

Capítulo 1: Roteiro

1.1 O que é a Internet?

1.2 Borda da rede

- ☐ sistemas finais, redes de acesso, enlaces

1.3 Núcleo da rede

- ☐ comutação de circuitos, comutação de pacotes, estrutura da rede

1.4 Atraso, perda e vazão nas redes comutadas por pacotes

1.5 Camadas de protocolo, modelos de serviço

1.6 Redes sob ataque: segurança

1.7 História

O que é a Internet: visão básica



PC



servidor



laptop
sem fio



celular
portátil

- milhões de dispositivos de computação conectados:
hospedeiros = sistemas finais
 - rodando *aplicações de rede*

□ *enlaces de comunicação*

❖ fibra, cobre, rádio, satélite

❖ taxa de transmissão =
largura de banda



pontos de
acesso



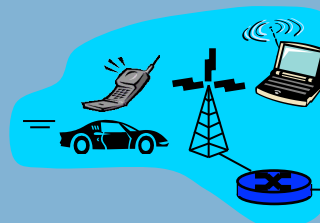
enlaces
com fio



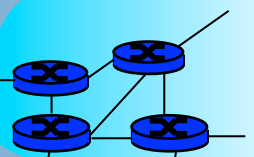
roteador

- *roteadores:*
encaminham pacotes
(pedaços de dados)

Rede móvel



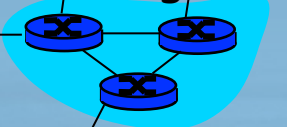
ISP global



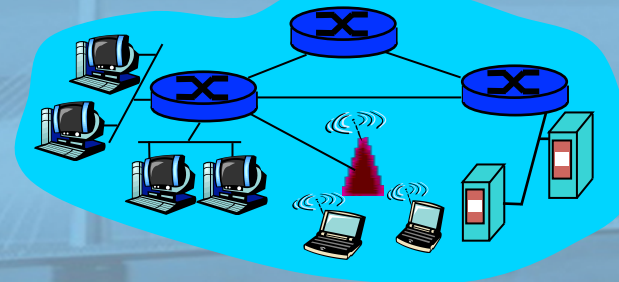
Rede doméstica



ISP regional



Rede institucional



Utensílios “legais” da Internet

REDES DE
COMPUTADORES
E A INTERNET 5ª edição

Uma Abordagem Top-Down



Quadro de imagens IP
<http://www.ceiva.com/>



Tostadora preparada para
Internet + previsor de tempo



Menor servidor Web do mundo
<http://www-ccs.cs.umass.edu/~shri/iPic.html>



Telefones de Internet

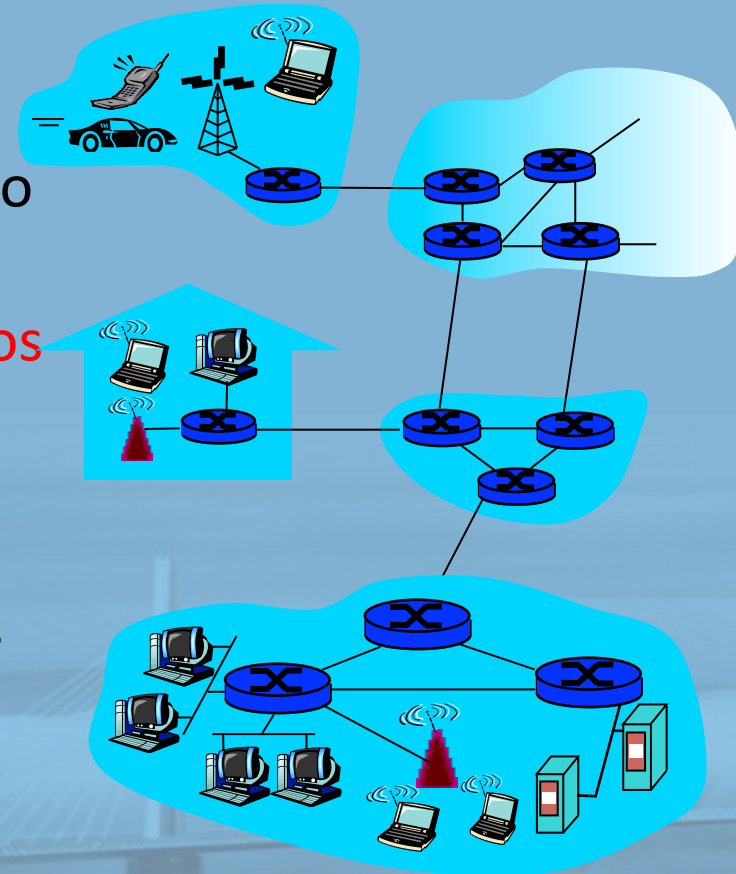
O que é a Internet: visão dos elementos básicos

- **protocolos** controle de envio e recepção de msgs
 - p. e., TCP, IP, HTTP, Skype, Ethernet
- **Internet: “rede de redes”**
 - vagamente hierárquica
 - Internet pública *versus* intranet privada
- padrões da Internet
 - RFC: Request For Comments
 - IETF: Internet Engineering Task Force



O que é a Internet: uma visão de serviço

- **infraestrutura de comunicação** possibilita aplicações distribuídas:
 - Web, VoIP, e-mail, jogos, e-commerce, compartilhamento de arquivos
- **serviços de comunicação fornecidos às aplicações:**
 - entrega de dados confiável da origem ao destino
 - entrega de dados pelo “melhor esforço” (não confiável)



O que é um protocolo?

protocolos humanos:

- “que horas são?”
- “tenho uma pergunta”
- introduções

... msgs específicas
enviadas

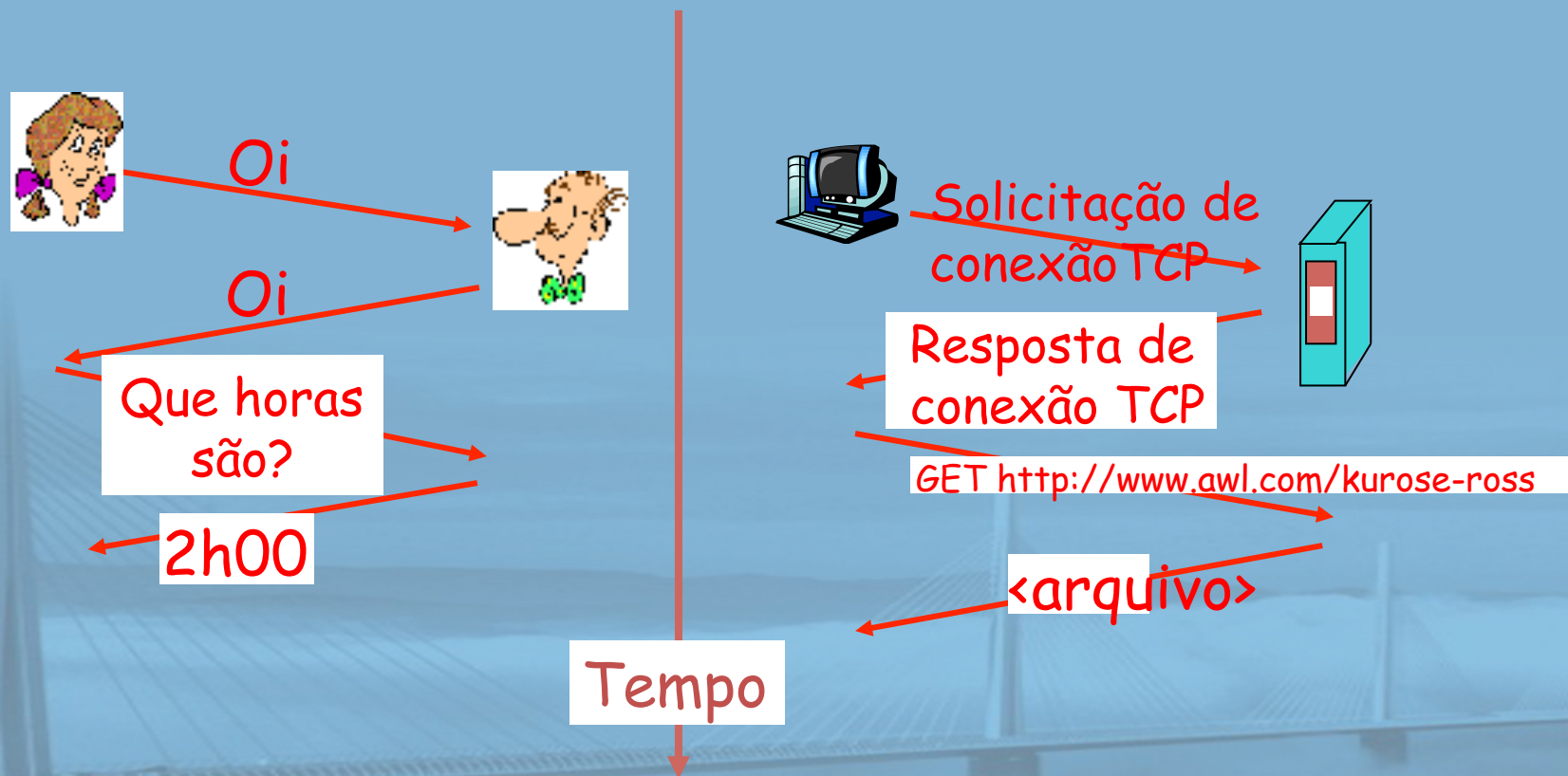
... ações específicas
tomadas quando msgs
recebidas, ou outros
eventos

protocolos de rede:

- máquinas em vez de humanos
- toda atividade de comunicação na Internet controlada por protocolos

Protocolos definem formato, ordem de msgs enviadas e recebidas entre entidades de rede e ações tomadas sobre transmissão e recepção de msgs

um protocolo humano e um protocolo de rede de computadores:



P: Outros protocolos humanos?

Capítulo 1: Roteiro

1.1 O que é a Internet?

1.2 Borda da rede

❑ sistemas finais, redes de acesso, enlaces

1.3 Núcleo da rede

❑ comutação de circuitos, comutação de pacotes,
estrutura da rede

1.4 Atraso, perda e vazão nas redes comutadas por
pacotes

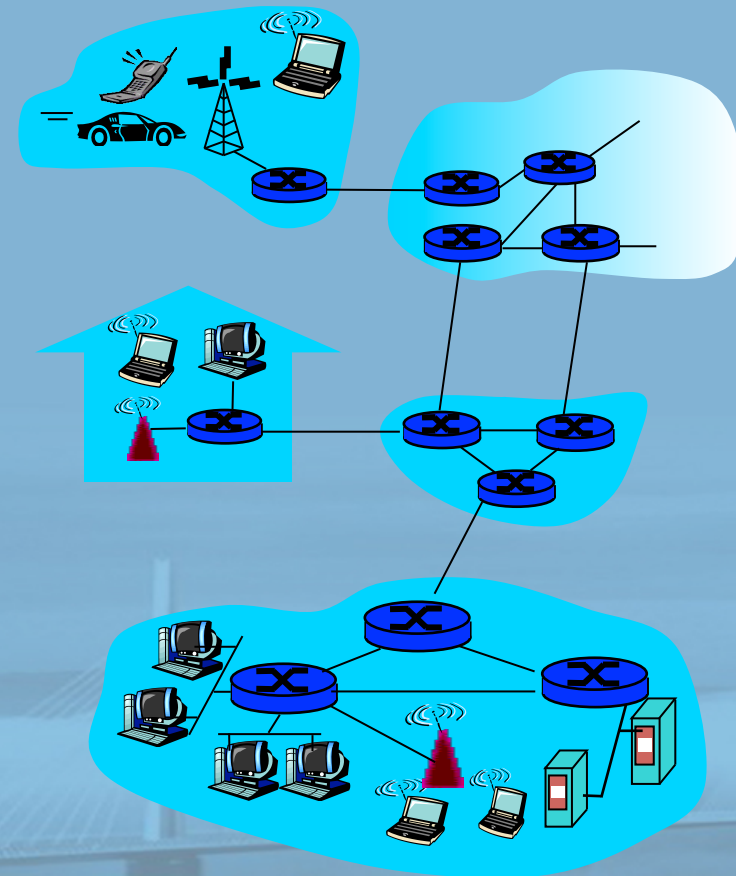
1.5 Camadas de protocolo, modelos de serviço

1.6 Redes sob ataque: segurança

1.7 História

Visão mais de perto da estrutura de rede:

- **borda da rede:**
aplicações e hospedeiros
- **redes de acesso, meios físicos:** enlaces de comunicação com e sem fio
- **núcleo da rede:**
 - ❖ roteadores interconectados
 - ❖ rede de redes



A borda da rede:

- **sistemas finais (hospedeiros):**

- executar programas de aplicação
- p. e. Web, e-mail
- na “borda da rede”

- **modelo cliente/servidor**

- ❖ hospedeiro cliente solicita, recebe serviço de servidor sempre ativo
- ❖ p. e. navegador/servidor Web; cliente/servidor de e-mail

- **modelo peer-peer:**

- ❖ uso mínimo (ou nenhum) de servidores dedicados
- ❖ p. e. Skype, BitTorrent



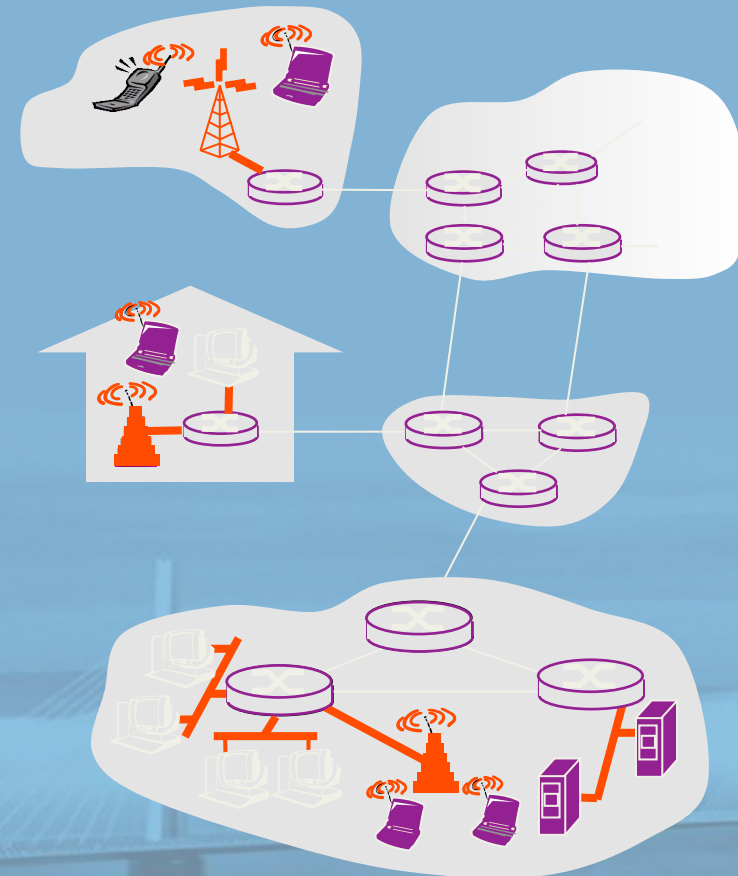
Redes de acesso e meios físicos

P: Como conectar sistemas finais ao roteador da borda?

