

PTC 3360

I. Redes de comunicação – Parte II

(Kurose, Seções 1.2 e 1.3)

Agosto 2025

Conteúdo do Capítulo I

A. O que é a Internet?

B. A borda da rede

- Sistemas finais, redes de acesso, enlaces

C. Núcleo da rede

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

D. Camadas de protocolos, modelos de serviços

Meio físico

- ❖ Os bits são transportados por **ondas eletromagnéticas** que se propagam do transmissor ao receptor
- ❖ **Meio físico (enlace):** por onde as ondas se propagam
 - **Meio guiado:**
 - Ondas confinadas no espaço por meio sólido: cobre, fibra, cabo coaxial
 - **Meio não guiado:**
 - Ondas não confinadas, propagando-se no ar

Exemplos de meios guiados

1. Par trançado

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



Meio físico: coaxial, fibra

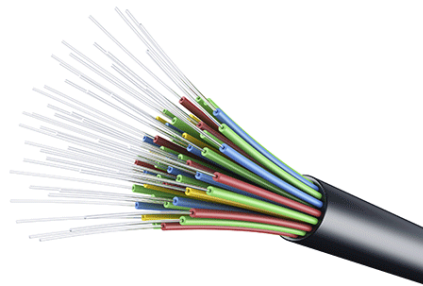
2. Cabo coaxial

- ❖ Dois condutores de cobre concêntricos
- ❖ Banda larga:
 - Múltiplos canais no mesmo cabo
 - HFC – TV a Cabo



3. Cabo de fibra ótica:

- ❖ fibra de vidro carregando pulsos de luz, cada pulso transmite um símbolo
- ❖ **operação de alta velocidade** 😊
 - Taxas de transmissão de até centenas de Gb/s
- ❖ **baixas taxas de erro** 😊
 - repetidores podem estar bem afastados; imunidade a ruído
- ❖ **Equipamentos são (ainda) mais caros** 😞
 - usados principalmente no núcleo da rede



Meio físico não guiado

- ❖ Ondas eletromagnéticas não confinadas
- ❖ Sujeitas aos efeitos do ambiente na propagação:
 - reflexão
 - obstrução por objetos
 - interferência

Exemplos de enlace não guiado

- ❖ Redes locais (LAN) (WiFi, Bluetooth)
 - 11 Mb/s, 54 Mb/s, etc.
- ❖ Área ampla (WAN) (e.g., celular)
 - Celular 3G, 4G, 5G: ~ alguns Mbps
- ❖ Satélite
 - Canais de kb/s até dezenas de Mb/s (ou múltiplos canais menores)
 - 270 ms de atraso fim a fim
 - Geossíncronos versus baixa altitude

Conteúdo

A. O que é a Internet?

B. A borda da rede

- Sistemas finais, redes de acesso, enlaces

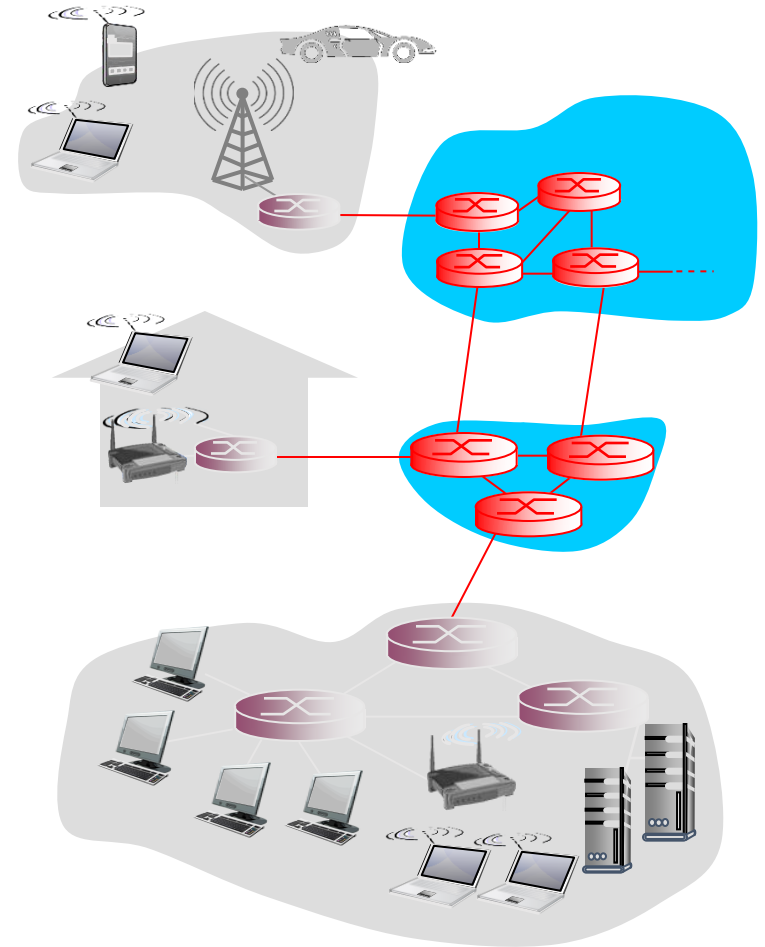
C. Núcleo da rede

- Comutação de pacotes, estrutura da rede, comutação de pacotes vs. de circuitos

D. Camadas de protocolos, modelos de serviços

O núcleo da rede

- ❖ Malha de trocadores de pacotes (roteadores) interconectados
- ❖ Conceito importante: Comutação de pacotes
 - *Conjuntos de bits (pacotes)* enviados a partir de um *host* com destino a outro *host*
 - Os pacotes são enviados de um roteador ao próximo, através de enlaces no caminho entre fonte e destino
 - Cada pacote é sempre transmitido usando a capacidade total do enlace

