

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

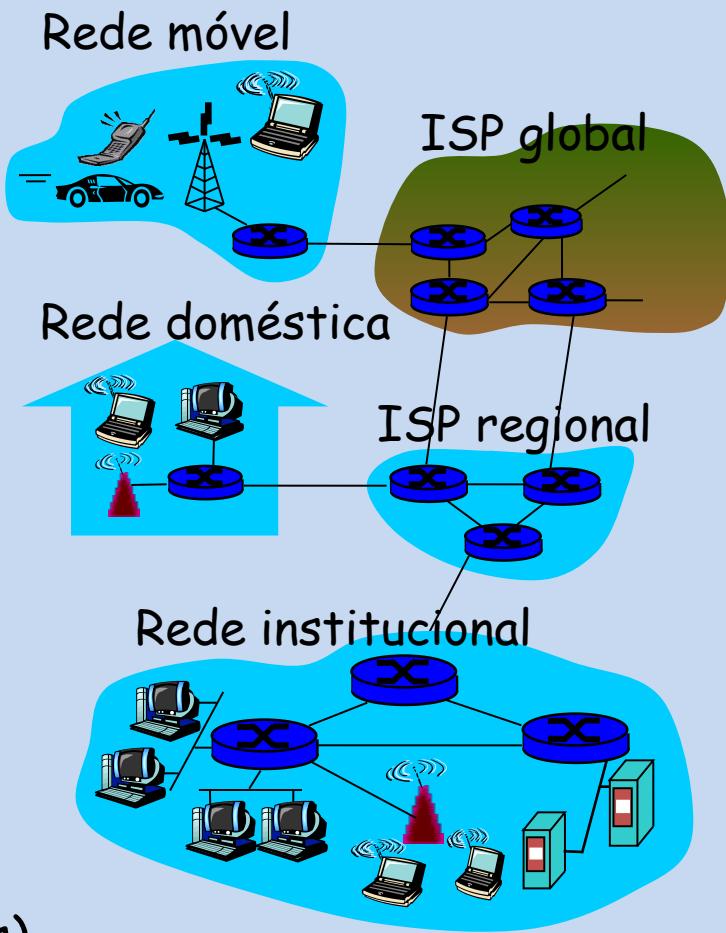
1.6 Redes sob ataque: segurança

1.7 História

O que é a Internet: visão básica

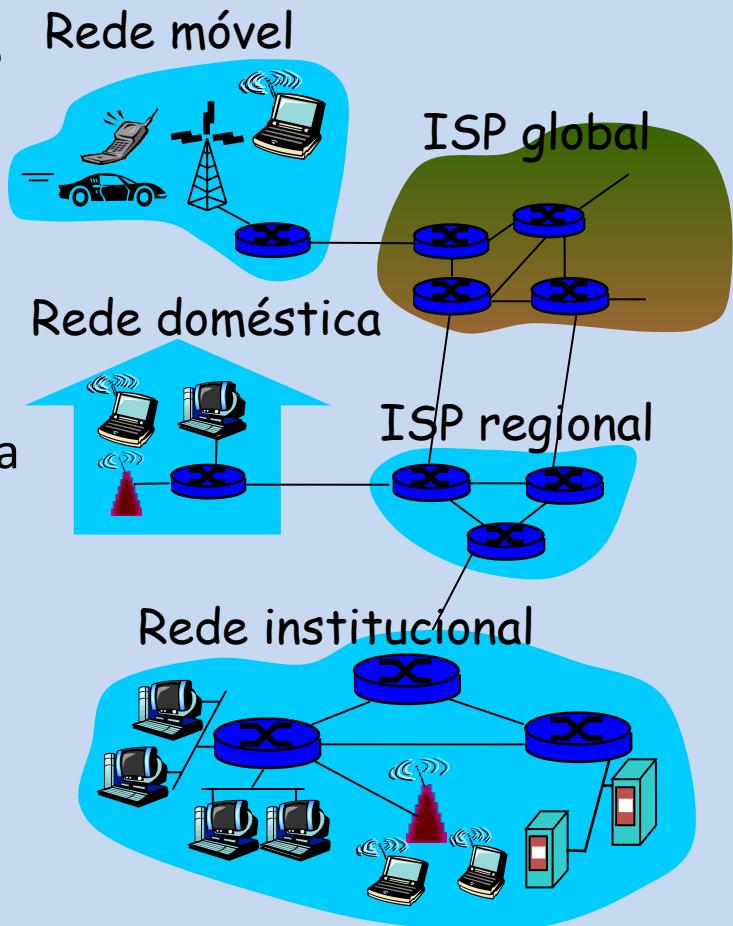
- PC
- servidor
- laptop sem fio
- celular portátil
- pontos de acesso
- enlaces com fio
- roteador

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



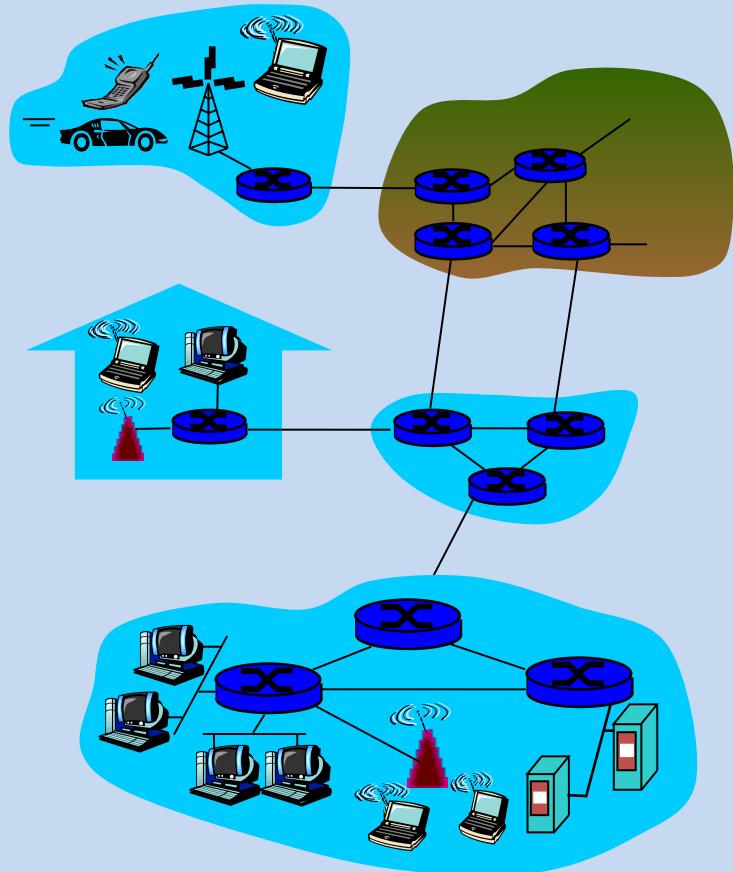
O que é a Internet: elementos básicos

- **Protocolos** para 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: visão de serviço

- *infraestrutura de comunicação* possibilita aplicações distribuídas:
 - Web, VoIP, e-mail, jogos, e-commerce, compartilhamento de arquivos
- *tipo de serviços 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

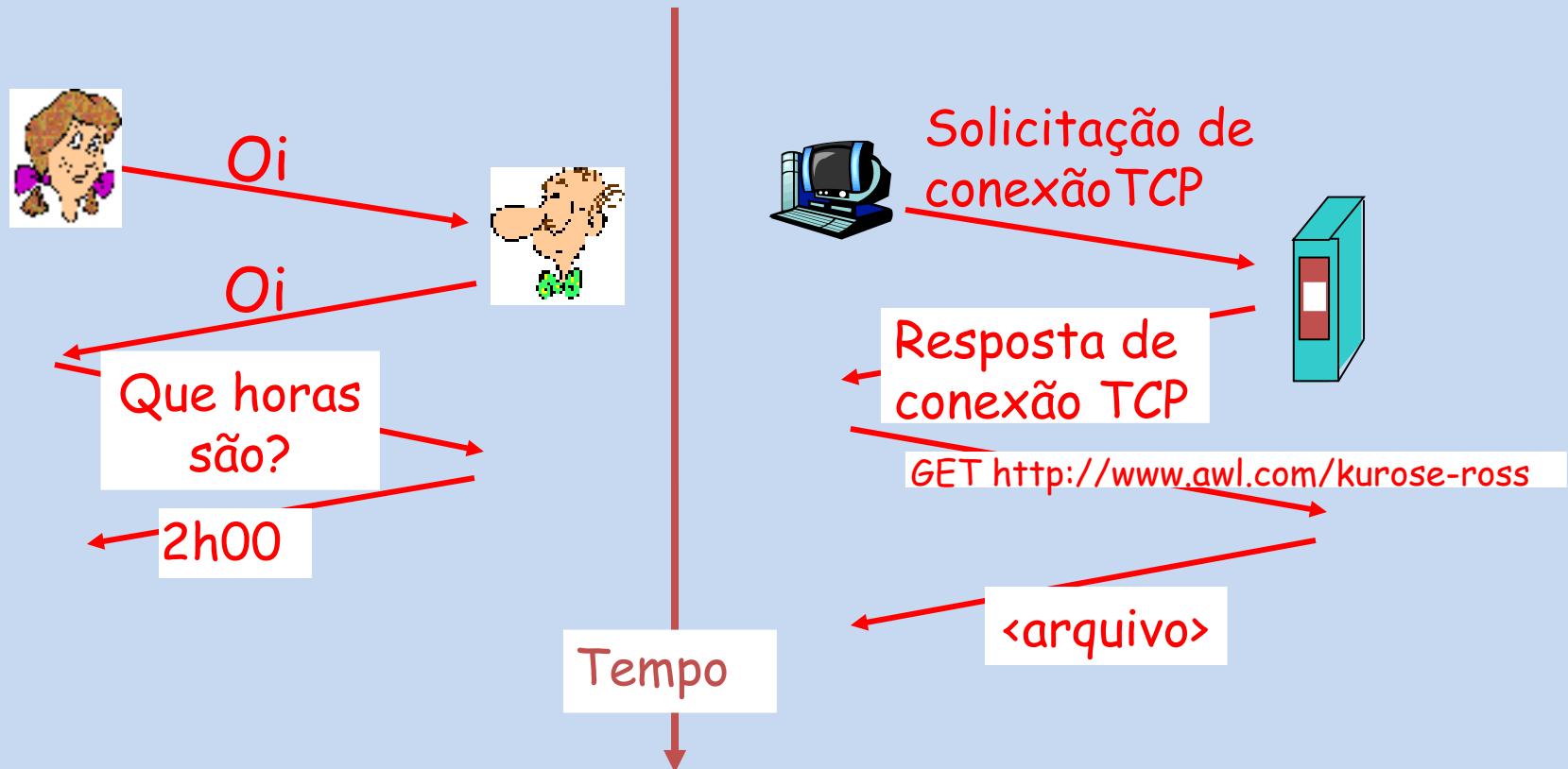
protocolos de rede:

- máquinas em vez de humanos
- toda atividade na Internet controlada por protocolos
- Protocolos entre entidades da mesma camada

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

Protocolos

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

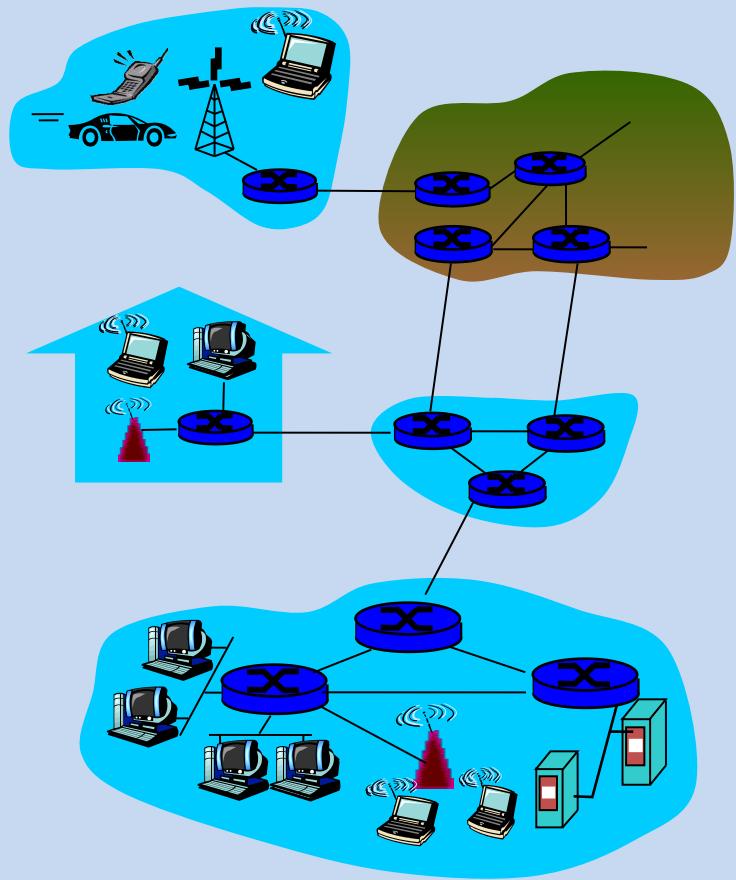
1.5 Camadas de protocolo, modelos de serviço

1.6 Redes sob ataque: segurança

1.7 História

Visão da estrutura de rede

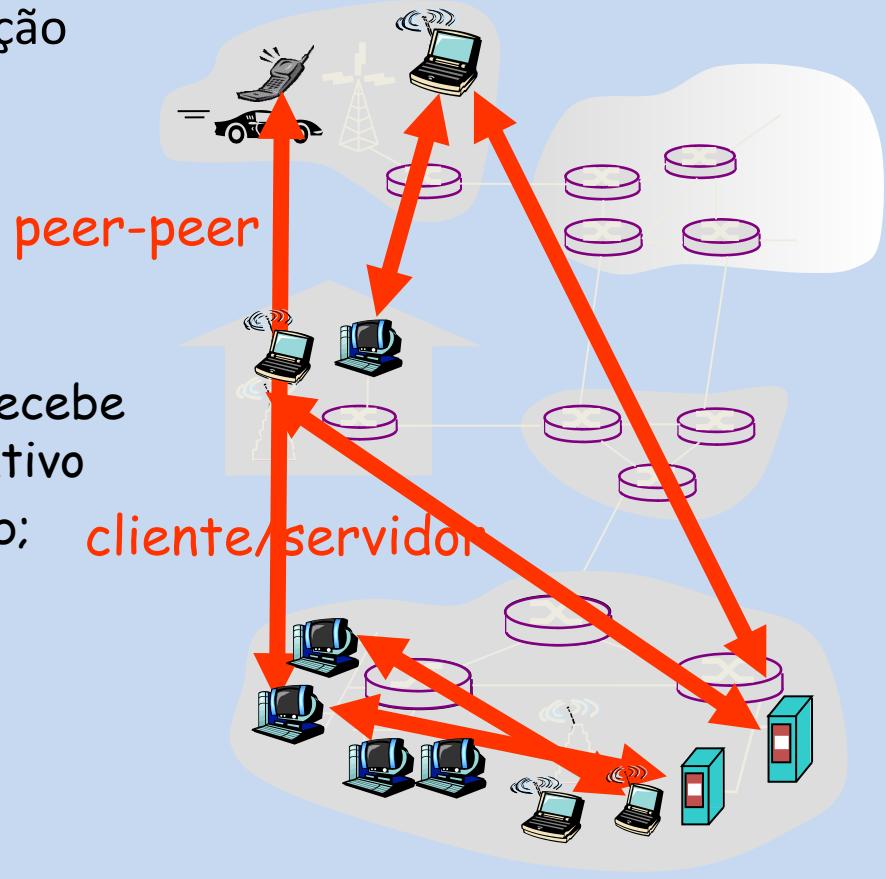
- ❑ **borda da rede:** aplicações e hospedeiros
- ❑ **redes de acesso, meios físicos:** enlaces de comunicação com e sem fio
- ❑ **núcleo da rede:**
 - ❖ roteadores interconectados
 - ❖ rede de redes



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

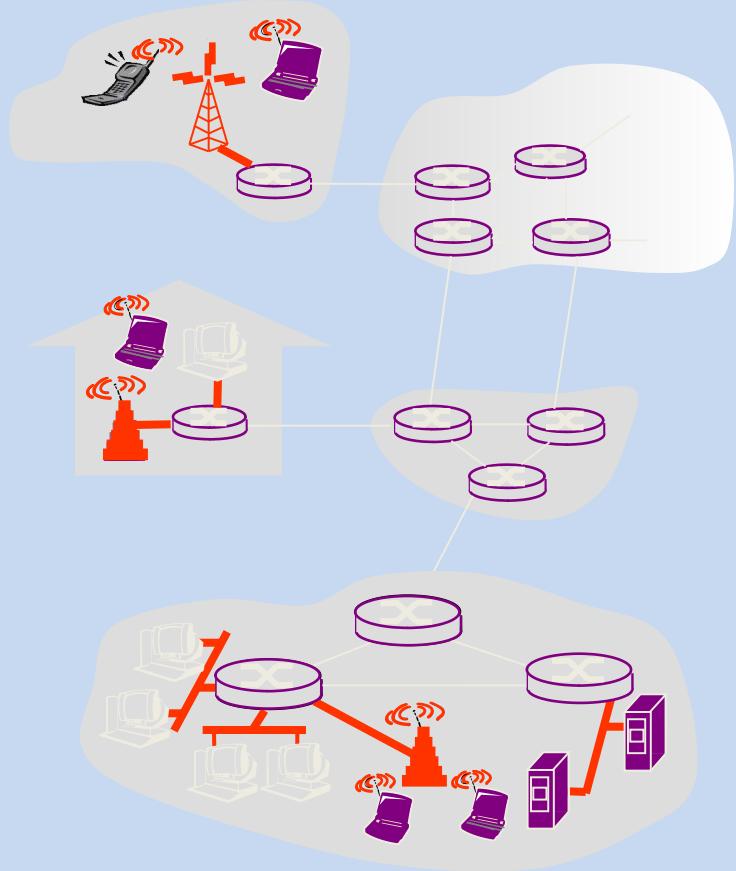
Redes de acesso e meios físicos

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:

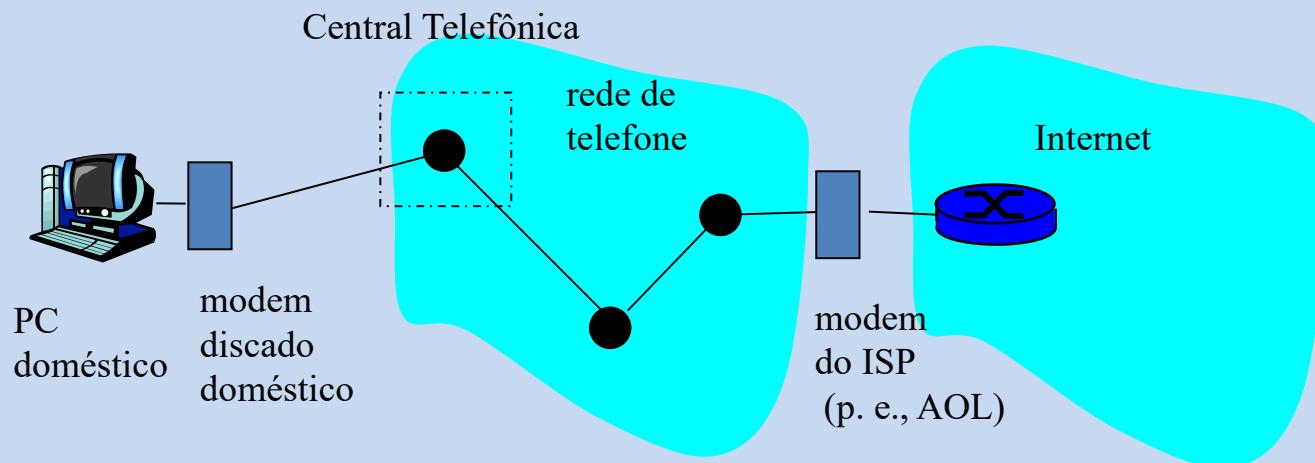
- largura de banda (bits por segundo) da rede de acesso?
- compartilhado ou dedicado?



