

PTC 3450 - Aula 03

I.3 O núcleo da rede

I.4 Atraso, perdas, vazão em redes

I.5 Camadas de protocolos, modelos de serviços

(Kurose, p. 23 - 41)

(Peterson, p. 15 - 38)

24/02/2016

Capítulo 1: Conteúdo

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 pacotes, comutação de circuitos,
estrutura da rede

1.4 atraso, perdas, vazão em redes

1.5 camadas de protocolos, modelos de serviço

1.6 redes sob ataque: segurança

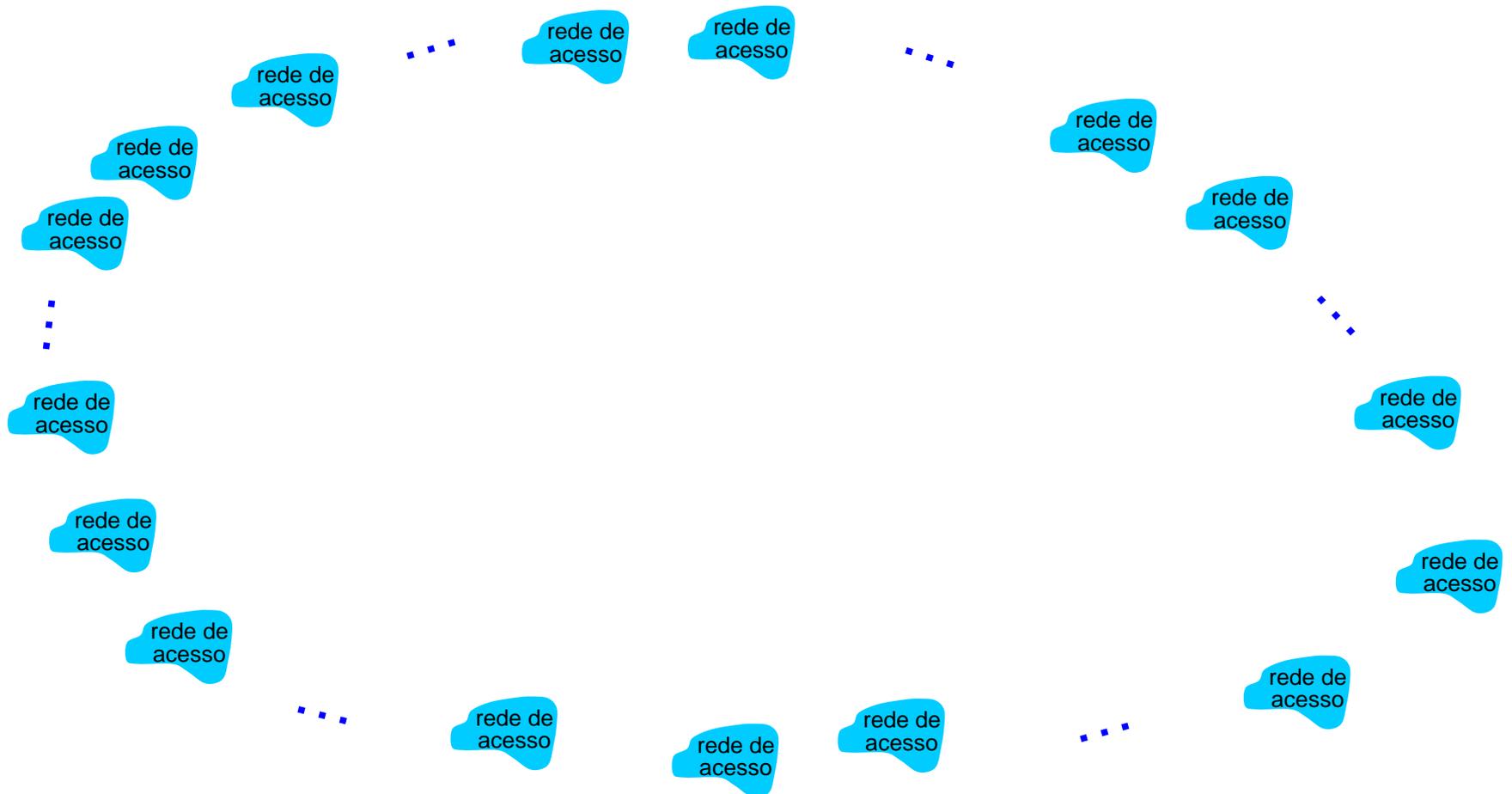
1.7 história

Estrutura da internet: rede de redes

- ❖ Sistemas finais conectam-se à Internet via **ISPs de acesso** (*Internet Service Providers*)
 - ISPs residenciais, de empresas e universidades
- ❖ ISPs de acesso por sua vez precisam ser interconectadas.
 - ❖ Assim, quaisquer dois *hosts* podem enviar pacotes entre si
- ❖ Rede de redes resultante é muito complexa
 - ❖ Evolução foi impulsionada pela **economia** e **políticas nacionais**
- ❖ Vamos usar uma abordagem passo-a-passo para descrever a estrutura atual da Internet

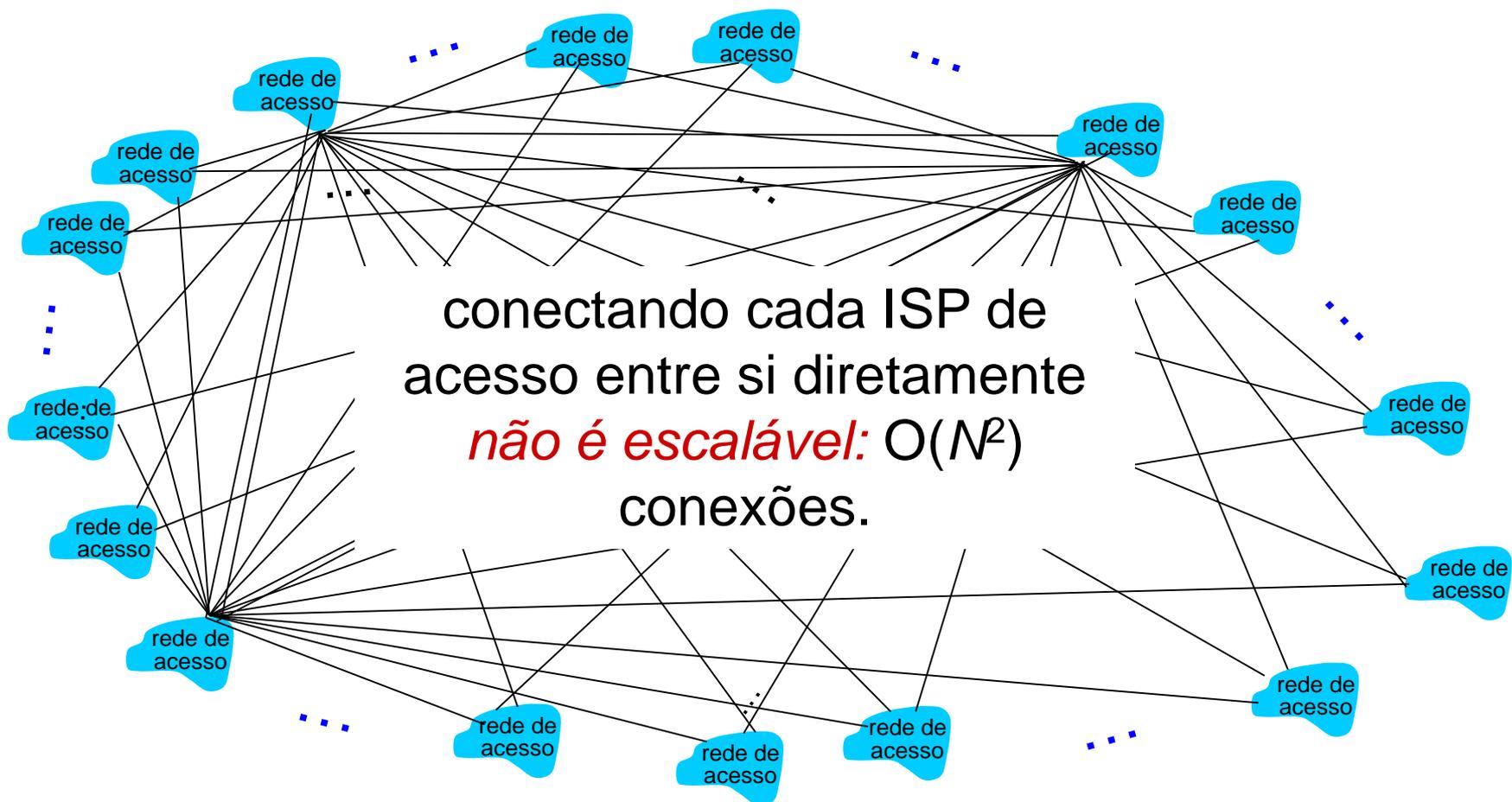
Estrutura da internet: rede de redes

Questão: dados *milhões* de ISPs de acesso, como conectá-los?