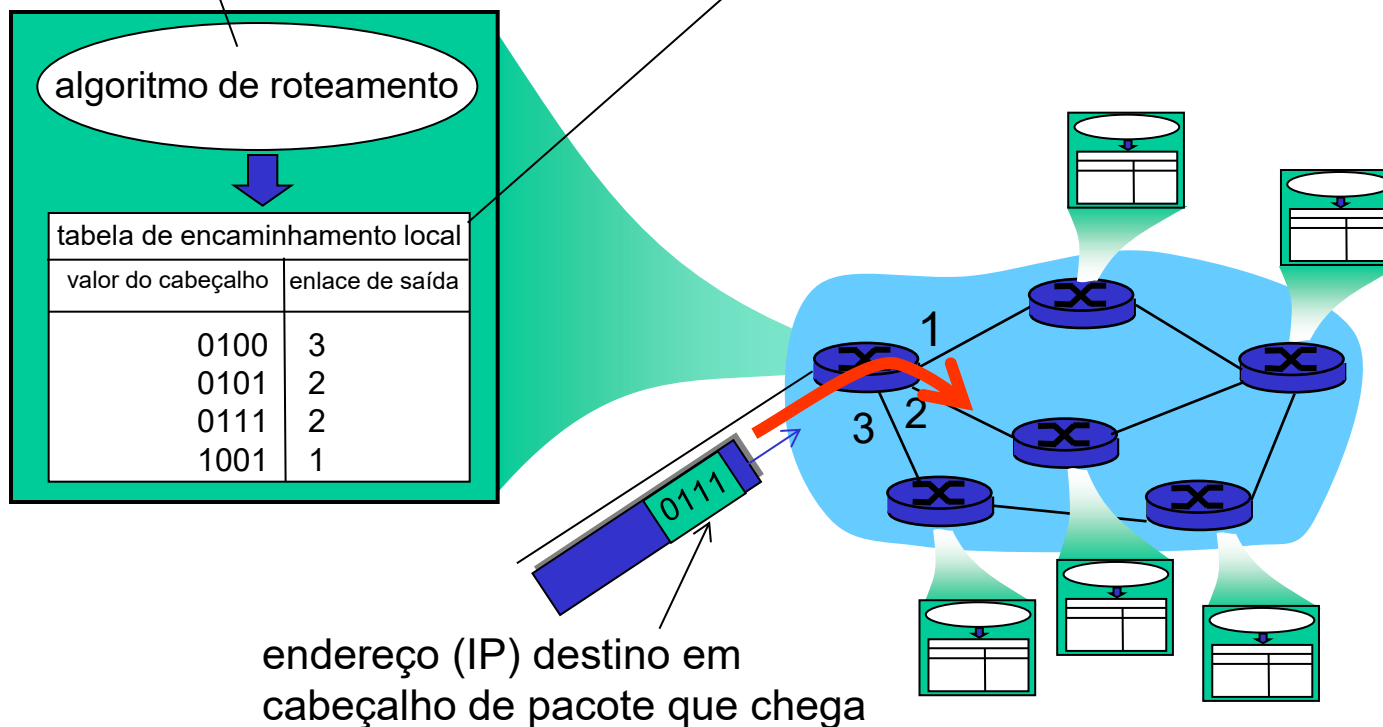


Duas funções chaves do núcleo da rede

Roteamento: determina a rota fonte-destino tomada pelos pacotes

- *algoritmos de roteamento*

Repasse: move pacotes de entrada do roteador para a saída apropriada







Conteúdo

A. O que é a Internet?

B. A borda da rede

- Sistemas finais, redes de acesso, enlaces

C. Núcleo da rede

- Comutação de pacotes, **estrutura da rede**, comutação de pacotes vs. de circuitos

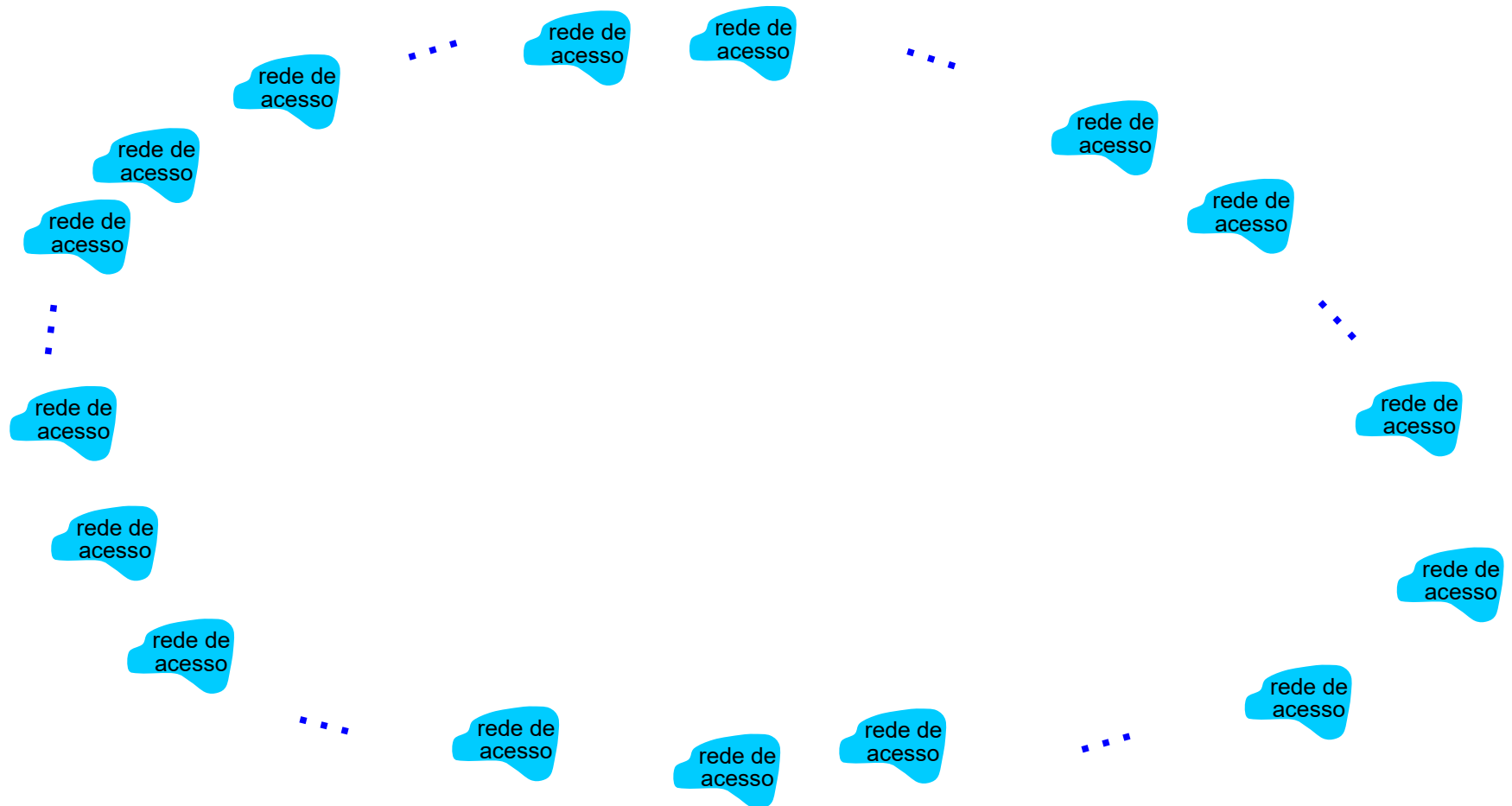
D. Camadas de protocolos, modelos de serviços

Estrutura da internet: rede de redes

- ❖ Sistemas finais conectam-se à Internet via **ISP** (*Internet Service Provider*) **de acesso**, também conhecidas como Redes de Acesso.
 - ISPs residenciais, de empresas e universidades.
- ❖ ISPs de acesso por sua vez precisam ser interconectados.
 - Assim, quaisquer dois *hosts* podem enviar pacotes entre si.
- ❖ Rede de redes resultante é bem complicada!
 - Estrutura atual é resultado não só de decisões tecnológicas, mas também **econômicas e políticas**.
- ❖ Vamos usar uma abordagem passo-a-passo para descrever de forma bastante simplificada a estrutura atual da Internet

