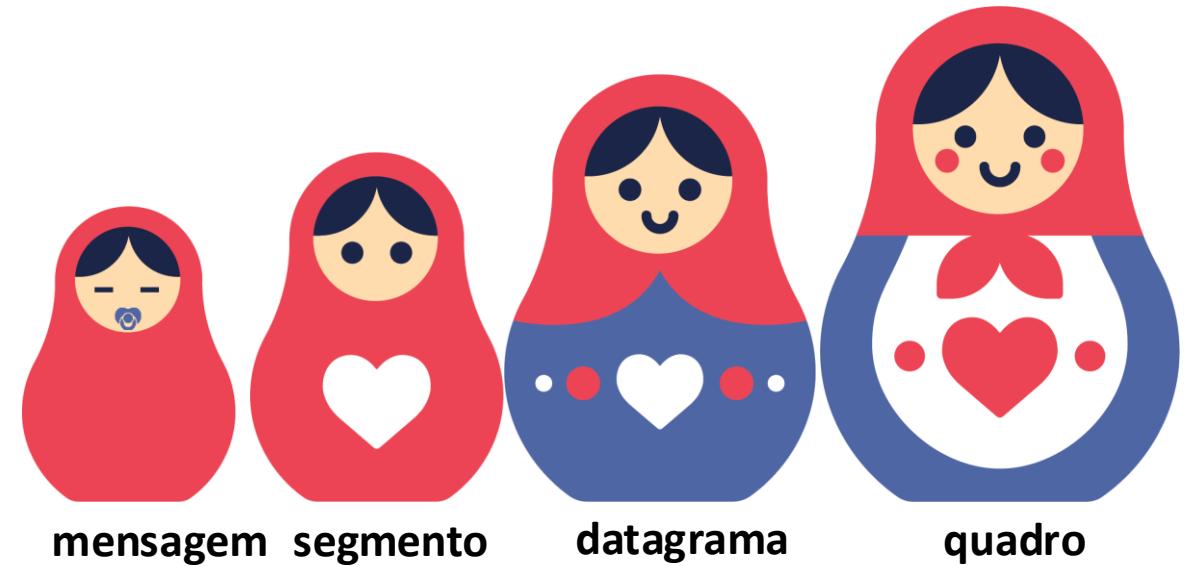


Serviços, camadas e encapsulamento

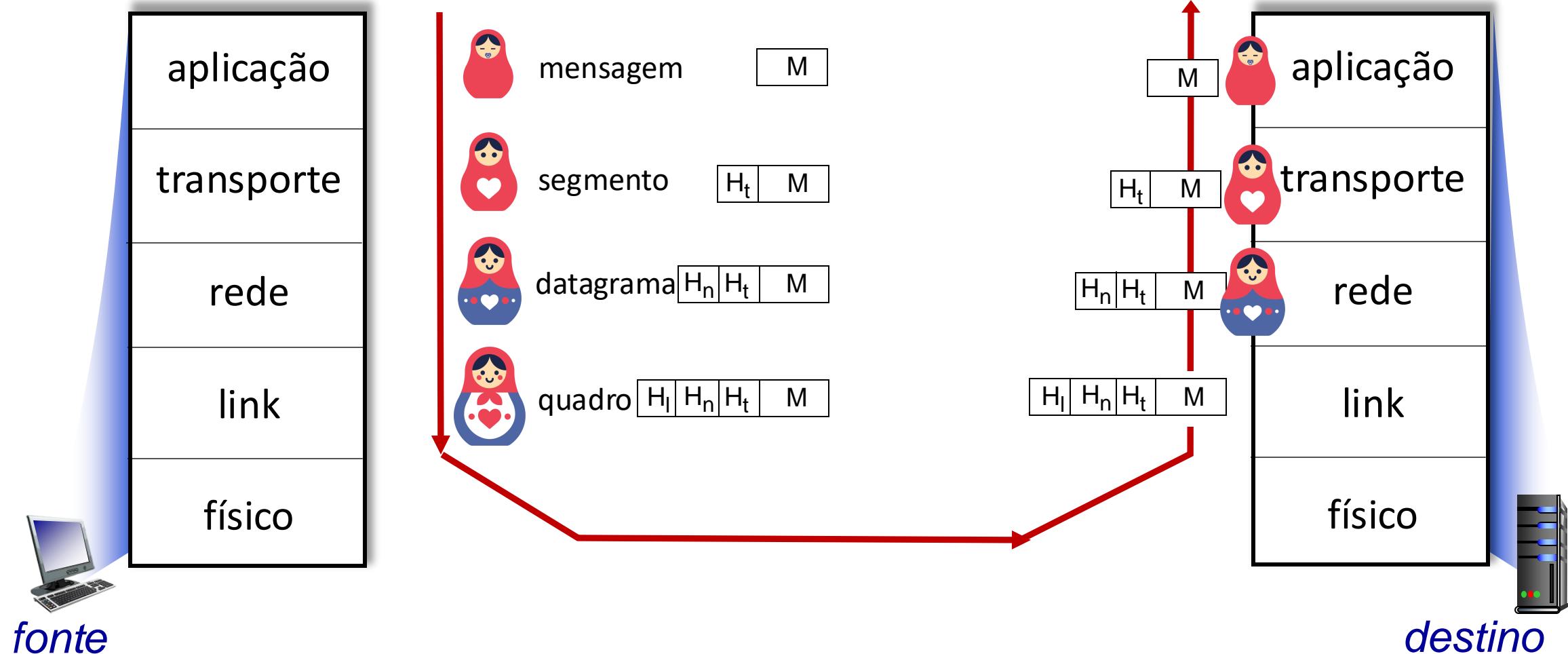