Princípios de Telecomunicação

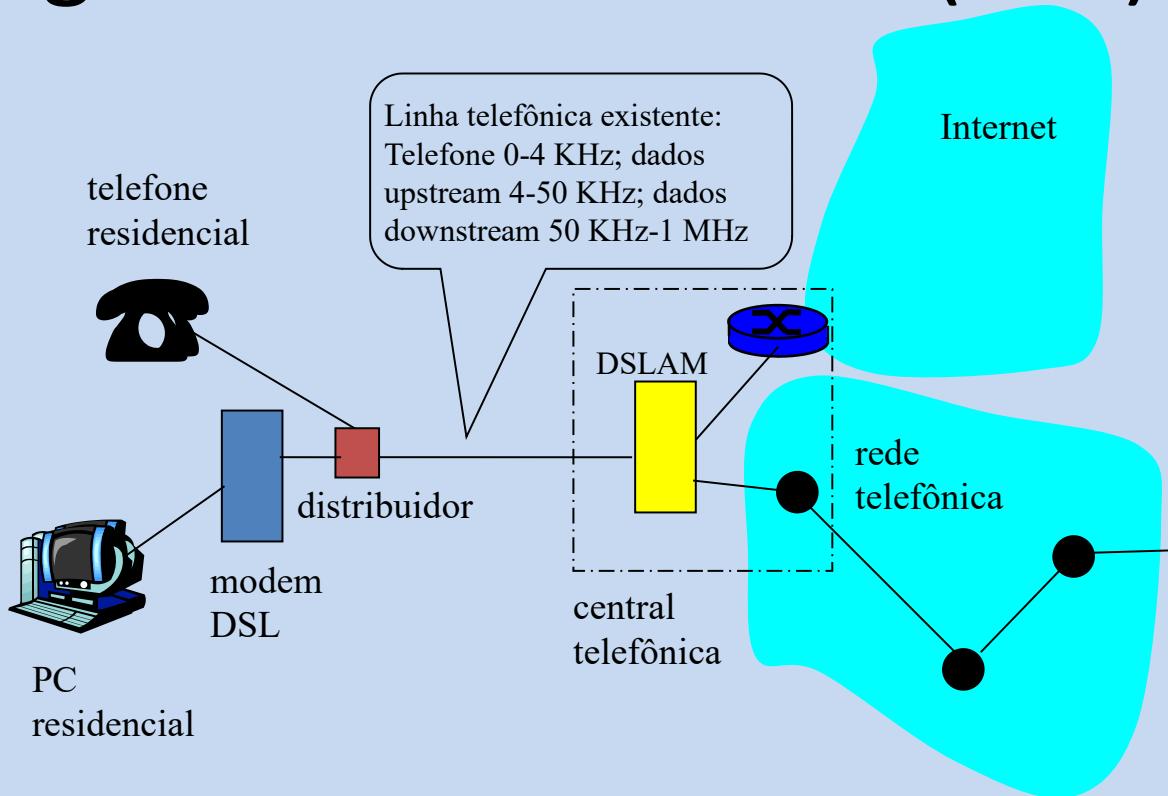
- Princípios de Telecomunicação
 - Todo este conteúdo dos slides de princípios são complementares ao livro texto, mas estão abordados na livro do Comer e do Forouzan
 - Alguns slides extras sobre redes de acesso e meios físicos foram inseridos entre os slides originais do capítulo 1 e serão vistos mais adiante

Modem discado do passado



- ❖ Usava infraestrutura de telefonia existente conectada à central telefônica (**PBX**) por par trançado
- ❖ Até 56 Kbps de acesso direto ao roteador (geralmente menos)
- ❖ Não podia navegar e telefonar ao mesmo tempo

Digital Subscriber Line (DSL)

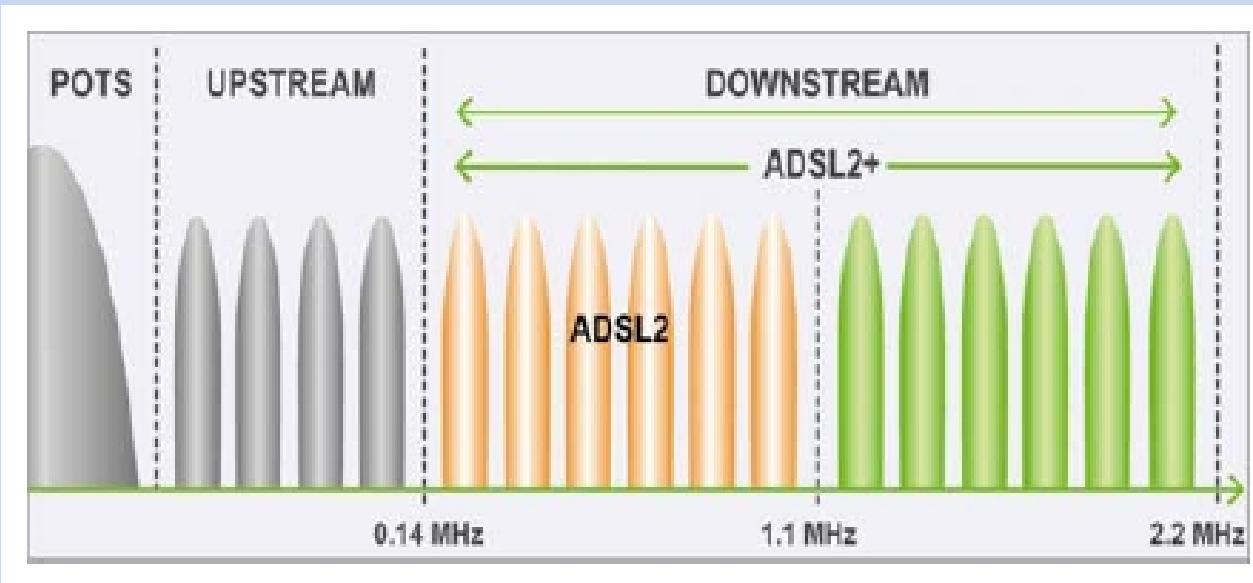


- ❖ Usa toda a banda de passagem do par trançado telefônico, reservando a faixa 0-4 KHz para a voz (POTS ou Plain Old Telephone System)
- ❖ Download e upload em bandas de frequência diferentes
- ❖ *Serviços mais antigos: Vivo speedy, Velox Oi*

ADSL (Asymmetric DSL)

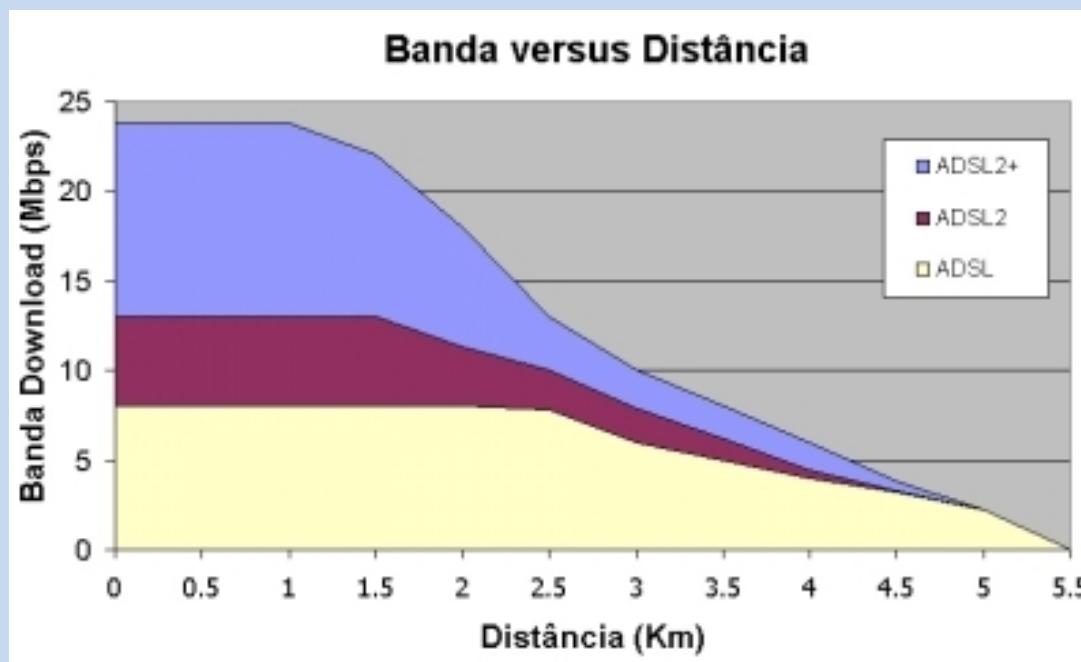
- **ADSL (1^a geração)**
 - 8 Mbps downstream e 1 Mbps upstream
 - 4 000 baud, 15 bits/símbolo p/ canal, 254 canais \Rightarrow 13,44 Mbps (teórico)
 - Relação SNR reduz a taxa real
 - Até 5,5 km (2 Mbps) ou 2,7 km (8,4 Mbps)
- **ADSL2/2+ (2^a geração)**
 - Usa codificação mais imune a interferências e ruídos, dobrando a banda de passagem para 2,2 MHz
 - Auto diagnóstico mede as características de ruído, a relação SNR e a atenuação nos dois lados da linha
 - 24 Mbps downstream e até 3 Mbps upstream

ADSL2+



- **TELUS** em Alberta e British Columbia, Canada, opera ADSL2+ (G.992.5 annex A) up to 25 Mbit/s downstream, 6 Mbit/s upstream.

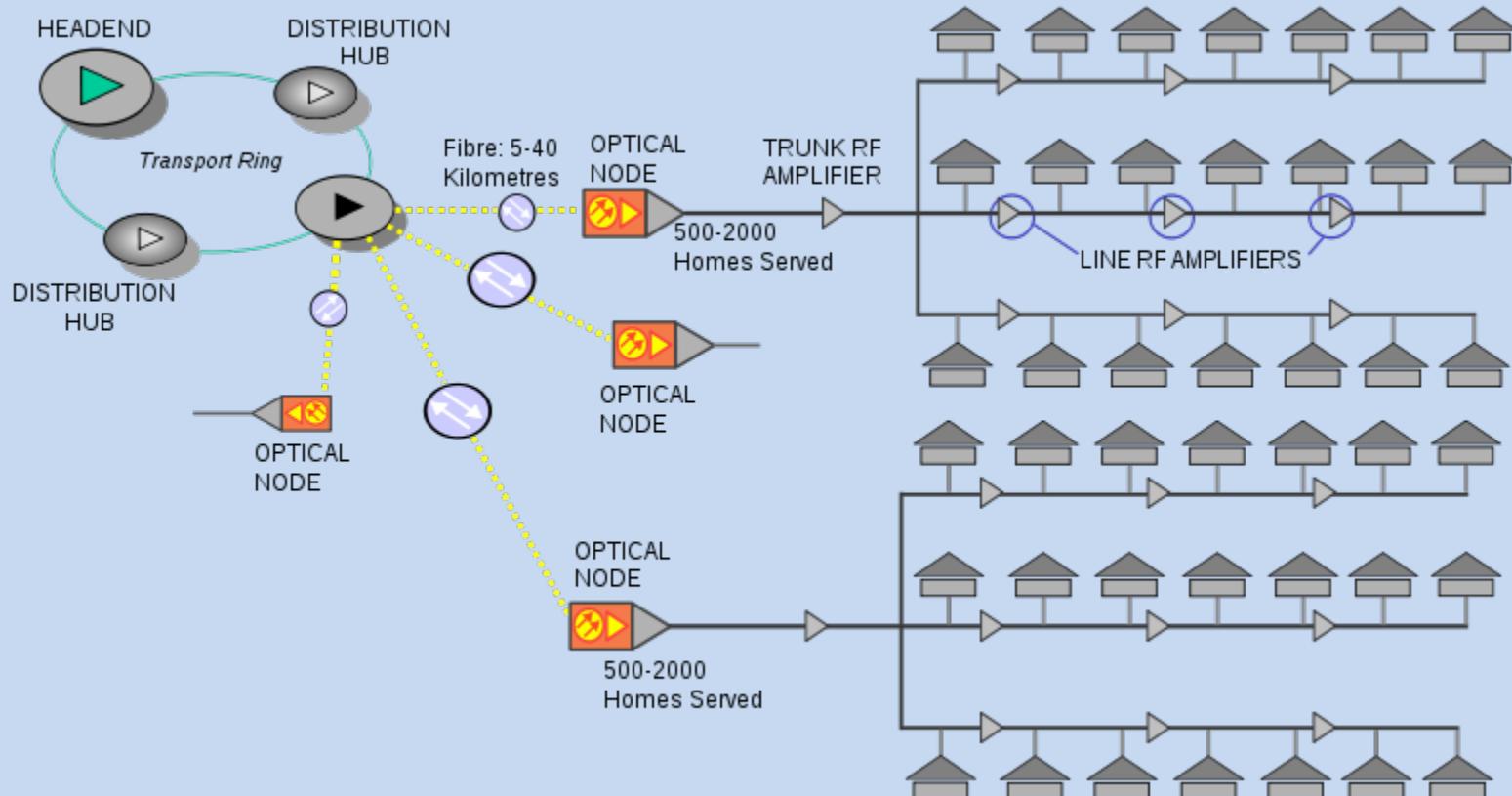
Comparativo ADSL vs ADSL2



Acesso residencial via modem a cabo

- Usa a infraestrutura de TV a cabo
- HFC (Hybrid Fiber Coax): rede de cabo e fibra conecta casas ao roteador ISP
- Casas compartilham acesso ao roteador
- Diferente de DSL, que tem acesso dedicado

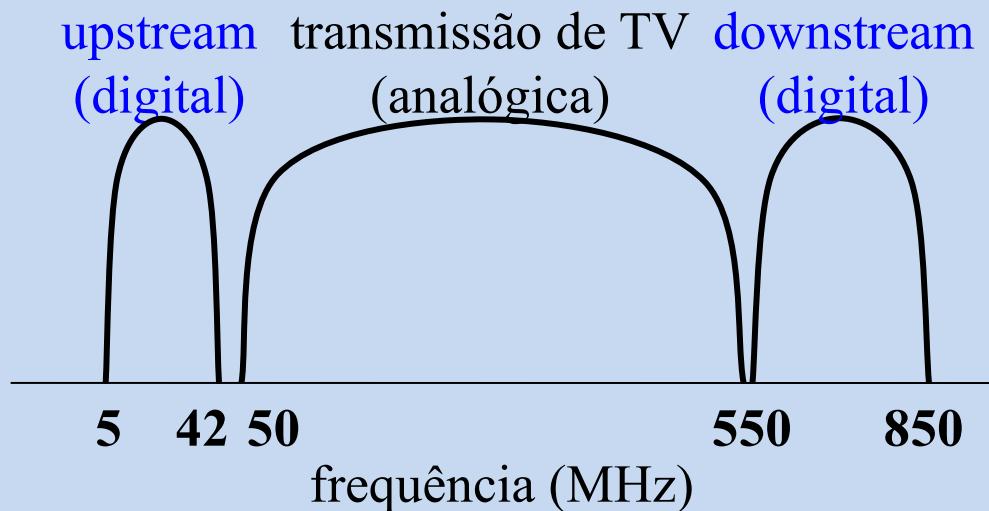
HFC (http://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_fibre-coaxial)



- HFC (hybrid fiber coaxial): rede banda larga com uso de fibra ótica e coaxial
- Conecta milhares de residências, mas coaxial pode estar apenas nas residências para prover múltiplos pontos

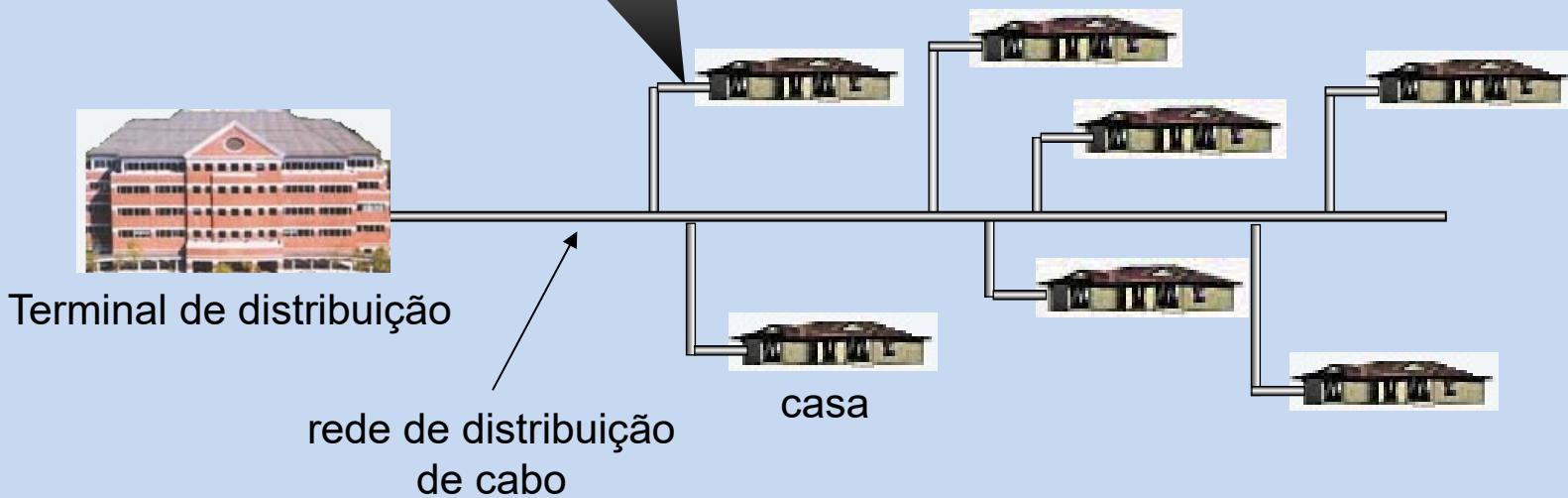
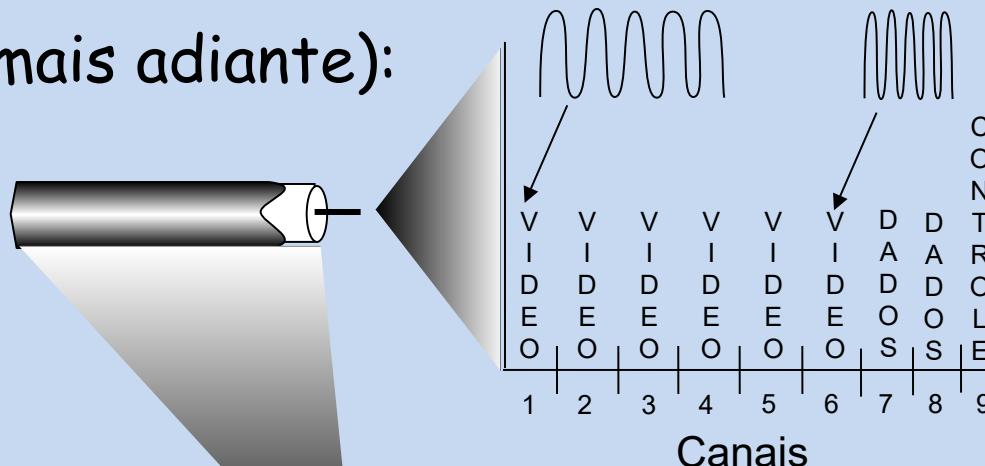
Cable Modem ou Modem a Cabo

- Utiliza a infraestrutura bidirecional de TV a cabo, onde a banda do cabo ($> 1 \text{ GHz}$) é dividida em canais: dados (upstream e downstream), vídeo e controle
- Os canais de dados são compartilhados por todos os usuários
 - Exemplo de uso da banda do cabo



Arquitetura de rede a cabo: visão geral

FDM (mais adiante):



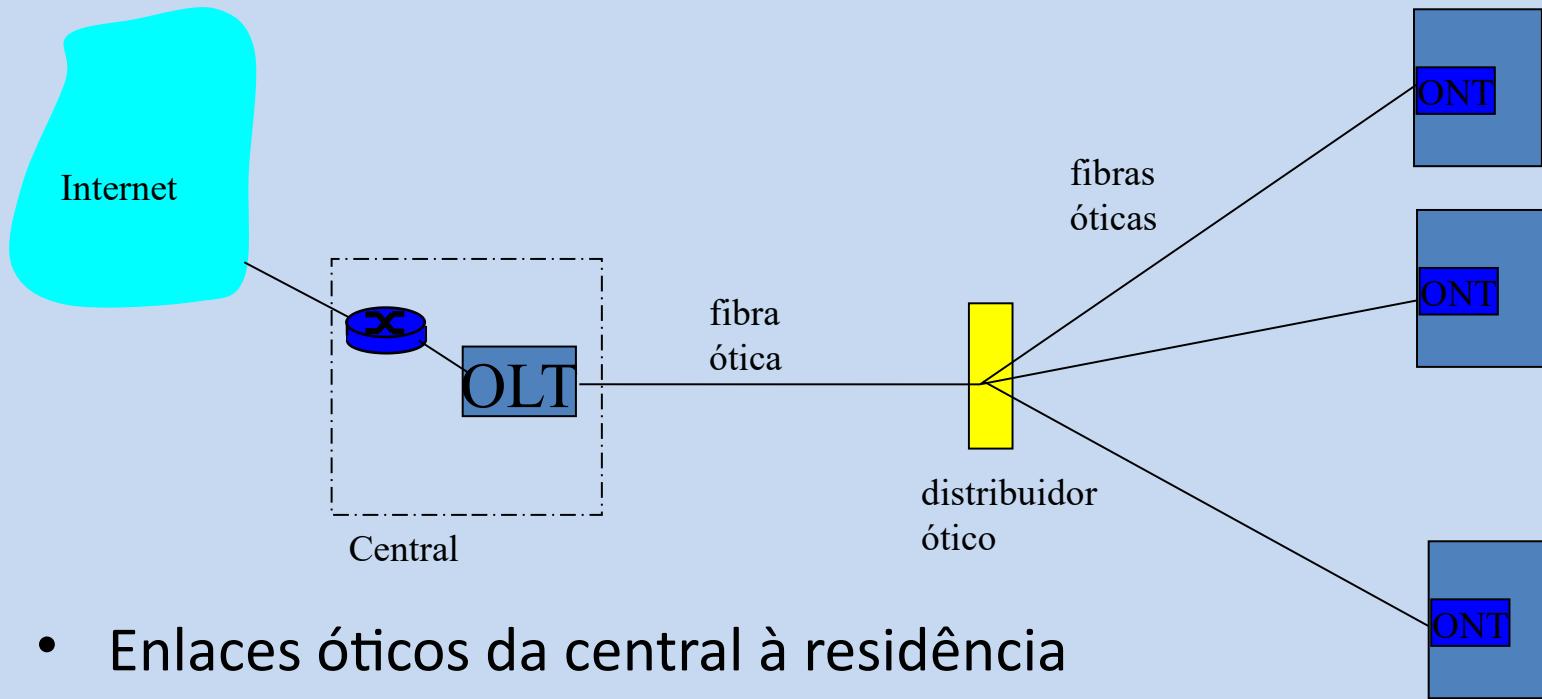
Padrões DOCSIS (CableLabs)

- Modems a cabo usam os padrões DOCSIS
 - DOCSIS 3.0 (2006)
 - 152 Mbps/108 Mbps, codificação **256 QAM/64 QAM**
 - DOCSIS 3.1 (2013)
 - 10 Gbps/1Gbps, **4096-QAM até 16384-QAM**
 - DOCSIS 3.1 full duplex (2016)
 - 10 Gbps/10 Gbps
- DOCSIS 3.1 tem mais imunidade e robustez com uso de múltiplos canais de baixa velocidade (portadora de 10 a 50 KHz), sem sobreposição de canais e menor interferência entre símbolos (crosstalk)

Modems a Cabo Atuais

- <http://www.tomsguide.com/us/best-modems,review-2832.html>
- Netgear CM500 (US \$54)
 - Listado: Download/Upload 686/132 Mbps (canais: 16 down, 4 up)
- ARRIS SB6183 (US \$ 70, anterior a US\$ 150)
 - Listado: Download/Upload 686/132 Mbps (canais: 16 down, 4 up)
- NETGEAR CM600 (US \$100)
 - Listado: Download/Upload 960/240 Mbps (canais: 24 down, 8 up)

Fibra nas residências



- Enlaces ópticos da central à residência
- Duas tecnologias ópticas concorrentes
 - Passive Optical Network (PON) (derivação ótica em estrela 1:n passiva)
 - Active Optical Network (AON) (distribuição com repetição óptica ativa)
- Internet bem rápida + serviços de TV e telefone sobre fibra

Conectividade com Fibra pela operadora Telus, Canadá

Only TELUS PureFibre runs 100% fibre direct to your home.

Up to 9x faster upload speeds than Shaw¹ and faster Wi-Fi for smooth and seamless work from home video calls, or lag-free gaming. Get hassle-free connections no matter what your neighbours are doing.²

[Explore plans and speeds](#)

PureFibre Internet 75/75

\$75 /mo. \$105 /mo.

Save \$30/mo. for 24 months

75 Mbps download speed²

75 Mbps upload speed

1-10 devices streaming or gaming

Wi-Fi 6 included the fastest Wi-Fi

2 year term

Order online for a \$50 bill credit and no \$50 activation fee.³

[Select this plan](#)

Most popular

Faster

PureFibre Gigabit Internet

\$89 /mo. \$135 /mo.

Save \$46/mo. for 24 months

940 Mbps download speed²

940 Mbps upload speed

20+ devices streaming or gaming

Wi-Fi 6 included the fastest Wi-Fi

2 year term

Order online for a \$50 bill credit and no \$50 activation fee.³

[Select this plan](#)

Fastest

PureFibre 1.5 Gigabit Internet

\$109 /mo. \$155 /mo.

