



# REDES DE COMPUTADORES

Prof. Herlon Camargo

# REDES DE COMPUTADORES E A INTERNET



## CAPÍTULO 1

Redes de  
Computadores  
e a Internet



## CAPÍTULO 2

Camada de  
Aplicação



## CAPÍTULO 3

Camada de  
Transporte



## CAPÍTULO 4

Camada de Rede



## CAPÍTULO 5

Camada de Enlace

# CAPÍTULO 1 - REDES DE COMPUTADORES E A INTERNET

## **1.1.** O que é a Internet?

- 1.1.1.** Uma descrição detalhada da rede
- 1.1.2.** Uma descrição do serviço
- 1.1.3.** O que é um protocolo

## **1.2.** A periferia da Internet

- 1.2.1.** Sistemas finais, clientes e servidores
- 1.2.2.** Serviço orientado para conexão e serviço não orientado para conexão

## **1.3.** O núcleo da rede

- 1.3.1.** Comutação de circuitos e comutação de pacotes
- 1.3.2.** Comutação de pacotes: datagramas versus circuitos virtuais

## **1.4.** Redes de acesso e meios físicos

- 1.4.1.** Redes de acesso
- 1.4.2.** Meios físicos

## **1.5.** ISPs e backbones da Internet

# CAPÍTULO 1 - REDES DE COMPUTADORES E A INTERNET

- 1.6.** Atraso e perda em redes de comutação de pacotes
  - 1.6.1.** Tipos de atraso
  - 1.6.2.** Atraso de fila e perda de pacotes
  - 1.6.3.** Atraso e rotas na Internet
  - 1.6.4.** Vazão nas redes de computadores
  
- 1.7.** Camadas de protocolo e seus modelos de serviço
  - 1.7.1.** Arquitetura de camadas
  - 1.7.2.** Encapsulamento

- 1.8.** História das redes de computadores e da Internet
  - 1.8.1.** Desenvolvimento da comutação de pacotes: 1961-1972
  - 1.8.2.** Redes proprietárias e trabalho em rede: 1972-1980
  - 1.8.3.** Proliferação de redes: 1980-1990
  - 1.8.4.** A explosão da Internet: a década de 1990
  - 1.8.5.** Desenvolvimentos recentes

## Exercícios

# #1.1

---

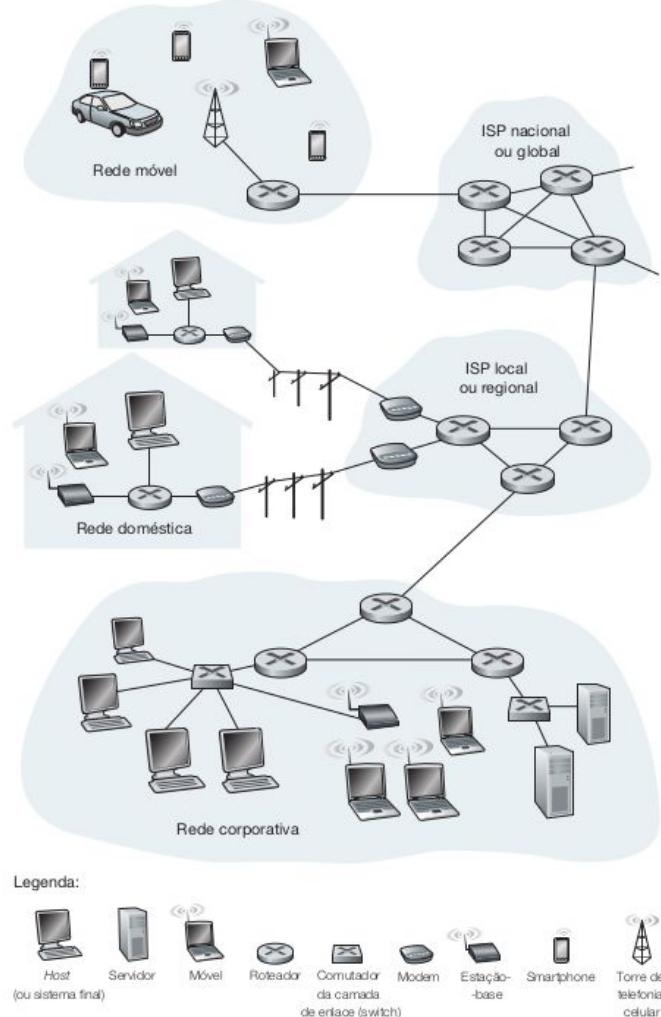
## O QUE É A INTERNET?



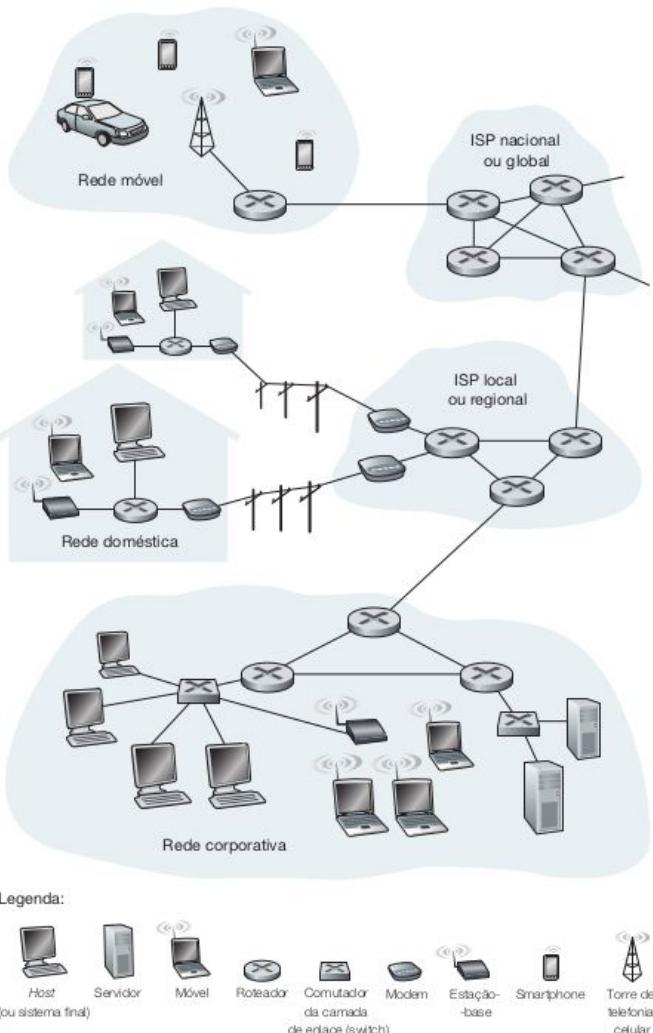
# 1.1.1 - UMA DESCRIÇÃO DETALHADA DA REDE

---

- Milhões de elementos de computação interligados
- Sistemas finais = hospedeiros = hosts
- Executa aplicações distribuídas
- Enlaces de comunicação:
  - Fibra de vidro, cobre, rádio, satélite.
- Taxa de transmissão de dados = largura de banda = bps



- **Roteadores:** redirecionam pacotes
- **Protocolos:** controlam o envio e a recepção de mensagens
  - ex.: TCP, IP, HTTP, FTP, PPP
- **ISP:** provedores de serviços de Internet
- **Internet:** “rede de redes”
- **Intranet:** “Internet privada”
- Padrões da Internet:
  - **RFC:** Request for Comments
  - **IETF:** Internet Engineering Task Force



## 1.1.2 - UMA DESCRIÇÃO DO SERVIÇO

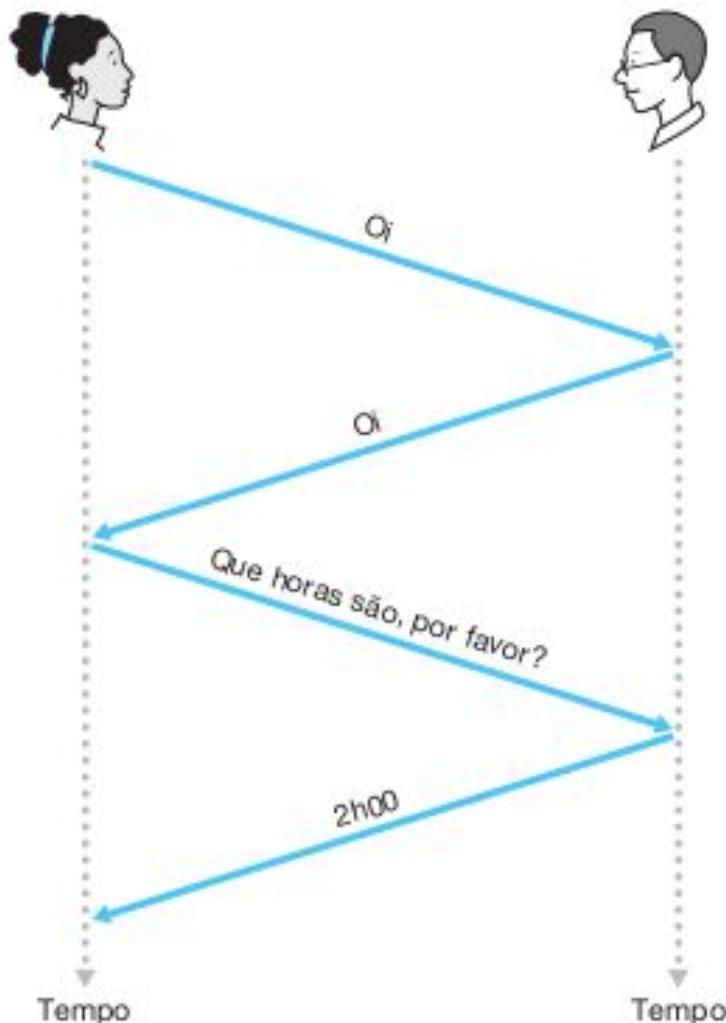
---

- Infra-estrutura de comunicação permite aplicações distribuídas:
  - Web, e-mail, jogos, e-commerce, compartilhamento de arquivos
- Serviços de comunicação oferecidos:
  - Sem conexão
  - Orientado à conexão
- A Internet não provê um serviço que garanta o tempo exato que gastará para levar os dados da origem ao destino

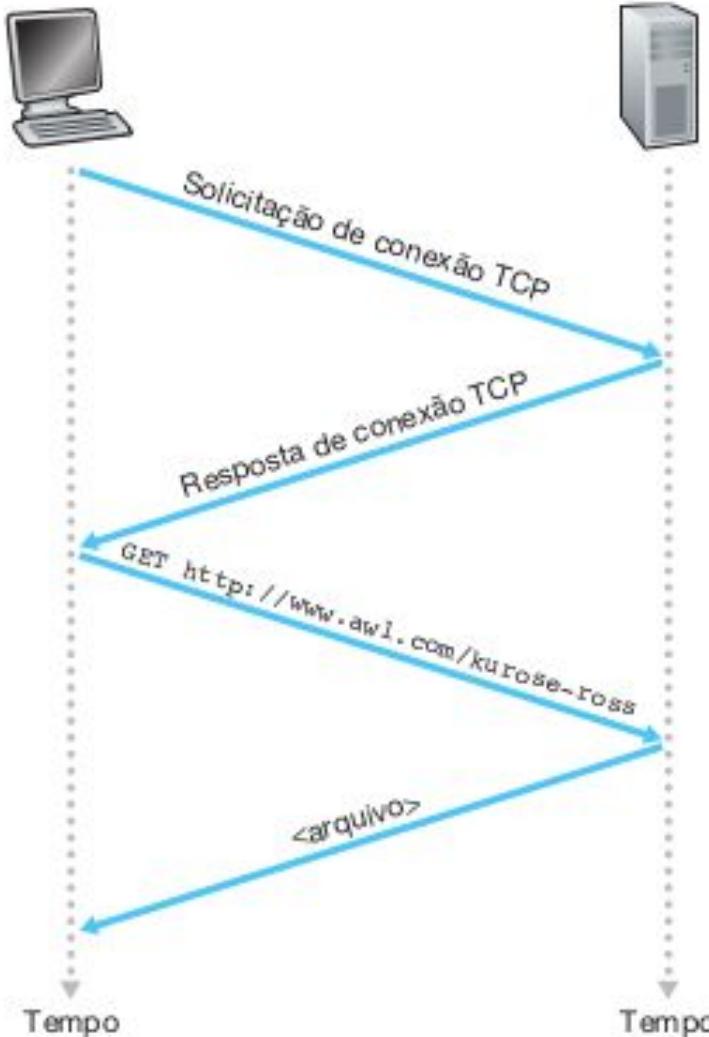
## 1.1.3 - O QUE É UM PROTOCOLO?