Encapsulamento

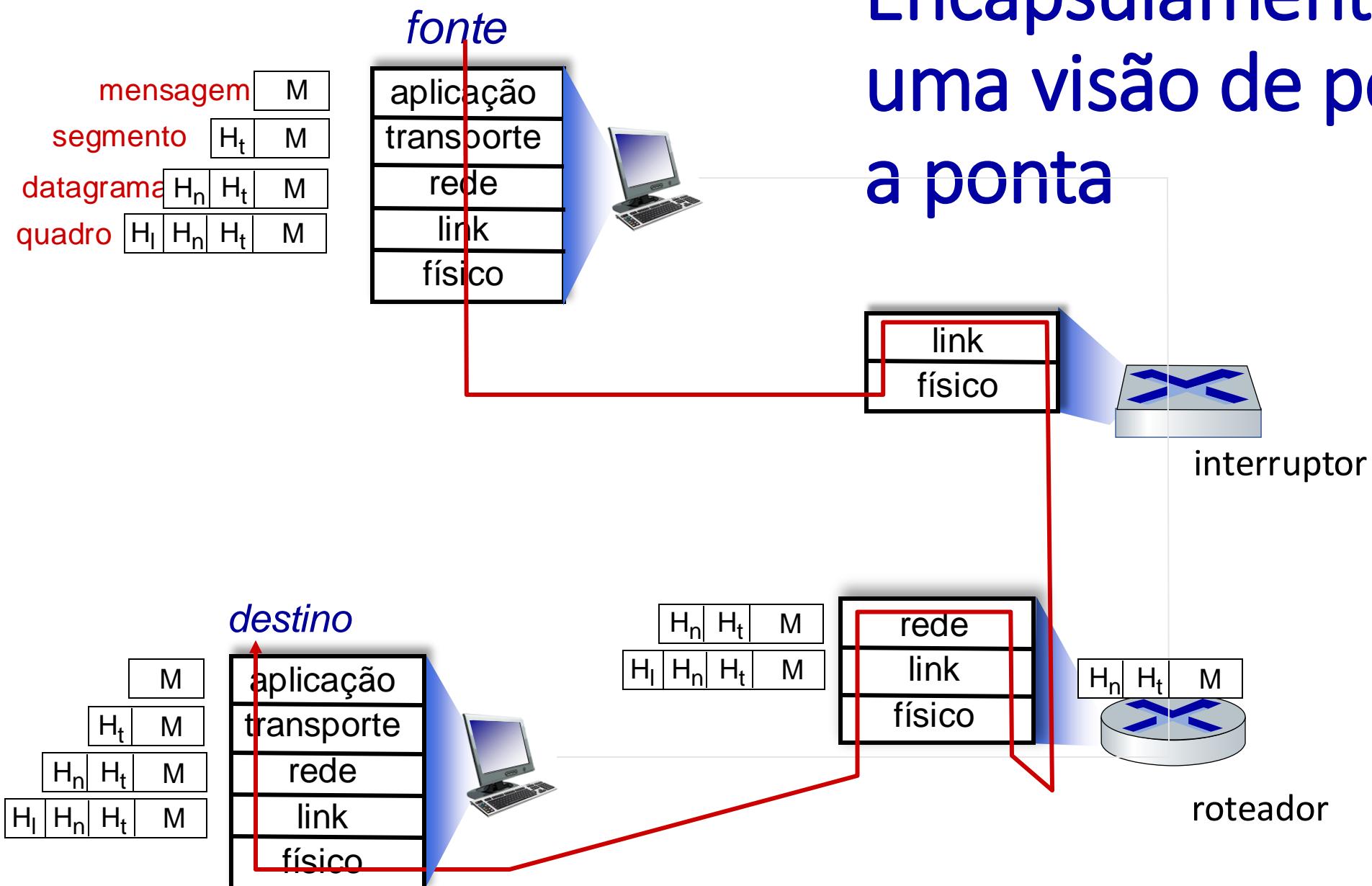
Bonecas Matryoshka (bonecas empilhadas)