Save \$46/mo. for 24 months

1500 Mbps download speed²

940 Mbps upload speed

30+ devices streaming or gaming

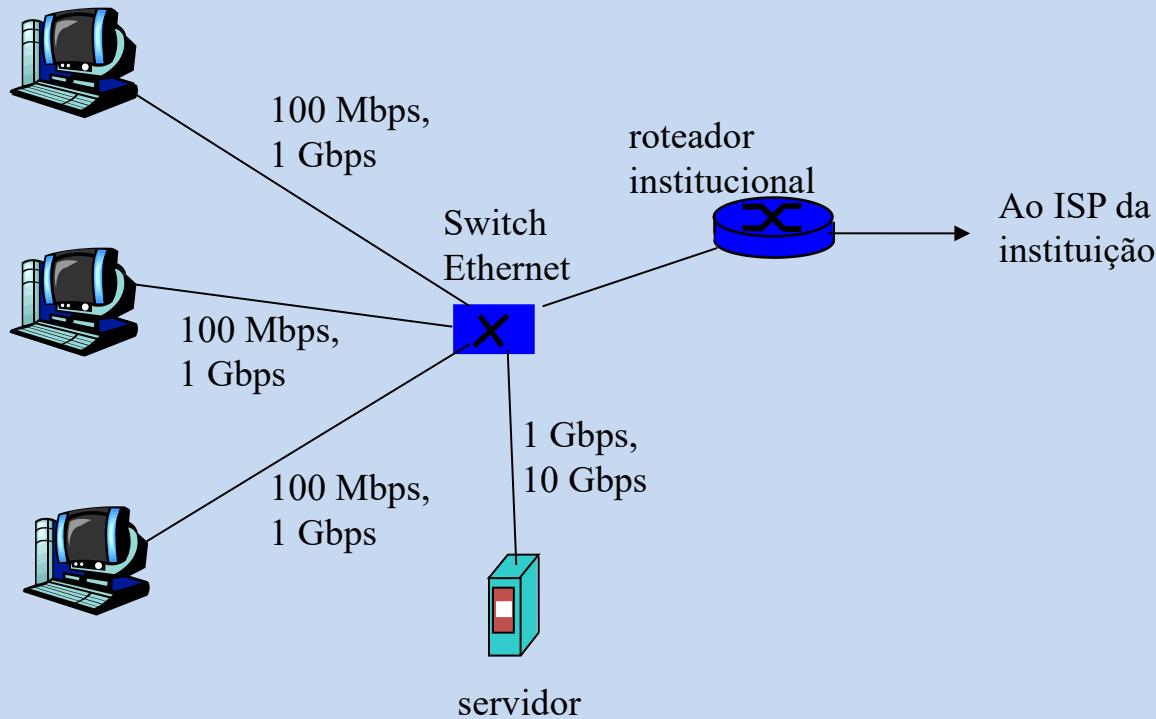
Wi-Fi 6 included the fastest Wi-Fi

2 year term

Order online for a \$50 bill credit and no \$50 activation fee.³

[Select this plan](#)

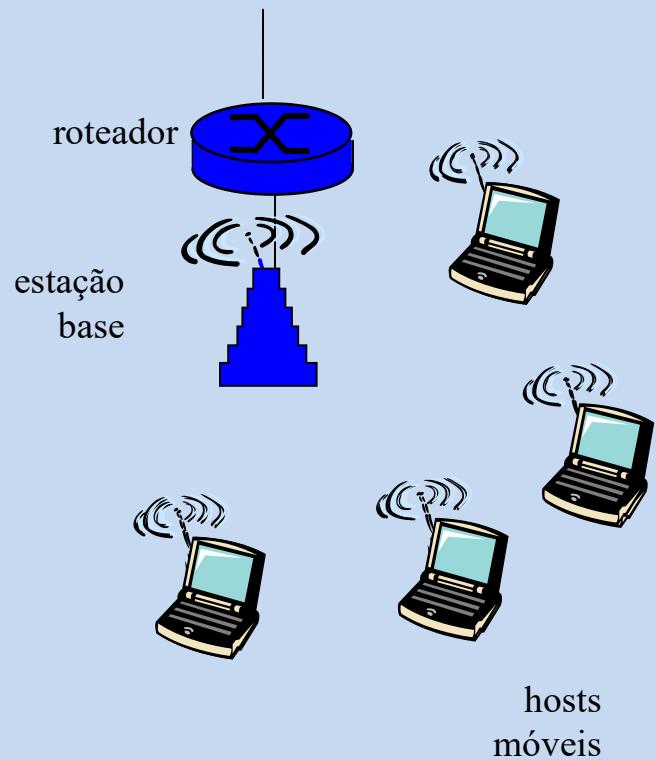
Acesso à Internet por Ethernet



- Normalmente usado em empresas, universidade etc.
- ❑ Ethernet Full Duplex a 100 Mbps, 1 Gbps, 10 Gbps
- ❑ Sistemas finais conectados ao comutador Ethernet

Redes de acesso sem fio

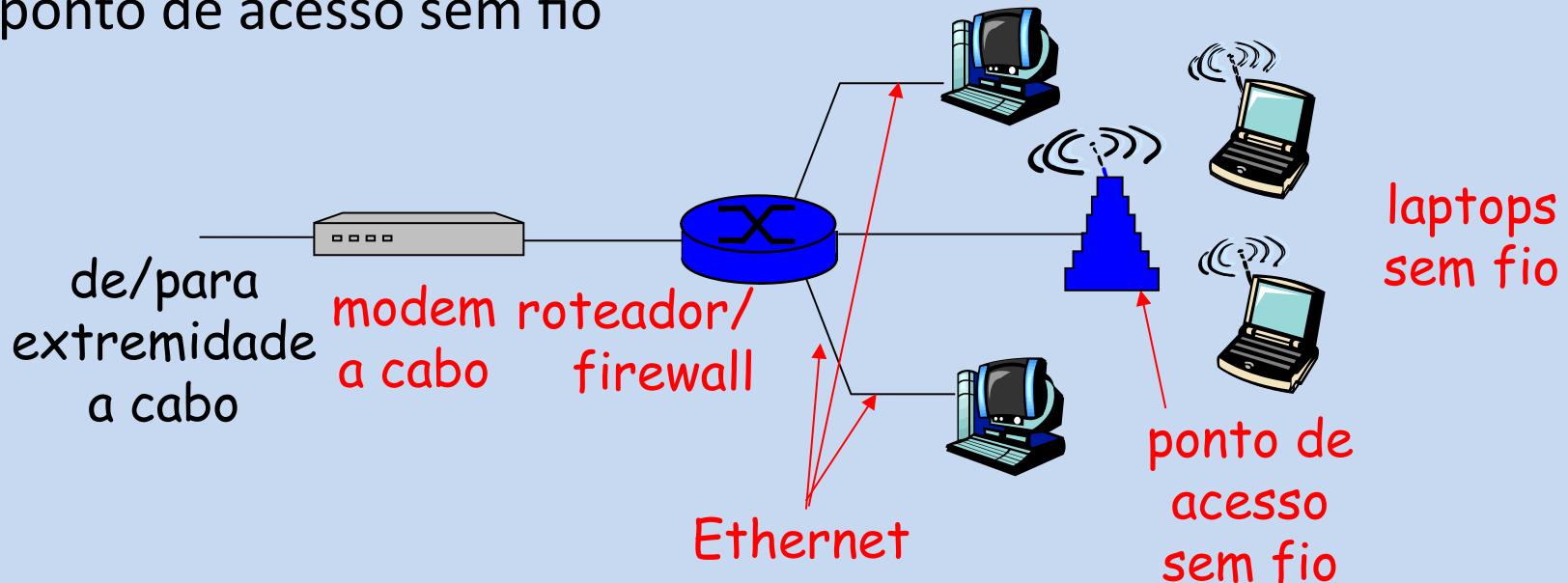
- Rede de acesso *sem fio* compartilhado conecta sistema final ao roteador
 - via estação base, também conhecida como “ponto de acesso”
- **LANs sem fio**
 - 802.11 a/b/g/n (WiFi): > 100 Mbps
 - 2,5 GHz e 5 GHz
- **Acesso sem fio de área mais remota pela operadora de comunicação**
 - ~ 1 Mbps por sistema celular 3G
 - Dezenas de Mbps com 4G ou WiMAX
 - Centenas de Mbps com 5G, 6G



Redes residenciais

Componentes típicos da rede residencial

- modem DSL ou a cabo
- roteador/firewall/nat
- conexões Ethernet cabeadas eventuais
- 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 sem blindagem
(UTP)
- dois fios de cobre isolados



Categorias UTP (taxas e distâncias máximas)

CAT 3

- 10 Mbps, 100m

CAT 5

- 100 Mbps, 100m

CAT 5e

- 1 Gbps, 100m (100% cobre)

CAT 6

- 10 Gbps, 55m, maior número de espiras, nylon para reduzir interferências, menos maleável

CAT 6a

- 10 Gbps, 100m, fios mais grossos, nylon mais eficiente, mais flexível

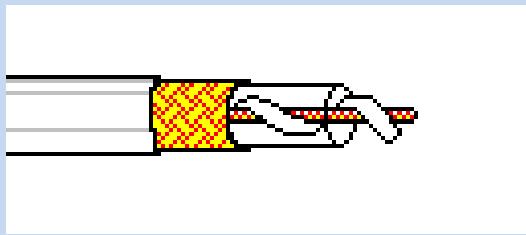
CAT 7

- 100 Gbps, 15m

Meio físico: cabo coaxial e fibra

cabo coaxial

- dois condutores de cobre concêntricos, bidirecional
- operação em banda base (um único sinal digital no meio, Ethernet inicial) ou em banda larga (múltiplos canais, TV a cabo)



cabo de fibra ótica

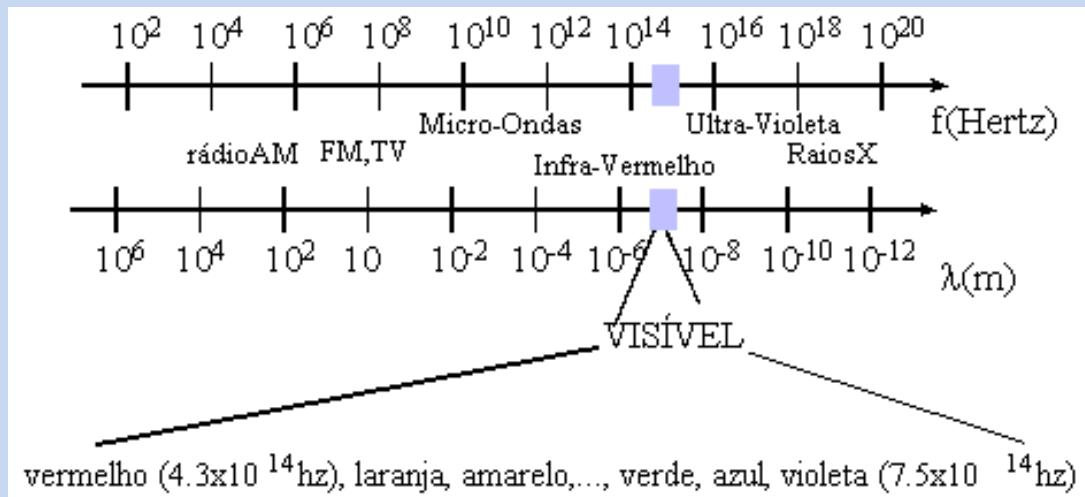
- fibra de vidro conduzindo pulsos de luz; cada pulso um bit
- operação em alta velocidade ponto a ponto (10-1000 Gbps)
- baixa taxa de erro, baixa atenuação, longas distâncias sem repetidores, imune a ruído eletromagnético



Espectro (Hz)

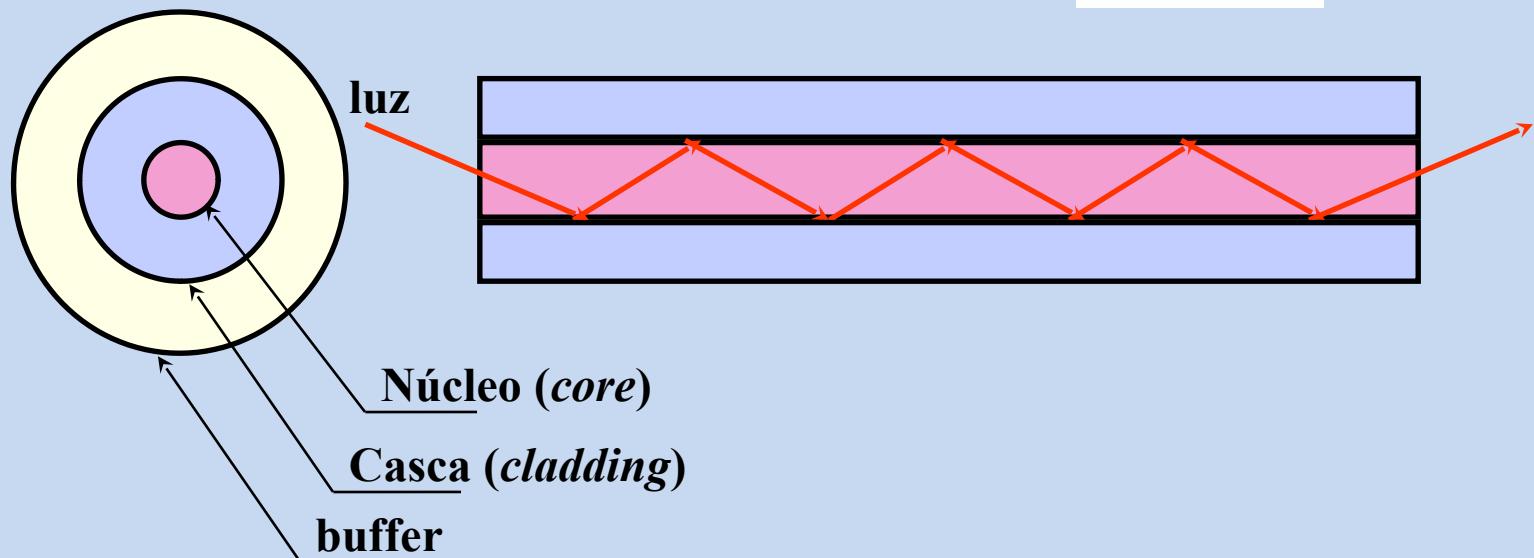
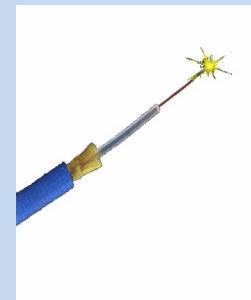
Rádio	10^5 a 10^{12} Hz
Infravermelho	10^{12} a 10^{14} Hz
Luz visível	$4,3 \cdot 10^{14}$ Hz - $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz (430 THz - 750 THz) λ entre 700 nm (vermelho) a 400 nm (violeta)
Ultravioleta	10^{15} a 10^{16} Hz
Raios X	10^{16} a 10^{21} Hz
Raios Gama	acima de 10^{21} Hz

$$f\lambda = c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \text{ (no vácuo)}, \lambda = 1,3 \mu\text{m} \text{ (1300 nm)} \Leftrightarrow f = 2,3 \times 10^{14} \text{ Hz}$$



Fibra ótica

- Transmite apenas luz

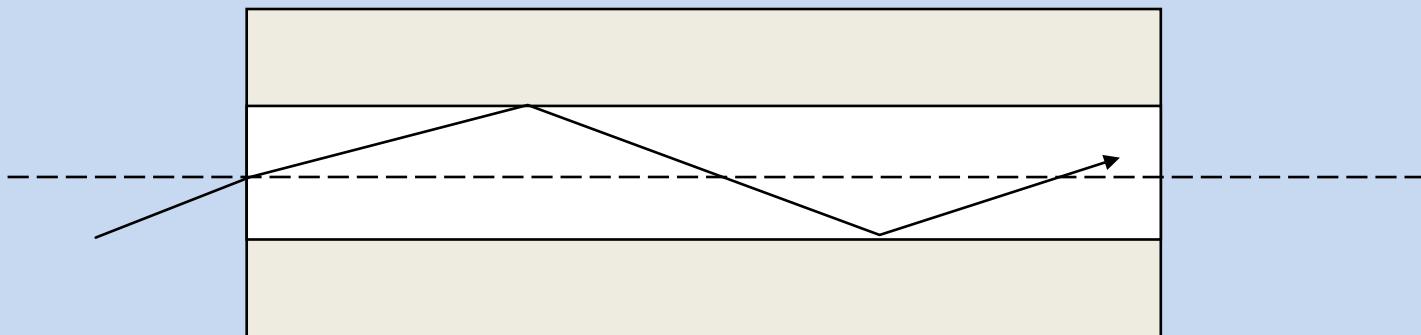


Fibra ótica

- Em geral, 0 representa ausência de luz e 1 a presença de luz
- A luz visível tem frequência entre 10^5 e 10^6 GHz, possibilitando uma enorme largura de banda
- A transmissão ótica envolve três componentes
 - **Meio de transmissão**
 - fibra ultra fina de vidro ou sílica fundida
 - **Emissor**
 - LED ou LASER, que emite luz, quando uma corrente elétrica é aplicada
 - **Foto detector**
 - FOTODIODO que gera um impulso elétrico quando recebe luz

Princípio da transmissão ótica

- A fibra é formada por um núcleo e um invólucro, com índices de refração diferentes
- Quando a luz passa de um meio para outro, ela sofre refração, retornando via reflexão (lei de Fresnel)
- Luz se propaga através de múltiplas reflexões internas



Banda de passagem em comunicação ótica

- Tomando $\lambda f = c$ e derivando:
$$\frac{df}{d\lambda} = -\frac{c}{\lambda^2}$$
- Usando diferenças finitas em módulo, a banda de frequências correspondente a uma variação do comprimento de onda
$$\Delta f = \frac{c\Delta\lambda}{\lambda^2}$$
 - Ex.: $\Delta\lambda = 0,17 \times 10^{-6} m$, $\lambda = 1,3 \times 10^{-6} m \Rightarrow \Delta f = 30 \times 10^{12} Hz = 30 THz$
- ***A largura de banda de uma fibra ótica é enorme e permite transmissões em Terabits por segundo***

Emissores de luz

- LEDs
 - Emitem luz policromática (vários comprimentos de onda) em múltiplas direções
- LASERS
 - Pode ser visto como uma fonte de luz acoplada a uma cavidade ressonante (reflexão espelhada) que gera uma luz concentrada e monocromática (variações muitíssimo pequenas no comprimento de onda podem ocorrer em função da estabilidade da fonte e de outros fatores)

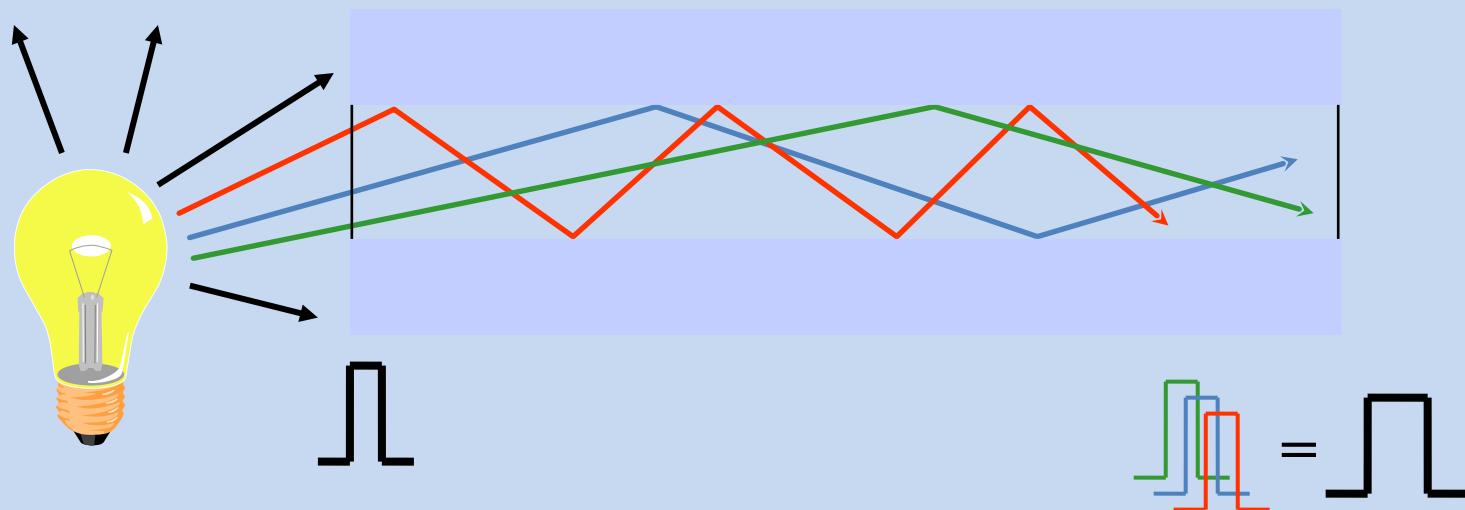
Tipos de fibra ótica

- Multimodo
- Monomodo

Fibra ótica

- **Fibra Multimodo**

- Possui núcleo com diâmetro acima de 50 microns, o que permite a luz se propagar por múltiplas trajetórias ou modos, percorrendo distâncias ligeiramente diferentes



Fibra ótica

- **Fibra Multimodo**
 - a variação de distância a ser percorrida por cada modo gera tempos de propagação diferentes, causando distorção do sinal transmitido chamada de dispersão modal
 - a distorção modal limita a banda passante da fibra multimodo abaixo de 1 GHz.km
 - Ex.: $10 \text{ GHz} \times 0,1 \text{ km} = 1 \text{ GHz} \times 1 \text{ km} = 1 \text{ GHz}.\text{km}$
 - o núcleo amplo permite captar potência ótica suficiente com o uso de LEDs; LASERs podem ser usados, mas sem evitar a propagação de múltiplos modos inerente a este tipo de fibra
 - fibra típica: $62,5 \mu\text{m} \backslash 125 \mu\text{m}$ (núcleo/casca)

Fibra ótica

- **Fibra Monomodo**

- possui um núcleo pequeno (de 7 a 10 μm) que permite apenas a propagação de um modo, eliminando o efeito da dispersão modal;
todavia, o modo pode ainda se propagar com duas polarizações diferentes da onda eletromagnética
- banda passante de vários GHz.km
- fibra típica: 8 μm / 125 μm
- necessário usar LASER para focar potência ótica no núcleo

Atualmente, a fibra multimodo tem custo menor devido ao seu amplo uso em sistemas de comunicação de média e longa distância e da fabricação em larga escala, com domínio tecnológico já amortizado

