



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

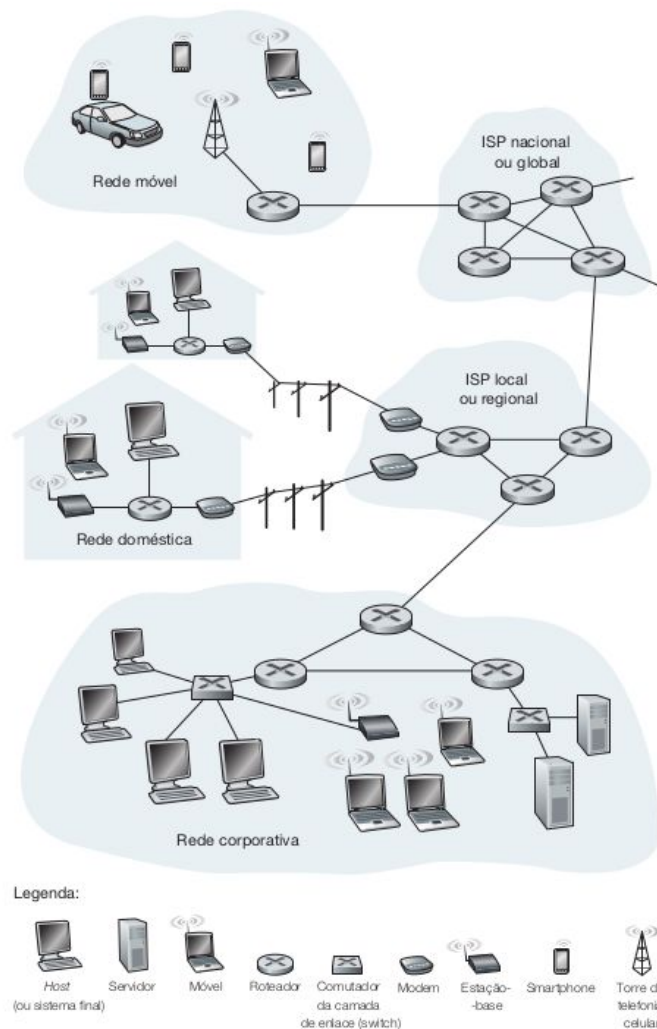
#1.1

O QUE É A INTERNET?

