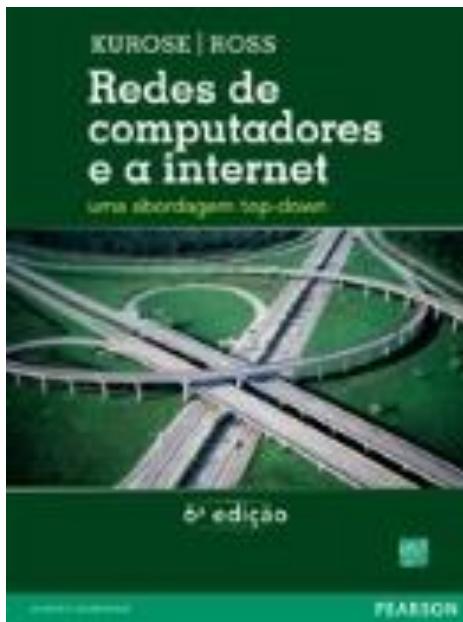


Redes de Computadores e a Internet

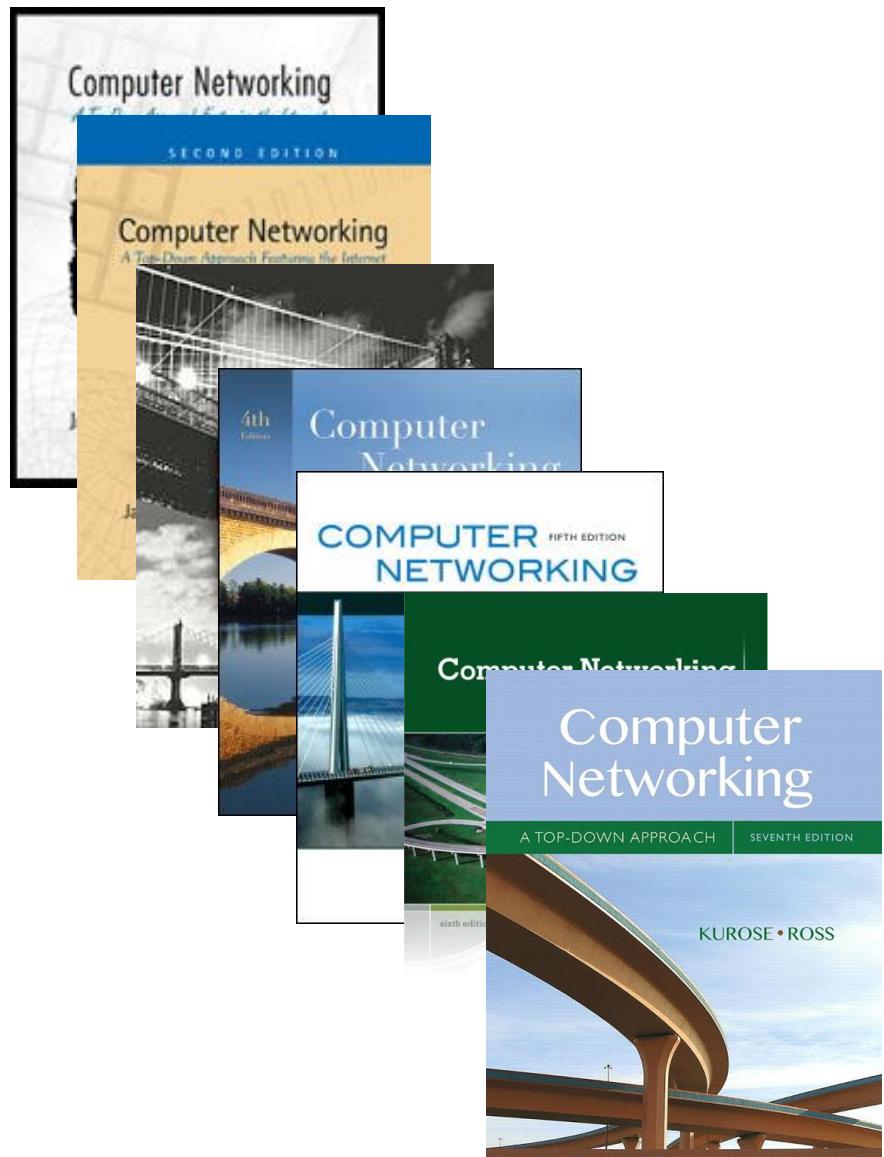
Prof. José Augusto Suruagy Monteiro
suruagy@cin.ufpe.br
www.cin.ufpe.br/~suruagy/cursos

Livro-Texto:



REDES DE COMPUTADORES E A INTERNET
6^a Edição
James F. Kurose e Keith W. Ross
Copyright: 2014
656 páginas - ISBN: 9788581436777

<http://www.pearson.com.br/>



Capítulo I: Introdução

Objetivo do capítulo:

- entender o contexto, visão geral, "sacar" o que são redes
- maior profundidade, detalhes posteriormente no curso
- abordagem:
 - uso da Internet como exemplo

Resumo:

- o que é a Internet
- o que é um protocolo?
- a borda (periferia) da rede: hosts, rede de acesso, meio físico
- o núcleo da rede: comutação de pacote/circuito. Estrutura da Internet
- desempenho: atraso, perda e vazão
- segurança
- camadas de protocolos, modelos de serviço
- história

Roteiro do Capítulo 1

1.1 O Que é a Internet?

1.2 A Borda (Periferia) da Internet

1.3 O Núcleo da Rede

1.4 Atraso, perda e vazão em redes de comutação de pacotes

1.5 Camadas de protocolos e seus modelos de serviços

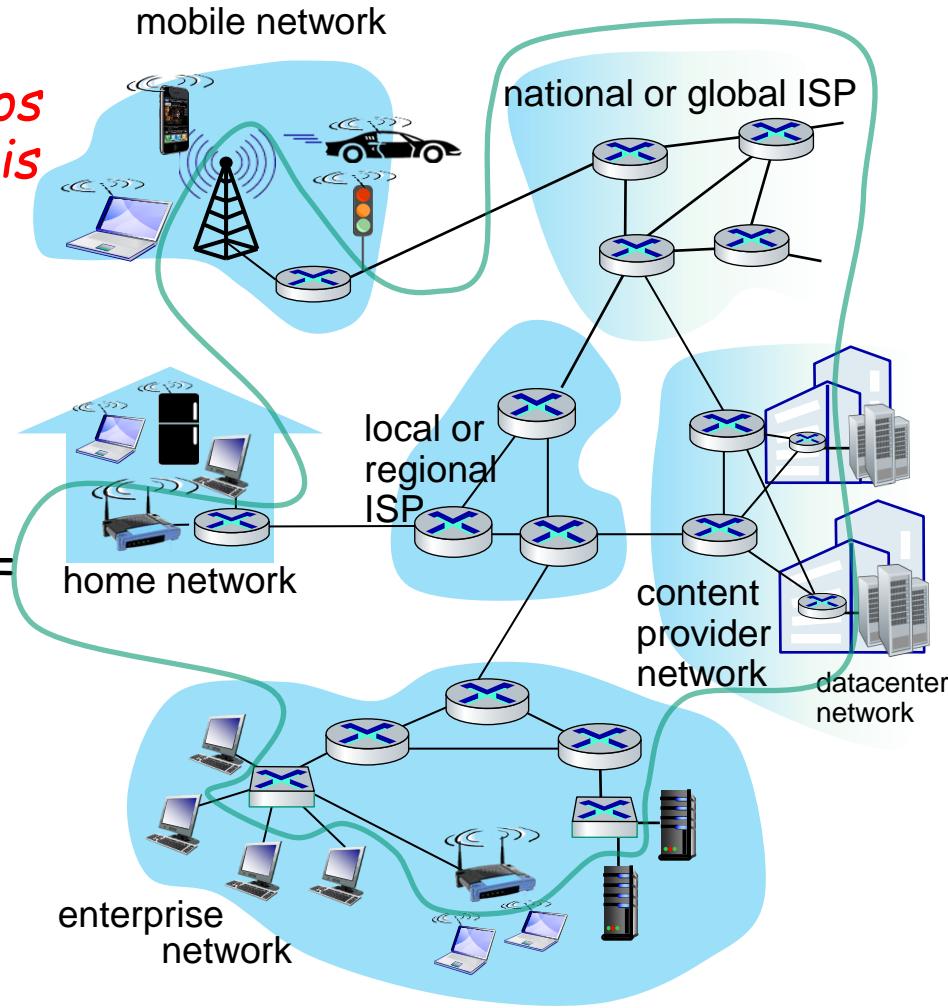
1.6 Redes sob ameaça

1.7 História das redes de computadores e da Internet

O que é a Internet: visão dos componentes



- milhões de dispositivos de computação conectados: **hospedeiros (hosts) = sistemas finais**
 - rodando **aplicações de rede**
- **enlaces (links) de comunicação**
 - fibra, cobre, rádio, satélite
 - Taxa de transmissão = largura de banda (**bandwidth**)
- **Roteadores (comutadores de pacotes)**: encaminham pacotes (pedaços de dados)
 - **Roteadores e switches**



Aparelhos internet interessantes



Porta retratos IP
<http://www.ceiva.com/>



Geladeira Internet



Slingbox: veja,
Controle remotamente
sua TV a cabo.



Tostadeira habilitada para a Web +
Previsão do tempo

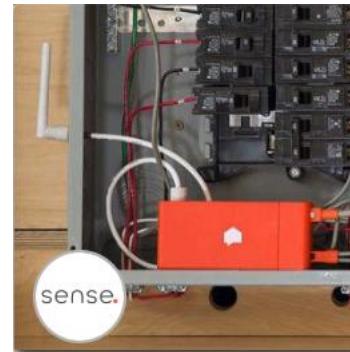


Tweet-a-watt:
Monitoração do uso
de energia



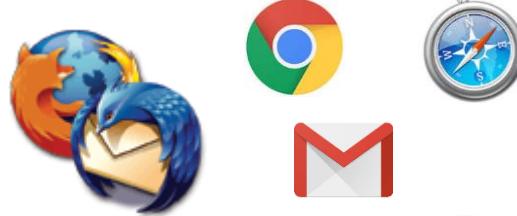
Telefones Internet

Dispositivos IoT (Internet das Coisas)



Aplicações Populares

Navegação



Correio



Mensagens Instantâneas



Armazenamento de Arquivos



Jogos em rede



Voz e Vídeo



Blogs



Redes Sociais



Trabalho Cooperativo



O que é a Internet: visão dos componentes

Internet: "rede de redes"

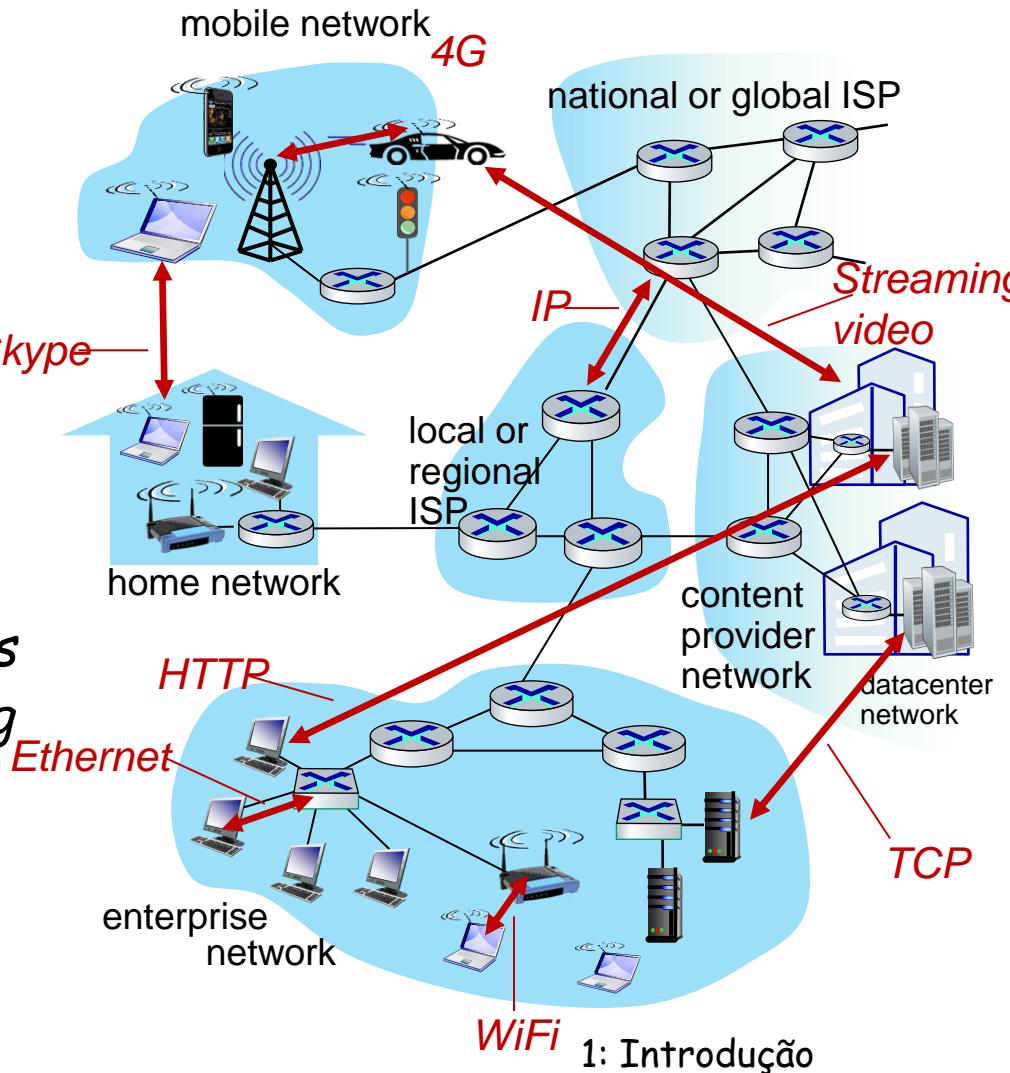
- livremente hierárquica
- ISPs interconectados

protocolos: controlam o envio e o recebimento de mensagens

- ex., TCP, IP, HTTP, Skype, 802.11

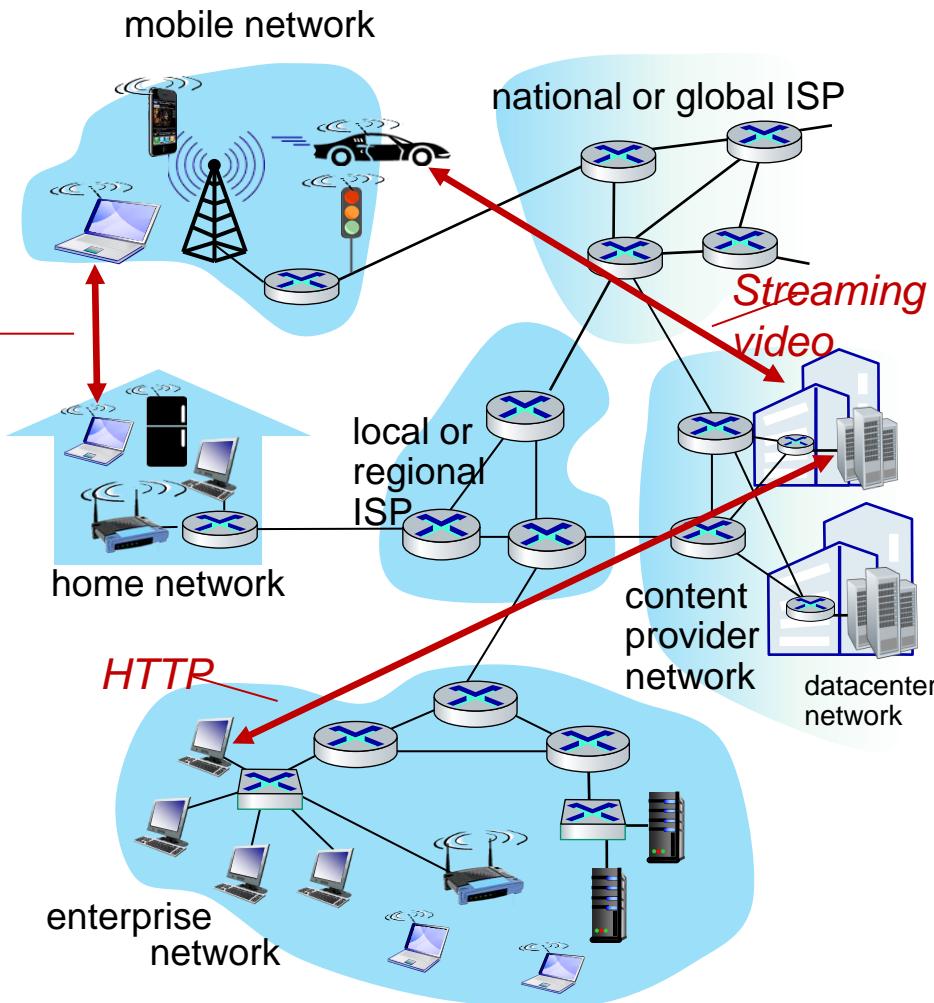
Padrões Internet

- RFC: Request for comments
- IETF: Internet Engineering Task Force
- www.ietf.org



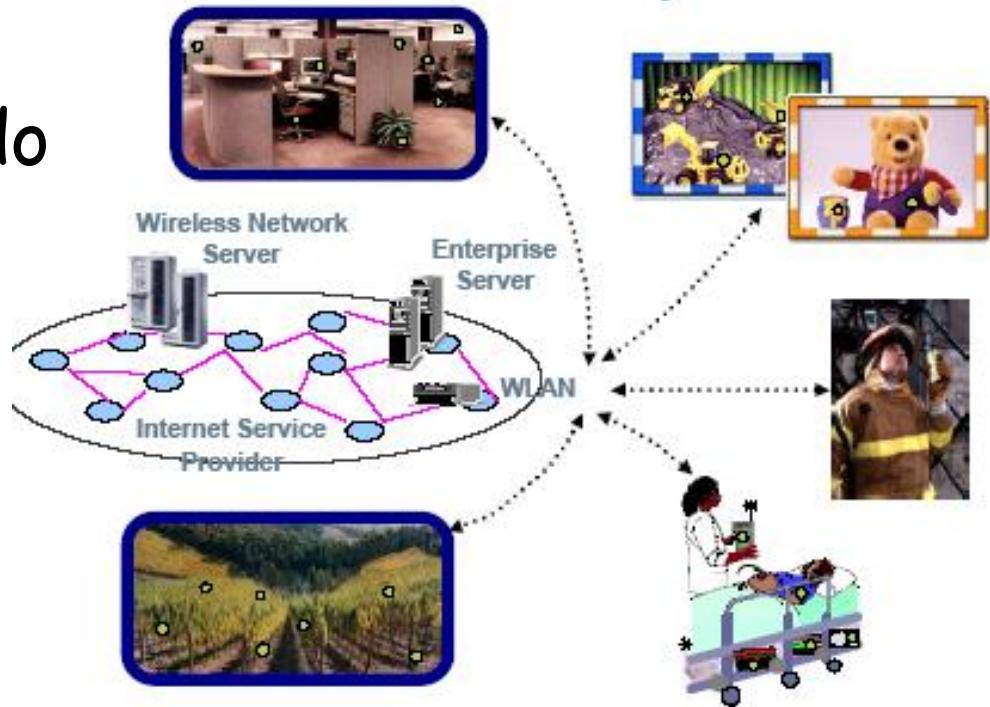
O que é a Internet: visão dos serviços

- a **infraestrutura de comunicação** permite o uso de aplicações distribuídas:
 - Web, e-mail, jogos, mensagens instantâneas, voz sobre IP (VoIP), redes sociais , ...
Skype
- **Provê interface de programação para aplicações**
 - Permitem que programas de aplicações se conectem à Internet
 - Provê opções de serviço, de forma análoga aos Correios



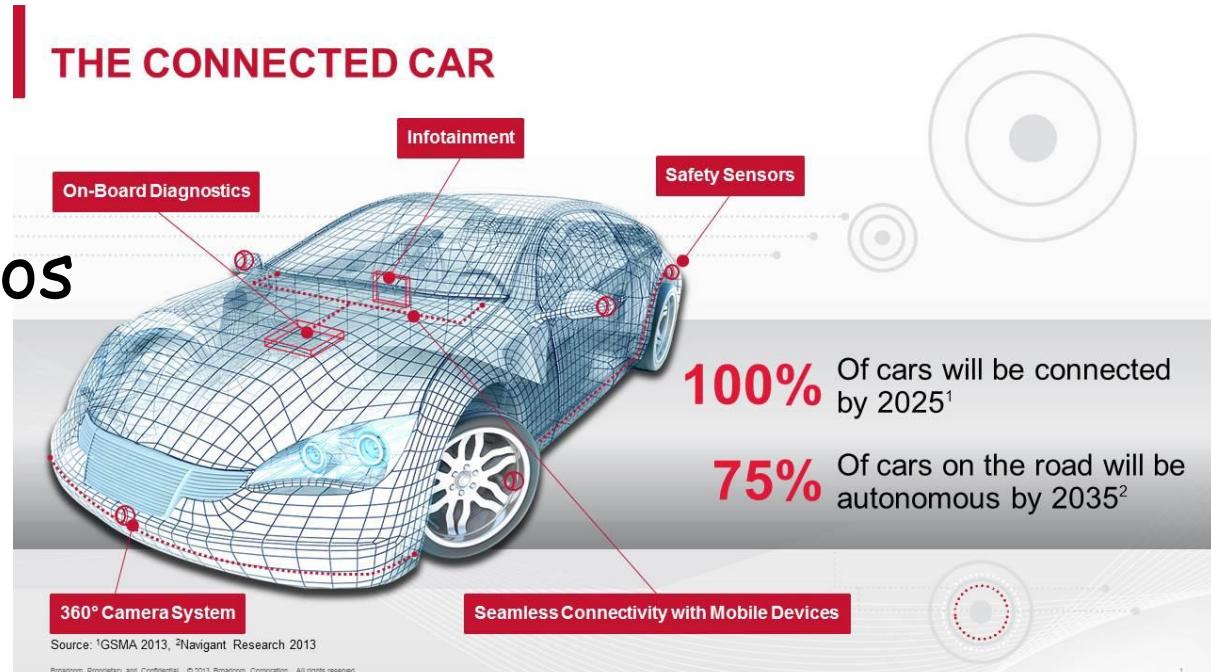
Redes de Sensores e Internet das Coisas (IoT)

- Comunicação sem fio interconectando dispositivos sensores-atuadores-processadores de baixo custo habilitando sensoriamento e atuação no mundo real



Redes Veiculares

- Redes Intraveiculares
- Ethernet em Automóveis
- V2V e V2I
- Carros Elétricos
- IoT



O que é um protocolo?

protocolos humanos:

- "que horas são?"
- "tenho uma dúvida"
- apresentações

... msgs específicas são enviadas

... ações específicas são realizadas quando as msgs são recebidas, ou acontecem outros eventos

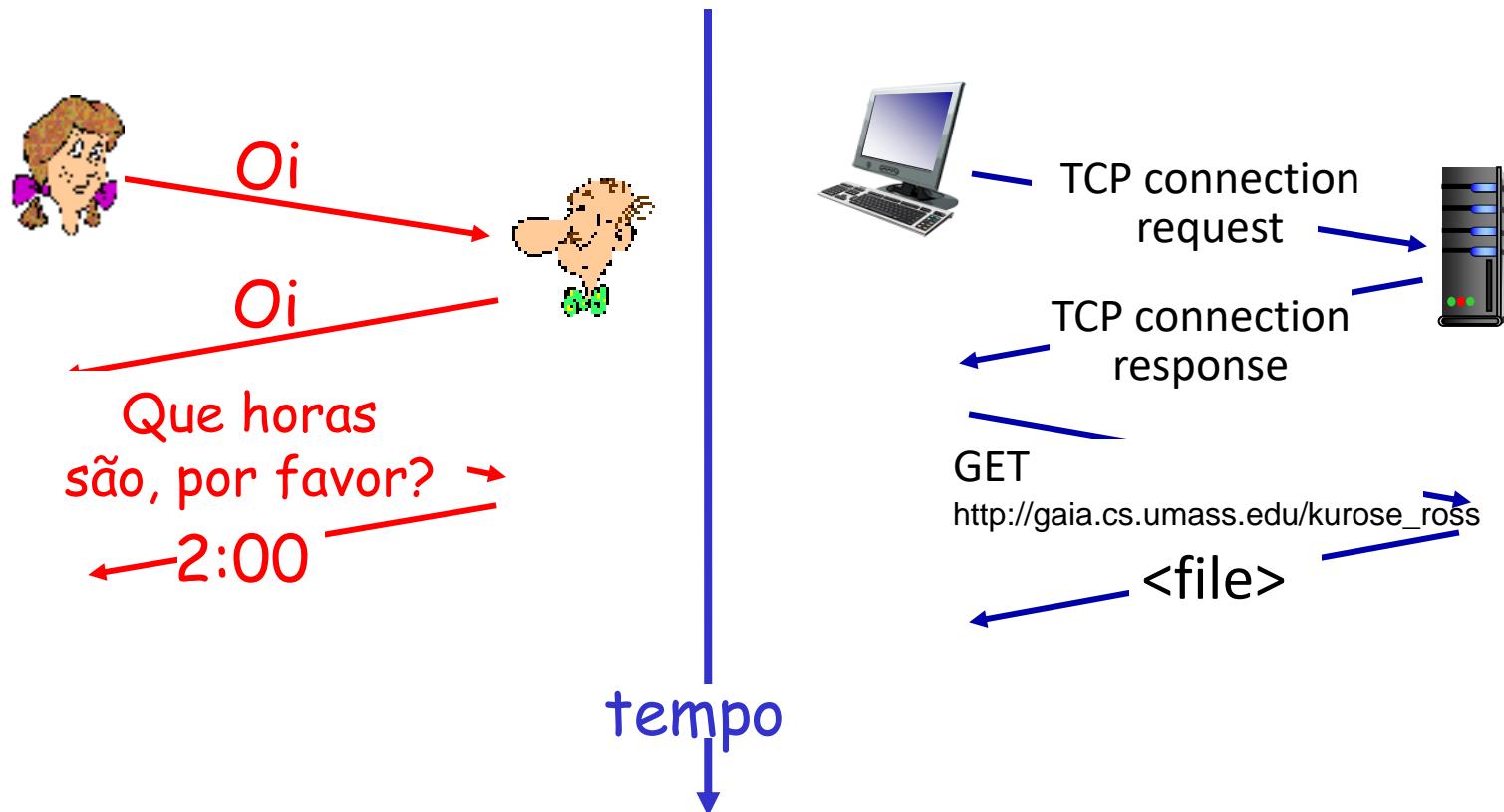
Protocolos de rede:

- máquinas ao invés de pessoas
- todas as atividades de comunicação na Internet são governadas por protocolos

protocolos definem o formato, ordem das msgs enviadas e recebidas pelas entidades da rede, e ações tomadas quando da transmissão ou recepção de msgs

O que é um protocolo?

um protocolo humano e um protocolo de rede:



P: Apresente outro protocolo humano!