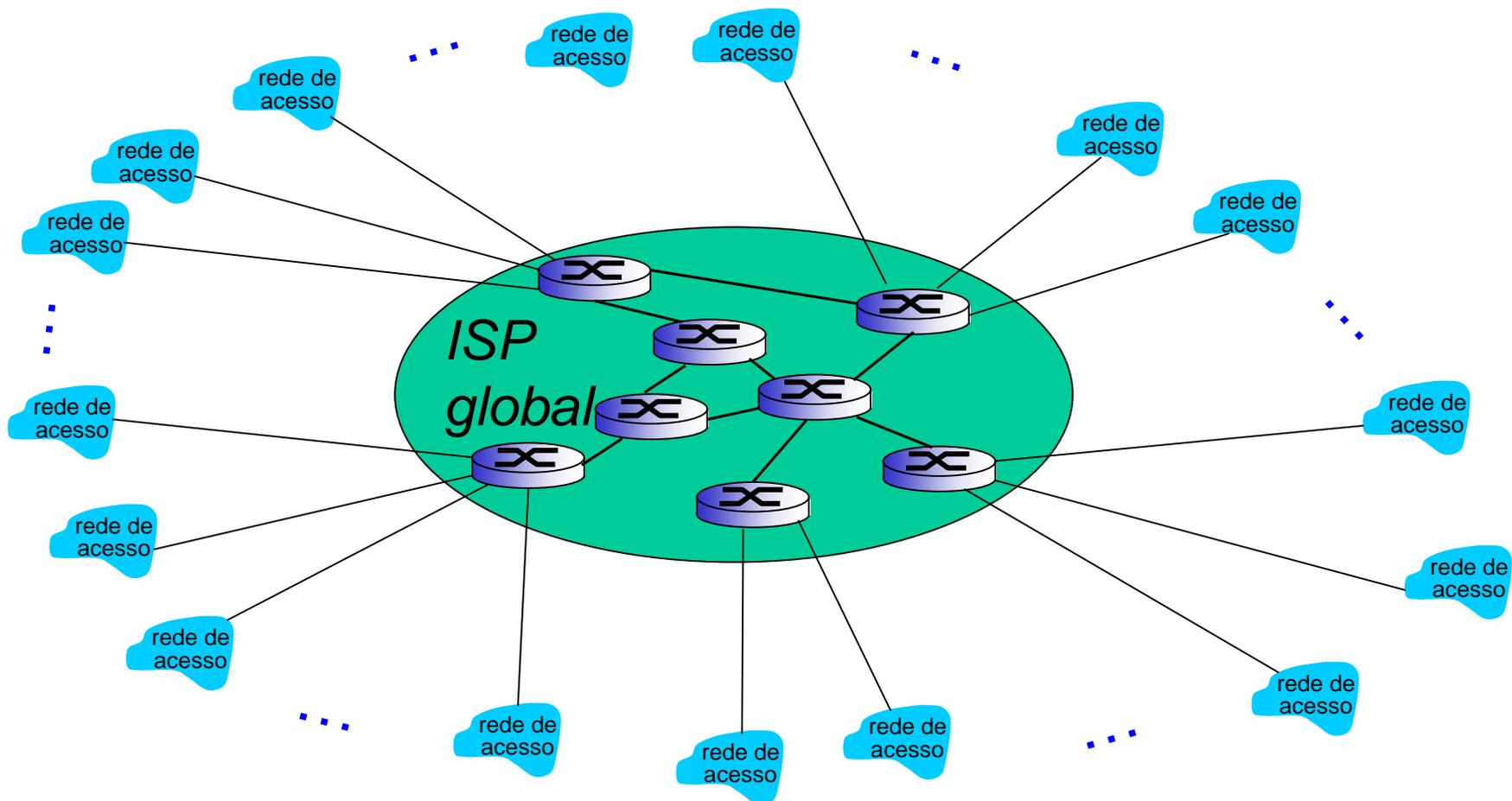
Estrutura da internet: rede de redes

Opção: conectar cada ISP de acesso a todos os outros ISPs de acesso?



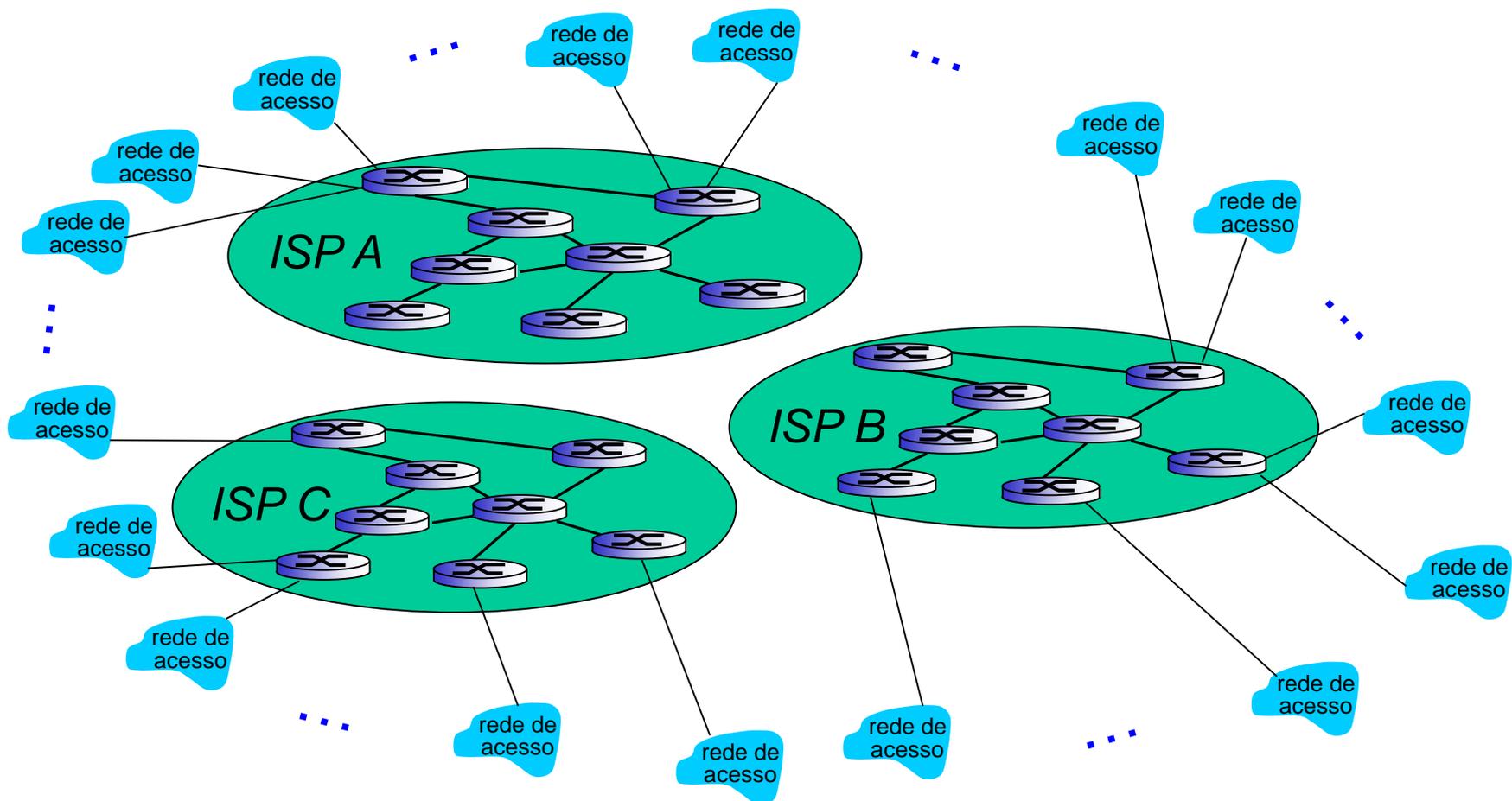
Estrutura da internet: rede de redes

Opção: conectar cada ISP de acesso a um único ISP de trânsito global? ISPs *cliente* e *provedor* têm acordo econômico.