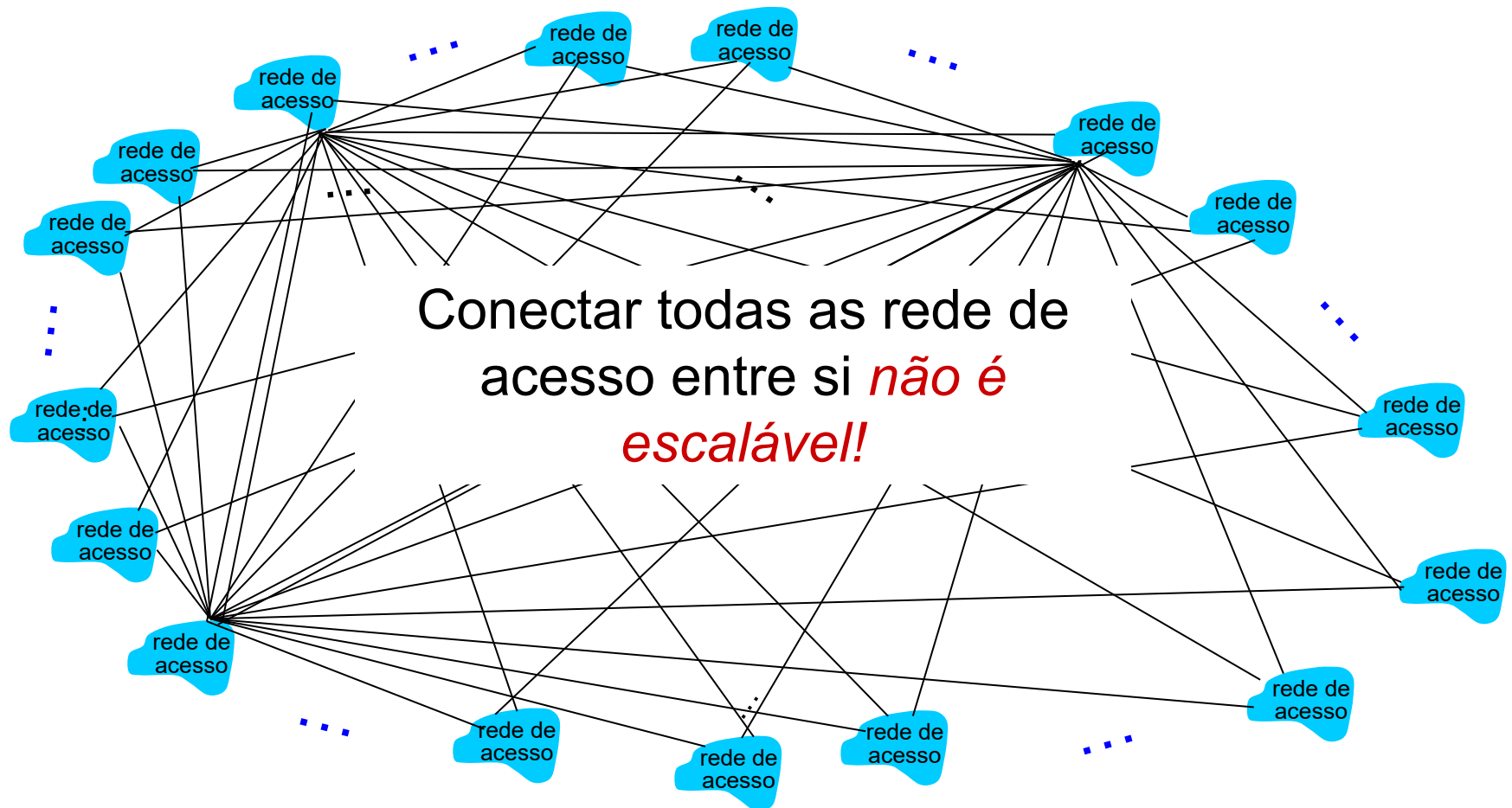
Estrutura da internet: rede de redes

Questão: dados *milhões* de redes de acesso, como conectá-las?