Roteiro do Capítulo 1

1.1 O Que é a Internet?

1.2 A Borda (Periferia) da Internet

1.3 O Núcleo da Rede

1.4 Atraso, perda e vazão em redes de comutação de pacotes

1.5 Camadas de protocolos e seus modelos de serviços

1.6 Redes sob ameaça

1.7 História das redes de computadores e da Internet

Uma olhada mais de perto na estrutura da rede:

□ Borda da rede:

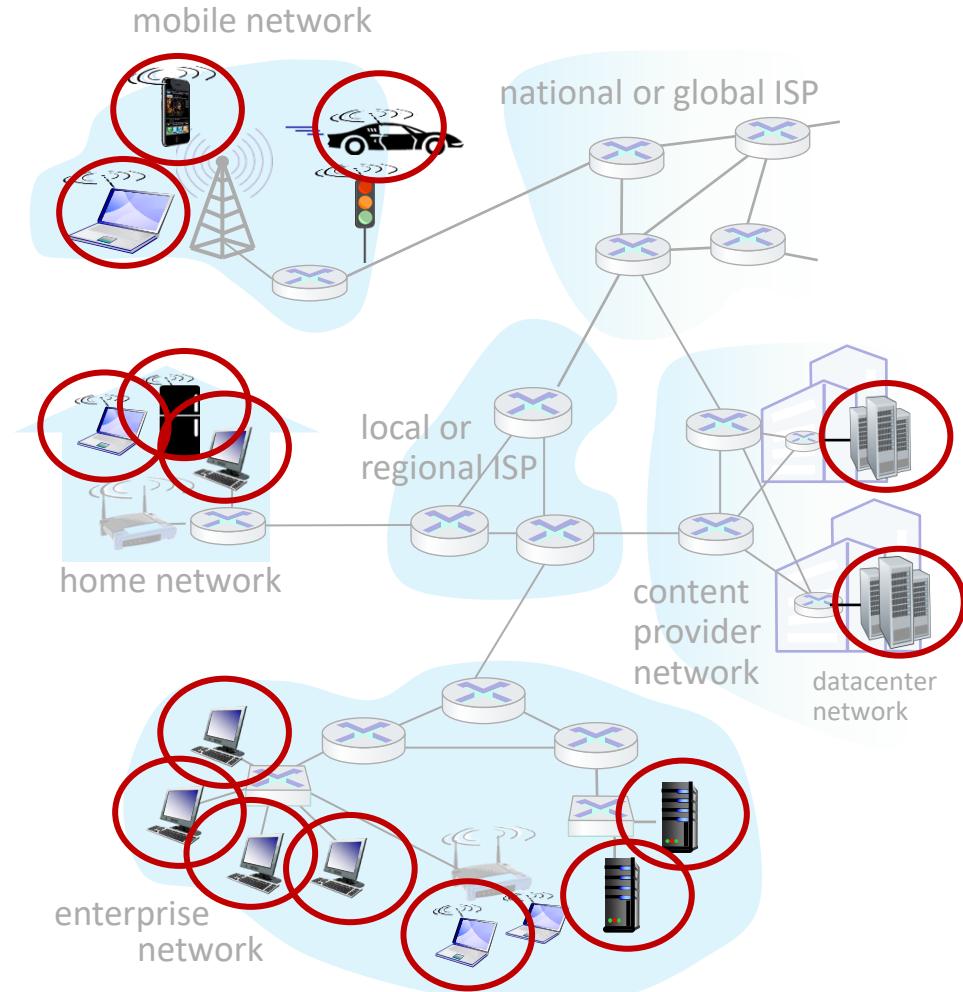
- hospedeiros (hosts)/sistemas finais: clientes e servidores
- Servidores frequentemente em Data Centers

□ redes de acesso, meio físico:

- enlaces de comunicação cabeados e sem fio

□ núcleo da rede:

- Roteadores interconectados
- rede de redes



Uma olhada mais de perto na estrutura da rede:

□ Borda da rede:

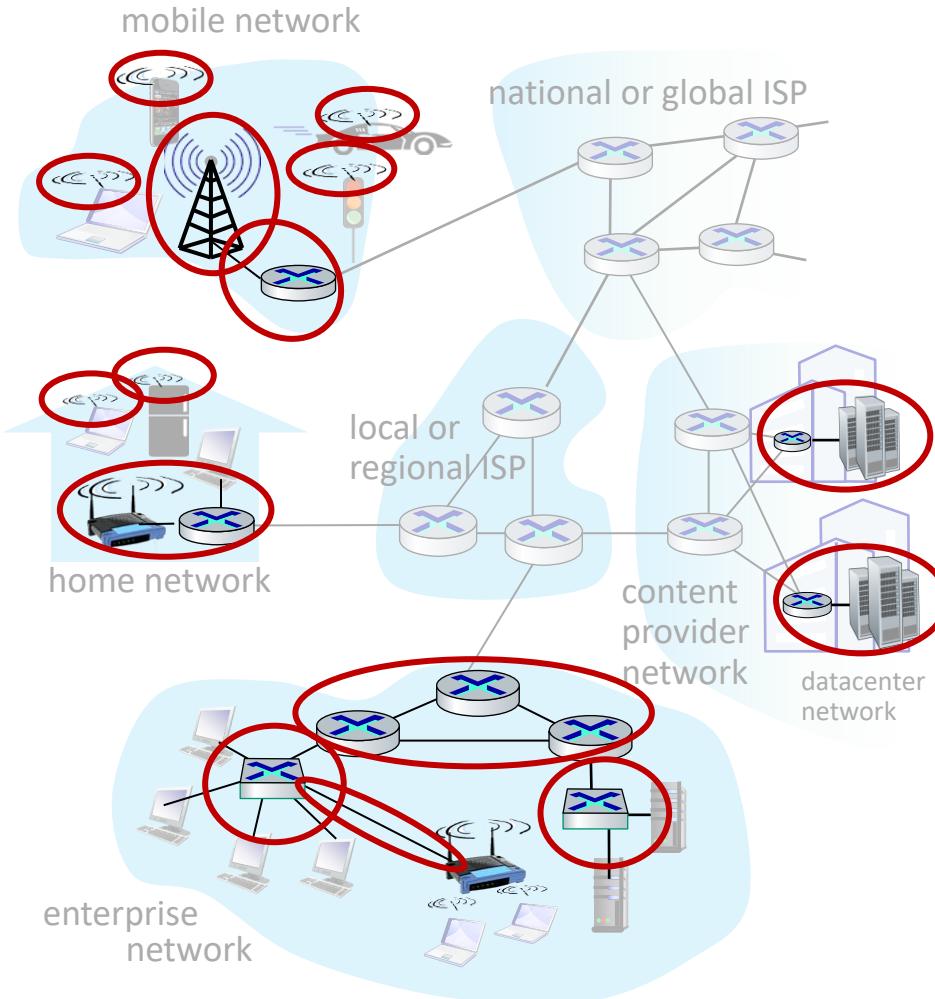
- hospedeiros (hosts)/sistemas finais: clientes e servidores
- Servidores frequentemente em Data Centers

□ redes de acesso, meio físico:

- enlaces de comunicação cabeados e sem fio

□ núcleo da rede:

- Roteadores interconectados
- rede de redes



Uma olhada mais de perto na estrutura da rede:

□ Borda da rede:

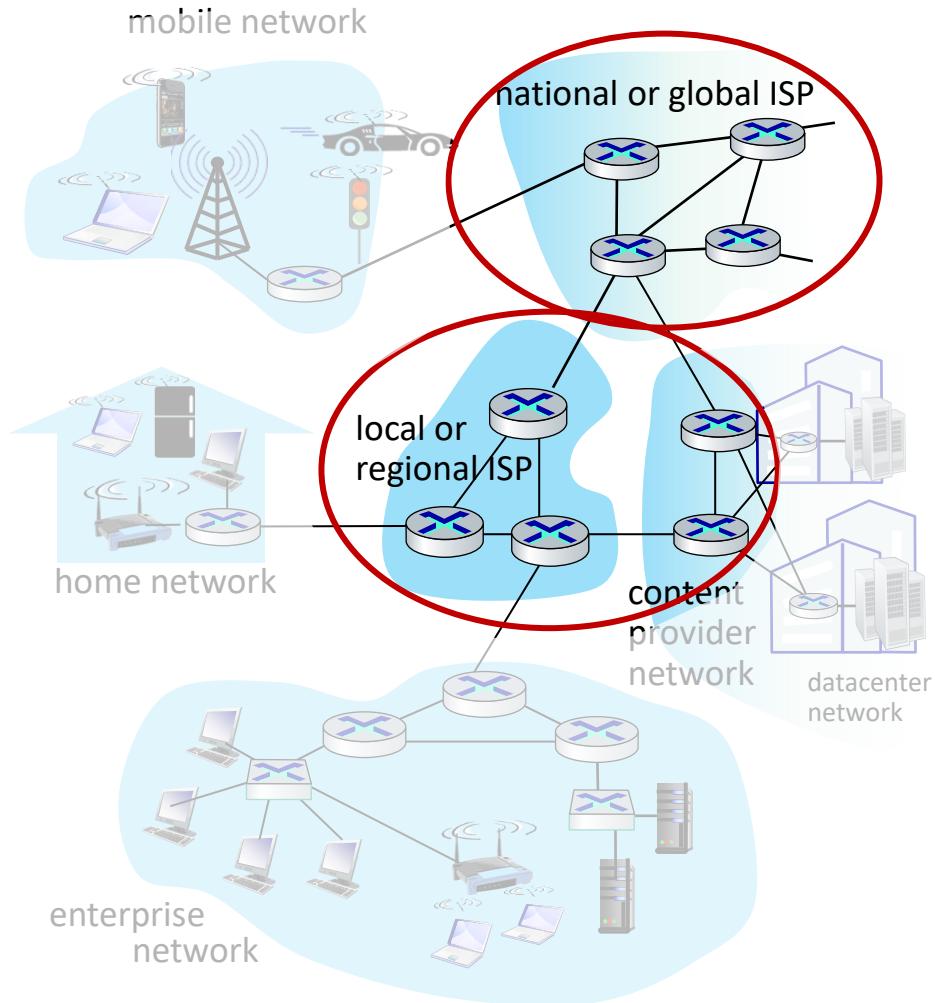
- hospedeiros (hosts)/sistemas finais: clientes e servidores
- Servidores frequentemente em *Data Centers*

□ redes de acesso, meio físico:

- enlaces de comunicação cabeados e sem fio

□ núcleo da rede:

- Roteadores interconectados
- rede de redes



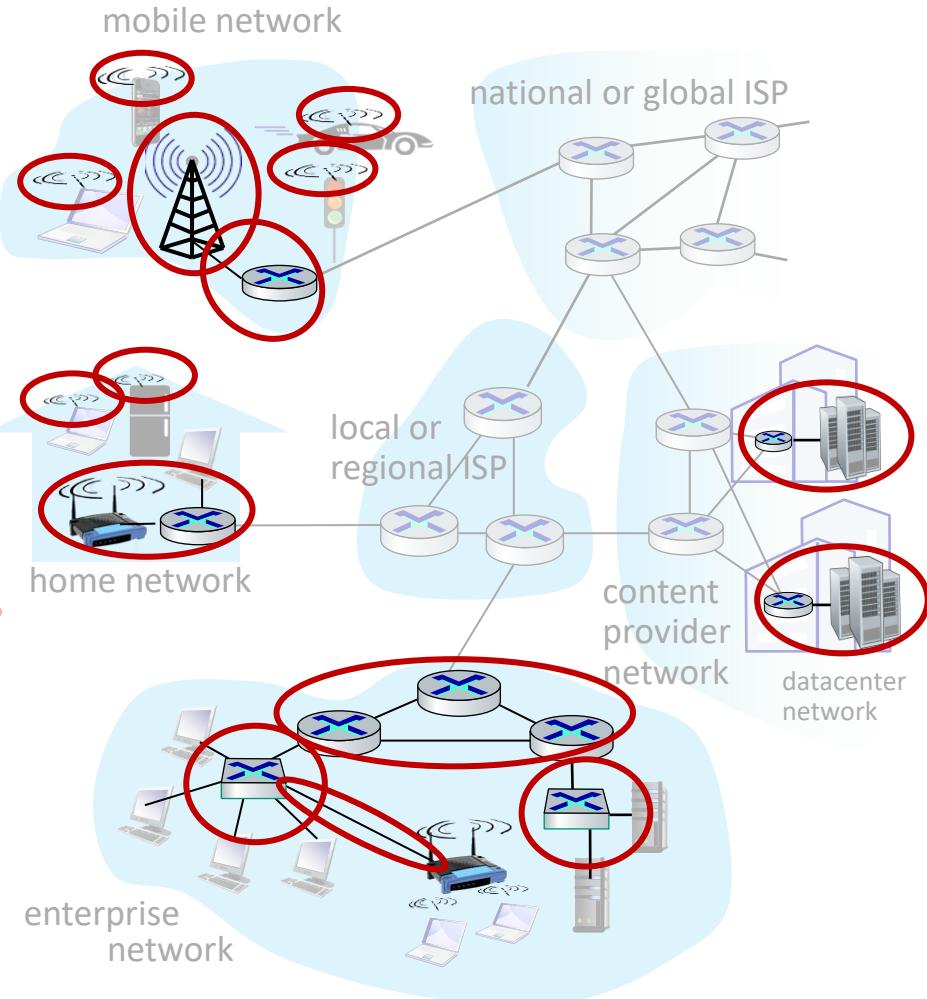
Redes de acesso e meios físicos

P: *Como conectar os sistemas finais aos roteadores de borda?*

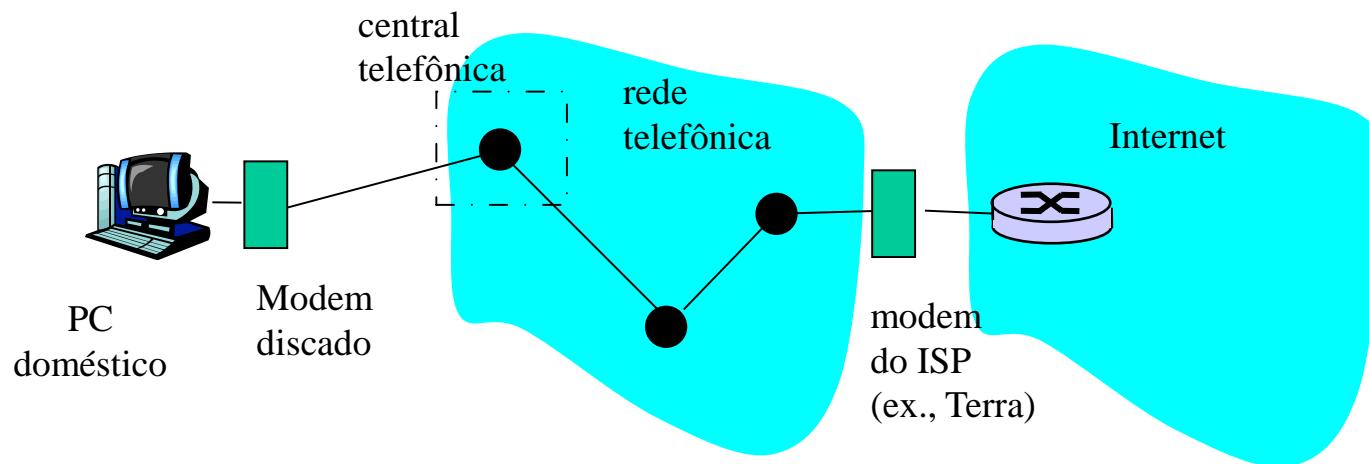
- redes de acesso residencial
- redes de acesso corporativo (escola, empresa)
- redes de acesso sem fio

Questões a serem consideradas:

- largura de banda (bits por segundo) da rede de acesso. compartilhada ou dedicada?

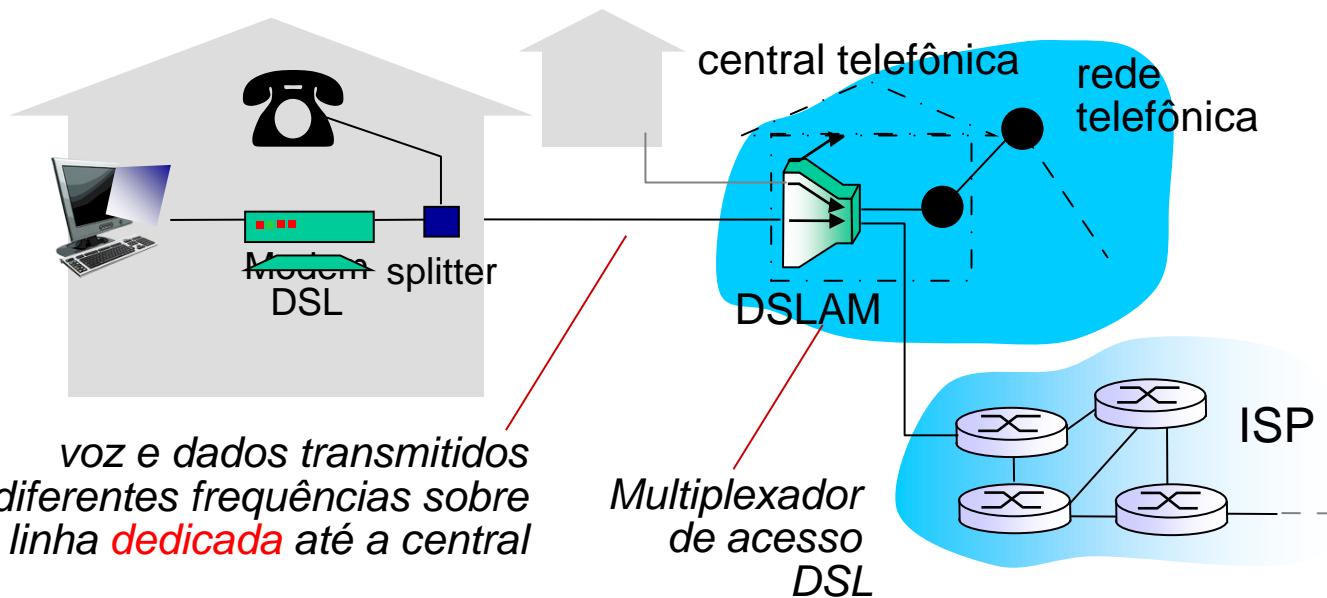


Acesso discado (alguém ainda usa?)



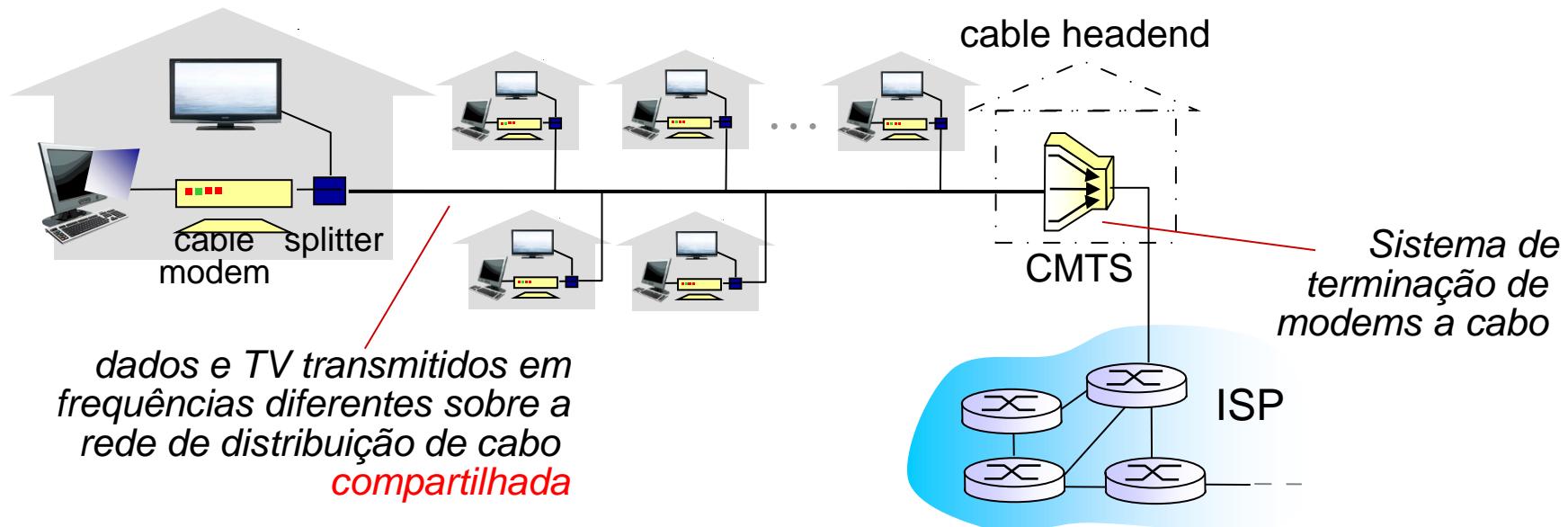
- Usa a infraestrutura existente de telefonia
 - Residência está conectada à **central telefônica**
- Até 56kbps de acesso direto ao roteador (frequentemente menos)
- Não dá para navegar e usar o telefone ao mesmo tempo: não está "**sempre conectado**"

Rede de acesso: DSL (Digital Subscriber Line)



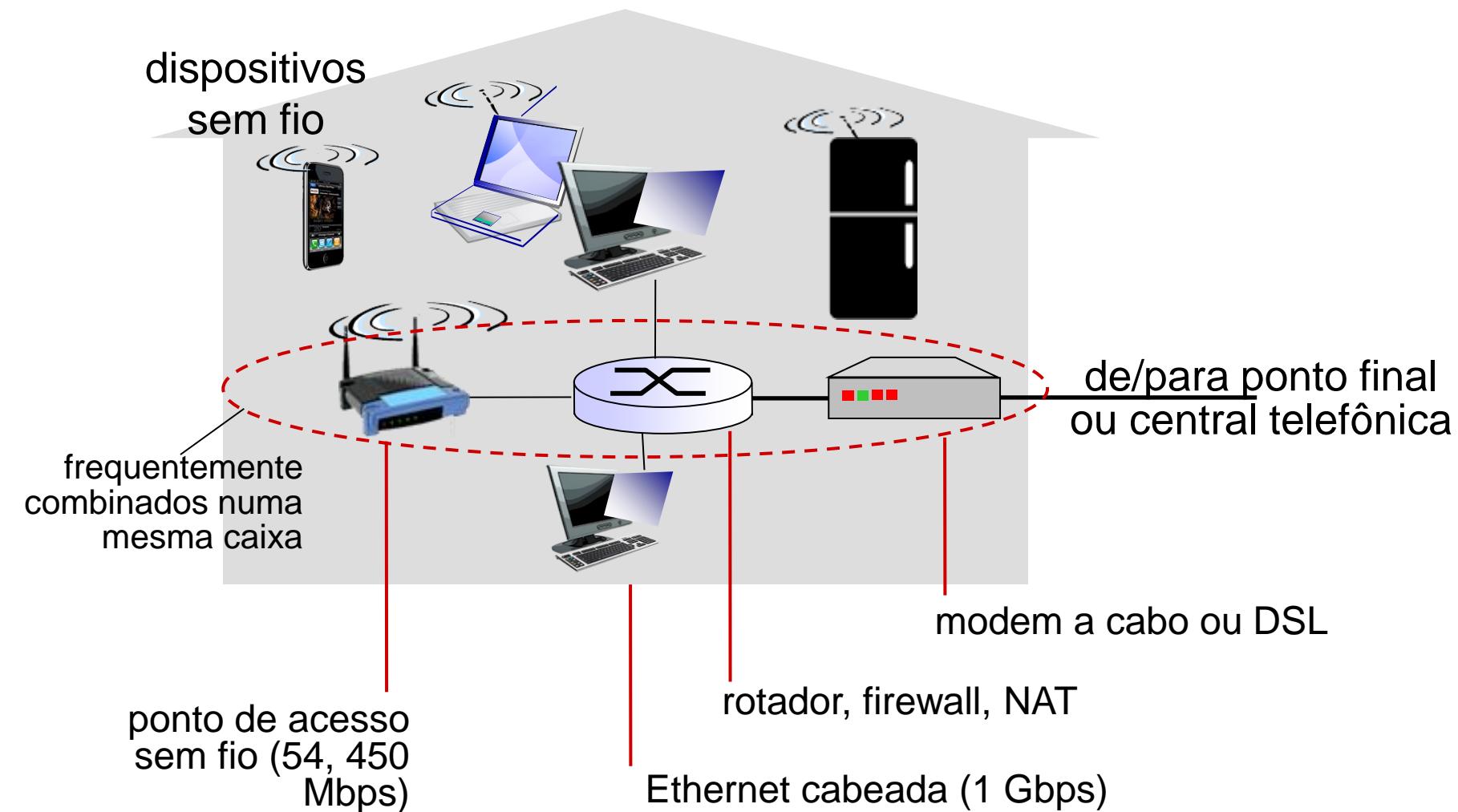
- usa a linha telefônica **existente** até o DSLAM na central telefônica
 - dados vão para a Internet através da linha telefônica DSL
 - voz vão para a rede telefônica através da linha telefônica DSL
- até 2,5 Mbps de subida (tipicamente < 1 Mbps)
- até 24 Mbps de descida (tipicamente < 10 Mbps)