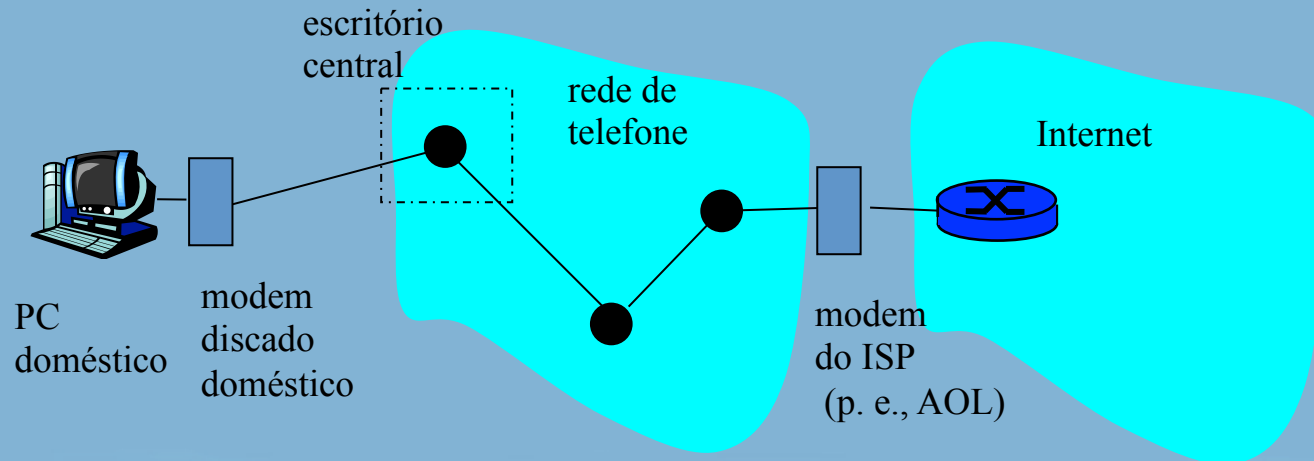
- redes de acesso residencial
- redes de acesso institucional (escola, empresa)
- redes de acesso móvel

Lembre-se:

- largura de banda (bits por segundo) da rede de acesso?
- compartilhado ou dedicado?

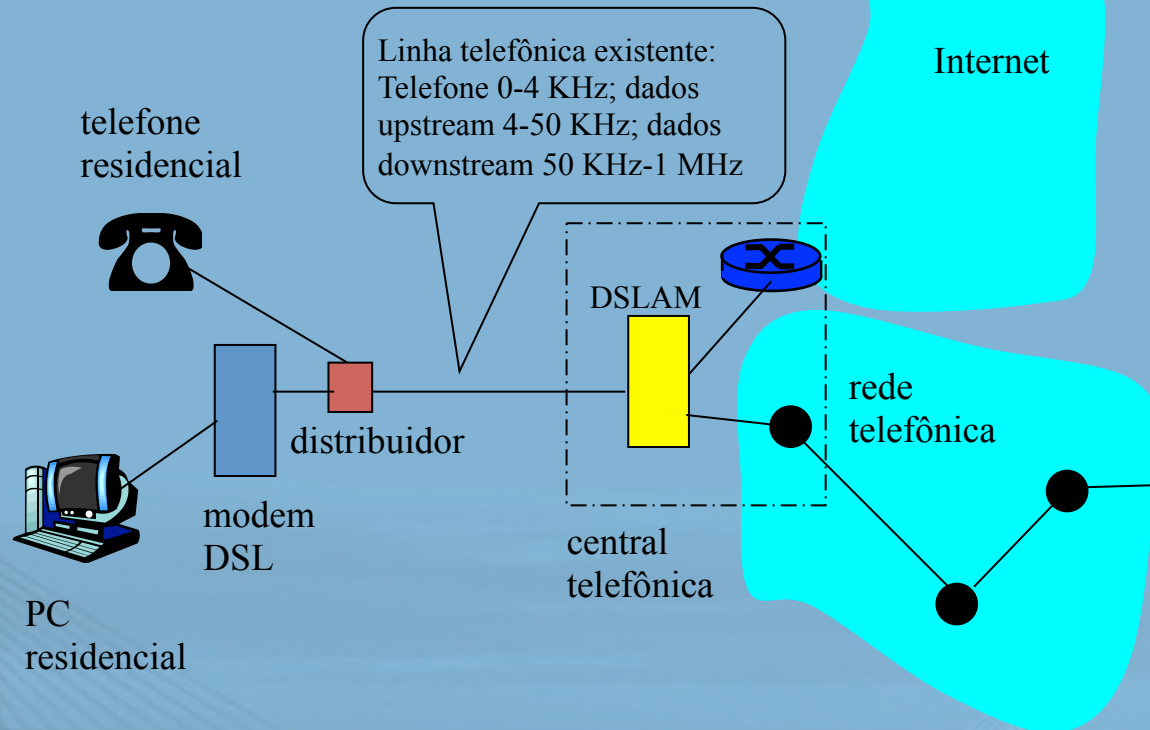


Modem discado



- ❖ usa infraestrutura de telefonia existente
 - ❖ casa conectada ao **escritório central**
- ❖ até 56 kbps de acesso direto ao roteador (geralmente menos)
- ❖ não pode navegar e telefonar ao mesmo tempo: não está **"sempre ligado"**

Digital Subscriber Line (DSL)



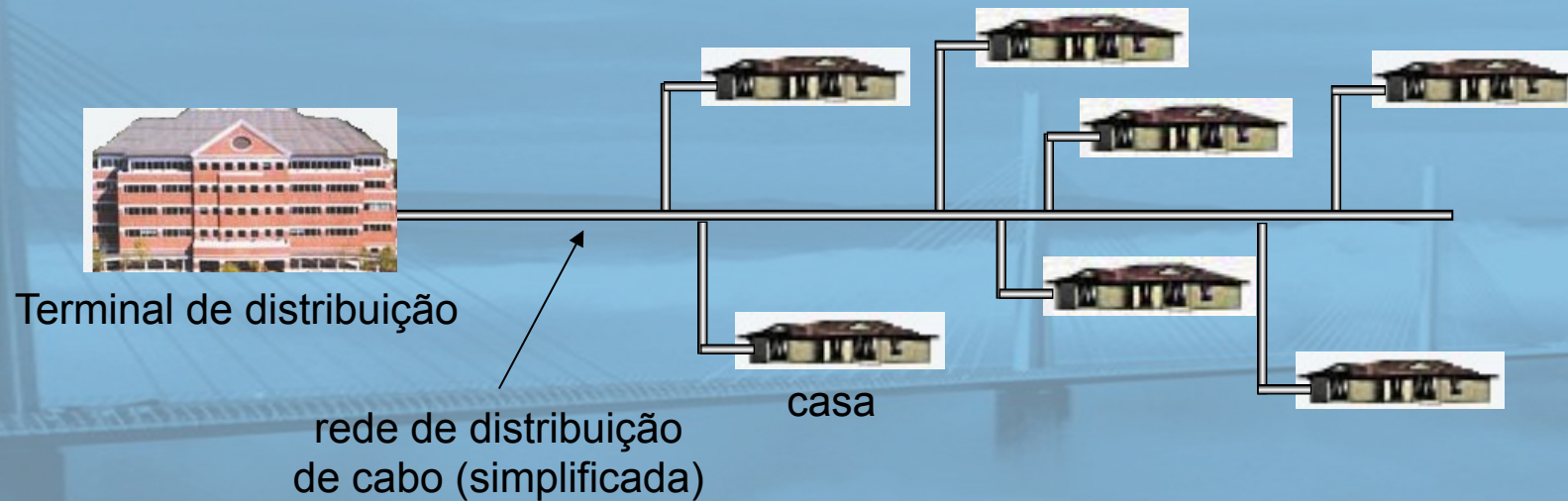
- ❖ também usa infraestrutura de telefone existente
- ❖ até 1 Mbps upstream (hoje, normalmente < 256 kbps)
- ❖ até 8 Mbps downstream (hoje, normalmente < 1 Mbps)
- ❖ linha física dedicada à central telefônica

Acesso residencial: modems a cabo

- não usa infraestrutura de telefone
 - usa infraestrutura de TV a cabo
- **HFC: Hybrid Fiber Coax**
 - assimétrico: até 30 Mbps downstream, 2 Mbps upstream
- **rede** de cabo e fibra conecta casas ao roteador ISP
 - casas **compartilham acesso** ao roteador
 - diferente de DSL, que tem **acesso dedicado**