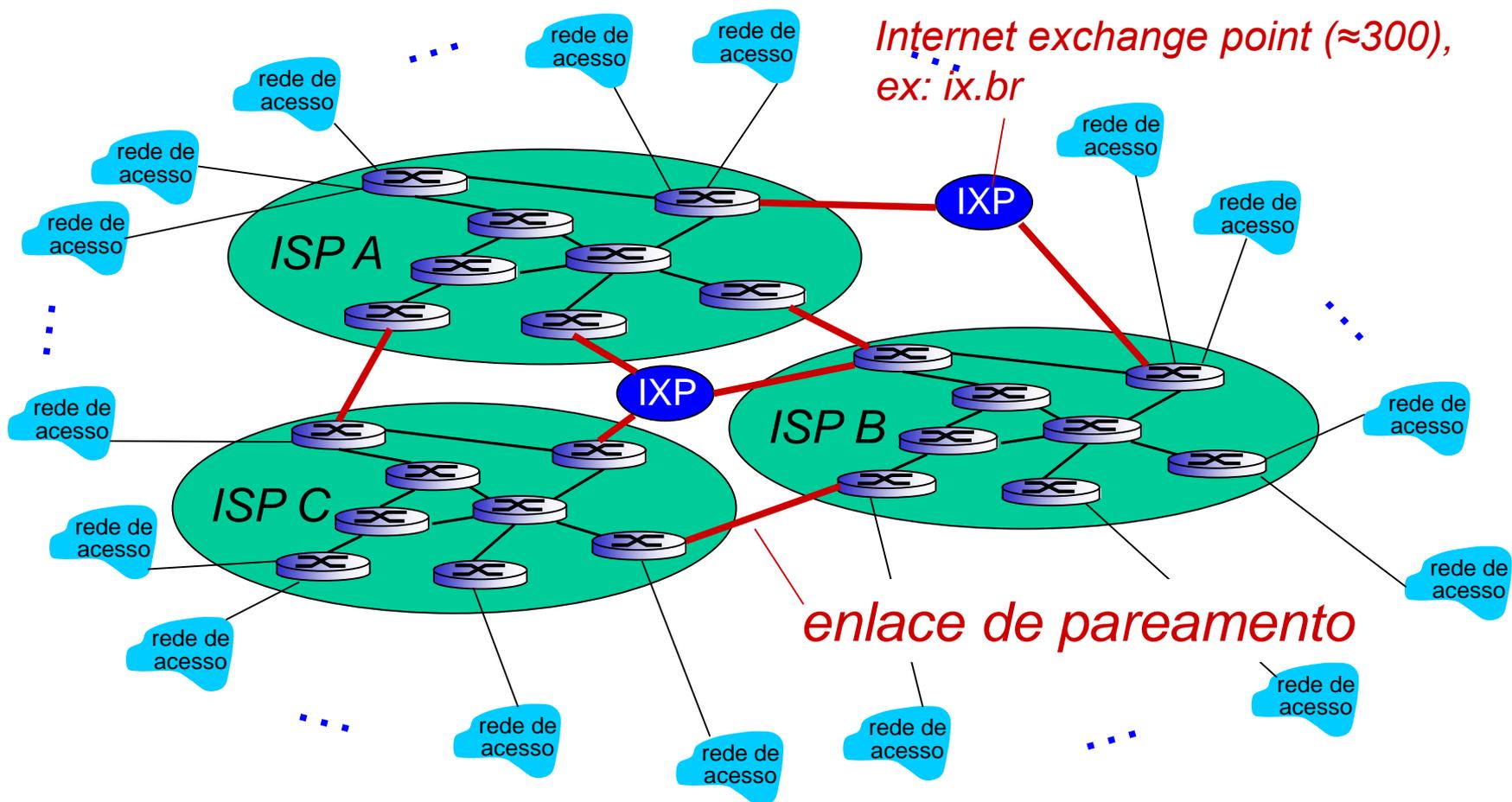
Estrutura da internet: rede de redes

Mas se um ISP global é um negócio viável, existirão competidores....



Estrutura da internet: rede de redes

Mas se um ISP global é um negócio viável, existirão competidores..... que precisam estar interconectados



```
PING www.lcs.poli.usp.br (143.107.162.233) 56(124) bytes of data.
```

```
64 bytes from zeus.lcs.poli.usp.br (143.107.162.233): icmp_seq=1 ttl=55 time=40.8 ms
```

```
RR:    192.168.3.104  
       192.168.2.103  
       badcf281.virtua.com.br (186.220.242.129)  
       c9062912.virtua.com.br (201.6.41.18)  
       as28573.saopaulo.sp.ix.br (187.16.216.14)  
       border1.uspnet.usp.br (143.107.151.161)  
       pix.uspnet.usp.br (143.107.251.29)  
       core-cce.uspnet.usp.br (143.107.255.5)  
       143.107.110.45
```

```
64 bytes from zeus.lcs.poli.usp.br (143.107.162.233): icmp_seq=2 ttl=55 time=31.5 ms
```

```
RR:    192.168.3.104  
       192.168.2.103  
       c9062912.virtua.com.br (201.6.41.18)  
       as28573.saopaulo.sp.ix.br (187.16.216.14)  
       border1.uspnet.usp.br (143.107.151.161)  
       pix.uspnet.usp.br (143.107.251.29)  
       core-cce.uspnet.usp.br (143.107.255.5)  
^C    143.107.110.45  
       143.107.162.193
```

```
--- www.lcs.poli.usp.br ping statistics ---
```

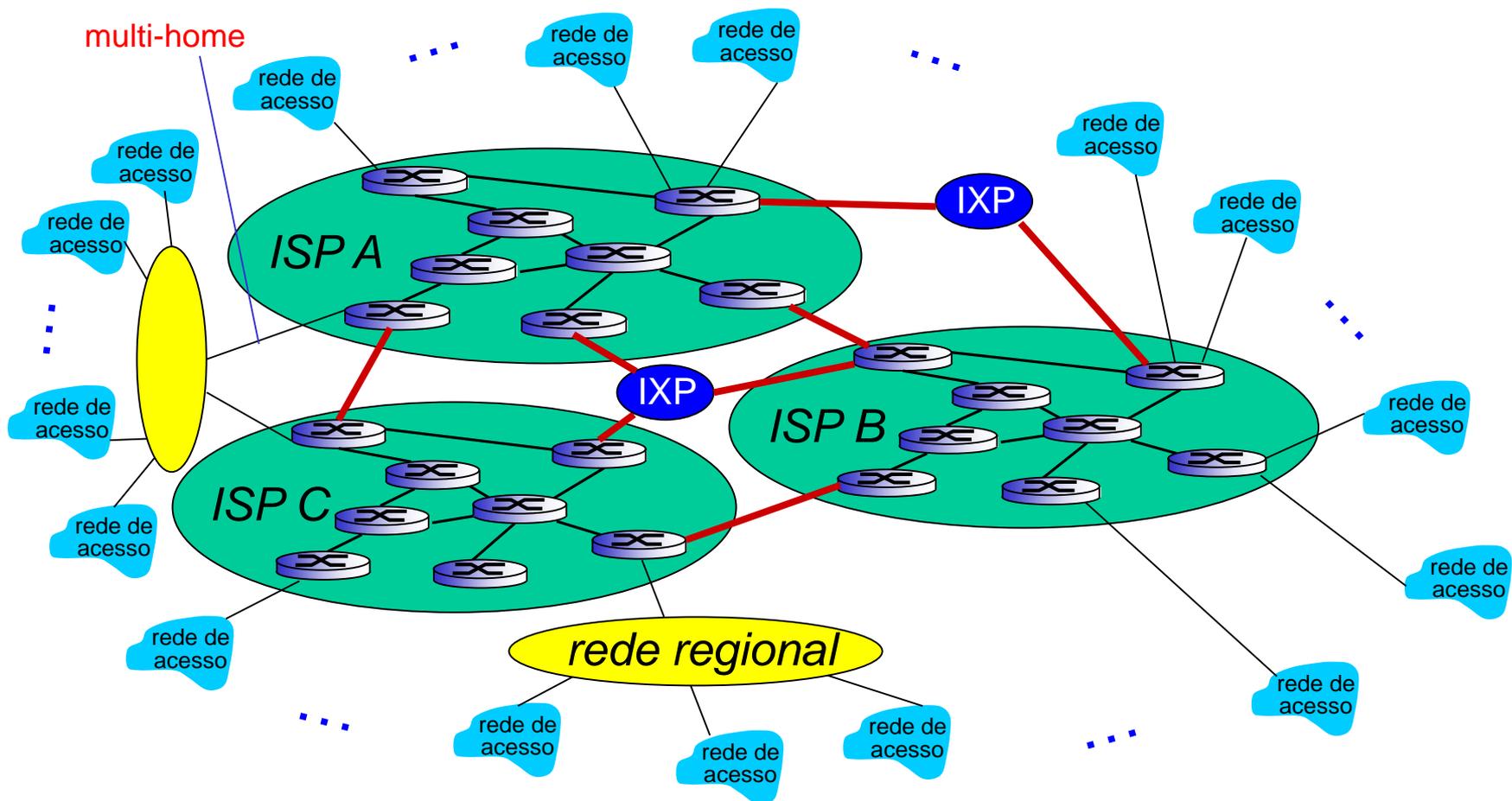
```
2 packets transmitted, 2 received, 0% packet loss, time 4060ms
```

```
rtt min/avg/max/mdev = 31.585/36.215/40.845/4.630 ms
```

```
phillip@dell:~> █
```