Redes de Acesso: Tv a cabo

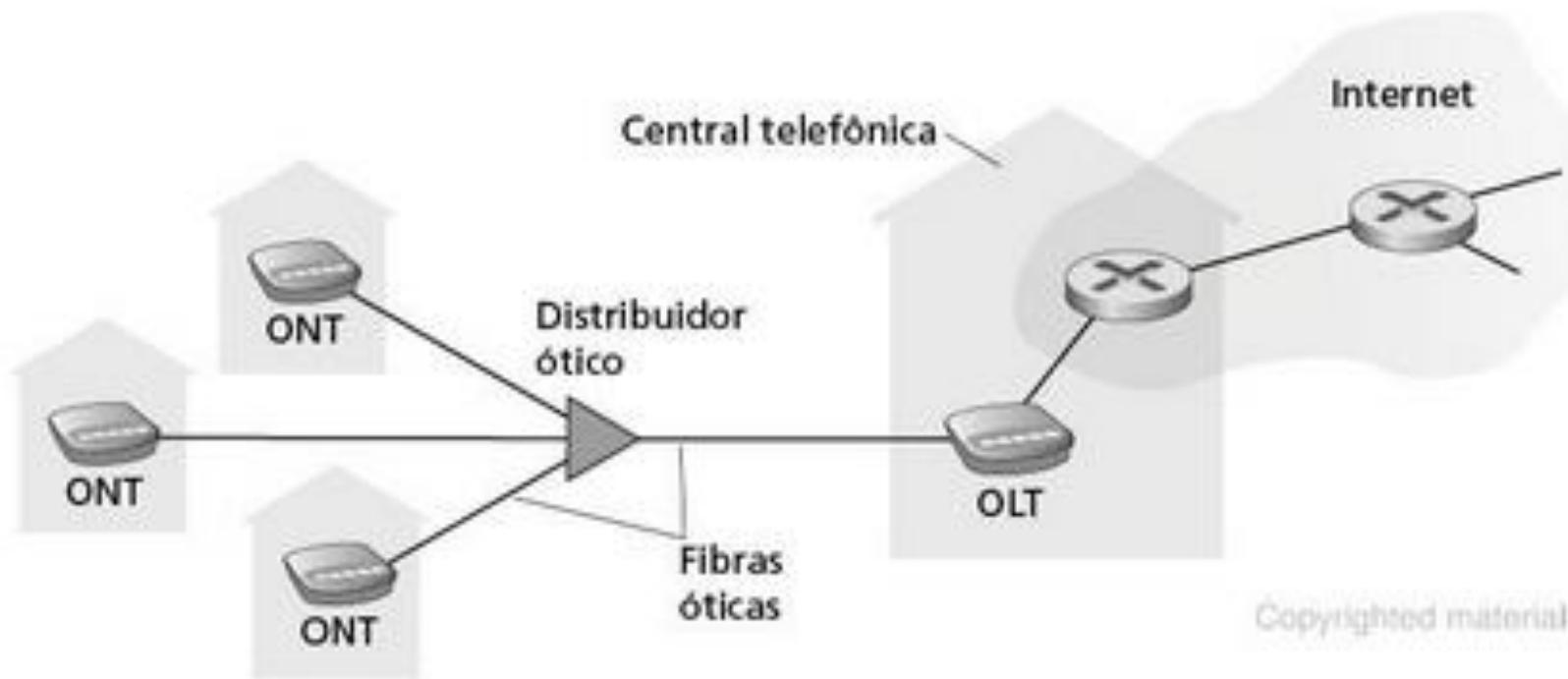


- HFC: híbrido coaxial/fibra
 - assimétrico: até 30Mbps descida (downstream), 2 Mbps subida (upstream).
- rede de cabos e fibra conectam as residências ao roteador do ISP
 - **acesso compartilhado** das residências ao roteador
 - ao contrário do DSL, que tem **acesso dedicado**

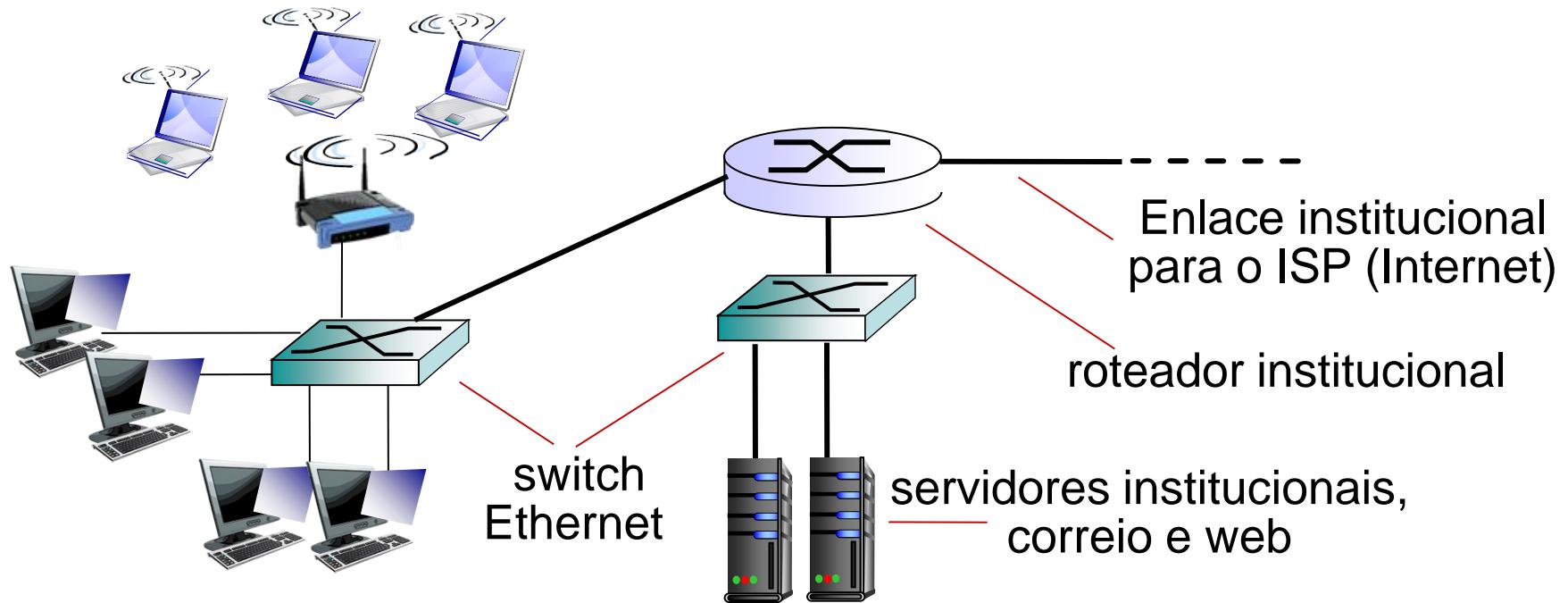
Redes de acesso: rede doméstica



Redes de acesso: rede óptica - FTTH



Redes de acesso corporativas (Ethernet)



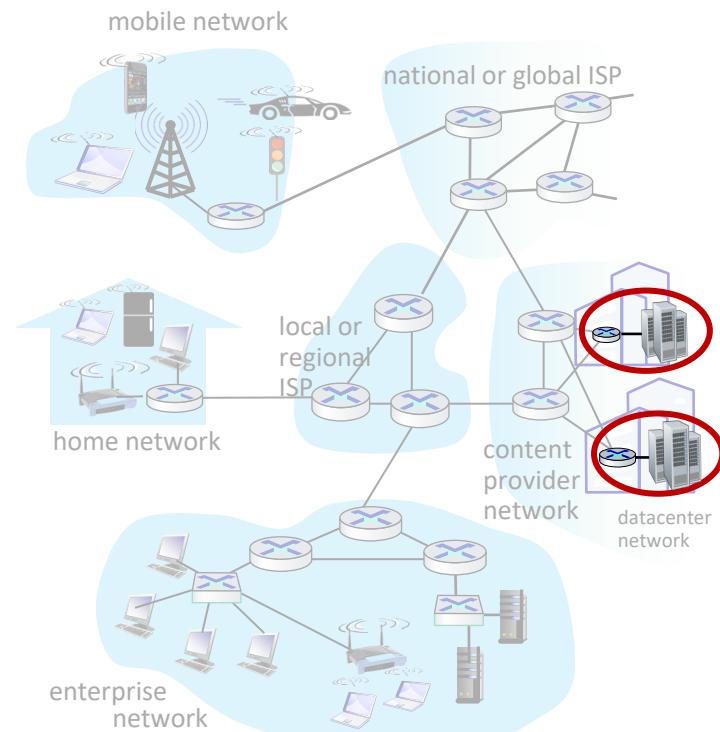
- Usado tipicamente em empresas, universidades, etc.
- Ethernet de 10Mbps, 100Mbps, 1Gbps e 10Gbps
- Hoje tipicamente os sistemas terminais se conectam a switches Ethernet

Redes de acesso: Data Centers

- links de alta largura de banda (10s a 100s Gbps) conectam centenas a milhares de servidores juntos e à Internet



Courtesy: Massachusetts Green High Performance Computing Center (mghpcc.org)

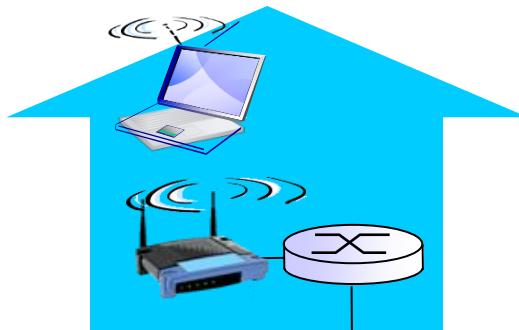


Redes de acesso sem fio (wireless)

- rede de acesso compartilhado *sem fio* conecta o sistema final ao roteador
 - Via estação base = “ponto de acesso” sem fio

LANs sem fio:

- dentro de um edifício (200 m)
- 802.11b/g/n/ac/ax (WiFi):
taxas de transmissão de 11,
54, 450, 1.300 Mbps



para a Internet

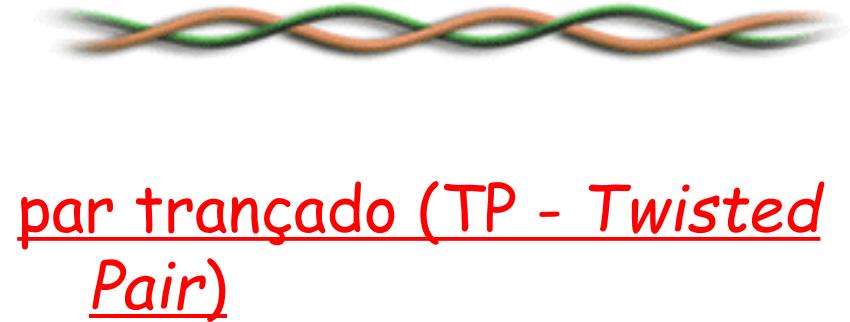
acesso sem fio de longa distância

- provido por uma operadora (celular), 10's km
- entre 1 e 10 Mbps
- 4G (redes celulares) e 5G (sendo implementada)



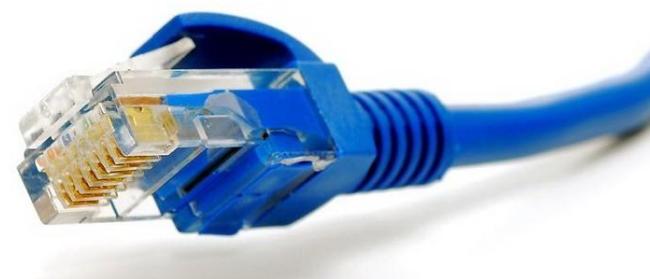
Meios Físicos

- **Bit:** Propaga-se entre o transmissor e o receptor
- **enlace físico:** o que está entre o transmissor e o receptor
- **meios guiados:**
 - os sinais se propagam em meios sólidos: cobre, fibra, cabo coaxial
- **meios não guiados:**
 - os sinais se propagam livremente, ex. rádio



par trançado (TP - Twisted Pair)

- dois fios de cobre isolados
 - Categoria 5: 100Mbps e 1 Gbps Ethernet
 - Categoria 6: 10 Gbps
 - Categoria 8: 40 Gbps



Meios físicos: cabo coaxial, fibra

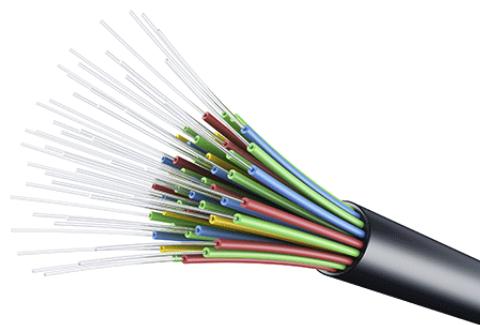
Cabo coaxial:

- fio (transporta o sinal) dentro de outro fio (blindagem)
- bidirecional
- banda larga (*broadband*):
 - múltiplos canais num cabo
 - HFC

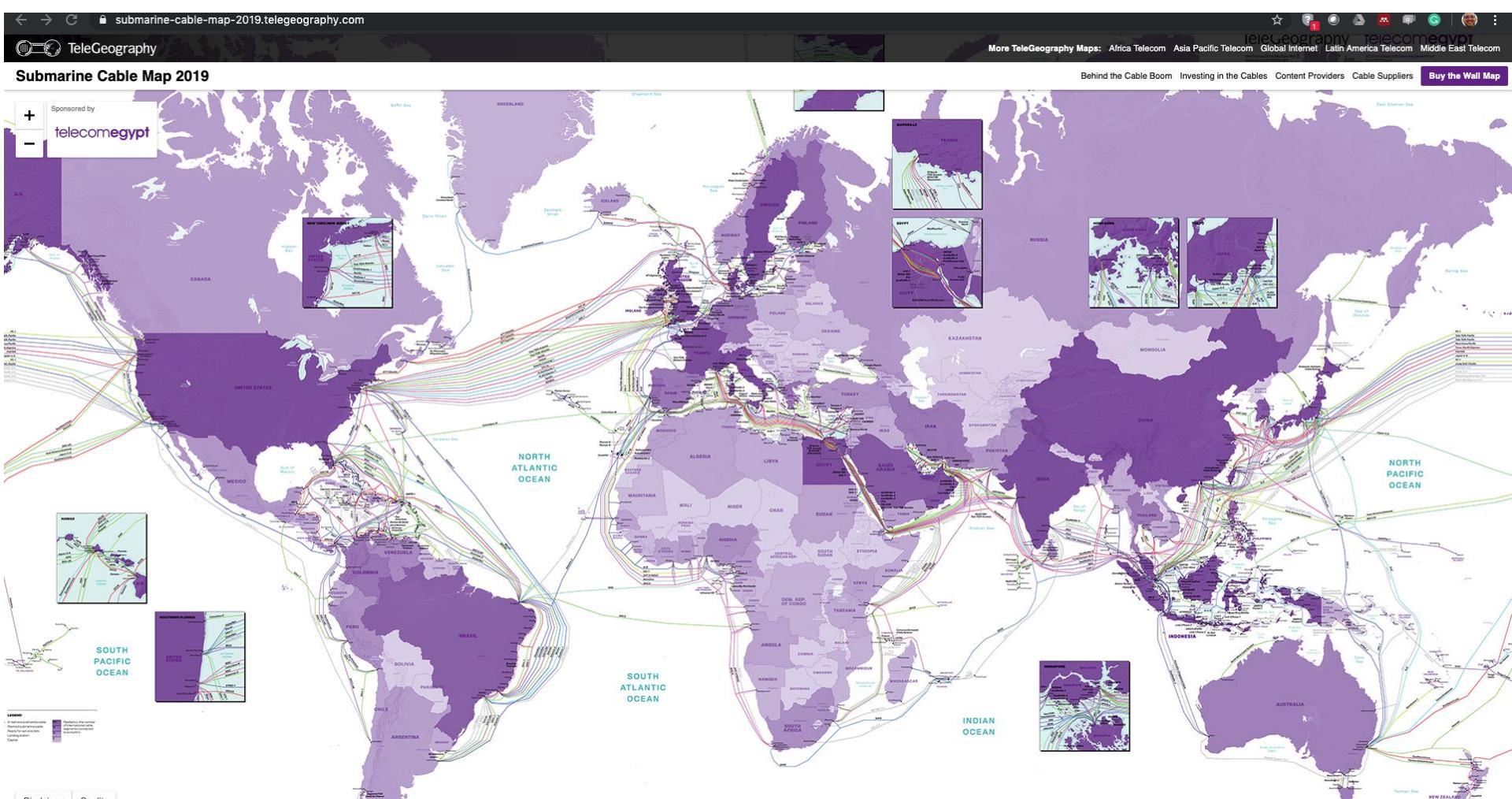


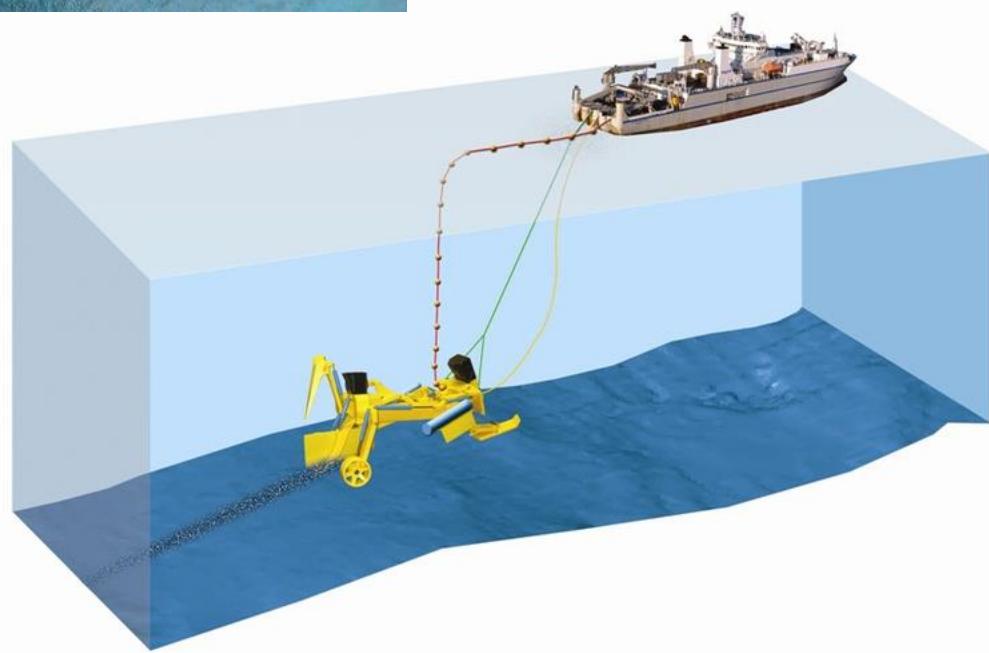
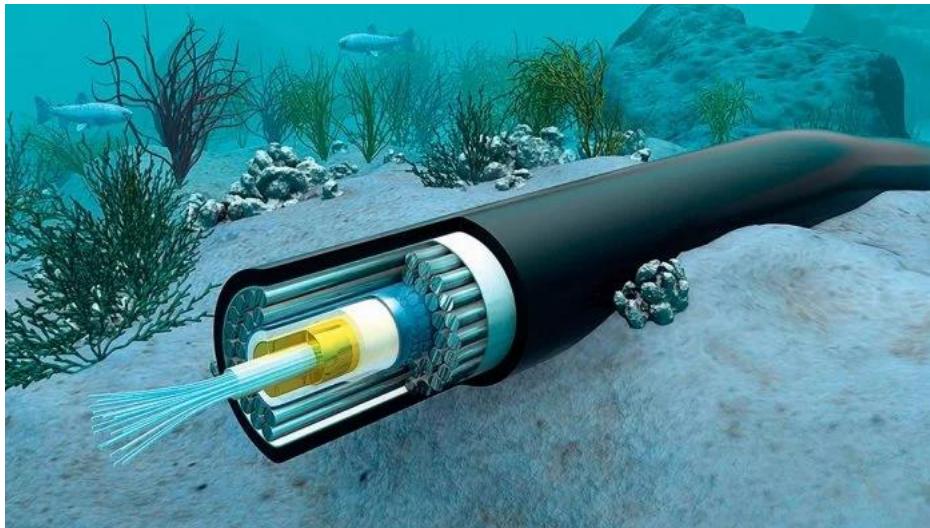
Cabo de fibra óptica:

- fibra de vidro transporta pulsos de luz
- opera em alta velocidade:
 - transmissão ponto a ponto de alta velocidade (ex., 10's a 100's Gbps)
- baixa taxa de erros:
 - repetidores mais afastados;
 - imune a ruído eletromagnético



Cabos Submarinos



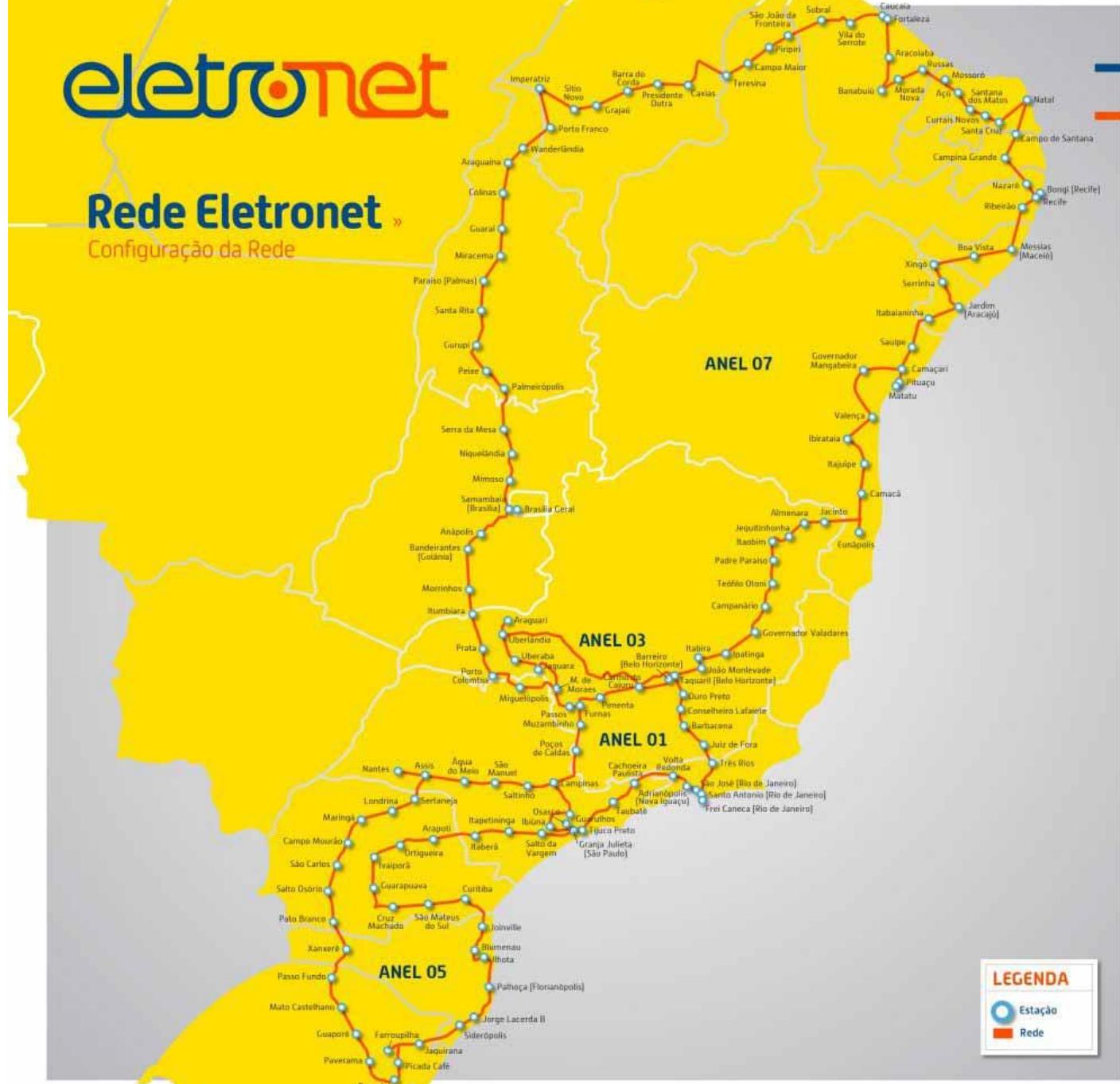


1: Introdução



Rede Eletronet

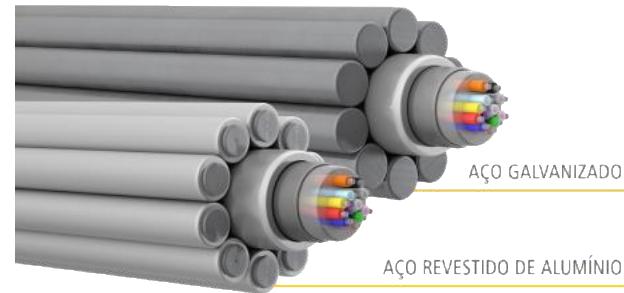
Configuração da Rede



LEGENDA

- Estação (Substation)
- Rede (Transmission Line)