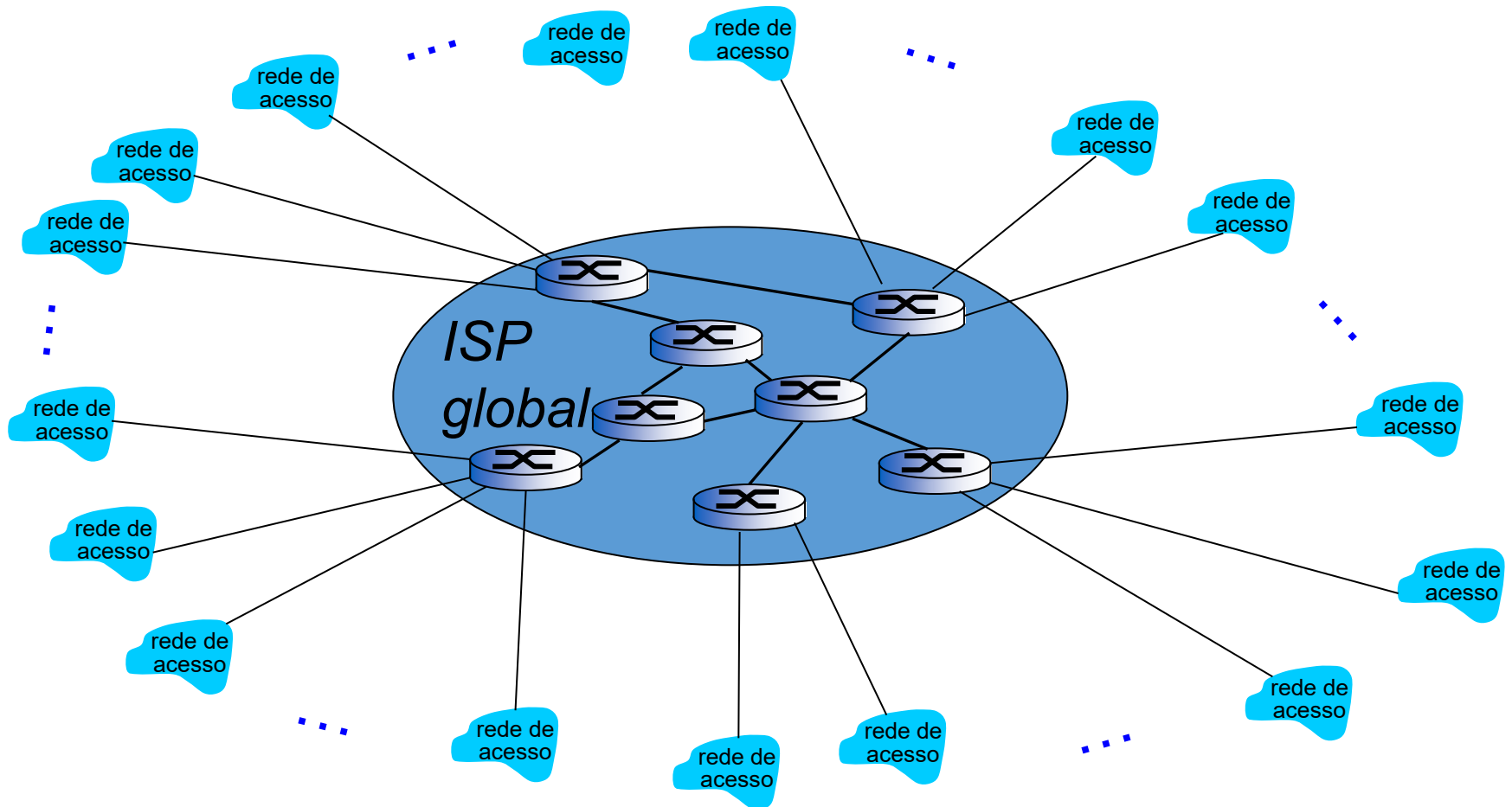
Estrutura da internet: rede de redes

Ideia 1: Conectar cada rede de acesso a todas as outras redes de acesso



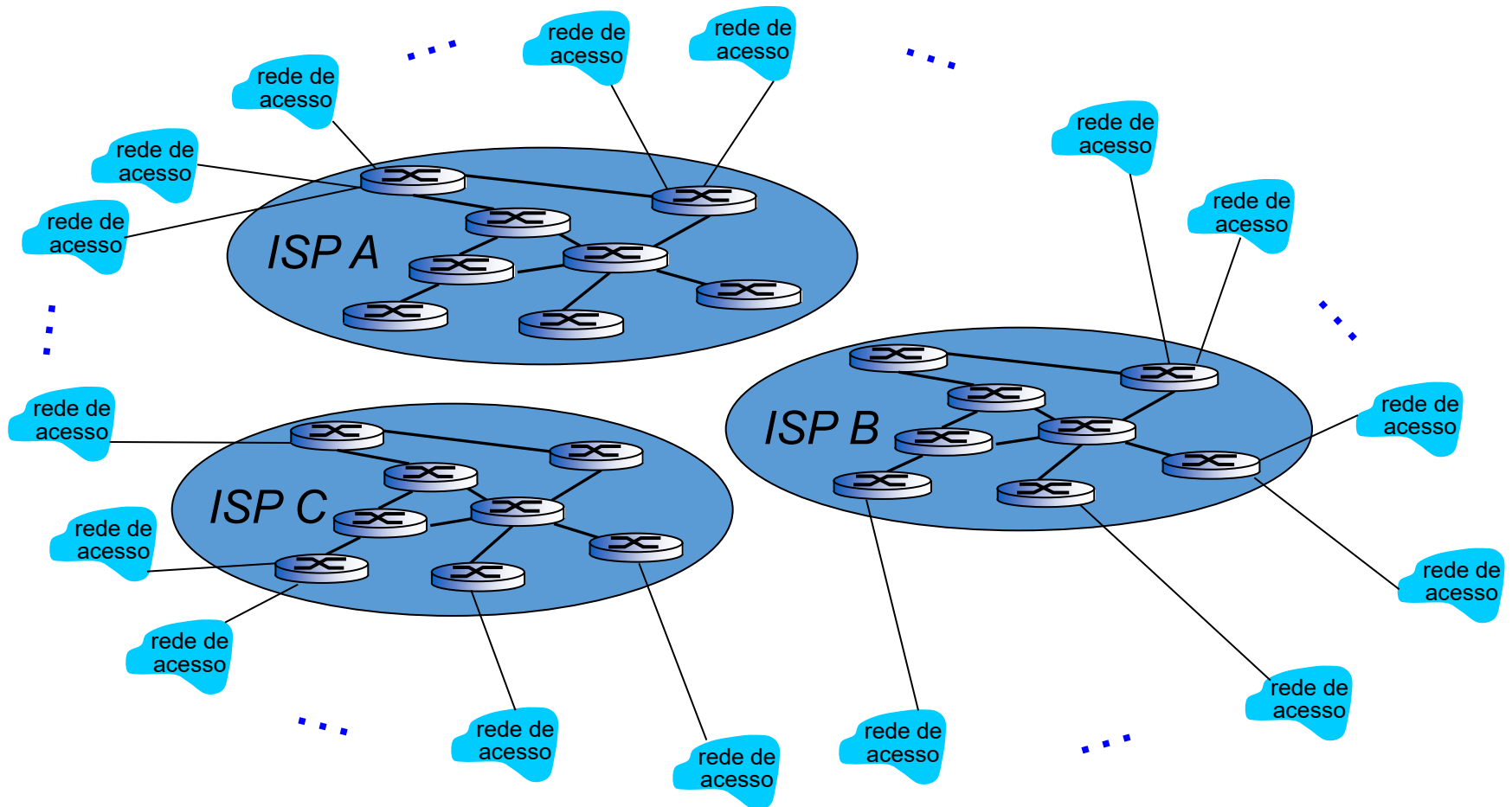
Estrutura da internet: rede de redes

Ideia 2: Conectar cada rede de acesso a um único ISP de alcance global. Redes de acesso são clientes do ISP global (ou Nível 1).