Polarização em Fibra Monomodo

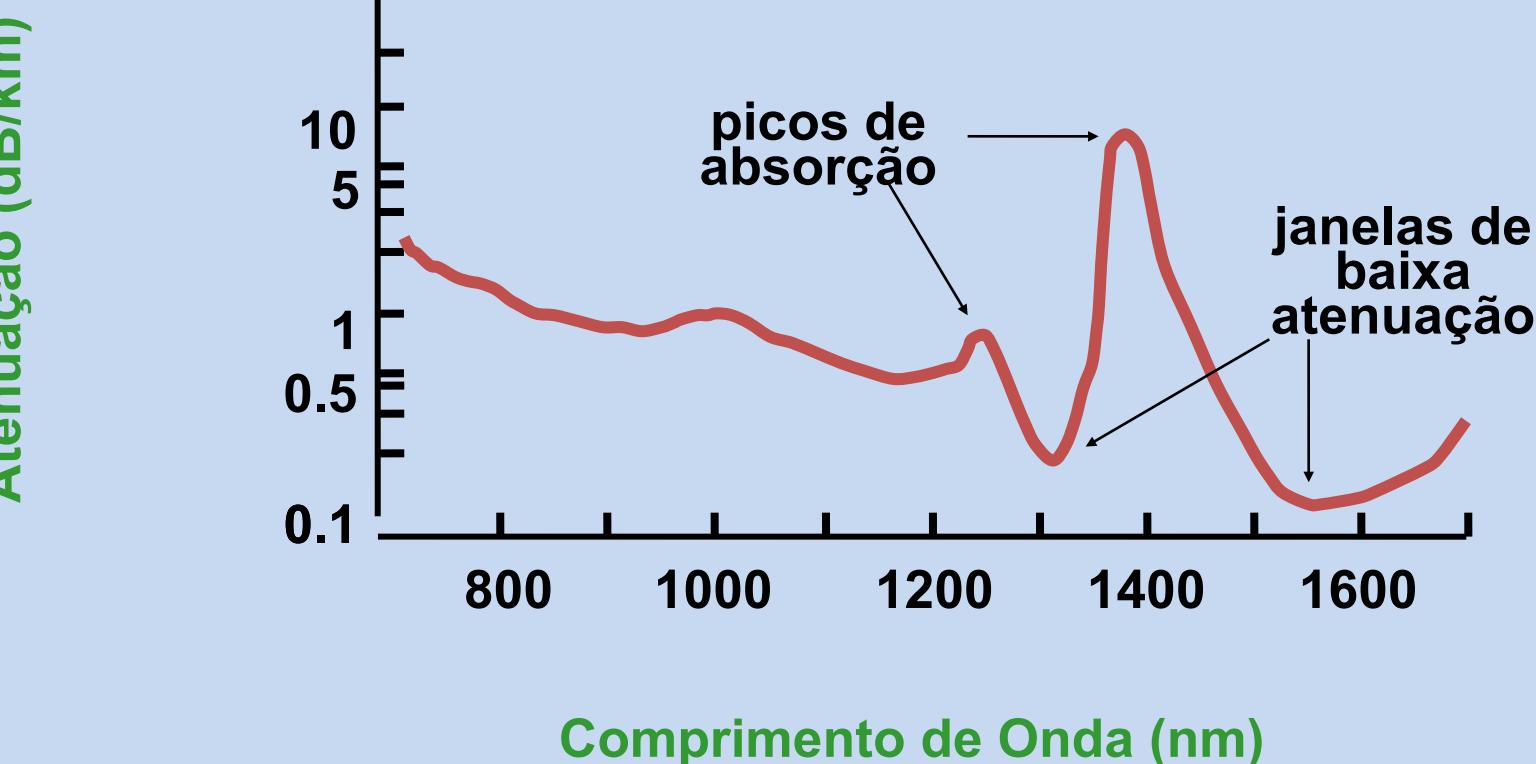
- A propagação na fibra monomodo ocorre de duas formas distintas com polarizações ortogonais e com a mesma distribuição espacial
- Em fibras ideais, os dois modos teriam índice de refração e velocidades de propagação e de fase iguais
- Numa fibra real, devido a assimetrias e existência de tensões internas e externas sobre o núcleo, o índice de refração varia de forma diferente para cada modo de polarização, provocando atrasos de propagação diferentes entre os modos, gerando uma distorção conhecida como PMD (polarization mode dispersion)

Fatores limitantes do desempenho das fibras óticas

- **Atenuação não linear:** devido a absorção (conversão para calor) e a espalhamento (radiação)
 - uma atenuação constante em toda a faixa de comprimento de onda não limitaria a banda passante, mas apenas a distância sem uso de repetidores
 - **todavia, como a atenuação é função do comprimento de onda e a transmissão de sinais digitais vista como uma composição de sinais de diferentes frequências**, a atenuação não sendo constante na janela de transmissão utilizada provoca distorção no sinal e consequente limitação na taxa máxima de transmissão

Fibra Ótica

- Curva de Atenuação Típica



Fatores limitantes do desempenho das fibras óticas

- Dispersão causando distorção e limitando a banda
 - dispersão modal
 - modos se propagam por trajetórias de diferentes comprimentos (eliminada com uso de monomodo)
 - dispersão do material
 - imperfeições de fabricação afetando o índice de refração e provocando distorção
 - dispersão cromática
 - provocada pela fonte (mesmo sendo laser) não ser exatamente monocromática e a velocidade de propagação depender do comprimento de onda
 - medida em ps/(nm.km) e quase nula em torno de 1300 nm

Fatores limitantes do desempenho das fibras óticas

- Dispersão causando distorção e limitando a banda
 - PMD Polarization Mode Dispersion
 - As polarizações diferentes do modo acabam tendo diferentes velocidades de propagação, com variações de atraso e fase causando distorção
 - Problema maior a ser enfrentado em enlaces de longa distância, com fibras especiais fabricadas para compensar os desvios amplificados pelas longas distâncias (> 100 km)

Transmissão na fibra ótica

- Utiliza as faixas de λ em que a atenuação é menor
- Opera fora do espectro visível (infravermelho)

Janela 1: 800 a 900 nm	λ utilizado: 850 nm (2,1 dB/km)
Janela 2: 1250 a 1350 nm	λ utilizado: 1310 nm (0,3 dB/km)
Janela 3: 1500 a 1600 nm	λ utilizado: 1550 nm (0,15 dB/km) Para longas distâncias, esta é a janela ideal pela baixíssima atenuação

Multiplexação em Comprimento de Onda

Wave Division Multiplexing (WDM)

- Transmissão simultânea de várias portadoras de luz com lasers sintonizados em diferentes comprimentos de onda
- Aumenta a capacidade de transmissão sem afetar a infraestrutura de fibra já instalada
- DWDM = Dense WDM
 - Espaçamento de canais DWDM na faixa de 1550 nm
 - Espaçamento de 100 GHz => 1 nm no comprimento de onda
 - Espaçamento de 25 GHz => 0,25 nm no comprimento de onda
 - Sistemas DWDM mais comuns usam 100 GHz de espaçamento para menos
 - *ITU-T G.694.1 Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid Series G: Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks Transmission media characteristics - Characteristics of optical components and subsystems*

Recorde de Transmissão em Longa Distância com uso de Fibra Ótica

Recorde de 2021: 319 Tbps sobre 3000km. (artigo)

<https://www.redsharknews.com/319-terabits-per-second-internet-breaks-new-records>

A group of researchers in Japan from the National Institute of Information and Communication Technology have set a new world speed record for internet speed at 319 terabits per second.

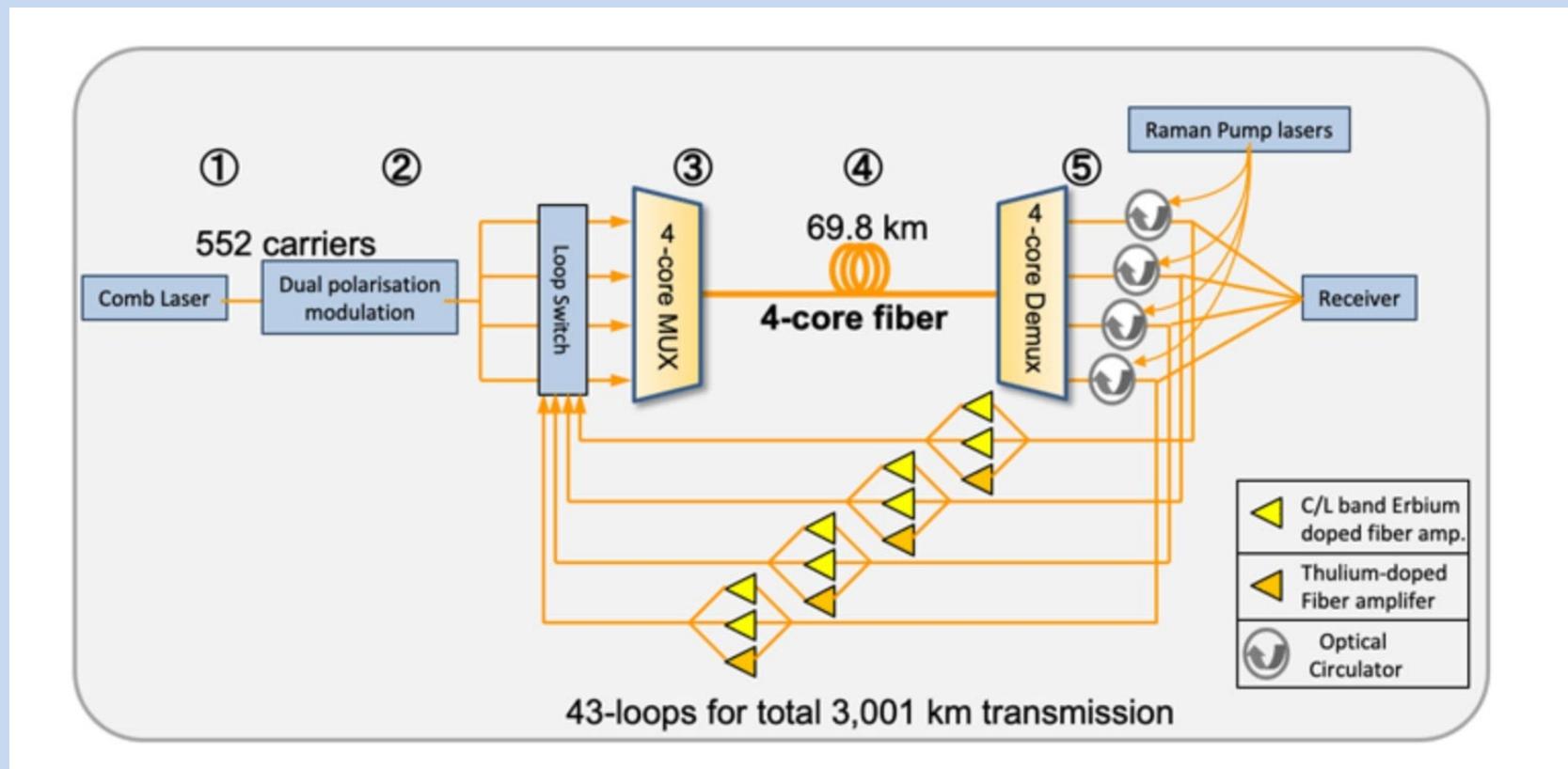
“ ... the team used a 4-core optical fibre of 69.8km long, which was then looped 43 times via a loop switch to give a final transmission distance of 3001 km.”

“ ... 552 WDM channels from 1487.8 nm to 1608.33nm. The system was used to measure achievable transmission throughput with each channel modulated with PDM-16QAM modulation at distances up to 3,001km, ... “

Recorde de Transmissão em Longa Distância com uso de Fibra Ótica

Recorde de 2021: 319 Tbps sobre 3000km.

<https://www.redsharknews.com/319-terabits-per-second-internet-breaks-new-records>



Recorde de Transmissão em Longa Distância com uso de Fibra Ótica

Demonstration of World Record: 319 Tb/s Transmission over 3,001 km with 4-core optical fiber | 2021 | NICT (artigo)

“ 16QAM

QAM is a multi-level modulation format with high spectral information density. 16QAM uses 16 different signal symbols and can therefore encode 4 bits of information in each. The spectral density of 16 QAM is therefore 4 times higher than for simple modulation formats such as on-off keying.

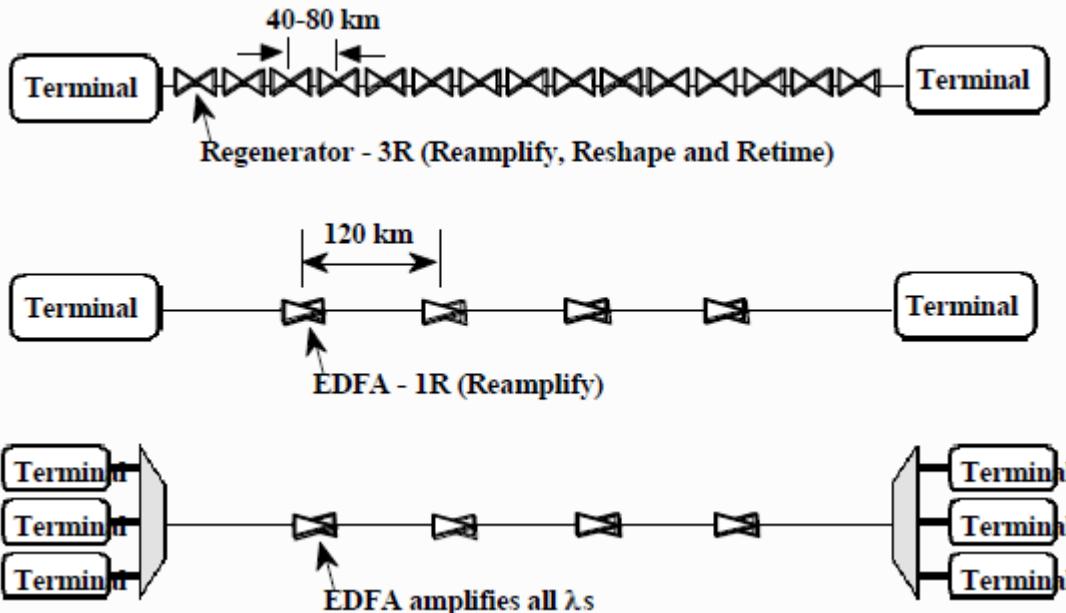
Modulation methods that can transmit 5 times (32QAM) and 6 times (64QAM) information of OOK can also be used, but 32QAM and 64QAM make the system more vulnerable to signal distortions such as optical amplifier noise and are not suitable for long-distance transmission.

16QAM is considered to be a practical multi-level modulation methods because it can reach medium and long distances sufficiently while increasing the information density per symbol. ”

Análise da banda por canal

- Taxa por canal = $319 \text{ Tbps} / 4 \times 552 = \mathbf{145 \text{ Gbps por canal}}$
- Nyquist com 16-QAM resulta $8 H = 145 \text{ GHz}$ ou $\mathbf{H=18,125 \text{ GHz}}$ em cada canal
- Usando $\Delta f = \frac{c\Delta\lambda}{\lambda^2}$, obtemos $\Delta\lambda = \mathbf{0,145 \text{ nm}}$
- Faixa de comprimento de onda necessária para suportar 552 canais = $552 \times 0,145 \text{ nm} = \mathbf{80 \text{ nm}}$
- Faixa usada $\mathbf{1608,33 - 1487,8 = 120,53 \text{ nm}}$
- Folga usada para estar abaixo do limite de Shannon e ter separação entre canais

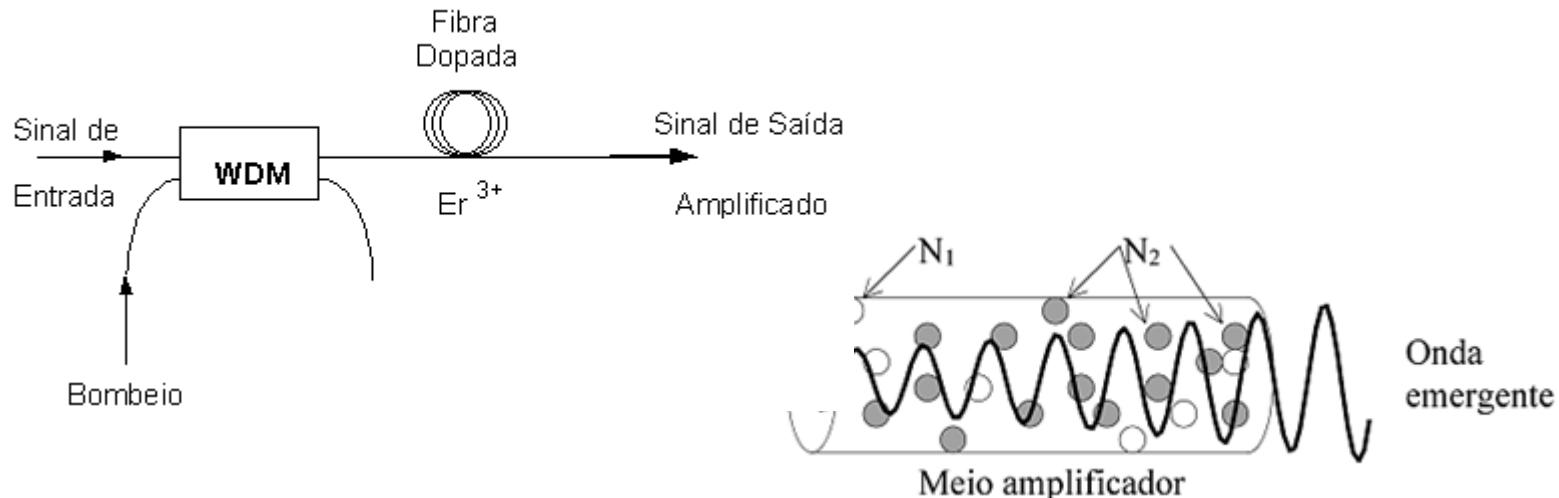
Amplificação Ótica com Dopagem de Érbio



- EDFA – Erbium-Doped Fiber Amplifier
 - Amplifica todos os comprimentos de onda presentes na fibra e viabiliza o uso de DWDM em longas distâncias
 - Não faz conversão ótico-elétrica, baseando-se na emissão de fótons por átomos energizados de érbio

Componentes de um amplificador a fibra dopada com érbio

- Um laser semicondutor de bombeamento, operando em uma das bandas de absorção do érbio, onde as mais eficientes estão em 980nm e 1480nm;
- Um acoplador por divisão de comprimento de onda (WDM) para acoplar a potência do laser de bombeamento e o sinal óptico a ser amplificado;
- Um trecho limitado de fibra dopada com érbio (FDE), responsável pelo processo de amplificação.



- CHITZ, Edson. Otimização de amplificadores ópticos a fibra dopada a partir de simulação. Curitiba, 2000. Tese (Mestrado em Telemática) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.

Meio físico: rádio

- sinal transportado no espectro eletromagnético de forma bidirecional
- ambiente afeta propagação
 - reflexões do sinal
 - atenuações e obstruções físicas do sinal
 - corrupção do sinal por Interferências eletromagnéticas

Radio link types:

- micro-ondas terrestre
 - ❖ p. e. até canais de 45 Mbps
- LAN (p. e., Wifi)
 - ❖ > 100 Mbps
- área ampla (p. e., celular)
 - ❖ celular 4G, 5G: ~ dezenas a centenas de Mbps
- satélite
 - ❖ canal de Kbps a 45Mbps (ou múltiplos canais menores)
 - ❖ atraso fim a fim de 270 ms
 - ❖ 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

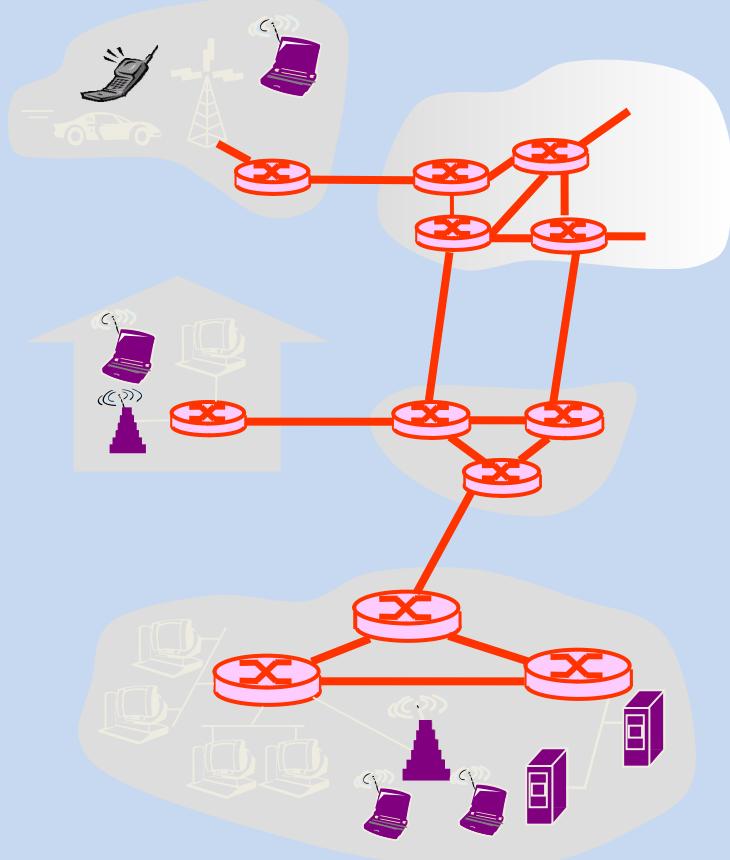
1.5 Camadas de protocolo, modelos de serviço