Cabos OPGW (Optical Ground Wire) - Fio de aterramento óptico



1: Introdução

Meios físicos: rádio

- sinal transportado em ondas eletromagnéticas
- não há "fio" físico
- bidirecional
- efeitos do ambiente de propagação:
 - reflexão
 - obstrução por objetos
 - interferência

Tipos de enlaces de rádio:

- **microondas**
 - ex.: canais de até 45 Mbps
- **LAN** (ex., Wifi)
 - 10-100 Mbps
- **longa distância** (ex., 4G/5G celular)
 - 10 Mbps (4G) em ~10 Km
- **satélite**
 - canal de até 100Mbps (Starlink)
 - atraso de propagação de 270 mseg (fim-a-fim)
 - geoestacionários versus de baixa altitude (LEOS)

Roteiro do Capítulo 1

1.1 O Que é a Internet?

1.2 A Borda (Periferia) da Internet

1.3 O Núcleo da Rede

1.4 Atraso, perda e vazão em redes de comutação de pacotes

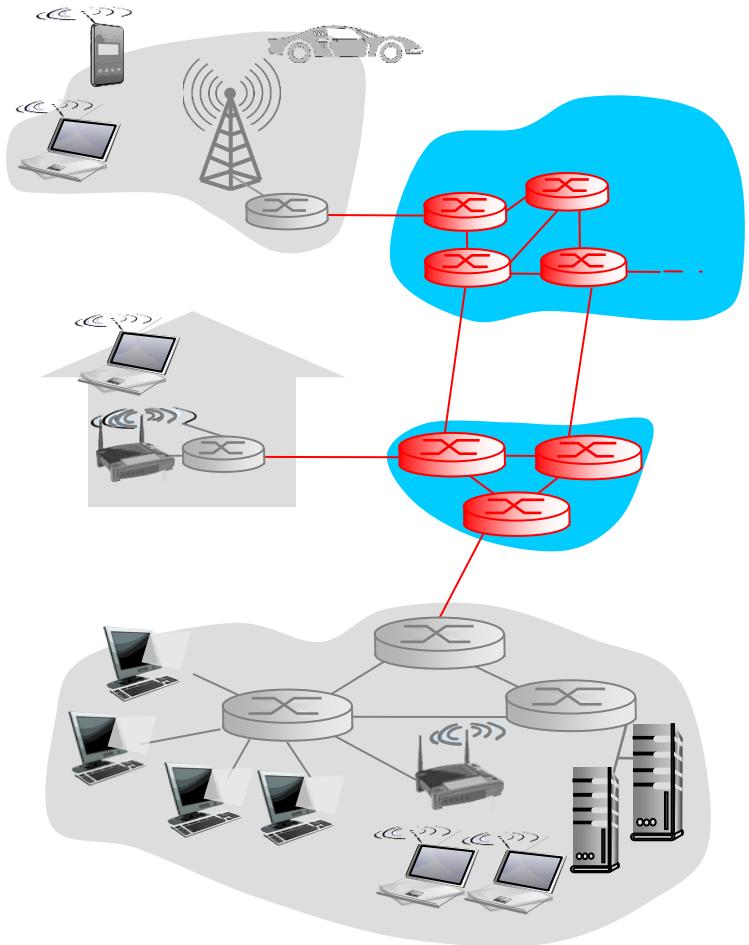
1.5 Camadas de protocolos e seus modelos de serviços

1.6 Redes sob ameaça

1.7 História das redes de computadores e da Internet

O Núcleo da Rede

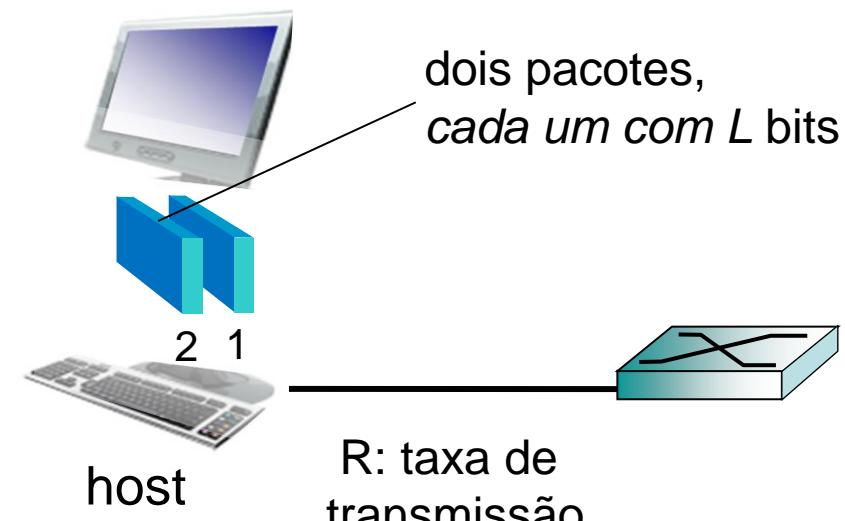
- Malha de roteadores interconectados
- comutação de pacotes: hospedeiros quebram mensagens da camada de aplicação em pacotes
 - Repassa os pacotes de um roteador para o próximo, através de enlaces no caminho da origem até o destino
 - cada pacote é transmitido na capacidade máxima do enlace.



Hospedeiro: envia pacotes de dados

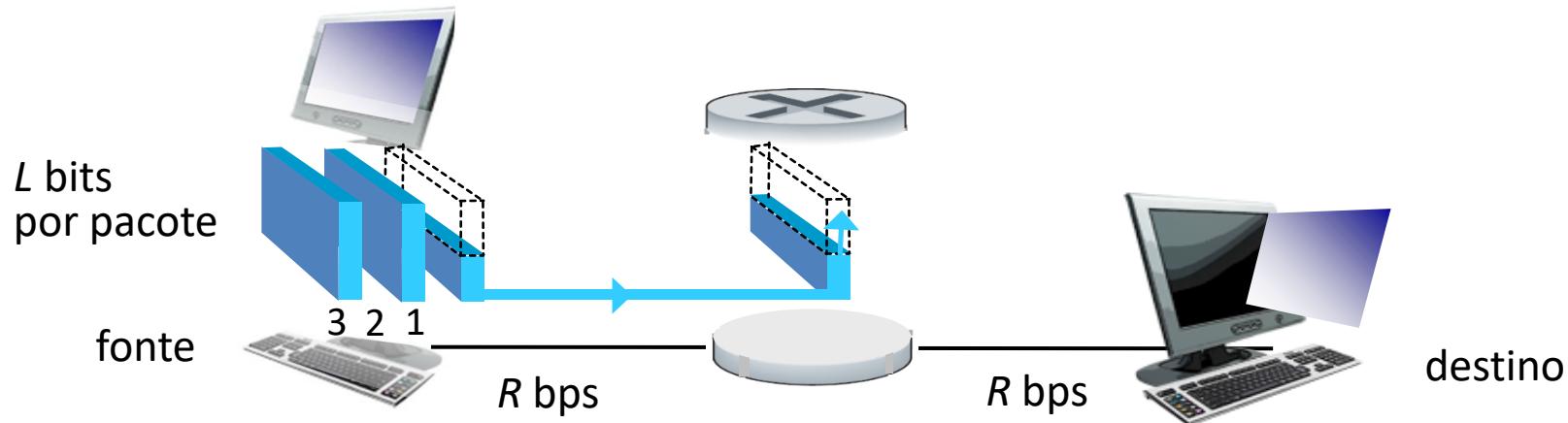
função de transmissão do hospedeiro:

- pega msg da aplicação
- quebra em pequenos pedaços, conhecidos como **pacotes**, com L bits de comprimento
- transmite o pacote pela rede de acesso a uma **taxa de transmissão** R
 - taxa de transmissão do canal, ou **capacidade** do canal, ou **largura de banda do canal**



$$\text{atraso de transmissão do pacote} = \frac{\text{tempo necessário para transmitir um pacote de } L \text{ bits no canal}}{R \text{ (bits/sec)}}$$

Comutação de pacotes: armazena e repassa

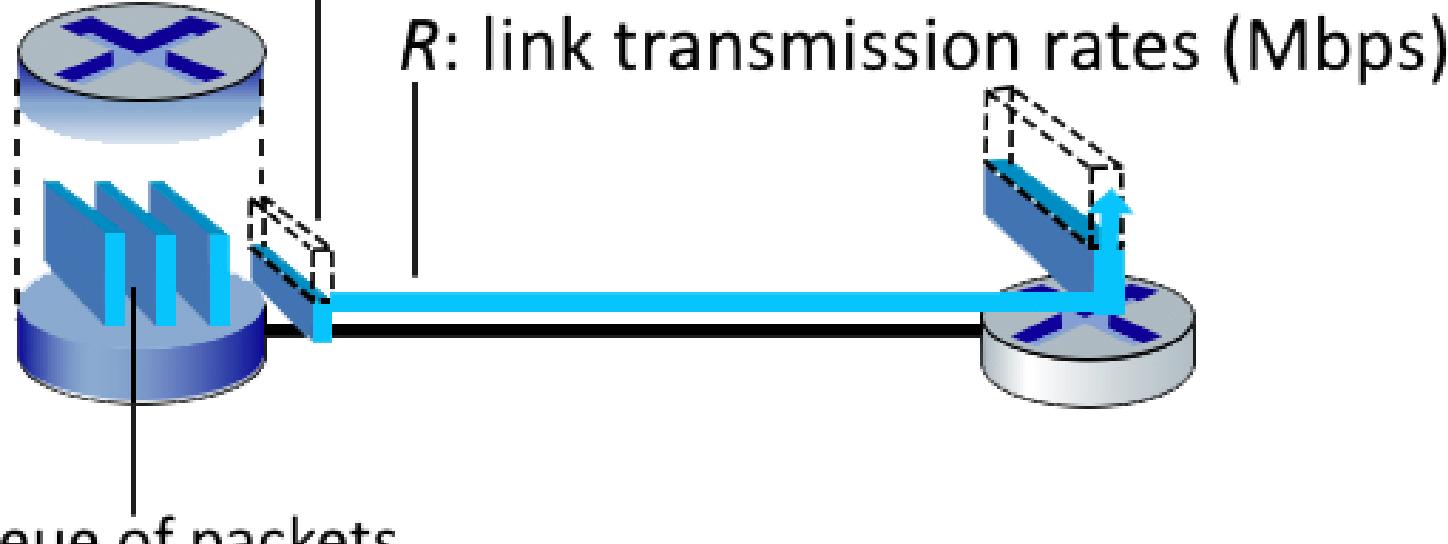


- leva L/R seg para transmitir (botar para fora) um pacote de L -bits num enlace a R bps
- **armazena e repassa:** todo o pacote deve chegar ao roteador antes que possa ser transmitido no próximo enlace
- ❖ atraso fim-a-fim = $2L/R$
(desprezando o atraso de propagação)

exemplo numérico para um salto/etapa:

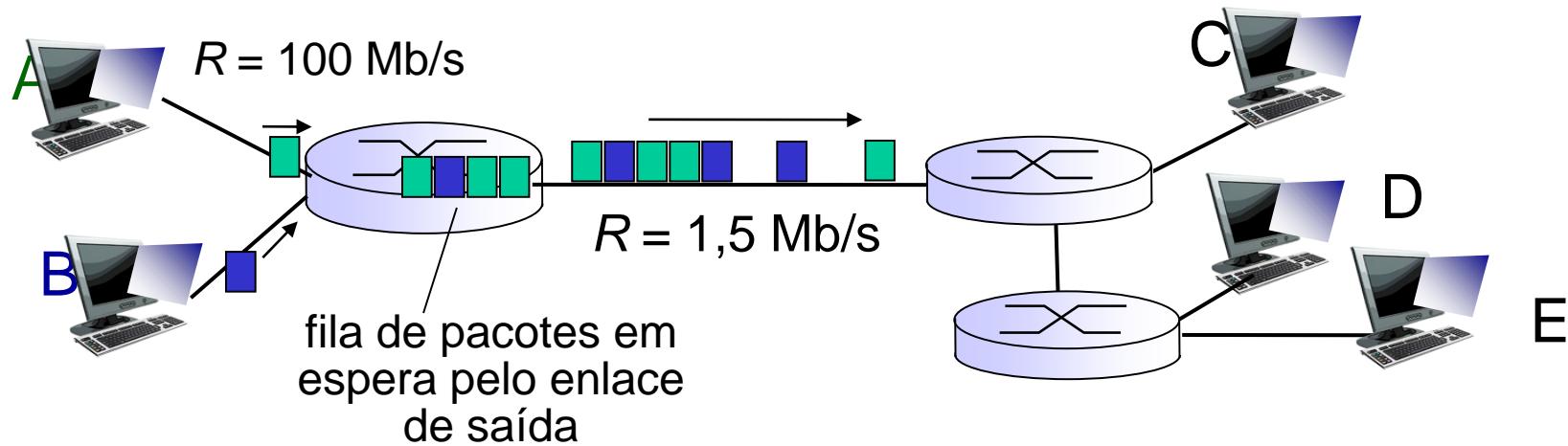
- $L = 7,5 \text{ Mbits}$
- $R = 1,5 \text{ Mbps}$
- atraso de transmissão em um salto = 5 seg

} mais sobre atrasos em breve...



- Suponha que um pacote seja $L = 7000$ bytes de comprimento (um byte = 8 bits), e o link transmite em $R = 100$ Mbps (ou seja, um link pode transmitir bits $100.000.000$ bits por segundo). Qual é o atraso de transmissão para este pacote?

Comutação de pacotes: atraso de enfileiramento, perdas



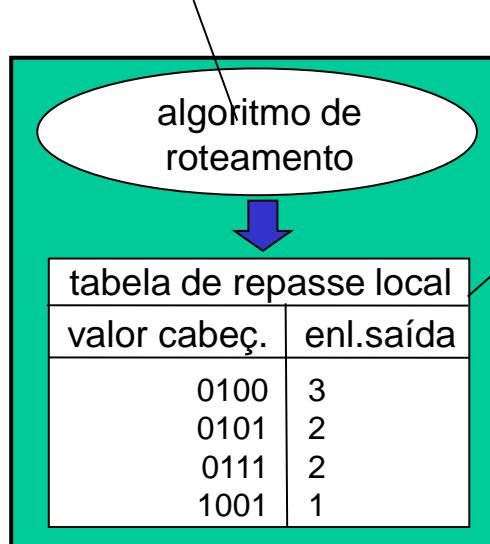
enfileiramento e perdas:

- ❖ Se a taxa de chegadas (em bits) no enlace exceder a taxa de transmissão do canal num certo intervalo de tempo:
 - pacotes irão enfileirar, esperar para serem transmitidos no enlace
 - pacotes poderão ser descartados (perdidos) se a memória (buffer) encher

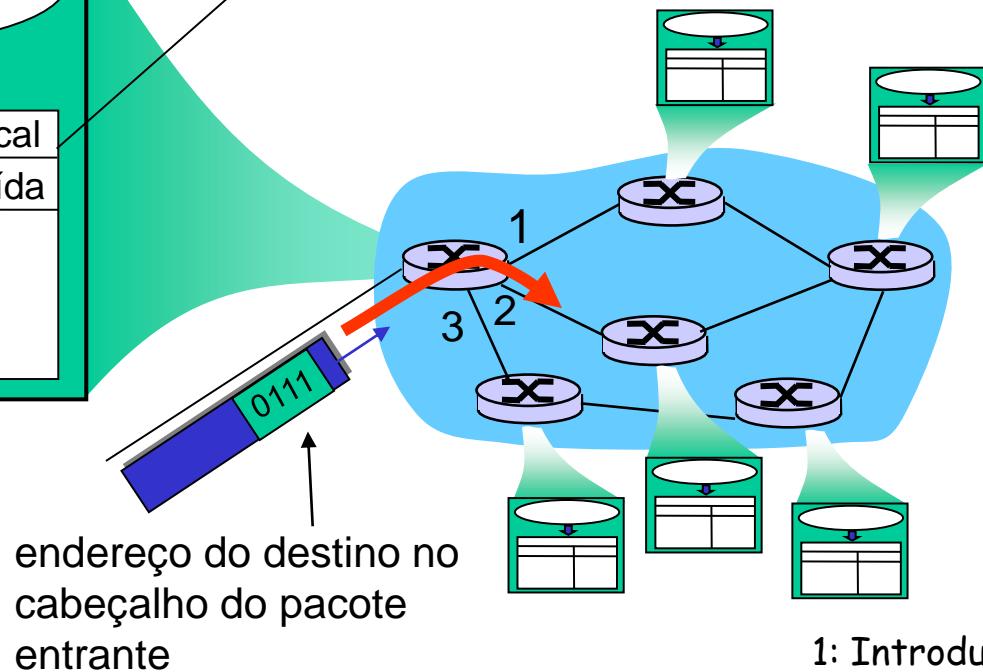
Duas funções chave do núcleo da rede

roteamento: determina a rota origem-destino tomada pelos pacotes

- *algoritmos de roteamento*



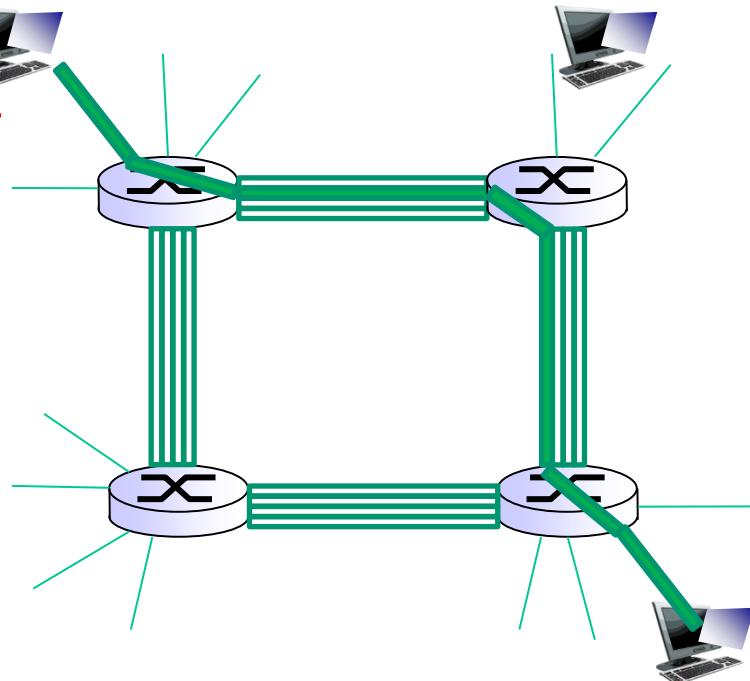
repasse: move pacotes da entrada do roteador para a saída apropriada do roteador



Alternativa: comutação de circuitos

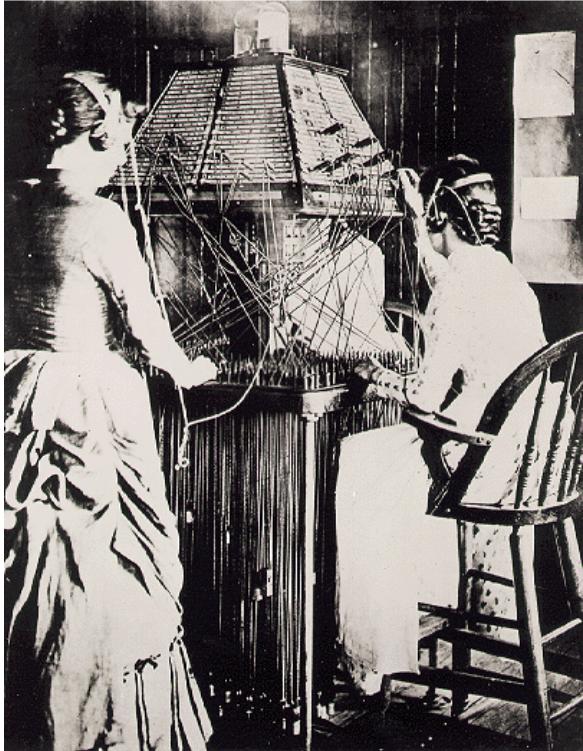
recursos fim-a-fim alocados/
reservados para “chamada” entre
origem-destino:

- ❑ No diagrama, cada enlace possui quatro circuitos.
 - chamada recebe o 2º circuito no enlace superior e o 1º circuito no enlace da direita
- ❑ recursos dedicados: sem compartilhamento
 - desempenho tipo circuito (garantido)
- ❑ segmento do circuito fica ocioso se não for utilizado pela chamada (*sem compartilhamento*)
- ❑ Usado normalmente na rede telefônica tradicional



Núcleo da Rede: Comutação de Circuitos

From Computer Desktop Encyclopedia
Reproduced with permission.
© 1996 AT&T

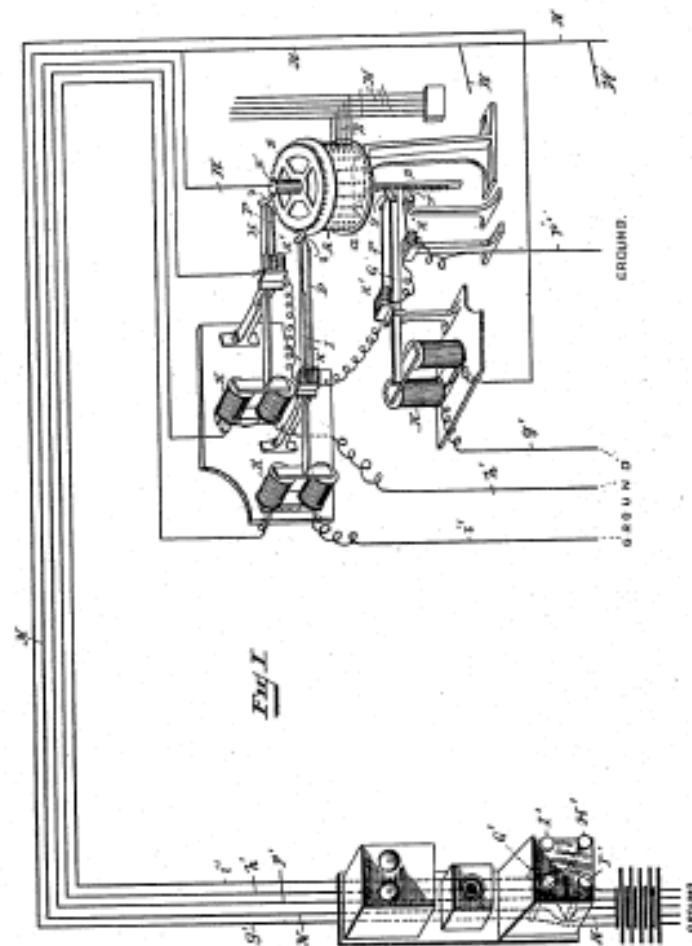


(No Model.)

A. B. STROWGER.
AUTOMATIC TELEPHONE EXCHANGE

No. 447,918.

Patented Mar. 10, 1891.