---

- Protocolos humanos:
  - “Que horas são?”
  - “Eu tenho uma pergunta.”
  - Apresentações
  - Mensagens específicas enviadas
  - Ações específicas tomadas quando mensagens são recebidas



- Protocolos de rede:
  - Máquinas em vez de humanos
  - Toda atividade de comunicação na Internet é governada por protocolos
- “Um protocolo define o formato e a ordem das mensagens trocadas entre duas ou mais entidades comunicantes, bem como as ações realizadas na transmissão e/ou no recebimento de uma mensagem ou outro evento”



# #1.2

---

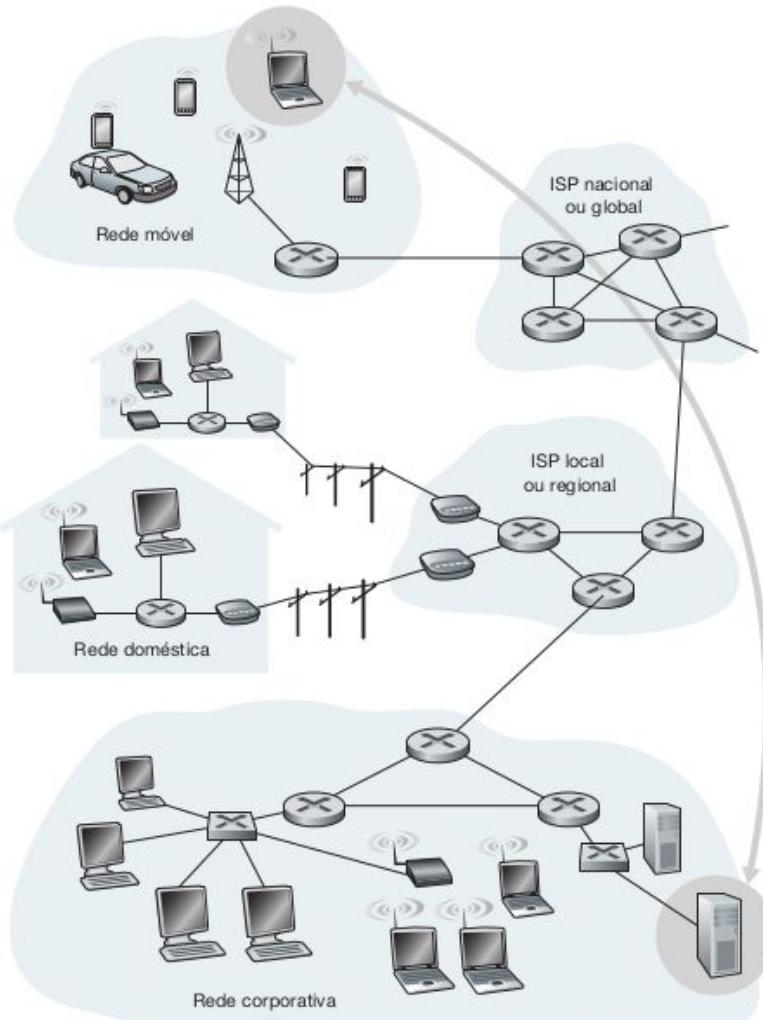
## A PERIFERIA DA INTERNET



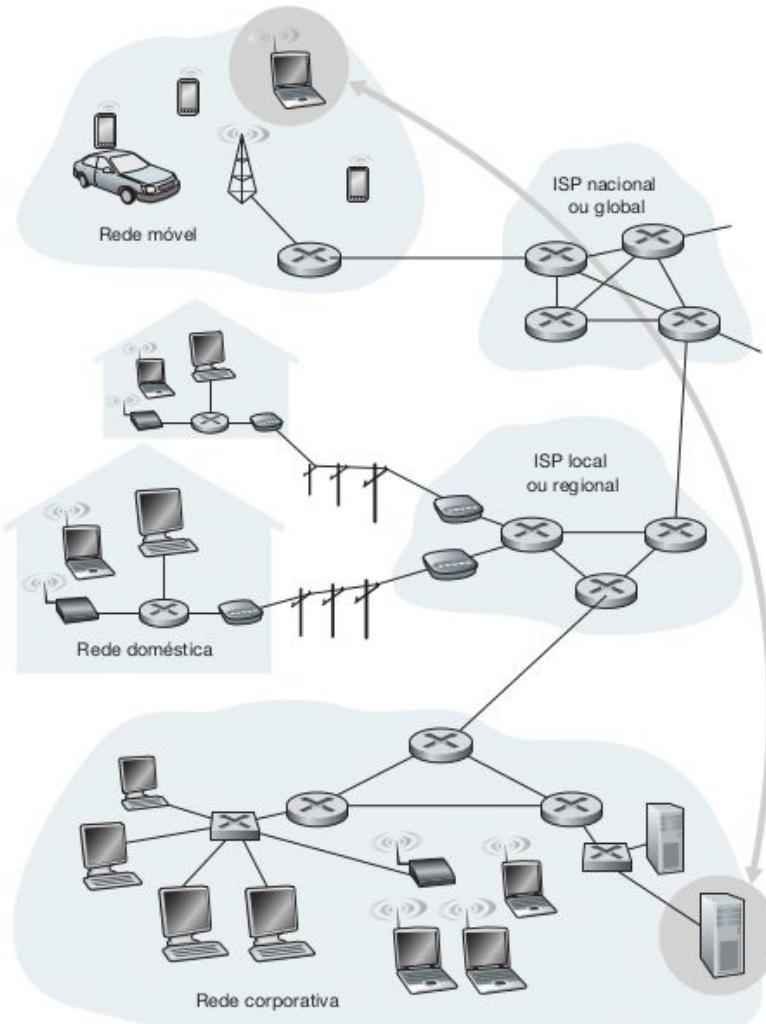
## 1.2.1 - SISTEMAS FINAIS, CLIENTES E SERVIDORES

---

- Borda da rede:
  - Aplicações e hospedeiros
- Núcleo da rede:
  - Roteadores
  - Rede de redes
- Redes de acesso (meio físico):
  - Enlaces de comunicação



- Sistemas finais (hospedeiros):
  - Executam programas de aplicação
  - ex.: Web e e-mail
  - Localizam-se nas extremidades da rede
- Modelo Cliente/Servidor:
  - O cliente toma iniciativa enviando pedidos que são respondidos por servidores
  - ex.: Web client (browser) / server; e-mail client / server
- Modelo peer-to-peer (P2P)
  - Mínimo ou nenhum uso de servidores dedicados
  - ex.: Gnutella, eMule, KaZaA



## 1.2.2 - SERVIÇO ORIENTADO À CONEXÃO E SERVIÇO NÃO ORIENTADO À CONEXÃO

---

### SERVIÇO ORIENTADO A CONEXÃO

- **Objetivo:** transferência de dados entre sistemas finais
- **Handshaking:** estabelece as condições para o envio de dados antes de enviá-los
  - “Alô!” - protocolo humano
- **TCP:** Transmission Control Protocol – [RFC 793]
  - Realiza o serviço orientado à conexão da Internet

## SERVIÇO ORIENTADO À CONEXÃO

- Transferência de dados *confiável* e sequencial, orientada à cadeia de bytes
  - Perdas: reconhecimento e retransmissões
- Controle de fluxo:
  - Evita que o transmissor “afogue” o receptor
- Controle de congestão:
  - Transmissor reduz sua taxa quando a rede fica Congestionada

## SERVIÇO NÃO ORIENTADO À CONEXÃO

- **Objetivo:** transferência de dados simples entre sistemas finais
- **UDP:** User Datagram Protocol – [RFC 768]
  - Oferece o serviço sem conexão
  - Transferência de dados *não confiável*
  - Sem controle de fluxo
  - Sem controle de congestionamento

## **ORIENTADO *versus* NÃO ORIENTADO**

- Aplicações usando TCP:
  - HTTP (Web), FTP (transferência de arquivo), Telnet (login remoto), SMTP (e-mail)
- Aplicações usando UDP:
  - Streaming de mídia, telefonia IP, teleconferência, videoconferência, DNS

# #1.3

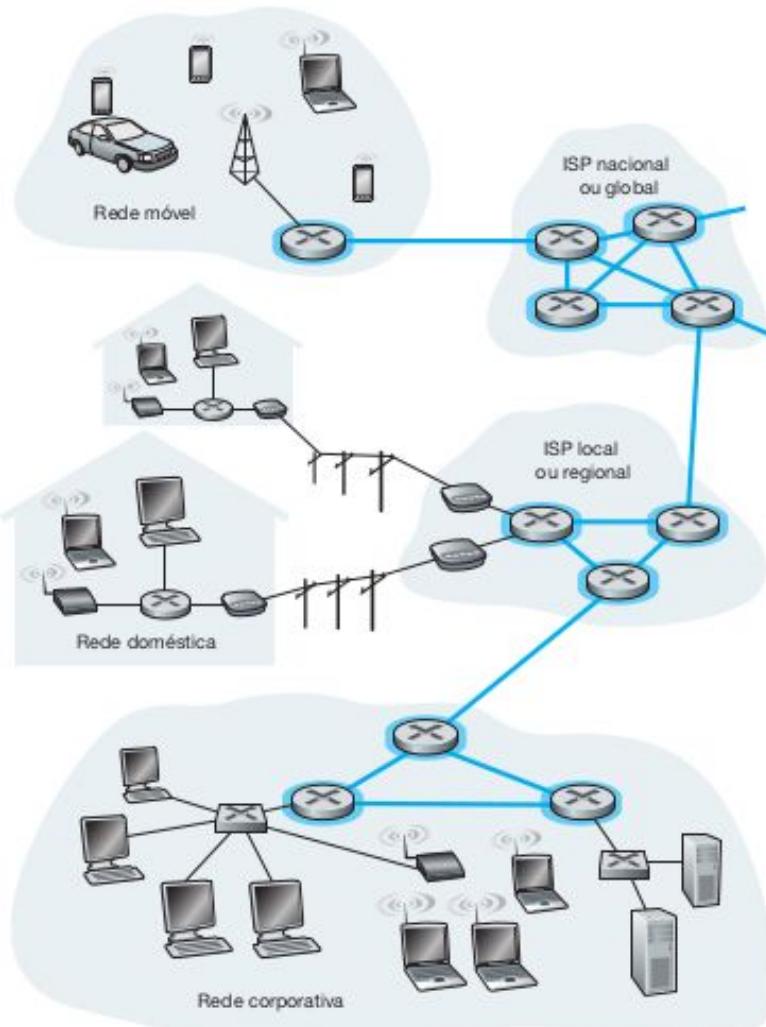
---

## O NÚCLEO DA REDE



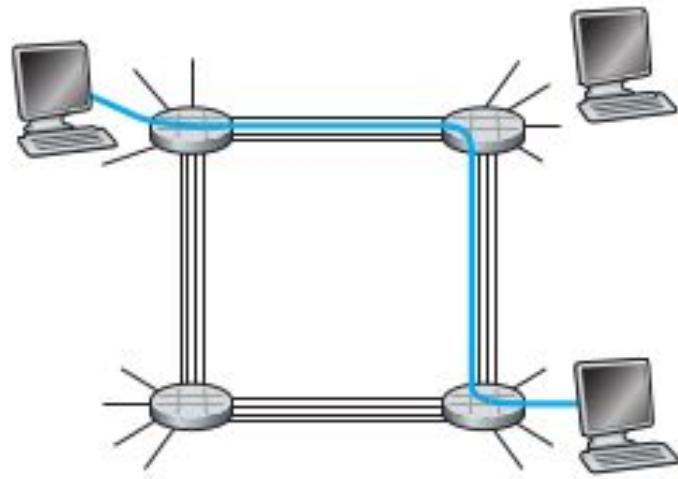
## 1.3.1 - COMUTAÇÃO DE CIRCUITOS E COMUTAÇÃO DE PACOTES

- Malha de roteadores interconectados
- A questão fundamental: *como os dados são transferidos através da rede?*
- Comutação de circuitos: usa um canal dedicado para cada conexão
  - ex.: rede telefônica
- Comutação de pacotes: dados são enviados em “blocos” discretos



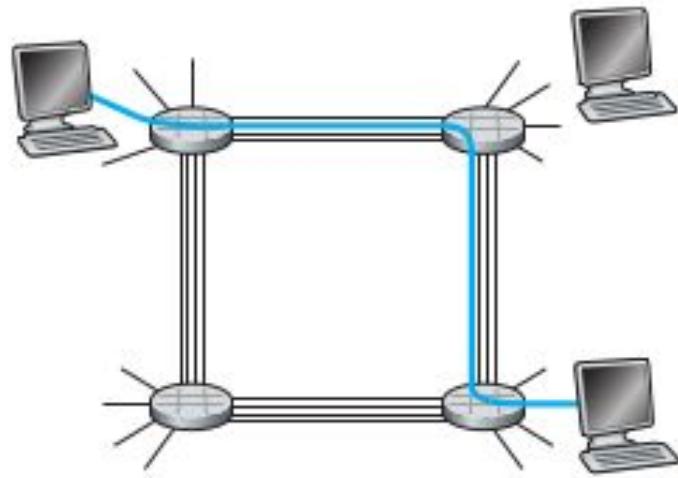
## COMUTAÇÃO DE CIRCUITOS

- Recursos fim-a-fim são reservados por chamada
- Taxa de transmissão, capacidade dos comutadores
- Recursos dedicados, não há compartilhamento
- Desempenho análogo aos circuitos físicos (QoS garantido)
- Exige estabelecimento de conexão



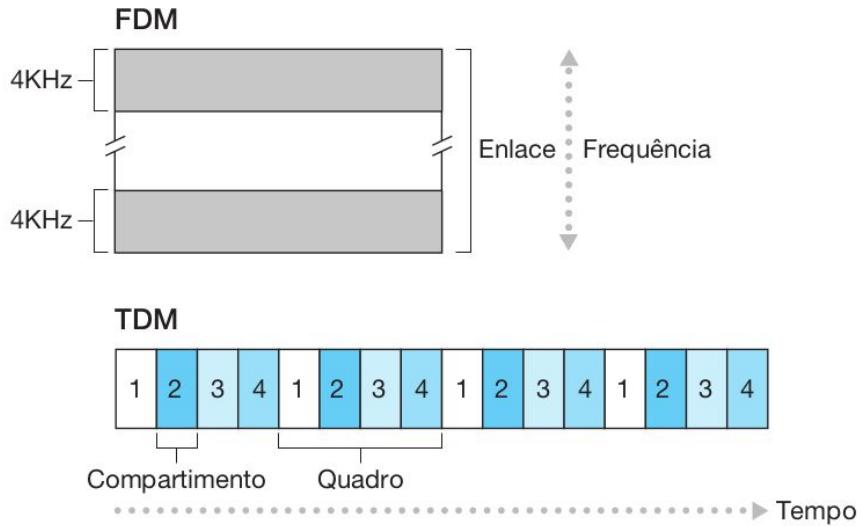
## MULTIPLEXAÇÃO EM REDES DE COMUTAÇÃO DE CIRCUITOS

- Recursos da rede (ex.: largura de banda) dividida em “pedaços”
  - “Pedaço” = faixa de frequência
- “Pedaços” são alocados às chamadas
- “Pedaço” do recurso é desperdiçado quando não é usado pelo dono da chamada



# DIVISÃO DA LARGURA DE BANDA

- Divisão por frequência
- Divisão por tempo



Legenda:



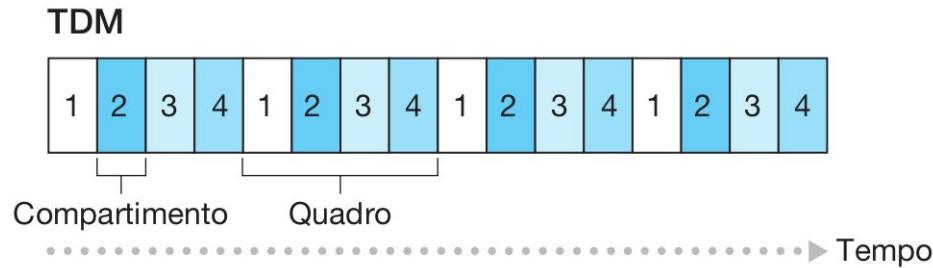
Todos os compartimentos  
de número "2" são dedicados a  
um par transmissor/receptor específico.

# EXERCÍCIO

- Quanto tempo leva para enviar um arquivo de 640 kbits do host A para o host B, numa rede de comutação de circuitos?