1.6 Redes sob ataque: segurança

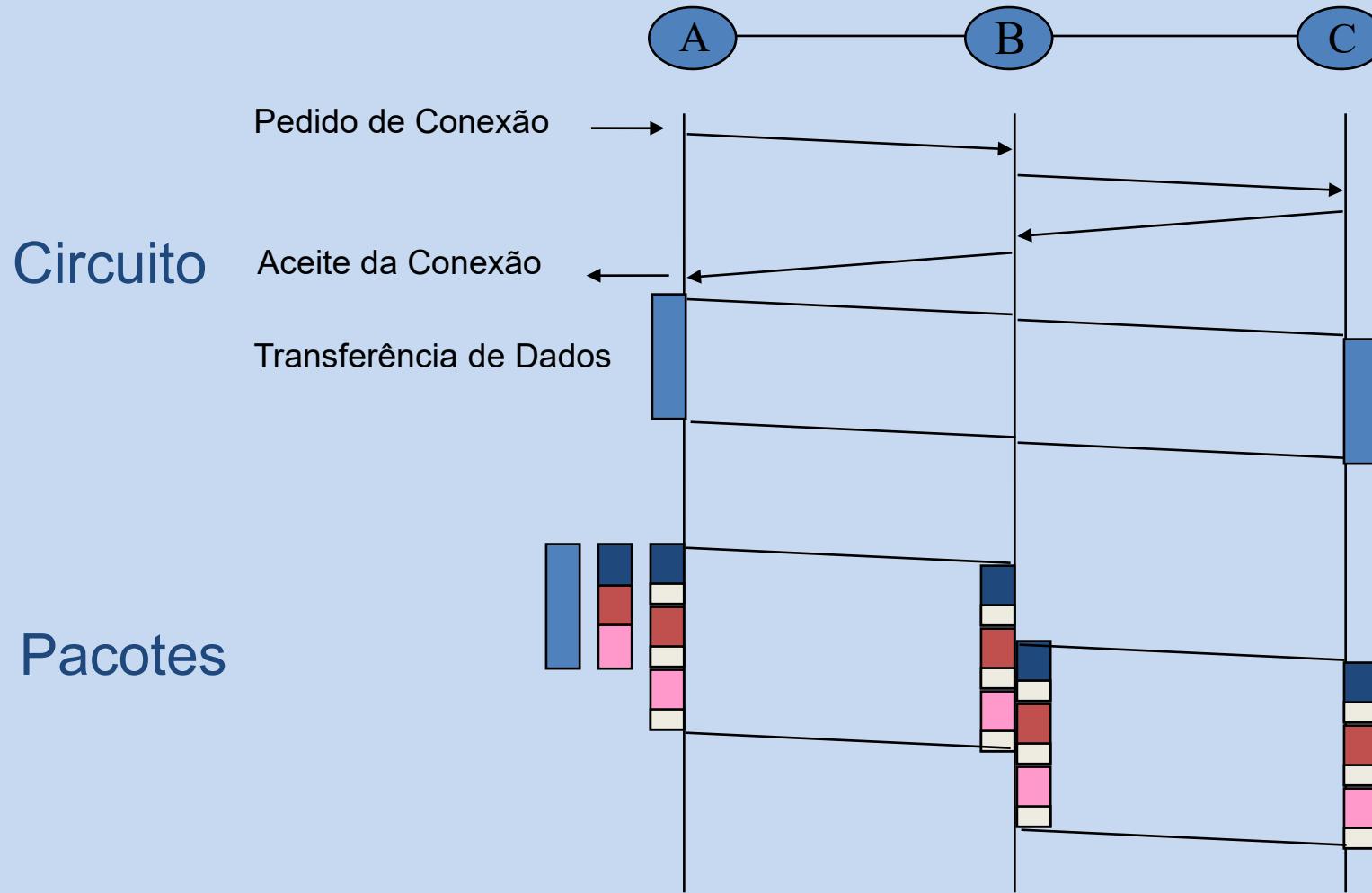
1.7 História

O núcleo da rede

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



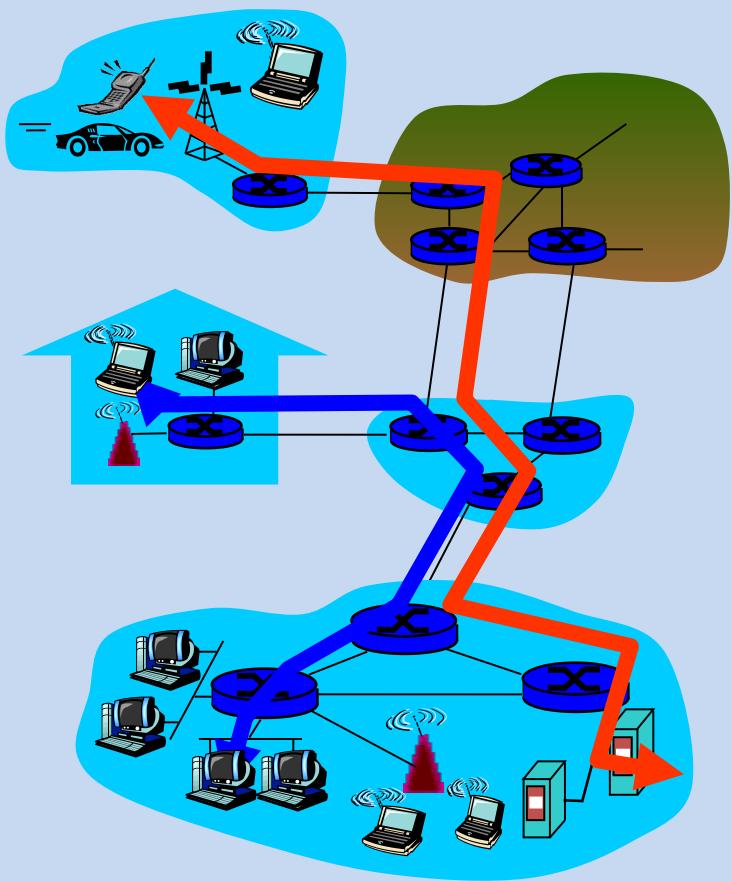
Técnicas de comutação



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 ou estabelecimento da rota



Como dividir a banda de um enlace?

recursos da rede, como a largura de banda, divididos em “pedaços”

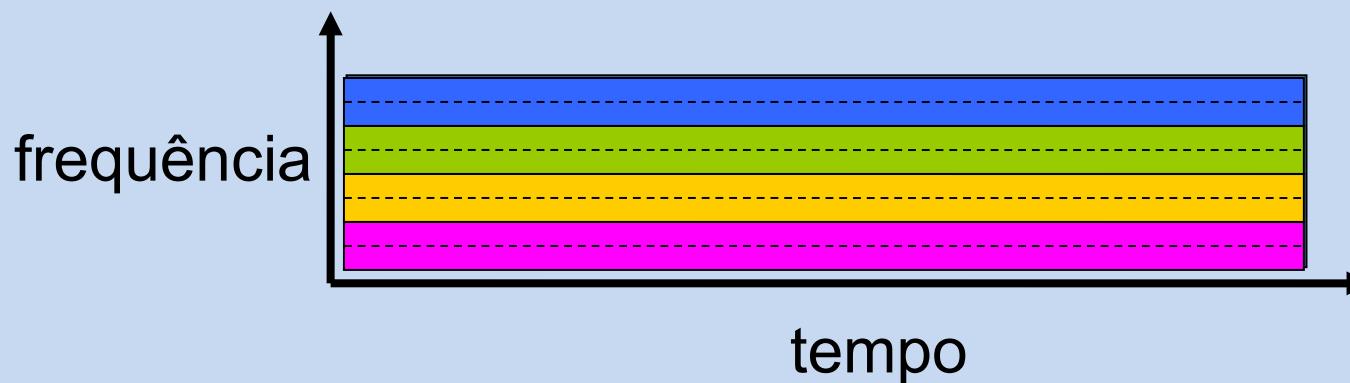
- os pedaços são alocados às chamadas
- pedaço fica **ocioso** se a chamada não utilizar (*sem compartilhamento*)

- duas formas de dividir a largura de banda do enlace em “pedaços”
 - ❖ divisão por frequência (FDM)
 - ❖ divisão por tempo (TDM)

Comutação de circuitos: FDM e TDM

Exemplo:

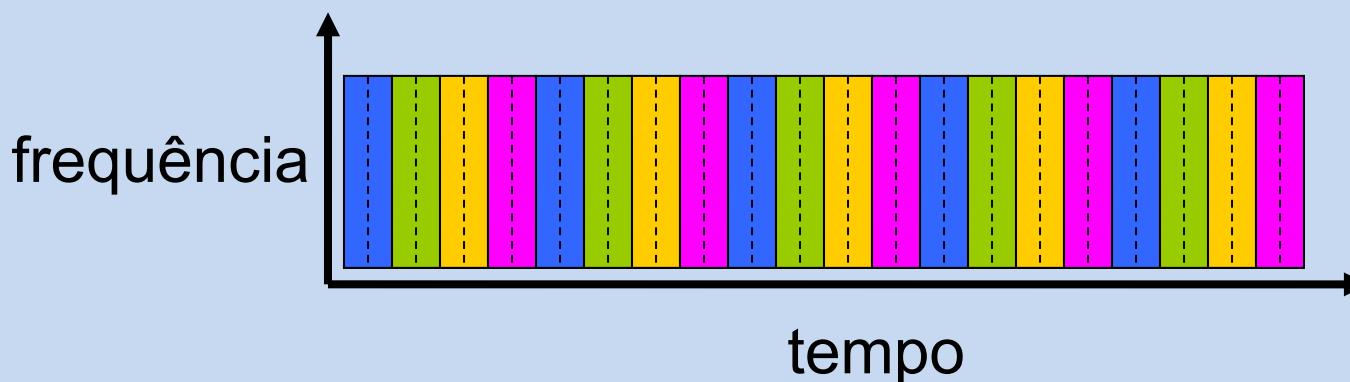
FDM



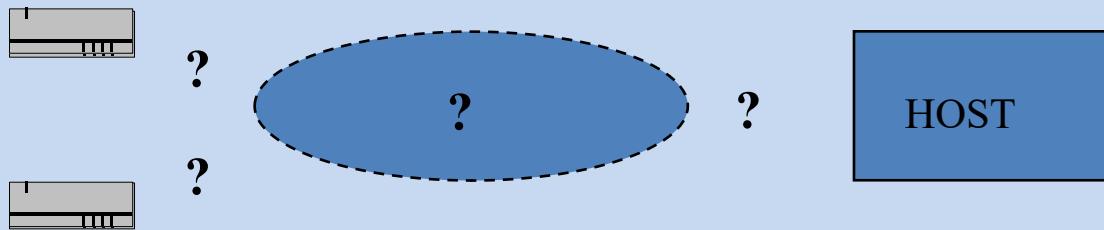
4 usuários



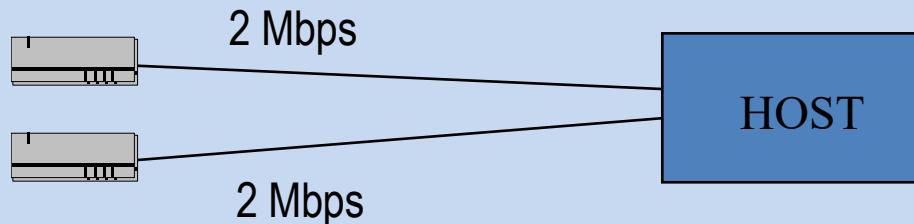
TDM



Pergunta: Como conectar remotamente dois pontos remotos a um hospedeiro com linhas dedicadas
Como conectar cada equipamento com o host a 2 Mbps?

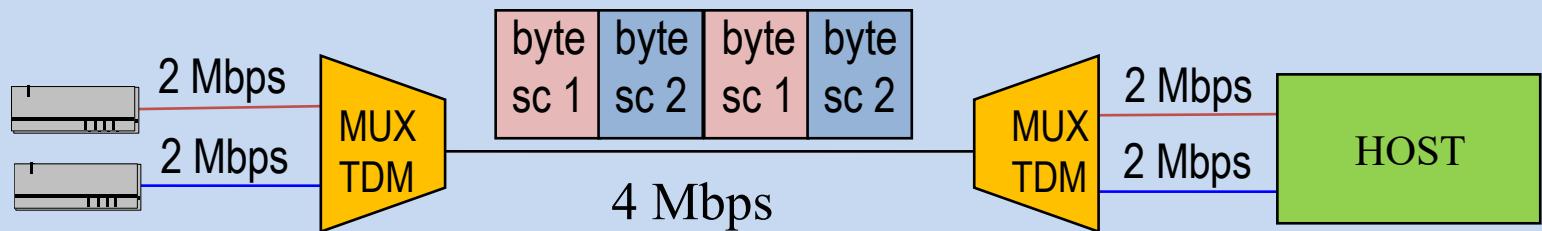


- Solução trivial



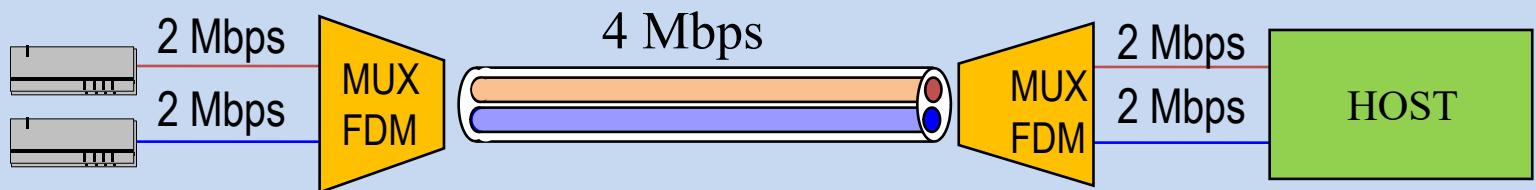
- contrata duas conexões e usa 2 interfaces no host
- pode ser ruim, se equipamentos não estão transmitindo todo o tempo

Solução TDM (Time Division Multiplexing)



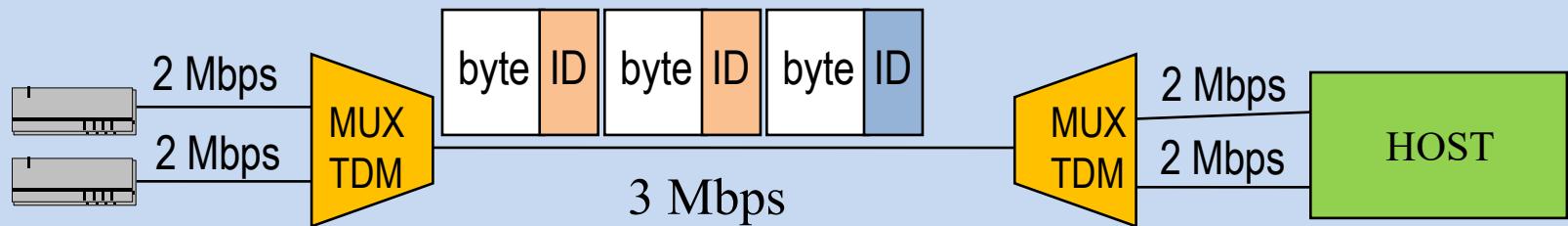
- Alocação fixa de subcanais no domínio do tempo, com sincronização entre as pontas com multiplexadores TDM
- TDM Síncrono (STDM - Synchronous TDM)
 - Solução usada pela telefonia para suportar chamadas simultâneas entre centrais
 - Cada janela do tempo é reservada para um subcanal e fica ociosa se não for utilizada no instante devido
 - Recursos não são compartilhados

Solução FDM (Frequency Division Multiplexing)



- Alocação fixa de subcanais no domínio da frequência
- Comunicação síncrona entre as pontas
- Operacionalmente semelhante a STDM

Solução ATDM (Asynchronous TDM)



- Alocação variável de subcanais no domínio do tempo em função da demanda, com overhead para ID do canal
- Ideal para acomodar tráfego em rajada (*bursty*), pois o enlace é compartilhado por demanda
- A comunicação é assíncrona e ocorre atrasos em fila para acomodar os picos de transmissão simultâneos
- Se as duas pontas enviam tráfego de 2 Mbps em tempo integral, então esta solução não atende

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 2048 Mbps
 - cada enlace usa TDM com 32 slots/s
 - arquivo fará uso de um slot
 - 500 ms = 0,5 s para estabelecer circuito fim a fim

Vamos resolver!

Solução

- Cada slot usará uma banda de $2048 \text{ Mbps} / 32 = 64 \text{ Kbps}$
- Estabelecimento do circuito = 500 ms
- Tempo de transferência = $640 \text{ Kb} / 64 \text{ Kbps} = 10 \text{ s}$
- Tempo total = 10,5 s
- OBS.: Uma chamada na telefonia tradicional ocupa uma canal de 64 Kbps.

Núcleo da rede: comutação de pacotes

cada fluxo de dados fim a fim dividido em pacotes

- usuários compartilham os recursos da rede
- cada pacote usa largura de banda total do enlace
- recursos são usados quando necessários (*multiplexação estatística*)

Divisão da largura de banda em “pedaços”
Alocação dedicada
Reserva de recursos



disputa por recursos:

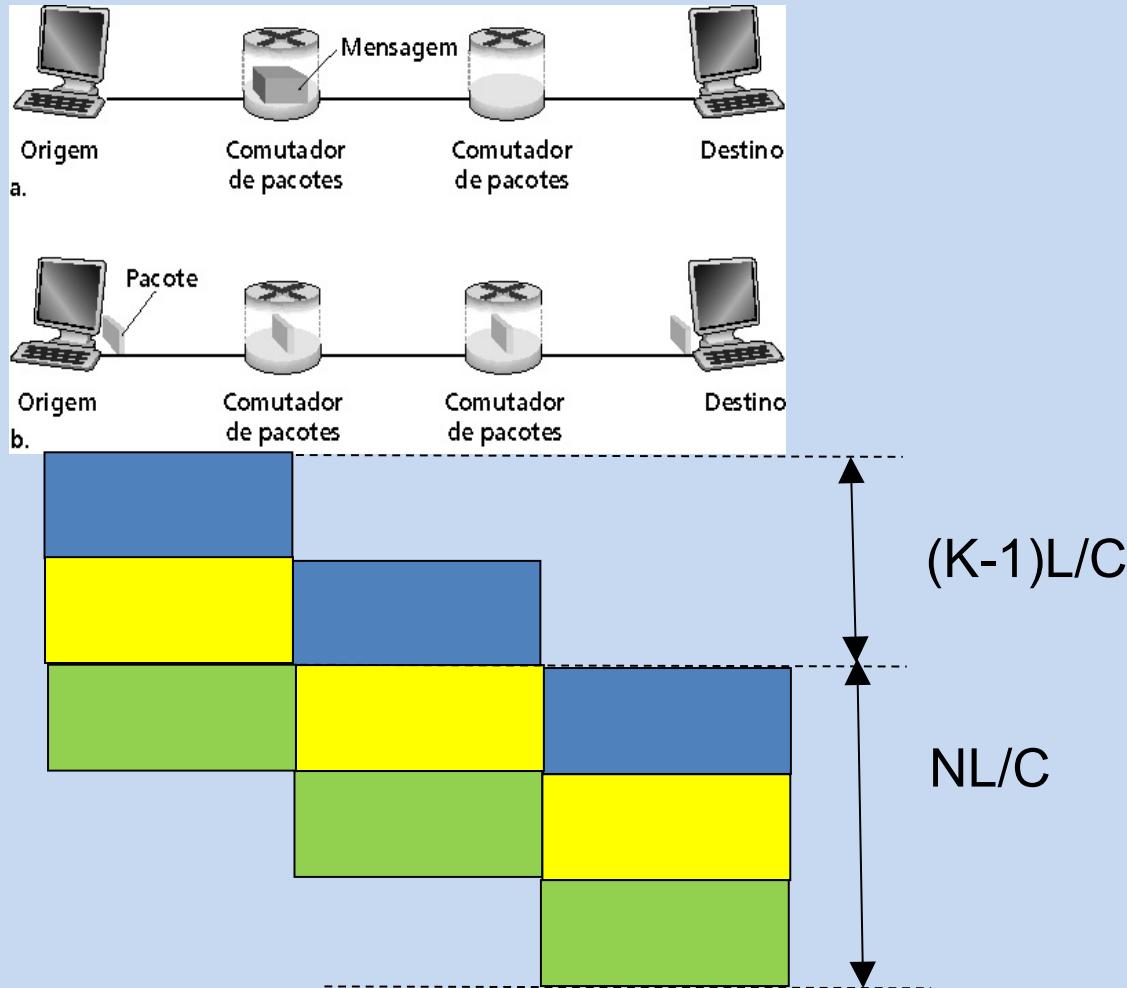
- demanda de recurso agregado pode exceder quantidade disponível
- há ocorrência de fila de pacotes para uso do enlace a cada hop
- *store and forward*: pacotes movem um salto de cada vez
 - ❖ Nó recebe pacote completo antes de encaminhar

Exemplo de comutação de pacotes

Tempo para transmitir 80 pacotes de 1000 bytes em 10 hops, desprezando o atraso de propagação?

- Assuma transmitindo na taxa de 2048 Kbps a cada hop, supondo ausência de tráfego concorrente a cada hop

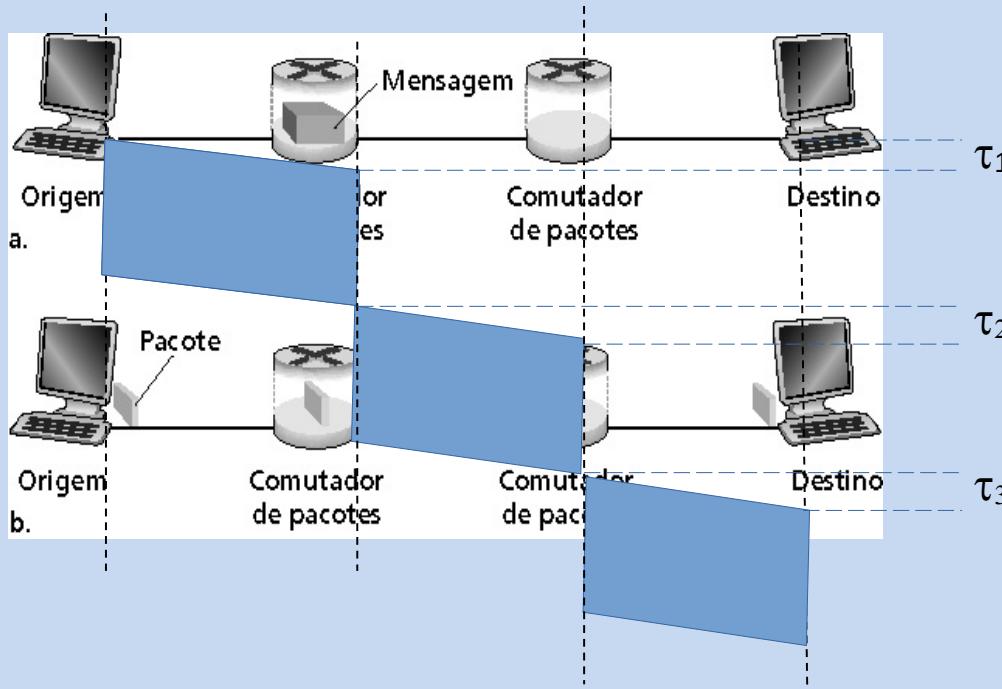
Solução assumindo K hops, N pacotes de L bits



$N=80$ pacotes de $L=8000$ bits em $K=10$ hops, sem atraso de propagação

- Assuma transmitindo na taxa de 2048 Kbps a cada hop, supondo ausência de tráfego concorrente a cada hop
- Solução: $(K-1)L/C + NL/C = 89L/C$
- Numericamente:
 - Para $C = 2048$ Kbps, $L/C = 8000/2048$ Kbps, $89 L/C = 0,348$ s
 - Para $C= 64$ Kbps (em todos os hops), $L/C = 8K/64Kbps$, $89L/C= 11,13$ s
- E se fosse também considerado o atraso de propagação?

Armazena e reenvia, com atraso de propagação



- Atraso de propagação (τ) por hop = $5\mu\text{s}/\text{km} \times \text{distância (km)}$ e $\tau_1 + \tau_2 + \tau_3$ (a soma dos atrasos de propagação de cada hop) seria adicionada ao cálculo anterior
- No exemplo, não existe fila a cada hop, pois não há tráfego concorrente nos enlaces

Redes de pacotes: roteamento

Objetivo: mover pacotes entre roteadores, da origem ao destino

- **Redes de datagramas**

- O endereço de destino no pacote é consultado pelo roteamento para decidir por qual interface do roteador o pacote será retransmitido
- Uma tabela associando o endereço de destino e a interface de envio é atualizada pelo algoritmo de roteamento de tempos em tempos
- Pacotes com mesmo destino podem seguir rotas diversas, dependendo do estado da tabela de rotas no instante de encaminhamento do pacote

- **Redes de circuitos virtuais**

- Cada pacote leva um número VCI (virtual circuit ID) que determina o próximo salto, ou seja, a rota a ser seguida
- O caminho é escolhido no instante de estabelecimento da conexão e permanece fixo durante toda a conexão
- Todos os pacotes com mesmo VCI seguem a mesma rota

Roteamento de datagramas

- Vários procedimentos de roteamento possíveis
 - Rota estática (fixa), incluindo rotas múltiplas
 - Roteamento dinâmico, para aumento de eficiência
- Pacotes podem chegar fora de ordem e alguns até serem perdidos no trajeto da origem ao destino
- Recuperação de perdas por retransmissão na camada de transporte operando com confiabilidade

Pacotes melhor do que circuito?