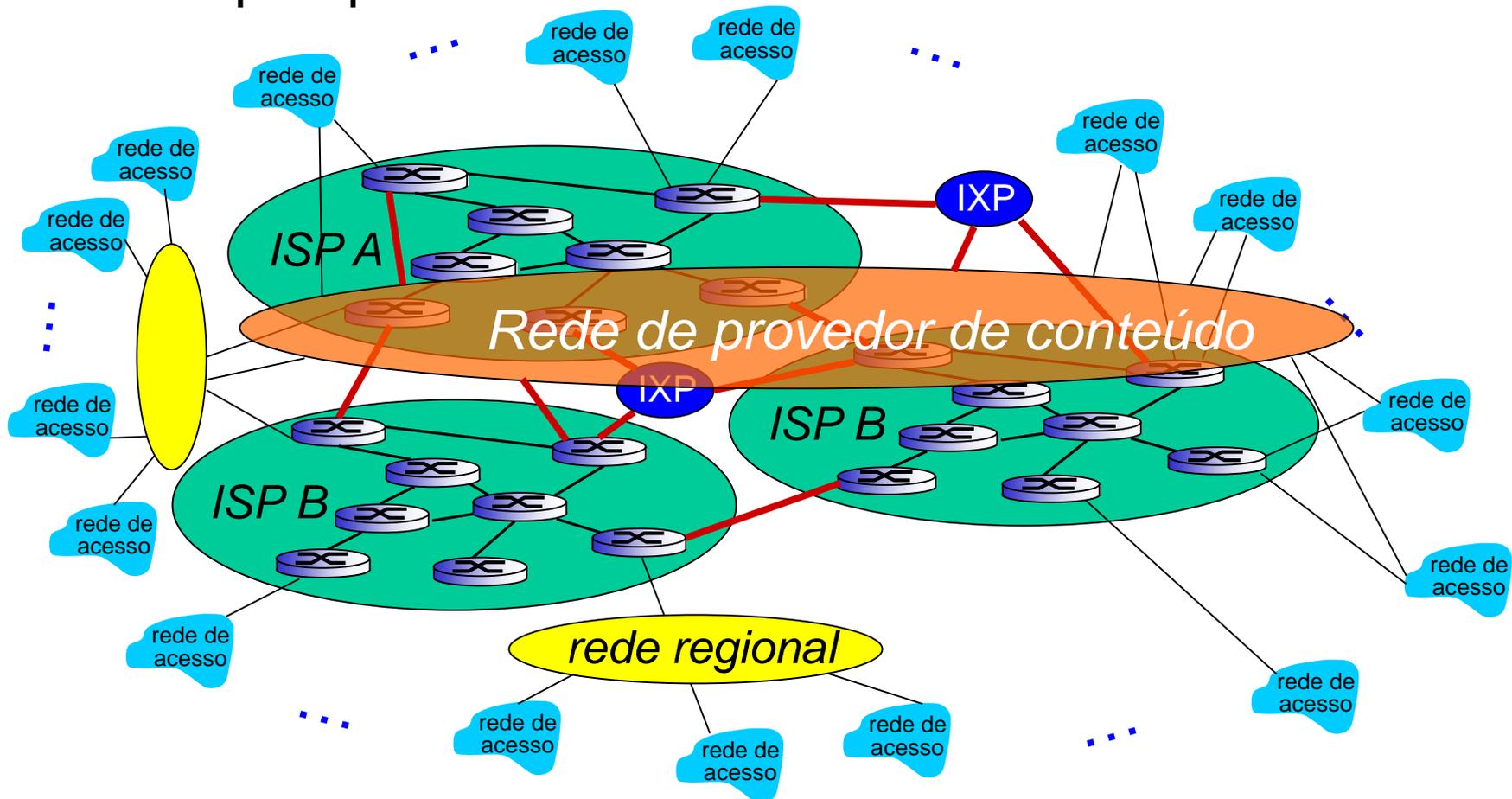
Estrutura da internet: rede de redes

... e redes regionais podem surgir para conectar redes de acesso a ISPs

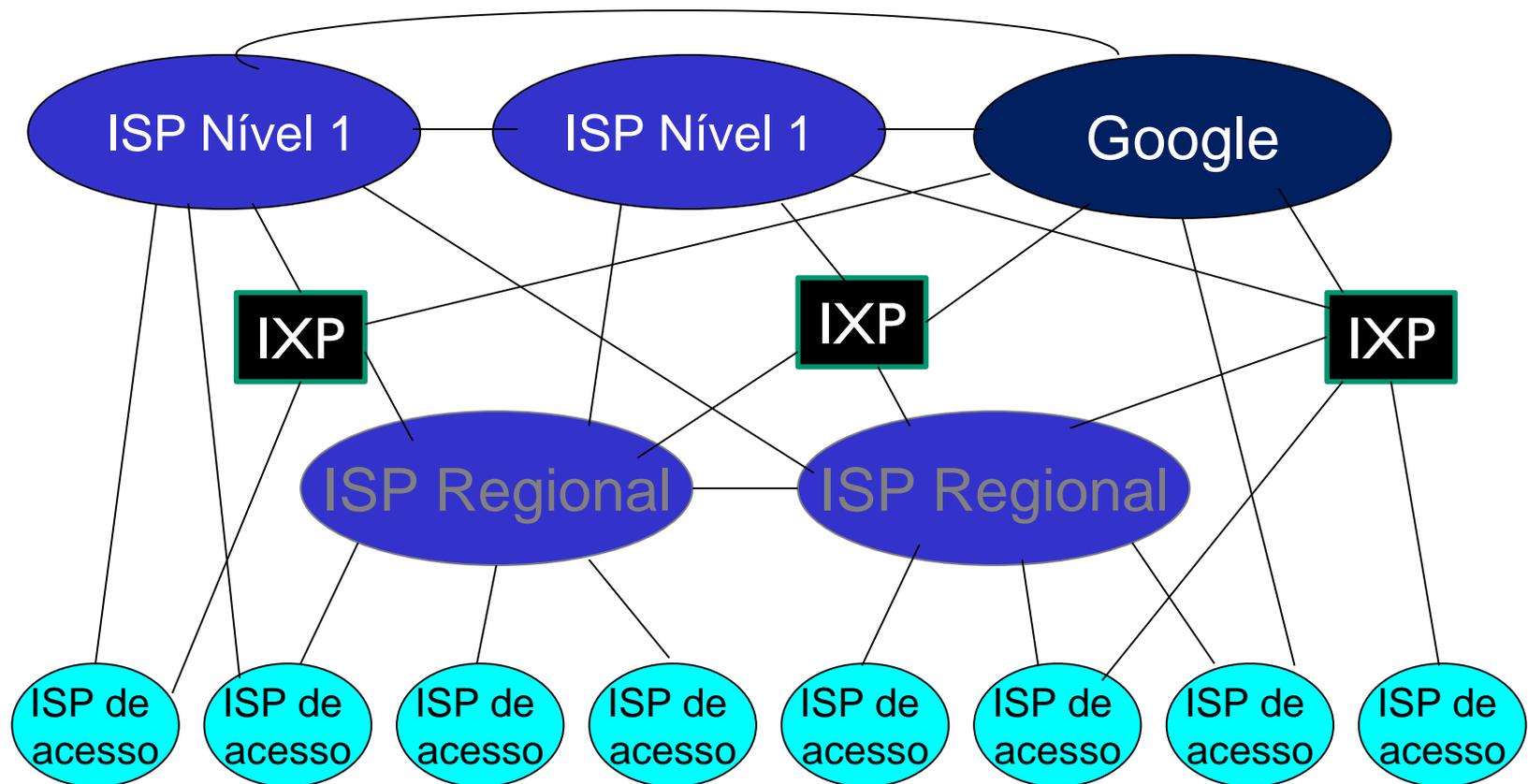


Estrutura da internet: rede de redes

... e redes de provedores de conteúdo (e.g., Google, Microsoft, Akamai) podem rodar sua própria rede, trazendo serviços, conteúdo para próximo do usuário final