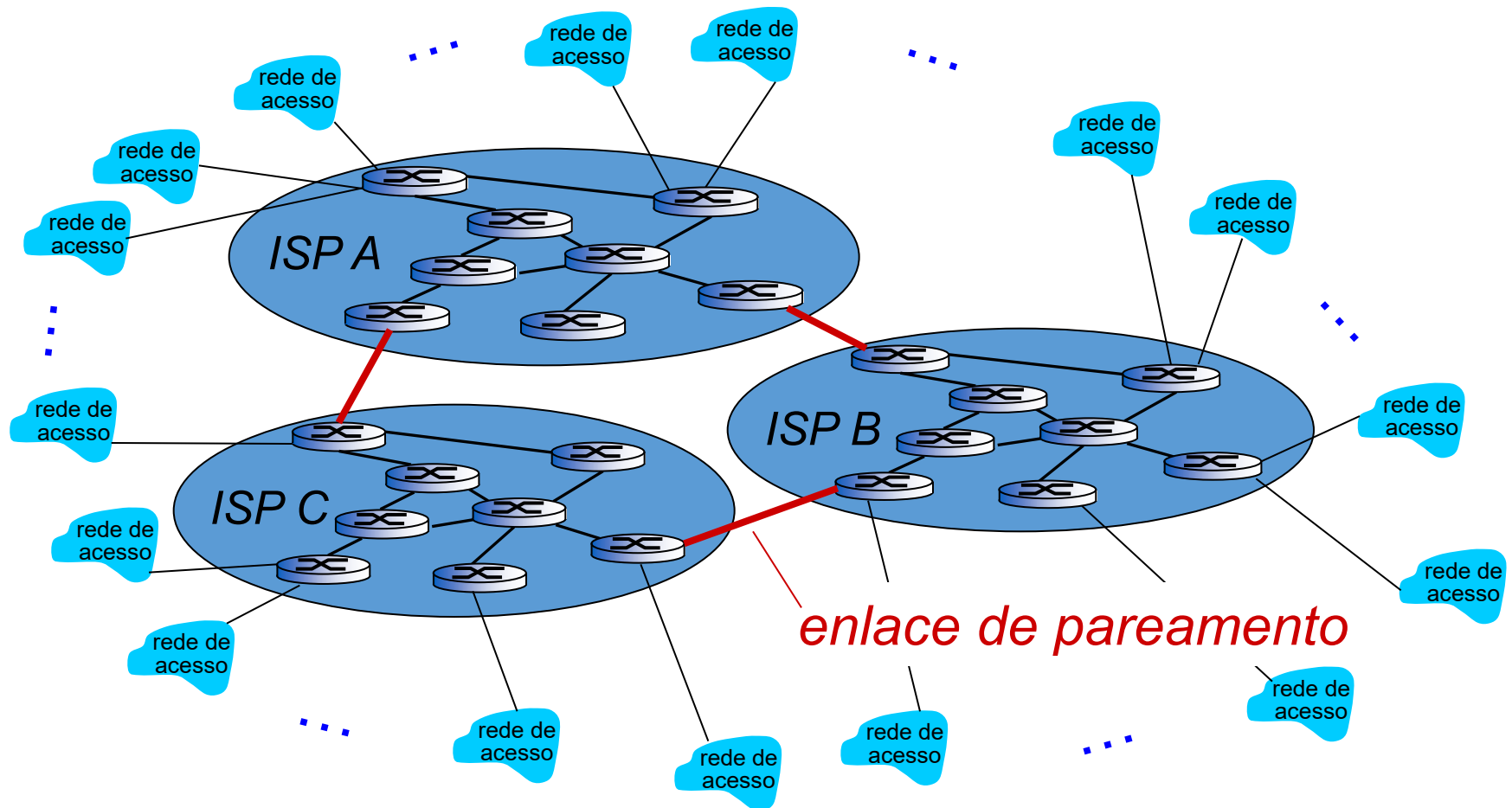
Estrutura da internet: rede de redes

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



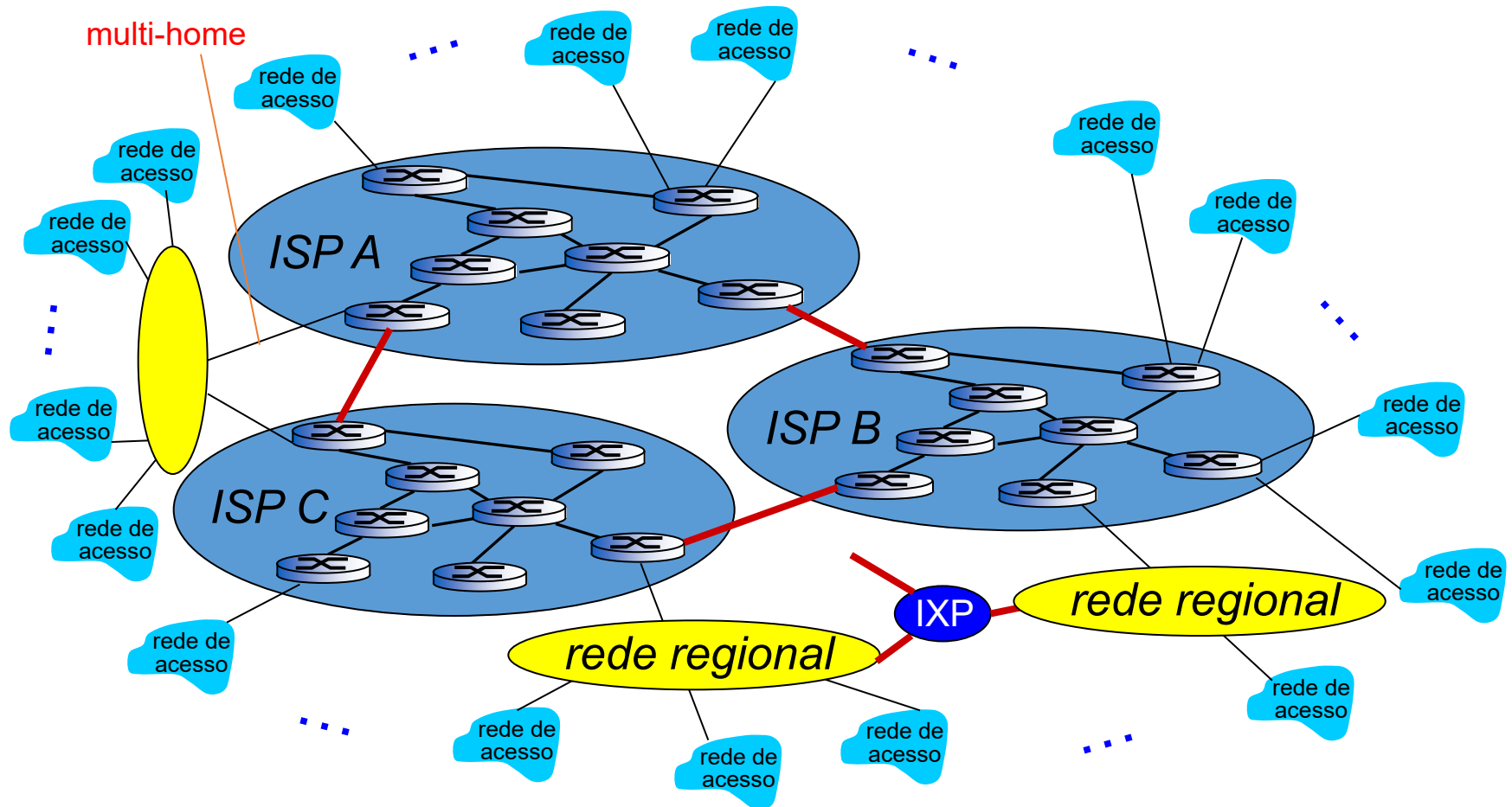
Estrutura da internet: rede de redes

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



Estrutura da internet: rede de redes

Redes regionais e IXPs (**Internet Exchange Points**) podem surgir para conectar redes de acesso entre si e a ISPs globais



Exemplo de IXP: ix.br

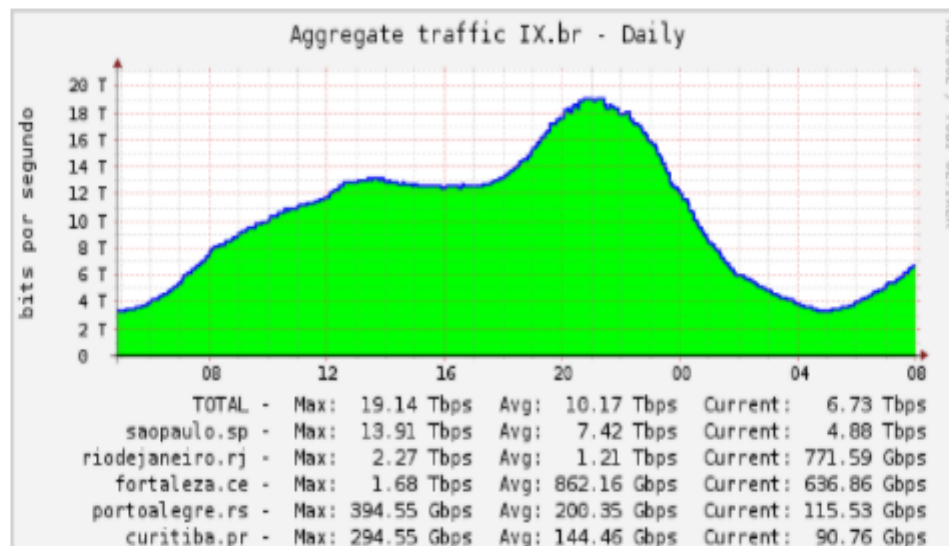
IX.br é o nome dado ao projeto do Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br) que promove e cria a infra-estrutura necessária (Ponto de Intercambio de Internet - IXP) para a interconexão direta entre as redes ("Autonomous Systems" - ASs) que compõem a Internet Brasileira. A atuação do IX.br volta-se às regiões metropolitanas no País que apresentam grande interesse de troca de tráfego Internet.

Uma das principais vantagens deste modelo, é a racionalização dos custos, uma vez que os balanços de tráfego são resolvidos direta e localmente e não através de redes de terceiros, muitas vezes fisicamente distantes.

Outra grande vantagem é o maior controle que uma rede pode ter com relação a entrega de seu tráfego o mais próximo possível do seu destino, o que em geral resulta em melhor desempenho e qualidade para seus clientes e operação mais eficiente da Internet como um todo.

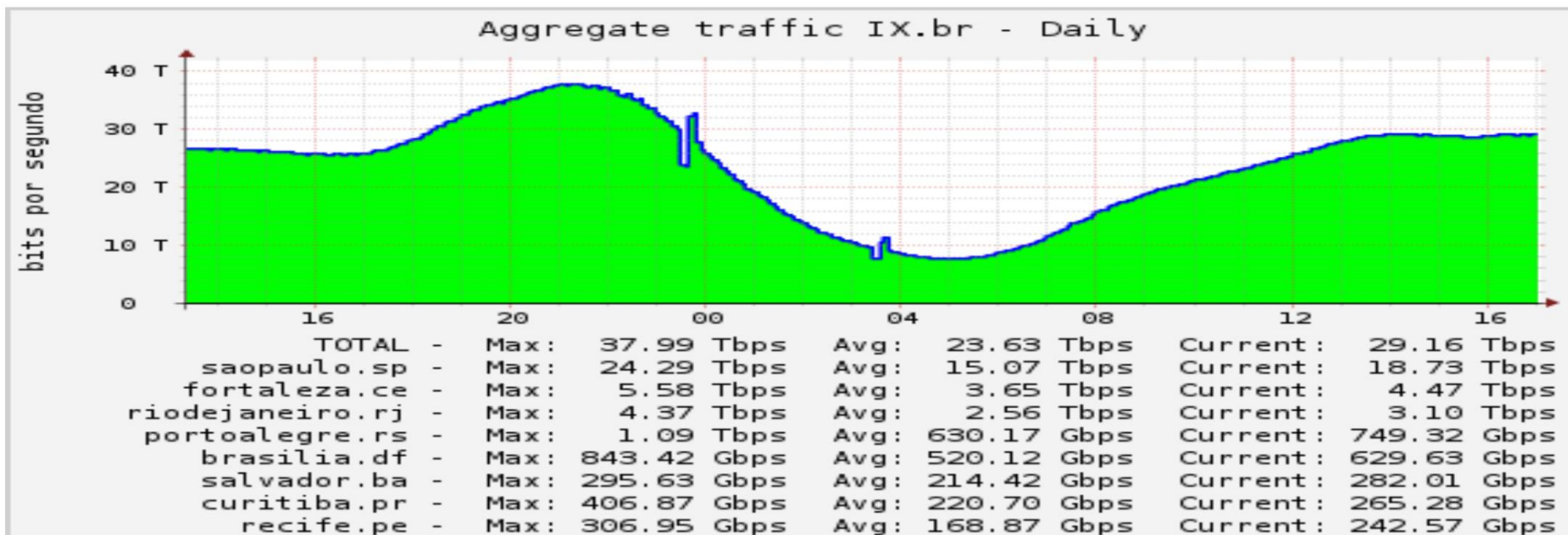
Um IX.br é, assim, uma interligação em área metropolitana de pontos de interconexão de redes (PIXes), comerciais e acadêmicos, sob uma gerência centralizada.

Abaixo temos um gráfico que representa o tráfego agregado de todos os IX.br que estão em operação atualmente.