- Ótimo para dados em rajadas
 - Multiplexação estatística dos recursos, mais simples e sem configuração de chamada
- **Mas, congestionamento excessivo causa atraso e perda**
 - Buffers em excesso criam filas com enormes atrasos
 - Novos protocolos para transferência confiável e controle de congestionamento, associados a procedimentos para gerência ativa de filas (*AQM – Active Queue Management*)
- **Como fornecer comportamento tipo circuito?**
 - Problema não totalmente resolvido, mas Internte evolui para uma arquitetura **L4S** (*low latency, low loss scalable*), adequada para todos os tipos de aplicações

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

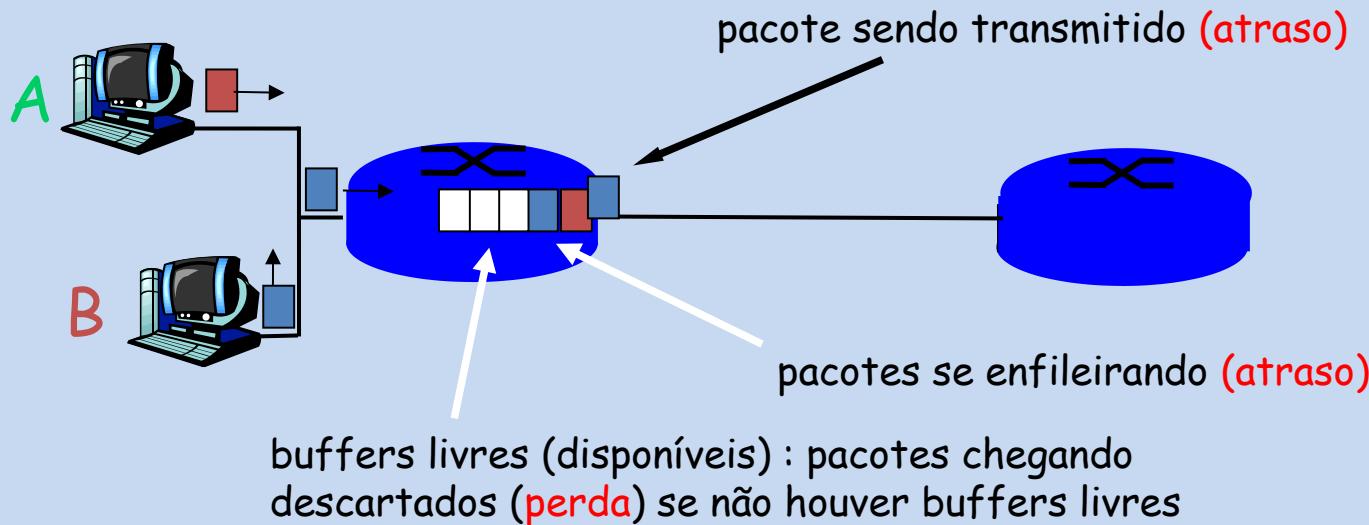
1.6 Redes sob ataque: segurança

1.7 História

Como ocorrem a perda e o atraso?

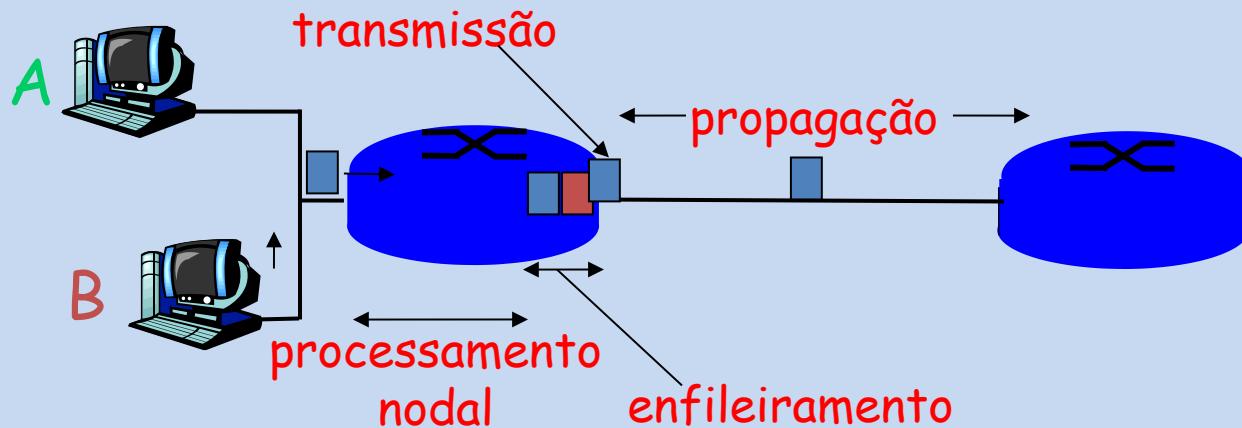
pacotes se *enfileiram* em buffers de roteador

- 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



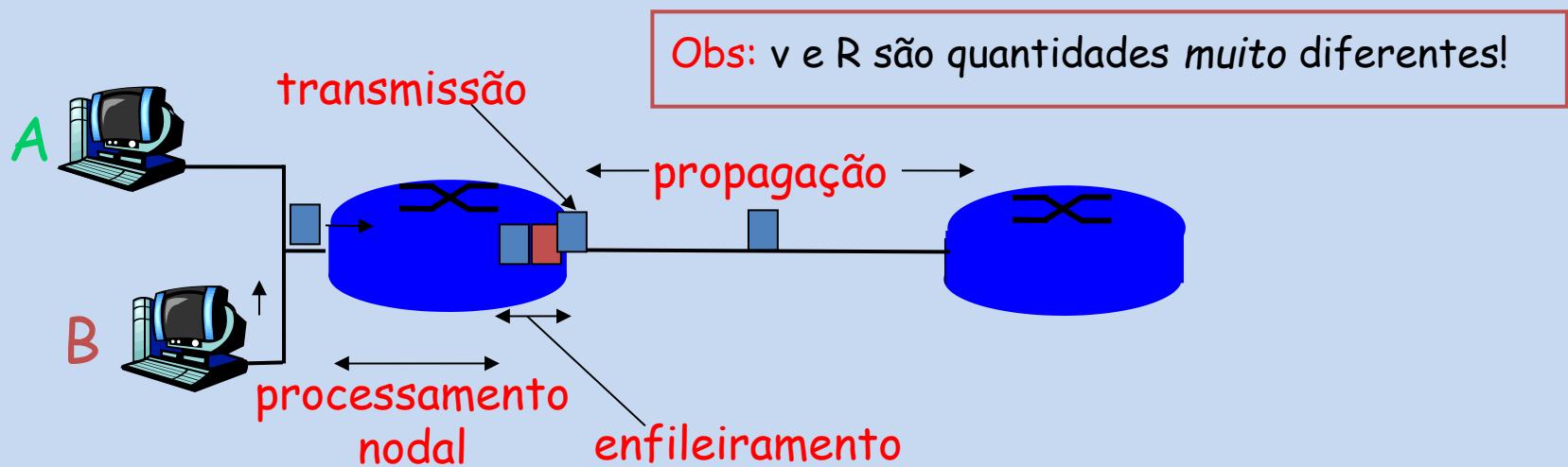
Quatro fontes de atraso de pacote

3. atraso de transmissão

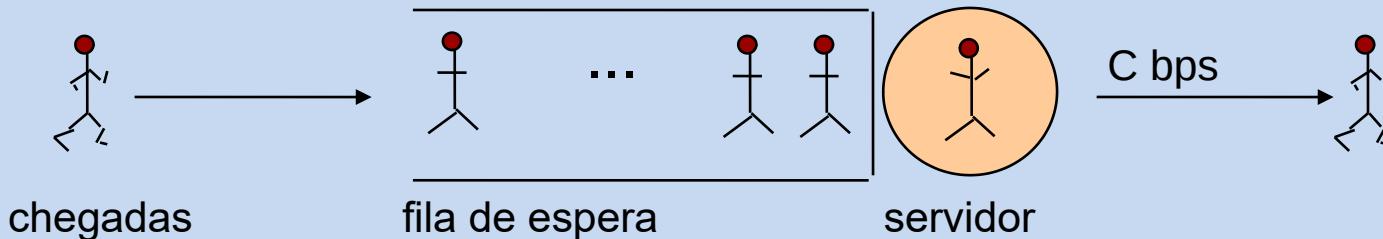
- R = taxa do enlace (bps)
- L = tamanho do pacote (bits)
- tempo para enviar bits no enlace
 $= L/R$

4. atraso de propagação (τ)

- d = tamanho do enlace físico
- v = vel. de propagação no meio
($\sim 2 \times 10^8$ m/s)
- $\tau = 5\mu s/km \times d$ (km)

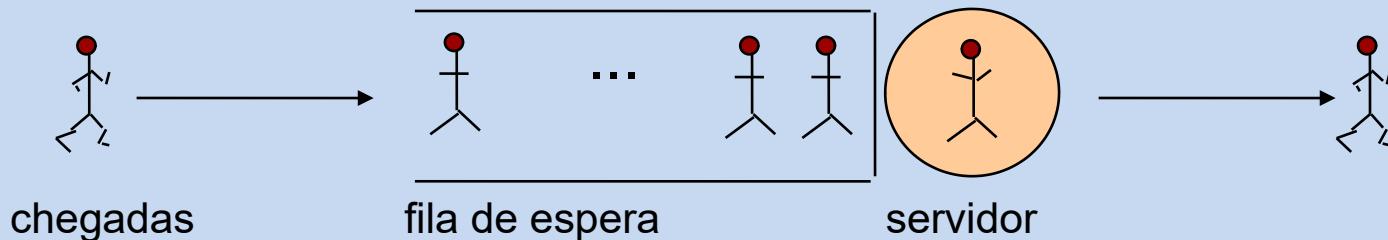


Comportamento de uma fila de roteador



- Os fregueses são pacotes com um tamanho médio de L bits
- Se o enlace tem taxa C bps, o tempo médio para tx um pacote é $X = L/C$ (s) e a taxa máxima de partida é $1/X$ (pcts/s), se a fila tiver vários pacotes para tx
- Se a taxa de chegada é λ (pacotes/s), a utilização do enlace é dada por **taxa de chegada/taxa de partida** = $\lambda X = \rho$
- Para estabilidade, é preciso $\rho < 1$; quando $\rho \rightarrow 1$, a fila de espera $\rightarrow \infty$ e o roteador se torna um gargalo: **descartes irão ocorrer com buffer finito!**

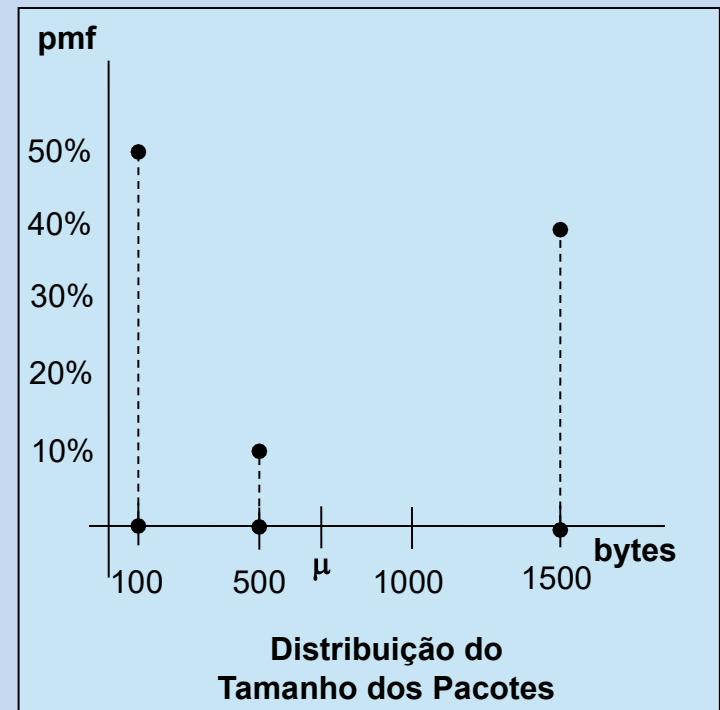
O tempo médio gasto na fila



- Pode-se mostrar que o tempo médio numa fila é $T = \text{fator}/C$
 - C é a capacidade (em bps) do enlace
 - *fator* é um valor que depende apenas da utilização ρ do enlace e do perfil do tráfego (que não muda em geral)
- O número médio de fregueses N na fila está relacionado com o tempo médio pela fórmula $N=\lambda T$, onde λ é a taxa de chegada

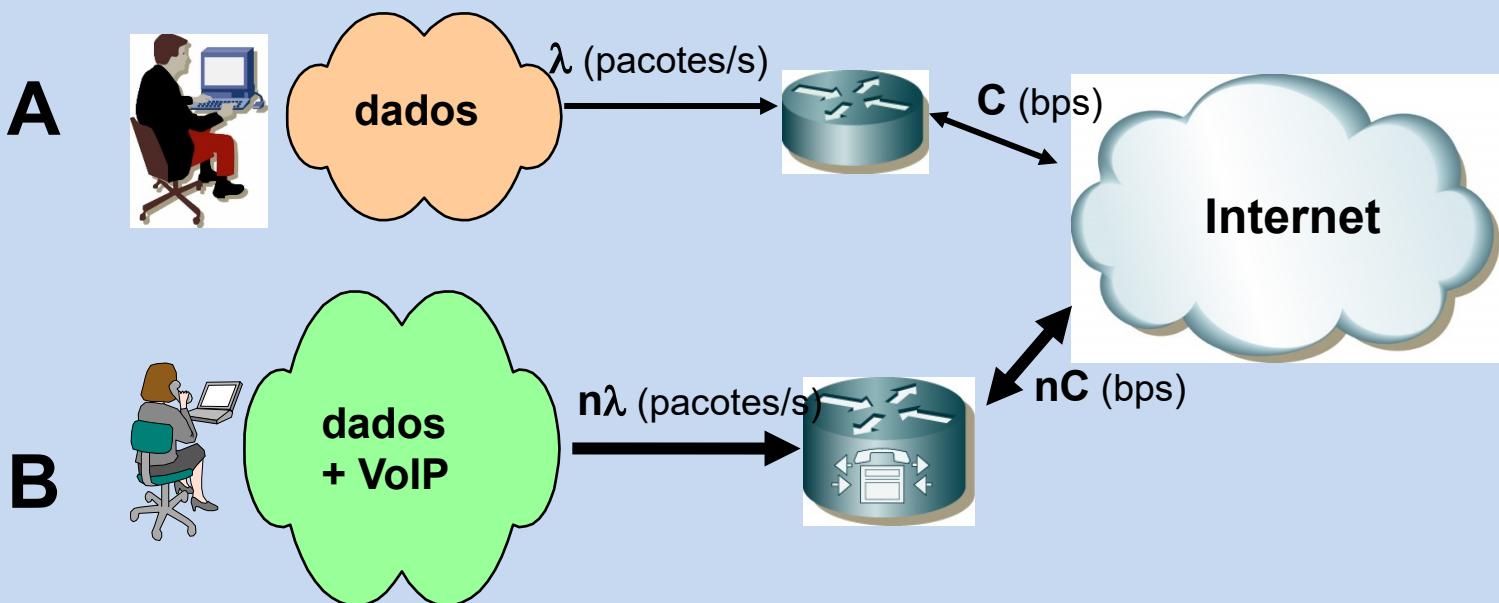
Perfil de distribuição do tamanho dos pacotes (L) na Internet

- Pacotes pequenos
 - Tamanhos de 64 a 150 bytes
 - Média: 100 bytes
 - Percentual: 50%
- Pacotes Médios
 - Tamanhos de 300 a 600 bytes
 - Média: 500 bytes
 - Percentual: 10%
- Pacotes Grandes
 - Tamanhos de 1000 a 1536 bytes
 - Média: 1500 bytes
 - Percentual: 40%



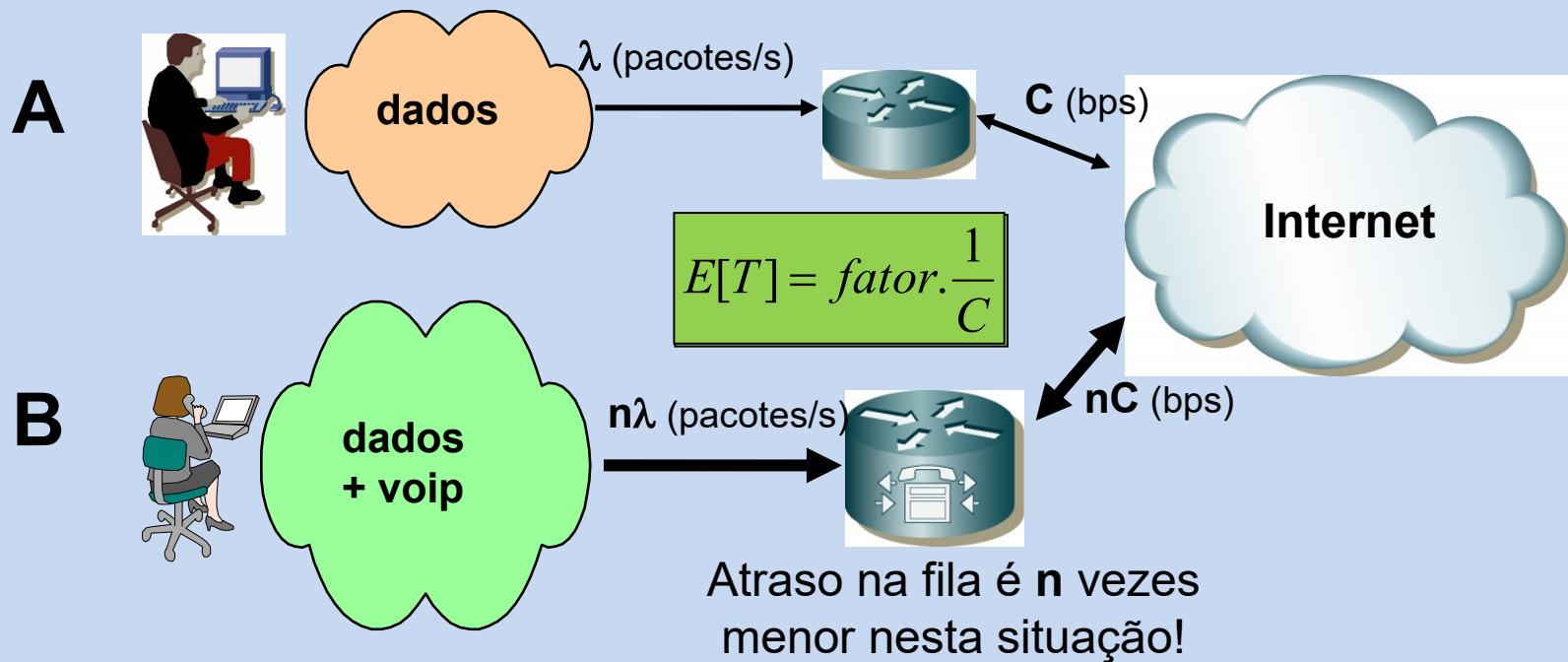
Questão

- Estar numa rede única com maior tráfego e maior banda é melhor para usuário, se o roteador de acesso tem a mesma utilização?



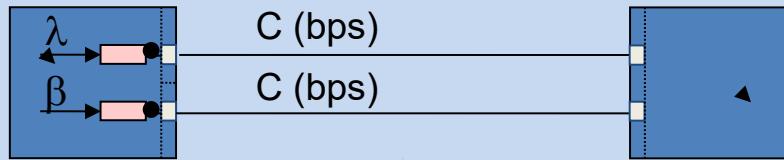
Sistemas grandes são melhores!

- B vai experimentar um acesso n vezes melhor!
- Sistemas grandes são mais eficientes, para uma mesma utilização!

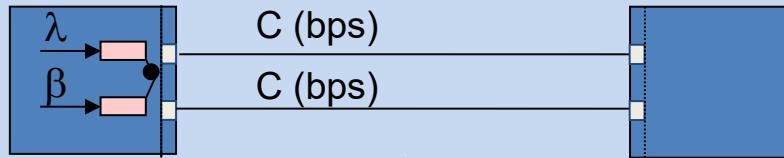


Sistemas grandes sempre melhores

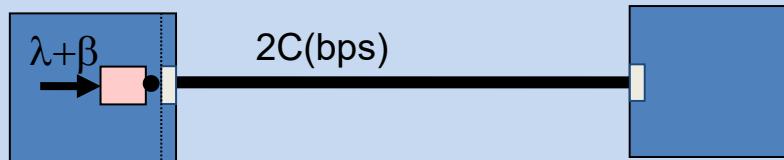
duas interfaces,
duas filas separadas



duas interfaces,
uma única fila com
dois servidores



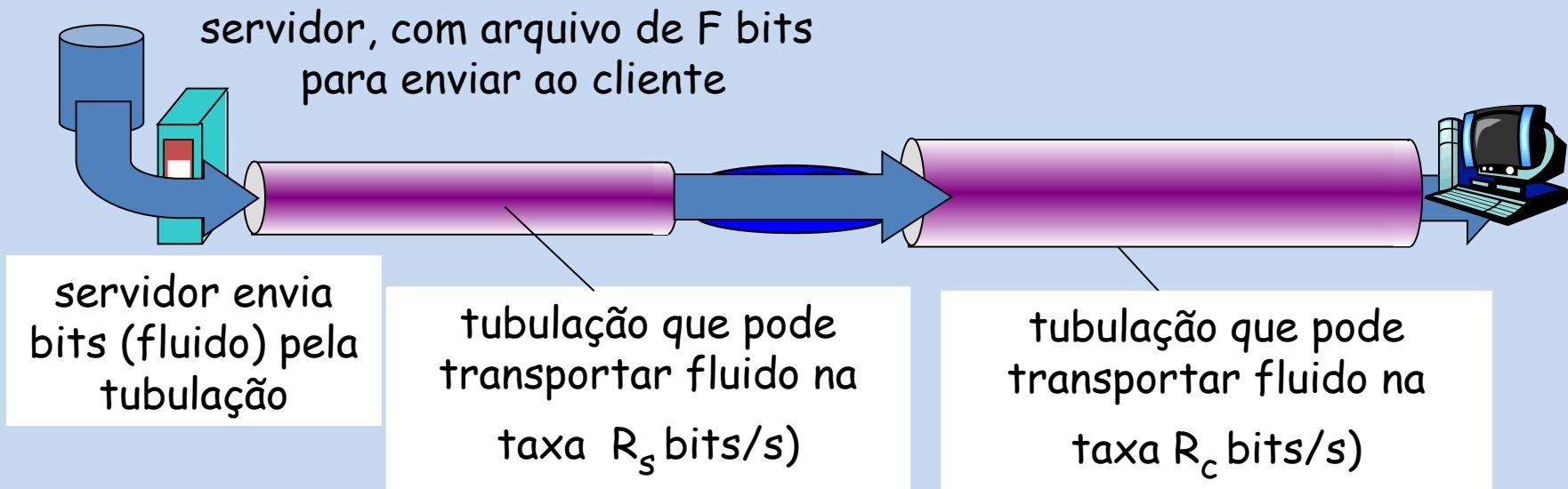
uma única interface,
uma única fila



Performance cresce

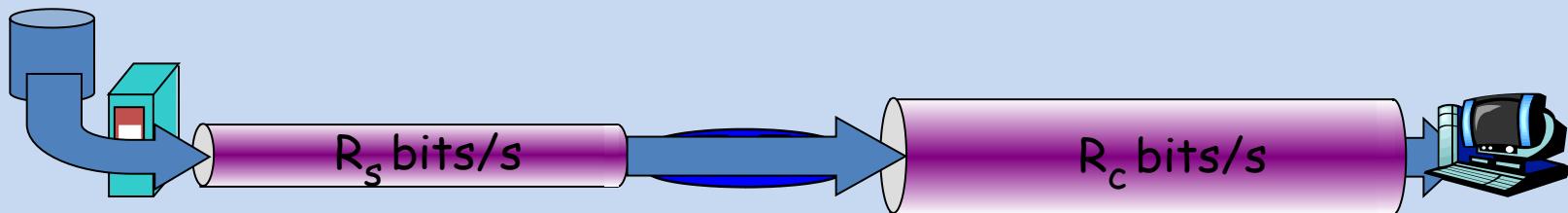
Vazão

- **vazão** (ou *throughput*) é a taxa em que os bits são transferidos entre emissor/receptor
 - *instantânea*: taxa em determinado ponto no tempo
 - *média*: taxa média num intervalo de tempo