- Dados:

- Todos os links possuem 1,536 Mbps
- Cada link utiliza TDM com 24 slots
- 500 milissegundos para estabelecer um circuito fim-a-fim



Legenda:

- 2** Todos os compartimentos  
de número “2” são dedicados a  
um par transmissor/receptor específico.

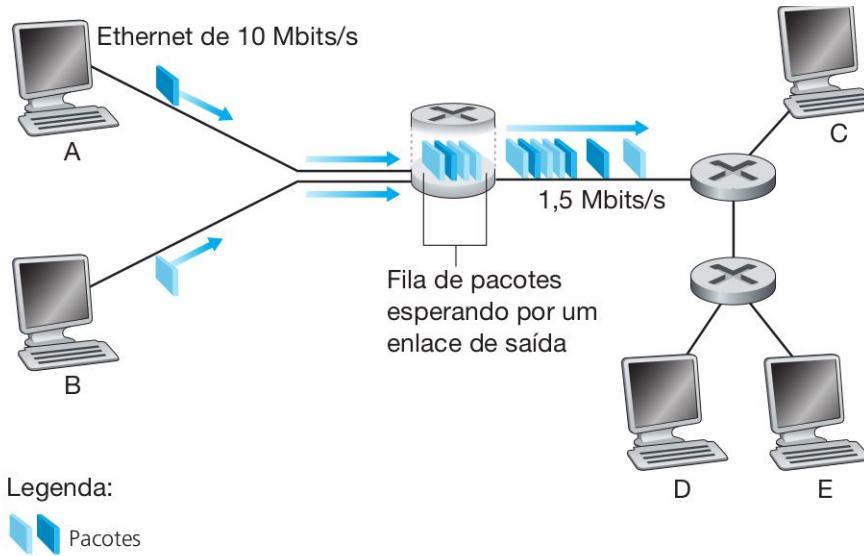
## COMUTAÇÃO DE PACOTES

- Cada fluxo de dados fim-a-fim é dividido em pacotes
- Os recursos da rede são compartilhados em bases estatísticas (sob demanda)
- Cada pacote usa toda banda disponível ao ser transmitido
- Recursos são usados na medida do necessário
- A demanda agregada por recursos pode exceder a capacidade disponível

## COMUTAÇÃO DE PACOTES

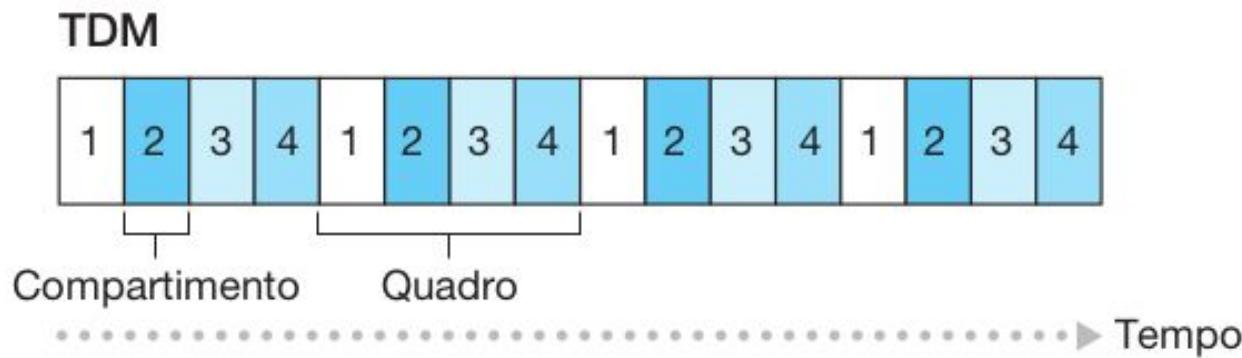
- Congestionamento: filas de pacotes, espera para uso do link
- Armazena e reenvia: pacotes se movem um “salto” por vez
- O nó recebe o pacote completo antes de encaminhá-lo
- Não há alocação fixa nem reserva de recursos

# COMUTAÇÃO DE PACOTES *versus* COMUTAÇÃO DE CIRCUITOS



- A sequência de pacotes A e B não possui um padrão específico: multiplexação sob demanda (estatística)

- No TDM, cada host adquire o mesmo compartimento dentro do frame TDM



**Legenda:**

- 1 Todos os compartimentos
- 2 de número “2” são dedicados a um par transmissor/receptor específico.

➤ *A comutação de pacotes é sempre melhor?*

- Ótima para dados esporádicos
- Melhor compartilhamento de recursos
- Não há estabelecimento de chamada
- Havendo congestionamento excessivo => atraso e perda de pacotes
- Protocolos são necessários para transferência confiável e para controle de congestionamento

- *Como obter um comportamento semelhante ao de um circuito físico?*
  - Problema ainda sem solução
  - Garantias de taxa de transmissão são necessárias para aplicações de áudio e vídeo
  - Paliativo: *circuitos virtuais*

## 1.3.2 - COMUTAÇÃO DE PACOTES: DATAGRAMAS *versus* CIRCUITOS VIRTUAIS

---

- Objetivo dos datagramas e dos circuitos virtuais:
  - mover pacotes entre roteadores, da origem ao destino

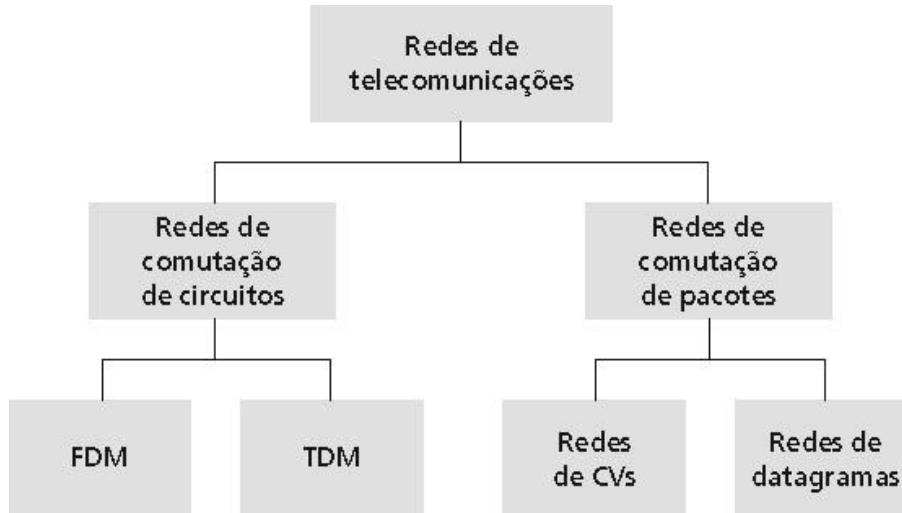
## REDES DE CIRCUITOS VIRTUAIS

- Cada pacote leva um número (virtual circuit ID), o número determina o próximo salto
- O caminho é fixo e escolhido no instante de estabelecimento da conexão, permanece fixo durante toda a conexão
- Roteadores mantêm informações de estado para suas conexões em curso

## REDES DE DATAGRAMAS

- O endereço de destino determina o próximo salto
- Rotas podem mudar durante uma sessão
- Analogia: dirigir perguntando o caminho
- Redes de datagramas não mantêm informação de estado de conexão em seus comutadores

# TAXONOMIA DA REDE

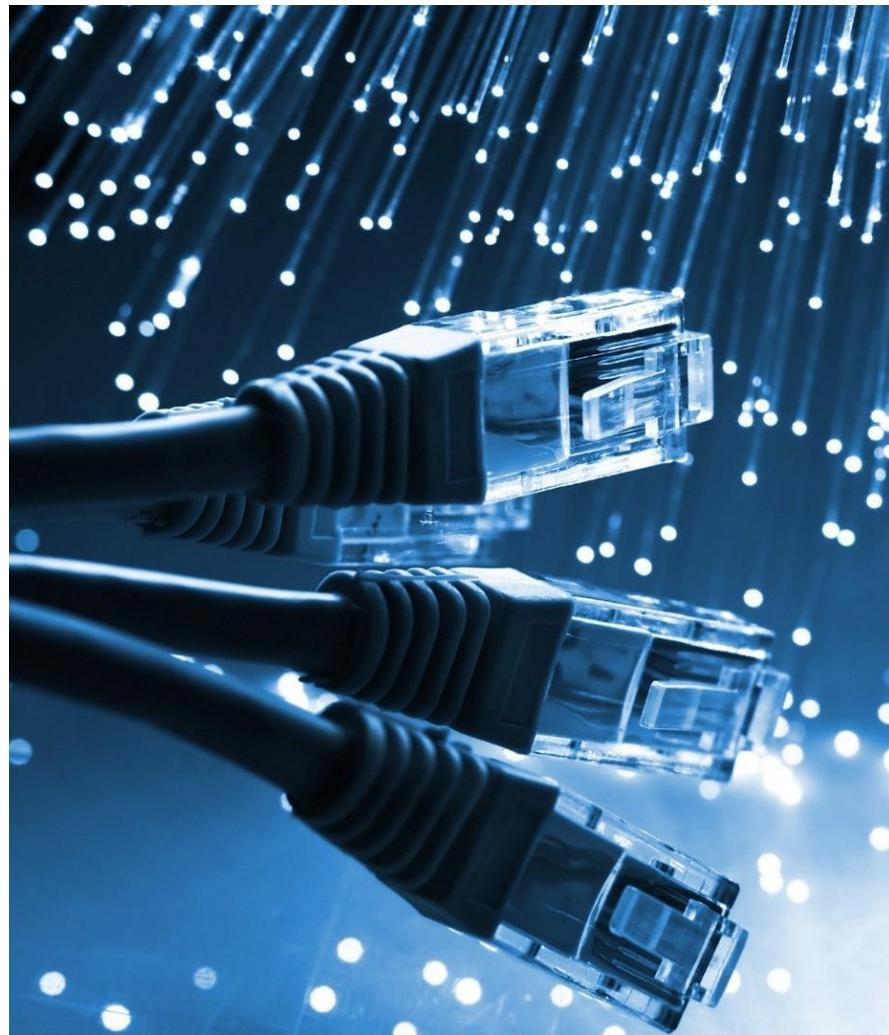


- **Comutadores em redes de circuitos virtuais:** transmitem pacotes de acordo com seus números CVs e mantêm estado de conexão
- **Comutadores em redes de datagramas:** transmitem pacotes de acordo com seus endereços de destino e não mantêm estado de conexão

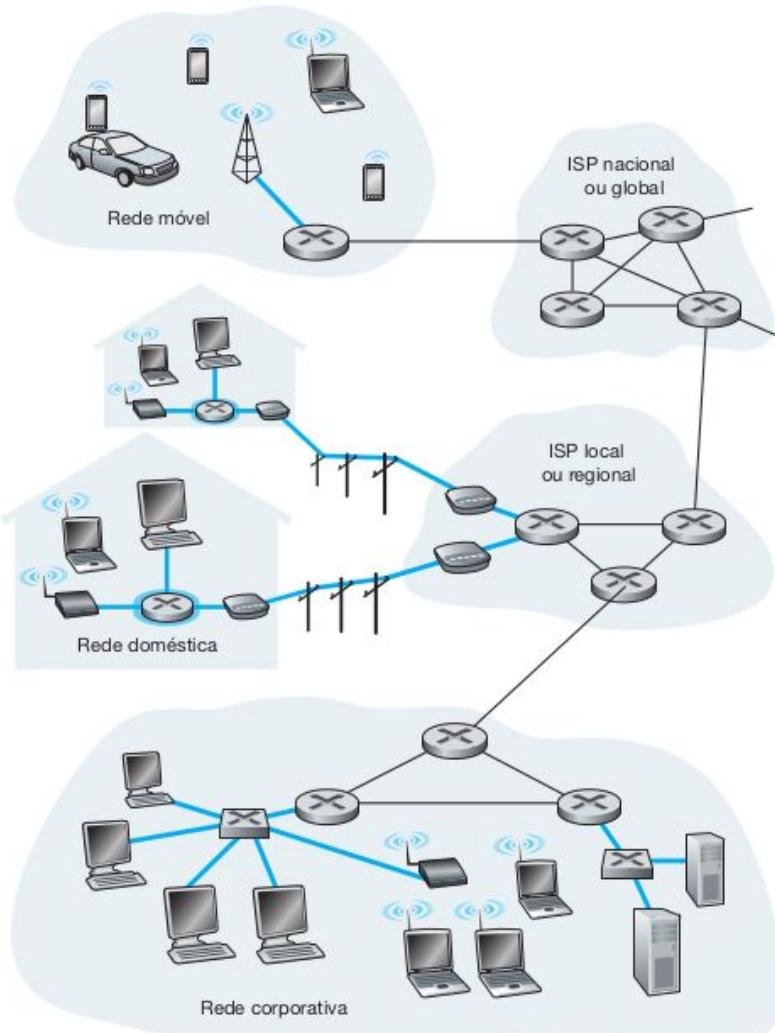
# #1.4

---

## REDES DE ACESSO E MEIOS FÍSICOS



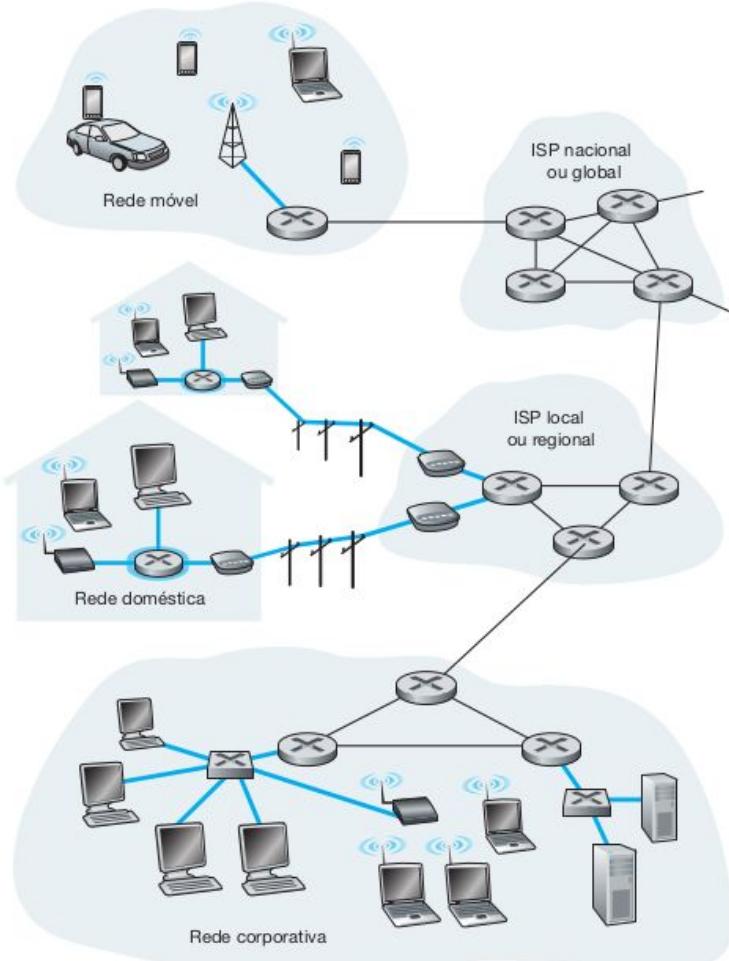
- **Redes de acesso:** o enlace ou os enlaces físicos que conectam um sistema final a seu roteador de borda
- **Roteador de borda:** é o primeiro roteador de um caminho entre um sistema final e qualquer outro sistema final remoto