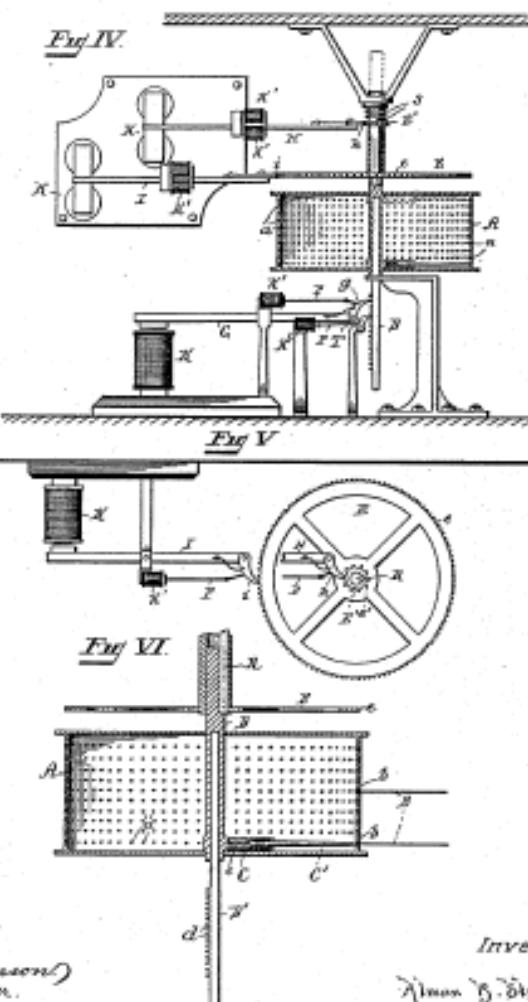


(No Model)

A. B. STROWGER.
AUTOMATIC TELEPHONE EXCHANGE

No. 447,918.

Patented Mar. 10, 1891.



Java™ Platform

R. A. Baldwin,
M. W. Strong.

Inventor

LITERATURE

R. A. Baldwin,
St. M. Stronger.

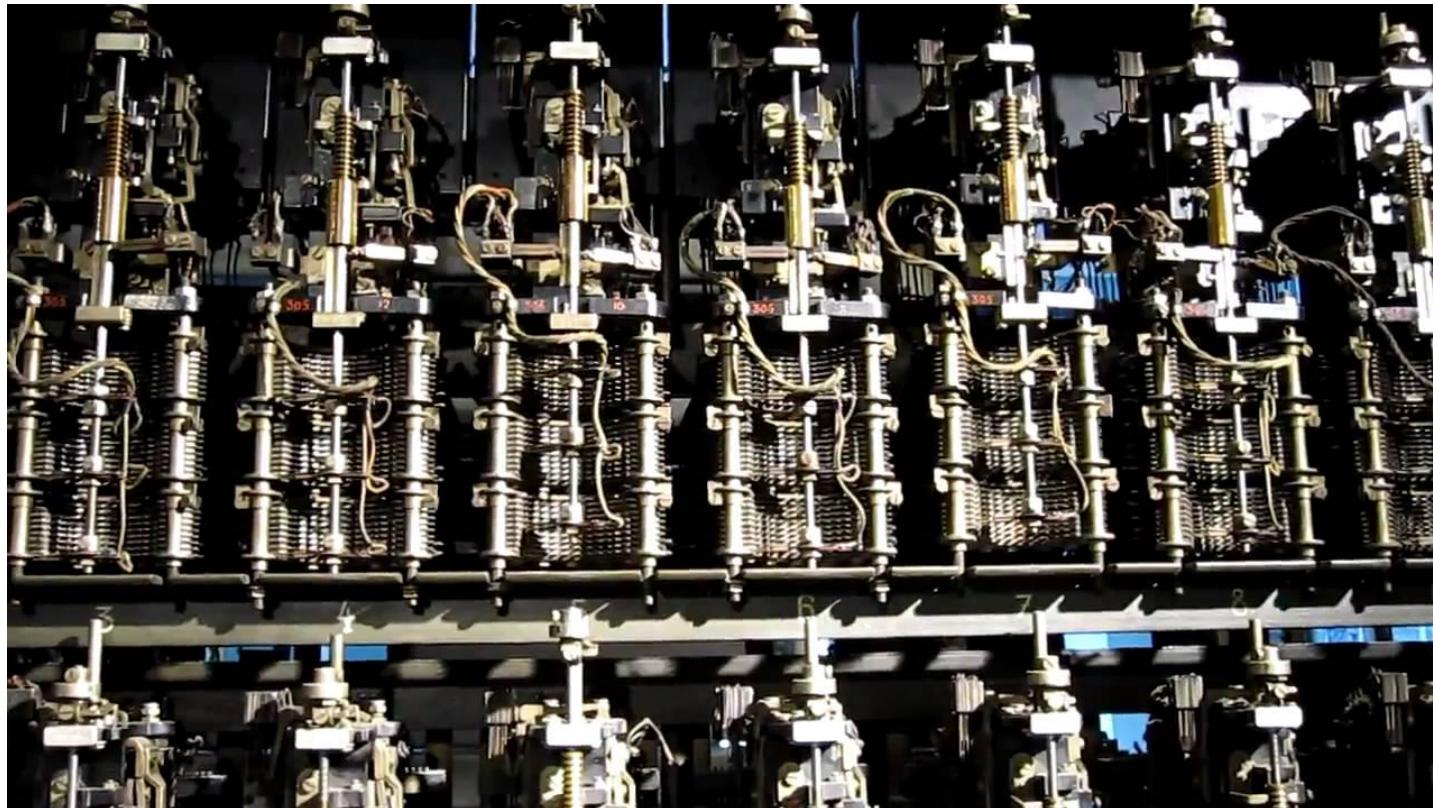
Immunotherapy

Digitized by srujanika@gmail.com

http://en.wikipedia.org/wiki/Almon_Strowger
<http://www.pat2pdf.org/patents/pat0447918.pdf>

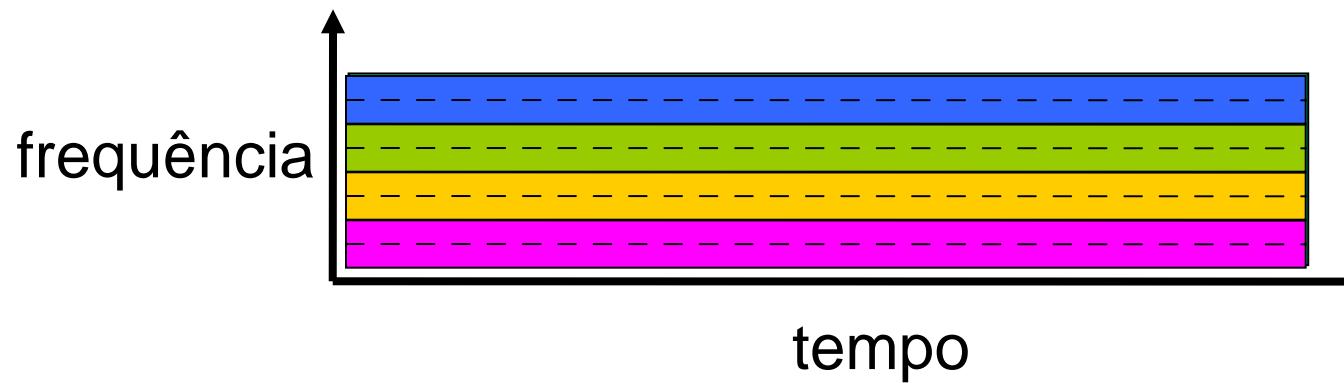
1: Introdução

Comutadores eletromecânicos

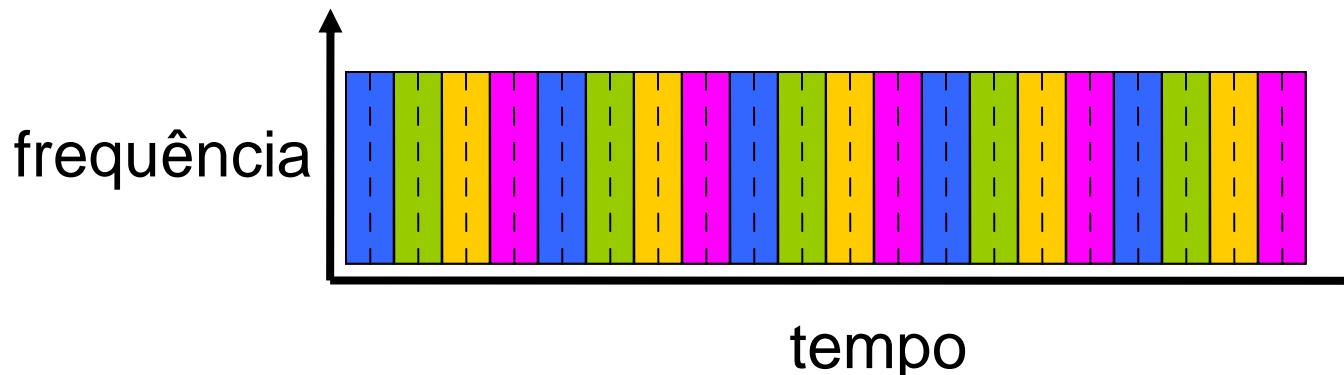


Comutação de Circuitos: FDM e TDM

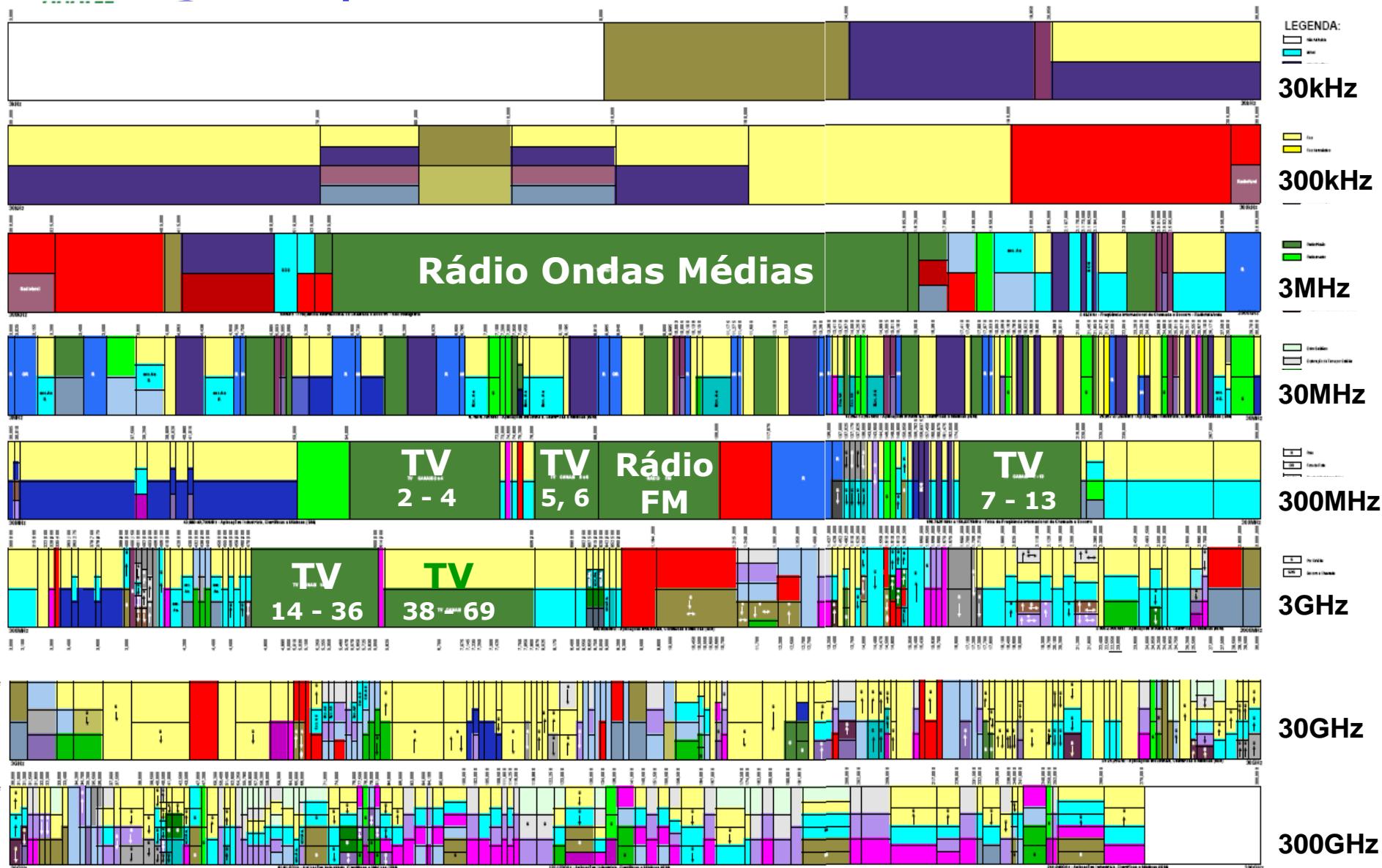
FDM



TDM

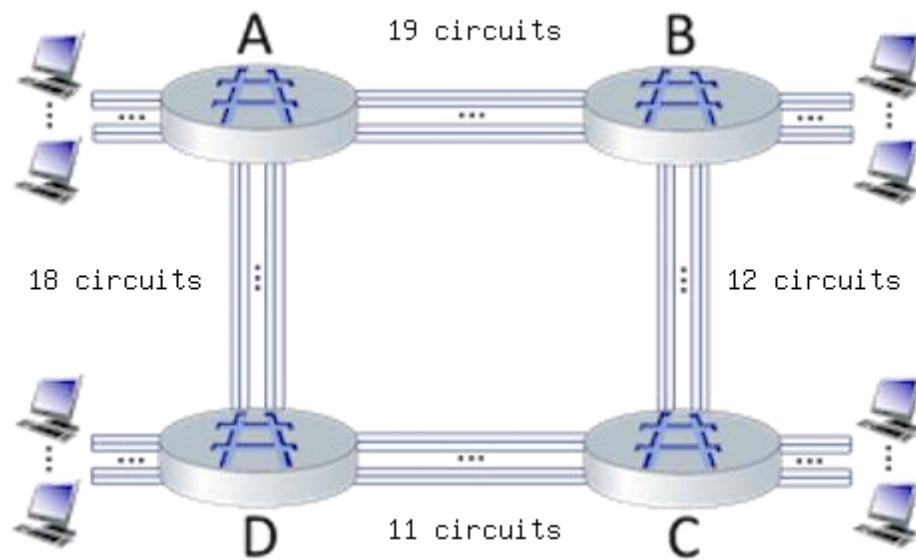


Alocação de Faixas de Frequência



Considere a rede comutada por circuito mostrada na figura abaixo, com as chaves de circuito A, B, C e D. Suponha que haja 19 circuitos entre A e B, 12 circuitos entre B e C, 11 circuitos entre C e D e 18 circuitos entre D e A.

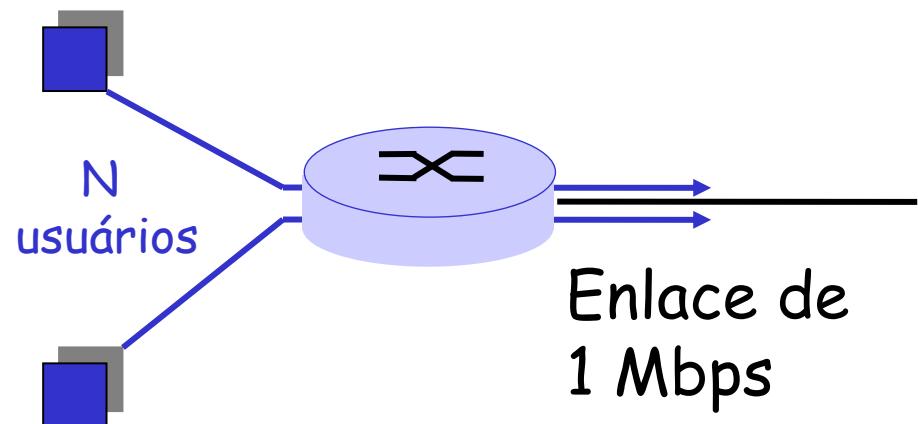
Qual é o número máximo de conexões que podem estar em andamento na rede a qualquer momento?



Comutação de pacotes versus comutação de circuitos

A comutação de pacotes permite que mais usuários usem a rede!

- Enlace de 1 Mbit
- cada usuário:
 - 100kbps quando "ativo"
 - ativo 10% do tempo
- comutação por circuitos:
 - 10 usuários
- comutação por pacotes:
 - com 35 usuários, probabilidade > 10 ativos menor que 0,004



P: como foi obtido o valor 0,0004?

P: o que ocorre se > 35 usuários?

Comutação de pacotes versus comutação de circuitos

A comutação de pacotes ganha de lavada?

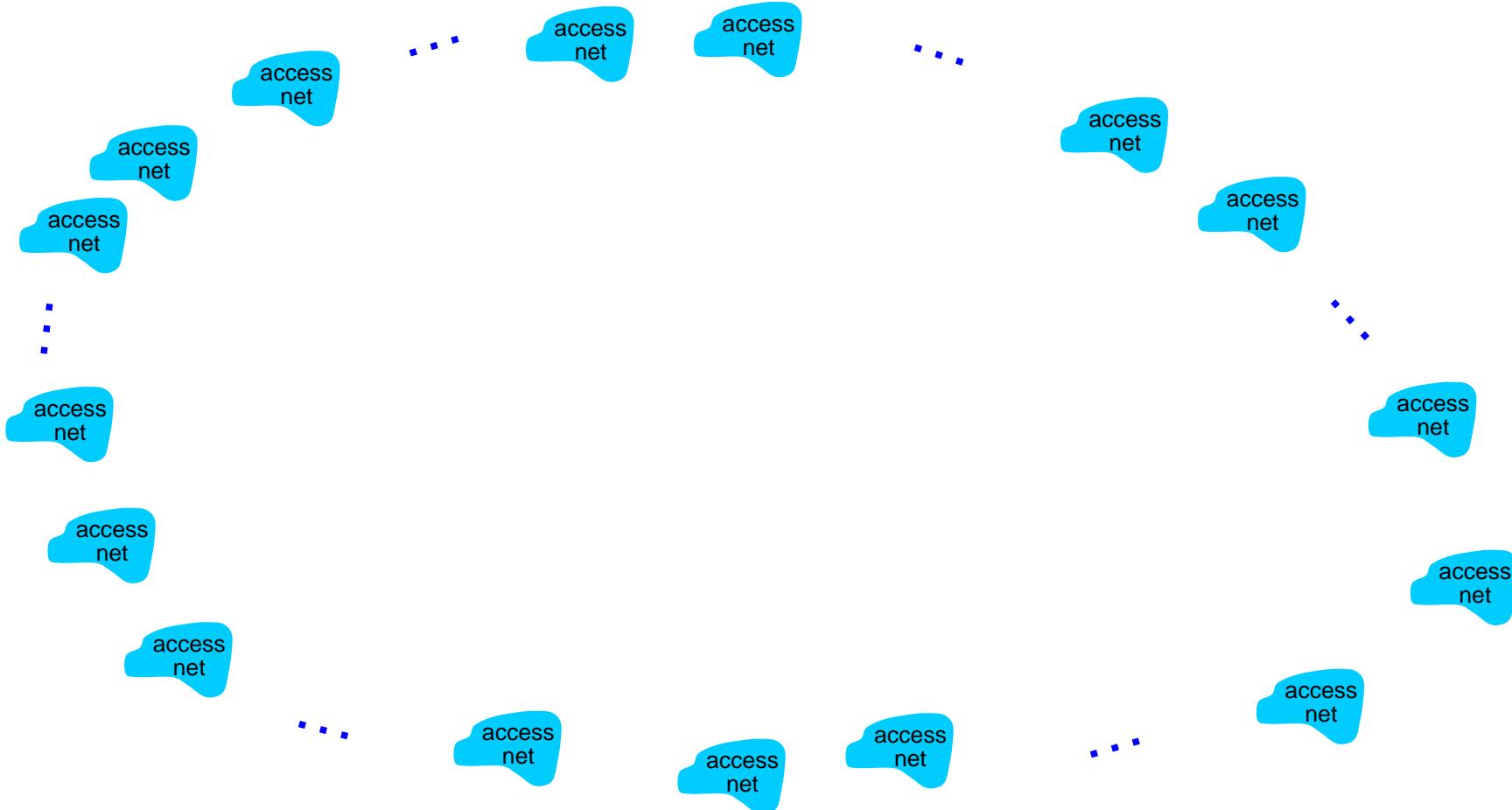
- Ótima para dados em surtos
 - compartilhamento dos recursos
 - não necessita estabelecimento de conexão
- Congestionamento excessivo: atraso e perda de pacotes
 - necessita de protocolos para transferência confiável de dados, controle de congestionamento
- P: Como fornecer um comportamento do tipo circuito?
 - São necessárias garantias de banda para aplicações de áudio e vídeo
 - ainda é um problema não resolvido (cap. 7)

Estrutura da Internet: rede de redes

- Sistemas finais conectam-se à Internet através de **ISPs (Internet Service Providers) de acesso**
 - ISP residencial, corporativo e acadêmico
- Os ISPs de acesso devem ser interconectados
 - De modo que quaisquer dois hospedeiros possam enviar pacotes um para o outro
- A rede de redes resultante é muito complexa
 - Evolução foi dirigida pela economia e por políticas nacionais
- Seguiremos uma abordagem passo-a-passo para descrever a estrutura atual da Internet

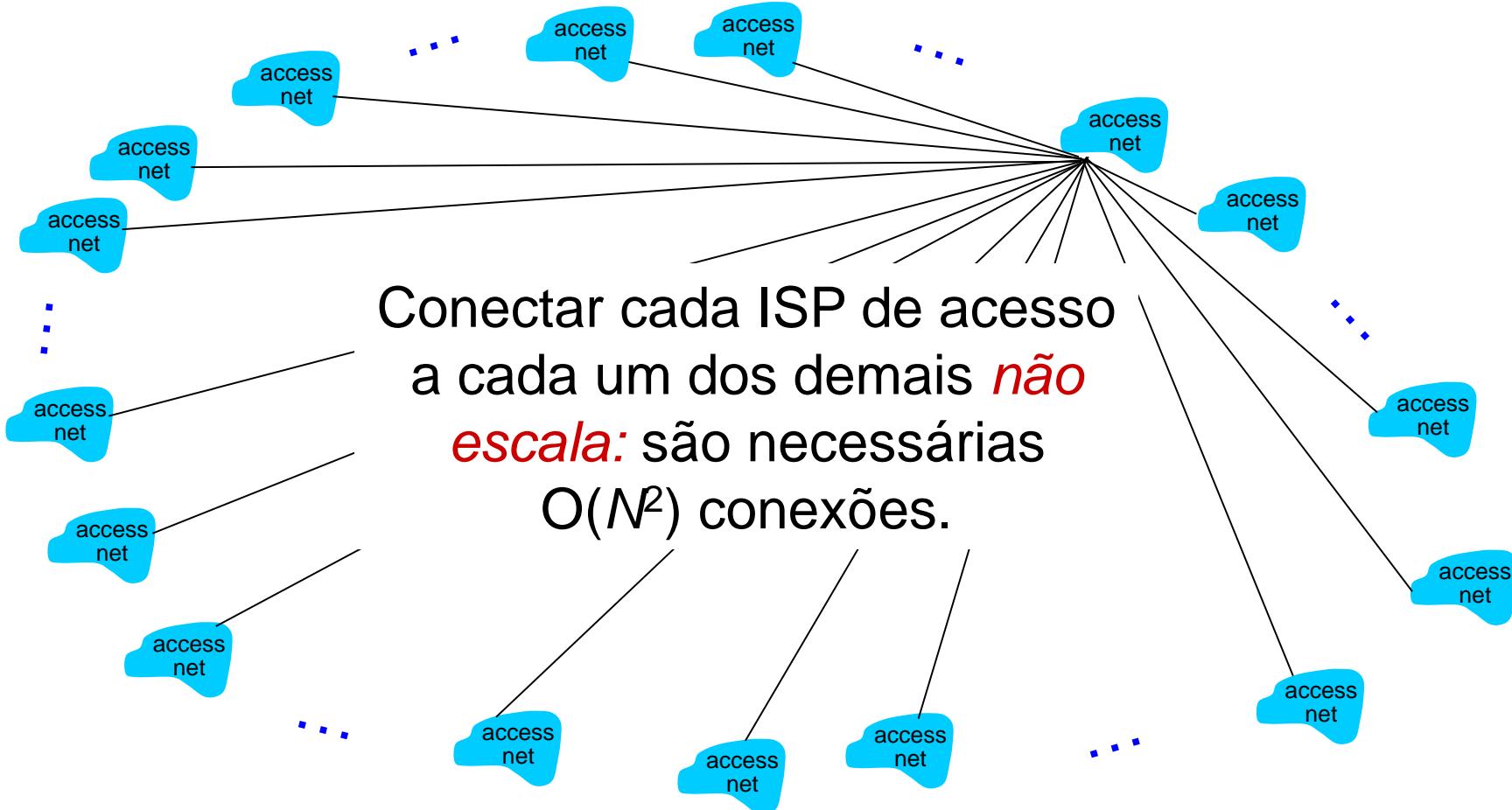
Estrutura da Internet: rede de redes

Pergunta: dados milhões de ISPs de acesso, como interligar todos eles?