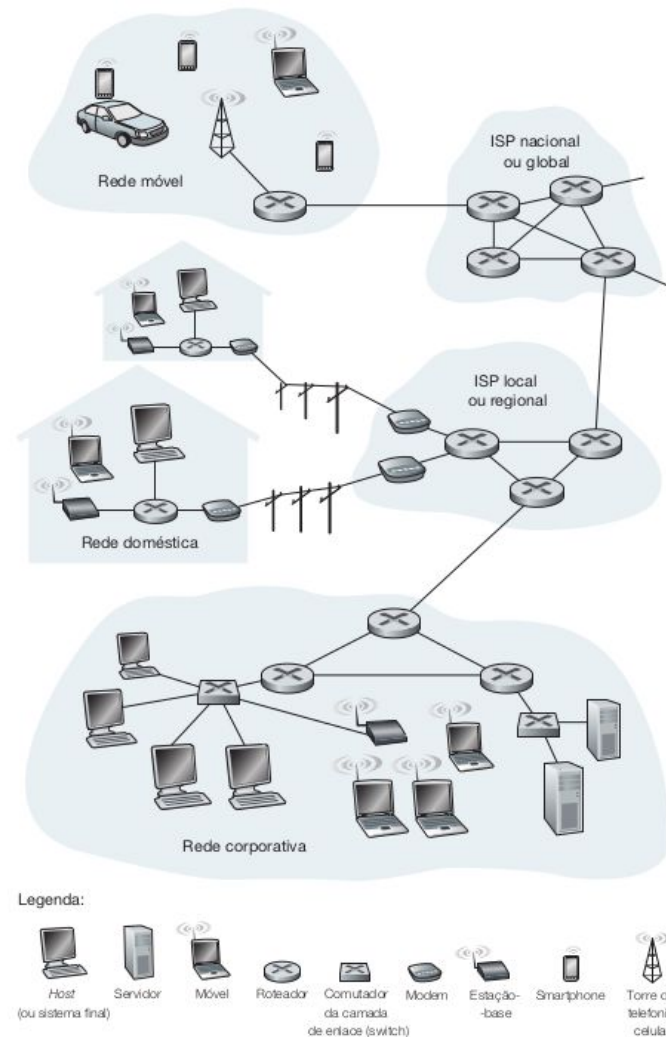


1.1.1 - UMA DESCRIÇÃO DETALHADA DA REDE

- 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

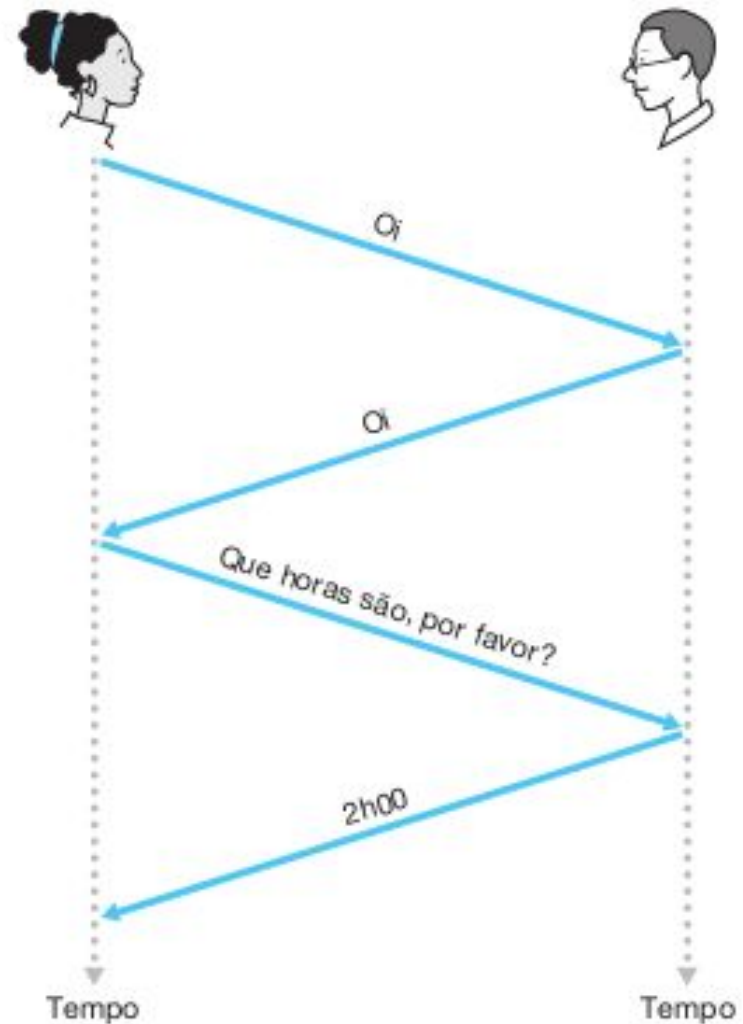


1.1.2 - UMA DESCRIÇÃO DO SERVIÇO

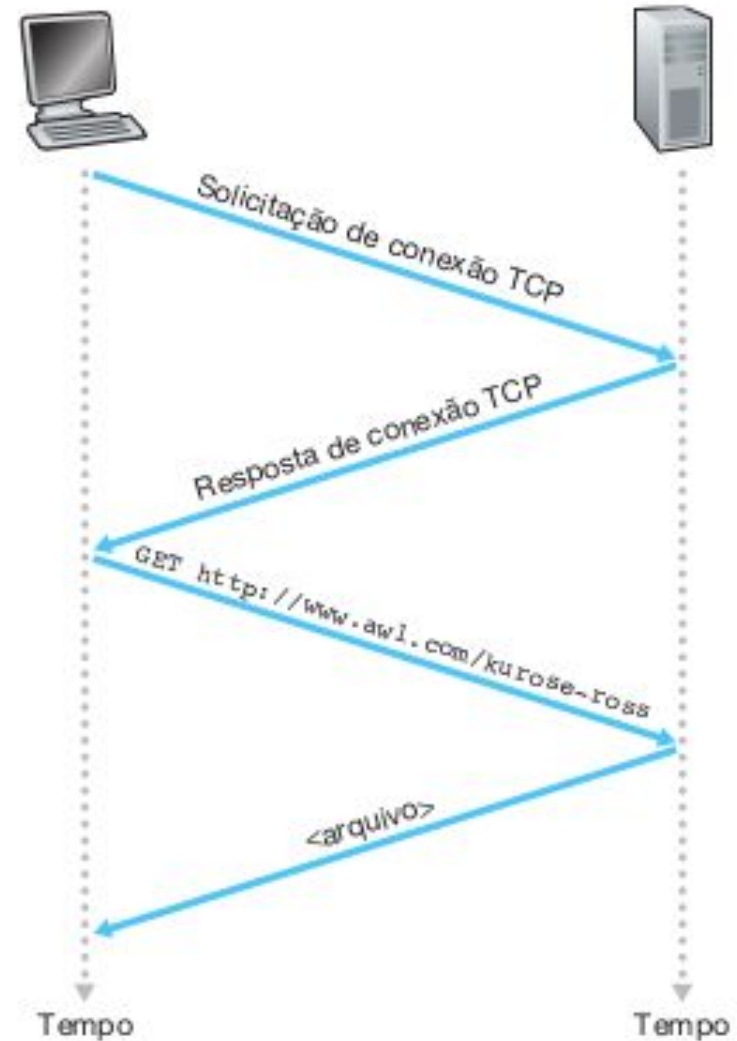
- Infra-estrutura de comunicação permite aplicações distribuídas:
 - Web, e-mail, jogos, e-commerce, compartilhamento de arquivos
- Serviços de comunicação oferecidos:
 - Sem conexão
 - Orientado à conexão
- A Internet não provê um serviço que garanta o tempo exato que gastará para levar os dados da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