## 1.4.1 - REDES DE ACESSO

---

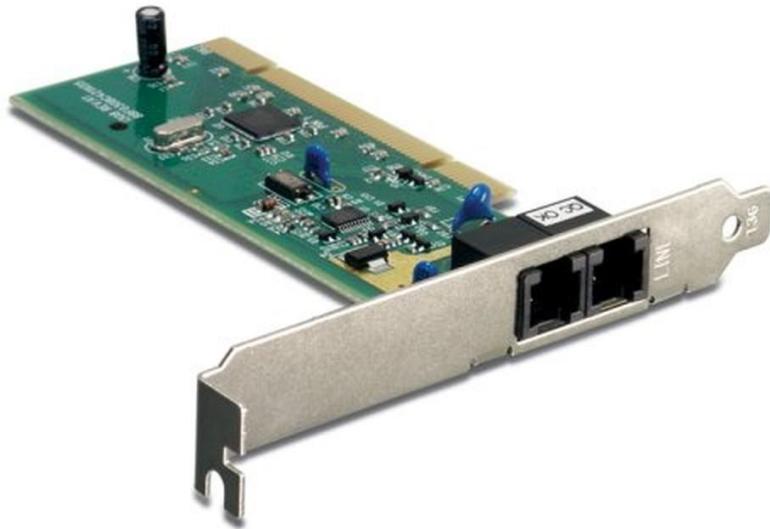
- Redes de acesso residencial
- Redes de acesso corporativo
- Redes de acesso sem fio



# ACESSO RESIDENCIAL

## ➤ Modem discado

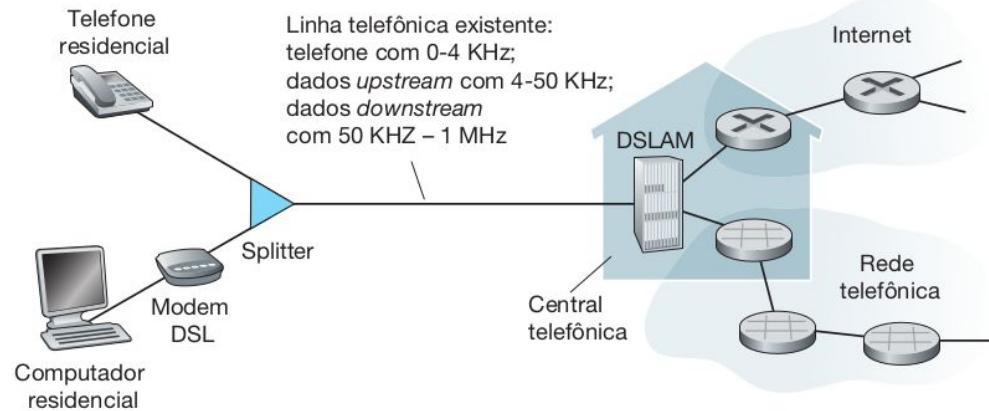
- Até 56 kbps, com acesso direto ao roteador
- Não é possível navegar e telefonar ao mesmo tempo
- Não pode estar sempre on-line



# ACESSO RESIDENCIAL

## ➤ ADSL/2/2+ -- Asymmetric Digital Subscriber Line

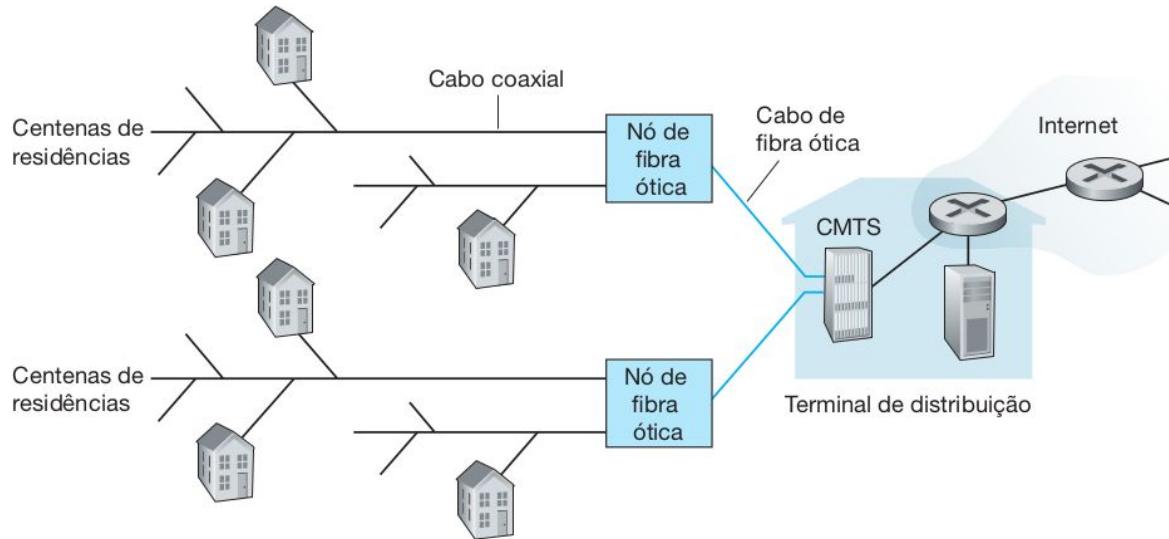
- Upload: até 2,5 Mbps - Download: até 24 Mbps
- FDM:
  - 0 a 4 kHz: canal telefônico comum de duas vias
  - 4 a 50 kHz: canal na direção do provedor (upload)
  - 50 kHz a 1 MHz: canal na direção do usuário (download)



# ACESSO RESIDENCIAL

## ➤ HFC - híbrido fibra e coaxial

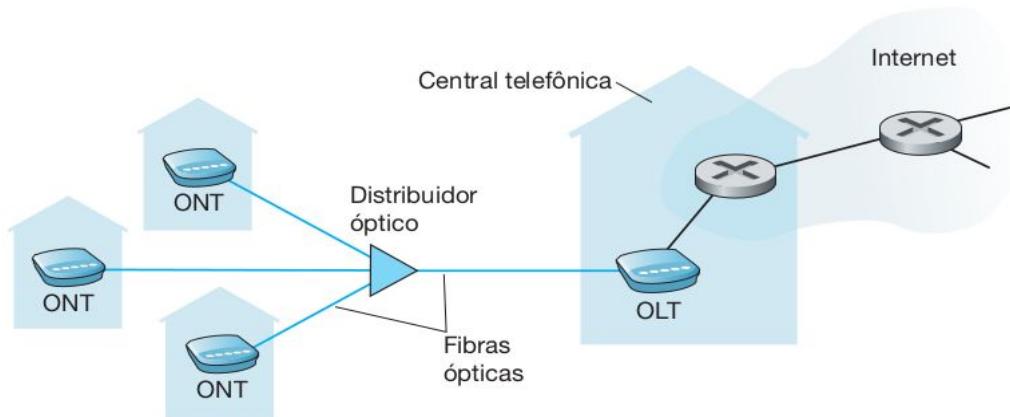
- Assimétrico
- Compartilhado
- Disponível via TVs a cabo



# ACESSO RESIDENCIAL

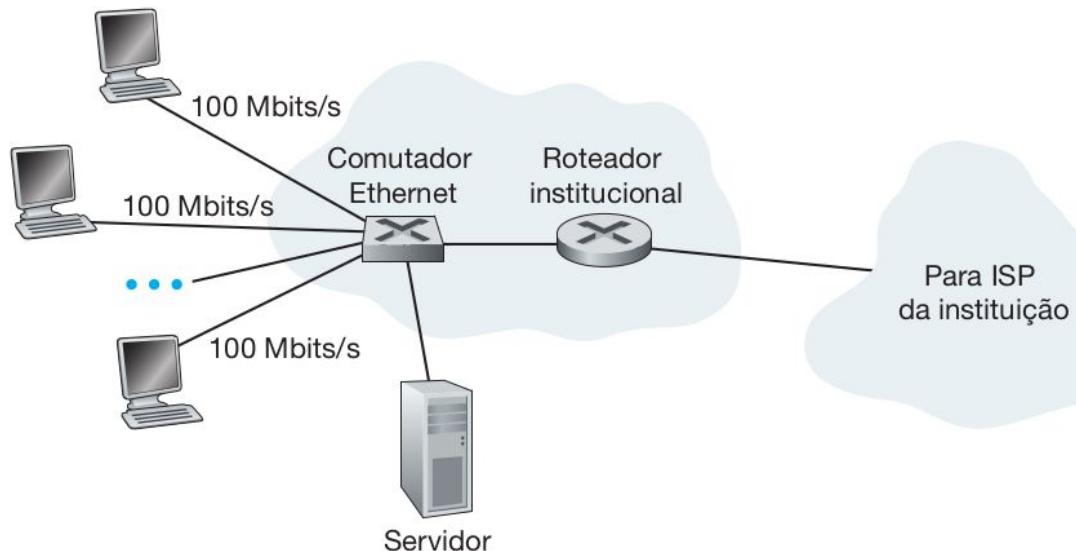
## ➤ FTTH - Fiber to the home

- Nova tendência de acesso residencial
- Compartilhada por várias residências
- Fibra individual apenas próxima à residência
- OLT: terminal de linha óptica
- ONT: terminal de rede óptica
- Pode operar na ordem de Gbps



# ACESSO CORPORATIVO

- A rede local (**LAN**) da instituição conecta sistemas finais ao roteador de acesso
- **Ethernet:**
  - Cabo compartilhado ou dedicado, conecta sistemas finais e o roteador
  - 10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps, 10 Gbps



## ACESSO SEM FIO

- Compartilhada
- Conecta sistemas finais ao roteador usando *access point*
- WANs sem fio:
  - WAP, WiMAX
  - 2G, 3G, 4G,  
4.5G, 5G
- LANs sem fio:

Protocolo	Frequência GHz	Banda MHz	Taxa de Transferência
IEEE 802.11a	5	20	54 Mbps
IEEE 802.11b	2.4	22	11 Mbps
IEEE 802.11g	2.4	20	54 Mbps
IEEE 802.11n	2.4 / 5	20 / 40	72.2 Mbps / 150 Mbps
IEEE 802.11ac	5	160	866.7 Mbps
IEEE 802.11ad	60	2160	6.75 Gbps

## 1.4.2 - MEIOS FÍSICOS

---

- **Bit:** propaga-se entre os pares transmissor / receptor
- **Enlace físico:** meio que fica entre o transmissor e o receptor
- **Meios guiados:** sinais se propagam em meios sólidos com caminho fixo
- **Meios não-guiados:** propagação livre, no ar ou no vácuo

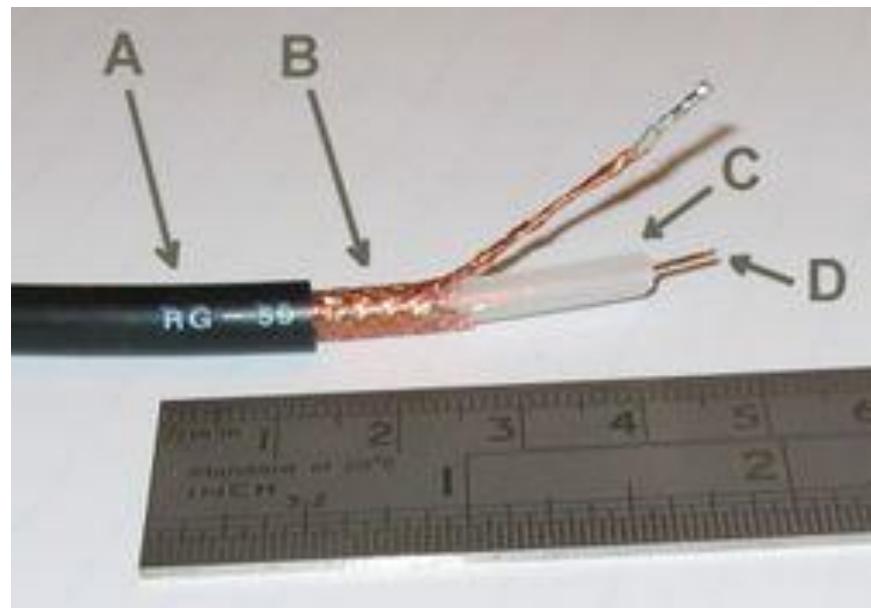
## PAR DE FIOS DE COBRE TRANÇADO

- Meio de transmissão guiado mais barato e mais usado
- Constituído de dois fios de cobre isolados, enrolados em espiral
- Os fios são trançados para reduzir a interferência elétrica
- Uma série de pares trançados pode ser conjugada dentro de um cabo
- **UTP** - *Unshielded Twisted Pair*
- **STP** - *Shielded Twisted Pair*
- Cat 5, Cat 5e, Cat6



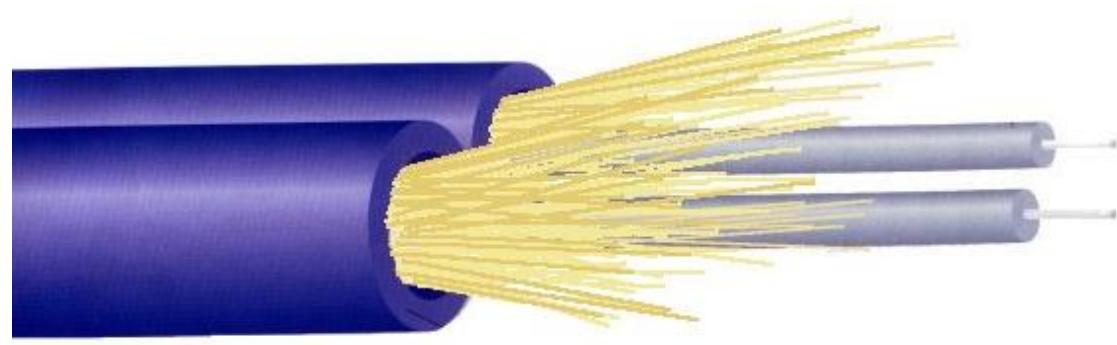
## CABO COAXIAL

- Dois condutores de cobre concêntricos
- Ainda encontrados em sistemas de TV a cabo
- Compartilhado: vários sistemas finais podem ser conectados diretamente ao cabo, e todos eles recebem qualquer sinal que seja enviado pelos outros sistemas finais.