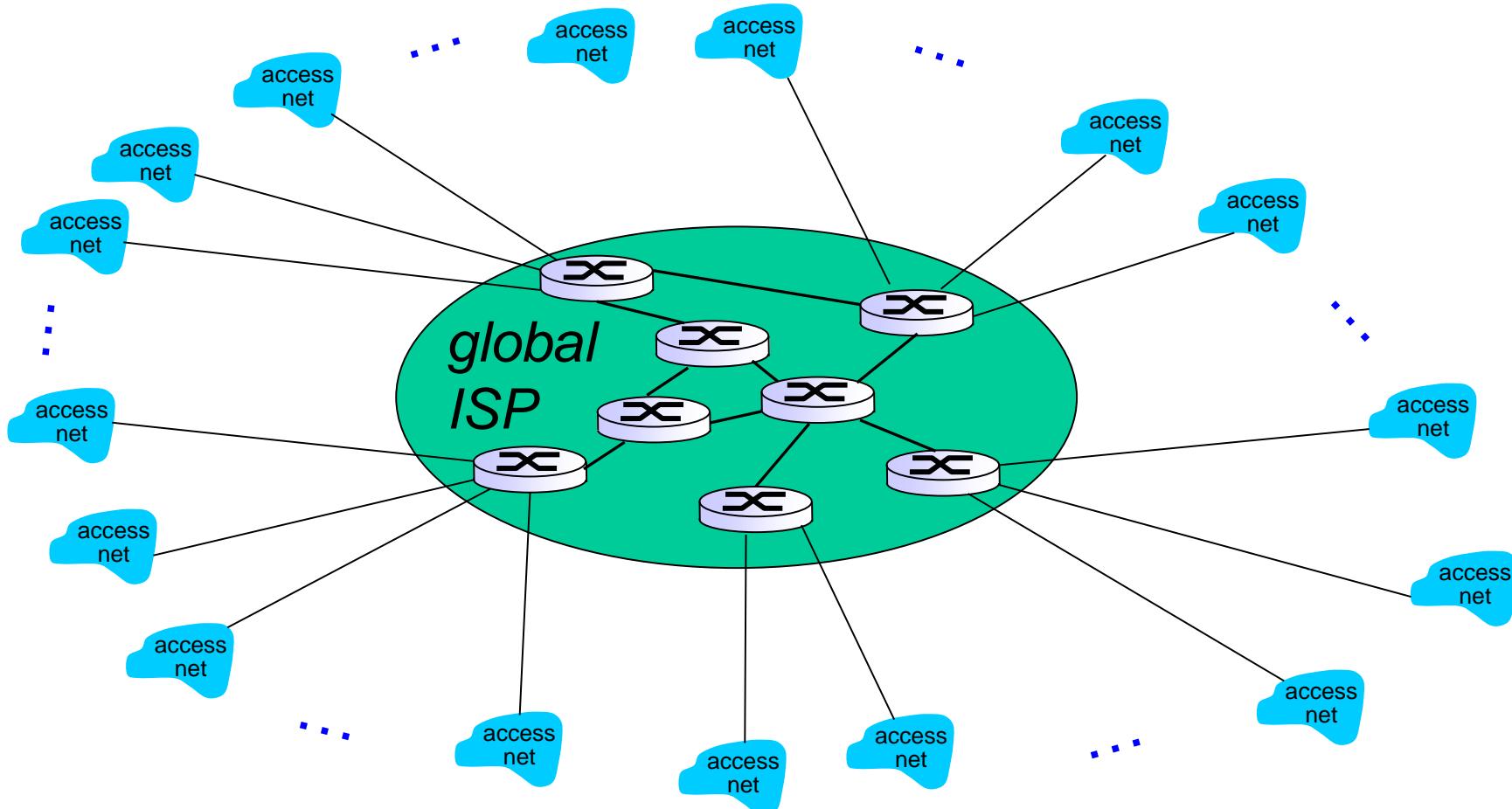
Estrutura da Internet: rede de redes

Opção: conectar cada ISP de acesso a cada um dos demais ISPs de acesso?



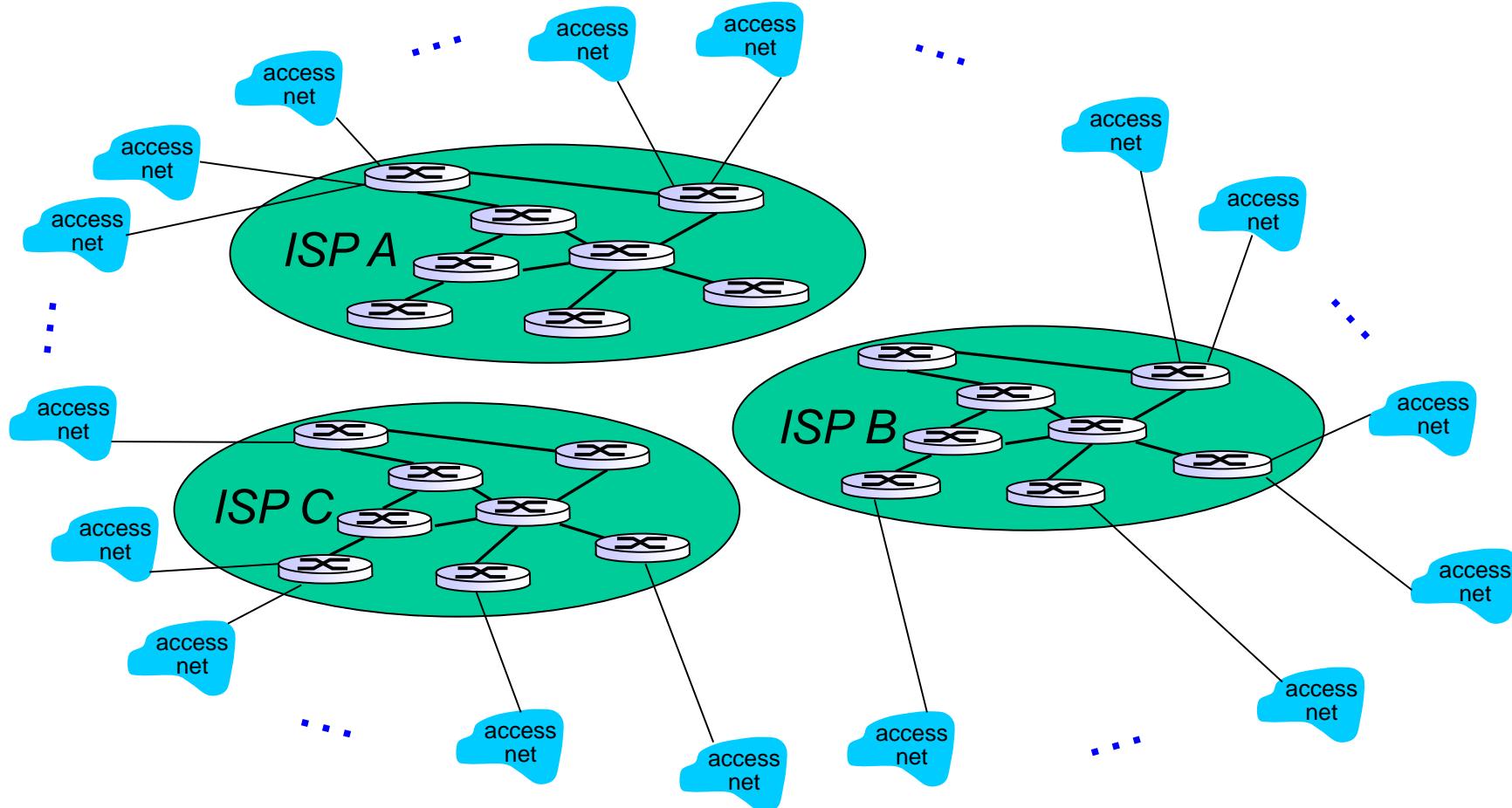
Estrutura da Internet: rede de redes

Opção: conectar cada ISP de acesso a um ISP de trânsito global?
Os ISPs de usuário e provedor têm um acordo econômico.



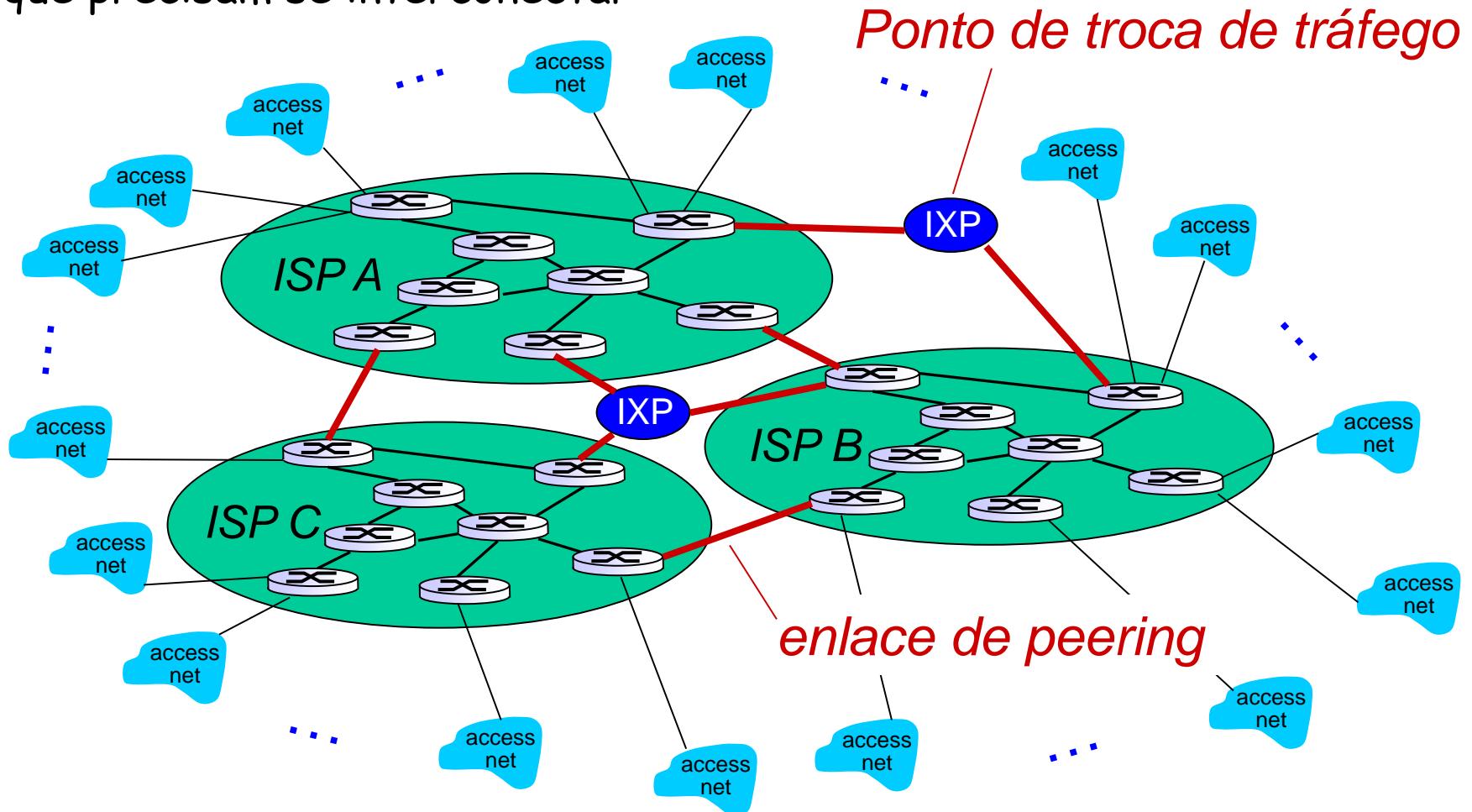
Estrutura da Internet: rede de redes

Mas, se um ISP global for um negócio viável, haverá competidores...



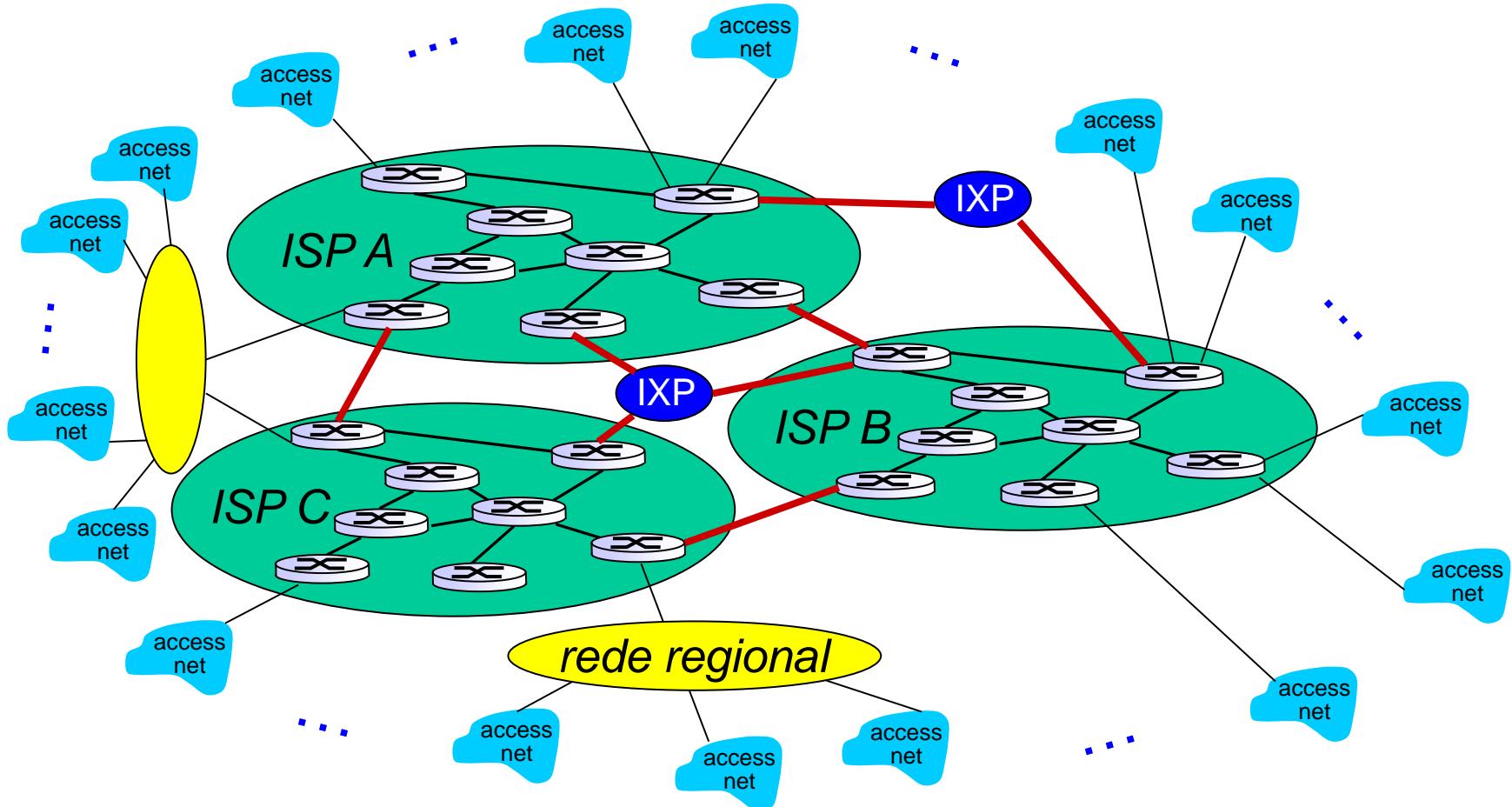
Estrutura da Internet: rede de redes

Mas, se um ISP global for um negócio viável, haverá competidores... que precisam se interconectar



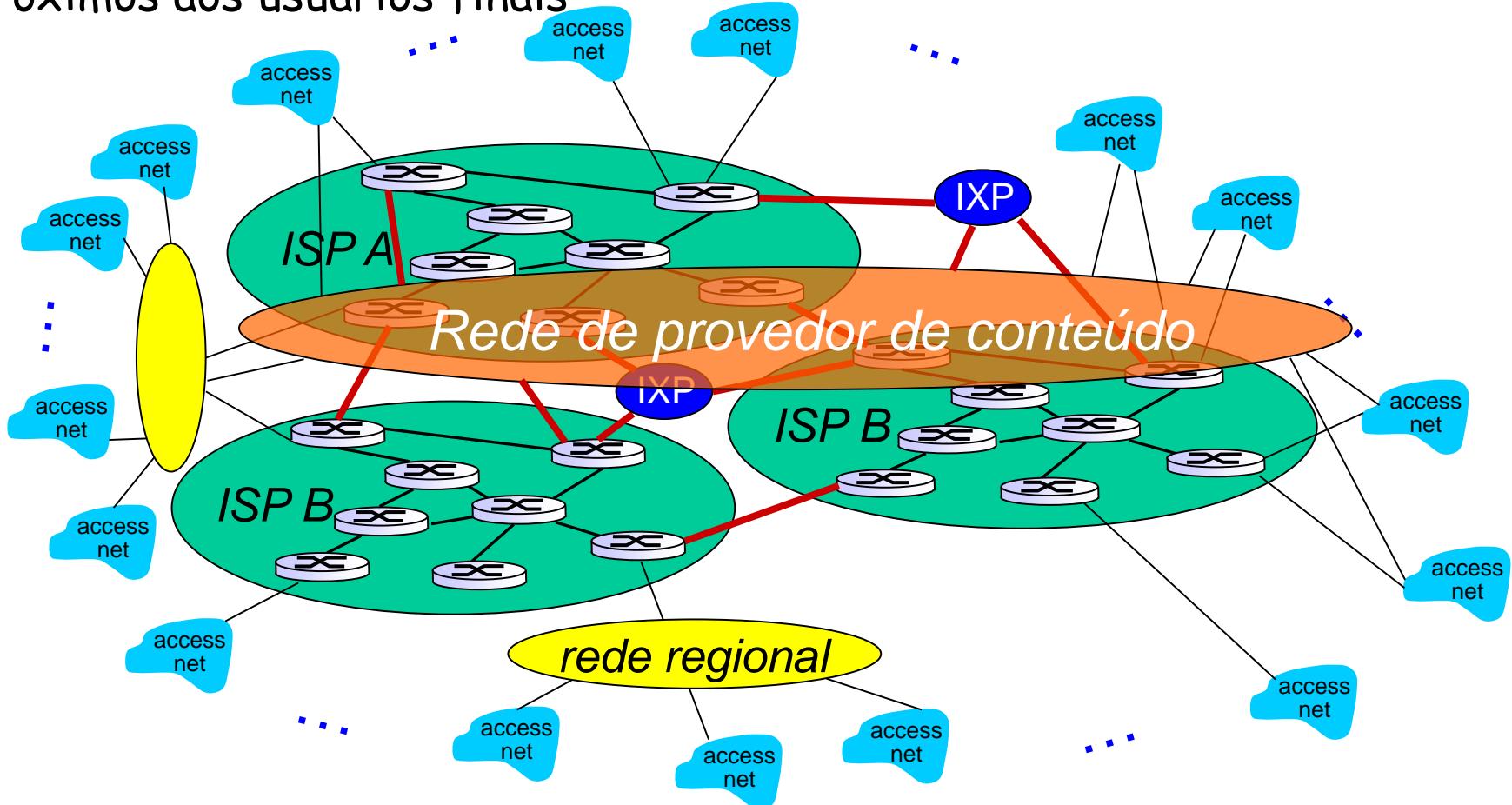
Estrutura da Internet: rede de redes

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

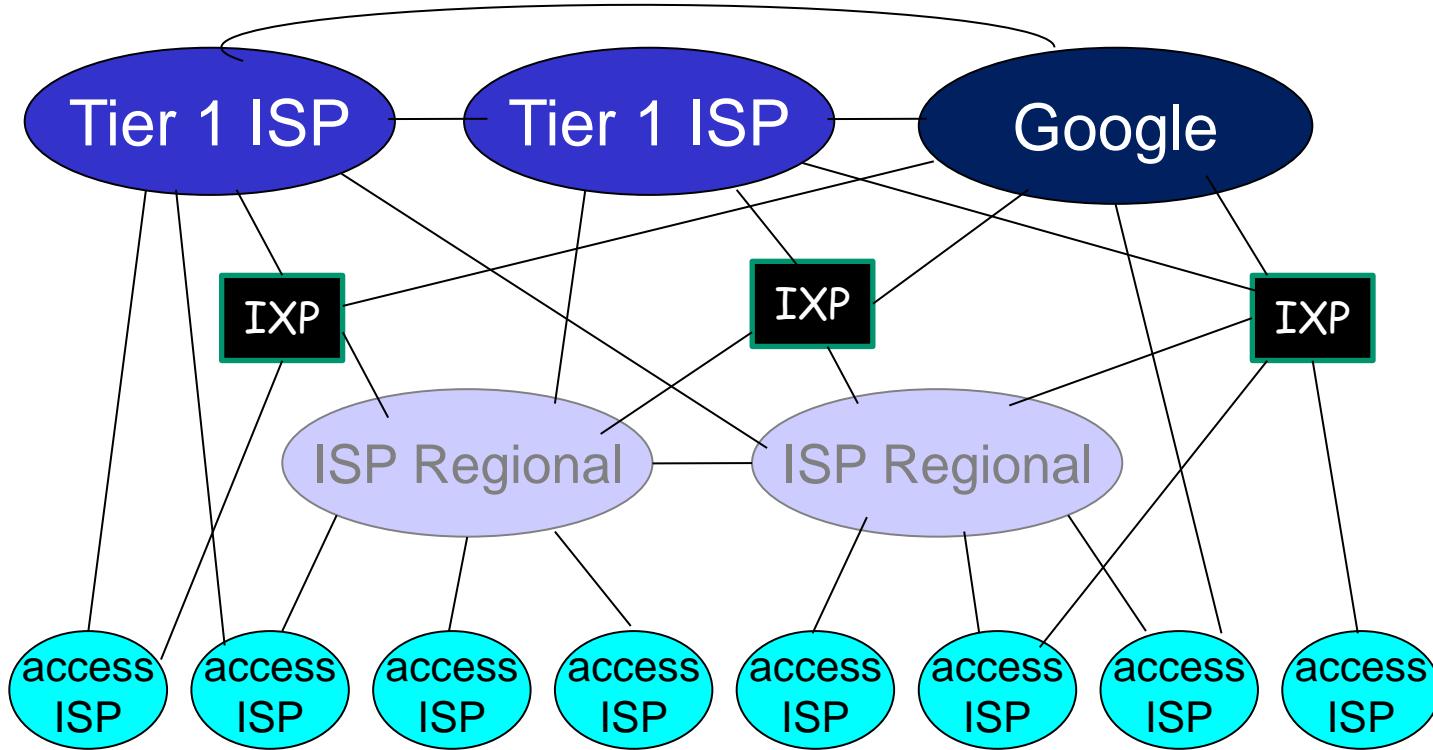


Estrutura da Internet: rede de redes

... e redes de provedores de conteúdo (ex.: Google, Microsoft, Akamai) podem criar as suas próprias redes, para levar serviços e conteúdos próximos aos usuários finais

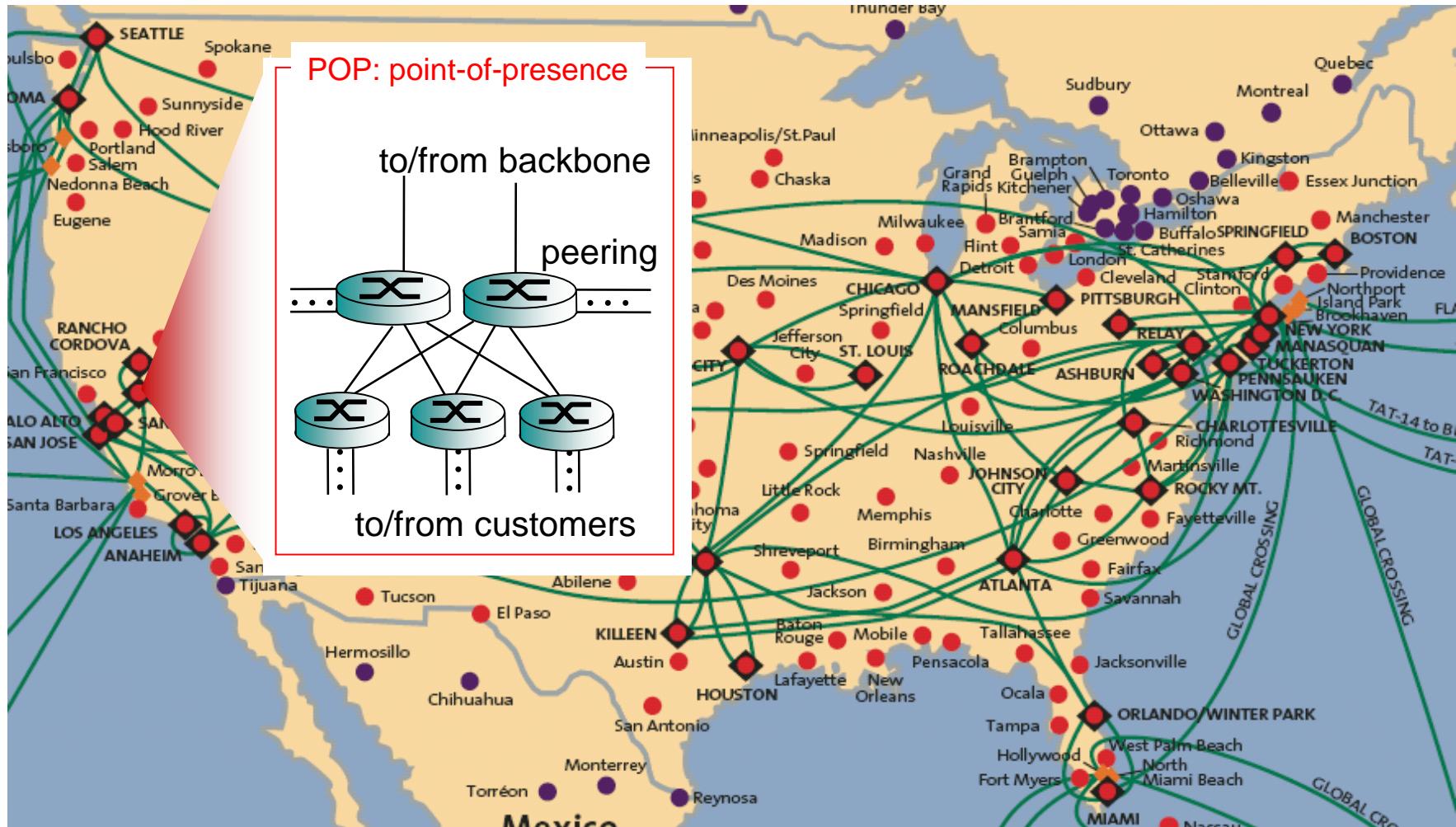


Estrutura da Internet: rede de redes



- No centro: pequeno no. de grandes redes bem conectadas
 - **ISPs comerciais "tier-1"** (ex., Level 3, Sprint, AT&T, NTT), cobertura nacional e internacional)
 - **rede de provedor de conteúdo** (ex. Google): rede privada que conecta os seus centros de dados à Internet, normalmente "bypassando" ISPs tier-1 e regionais.