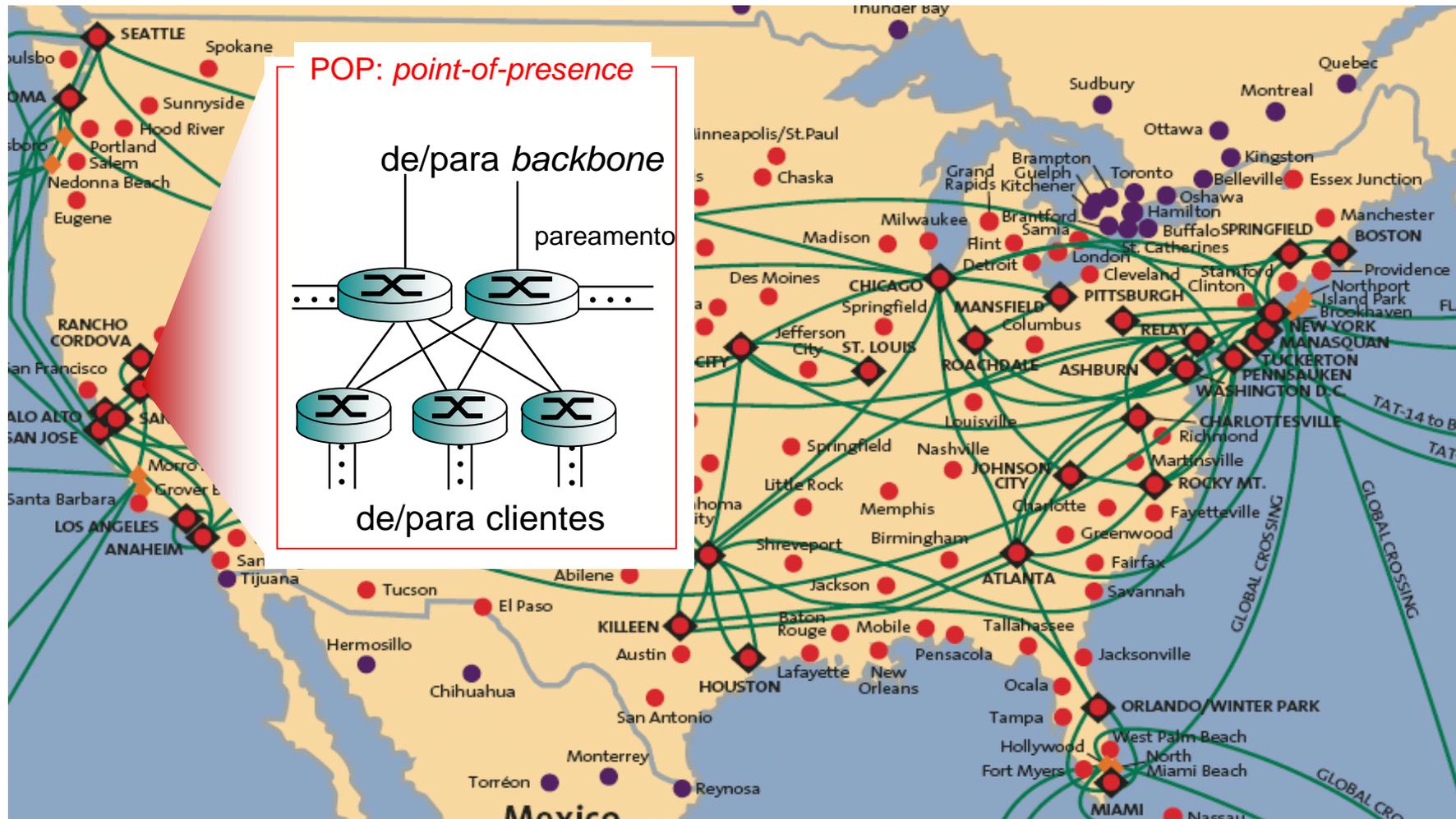


Estrutura da internet: rede de redes



- ❖ no centro: pequeno # de grandes redes bem conectadas
 - **ISPs comerciais “nível-1”** (poucas dezenas, Level 3, Sprint, AT&T, NTT), cobertura nacional e internacional
 - **rede de provedor de conteúdo** (e.g, Google): **rede privada** que conecta seus *data centers* entre si e à Internet, muitas vezes evitando ISPs nível-1 e regionais

ISP Nível-I : e.g., Sprint



ISP Nivel-1 : e.g., Sprint



Sprint Global IP Map | Latin America



 Sprint Global IP Network

Capítulo 1: Conteúdo

1.1 O que é a Internet?

1.2 A borda da rede

- sistemas finais, redes de acesso, enlaces

1.3 Núcleo da rede

- Chaveamento de pacotes, chaveamento de circuitos, estrutura da rede

1.4 Atraso, perdas, vazão em redes

1.5 Camadas de protocolos, modelos de serviços

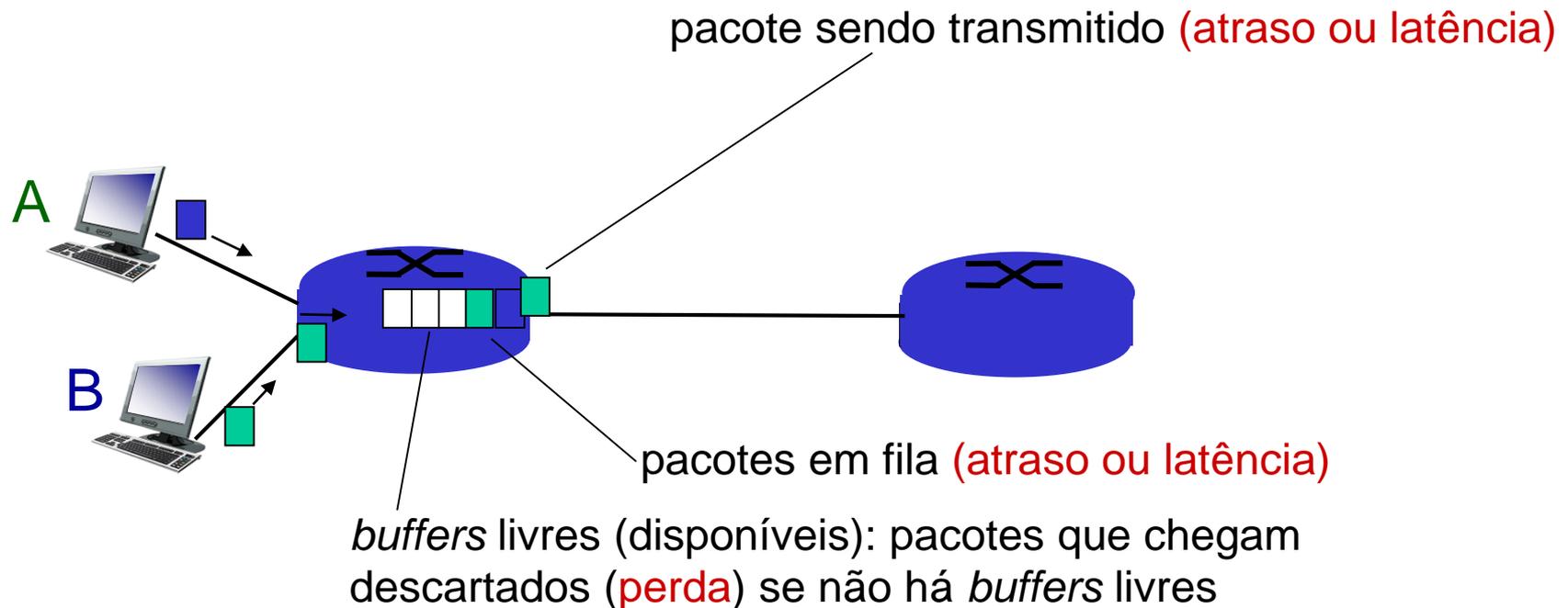
1.6 Redes sob ataque: segurança

1.7 História

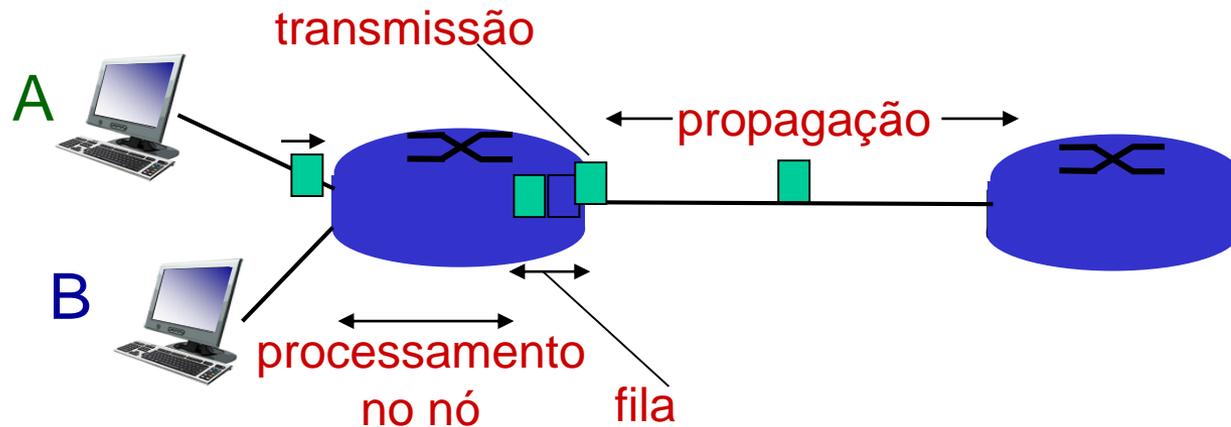
Como ocorrem atrasos e perdas?

pacotes fazem fila em *buffers* de roteadores

- ❖ taxa de chegada de pacotes no enlace (temporariamente) excede a capacidade do enlace de saída
- ❖ pacotes são enfileirados, esperando sua vez



Quatro fontes de atraso de pacotes



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

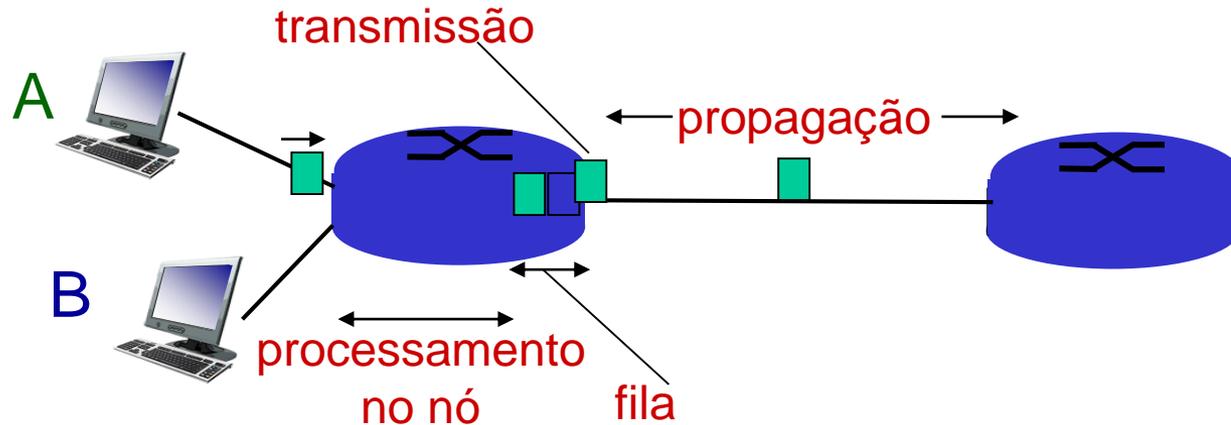
d_{proc} : processamento no nó

- verifica erros em bits
- determina enlace de saída
- tipicamente microssegundos

d_{fila} : atraso de fila

- tempo esperando no enlace de saída para transmissão
- depende do nível de congestionamento no roteador
- de micro a milissegundos

Quatro fontes de atraso de pacotes



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

d_{trans} : atraso de transmissão:

- de micro a milissegundos
- L : comp. do pacote (bits)
- R : capacidade do link (bps)

$$d_{\text{trans}} = L/R$$

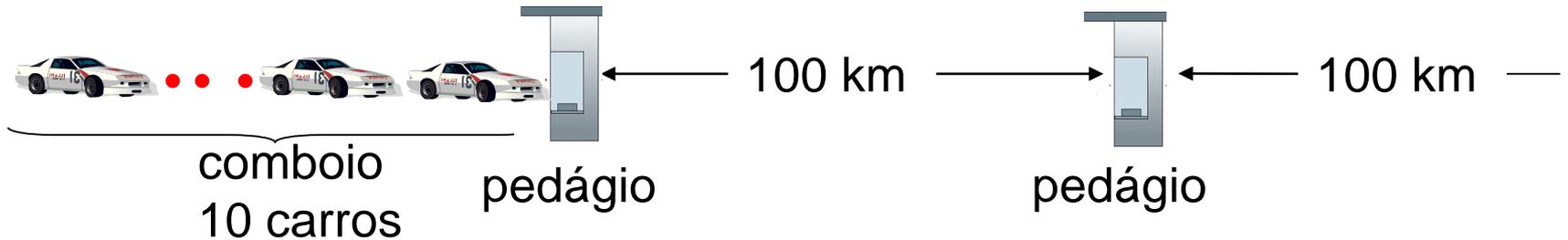
d_{trans} e d_{prop}
muito diferentes!

d_{prop} : atraso de propagação:

- milissegundos (WAN)
- d : comp. do enlace físico
- s : vel. de propagação no meio ($\sim 2 \times 10^8$ m/s)

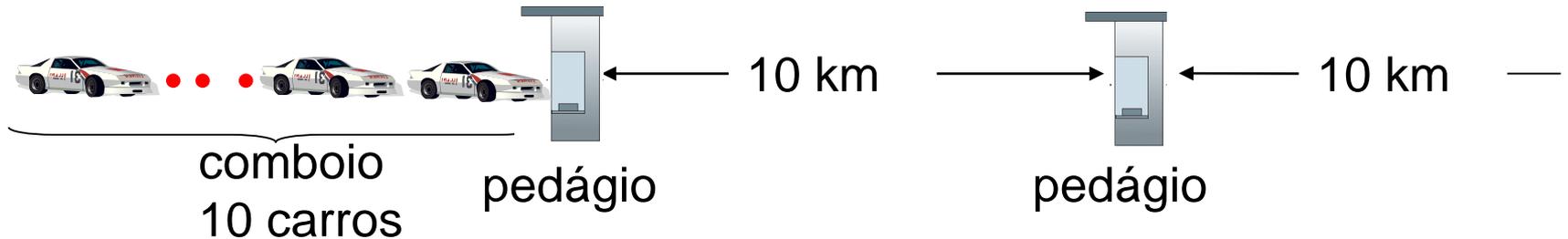
$$d_{\text{prop}} = d/s$$

Analogia com comboio



- ❖ carros “propagam-se” a **100 km/h**
- ❖ pedágio leva **12 s** para atender carro (tempo de transmissão de bit)
- ❖ carro ~ bit; comboio ~ pacote
- ❖ **Q: Quanto tempo até que o comboio alinhe-se antes do 2o pedágio?**
- tempo para “empurrar” o comboio inteiro pelo pedágio
$$d_{\text{trans}} = 12 \times 10 = 120 \text{ s}$$
- tempo para último carro se propagar do 1o para 2o pedágio:
$$d_{\text{prop}} = 100 \text{ km} / (100 \text{ km/h}) = 1 \text{ h}$$
- **R: 62 min** (d_{prop} predomina)

Analogia com comboio (mais)



- ❖ suponha agora que distância seja de 10 km
- ❖ suponha que o pedágio agora leve 1 minuto para atender um carro
- ❖ **Q:** Carros chegarão ao 2o pedágio antes de todos os carros terem sido atendidos no 1o pedágio?
 - **R: Sim!** depois de 7 min, 1o carro chega ao 2o pedágio; 3 carros ainda estarão no 1o pedágio.
- ❖ **Q:** Quanto tempo até que o comboio alinhe-se antes do 2o pedágio?
 - **R: 16 min** (d_{trans} predomina)

d_{trans} e d_{prop}

- ❖ Enlace longos e taxas de transmissão (R) altas – d_{prop} predomina
- ❖ Enlace curtos e taxas de transmissão (R) baixas – d_{trans} predomina
- ❖ Geralmente uma delas é bem mais importante que a outra

(Kurose, p. 51) Quanto tempo leva para um pacote de comprimento 1 000 bytes se propagar por um enlace de comprimento 2 500 km, velocidade de propagação 2.5×10^8 m/s e taxa de transmissão 2 Mbps? De forma mais geral, quanto tempo leva para um pacote de comprimento L ser transmitido sobre um enlace de comprimento d , velocidade de propagação s e taxa de transmissão R bps? Esse atraso depende do comprimento do pacote? Esse atraso depende da taxa de transmissão?

Atraso de fila d_{fila}

- ❖ *Componente mais complicado e interessante da latência*
- ❖ *Varia de pacote a pacote – **trabalhar com médias!***
- ❖ R : capacidade do enlace (bps)
- ❖ L : comp. do pacote (bits)
- ❖ a : taxa média de chegada de pacotes (pacotes/s)
 - ❖ $La/R = \textit{intensidade de tráfego}$
 - ❖ $La/R \sim 0$: atraso de fila médio pequeno
 - ❖ $La/R \rightarrow 1$: atraso de fila médio grande
 - ❖ $La/R > 1$: chegando mais pacotes do que pode ser atendido, atraso médio infinito!



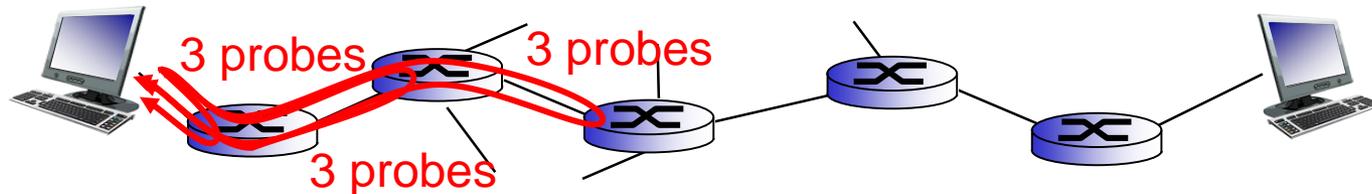
$La/R \sim 0$



$La/R \rightarrow 1$

Atrasos e rotas da Internet “real”

- ❖ Como são os atrasos e perdas reais da Internet?
- ❖ programa `traceroute` (`tracert` no Windows): fornece medidas de atraso da fonte aos roteadores ao longo do caminho até o destino (RFC 1393)
- ❖ Para cada i :
 - envia três pacotes que alcançam roteador i no caminho para o destino
 - roteador i retorna pacotes para a fonte
 - intervalos de transmissão entre envio e retorno



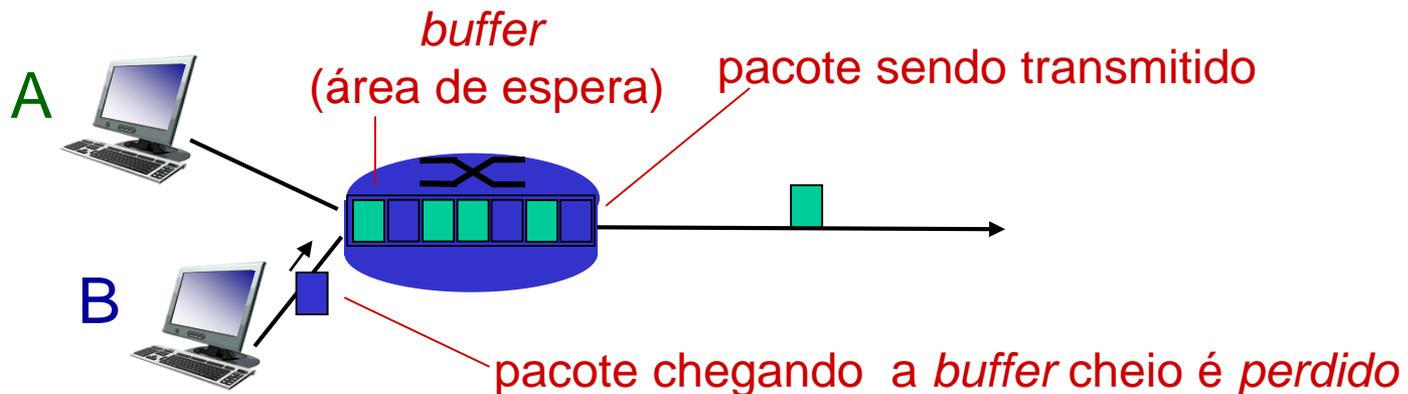
Atrasos e rotas da Internet “real”