## FIBRAS ÓTICAS

- Meio delgado e flexível que conduz pulsos de luz
- Taxas de transmissão elevadíssimas → centenas de Gbps
- Imunes à interferência eletromagnética
- Baixa atenuação de sinal → distâncias longas
- Alto custo de equipamentos óticos vêm impedindo sua utilização em massa



## CANAIS DE RÁDIO TERRESTRES

- Instalação não requer cabos físicos
- Podem atravessar paredes
- Dão conectividade ao usuário móvel
- Podem transmitir sinais a longas distâncias
- Qualidade depende do ambiente de propagação
- Sofre interferência devido a objetos e outros sinais eletromagnéticos

# CANAIS DE RÁDIO POR SATÉLITE

- Um satélite de comunicação liga dois ou mais transmissores/receptores de micro-ondas na Terra
- Trabalham na faixa de Gbps
- Satélites geoestacionários:
  - 36.000 km de altitude
  - Permanentemente sobre o mesmo lugar na Terra
  - Atraso na propagação do sinal na faixa de 250 ms
- Satélites de baixa altitude:
  - Não ficam permanentemente sobre o mesmo lugar
  - Necessitam de vários satélites

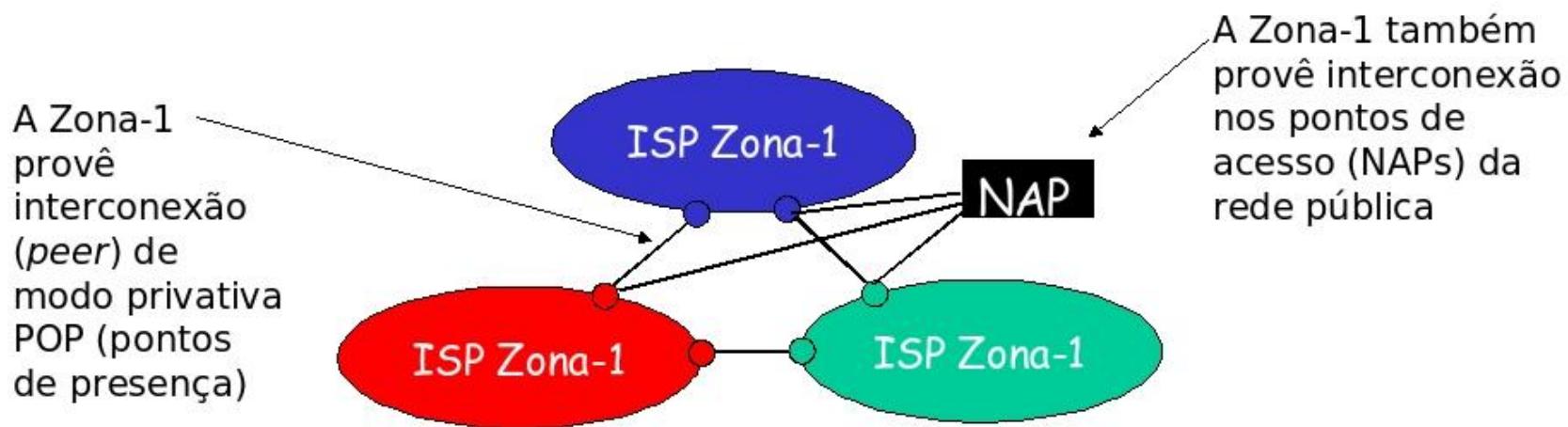
# #1.5

---

ISPs E  
BACKBONES DA  
INTERNET

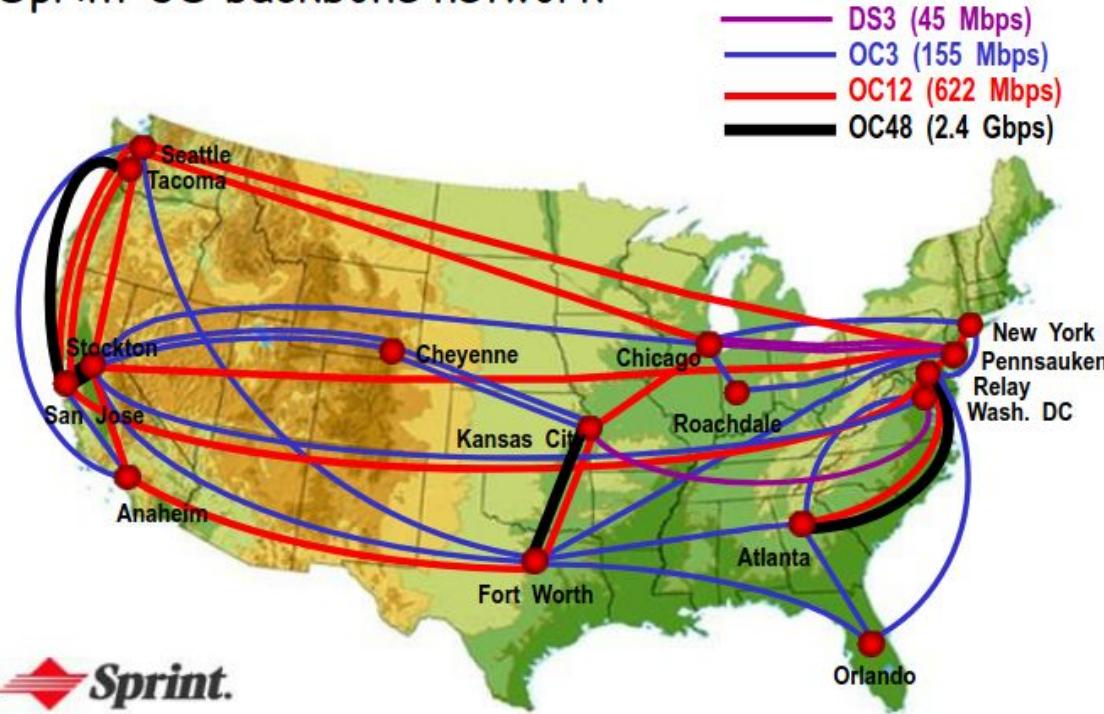


## ISPs DE NÍVEL 1



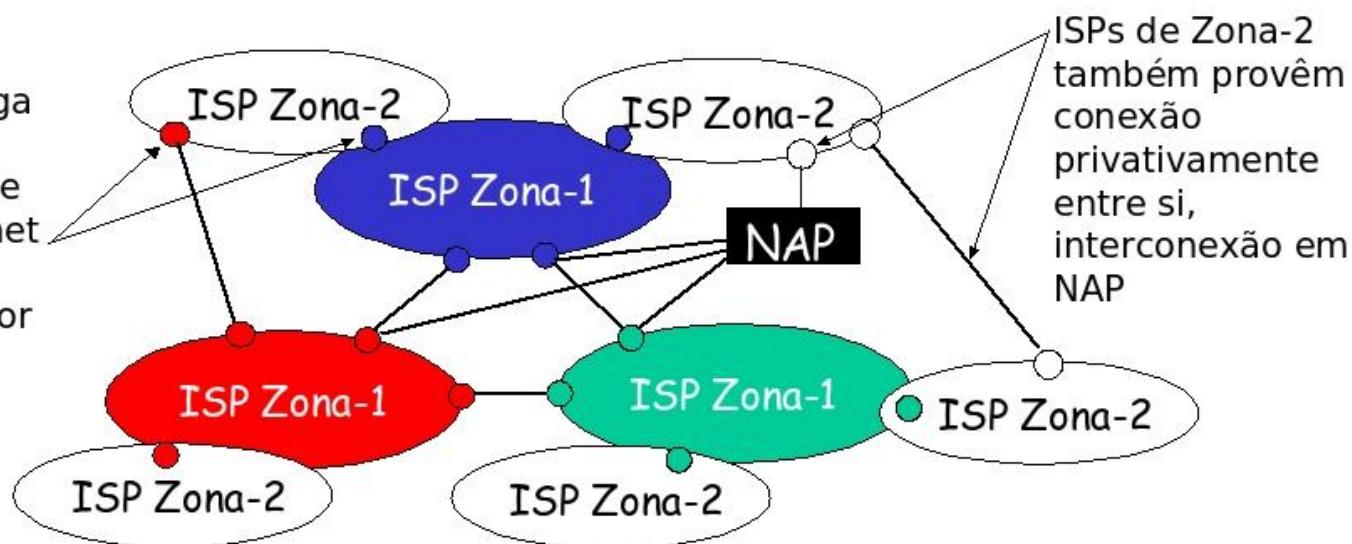
# REDE DE BACKBONE ISP NÍVEL 1 DA SPIRIT - EUA

Sprint US backbone network

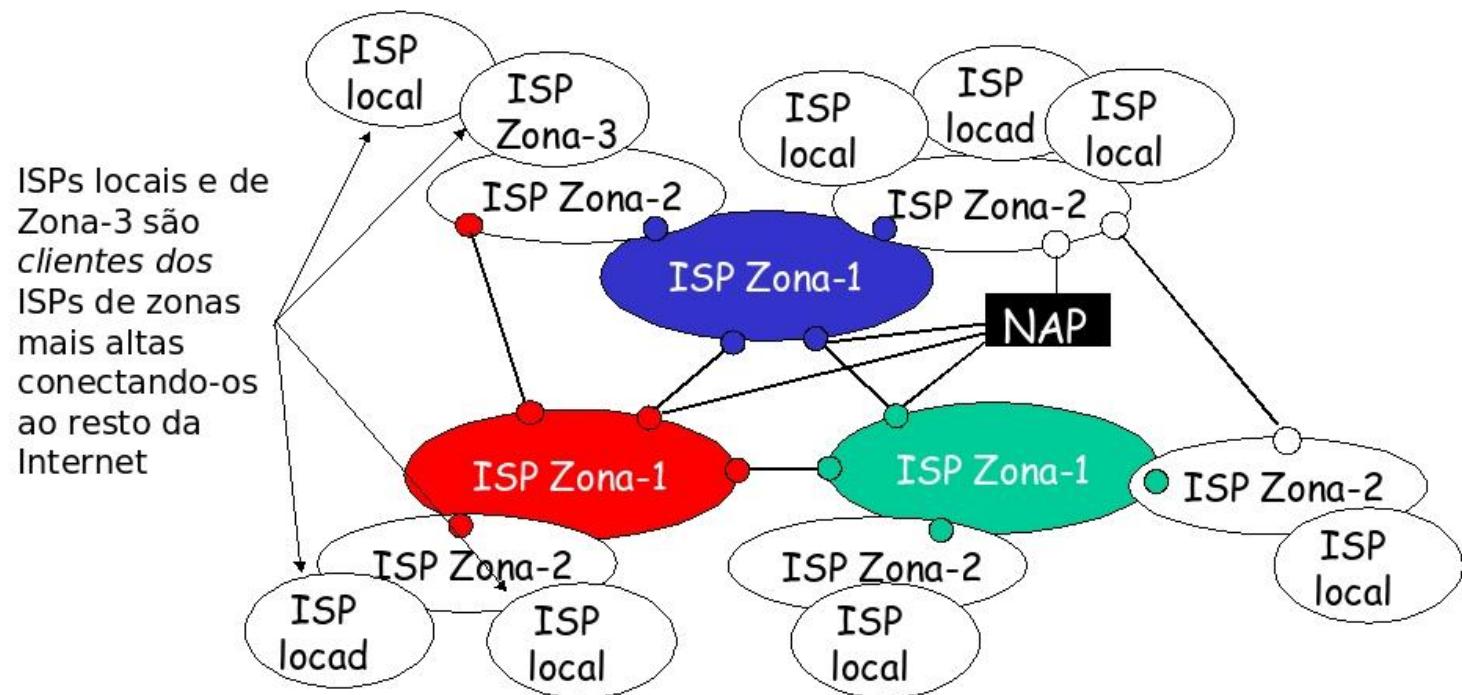


## ISPs DE NÍVEL 2

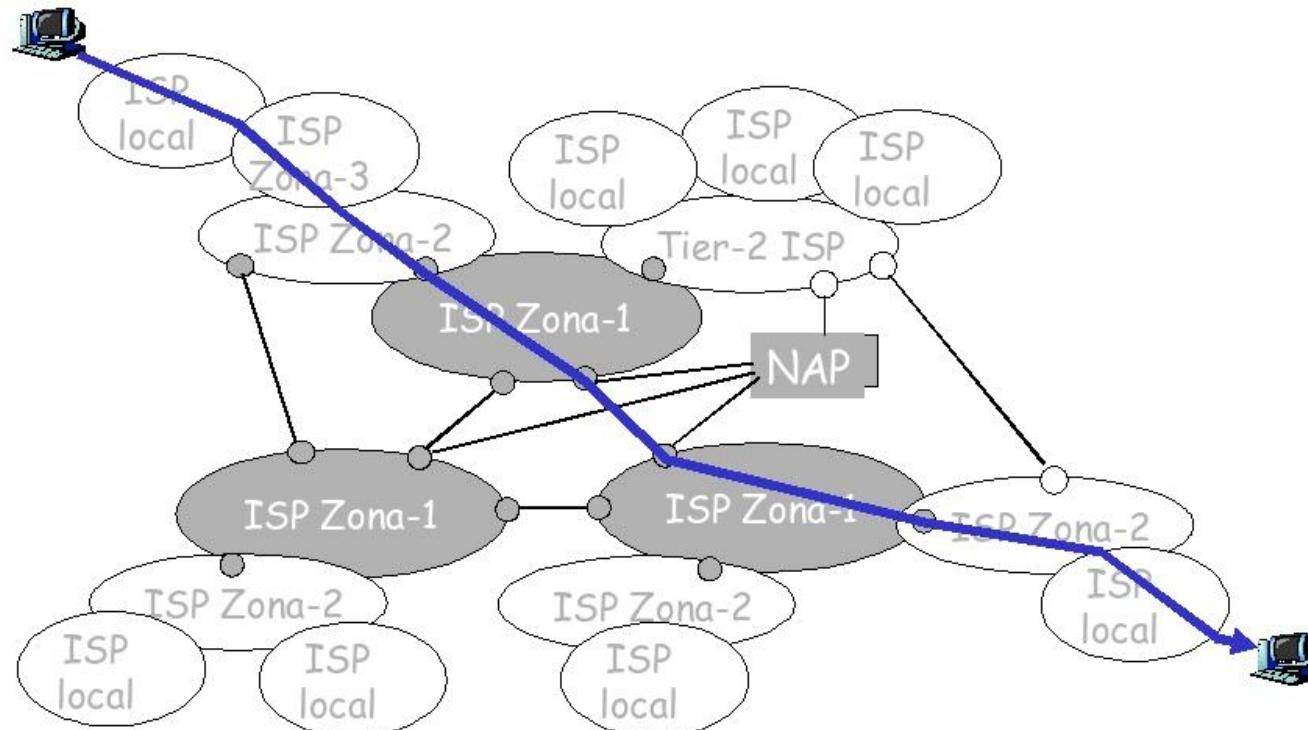
ISP de Zona-2 paga ao ISP de Zona-1 pela conectividade ao resto da Internet  
• ISP de Zona-2 é cliente do provedor de Zona-1