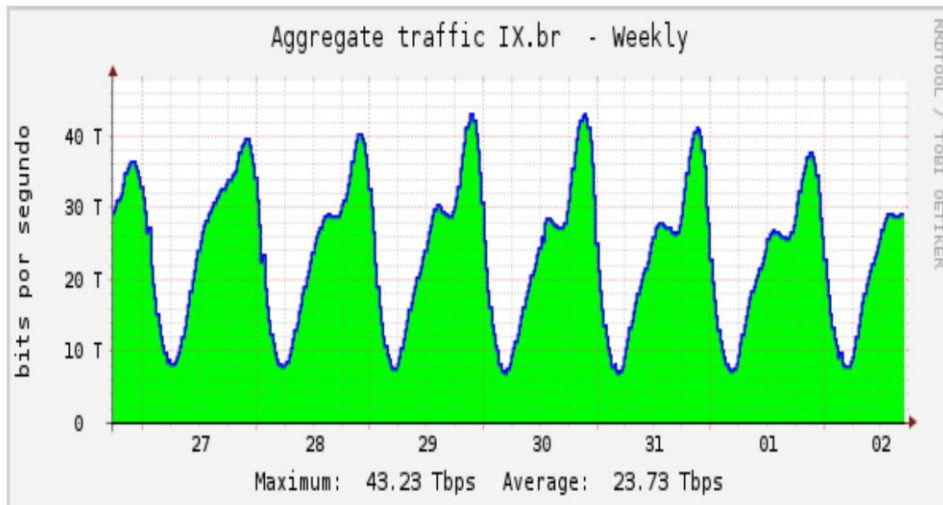


Exemplo de IXP: ix.br – Consultado em 02/08/25 – 17h

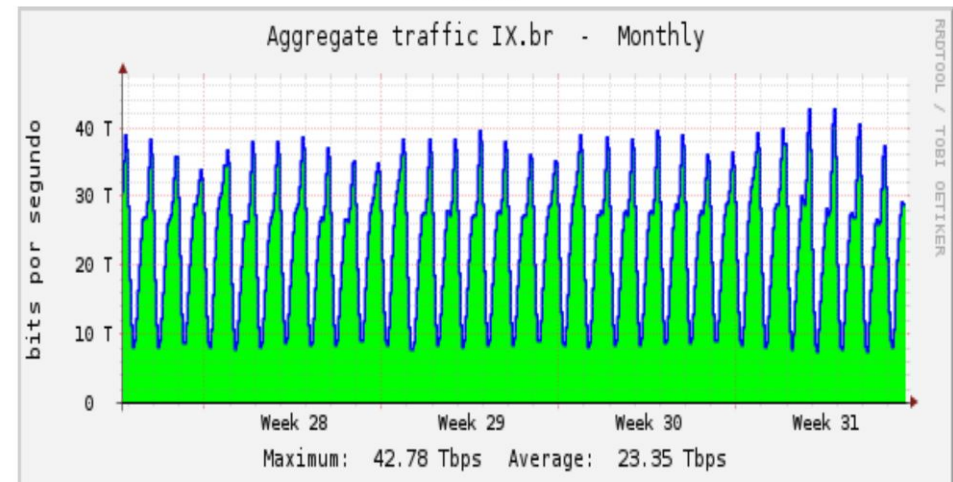
Diário



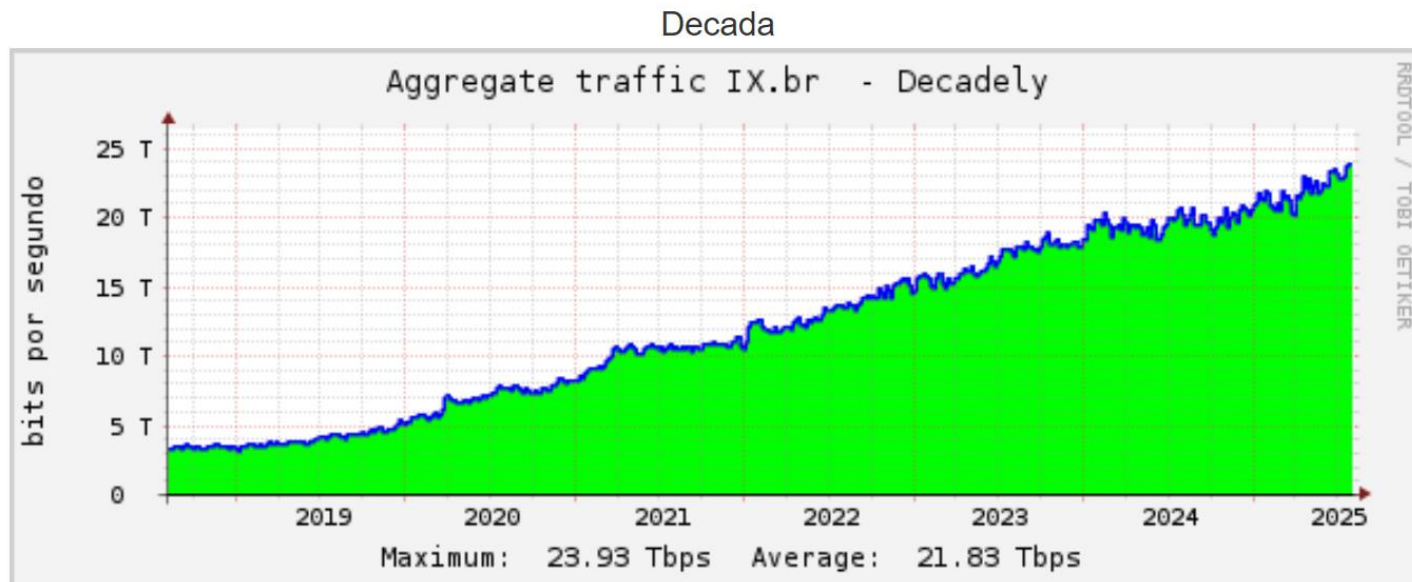
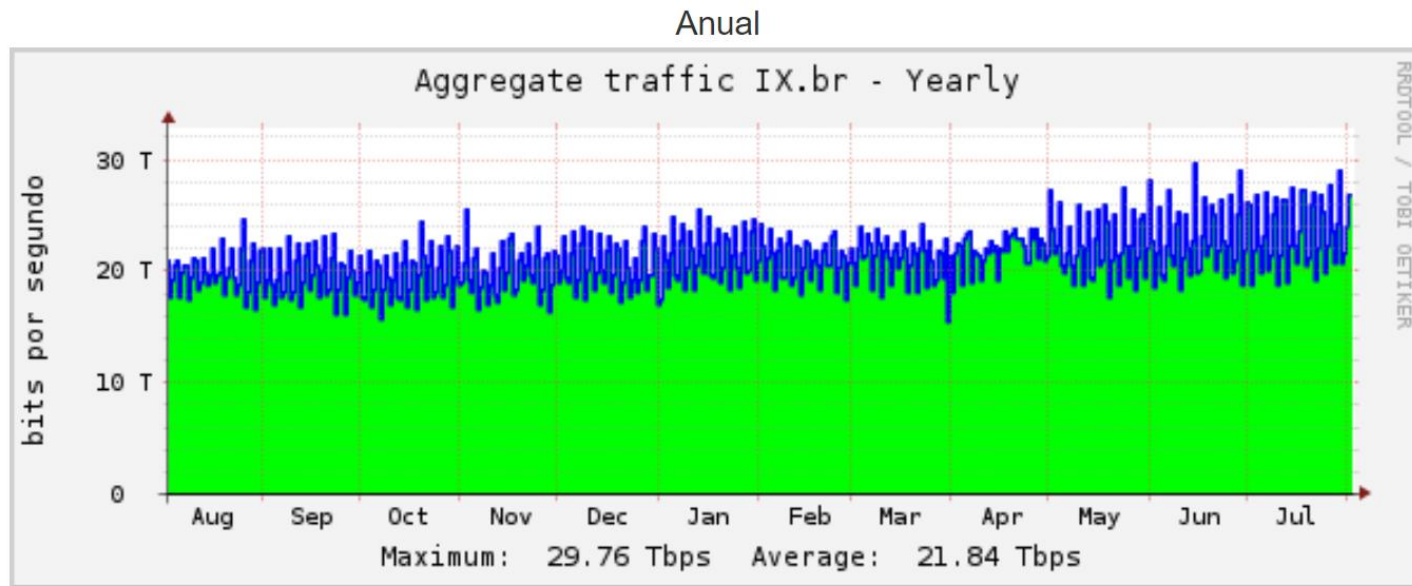
Semanal