Arquitetura de rede a cabo: visão geral

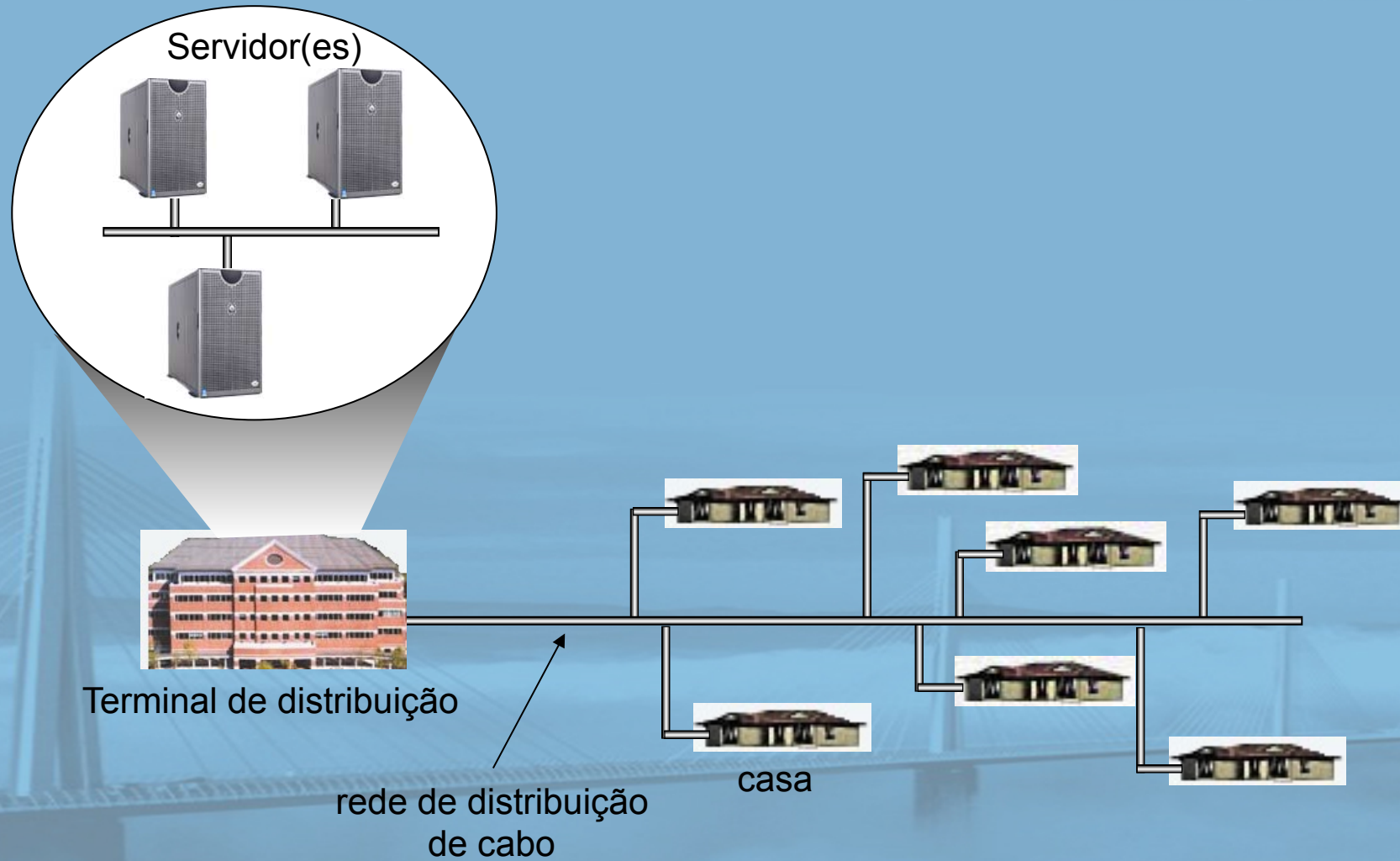
geralmente, 500 a 5.000 casas



REDES DE COMPUTADORES E A INTERNET

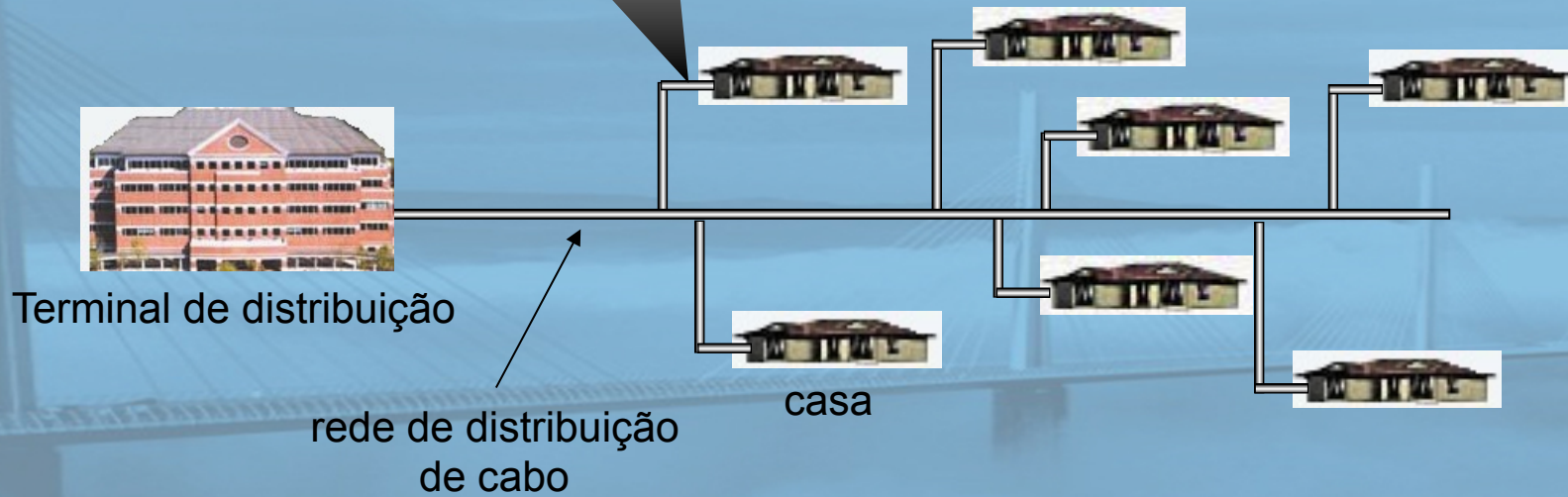
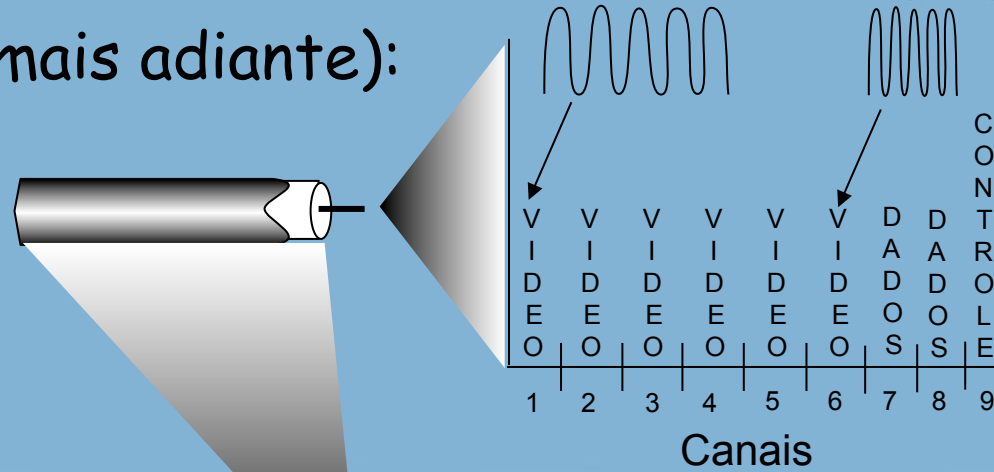
5ª edição

Uma Abordagem Top-Down

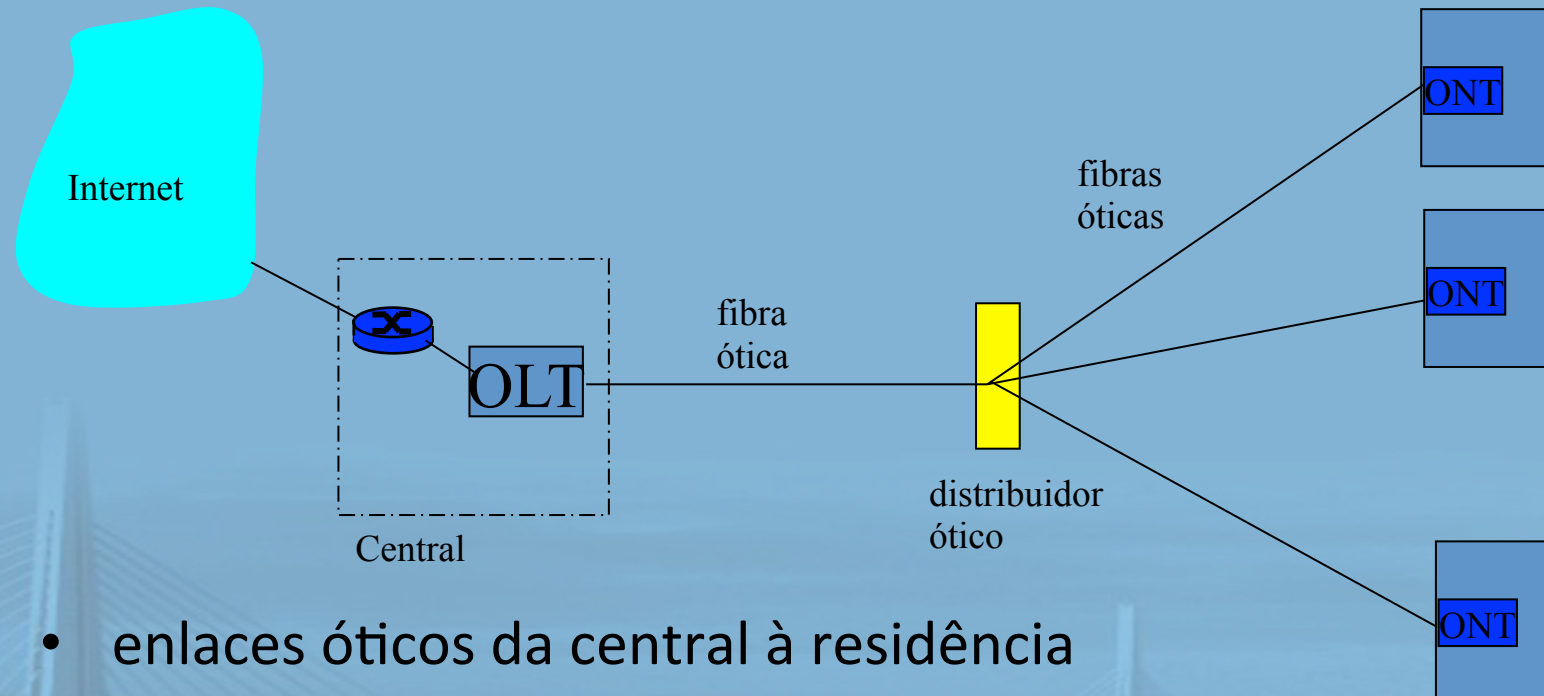


Uma Abordagem Top-Down

FDM (mais adiante):

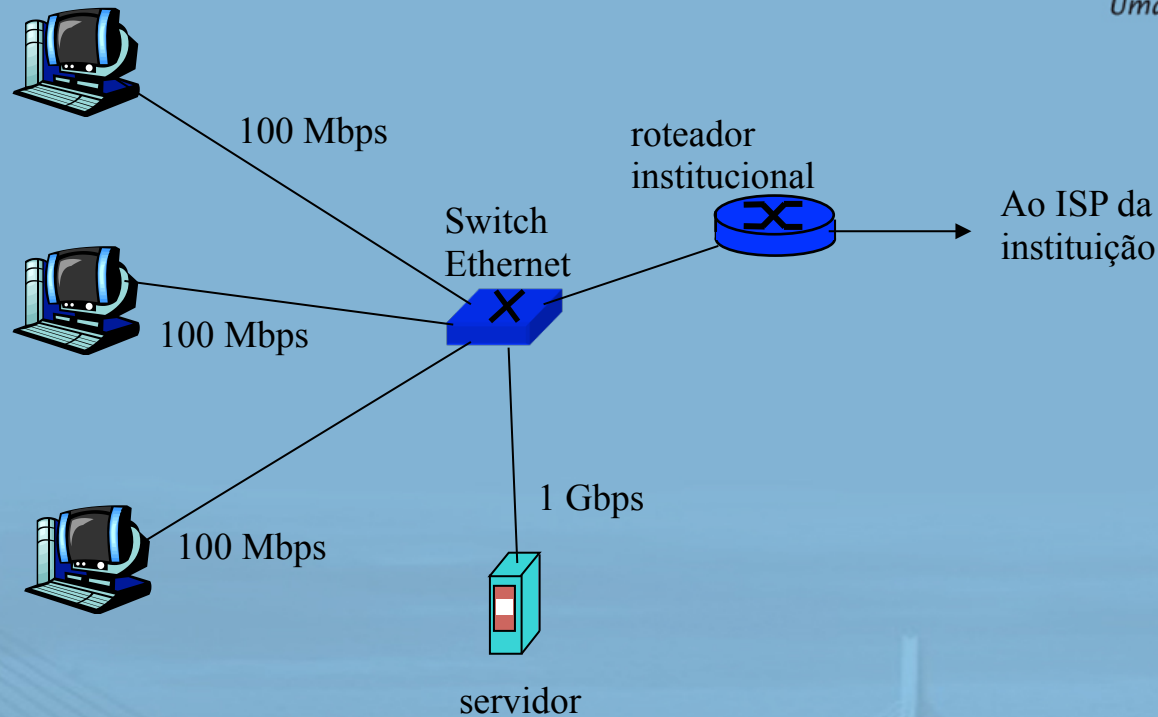


Fibra nas residências



- enlaces óticos da central à residência
- duas tecnologias óticas concorrentes:
 - Passive Optical Network (PON)
 - Active Optical Network (PAN)
- velocidades de Internet muito mais altas; fibra também transporta serviços de TV e telefone

Acesso à Internet por Ethernet



- normalmente usado em empresas, universidade etc.
- Ethernet a 10 Mbs, 100 Mbps, 1 Gbps, 10 Gbps
- hoje, os sistemas finais normalmente se conectam ao computador Ethernet

Redes de acesso sem fio

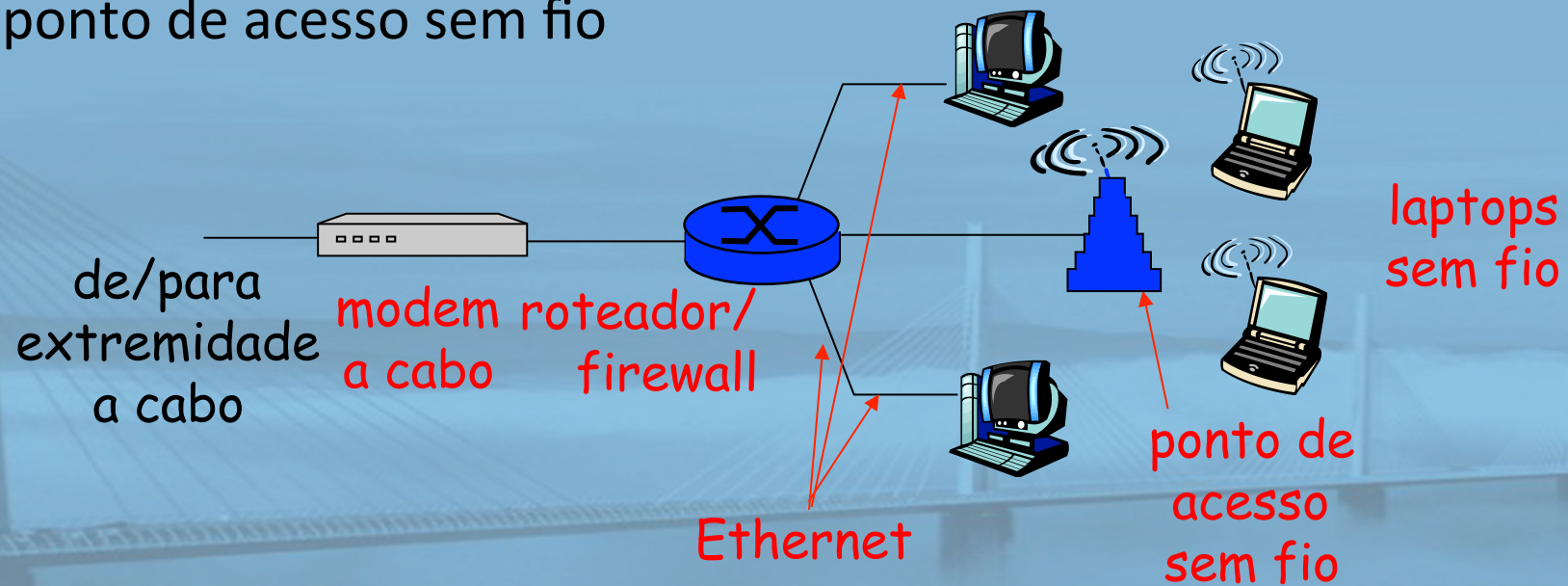
- rede de acesso *sem fio* compartilhado conecta sistema final ao roteador
 - via estação base, também conhecida como “ponto de acesso”
- LANs sem fio:
 - 802.11b/g (WiFi): 11 ou 54 Mbps
- acesso sem fio de área mais remota
 - fornecido pelo operador de telecomunicação
 - ~1Mbps por sistema celular (EVDO, HSDPA)
 - próximo (?): WiMAX (10's Mbps) por área remota