# ISPs DE NÍVEL 3



➤ Um pacote atravessando várias redes



# #1.6

---

ATRASO E PERDA  
EM REDES DE  
COMUTAÇÃO DE  
PACOTES

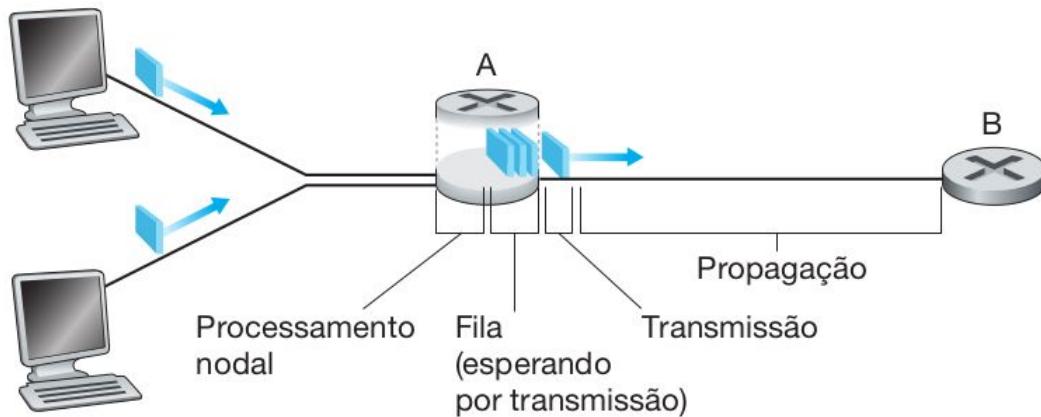


## 1.6.1 - TIPOS DE ATRASO

---

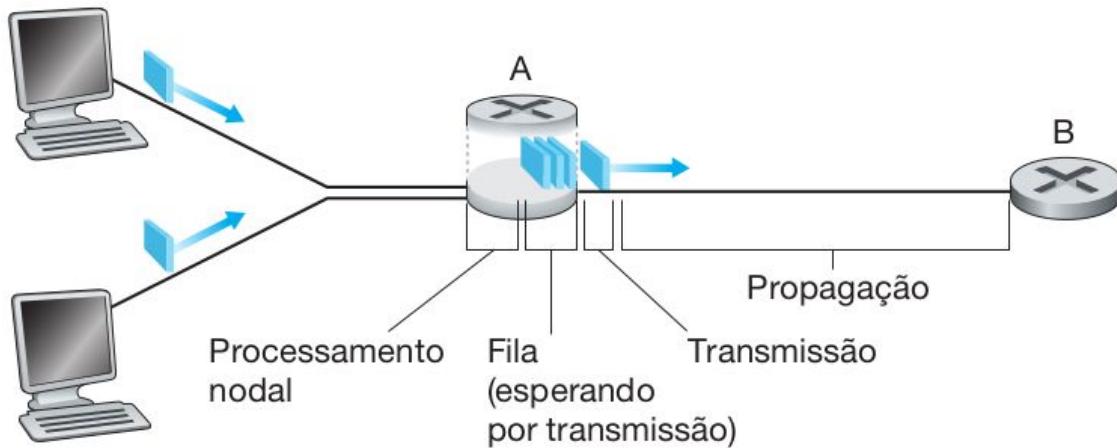
➤ Os mais importantes são:

- Atraso de processamento nodal
- Atraso de fila
- Atraso de transmissão
- Atraso de propagação



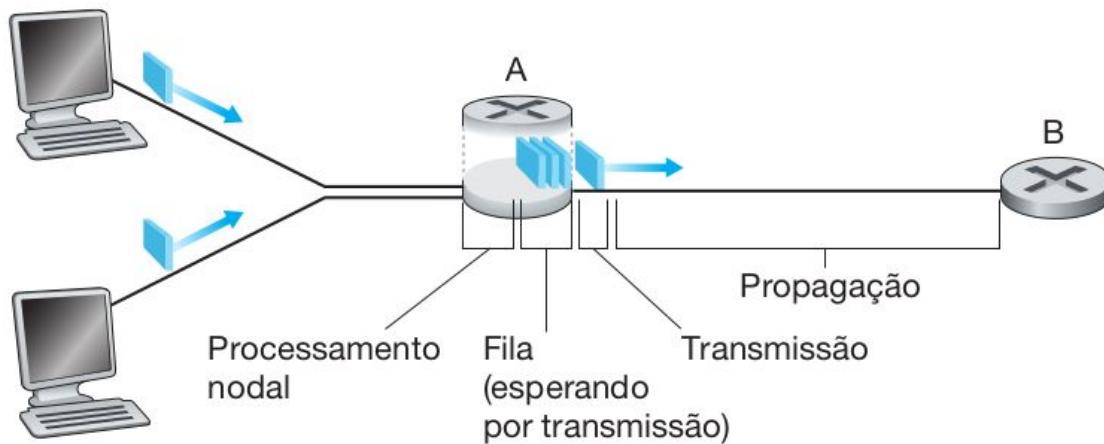
# ATRASO DE PROCESSAMENTO NODAL

- Tempo requerido para examinar o cabeçalho do pacote e determinar para onde direcioná-lo
- Tempo necessário para verificar erros em bits existentes no pacote, que podem ter ocorrido desde o nó anterior
- Da ordem de microsegundos



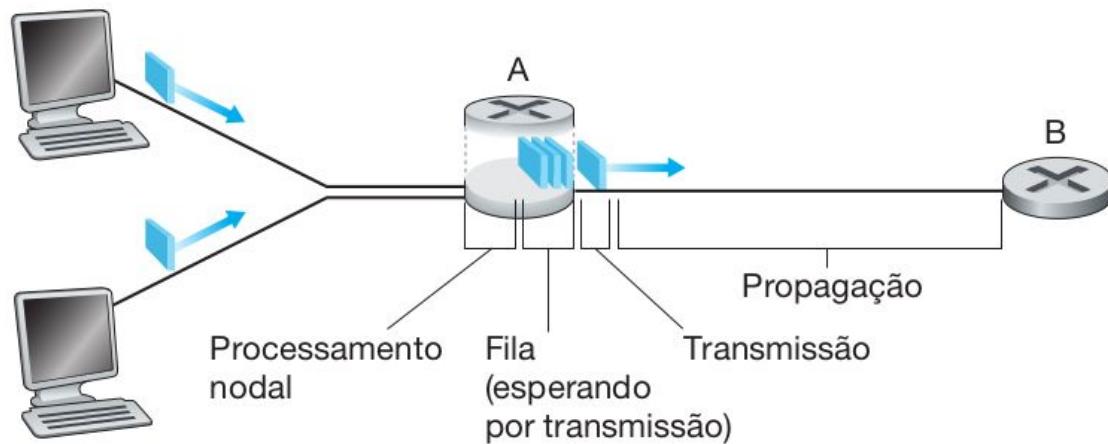
## ATRASO DE FILA

- Tempo que o pacote espera para começar a ser transmitido
- Tempo depende da quantidade de pacotes que chegaram antes e se encontram na fila
- Se a fila estiver vazia o tempo será zero
- Da ordem de micro a milissegundos



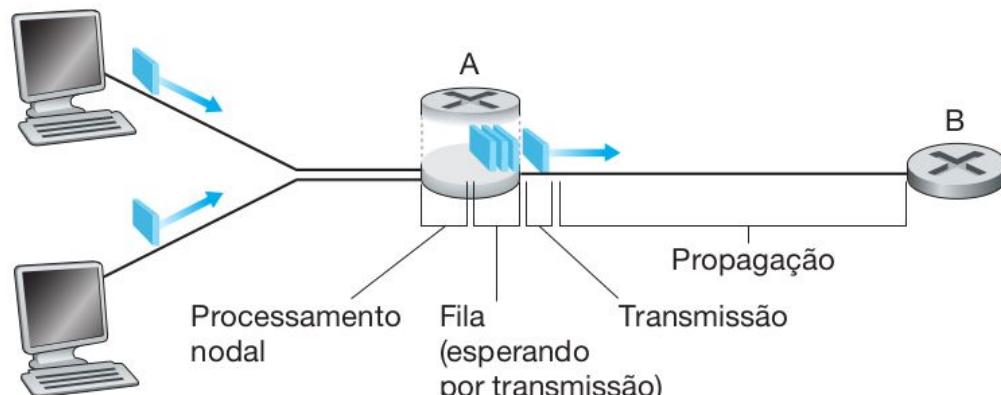
# ATRASO DE TRANSMISSÃO

- $L$  = tamanho do pacote (*bits*)
- $R$  = largura de banda (*bps*)
- $L/R$  = tempo de transmissão do pacote (*segundos*)
- Da ordem de micro a milissegundos

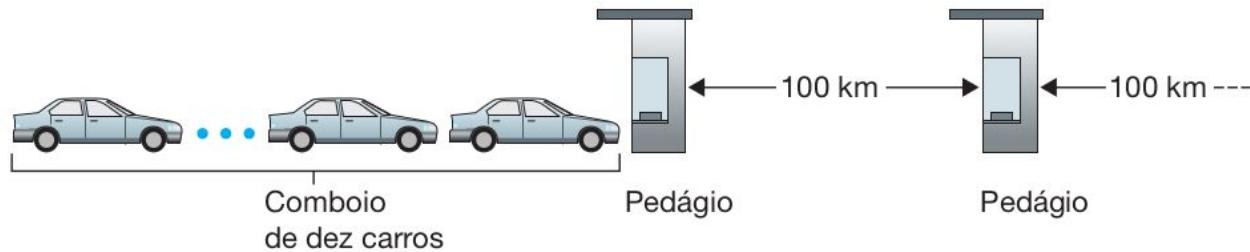


# ATRASO DE PROPAGAÇÃO

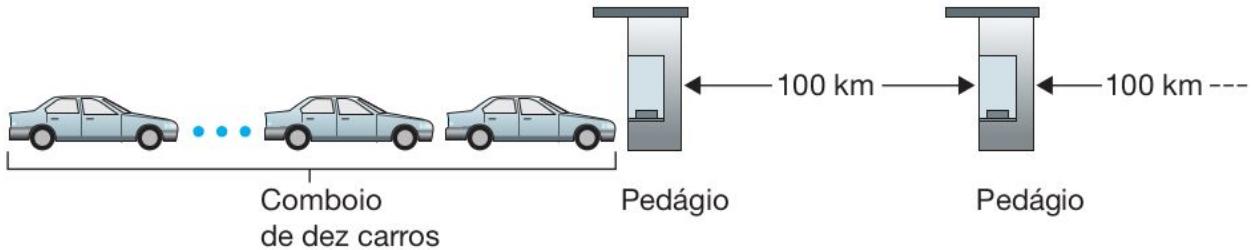
- Tempo que o bit gasta para se propagar de um nó ao outro
- O bit se propaga à velocidade de propagação do enlace, a qual depende do meio físico
- Velocidade de propagação do bit:
  - $2 \times 10^8$  m/s a  $3 \times 10^8$  m/s
- **D** = comprimento do enlace (*metros*)
- **S** = velocidade de propagação (*m/s*)
- **D/S** = tempo de propagação (*segundos*)



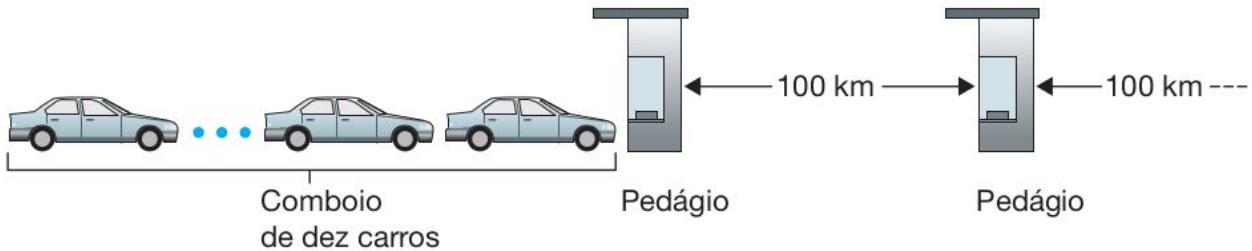
# COMPARAÇÃO ENTRE ATRASOS DE TRANSMISSÃO E PROPAGAÇÃO



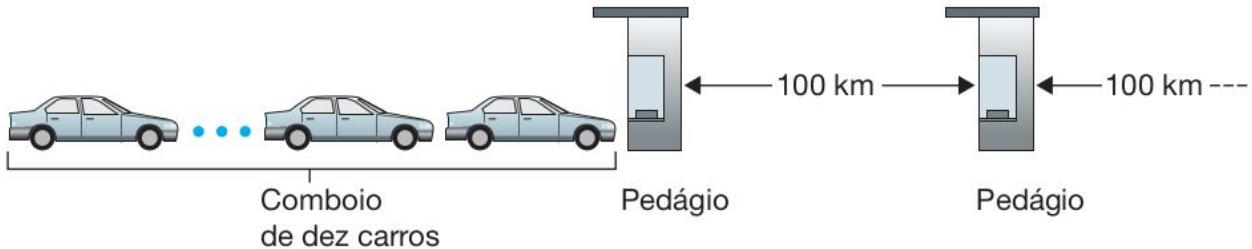
- Carros se propagam a 100 Km/h
- Pedágios levam 12 s para atenderem um carro (tempo de transmissão)
- Carro = bit ; Caravana = pacote
- **Pergunta:** quanto tempo levará até a caravana ser alinhada antes do 2º. pedágio?