Serviços, camadas e encapsulamento



Encapsulamento: uma visão de ponta a ponta



Capítulo 1: roteiro

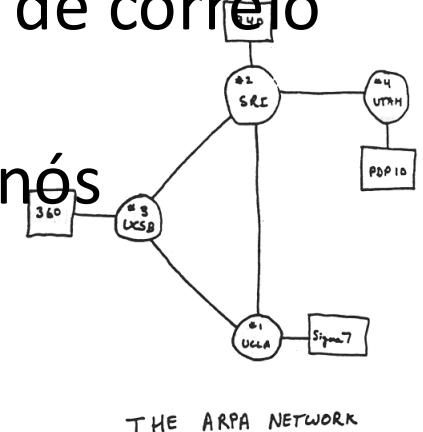
- O que é a Internet?
- O que é um protocolo?
- Borda da rede: hosts, rede de acesso, mídia física
- Núcleo da rede: comutação de pacotes/circuitos, quadro da Internet
- Desempenho: perda, atraso, taxa de transferência
- Segurança
- Camadas de protocolo, modelos de serviço
- Histórico



Histórico da Internet

1961-1972: Princípios iniciais de comutação de pacotes

- 1961: Kleinrock - a teoria das filas mostra a eficácia da comutação de pacotes
- 1964: Baran - comutação de pacotes em redes militares
- 1967: ARPAnet concebida pela Agência de Projetos de Pesquisa Avançada
- 1969: primeiro nó da ARPAnet em operação
- 1972:
 - Demonstração pública da ARPAnet
 - NCP (Network Control Protocol) primeiro protocolo host-host
 - primeiro programa de correio eletrônico
 - A ARPAnet tem 15 nós



Histórico da Internet

1972-1980: Internetworking, redes novas e proprietárias

- 1970: Rede de satélites ALOHAnet no Havaí
- 1974: Cerf e Kahn - arquitetura para redes de interconexão
- 1976: Ethernet no Xerox PARC
- final da década de 70: arquiteturas proprietárias: DECnet, SNA, XNA
- 1979: A ARPAnet tem 200 nós