Redes residenciais

componentes típicos da rede residencial:

- modem DSL ou a cabo
- roteador/firewall/nat
- Ethernet
- ponto de acesso sem fio



Meios físicos

- **bit:** propaga entre pares de transmissor/receptor
- **enlace físico:** o que fica entre transmissor e receptor
- **meio guiado:**
 - sinais se propagam em meio sólido: cobre, fibra, coaxial
- **meio não guiado:**
 - sinais se propagam livremente, p. e., rádio

Par Trançado (TP)

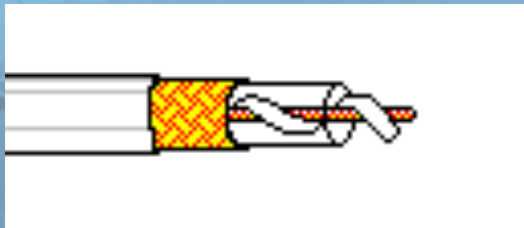
- dois fios de cobre isolados
 - categoria 3: fios de telefone tradicionais, Ethernet a 10 Mbps
 - categoria 5: Ethernet a 100 Mbps



Meio físico: cabo coaxial, fibra

cabo coaxial:

- dois condutores de cobre concêntricos
- bidirecional
- banda base:
 - único canal no cabo
 - Ethernet legado
- banda larga:
 - múltiplos canais no cabo
 - HFC



cabo de fibra ótica:

- ❑ fibra de vidro conduzindo pulsos de luz; cada pulso um bit
- ❑ operação em alta velocidade:
 - ❖ transmissão em alta velocidade ponto a ponto (p. e., 10-100 Gps)
- ❑ baixa taxa de erro: repetidores bastante espaçados; imune a ruído eletromagnético



Meio físico: rádio

- sinal transportado no espectro eletromagnético
- nenhum “fio” físico
- bidirecional
- efeitos no ambiente de propagação:
 - reflexão
 - obstrução por objetos
 - interferência

Radio link types:

□ micro-ondas terrestre

- ❖ p. e. até canais de 45 Mbps

□ LAN (p. e., Wifi)

- ❖ 11 Mbps, 54 Mbps

□ área ampla (p. e., celular)

- ❖ celular 3G: ~ 1 Mbps

□ satélite

- ❖ canal de Kbps a 45Mbps (ou múltiplos canais menores)
- ❖ atraso fim a fim de 270 msec
- ❖ geoestacionário *versus* baixa altitude

Capítulo 1: Roteiro

1.1 O que é a Internet?

1.2 Borda da rede

- ❑ sistemas finais, redes de acesso, enlaces

1.3 Núcleo da rede

- ❑ comutação de circuitos, comutação de pacotes, estrutura da rede

1.4 Atraso, perda e vazão nas redes comutadas por pacotes

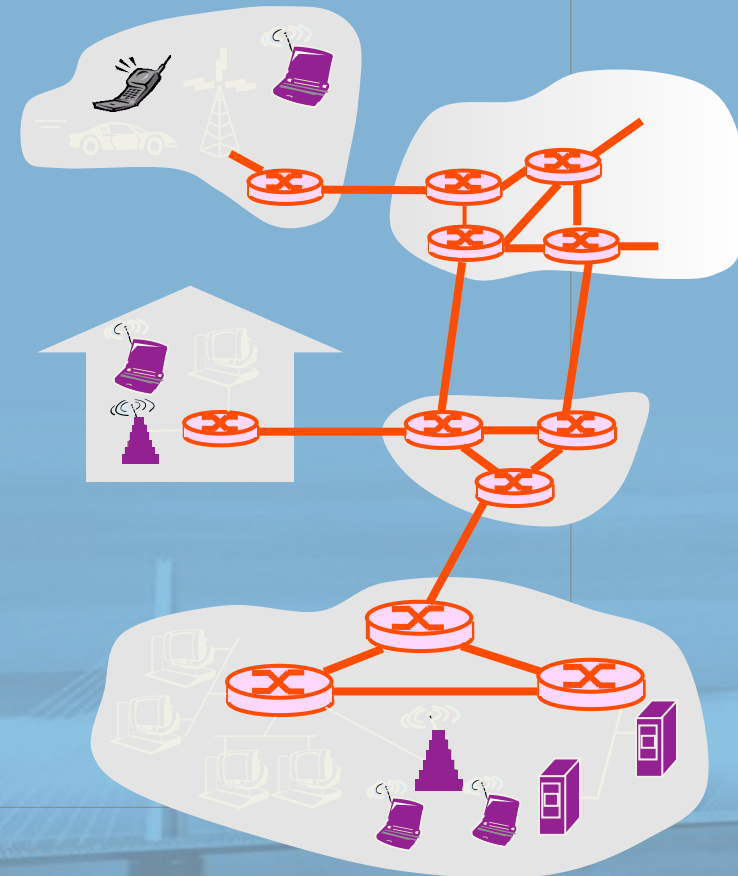
1.5 Camadas de protocolo, modelos de serviço

1.6 Redes sob ataque: segurança

1.7 História

O núcleo da rede

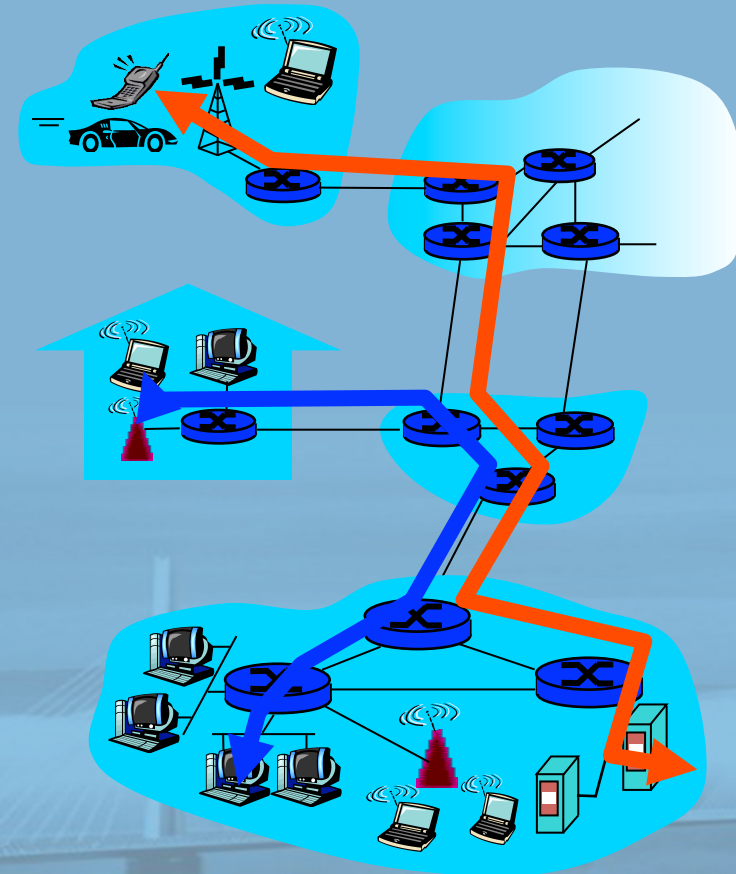
- malha de roteadores interconectados
- **a** questão fundamental: como os dados são transferidos pela rede?
 - **comutação de circuitos:** circuito dedicado por chamada: rede telefônica
 - **comutação de pacotes:** dados enviados pela rede em “pedaços” discretos



Núcleo da rede: comutação de circuitos

recursos fim a fim
reservados para
“chamada”

- largura de banda do enlace, capacidade de comutação
- recursos dedicados: sem compartilhamento
- desempenho tipo circuito (garantido)
- exige preparação de chamada



recursos de rede (p. e.,
largura de banda)

divididos em “pedaços”

- pedaços alocados a chamadas
- pedaço de recurso **ocioso** se não usado por chamada particular (*sem compartilhamento*)

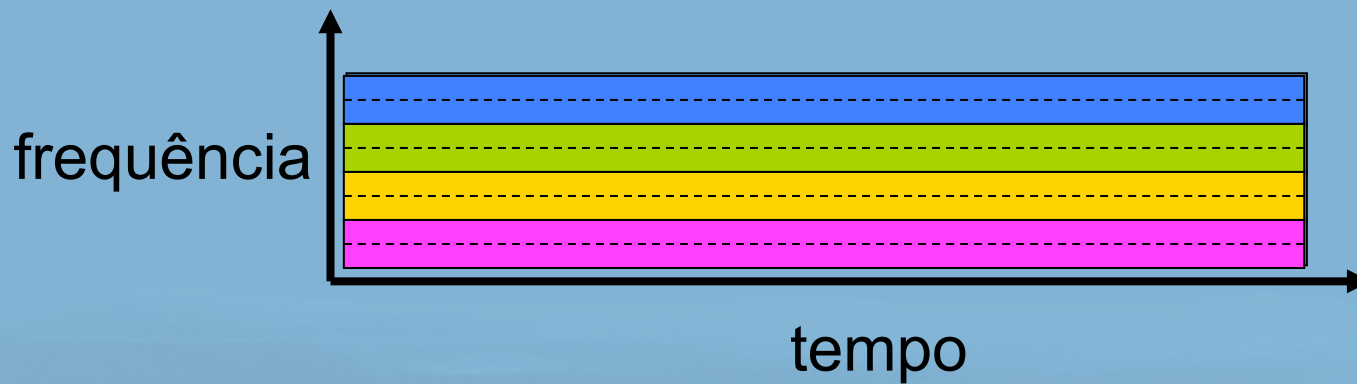
- ❑ dividindo largura de banda do enlace em “pedaços”
 - ❖ divisão de frequência
 - ❖ divisão de tempo

Comutação de circuitos: FDM e TDM

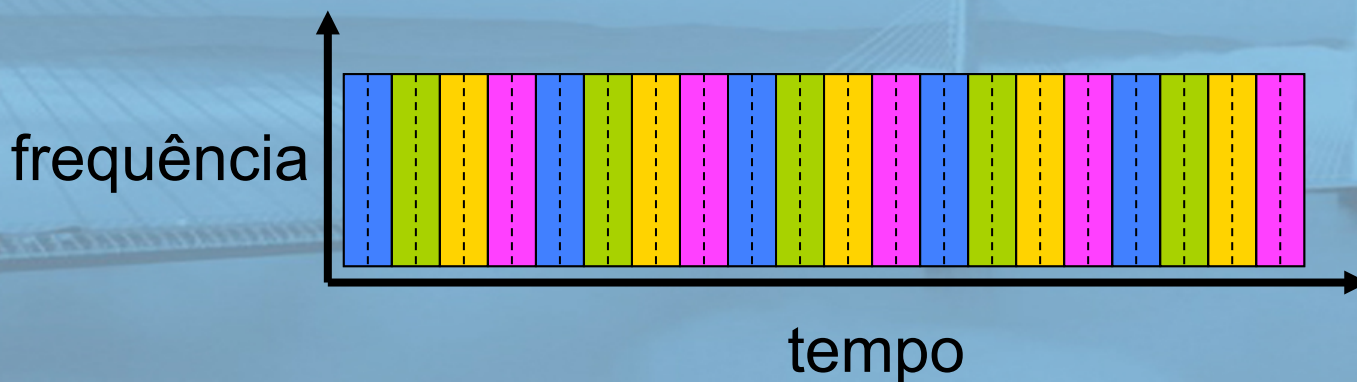
Exemplo:

4 usuários 

FDM



TDM



Exemplo numérico

- Quanto tempo leva para enviar um arquivo de 640.000 bits do hospedeiro A para o hospedeiro B em uma rede de comutação de circuitos?
 - todos os enlaces são de 1536 Mbps
 - cada enlace usa TDM com 24 slots/seg
 - 500 ms para estabelecer circuito fim a fim

Vamos resolver!