traceroute: www.rhnet.is (Islândia) até www.lcs.poli.usp.br



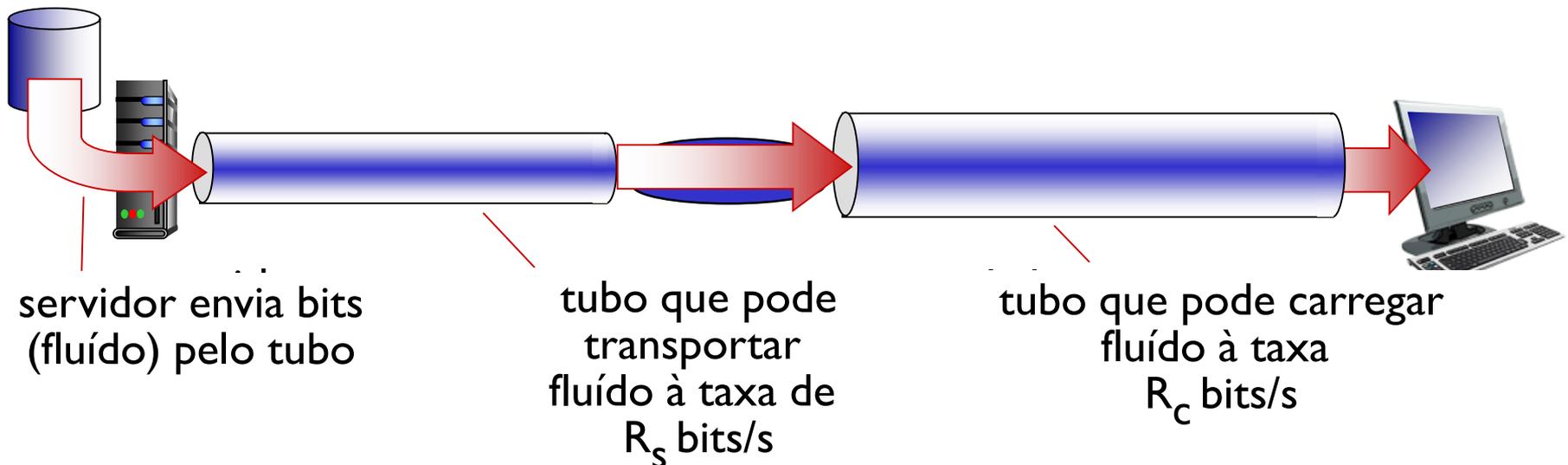
Perda de pacotes

- ❖ fila (ou *buffer*) precedendo enlace tem capacidade finita
- ❖ pacotes que chegam a *buffer* cheio – descartados (ou perdidos)
- ❖ pacotes pedidos podem ser retransmitidos por nó anterior, pelo sistema final fonte ou não ser



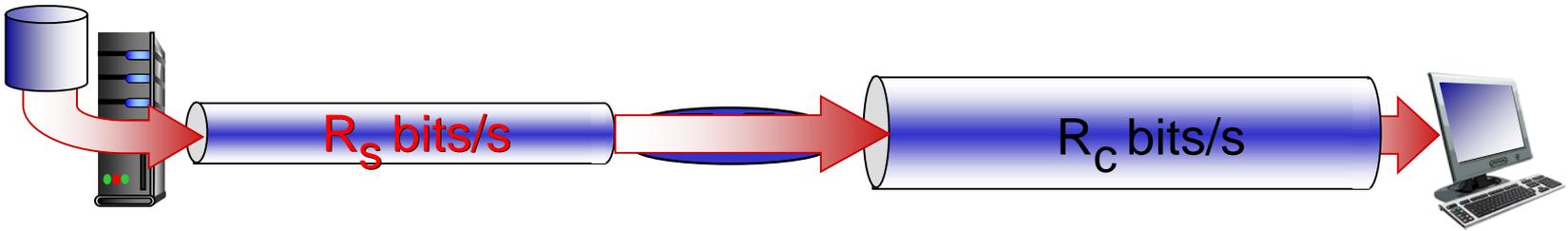
Vazão (throughput)

- ❖ **vazão**: taxa (bits/unidade de tempo) em que bits são transferidos entre fonte/destino
 - **instantânea**: taxa dada num certo instante de tempo
 - **média**: taxa sobre um período de tempo mais longo

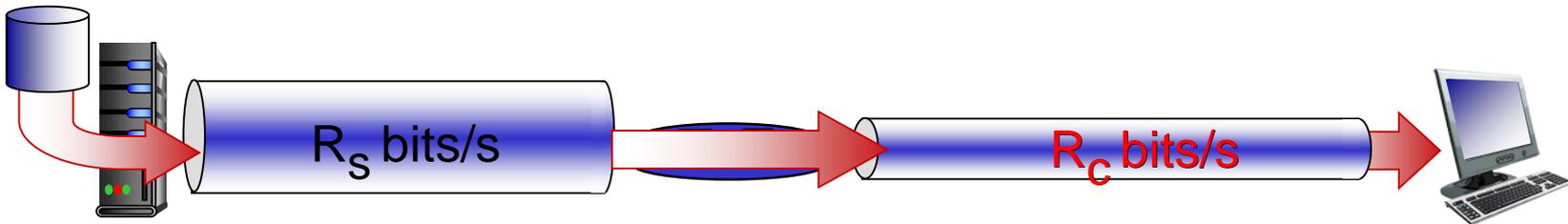


Vazão (mais)

❖ $R_s < R_c$ Qual a vazão média fim a fim?



❖ $R_s > R_c$ Qual a vazão média fim a fim?

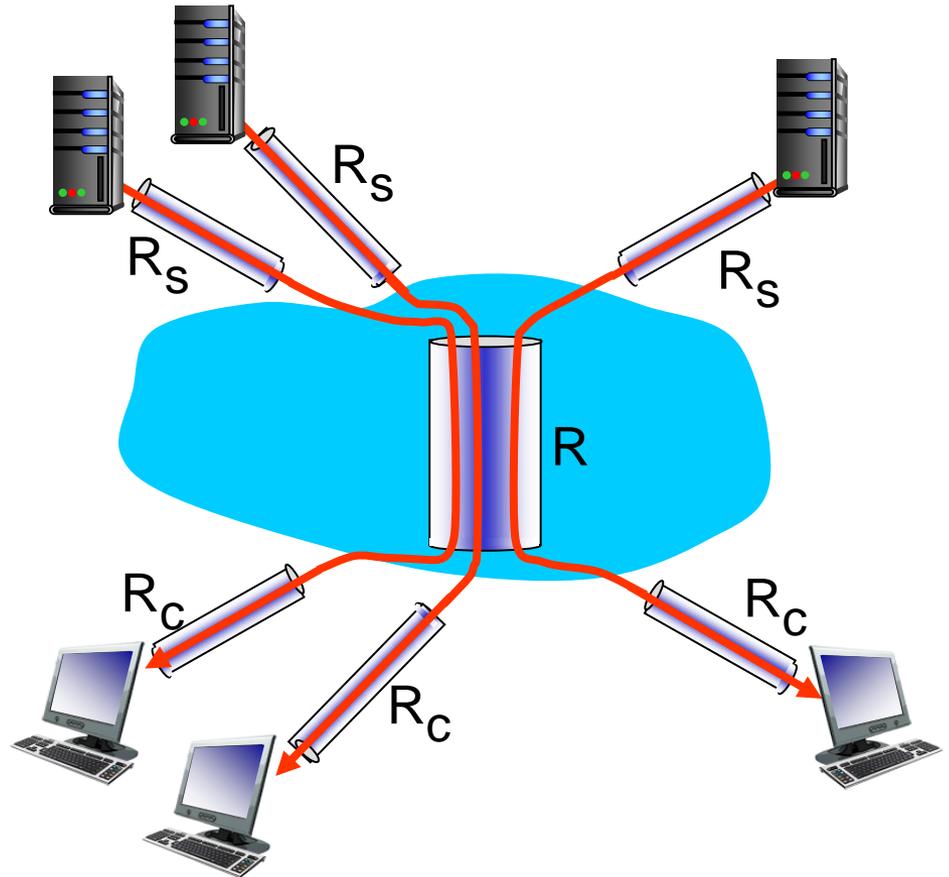


enlace de gargalo

enlace na rota fim-a-fim que restringe vazão fim-a-fim

Vazão: cenário Internet

- ❖ vazão fim-a-fim por conexão:
 $\min(R_c, R_s, R/10)$
- ❖ na prática: R_c or R_s é muitas vezes o gargalo



10 conexões partilham conexões (de forma justa) no enlace gargalo
backbone R bits/s

Capítulo 1: Conteúdo

I.1 O que é a Internet?