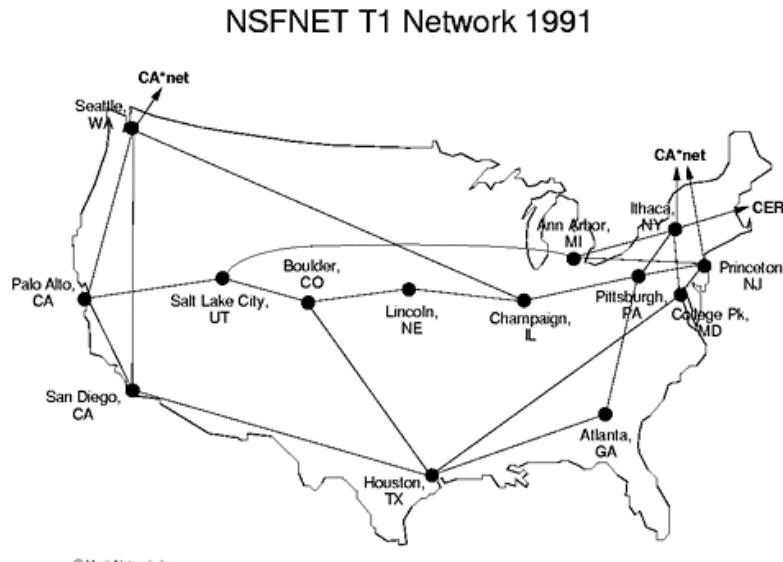
Os princípios de internetworking de Cerf e Kahn:

- minimalismo, autonomia - não são necessárias mudanças internas para interconectar redes
 - modelo de serviço de melhor esforço
 - roteamento sem estado
 - controle descentralizado
- definir a arquitetura atual da Internet

Histórico da Internet

1980-1990: novos protocolos, uma proliferação de redes

- 1983: implantação do TCP/IP
- 1982: protocolo de e-mail smtp definido
- 1983: DNS definido para tradução de nome para endereço IP
- 1985: protocolo ftp definido
- 1988: Controle de congestionamento TCP
- novas redes nacionais: CSnet, BITnet, NSFnet, Minitel
- 100.000 hosts conectados à confederação de redes



Histórico da Internet

1990, anos 2000: comercialização, Web, novos aplicaçãoos

- Início da década de 1990: A ARPAnet é desativada
 - 1991: A NSF suspende as restrições ao uso comercial da NSFnet (desativada em 1995)
 - Início da década de 1990: Web
 - hipertexto [Bush 1945, Nelson 1960's]
 - HTML, HTTP: Berners-Lee
 - 1994: Mosaic, mais tarde Netscape
 - Final da década de 1990: comercialização da Web
- Final da década de 1990 - anos 2000:
- mais aplicações matadores: mensagens instantâneas, compartilhamento de arquivos P2P
 - segurança de rede em primeiro plano
 - est. 50 milhões de hosts, mais de 100 milhões de usuários
 - links de backbone funcionando a Gbps

Histórico da Internet

2005 até o presente: escala, SDN, mobilidade, nuvem

- implantação agressiva de acesso doméstico em banda larga (10-100 Mbps)
- 2008: rede definida por software (SDN)
- crescente onipresença do acesso sem fio de alta velocidade: 4G/5G, WiFi
- os provedores de serviços (Google, FB, Microsoft) criam suas próprias redes
 - contornar a Internet comercial para se conectar "perto" do usuário final, fornecendo acesso "instantâneo" à mídia social, pesquisa, conteúdo de vídeo, ...
- as empresas executam seus serviços na "nuvem" (por exemplo, Amazon Web Services, Microsoft Azure)
- aumento dos smartphones: mais dispositivos móveis do que fixos na Internet (2017)
- ~15 bilhões de dispositivos conectados à Internet (2023, statista.com)

Capítulo 1: resumo

Cobrimos uma "tonelada" de material!