Núcleo da rede: comutação de pacotes

cada fluxo de dados fim a fim dividido em *pacotes*

- usuário A, pacotes de B *compartilham* recursos da rede
- cada pacote usa largura de banda total do enlace
- recursos usados *quando necessários*

Divisão da largura de banda em "pedaços"

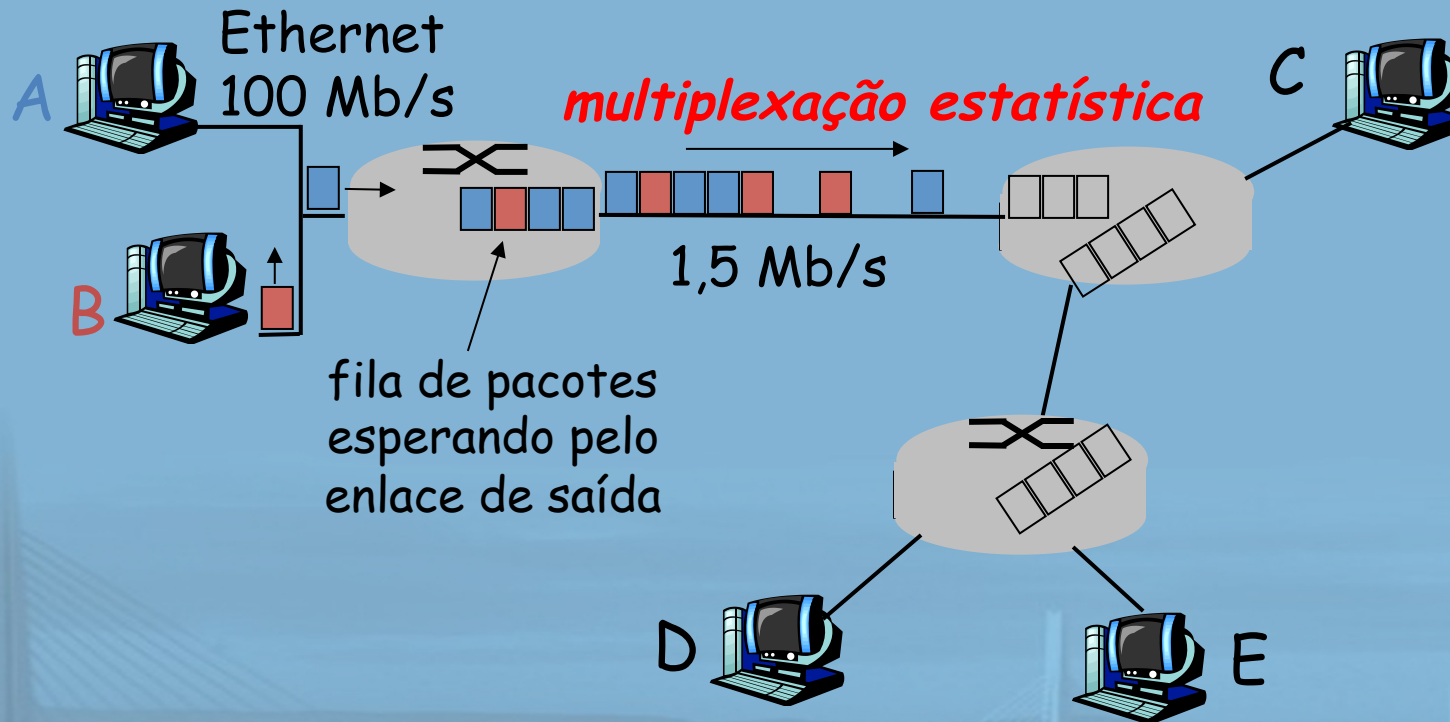
Alocação dedicada

Reserva de recursos

disputa por recursos:

- ❑ demanda de recurso agregado pode exceder quantidade disponível
- ❑ congestionamento: fila de pacotes, espera por uso do enlace
- ❑ *store and forward*: pacotes se movem um salto de cada vez
 - ❖ Nó recebe pacote completo antes de encaminhar

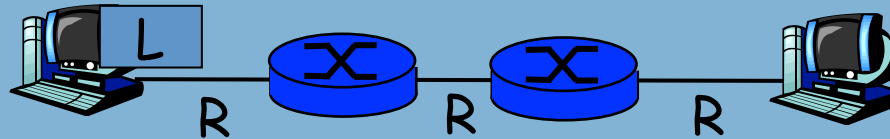
Comutação de pacotes: multiplexação estatística



Sequência de pacotes A & B não tem padrão fixo, largura de banda compartilhada por demanda ➔ **multiplexação estatística**.

TDM: cada hospedeiro recebe mesmo slot girando quadro TDM.

Comutação de pacotes: *store-and-forward*



- leva L/R segundos para transmitir (*push out*) pacote de L bits para enlace em R bps
- ***store-and-forward***: pacote inteiro deve chegar ao roteador antes que possa ser transmitido no próximo enlace
- atraso = $3L/R$ (supondo zero atraso de propagação)

Exemplo:

- $L = 7,5$ Mbits
- $R = 1,5$ Mbps
- atraso de transmissão = 15 s

} mais sobre atraso adiante...

Comutação de pacotes *versus* comutação de circuitos

Comutação de pacotes permite que mais usuários usem a rede!

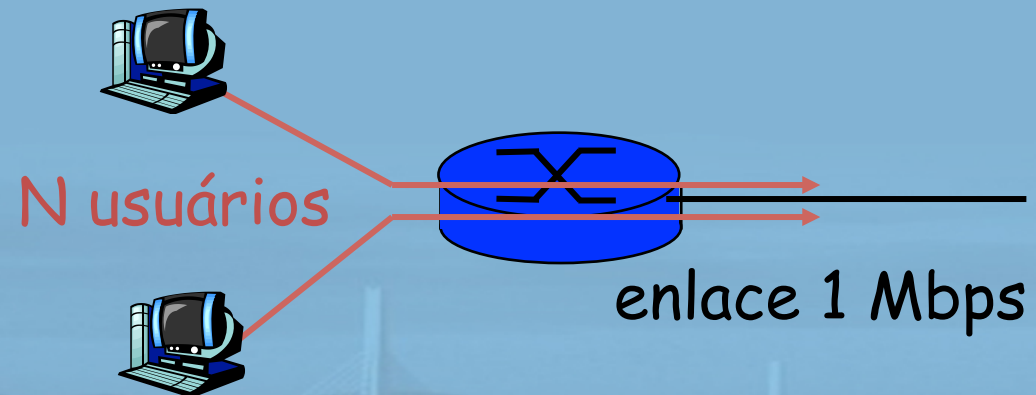
- enlace de 1 Mb/s
- cada usuário:
 - 100 kb/s quando “ativo”
 - ativo 10% do tempo

- *comutação de circuitos*

- 10 usuários

- *comutação de pacotes:*

- com 35 usuários,
probabilidade > 10 ativos
ao mesmo tempo é menor
que 0,0004



P: Como obtivemos o valor 0,0004?

A comutação de pacotes é a “grande vencedora”?

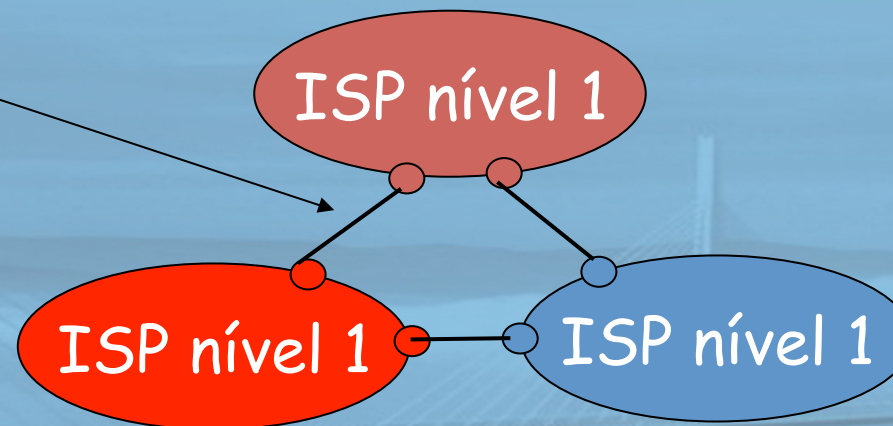
- ótima para dados em rajadas
 - compartilhamento de recursos
 - mais simples, sem configuração de chamada
- **congestionamento excessivo:** atraso e perda de pacotes
 - protocolos necessários para transferência de dados confiável, controle de congestionamento
- **P: Como fornecer comportamento tipo circuito?**
 - largura de banda garante necessário para aplicações de áudio/vídeo
 - ainda um problema não resolvido (Capítulo 7)

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

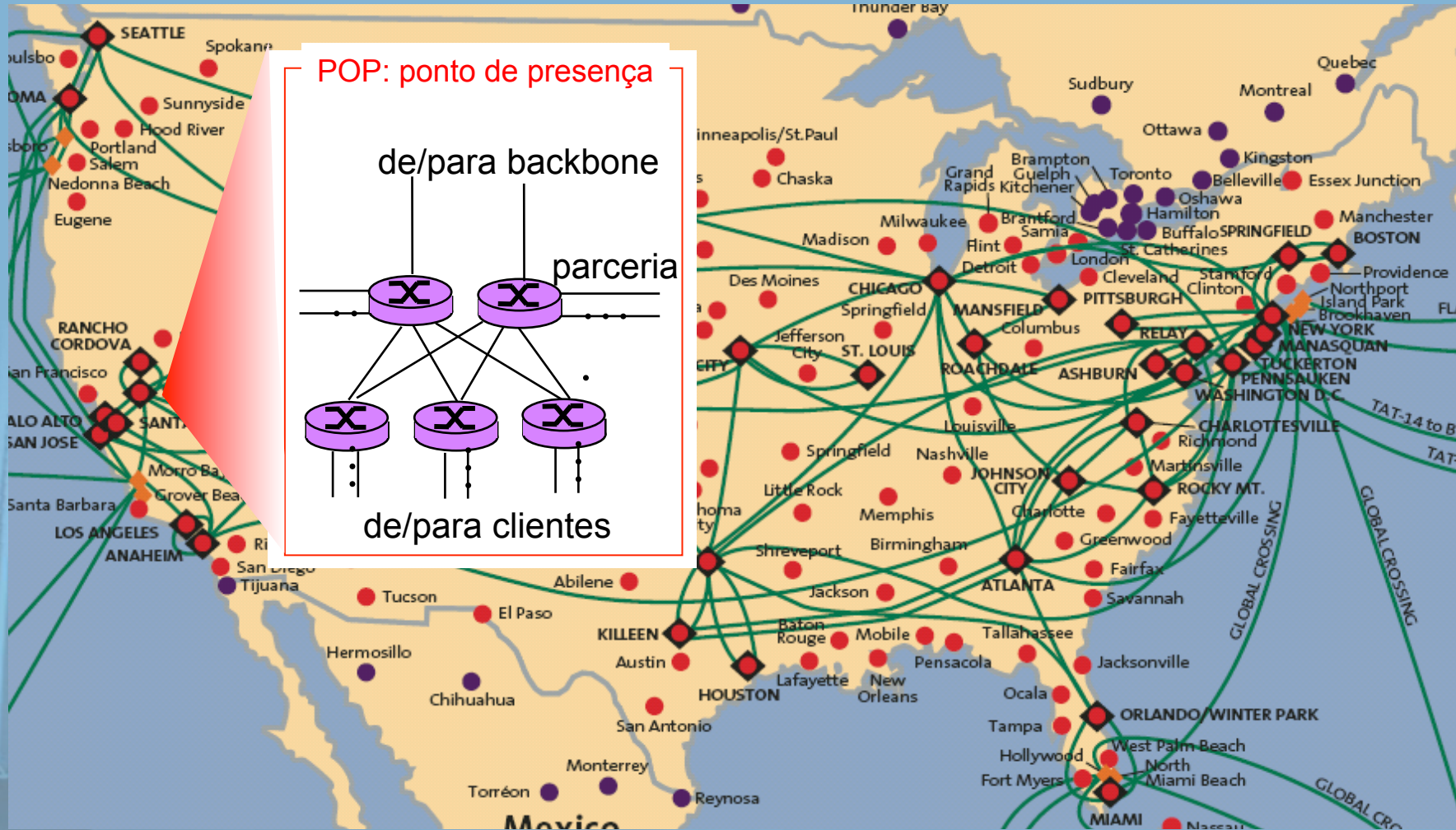
Estrutura da Internet: rede de redes

- aproximadamente hierárquica
- **no centro: ISPs de “nível 1”** (p. e., Verizon, Sprint, AT&T, Cable and Wireless), cobertura nacional/internacional
 - tratam uns aos outros como iguais