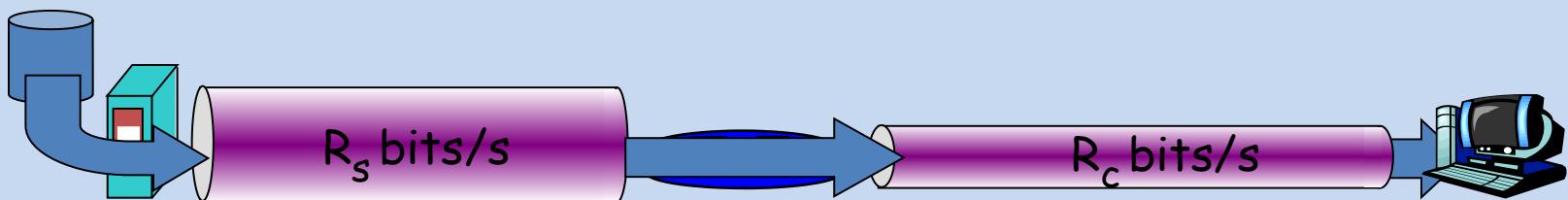


Gargalo

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



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

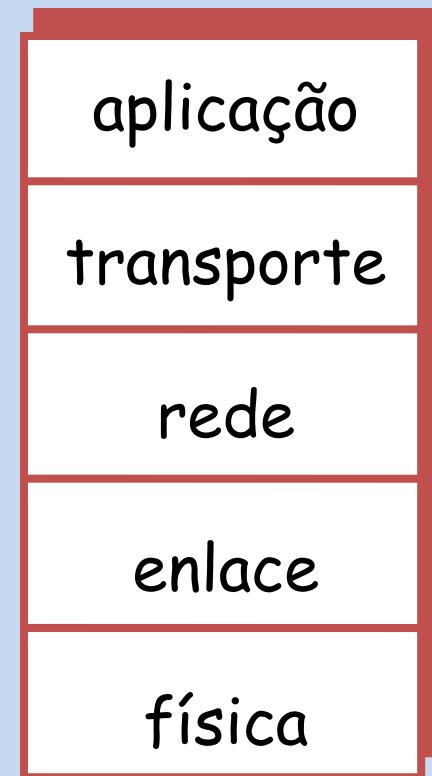


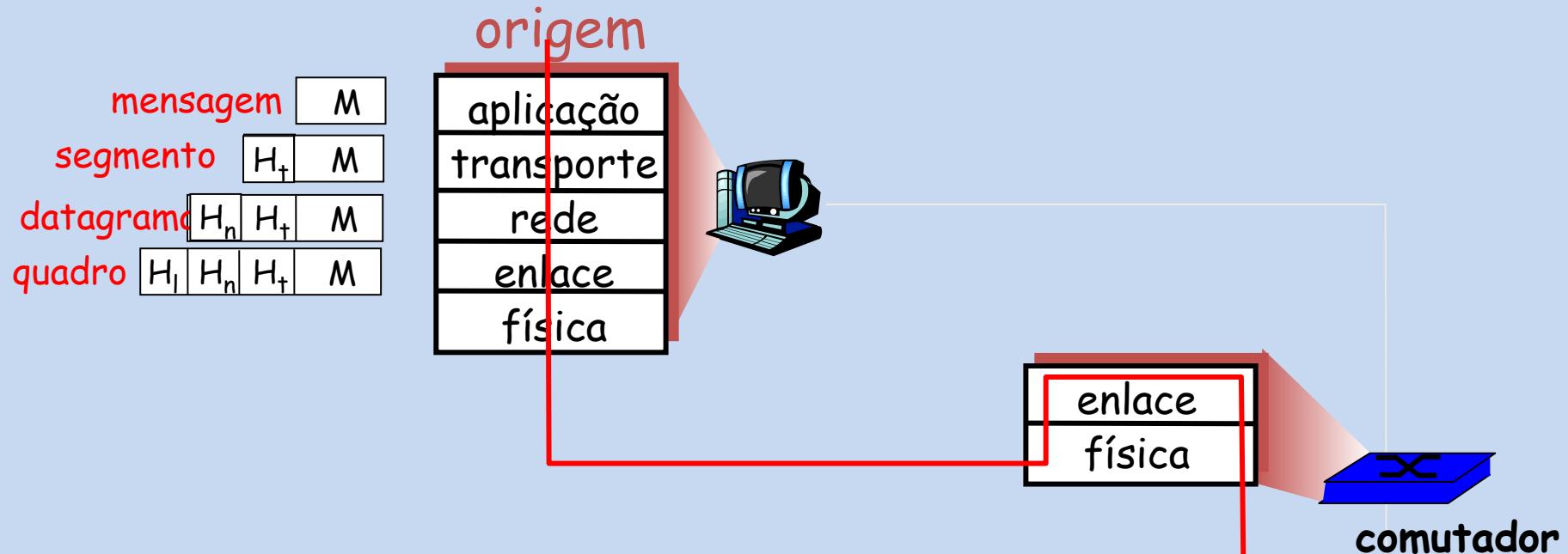
enlace de gargalo
enlace no caminho que restringe a vazão de fim a fim

Pilha de protocolos da Internet

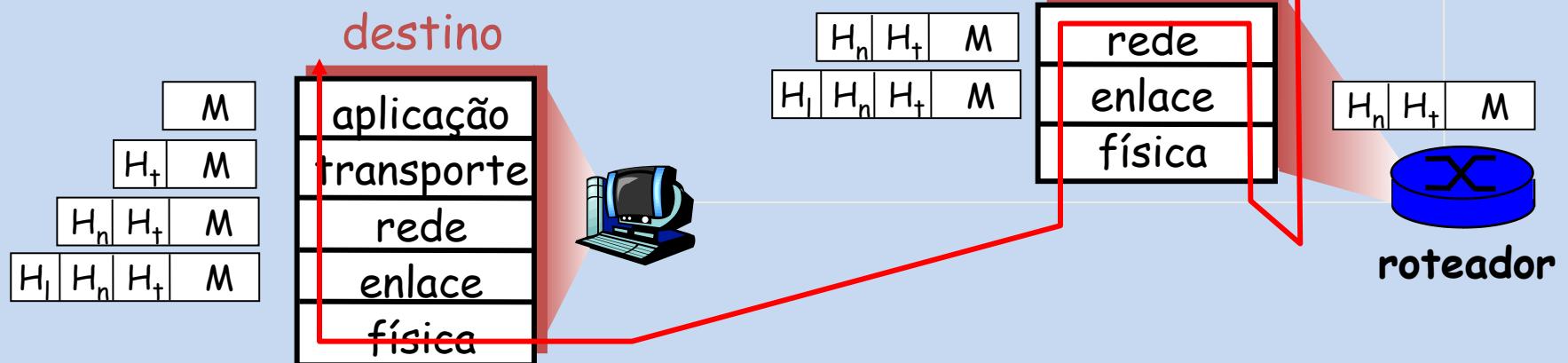
- **aplicação:** suporte a aplicações de rede
 - FTP, SMTP, HTTP
- **transporte:** transferência de dados processo-processo
 - TCP, UDP
- **rede:** roteamento de datagramas da origem ao destino
 - IP, protocolos de roteamento
- **enlace:** transferência de dados entre elementos vizinhos da rede
 - PPP,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

CAMADAS





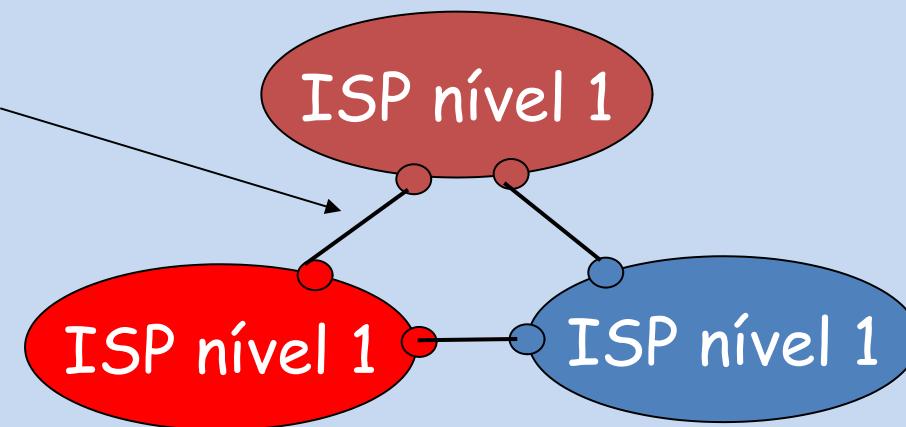
Encapsulamento



Estrutura da Internet: rede de redes

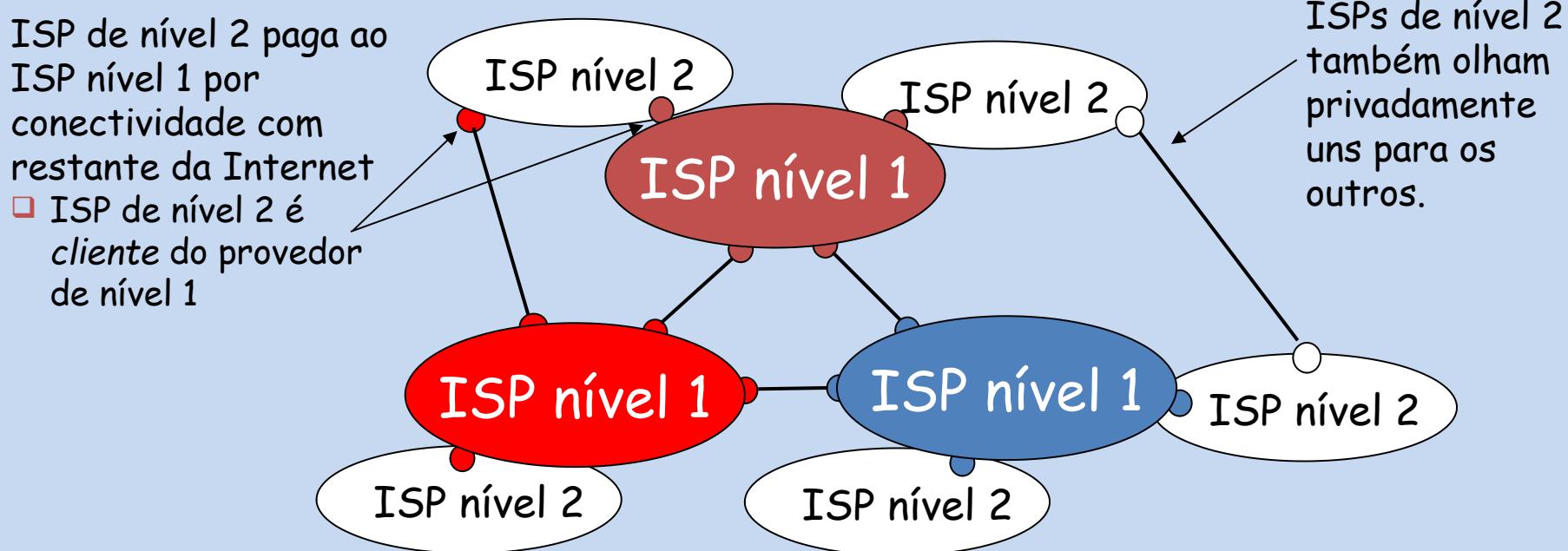
- aproximadamente hierárquica
- no centro: ISPs de “nível 1” (p. e., Verizon, Sprint, AT&T, Cable and Wireless), cobertura nacional/internacional
 - tratam uns aos outros como iguais