Mensal



Exemplo de IXP: ix.br - Consultado em 02/08/25 – 17h



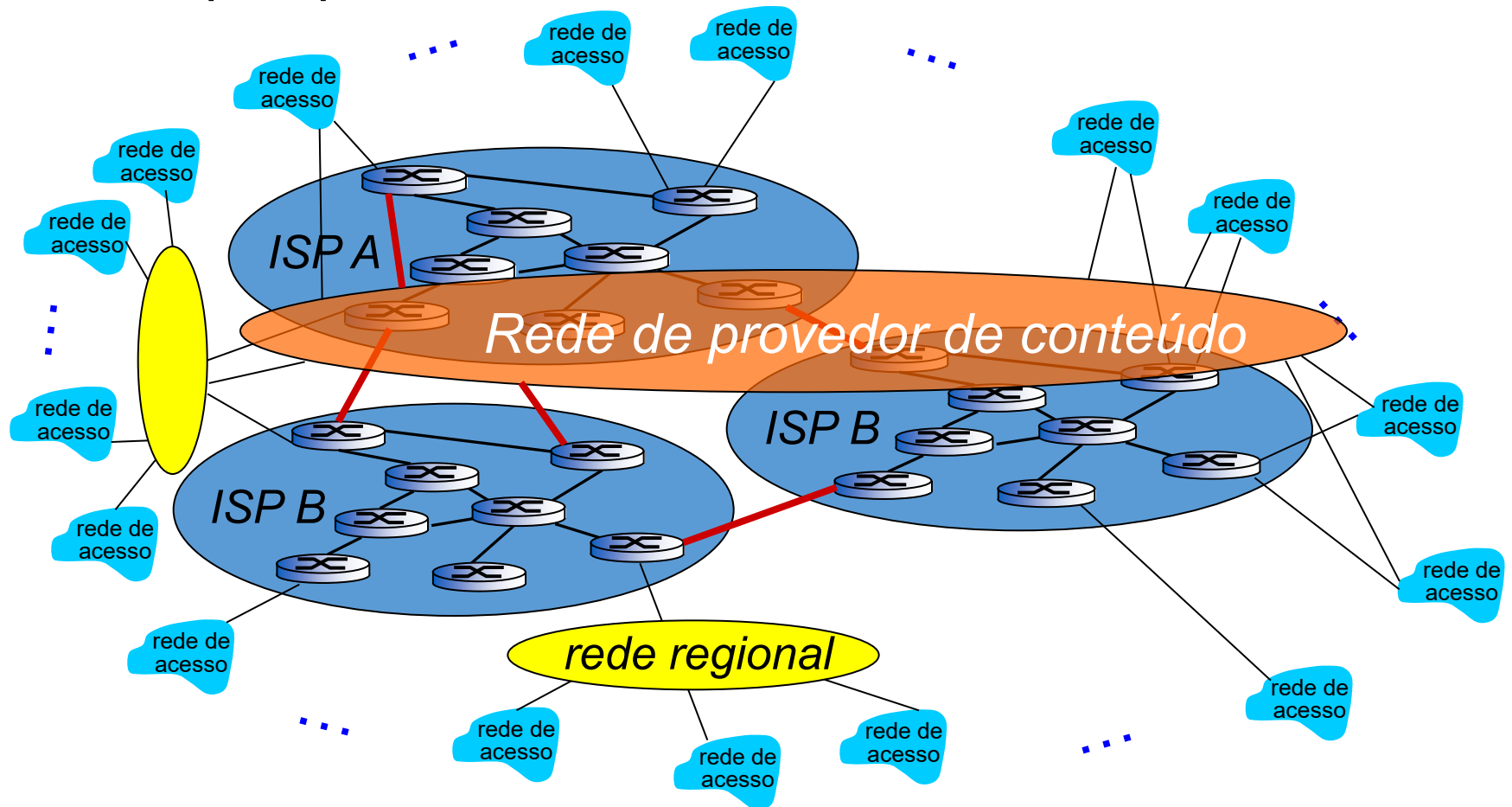
Exemplo de interconexão por IXP

Conexão de virtua.com.br com usp.br através de sp.ix.br

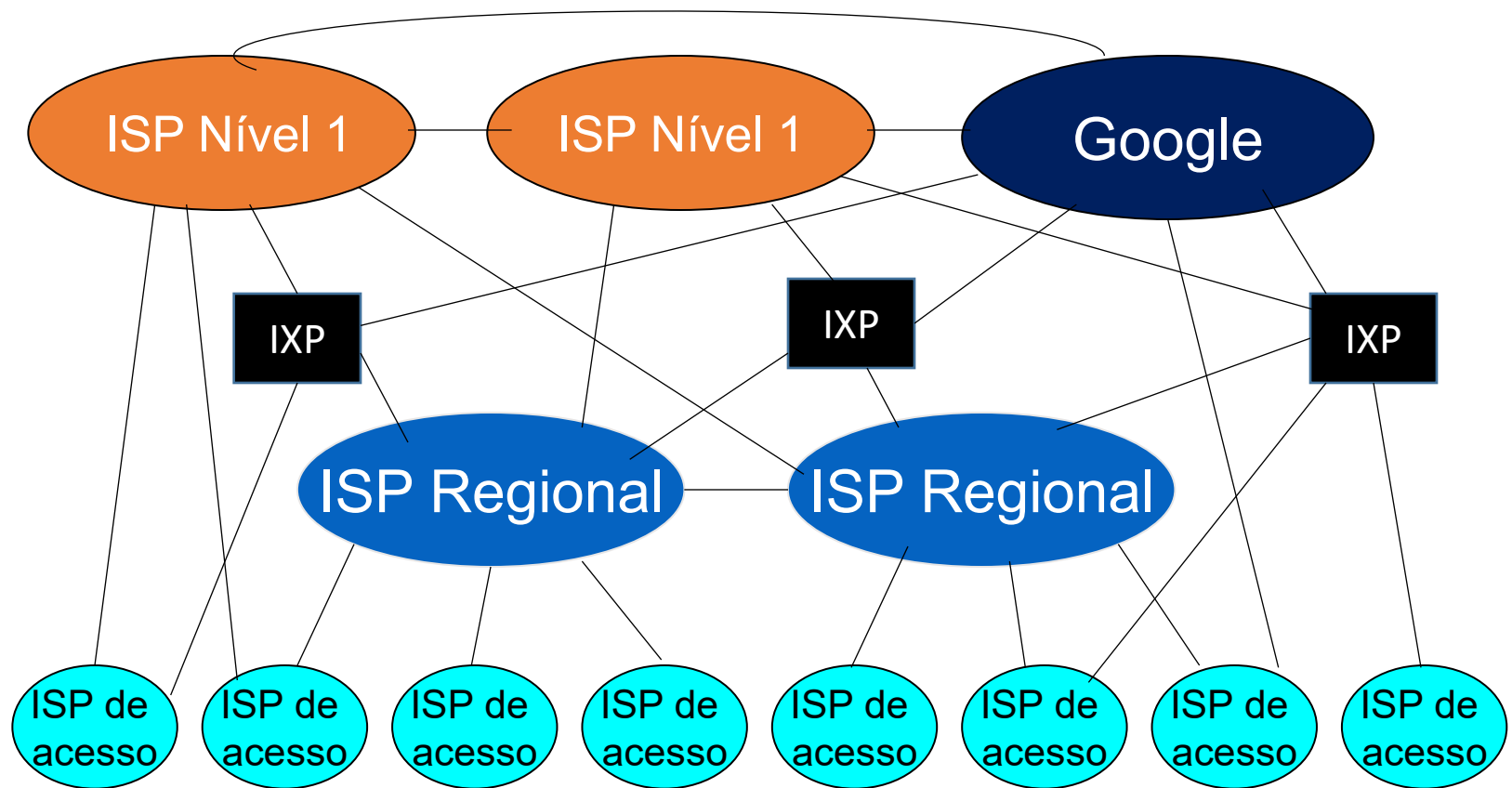
```
PING www.lcs.poli.usp.br (143.107.162.233) 56(124) bytes of data.  
64 bytes from zeus.lcs.poli.usp.br (143.107.162.233): icmp_seq=1 ttl=55 time=40.8 ms  
RR:      192.168.3.104  
        192.168.2.103  
        badcf281.virtua.com.br (186.220.242.129)  
        c9062912.virtua.com.br (201.6.41.18)  
        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
```

Estrutura da internet: rede de redes

Redes de provedores de conteúdo (por exemplo, Google, Microsoft, Amazon, Netflix) podem administrar sua própria rede, trazendo serviços e conteúdo para próximo do usuário final.