- Visão geral da Internet
- O que é um protocolo?
- borda da rede, rede de acesso, núcleo
 - comutação de pacotes versus comutação de circuitos
 - quadro da Internet
- desempenho: perda, atraso, taxa de transferência
- camadas, modelos de serviço
- segurança
- histórico

Agora você tem:

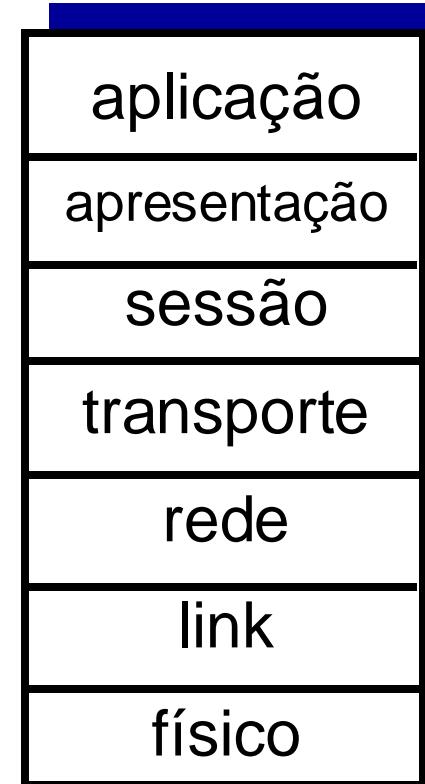
- contexto, visão geral, vocabulário, "sensação" de rede
- mais profundidade, detalhes e diversão para acompanhar!

Slides adicionais do Capítulo 1

Modelo de referência ISO/OSI

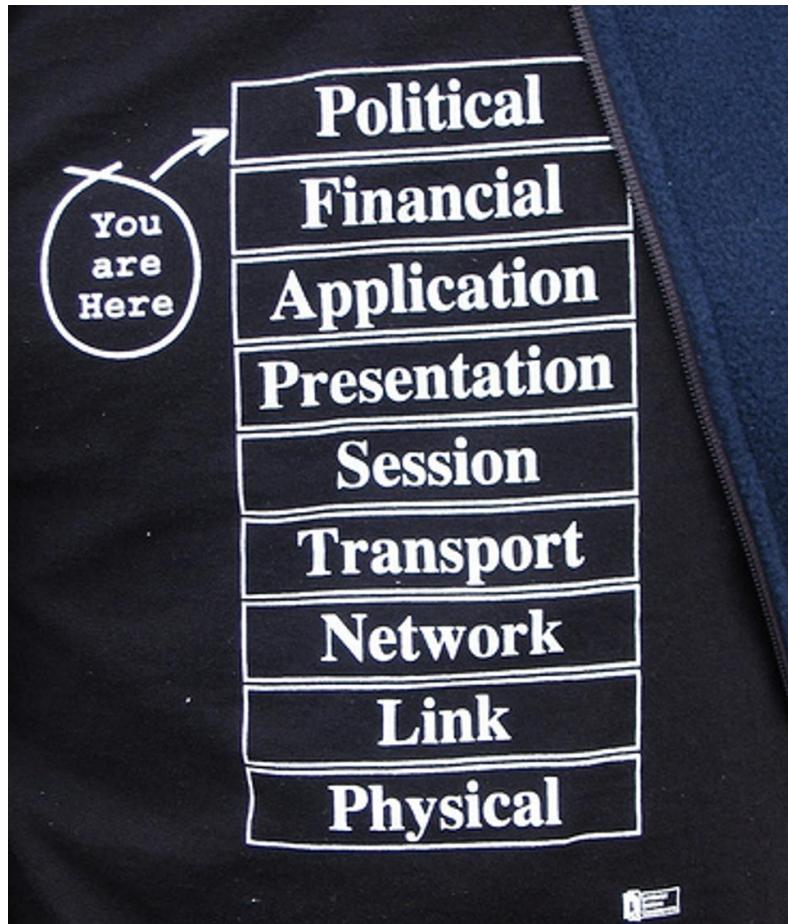
Duas camadas não encontradas na pilha de protocolos da Internet!