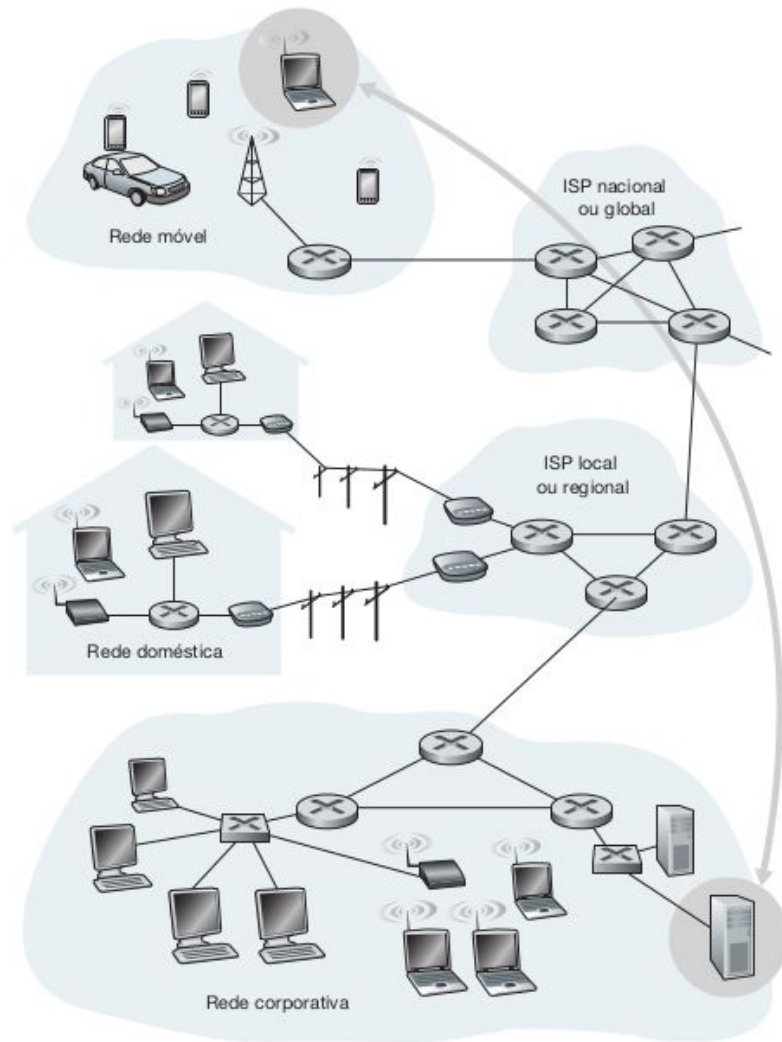
#1.2

A PERIFERIA DA INTERNET

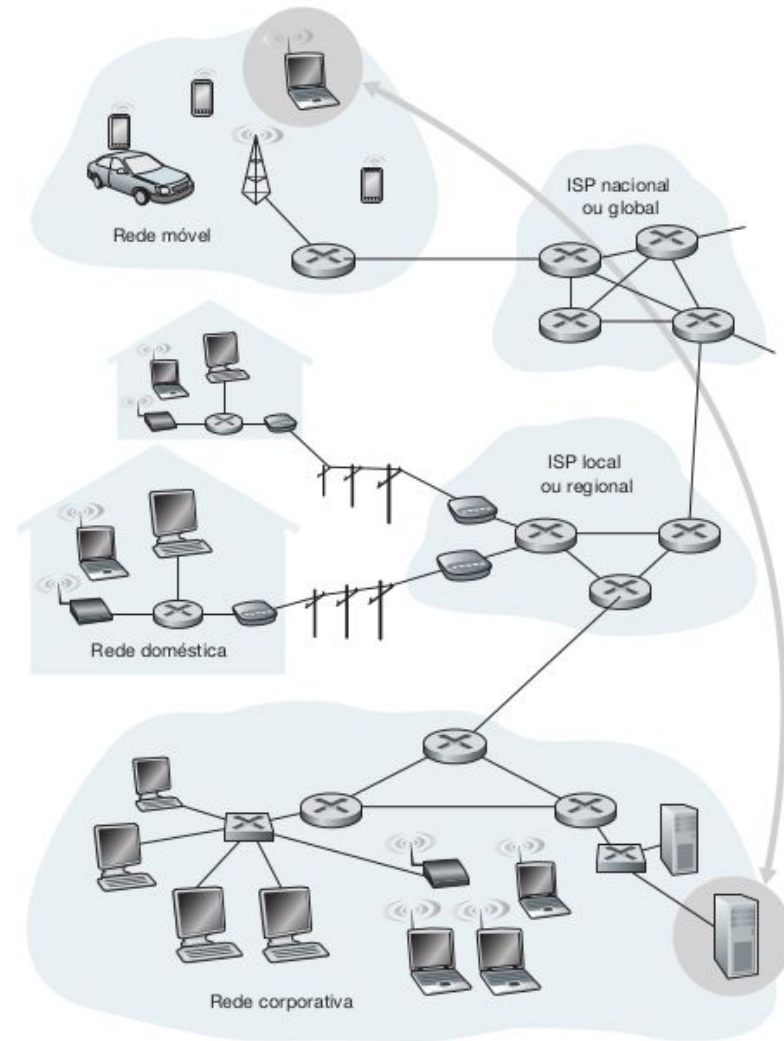


1.2.1 - SISTEMAS FINAIS, CLIENTES E SERVIDORES

- 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

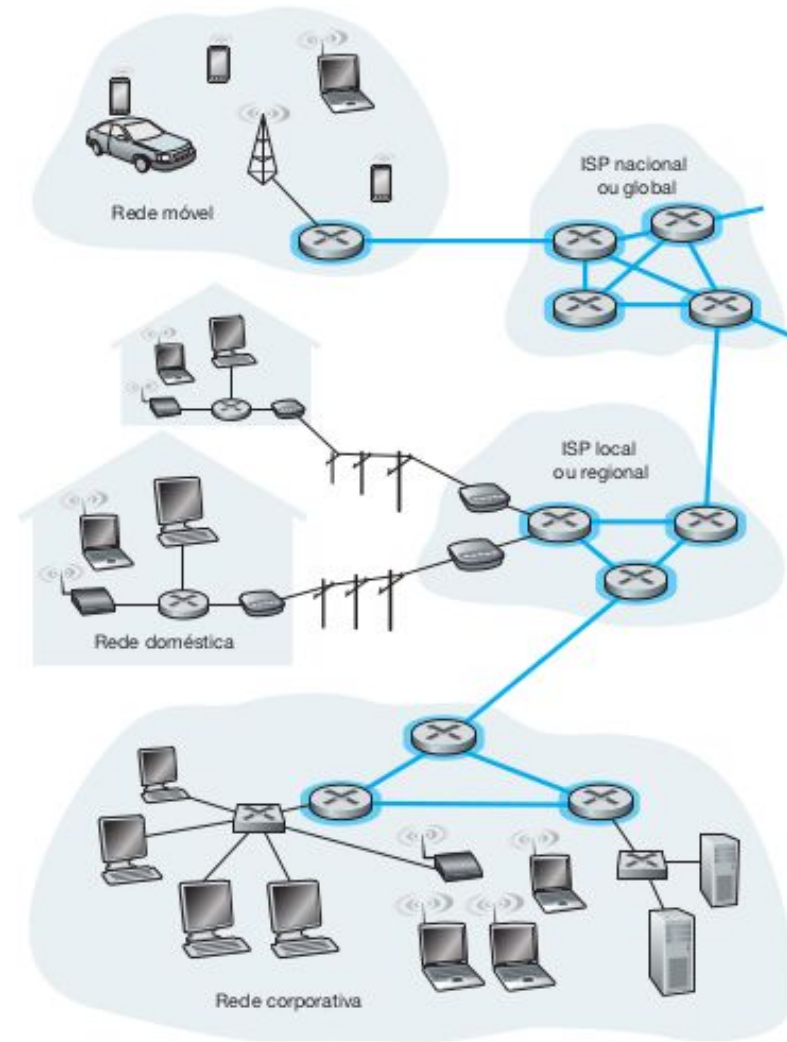
#1.3

O NÚCLEO DA REDE