I.2 A borda da rede

- sistemas finais, redes de acesso, enlaces

I.3 Núcleo da rede

- Chaveamento de pacotes, chaveamento de circuitos, estrutura da rede

I.4 Atraso, perdas, vazão em redes

I.5 Camadas de protocolos, modelos de serviços

I.6 Redes sob ataque: segurança

I.7 História

“Camadas” de protocolos

Redes são complexas, com muitos “pedaços”:

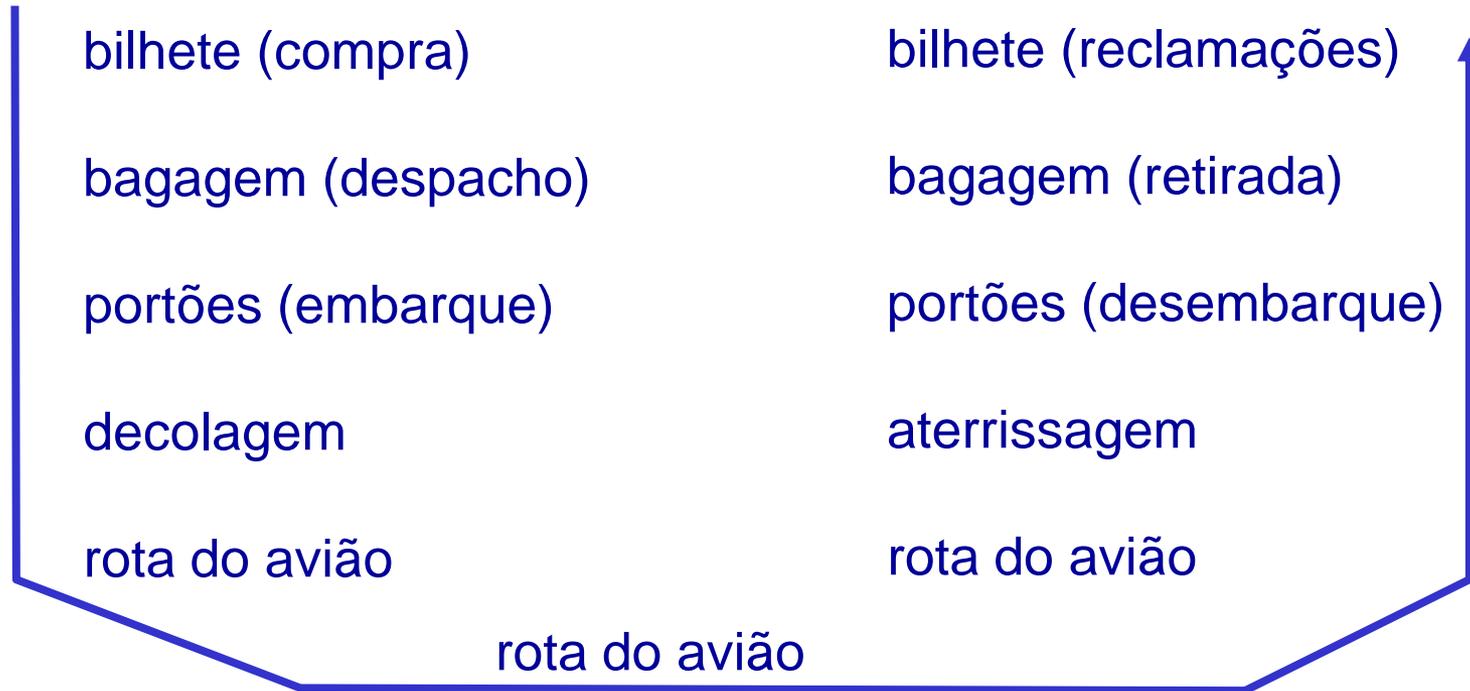
- *hosts*
- roteadores
- enlaces de vários meios
- aplicações
- protocolos
- *hardware, software*

Questão:

existe alguma esperança de *organizar* a estrutura da rede?

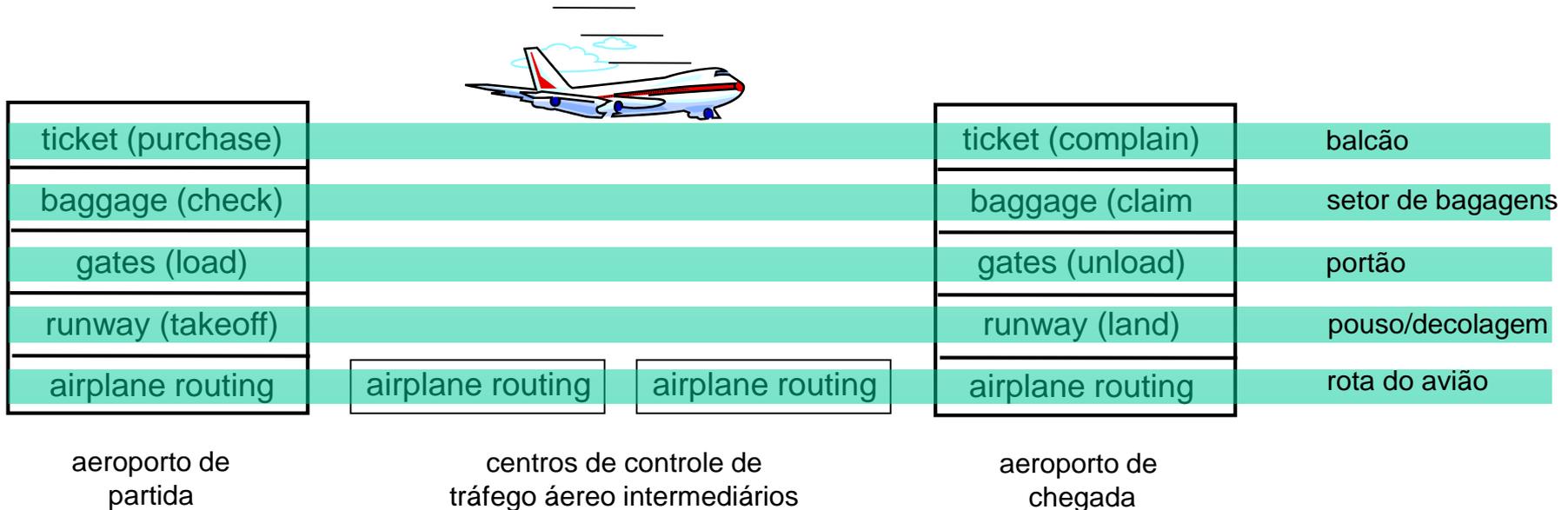
.... ou pelo menos nossa discussão de redes?

Organização de uma viagem aérea



❖ série de passos

Distribuição em camadas da funcionalidade



camadas: cada camada implementa um serviço

- via suas próprias ações internas à camada
- contando com serviços providos pela camada inferior

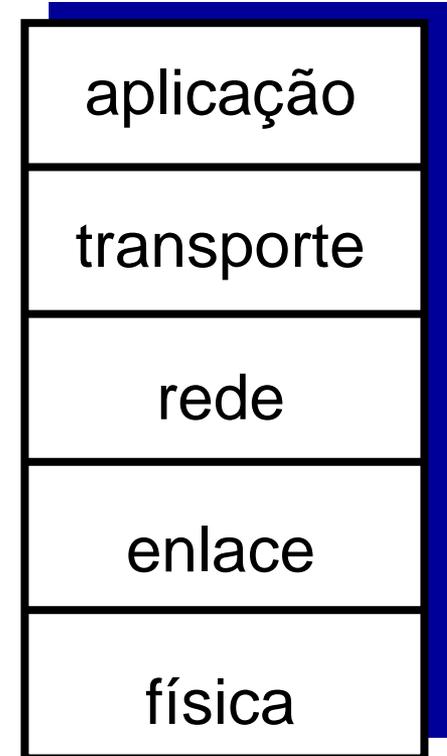
Por que camadas?

lidando com sistemas complexos:

- ❖ estrutura explícita permite identificação das relações entre as partes do sistema complexo
 - *modelo de referência* em camadas para discussão
- ❖ modularização facilita manutenção e atualização do sistema
 - mudança de implementação do serviço em uma camada é transparente para o resto do serviço
 - e.g., mudar o procedimento de embarque/desembarque não afeta o resto do sistema
- ❖ arrumar em camadas pode ser ruim?

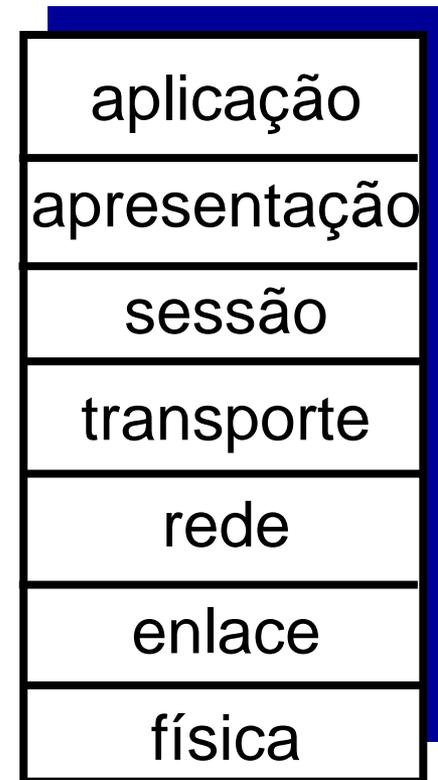
Pilha de protocolos Internet

- ❖ **aplicação**: contendo aplicativos de rede que geram **mensagens**
 - FTP, SMTP, HTTP, DNS, ...
- ❖ **transporte**: transferência de **segmentos** processo-processo
 - TCP e UDP
- ❖ **rede**: roteamento de **datagramas** da fonte ao destino
 - IP, protocolos de roteamento
- ❖ **enlace**: transferência de **quadros** entre elementos vizinhos na rede
 - Ethernet, 802.11 (WiFi), DOCSIS, ...
- ❖ **física**: transmissão física dos **bits**; depende do meio de transmissão;
 cursos de Telecom.



Modelo de referência ISO/OSI

- ❖ *Década de 1970...*
- ❖ *apresentação*: permite aplicações interpretar o significado dos dados, e.g., criptografia, compressão, convenções específicas de máquina
- ❖ *sessão*: sincronização, ponto de verificação, recuperação de dados trocados
- ❖ Na pilha Internet faltam essas camadas!
 - serviços, se necessários, devem ser implementadas na aplicação
 - necessários?



Encapsulamento