- **Pergunta:** quanto tempo levará até a caravana ser alinhada antes do 2o. pedágio?
  - Tempo para “empurrar” a caravana toda pelo pedágio até a estrada = 10 carros x 12 s = 120 s
  - Tempo para o último carro se propagar do 1o. ao 2o. pedágio =  $100 \text{ km} / 100 \text{ km/h} = 1 \text{ hora}$
- **Resposta:** 62 minutos



- Agora os carros se propagam a 1.000 Km/h
- Agora o pedágio leva 1 minuto para atender um carro
- **Pergunta:** os primeiros carros chegarão ao 2o. pedágio antes que os últimos carros tenham deixado o 1o. pedágio?



- **Resposta:** Sim! Após 7 minutos o primeiro carro estará chegando ao 2o. pedágio e ainda restam três carros do 1o. pedágio
  - *O 1o. bit do pacote pode chegar ao 2o. roteador antes que o pacote seja totalmente transmitido pelo 1o. roteador!*

## ATRASO NODAL TOTAL

$$d_{\text{no}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{fila}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

- **$d(\text{proc})$**  = atraso de processamento
  - Tipicamente uns poucos microssegundos ou menos
- **$d(\text{fila})$**  = atraso de fila
  - Depende do congestionamento
- **$d(\text{trans})$**  = atraso de transmissão
  - L/R - significante em links de baixa taxa de transmissão de dados (baixa largura de banda)
- **$d(\text{prop})$**  = atraso de propagação
  - Uns poucos microssegundos a centenas de milissegundos

## 1.6.2 - ATRASO DE FILA E PERDA DE PACOTES

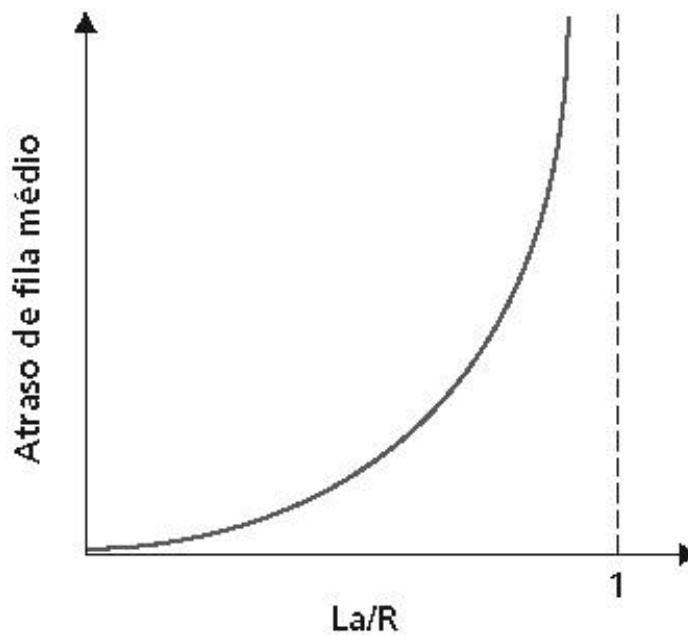
---

- R: largura de banda do link (*bps*)
- L: tamanho do pacote (*bits*)
- a: taxa média de chegada de pacotes (*pacotes/segundo*)
- Intensidade de tráfego =  $La/R$

- **Intensidade de tráfego =  $La/R$**
- **$La/R \leq 1$** : natureza do tráfego influencia o atraso de fila
  - Pacotes chegando periodicamente: fila vazia e sem atraso
  - Pacotes chegando em rajadas: atraso de fila médio aumenta
- **$La/R > 1$** : chegam mais pacotes do que podem sair
  - A fila tenderá a aumentar sem limite
  - Atraso de fila tenderá ao infinito

# REGRA DE OURO DA ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- “Projete seu sistema de modo que a intensidade de tráfego não seja maior que 1”



## PERDA DE PACOTE

- A fila (isto é, buffer) que precede o link possui capacidade finita
- Quando um pacote chega a um buffer cheio, ele é descartado (isto é, *perdido!*)
- O pacote perdido pode ser:
  - Retransmitido pelo nó anterior
  - Retransmitido pelo emissor
  - Ou não ser retransmitido

## 1.6.3 - ATRASO E ROTAS NA INTERNET

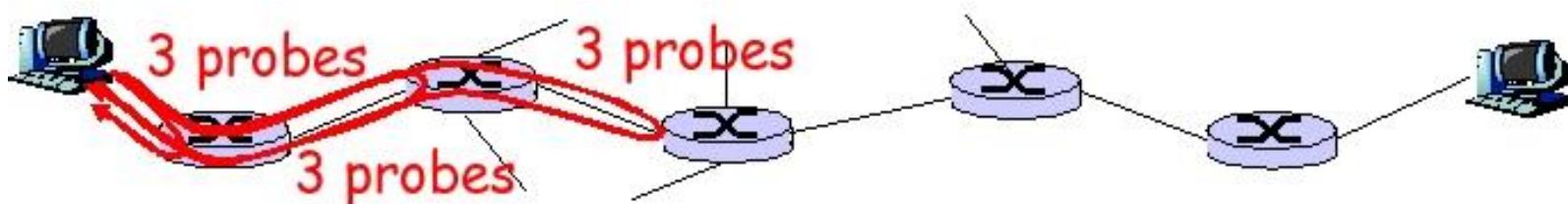
---

### ➤ Atraso fim-a-fim

- Suponha que haja  $N - 1$  roteadores entre a máquina de origem e a de destino
- Suponha que a rede não esteja congestionada:  $d(\text{fila}) = 0$
- $d(\text{proc})$ : atraso de processamento em cada roteador e na máquina de origem
- $d(\text{trans})$ : atraso de transmissão de saída de cada roteador e da máquina de origem
- $d(\text{prop})$ : atraso de propagação em cada enlace

$$d_{\text{end-end}} = N (d_{\text{proc}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}})$$

- **Programa traceroute:** fornece medidas de atraso da fonte para cada roteador ao longo de caminhos fim-a-fim, da origem ao destino. Para todo  $i$ :
  - Envia três pacotes que alcançarão o roteador  $i$  no caminho até o destino
  - O roteador  $i$  retornará pacotes ao emissor
  - O emissor cronometra o intervalo entre transmissão e resposta



➤ Traceroute: *gaia.cs.umass.edu* até *www.eurecom.fr*

Três medidas de atraso de  
*gaia.cs.umass.edu* para *cs-gw.cs.umass.edu*

1	cs-gw (128.119.240.254)	1 ms	1 ms	2 ms
2	border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145)	1 ms	1 ms	2 ms
3	cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130)	6 ms	5 ms	5 ms
4	jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129)	16 ms	11 ms	13 ms
5	jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136)	21 ms	18 ms	18 ms
6	abilene-vbns.abilene.ucaid.edu (198.32.11.9)	22 ms	18 ms	22 ms
7	nycm-wash.abilene.ucaid.edu (198.32.8.46)	22 ms	22 ms	22 ms
8	62.40.103.253 (62.40.103.253)	104 ms	109 ms	106 ms
9	de2-1.de1.de.geant.net (62.40.96.129)	109 ms	102 ms	104 ms
10	de.fr1.fr.geant.net (62.40.96.50)	113 ms	121 ms	114 ms
11	renater-gw.fr1.fr.geant.net (62.40.103.54)	112 ms	114 ms	112 ms
12	nio-n2.cssi.renater.fr (193.51.206.13)	111 ms	114 ms	116 ms
13	nice.cssi.renater.fr (195.220.98.102)	123 ms	125 ms	124 ms
14	r3t2-nice.cssi.renater.fr (195.220.98.110)	126 ms	126 ms	124 ms
15	eurecom-valbonne.r3t2.ft.net (193.48.50.54)	135 ms	128 ms	133 ms
16	194.214.211.25 (194.214.211.25)	126 ms	128 ms	126 ms
17	***			
18	***	*	sem resposta (perda de probe, roteador não responde)	
19	fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142)	132 ms	128 ms	136 ms

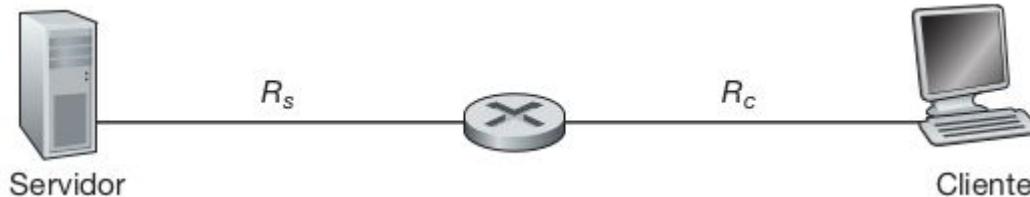
link transoceânico

\* sem resposta (perda de probe, roteador não responde)

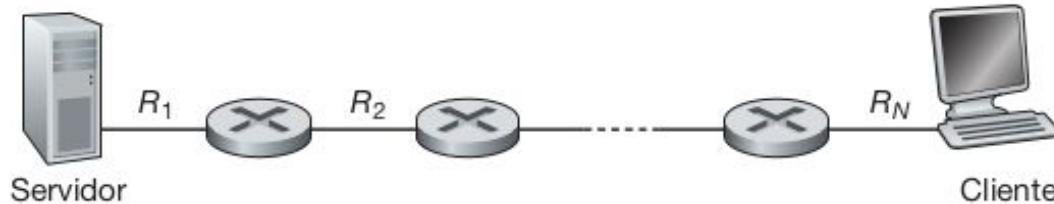
## 1.6.4 - VAZÃO NAS REDES DE COMPUTADORES (taxa de transmissão de dados)

---

- Considere a transferência de um arquivo grande do *host A* para o *host B* por uma rede de computadores
- **Vazão instantânea a qualquer momento:** é a taxa em que o *host B* está recebendo o arquivo em bits/s
- **Vazão média:** sendo  $F$  bits o tamanho do arquivo e o tempo de transferência de  $T$  segundos para o *host B* receber todos os  $F$  bits, então a vazão média da transferência do arquivo é  $F/T$  bits/s

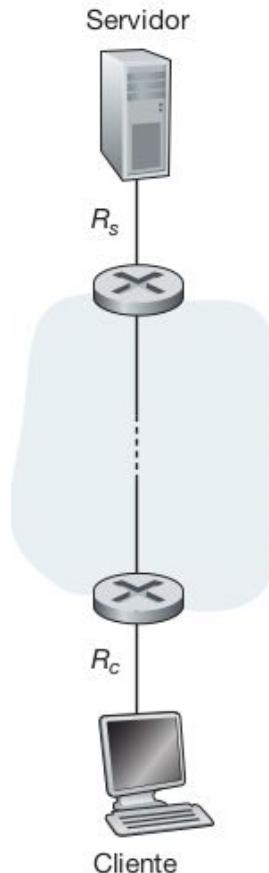


- $R_s$ : taxa do enlace servidor-roteador
- $R_c$ : taxa do enlace roteador-cliente
- $R_{\text{fim-a-fim}} = \min\{R_s, R_c\}$ 
  - $R_s < R_c \rightarrow R_{\text{fim-a-fim}} = R_s$
  - $R_s > R_c \rightarrow R_{\text{fim-a-fim}} = R_c$
- Ex: arquivo MP3 de  $F = 4$  MB,  $R_s = 2$  Mbps,  $R_c = 1$  Mbps
  - $T = F/R \rightarrow T = 4 \text{ MB} / 1 \text{ Mbps} = 32 \text{ segundos}$



- N enlaces com taxas de transmissão  $R_1, R_2, \dots, R_n$
- $R_{\text{fim-a-fim}} = \min\{R_1, R_2, \dots, R_n\}$

- $R_s$ : taxa do enlace servidor-roteador
- $R_c$ : taxa do enlace roteador-cliente
- $R$ : taxa do núcleo da rede muito maior que  $R_s$  ou  $R_c$
- $R_{\text{fim-a-fim}} = \min\{R_s, R_c\}$



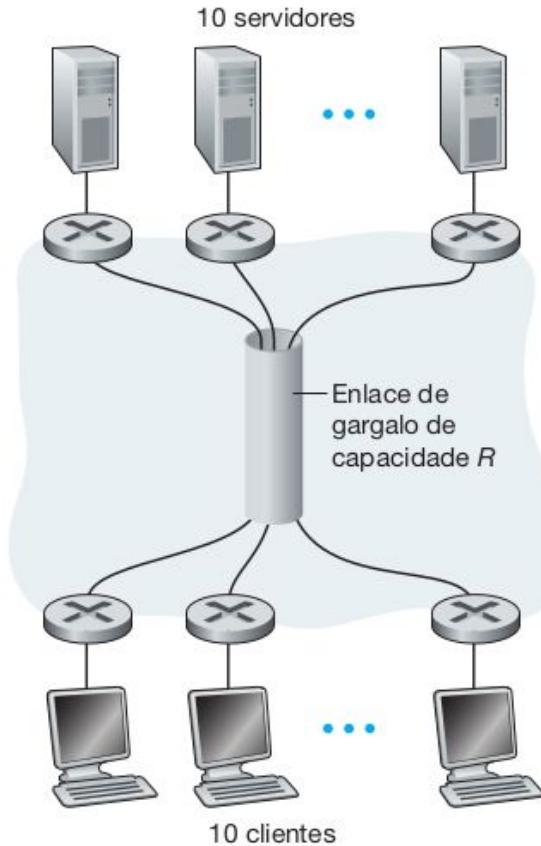
➤  $R \gg R_s, R_c$

- $R_{\text{fim-a-fim}} = \min\{R_s, R_c\}$

➤  $R \approx R_s, R_c$

- Suponha:  $R_s = 2 \text{ Mbps}$ ,  $R_c = 1 \text{ Mbps}$ ,  $R = 5 \text{ Mbps}$