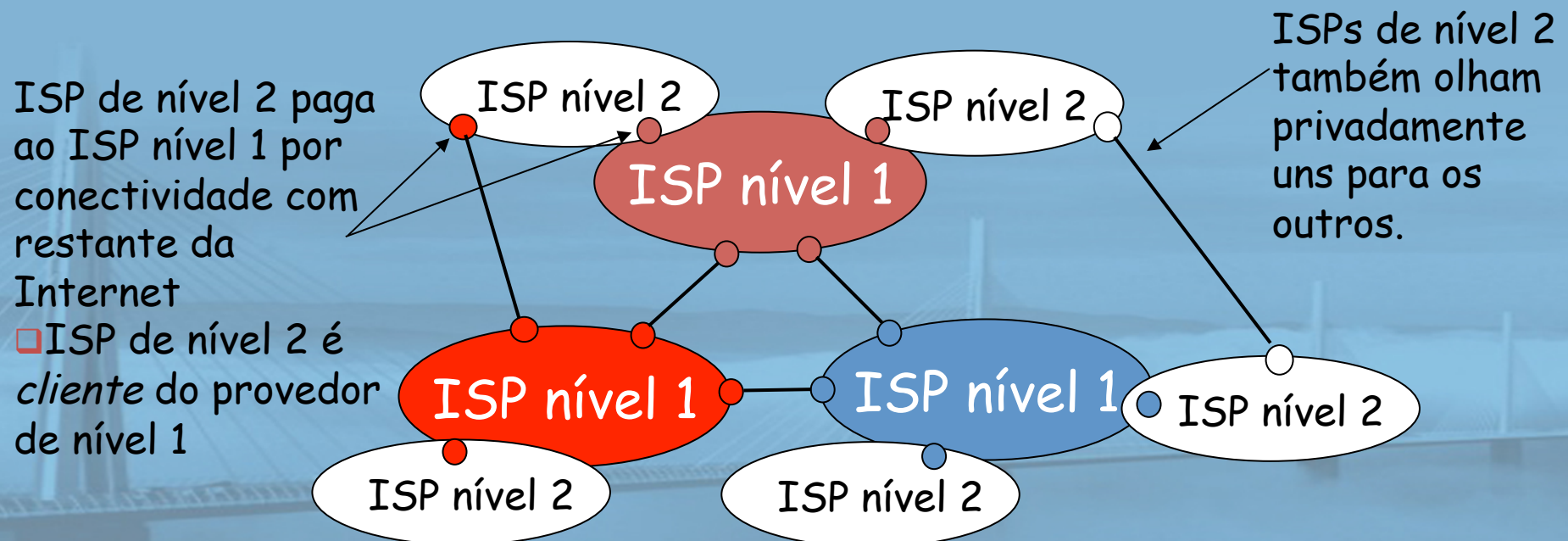
interconexão de
provedores de
nível 1 (peer)
privadamente



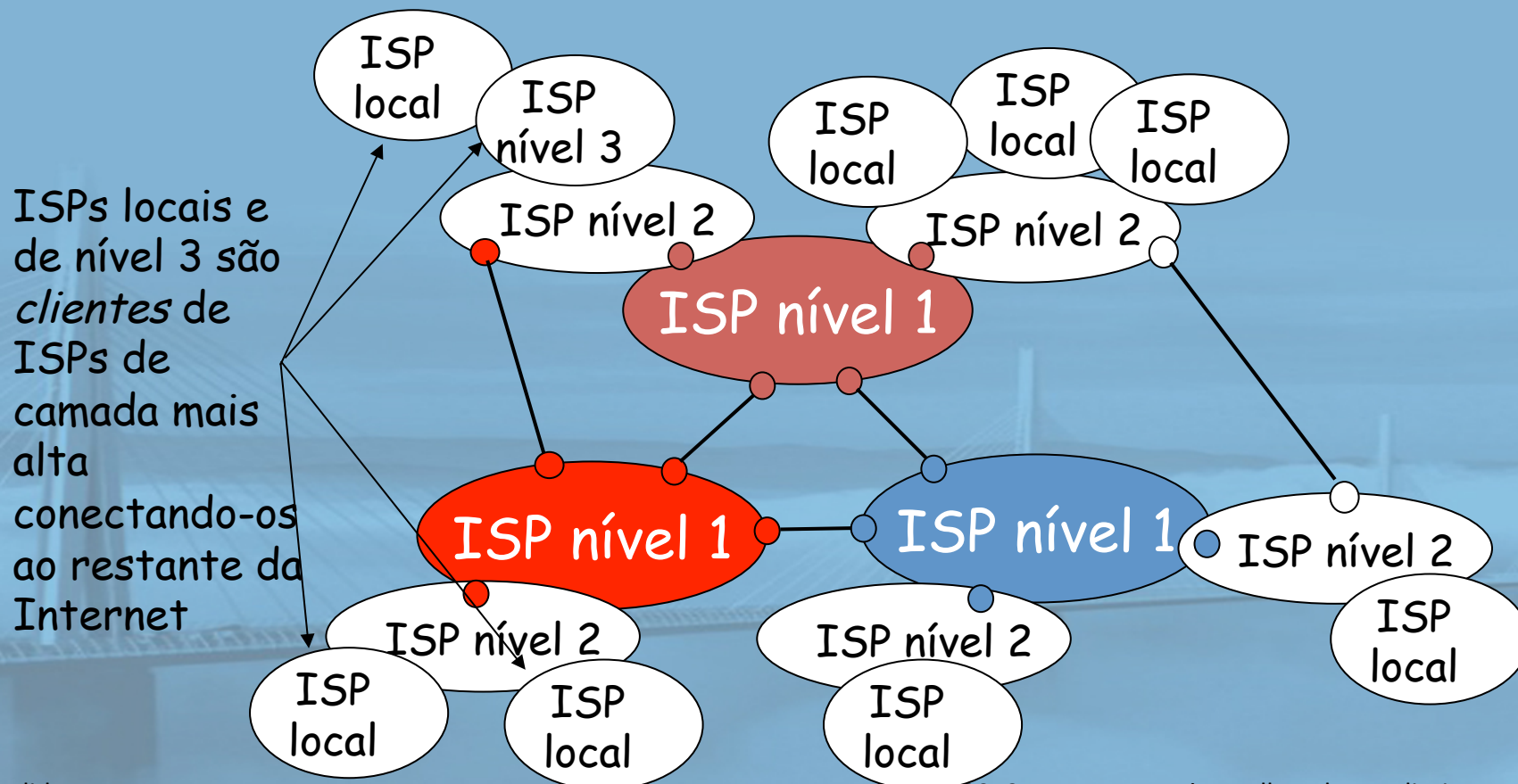
ISP nível 1: p. e., Sprint



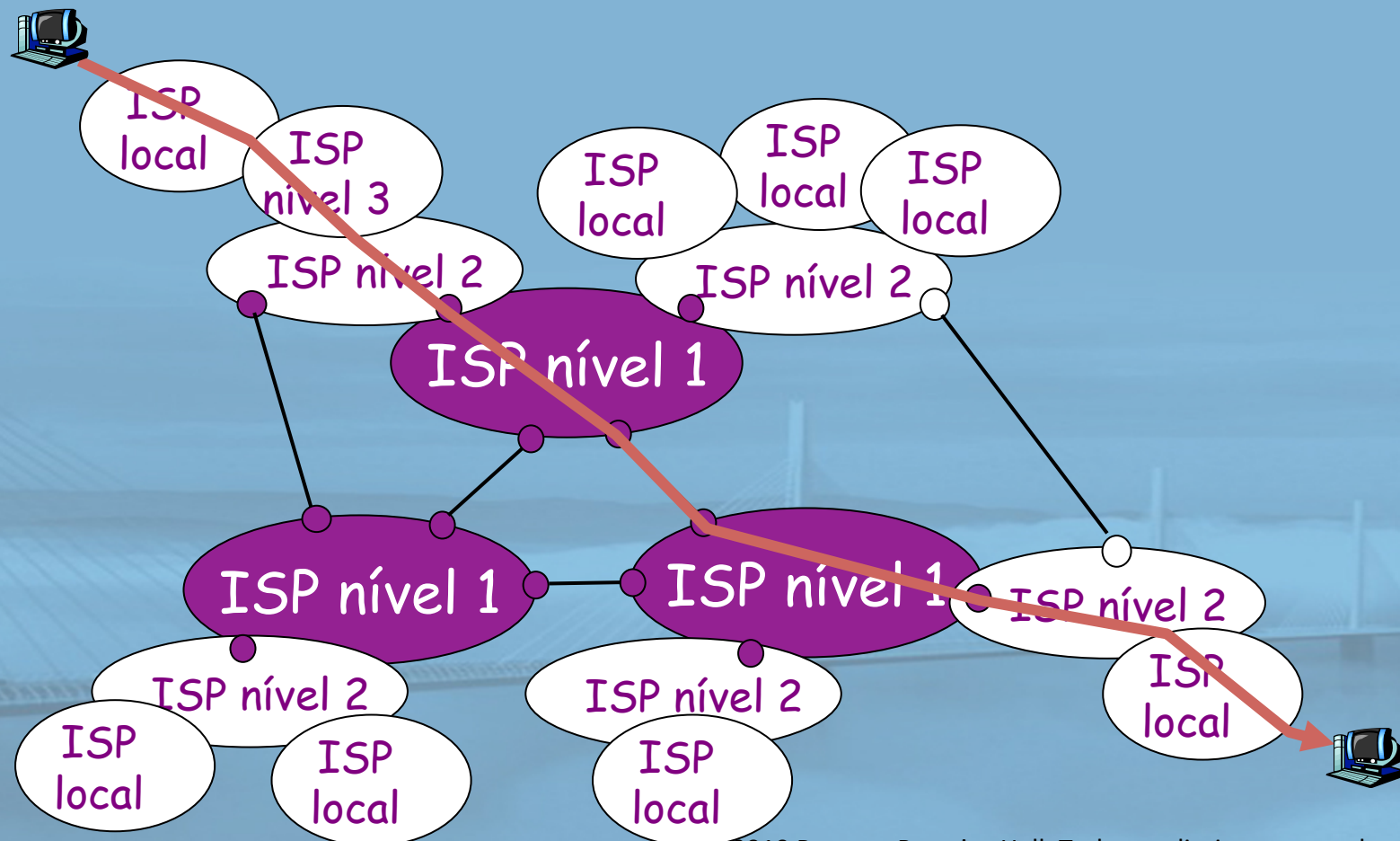
- **ISPs de nível 2: ISPs menores (geralmente regionais)**
 - conectam a um ou a mais ISPs de nível 1, possivelmente outros ISPs de nível 2



- **ISPs de nível 3 e ISPs locais**
 - rede do último salto (“acesso”), mais próxima dos sistemas finais



- um pacote passa por muitas redes!



Capítulo 1: Roteiro

1.1 O que é a Internet?

1.2 Borda da rede

- sistemas finais, redes de acesso, enlaces

1.3 Núcleo da rede

- comutação de circuitos, comutação de pacotes, estrutura da rede

1.4 Atraso, perda e vazão nas redes comutadas por pacotes

1.5 Camadas de protocolo, modelos de serviço

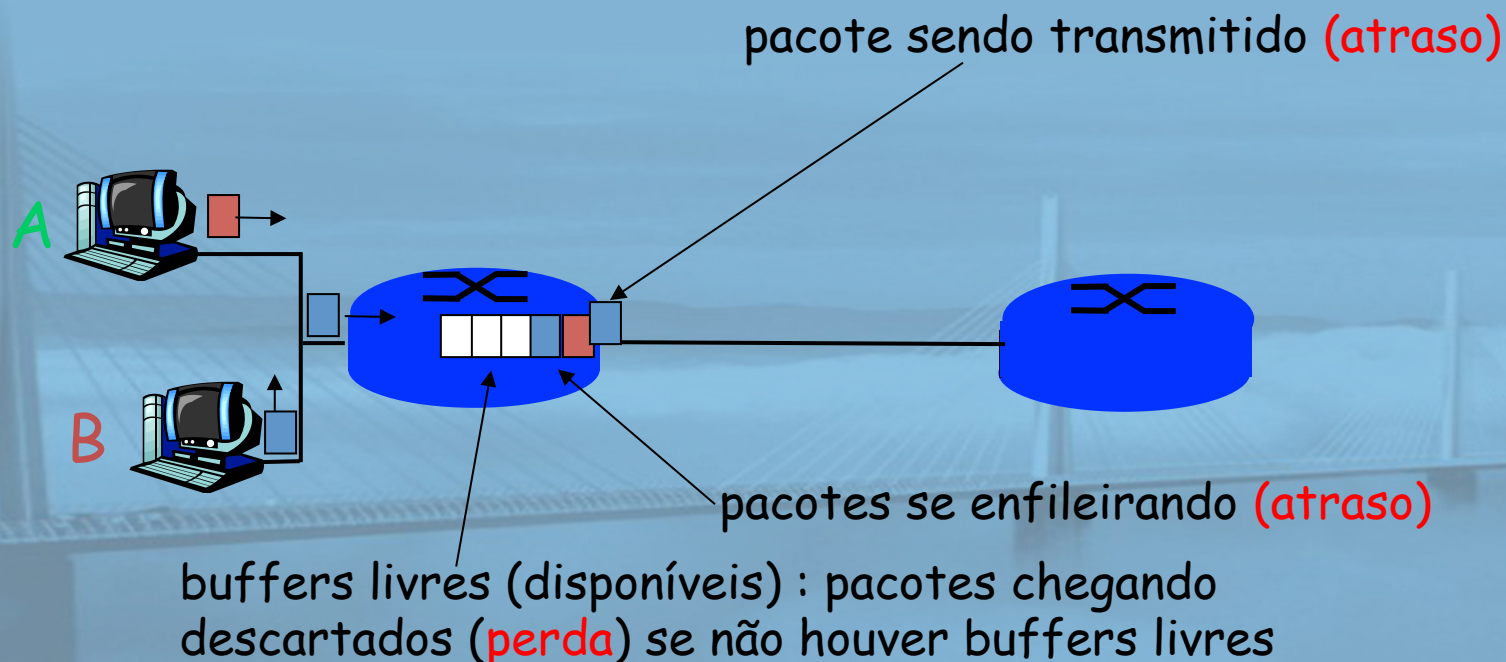
1.6 Redes sob ataque: segurança

1.7 História

Como ocorrem a perda e o atraso?