interconexão de provedores de nível 1 (peer) privadamente



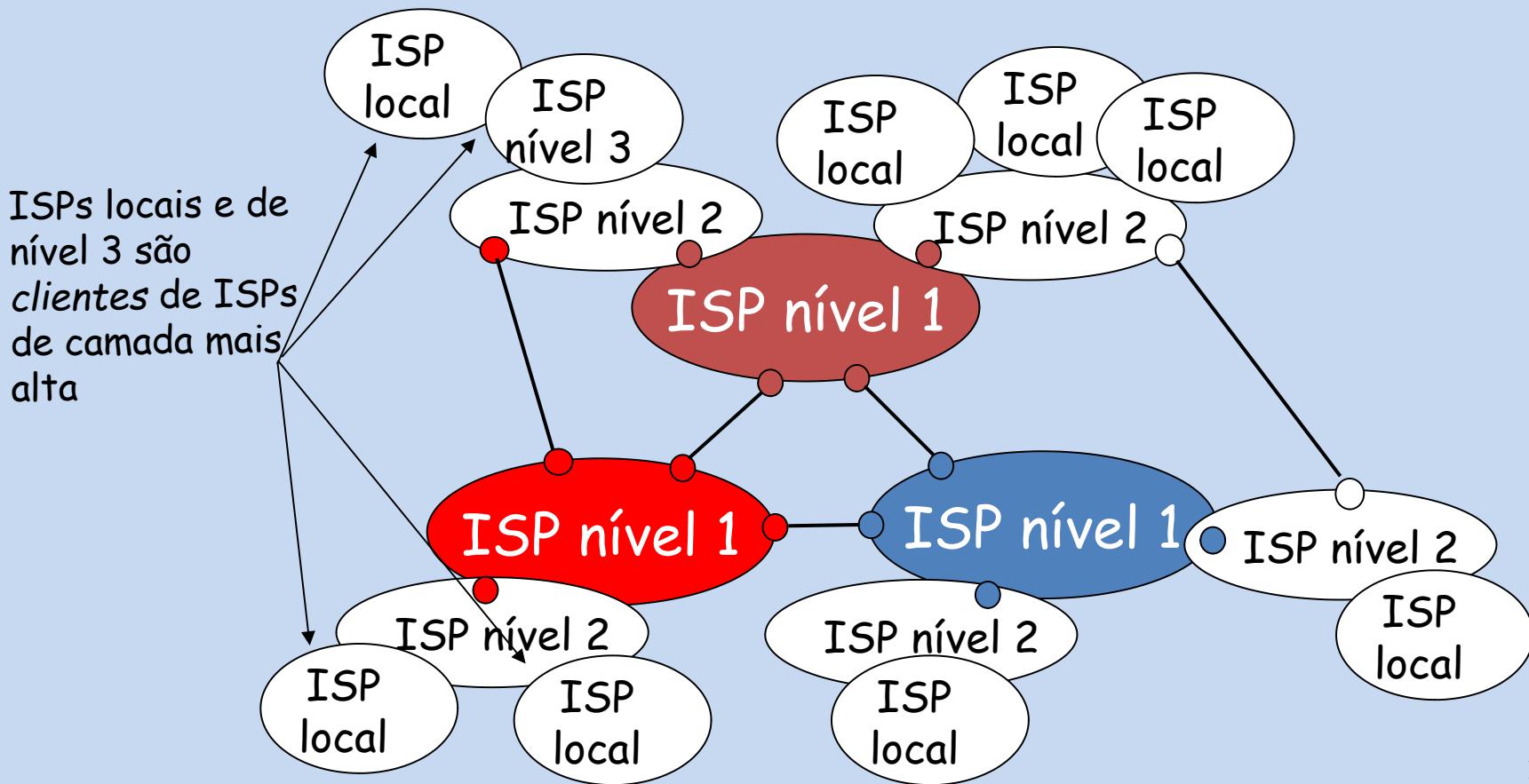
Estrutura da Internet: rede de redes

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



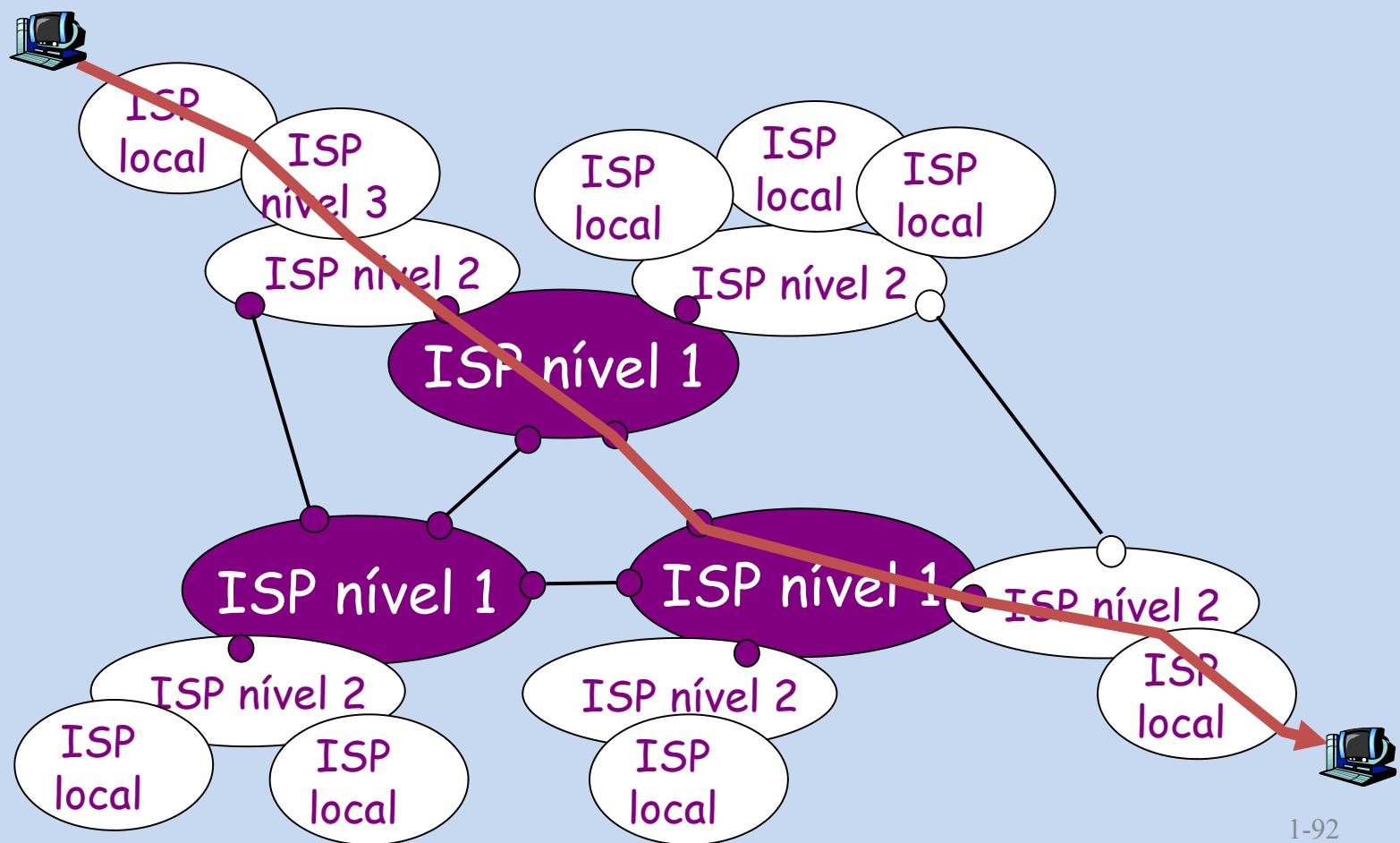
Estrutura da Internet: rede de redes

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

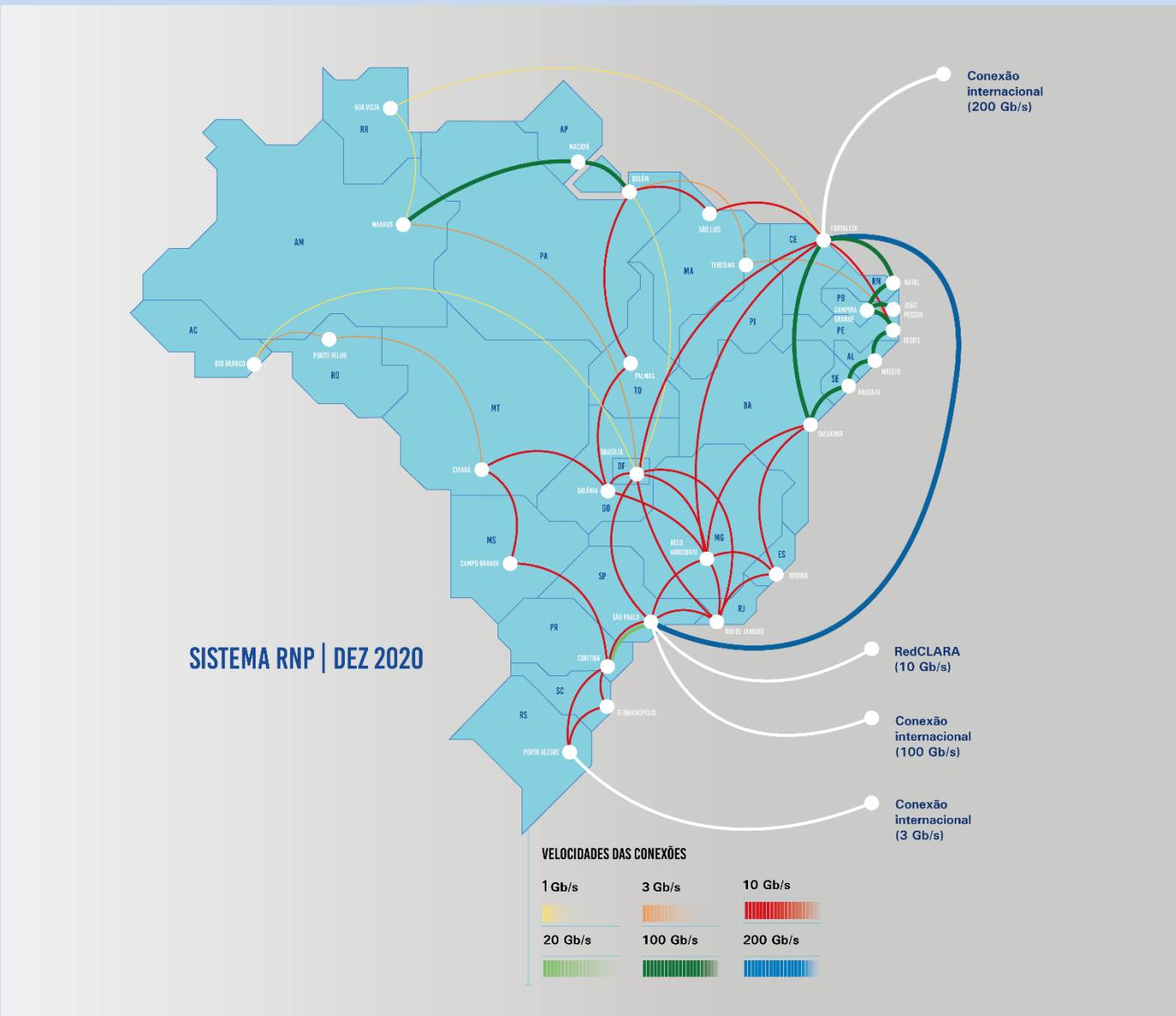


Estrutura da Internet: rede de redes

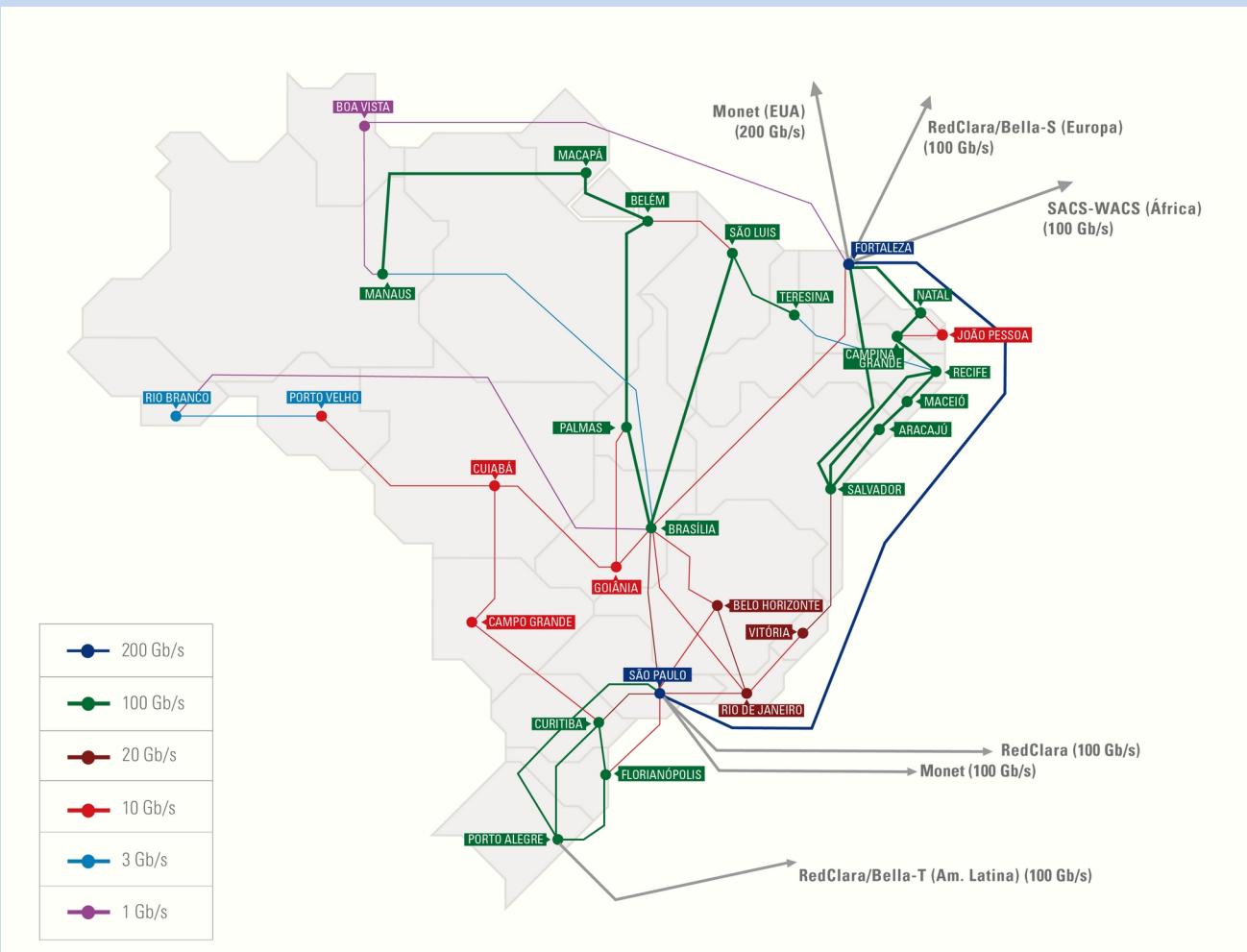
- um pacote passa por muitas redes!



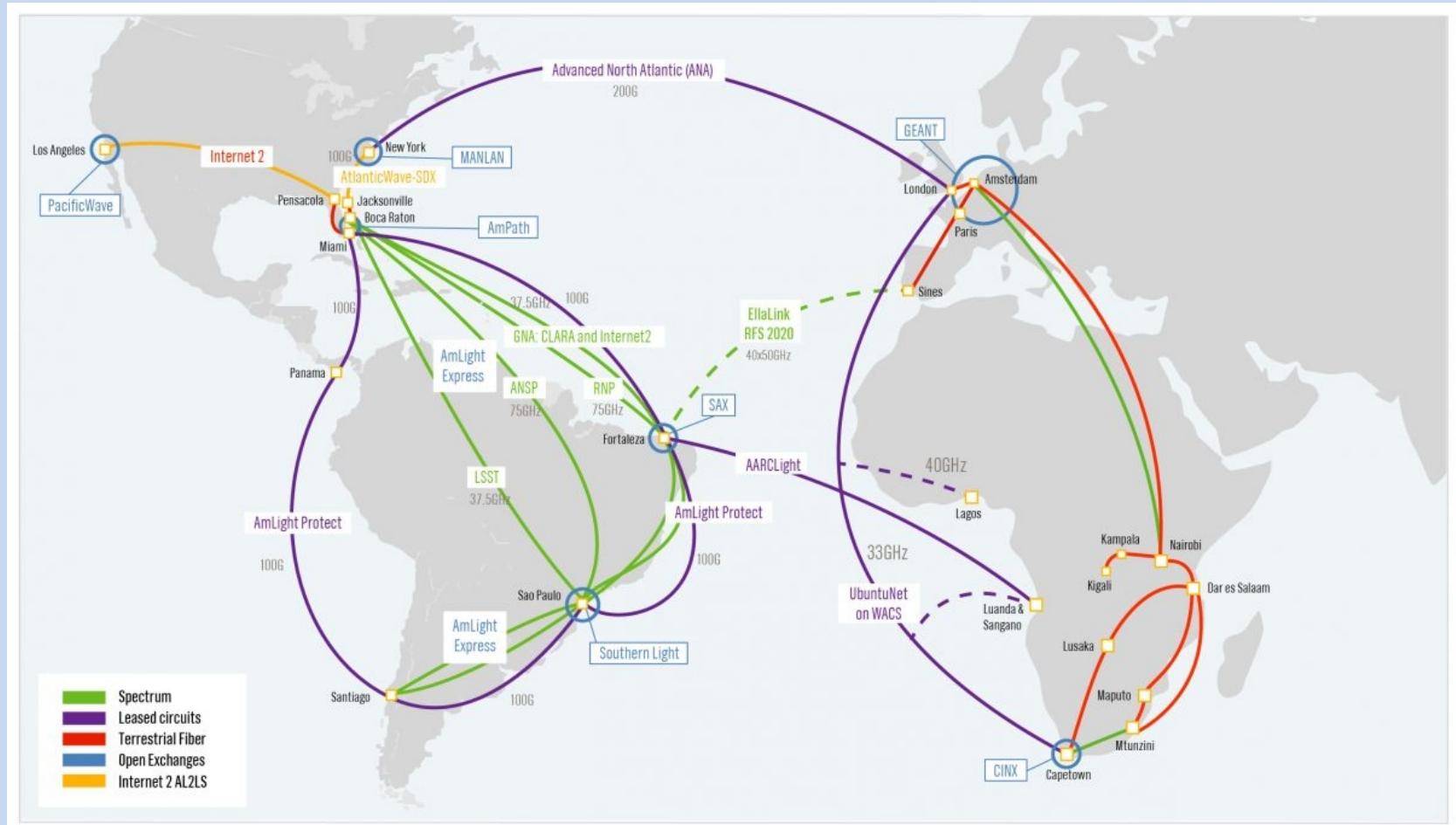
Backbone da RNP 2020 (www.rnp.br)



Backbone da RNP 2022 (www.rnp.br)



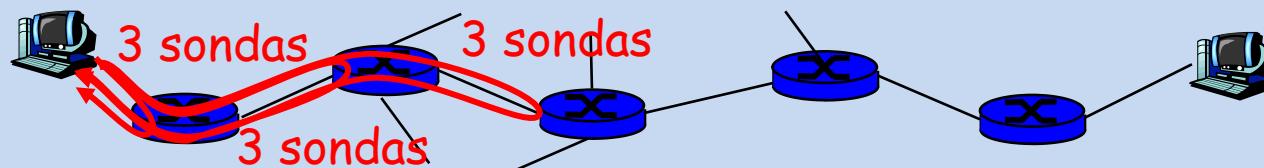
AARCLight: Americas Africas Research and education Lightpaths 2020



Atrasos e rotas “reais” na Internet

Como obter os atrasos e perdas “reais” na Internet?

- Programa Ping: envia pacote de controle (sonda) ao destino, forcingo o retorno de pacotes de resposta e permitindo calcular o atraso de ida e volta (*roundtrip time*), se o destino é alcançável
- Programa Traceroute: mede o atraso de ida e volta da origem ao roteador i ao longo do caminho até o destino (equivalente a ping com 3 sondas)
- Programa PingPlotter



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

Segurança de rede

- como defender as redes contra ataques
- como maus sujeitos atacam redes de computadores
- como projetar arquiteturas imunes a ataques
- Internet não foi criada originalmente com (muita) segurança em mente
 - *visão original*: “um grupo de usuários mutuamente confiáveis conectados a uma rede transparente”
 - projetistas de protocolos da Internet brincando de “contar novidades”
 - considerações de segurança em todas as camadas!

Maus sujeitos podem colocar malware em hospedeiros via Internet

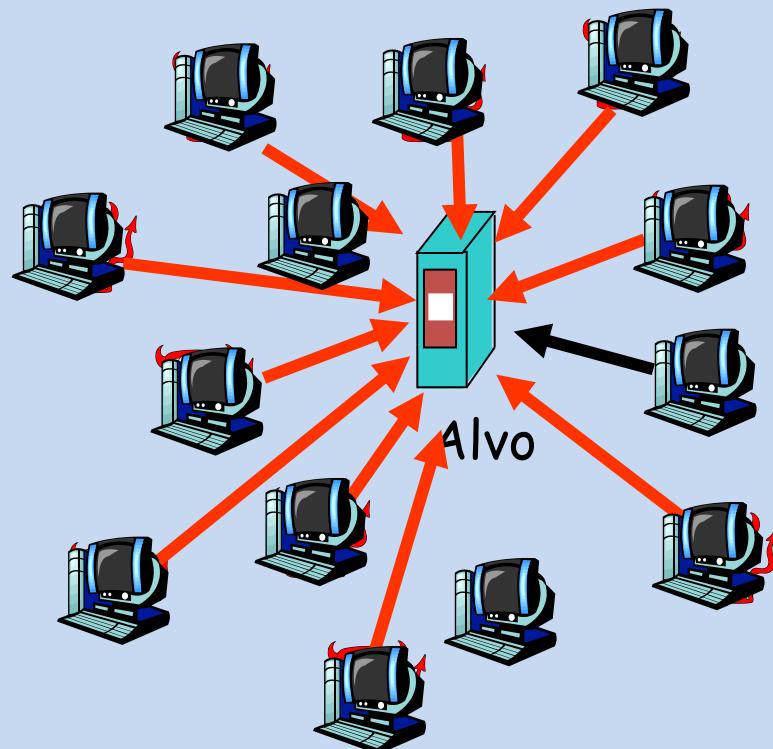
- malware pode entrar via **vírus, worm ou cavalo de Troia**
- **malware tipo spyware** pode registrar toques de teclas, sites visitados na Web, enviar informações para sites de coleta
- host infectado e alistado em **botnet**, usado para spam e ataques de DDoS (negação de serviço)
- malware normalmente é **autorreprodutivo**: de um hospedeiro infectado, busca entrada em outros hospedeiros

Contaminações maléficas

- **cavalo de Troia**
 - parte oculta em algum software útil
 - hoje, normalmente em uma página Web
(Active-X, plug-in)
- **worm**
 - infecção ao receber objeto por aplicação vulnerável sem participação ativa do usuário
 - propaga-se para outros hospedeiros e usuários
- **vírus**
 - infecção ao receber objeto (p. e., anexo de e-mail), executado pelo usuário
 - propaga-se para outros hospedeiros e usuários

Maus sujeitos podem atacar servidores e infraestrutura de rede

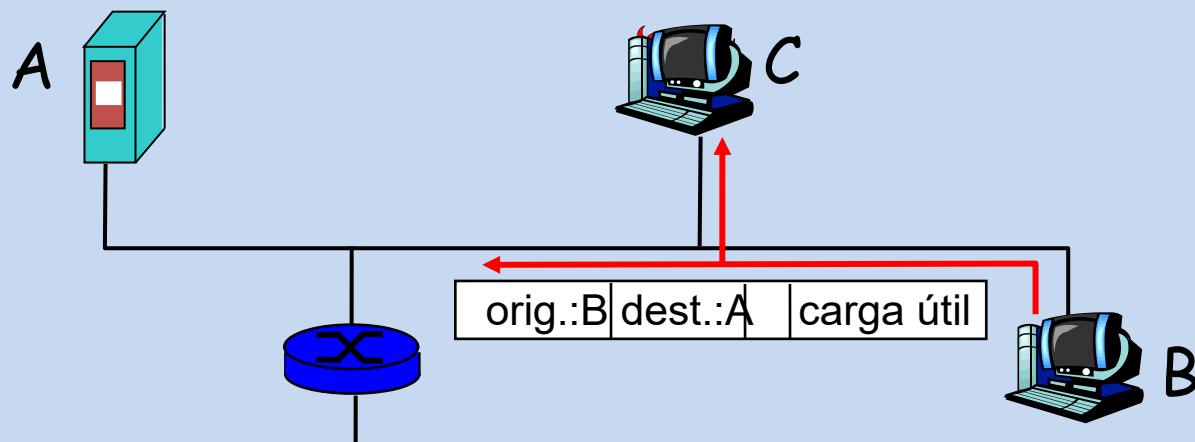
- Denial of Service (DoS): atacantes deixam recursos (servidor, largura de banda, abertura de conexões) indisponíveis ao tráfego legítimo, sobrecarregando recurso com tráfego
1. selecionar alvo
 2. invadir hospedeiros na rede (ver botnet)
 3. enviar pacotes para o alvo a partir dos hospedeiros comprometidos



Maus sujeitos podem analisar pacotes

Análise de pacotes:

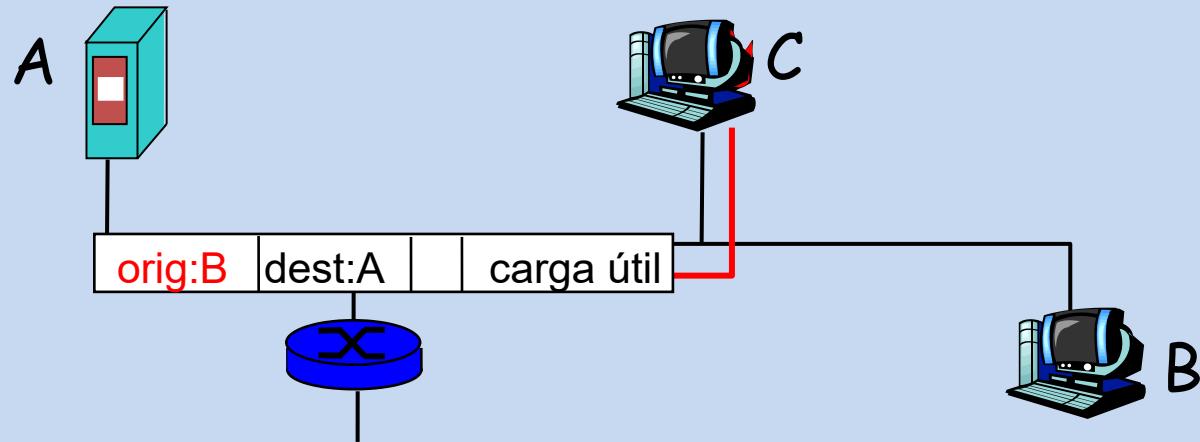
- meio de broadcast (Ethernet compartilhada, sem fio)
- interface de rede promíscua lê/registra todos os pacotes (p. e., incluindo senhas!) passando por ela



- ❖ software Wireshark usado para laboratório do analisador de pacotes (*packet sniffer*)

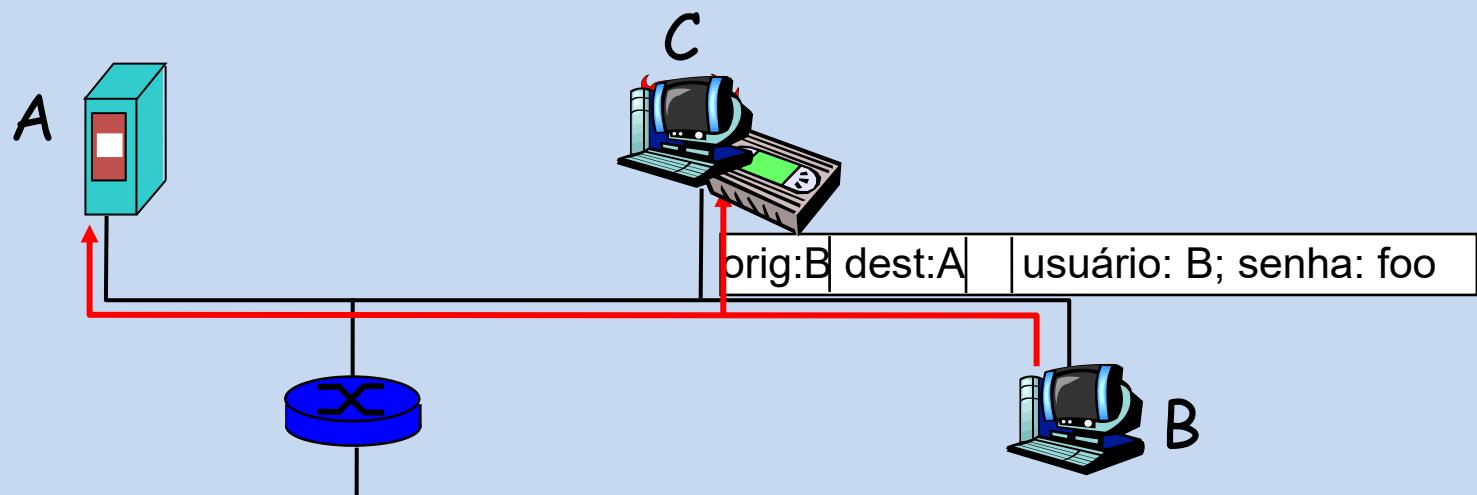
Maus sujeitos podem usar endereços de origem falsos

- *IP spoofing:* enviar pacote com endereço de origem falso



Maus sujeitos podem gravar e reproduzir

- *gravar-e-reproduzir*: informação confidencial (p. e., senha) é usada mais tarde



Segurança de rede

- mais no decorrer deste curso, nas disciplinas de rede, segurança, criptografia, e em tópicos especiais
- técnicas criptográficas: usos óbvios e não tão óbvios

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 da Internet (leitura independente)

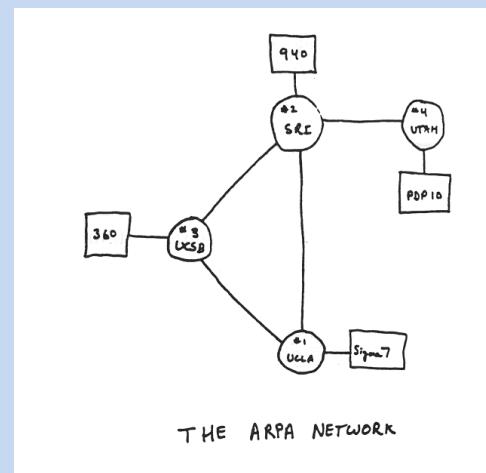
História da Internet

1961-1972: Princípios da comutação de pacotes

- 1961: Kleinrock – teoria do enfileiramento mostra eficácia da comutação de pacotes
- 1964: Baran – comutação de pacotes em redes militares
- 1967: ARPAnet concebida pela ARPA (Advanced Research Projects Agency)
- 1969: primeiro nó ARPAnet operacional

- 1972:

- demonstração pública da ARPAnet
- NCP (Network Control Protocol) primeiro protocolo hospedeiro-hospedeiro
- primeiro programa de e-mail
- ARPAnet tem 15 nós



História da Internet

1972-1980: Inter-rede, redes novas e proprietárias

- **1970:** rede por satélite ALOHAnet no Havaí
- **1974:** Cerf e Kahn – arquitetura para interconexão de redes
- **1976:** Ethernet na Xerox PARC
- **final dos anos 70:** arquiteturas proprietárias: DECnet, SNA, XNA
- **1979:** ARPAnet tem 200 nós

princípios de inter-rede de Cerf e Kahn:

- minimalismo, autonomia (sem mudanças internas para interconexão de redes)
- modelo de serviço pelo melhor esforço
- roteadores sem estado
- controle descentralizado

definem a arquitetura da Internet

História da Internet

1980-1990: novos protocolos, proliferação de redes

- 1983: implantação do TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)
- 1982: e-mail SMTP (Simple Mail Transport Protocol)
- 1983: DNS (Domain Name Server) para tradução entre nome-endereço IP
- 1985: FTP (File Transport Protocol) definido
- 1988: controle de congestionamento do TCP
- expansão de redes nos países: CSnet, BITnet, NSFnet, Minitel
- 100.000 hospedeiros conectados à confederação de redes

História da Internet

*1990, 2000's: comercialização,
a Web, novas aplicações*

- **início dos anos 90:** ARPAnet desativada
- **1991:** NSF aumenta restrições para uso comercial da NSFnet (retirada em 1995)
- **início dos anos 90:** Web
 - hipertexto (vem dos anos 60)
 - HTML, HTTP: Berners-Lee
 - 1994: Mosaic, depois Netscape
- **final dos anos 90:** Web comercial

Após ano 2000:

- mais aplicações formidáveis: mensagens instantâneas, voip, compartilhamento de arquivos P2P, redes sociais, jogos online, realidade aumentada
- segurança de rede em foco
- backbones em dezenas a centenas de Gbps
- 2022, 5 bilhões de usuários (63% da população), 60% do tráfego por dispositivos móveis

Introdução: resumo

Vimos muito material!

- visão geral da Internet
- princípios de telecomunicações
- O que é um protocolo?
- borda da rede, núcleo, rede de acesso
 - comutação de pacotes e circuitos
 - estrutura da Internet
- desempenho: perda, atraso e vazão
- camadas, modelos de serviço
- segurança
- história

Agora você tem:

- contexto, visão geral, “sentido” de rede
- mais detalhes a seguir!