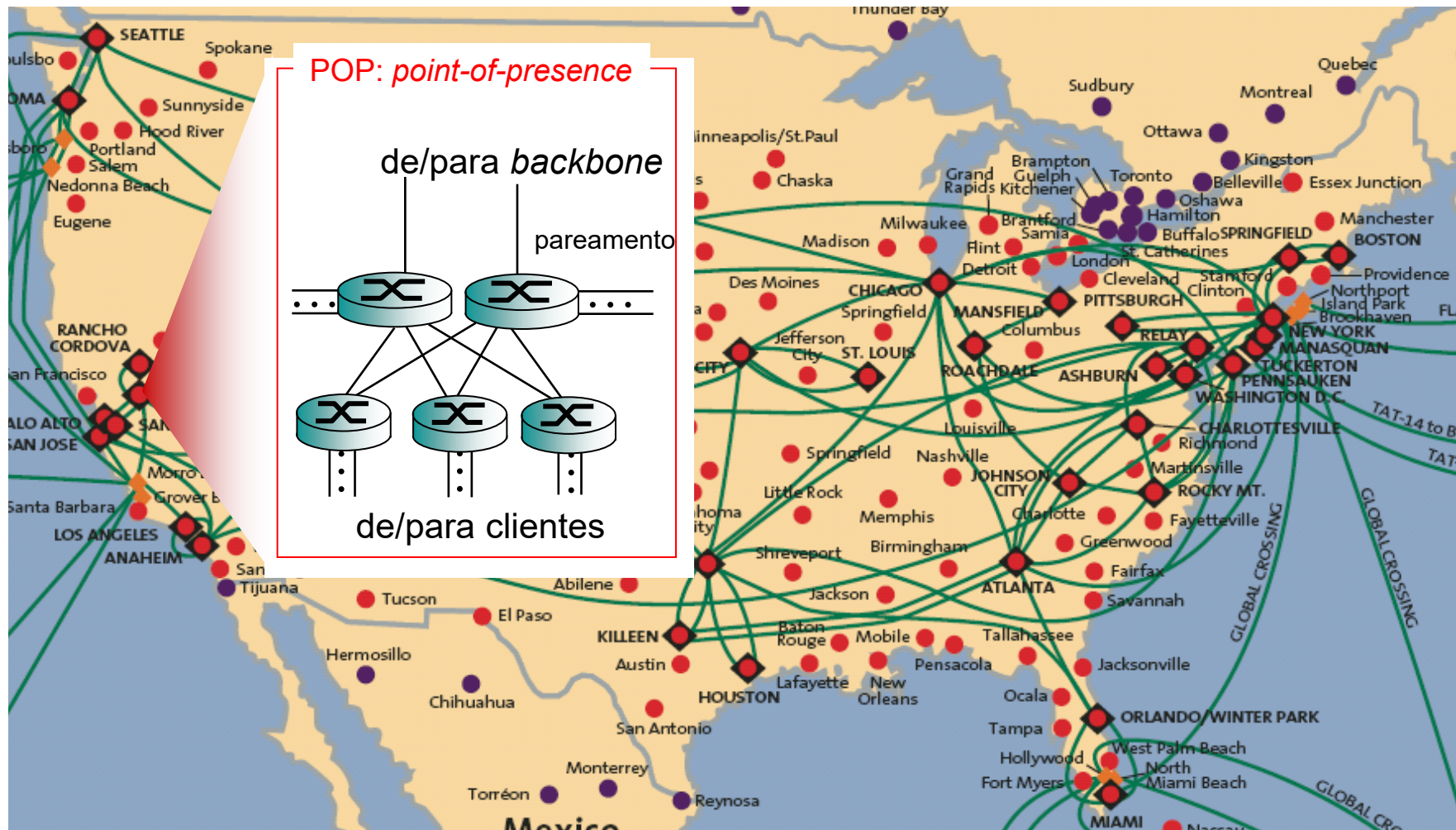


Estrutura da internet: rede de redes

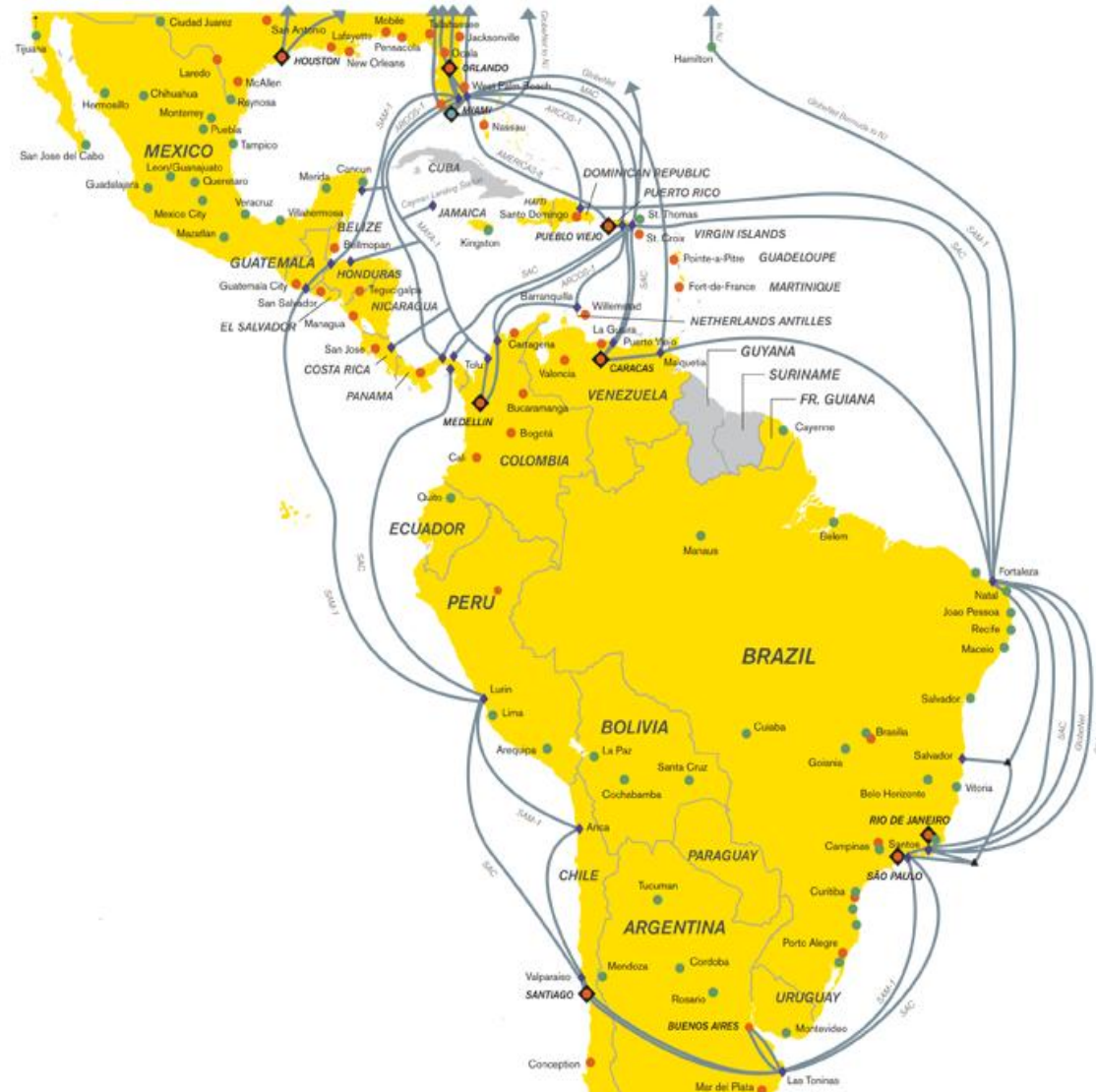


- ❖ No centro: Pequeno número de grandes redes bem conectadas.
 - ISPs comerciais “nível-1” ou “tier-1” (AT&T, Lumen Technologies, NTT, Orange, Verizon e mais algumas apenas), cobertura global.
 - Rede de provedor de conteúdo (Google, por exemplo): **rede privada** que conecta seus *data centers* entre si e à Internet, muitas vezes evitando ISPs nível-1 e regionais

Exemplo de ISP Nível-I: T-Mobile (antiga Sprint)



Sprint Global IP Map | Latin America



2-26

Exemplo de ISP Nível-I: Lumen Technologies