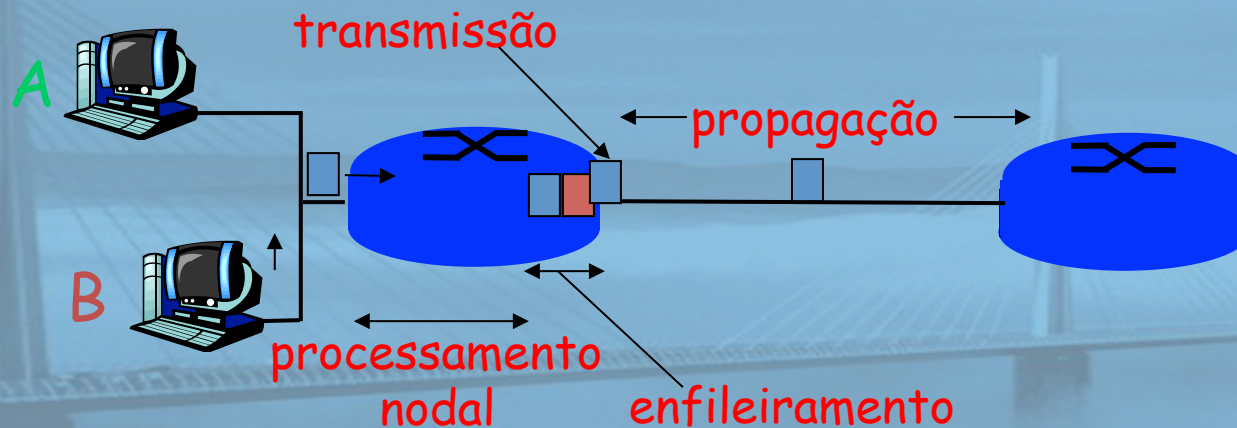
pacotes se *enfileiram* em buffers de roteador

- taxa de chegada de pacotes ao enlace ultrapassa capacidade de saída do enlace
- pacotes se enfileiram, esperam por sua vez



Quatro fontes de atraso de pacote

- 1. processamento nodal:
 - verificar erros de bit
 - determinar enlace de saída
- 2. enfileiramento
 - ❖ tempo esperando por transmissão no enlace de saída
 - ❖ depende do nível de congestionamento do roteador



Atraso nas redes comutadas por pacotes

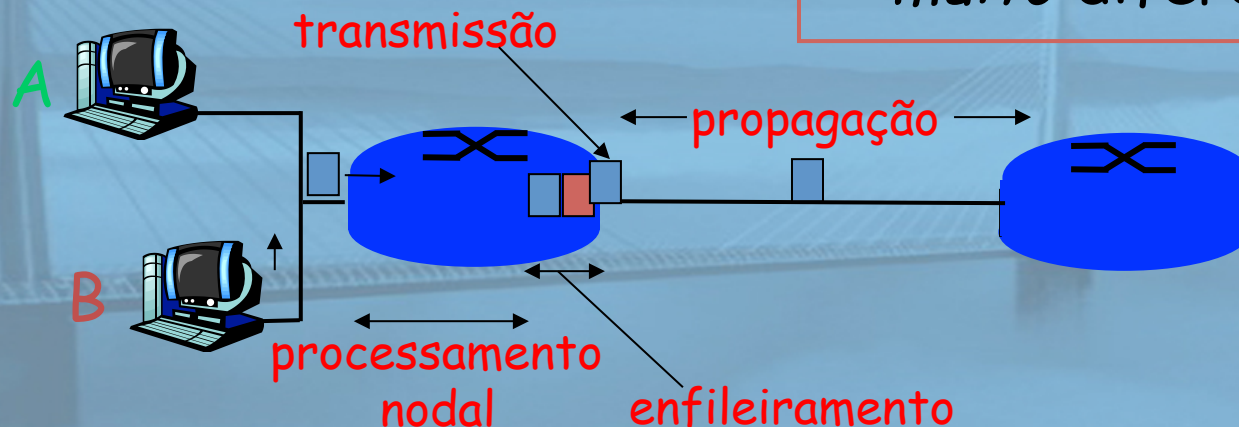
3. atraso de transmissão:

- R = largura de banda do enlace (bps)
- L = tamanho do pacote (bits)
- tempo para enviar bits no enlace = L/R

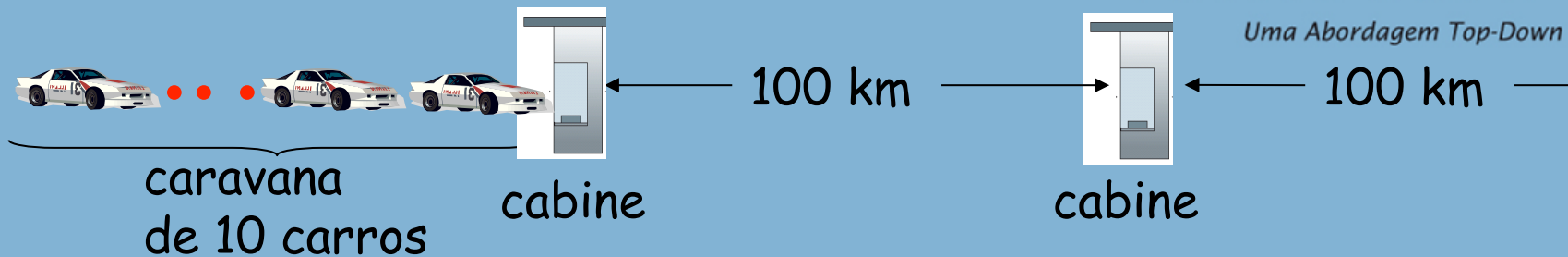
4. atraso de propagação:

- d = tamanho do enlace físico
- s = vel. de propagação no meio ($\sim 2 \times 10^8$ m/s)
- atraso de propagação = d/s

Nota: s e R são quantidades muito diferentes!

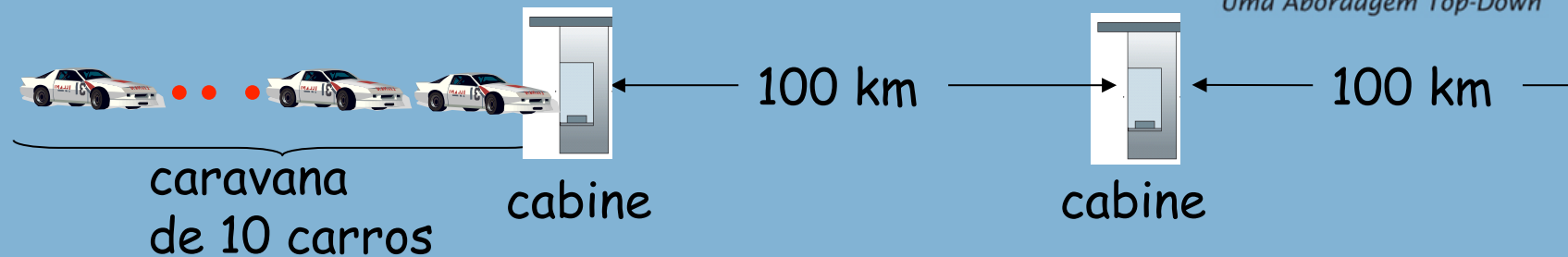


Analogia da caravana



- carros se “propagam” a 100 km/h
- cabines de pedágio levam 12 s para atender carro (tempo de transmissão)
- carro ~ bit; caravana ~ pacote
- **P: Quanto tempo para a caravana formar fila antes da 2ª cabine?**

- tempo para “empurrar” caravana inteira pela cabine na estrada = $12 \times 10 = 120$ s
- tempo para último carro se propagar da 1ª à 2ª cabine de pedágio: $100 \text{ km} / (100 \text{ km/h}) = 1 \text{ h}$
- **Resposta: 62 minutos**



- carros agora se “propagam” a 1000 km/h
- cabine agora leva 1 min para atender um carro
- **P: Os carros chegarão à 2ª cabine antes que todos os carros sejam atendidos na 1ª cabine?**

- **Sim!** Após 7 min, 1º carro na 2ª cabine e 3 carros ainda na 1ª cabine.
- **1º bit do pacote pode chegar ao 2º roteador antes que o pacote seja totalmente transmitido no 1º roteador!**
 - Ver applet Ethernet no site da AWL

Atraso nodal

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

- d_{proc} = atraso de processamento
 - normalmente, poucos microssegundos ou menos
- d_{fila} = atraso de enfileiramento
 - depende do congestionamento
- d_{trans} = atraso de transmissão
 - $= L/R$, significativo para enlaces de baixa velocidade
- d_{prop} = atraso de propagação
 - alguns microssegundos a centenas de ms

Atraso de enfileiramento (revisado)

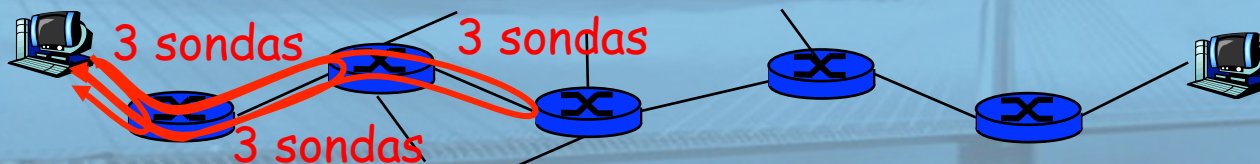
- R = largura de banda do enlace (bps)
- L = tamanho do pacote (bits)
- a = taxa média de chegada de pacote

intensidade de tráfego =
 La/R

- ❑ $La/R \sim 0$: pequeno atraso de enfileiramento médio
- ❑ $La/R \rightarrow 1$: atrasos tornam-se grandes
- ❑ $La/R > 1$: mais "trabalho" chegando do que pode ser atendido, atraso médio infinito!

Atrasos e rotas “reais” da Internet

- Como são os atrasos e perdas “reais” da Internet?
- Programa Traceroute: fornece medida do atraso da origem ao roteador ao longo do caminho de fim a fim da Internet para o destino. Para todo i :
 - envia três pacotes que alcançarão roteador i no caminho para o destino
 - roteador i retornará pacotes ao emissor
 - emissor temporiza intervalo entre transmissão e resposta.



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

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

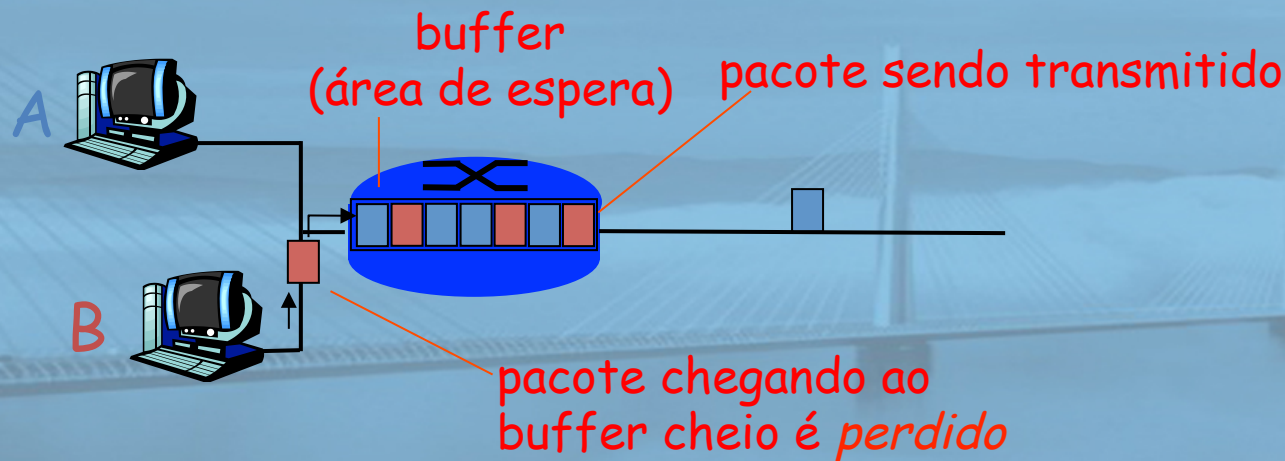
```
1 cs-gw (128.119.240.254) 1 ms 1 ms 2 ms
2 border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145) 1 ms 1 ms 2 ms
3 cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130) 6 ms 5 ms 5 ms
4 jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129) 16 ms 11 ms 13 ms
5 jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136) 21 ms 18 ms 18 ms
6 abilene-vbns.abilene.ucaid.edu (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 * * *
19 fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142) 132 ms 128 ms 136 ms
```

enlace trans-
oceânico

* significa sem resposta (sonda perdida, roteador sem resposta)