ISP Tier-1: ex: Sprint



Provedor de Backbone Nacional

ex. Embratel

Giga PoPs

- CR-RJO
- CR-RJO-MKZ
- CR-RJO-ARC
- CR-SPO-IG
- CR-SPO-LP
- CR-SPO-MB
- CR-CAS
- CR-CTA
- CR-PAE
- CR-SDR
- CR-BHE
- CR-BSA

Maior

- * diversidade
- * capacidade
- * qualidade
- * confiabilidade

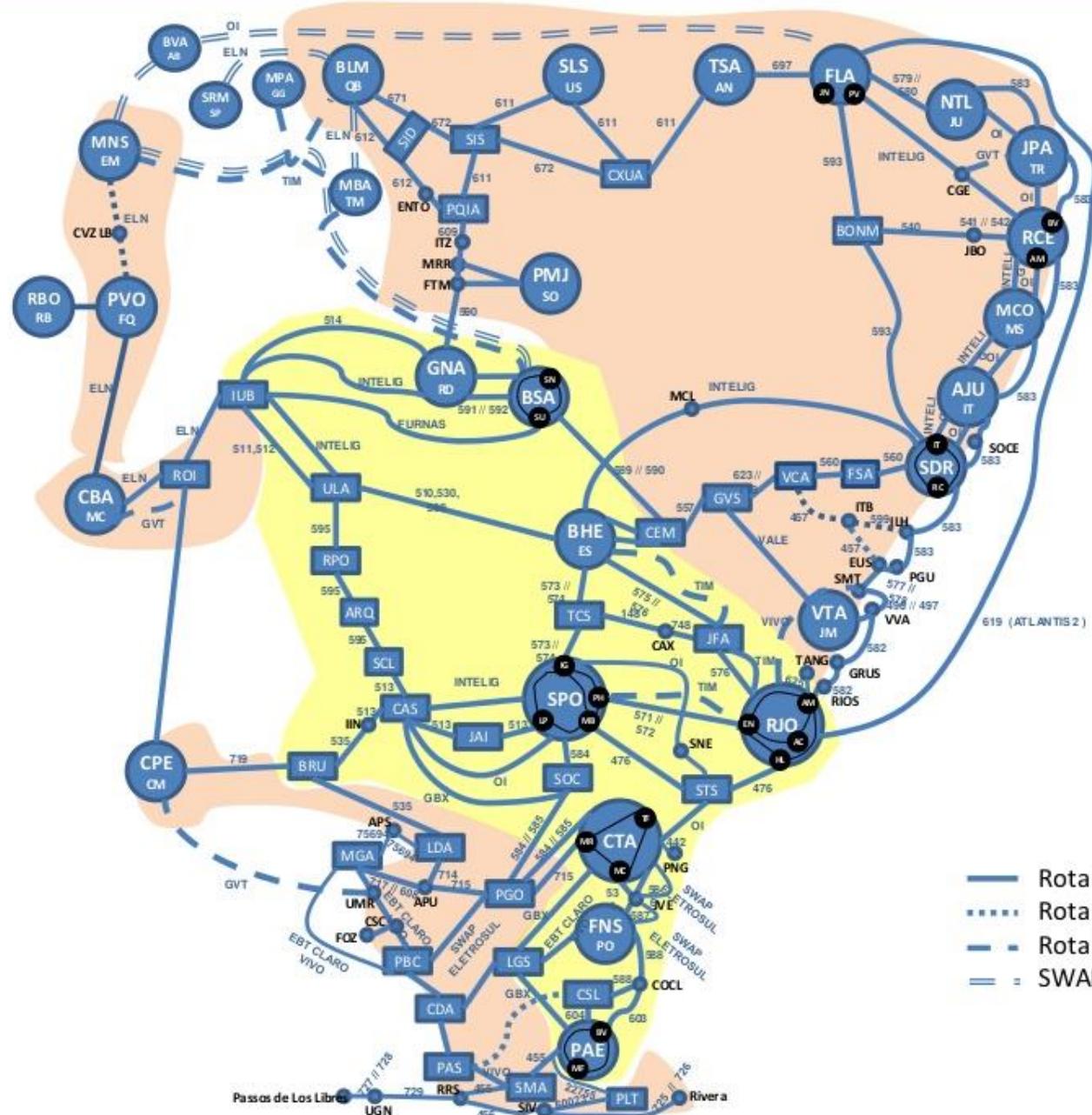


ATM 155 Mbps/622 Mbps



- * 27 centros de roteamento
- * + 100 PoPs
- * rotas duals
- * diversidade de transmissão

Regional Data Centers – Rede OTN Embratel



- Rota Embratel
 - Rota com DWDM de 3os
 - - Rota SWAP de fibra sem eletrônica
 - = SWAP de capacidade ou capacidade de 3os

em 18/Mar/2014

Conexões Internacionais



Roteiro do Capítulo 1

1.1 O Que é a Internet?

1.2 A Borda (Periferia) da Internet

1.3 O Núcleo da Rede

1.4 Atraso, perda e vazão em redes de comutação de pacotes

1.5 Camadas de protocolos e seus modelos de serviços

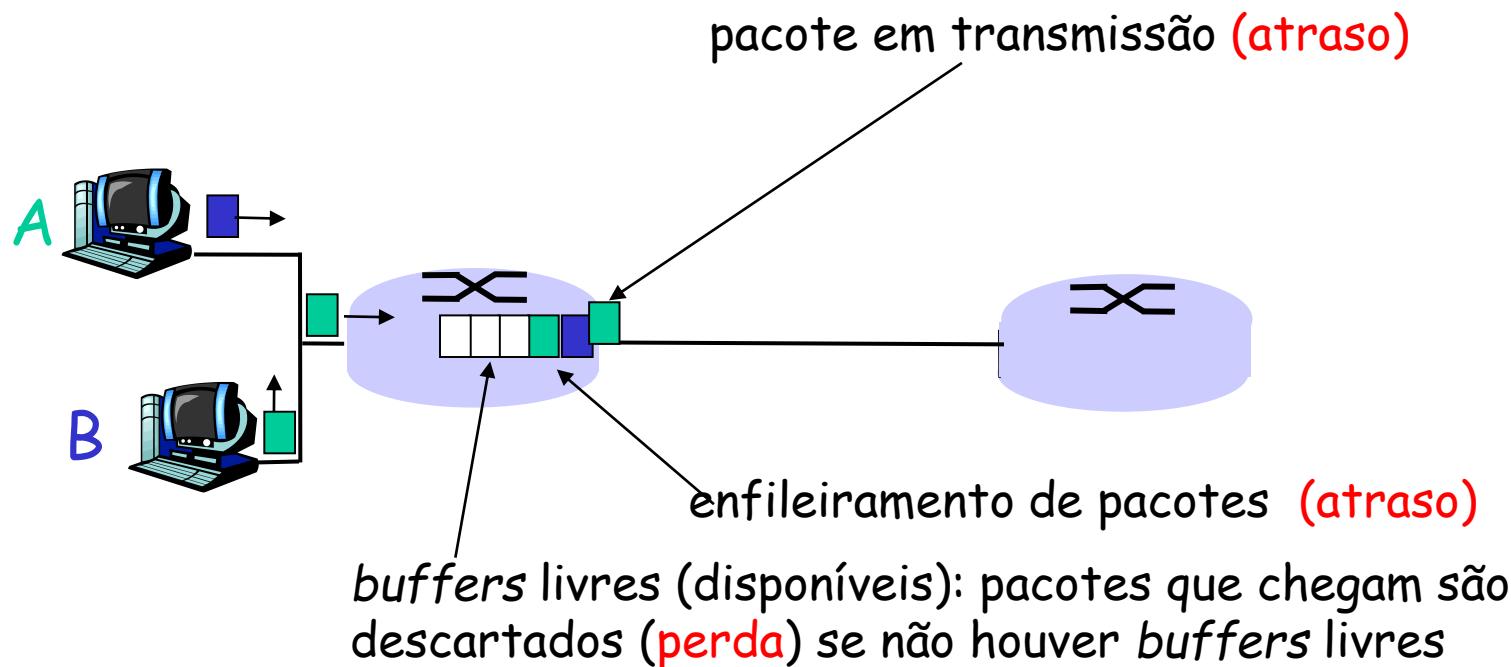
1.6 Redes sob ameaça

1.7 História das redes de computadores e da Internet

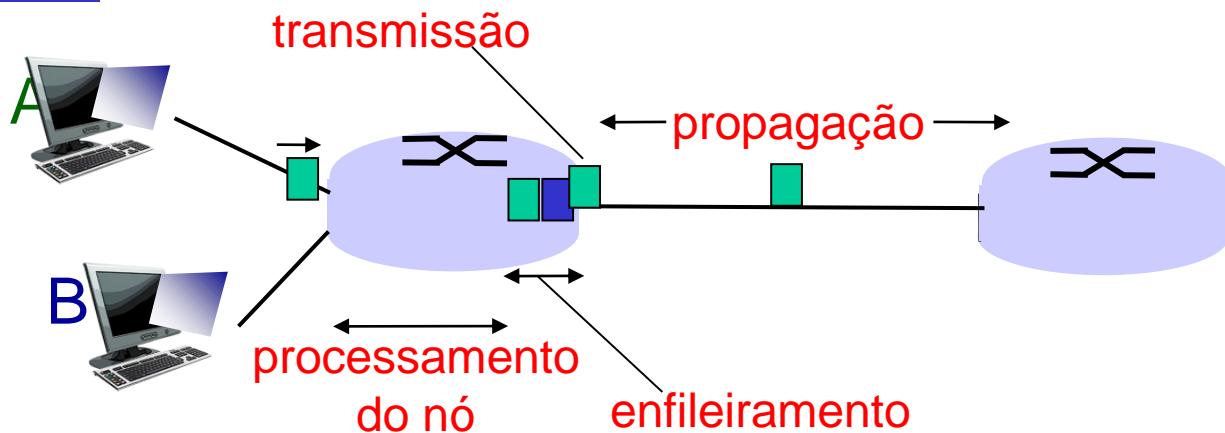
Como ocorrem as perdas e atrasos?

pacotes enfileiram nos buffers do roteador

- taxa de chegada de pacotes ao enlace excede a capacidade do enlace de saída.
- pacotes enfileiram, esperam pela vez



Quatro fontes de atraso dos pacotes



$$d_{\text{nó}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{enfil}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

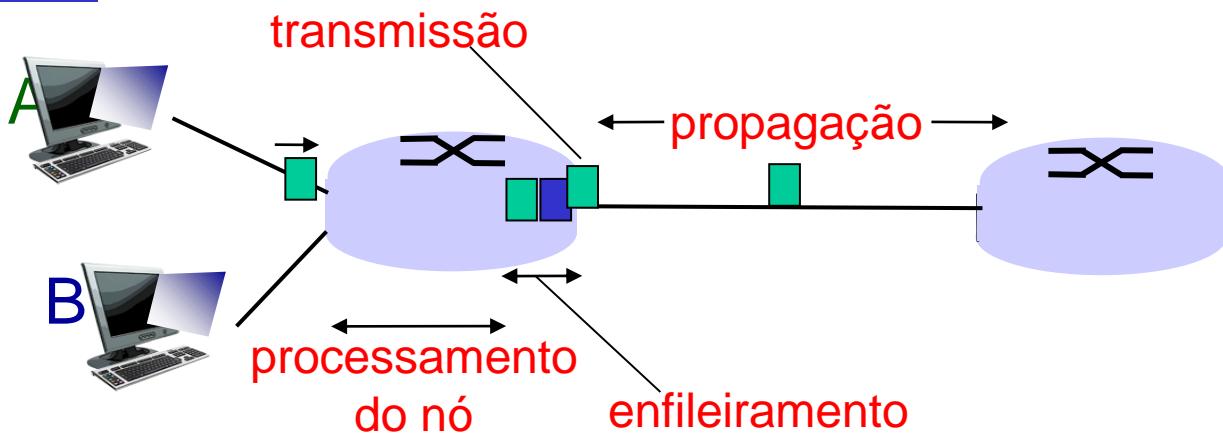
d_{proc} : processamento no nó

- verifica erros de bit
- determina enlace de saída
- tipicamente < mseg

d_{enfil} : atraso de enfileiramento

- tempo esperando no enlace de saída pela vez de transmitir
- depende do nível de congestionamento do roteador

Quatro fontes de atraso dos pacotes



$$d_{\text{nó}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{enfil}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

d_{trans} : atraso de transmissão:

- L: comprimento do pacote (bits)
- R: largura de banda do enlace (bps)
- $d_{\text{trans}} = L/R$

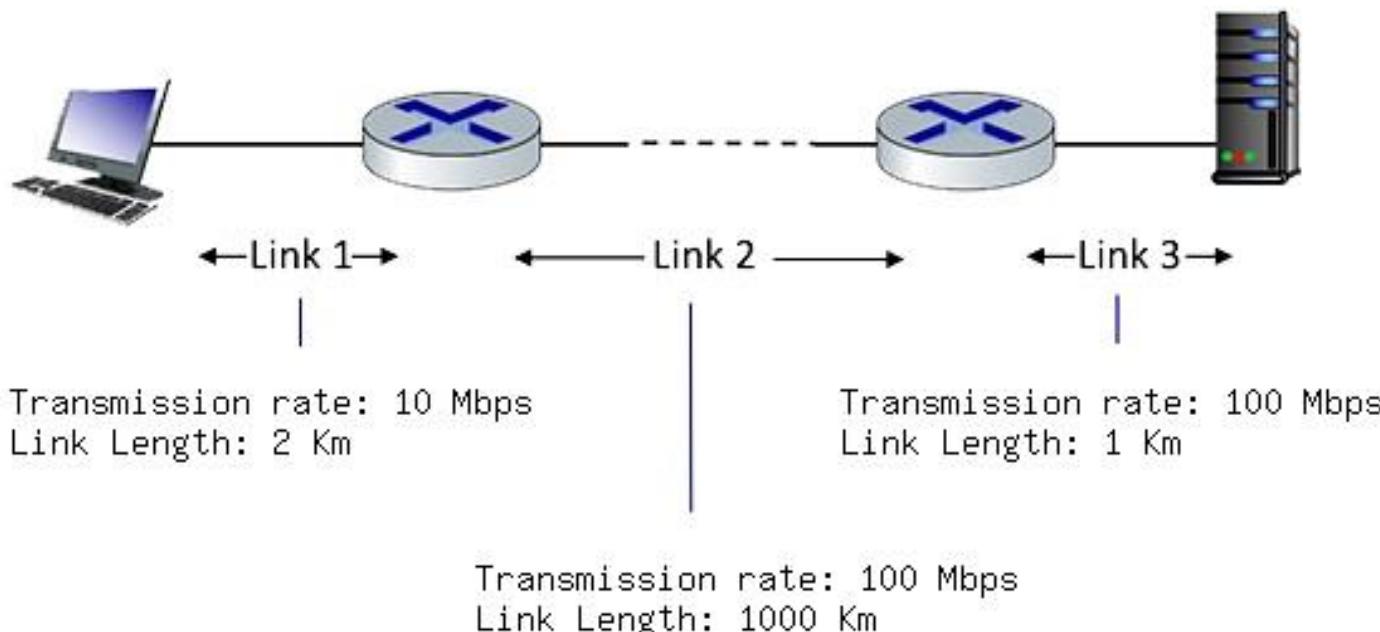
d_{trans} e d_{prop}
muito diferentes

d_{prop} : atraso de propagação

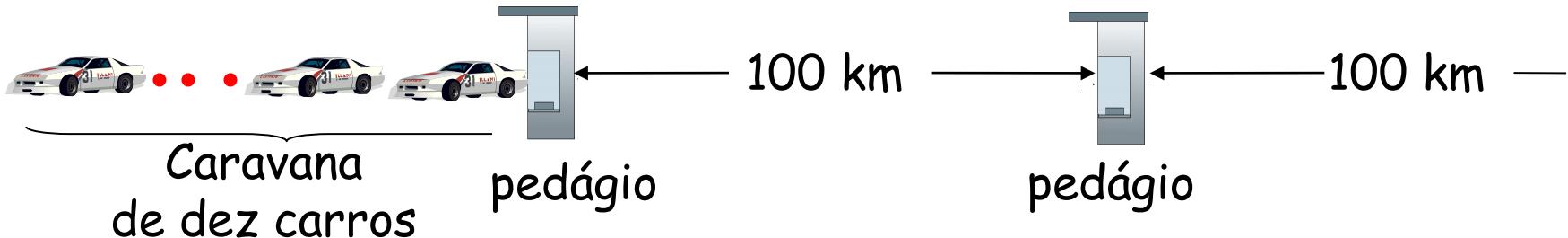
- d: comprimento do enlace físico
- s: velocidade de propagação no meio ($\sim 2 \times 10^8$ m/seg)
- $d_{\text{prop}} = d/s$

1) Considere a rede mostrada na figura abaixo, com três enlaces, cada um com a taxa de transmissão e comprimento de enlace especificados. Suponha que o comprimento de um pacote seja de 9.000 bits. A velocidade do atraso de propagação da luz em cada link é $2,5 \times 10^8$ m/s.

- a) Qual é o atraso de propagação no (ao longo de cada) link 2 e 3?
- b) Qual é o atraso de transmissão do link 1 e 2?



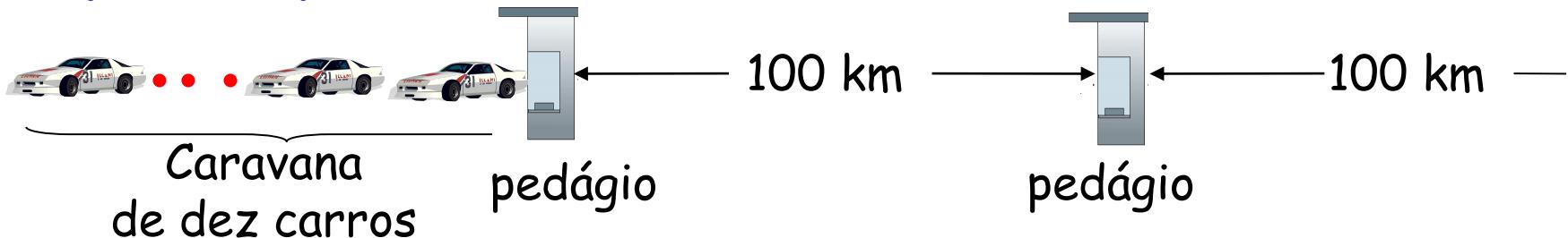
Analogia com uma Caravana



- Os carros se “propagam” a 100 km/h
- O pedágio leva 12 seg para atender um carro (tempo de transmissão)
- carro~bit; caravana ~ pacote
- P: Quanto tempo leva até que a caravana esteja enfileirada antes do segundo pedágio?

- Tempo para “atravessar” toda a caravana através do pedágio para a estrada = $12 * 10 = 120$ seg
- Tempo para que o último carro se propaga do primeiro para o segundo pedágio:
 $100\text{km}/(100\text{km/h})= 1 \text{ h}$
- R: 62 minutos

Analogia com uma caravana (mais)

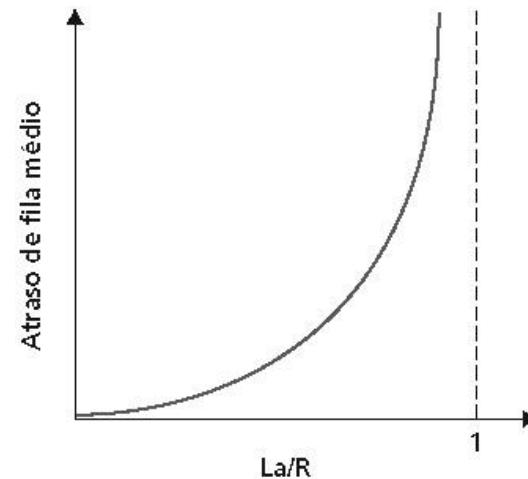


- Os carros agora se "propagam" a 1000 km/h
- Os pedágios agora levam em torno de 1 min para atender um carro
- P: **Os carros chegarão ao segundo pedágio antes que todos os carros tenham sido atendidos no primeiro pedágio?**

- Sim!** Após 7 min, o 1o. Carro chega ao 2o. Pedágio e ainda há 3 carros no 1o. pedágio.
- O 1o. bit do pacote pode chegar ao 2o. Roteador antes que o pacote tenha sido totalmente transmitido no 1o. roteador!

Atraso de enfileiramento

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



intensidade de tráfego = La/R

- $La/R \sim 0$: pequeno atraso de enfileiramento
- $La/R \rightarrow 1$: grande atraso
- $La/R > 1$: chega mais "trabalho" do que a capacidade de atendimento, atraso médio infinito!

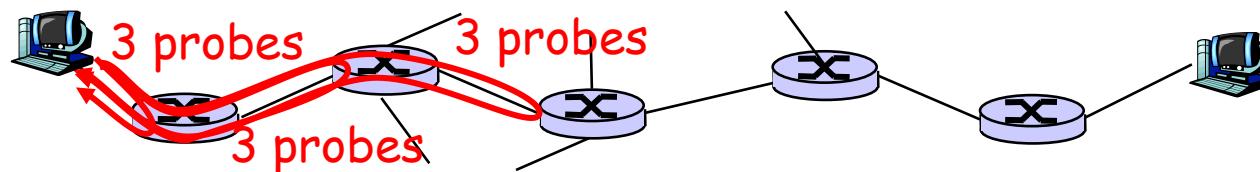
$La/R \sim 0$



$La/R \rightarrow 1$

Atrasos e rotas “reais” da Internet

- Como são os atrasos e as perdas reais da Internet?
- Programa traceroute: fornece medições de atraso da fonte até os diversos roteadores ao longo do caminho fim-a-fim até o destino. Para cada i :
 - Envia três pacotes que alcançarão o roteador i no caminho até o destino.
 - O roteador i devolverá os pacotes ao transmissor
 - O transmissor calcula o intervalo de tempo decorrido entre a transmissão e a chegada da resposta.