- *apresentação*: permite que os aplicativos interpretem o significado dos dados, por exemplo, criptografia, compactação, convenções específicas da máquina
- *sessão*: sincronização, ponto de verificação, recuperação de troca de dados
- A pilha da Internet "perdeu" essas camadas!
 - Esses serviços, *se necessários*, devem ser implementados no aplicação
 - necessário?

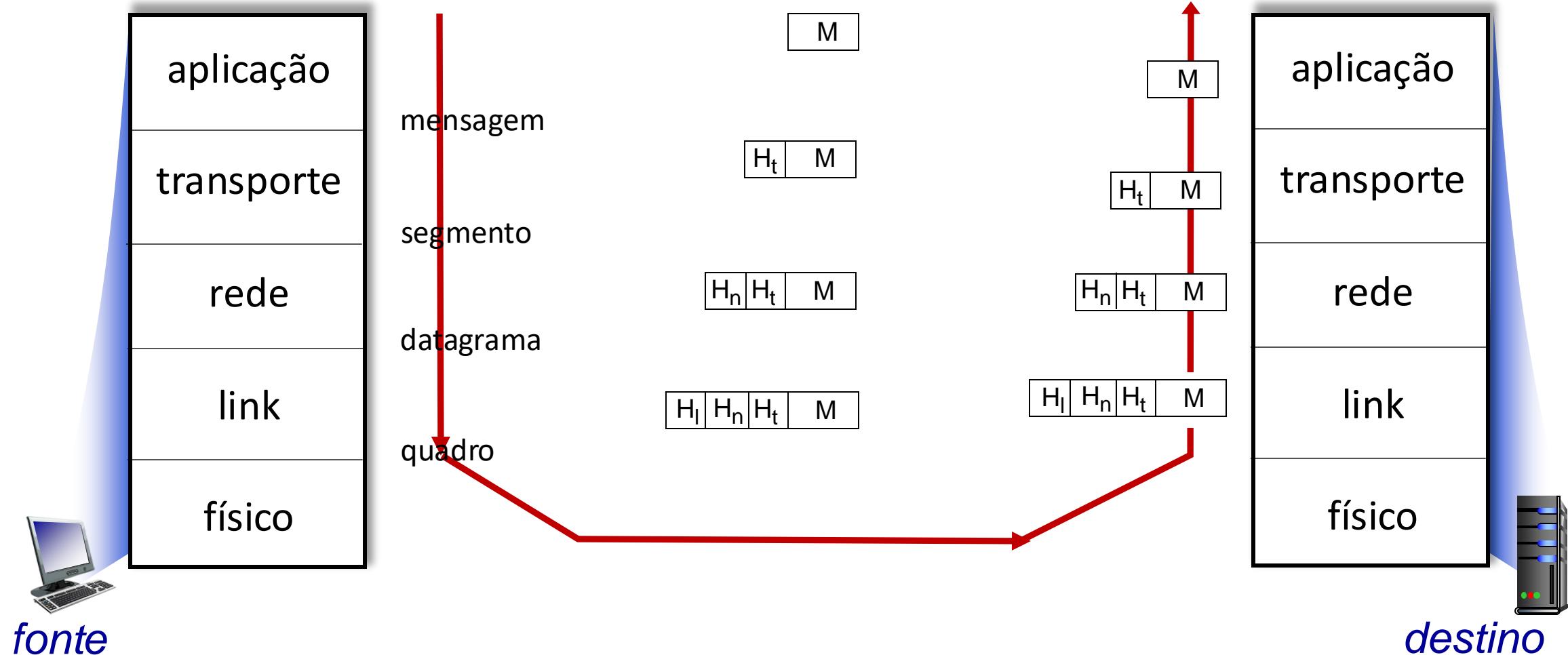


As sete camadas OSI/ISO
modelo de referência

Mais de sete camadas OSI



Serviços, camadas e encapsulamento



Wireshark