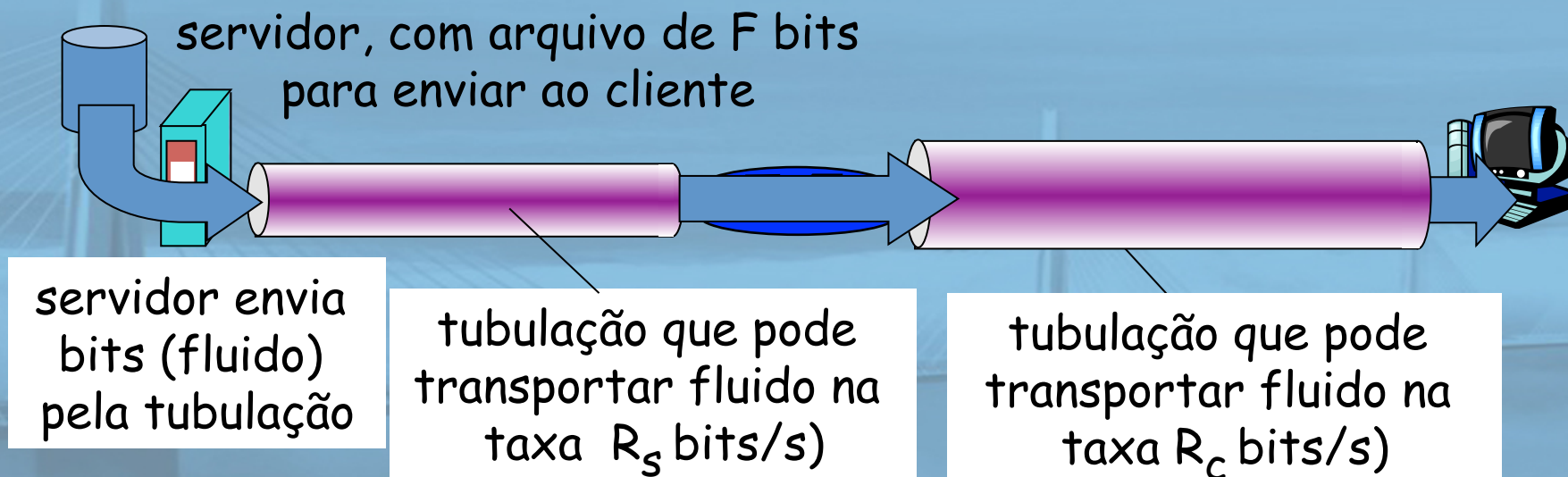
Perda de pacote

- fila (ou buffer) antes do enlace no buffer tem capacidade finita
- pacote chegando à fila cheia descartado (ou perdido)
- último pacote pode ser retransmitido pelo nó anterior, pela origem ou de forma nenhuma

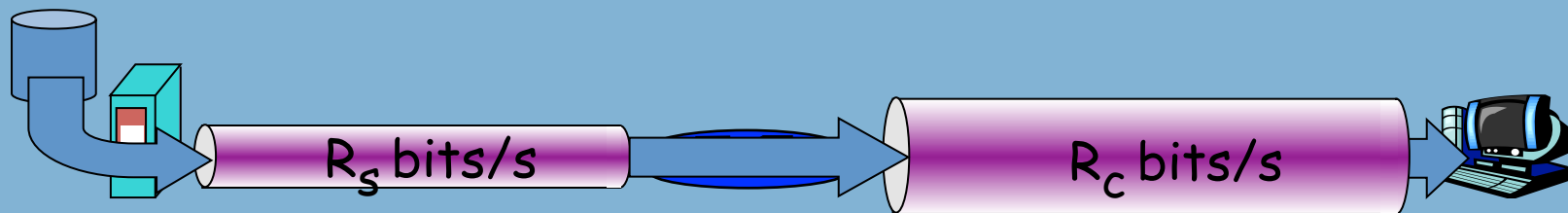


Vazão

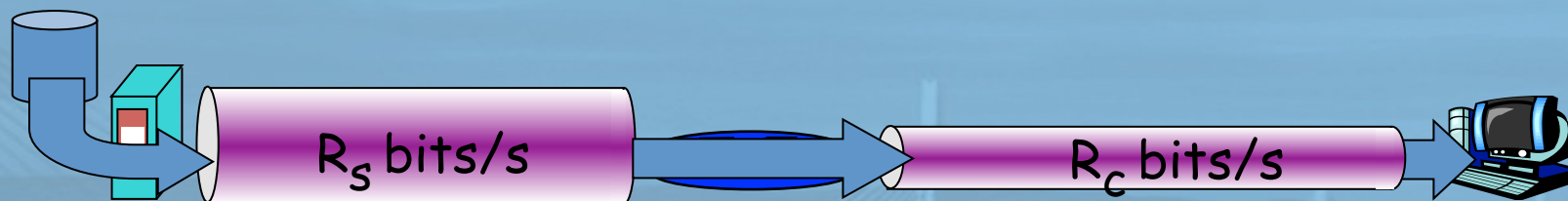
- **vazão**: taxa (bits/unidade de tempo) em que os bits são transferidos entre emissor/receptor
 - **instantânea**: taxa em determinado ponto no tempo
 - **média**: taxa por período de tempo maior



- $R_s < R_c$ Qual é a vazão média de fim a fim?



- $R_s > R_c$ Qual é a vazão média de fim a fim?

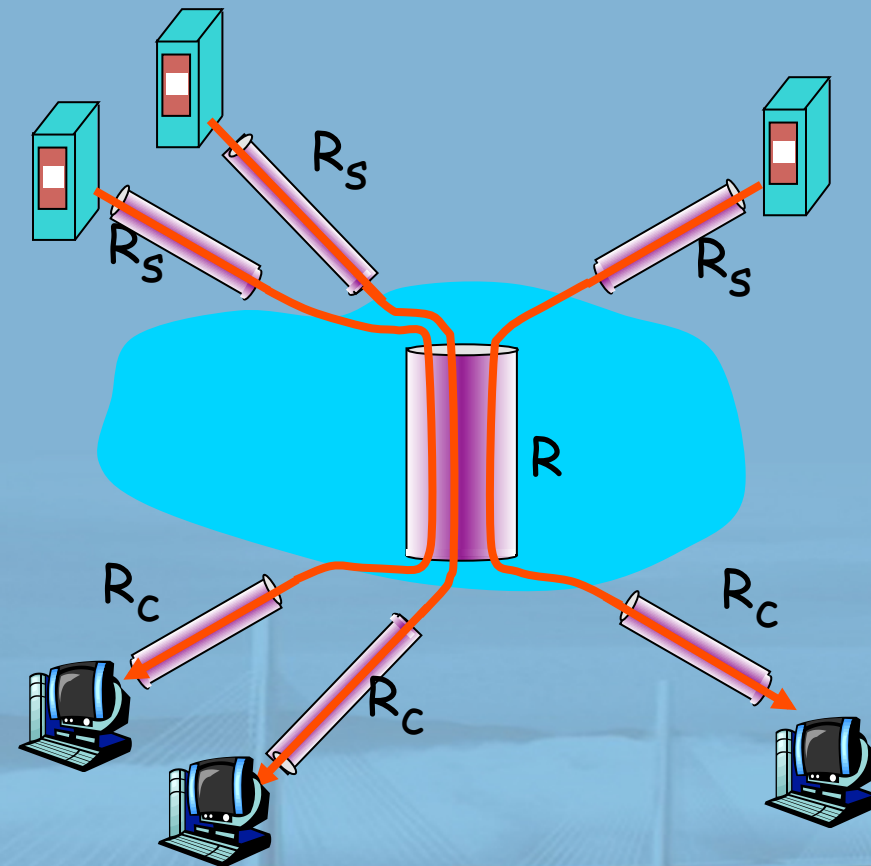


enlace de gargalo

enlace no caminho de fim a fim que restringe a vazão de fim a fim

Vazão: cenário da Internet

- na prática: R_c ou R_s normalmente é gargalo
- vazão de fim a fim por conexão: $\min(R_c, R_s, R/10)$



10 conexões (aproximadamente)
compartilham enlace de gargalo do
backbone a R bits/s

Capítulo 1: Roteiro

1.1 O que é a Internet?

1.2 Borda da rede

- ❑ sistemas finais, redes de acesso, enlaces

1.3 Núcleo da rede

- ❑ comutação de circuitos, comutação de pacotes, estrutura da rede

1.4 Atraso, perda e vazão nas redes comutadas por pacotes

1.5 Camadas de protocolo, modelos de serviço

1.6 Redes sob ataque: segurança

1.7 História

“Camadas” de protocolo

Redes são complexas!

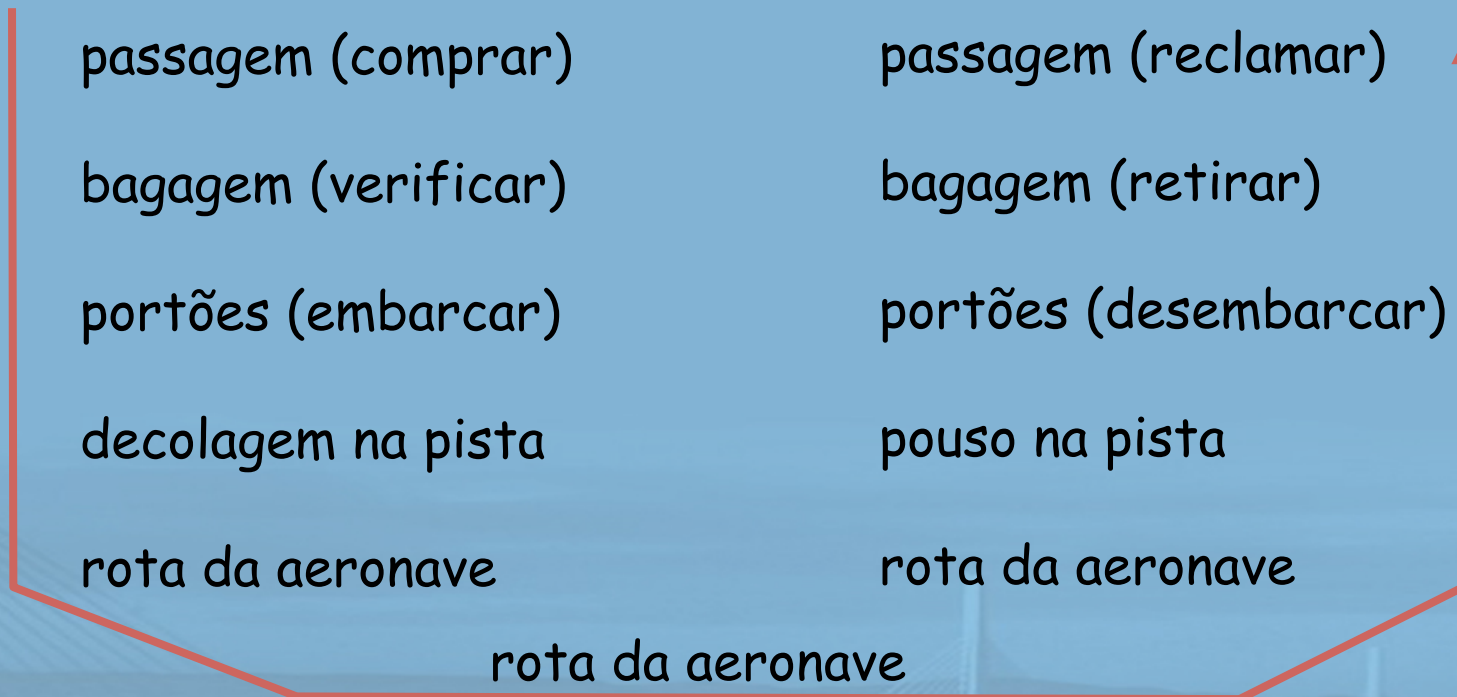
- muitas “partes”:
 - hospedeiros
 - roteadores
 - enlaces de vários meios físicos
 - aplicações
 - protocolos
 - hardware, software

Pergunta:

Existe esperança de *organizar* a estrutura da rede?

Ou, pelo menos, nossa discussão sobre redes?

Organização da viagem aérea



- uma série de passos

Camadas de funcionalidade da viagem



Camadas: cada camada implementa um serviço

- por meio de suas próprias ações da camada interna
- contando com serviços fornecidos pela camada abaixo

Por que usar camadas?

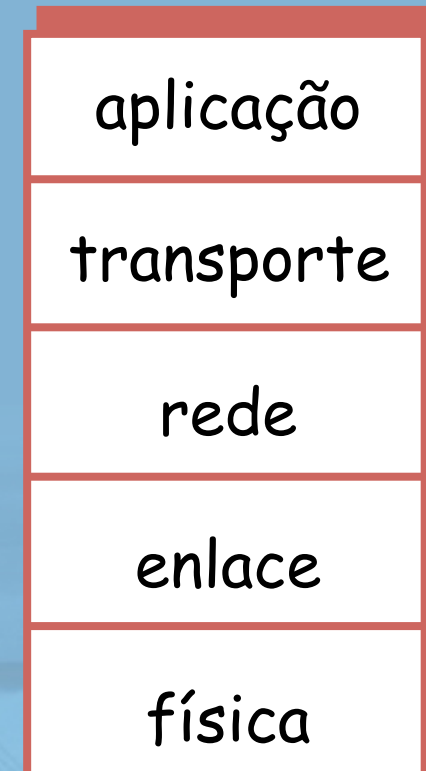
lidando com sistemas complexos:

- estrutura explícita permite identificação e relação entre partes complexas do sistema
 - **modelo de referência** em camadas para discussão
- modularização facilita manutenção e atualização do sistema
 - mudança de implementação do serviço da camada transparente ao restante do sistema
 - p. e., mudanças no procedimento de porta não afeta o restante do sistema
- uso de camadas considerado prejudicial?

Pilha de protocolos da Internet

- **aplicação:** suporte a aplicações de rede
 - FTP, SMTP, HTTP
- **transporte:** transferência de dados processo-processo
 - TCP, UDP
- **rede:** roteamento de datagramas da origem ao destino
 - IP, protocolos de roteamento
- **enlace:** transferência de dados entre elementos vizinhos da rede
 - PPP, Ethernet
- **física:** bits “nos fios”

CAMADAS



Modelo de referência ISO/OSI

- **apresentação:** permite que as aplicações interpretem significado de dados, p. e., criptografia, compactação, convenções específicas da máquina
- **session:** sincronização, verificação, recuperação de troca de dados
- Pilha da Internet “faltando” essas camadas!
 - estes serviços, *se necessários*, devem ser implementados na aplicação
 - necessários?

CAMADAS