Atrasos e rotas "reais"

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

Três medições de atraso de
gaia.cs.umass.edu p/cs-gw.cs.umass.edu



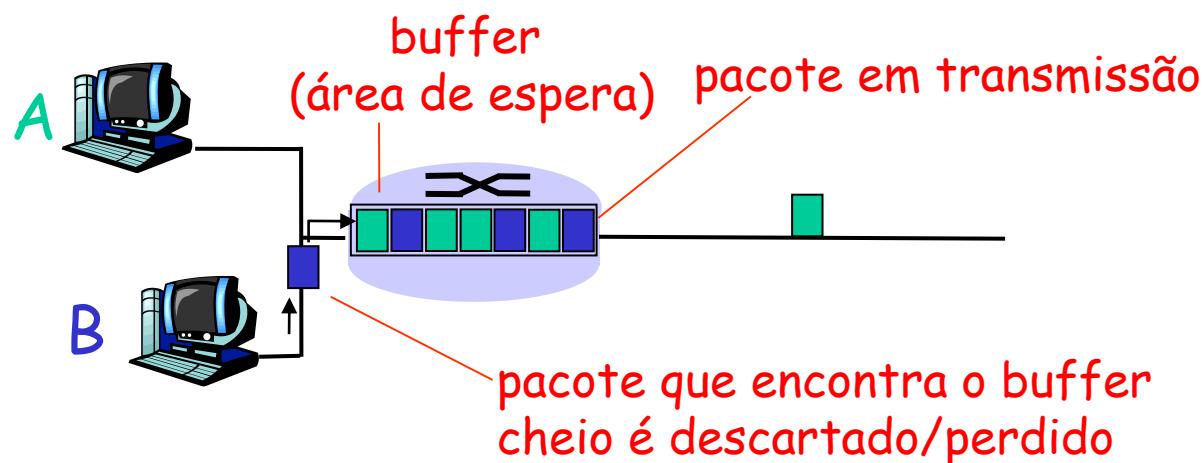
```
1 cs-gw (128.119.240.254) 1 ms 1 ms 2 ms
2 border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145) 1 ms 1 ms 2 ms
3 cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130) 6 ms 5 ms 5 ms
4 jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129) 16 ms 11 ms 13 ms
5 jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136) 21 ms 18 ms 18 ms
6 abilene-vbns.abilene.ucaid.edu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

link transoceânico

* sem resposta (pacote perdido, roteador não responde)

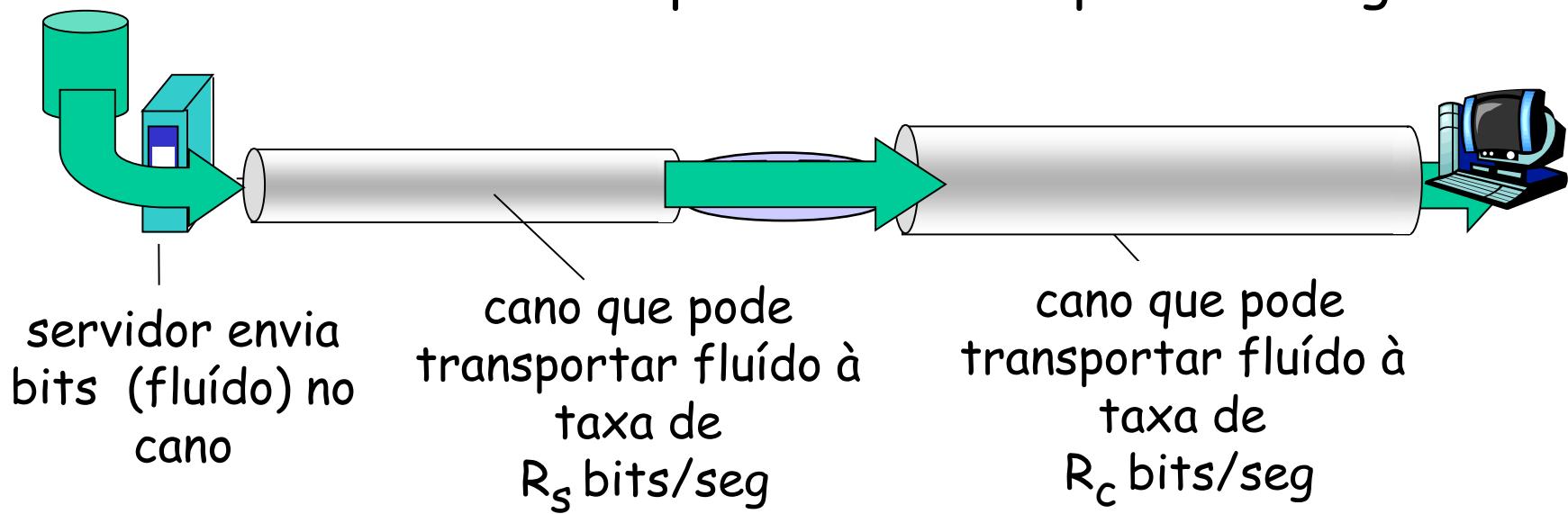
Perda de pacotes

- ❑ fila (buffer) anterior a um canal possui capacidade finita
- ❑ quando um pacote chega numa fila cheia, o pacote é descartado (perdido)
- ❑ o pacote perdido pode ser retransmitido pelo nó anterior, pelo sistema origem, ou não ser retransmitido



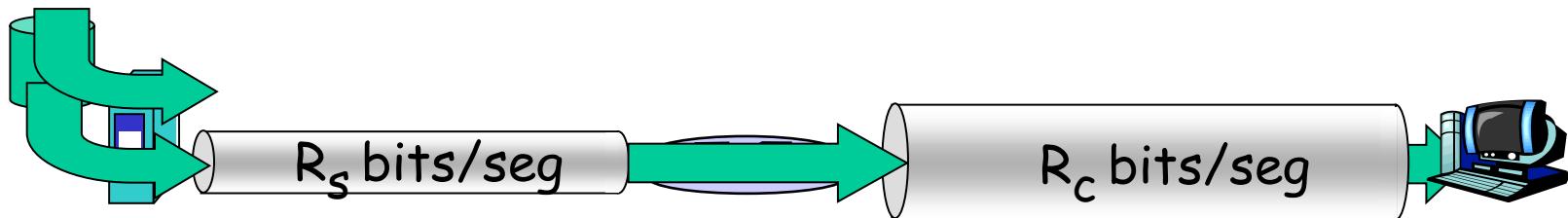
Vazão (Throughput)

- **vazão**: taxa (bits/unidade de tempo) na qual os bits são transferidos entre o transmissor e o receptor
 - *instantânea*: taxa num certo instante de tempo
 - *média*: taxa num período de tempo mais longo

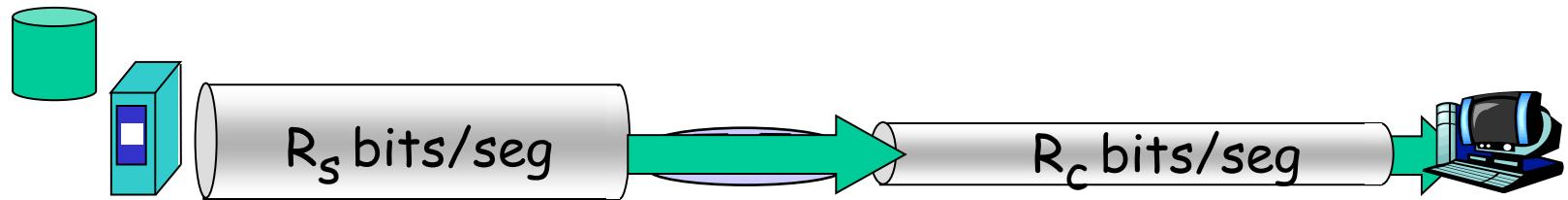


Vazão (mais)

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



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

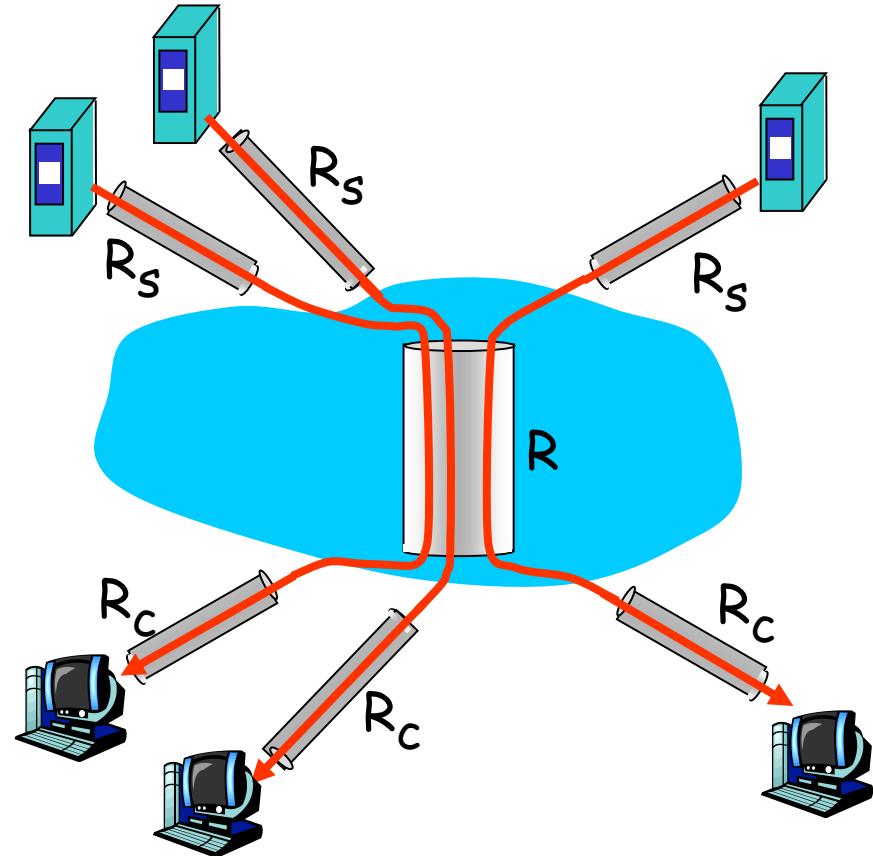


Enlace gargalo

link no caminho fim-a-fim que restringe a vazão fim-a-fim

Vazão: cenário da Internet

- ❑ vazão por conexão fim-a-fim:
 $\min(R_c, R_s, R/10)$
- ❑ na prática: R_c ou R_s são frequentemente o gargalo



10 conexões compartilham (de modo justo) o enlace gargalo do backbone de R bits/seg

Roteiro do Capítulo 1

1.1 O Que é a Internet?

1.2 A Borda (Periferia) da Internet

1.3 O Núcleo da Rede

1.4 Atraso, perda e vazão em redes de comutação de pacotes

1.5 Camadas de protocolos e seus modelos de serviços

1.6 Redes sob ameaça

1.7 História das redes de computadores e da Internet

"Camadas" de Protocolos

As redes são complexas!

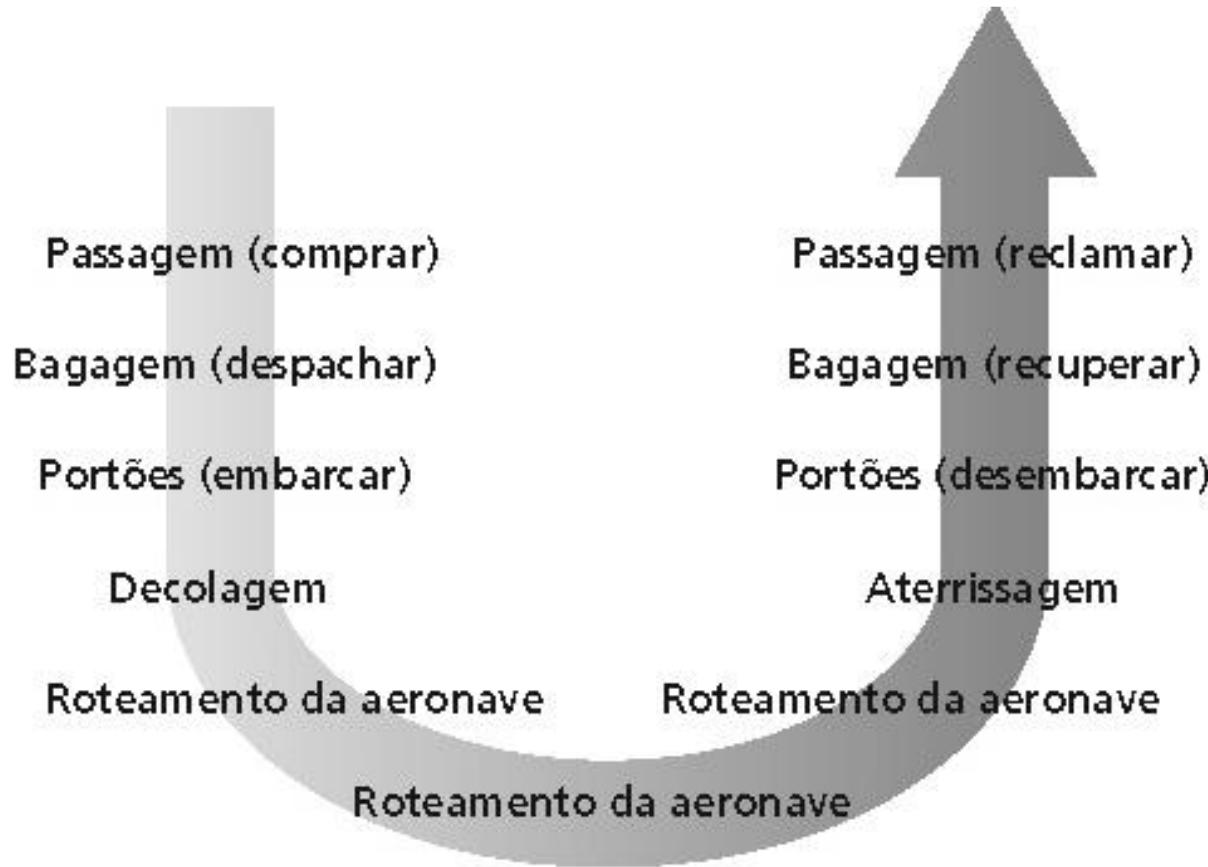
- muitos "pedaços":
 - hosts
 - roteadores
 - enlaces de diversos meios
 - aplicações
 - protocolos
 - hardware, software

Pergunta:

Há alguma esperança em conseguirmos organizar a estrutura da rede?

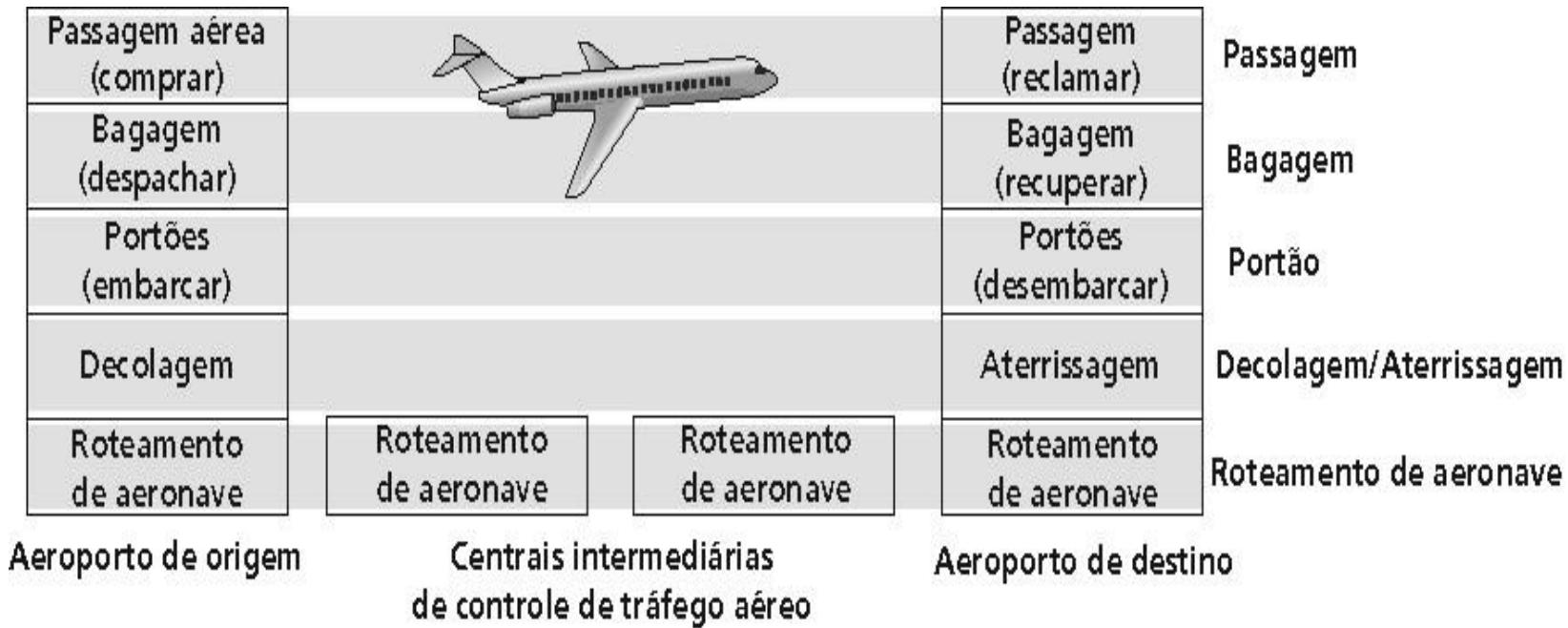
Ou pelo menos a nossa discussão sobre redes?

Organização de uma viagem aérea



- Uma série de passos/ações

Funcionalidade de uma linha aérea em camadas



Camadas: cada camada implementa um serviço

- através de ações internas à camada
- depende dos serviços providos pela camada inferior

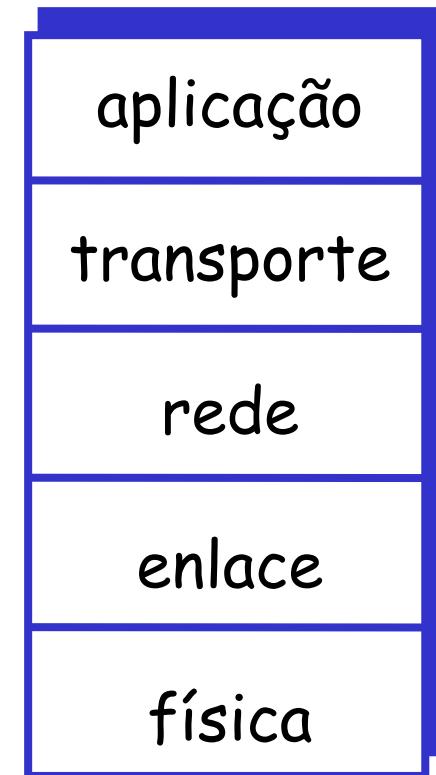
Por que dividir em camadas?

Lidar com sistemas complexos:

- estrutura explícita permite a identificação e relacionamento entre as partes do sistema complexo
 - modelo de referência em camadas para discussão
- modularização facilita a manutenção e atualização do sistema
 - mudança na implementação do serviço da camada é transparente para o resto do sistema
 - ex., mudança no procedimento no portão não afeta o resto do sistema
- divisão em camadas é considerada prejudicial?

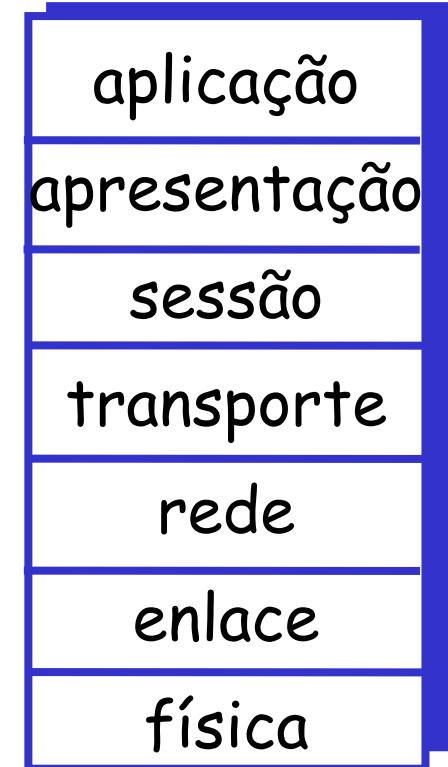
Pilha de protocolos Internet

- **aplicação:** dá suporte a aplicações de rede
 - FTP, SMTP, HTTP
- **transporte:** transferência de dados processo a processo
 - TCP, UDP
- **rede:** repasse (encaminhamento) de datagramas da origem até o destino
 - IP, protocolos de roteamento
- **enlace:** transferência de dados entre elementos de rede vizinhos
 - PPP, Ethernet, 802.11
- **física:** bits "no fio"

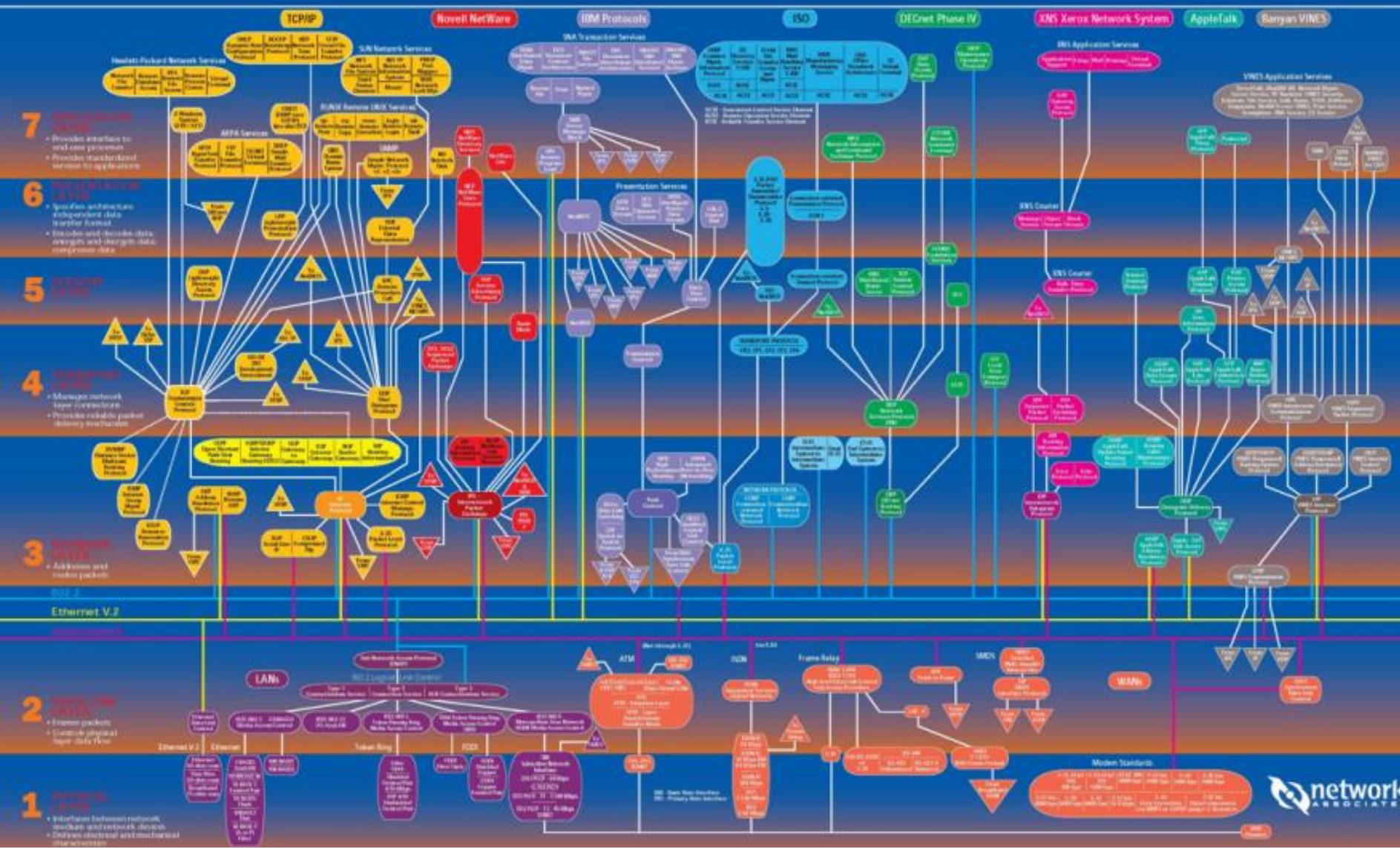


Modelo de referência ISO/OSI

- **apresentação:** permite às aplicações interpretar o significado dos dados, ex., cifragem, compressão, convenções específicas de máquina
- **sessão:** sincronização, verificação, recuperação da troca de dados
- a pilha Internet não contém estas camadas!
 - estes serviços, caso necessários, devem ser implementados na aplicação
 - eles são necessários?



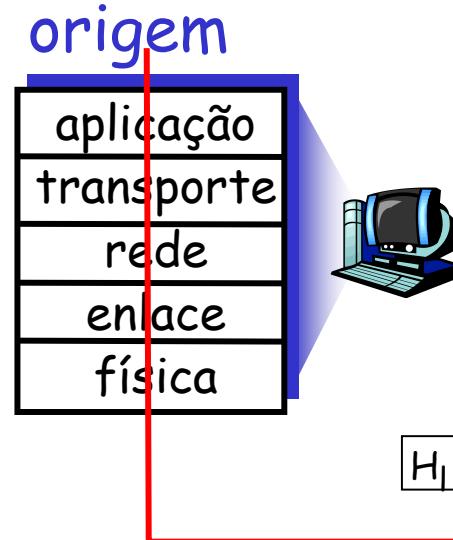
NETWORK ASSOCIATES GUIDE TO COMMUNICATIONS PROTOCOLS



1: Introdução

Encapsulamento

mensagem	M
segmento	H _t M
datagrama	H _l H _n H _t M
quadro	H _l H _n H _t M

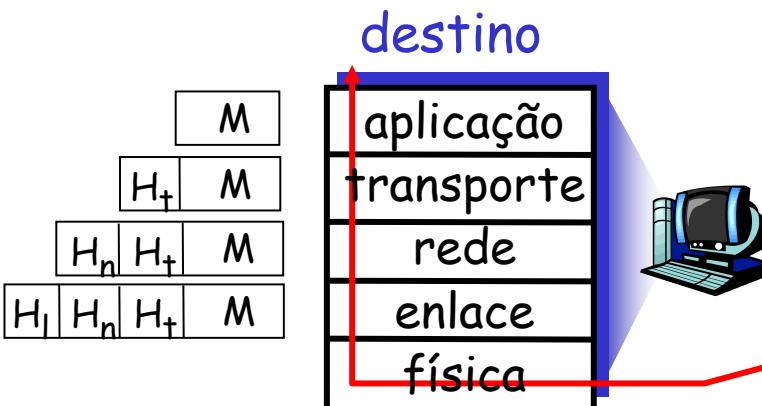


H_l H_n H_t M

enlace
física

H_l H_n H_t M

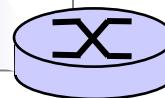
switch



H_n H_t M
H_l H_n H_t M

rede
enlace
física

H_n H_t M
H_l H_n H_t M



roteador