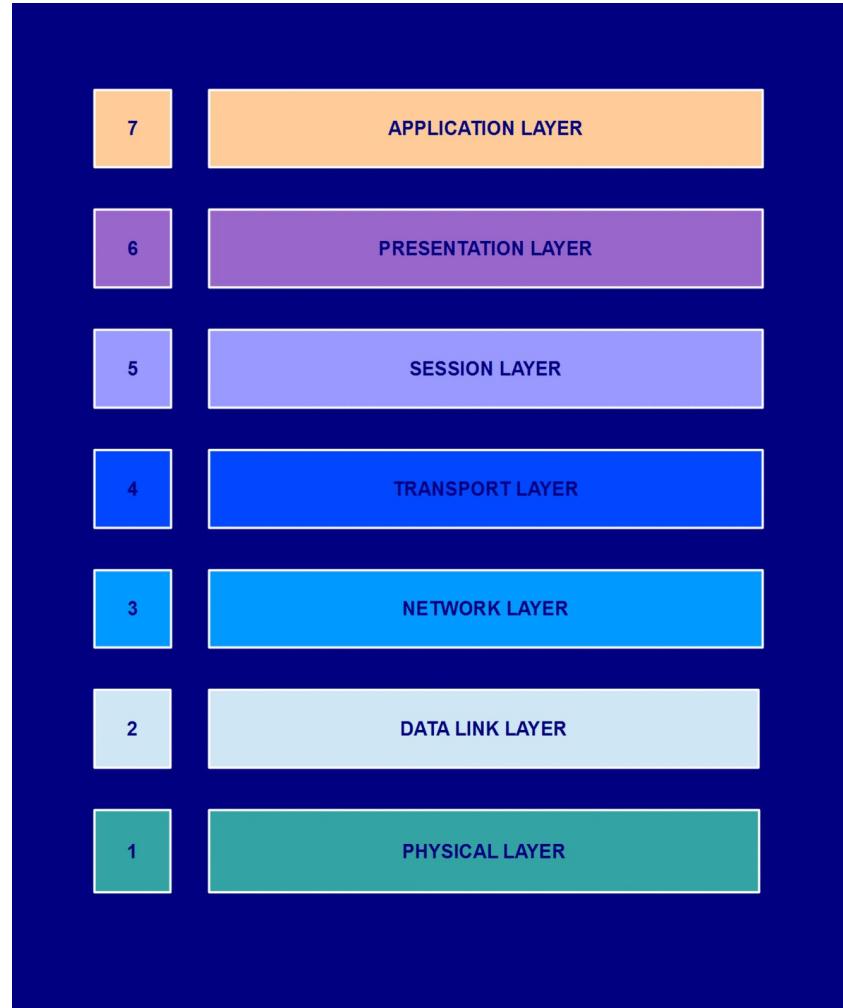
- $R_{\text{unitário}} = \min\{R_s, R_c, R/10\}$



# #1.7

---

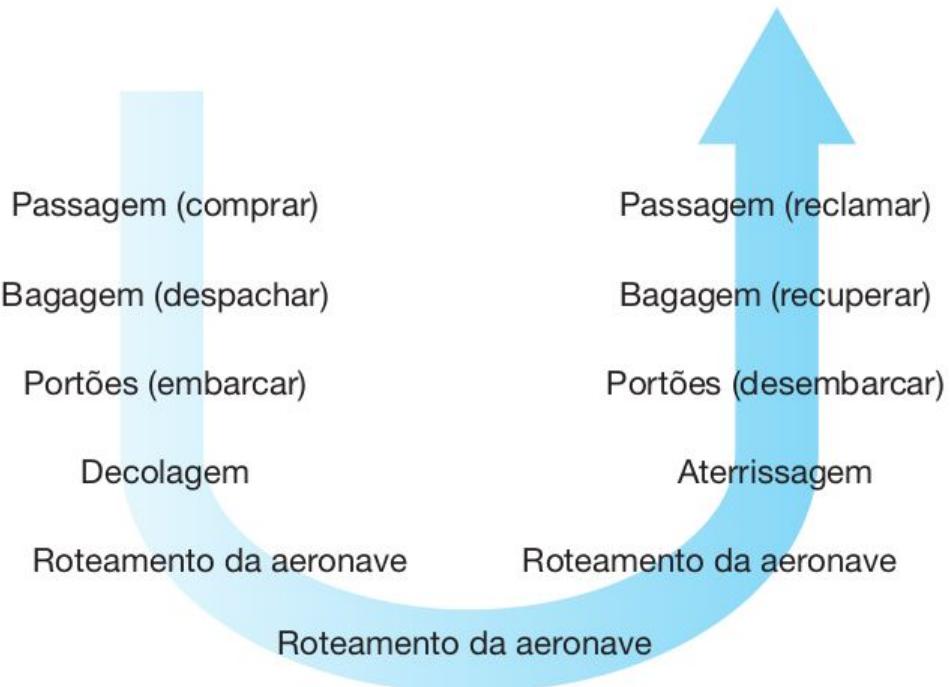
## CAMADAS DE PROTOCOLO E SEUS MODELOS DE SERVIÇO



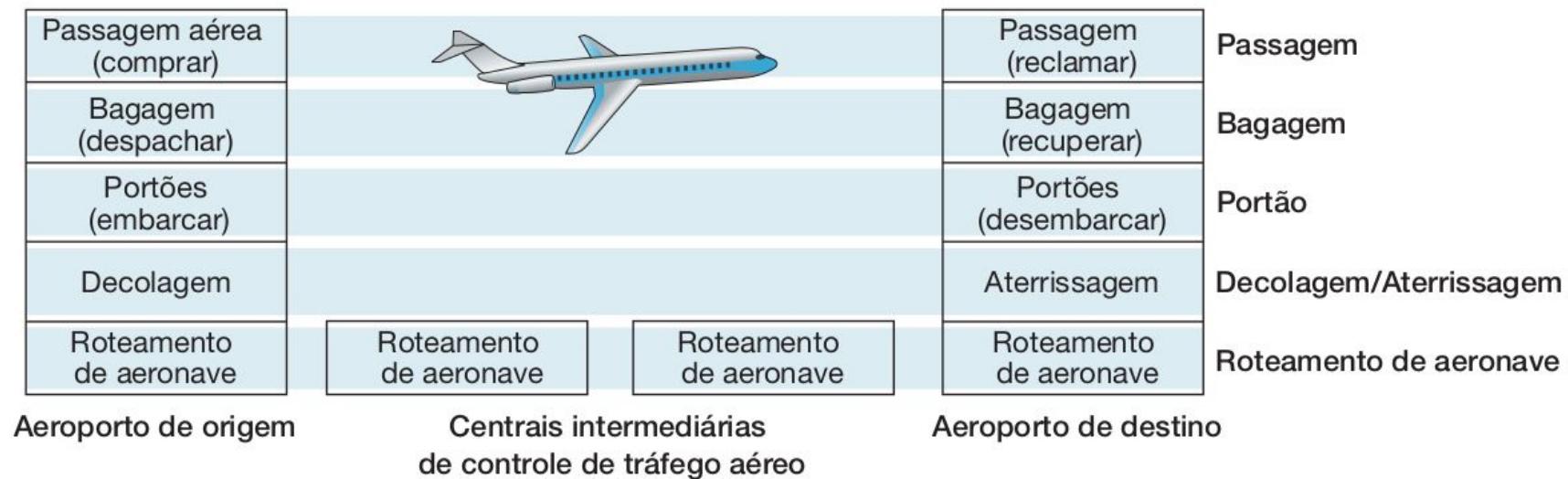
## 1.7.1 - ARQUITETURA DE CAMADAS

---

- Uma viagem aérea:



- Cada camada implementa um serviço via suas próprias ações internas
  - Confia em serviços fornecidos pela camada inferior



## CAMADAS DE PROTOCOLO

- Modularização facilita a manutenção e a atualização do sistema
- As mudanças na implementação de uma camada são transparentes para o resto do sistema
  - e.g.: novas regras de embarque de passageiros não afetam os procedimentos de decolagem
- Cada protocolo pertence a uma das camadas
- Quando tomados em conjunto, os protocolos das várias camadas são denominados de *pilhas de protocolo*

# MODELO OSI/ISO x MODELO TCP/IP



Modelo de Referência OSI



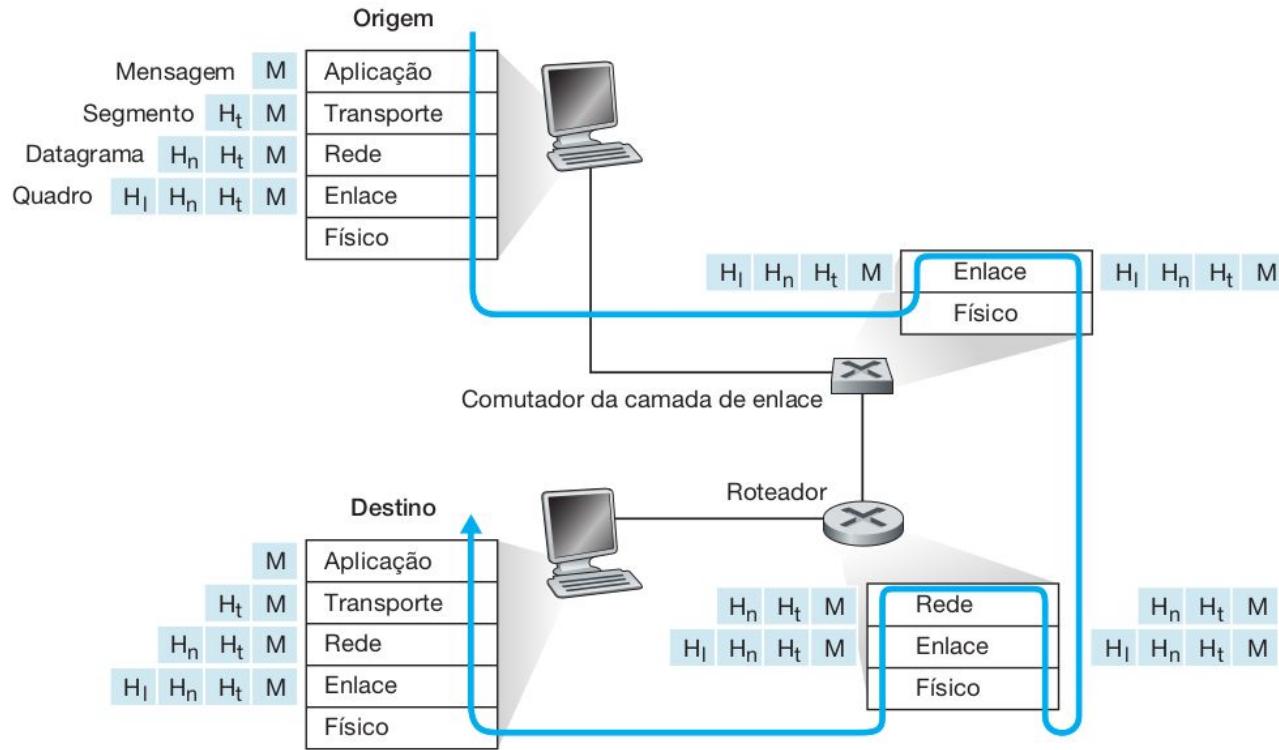
Modelo TCP/IP

# MODELO DIDÁTICO DE 5 CAMADAS

- **Aplicação:** suporta as aplicações de rede
  - e.g.: HTTP, FTP, SMTP, DNS
- **Transporte:** transferência de dados host-host
  - e.g.: TCP, UDP
- **Rede:** roteamento de datagramas da origem ao destino
  - e.g.: IP, protocolos de roteamento
- **Enlace:** transferência de dados entre elementos vizinhos da rede
  - e.g.: PPP, Ethernet
- **Física:** bits no enlace
  - e.g.: par de cobre, fibra ótica, Wi-Fi



## 1.7.2 - ENCAPSULAMENTO



# #1.8

---

## HISTÓRIA DAS REDES DE COMPUTADORES E DA INTERNET



## 1.8.1 - DESENVOLVIMENTO DA COMUTAÇÃO DE PACOTES: 1961 - 1972

---

- 1961: Kleinrock - teoria das filas mostra a efetividade da comutação de pacotes
- 1964: Baran - comutação de pacotes em redes militares
- 1967: ARPAnet - concebida pela Advanced Research Projects Agency
- 1969: primeiro nó da ARPAnet operacional
- 1972: ARPAnet é demonstrada publicamente; NCP (Network Control Protocol) primeiro protocolo host-host; primeiro programa de e-mail; ARPAnet cresce para 15 nós

## 1.8.2 - REDES PROPRIETÁRIAS E TRABALHOS EM REDE: 1972 - 1980

---

- 1970: ALOHAnet – rede via satélite no Havaí
- 1973: tese de doutorado de Metcalfe propõe a rede Ethernet
- 1974: Cerf e Kahn – arquitetura para interconexão de redes (define a arquitetura da Internet de hoje)
- Final dos anos 70: arquiteturas proprietárias – DECnet, SNA, XNA.
- Final dos anos 70: comutação com pacotes de tamanho fixo (precursor do ATM)
- 1979: ARPAnet cresce para 200 nós

## 1.8.3 - PROLIFERAÇÃO DE REDES: 1980 - 1990

---

- **1983:** TCP/IP foi adotado oficialmente
- **1984:** Governo Francês fornece o Minitel gratuitamente
- **1986:** criada a NSFNET – prover acessos a centros de supercomputação patrocinados pela NSF
- **1988:** TCP implementa controle de congestionamento
- **Final da década de 80:** Minitel oferecia mais de 20 mil serviços e era utilizado por 20% da população da França

## 1.8.4 - A EXPLOSÃO DA INTERNET: A DÉCADA DE 1990

---

- Início dos anos 90: ARPAnet descontinuada
- 1991: NFS retira restrições sobre o uso comercial da NSFNET
- 1991: Surgimento da Web
- 1992: 200 servidores Web em operação

- **1994:** Surgimento da Mosaic que mais tarde se transformou na Netscape
- **1995:** Estudantes utilizavam o browser da Netscape para navegar diariamente
- **1996:** Microsoft começa a fabricar browser
- **1995-2000:** Internet cresce rapidamente
  - e-mail, incluindo anexos e correio eletrônico com acesso pela Web;
  - a Web, incluindo navegação pela Web e comércio pela Internet;
  - serviço de mensagem instantânea, com listas de contato;
  - compartilhamento peer-to-peer de arquivos MP3, cujo pioneiro foi o Napster.

## 1.8.5 - DESENVOLVIMENTOS RECENTES

---

- Redes de acesso de alta velocidade, incluindo redes sem fio
- Preocupação com segurança
- Redes P2P
- Redes de telefonia celular 3G, 4G, 4,5G e 5G
- Redes sociais on-line
- Mensageiros instantâneos
- Provedores de serviços on-line
- Computação em nuvem
- Blockchain

# EXERCÍCIOS

---

## FIXAÇÃO E PERGUNTAS

R1, R3, R4, R5, R7, R8, R9, R11, R12,  
R13ab, R16, R18, R19, R20, R22,  
R23, R24 E R25

## PROBLEMAS

P3, P4, P5, P6, P7, P10, P11, P12, P23,  
P24, P25, P26, P27, P28, P29 e P31

KUROSE | ROSS

## Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down



6<sup>a</sup> edição