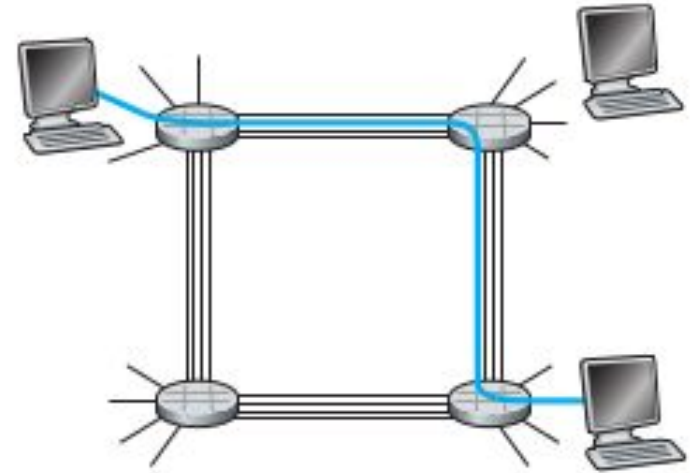
1.3.1 - COMUTAÇÃO DE CIRCUITOS E COMUTAÇÃO DE PACOTES

- 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



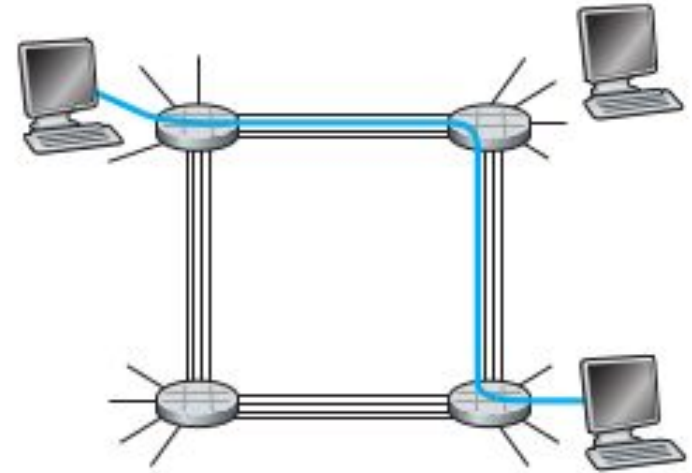
COMUTAÇÃO DE CIRCUITOS

- 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



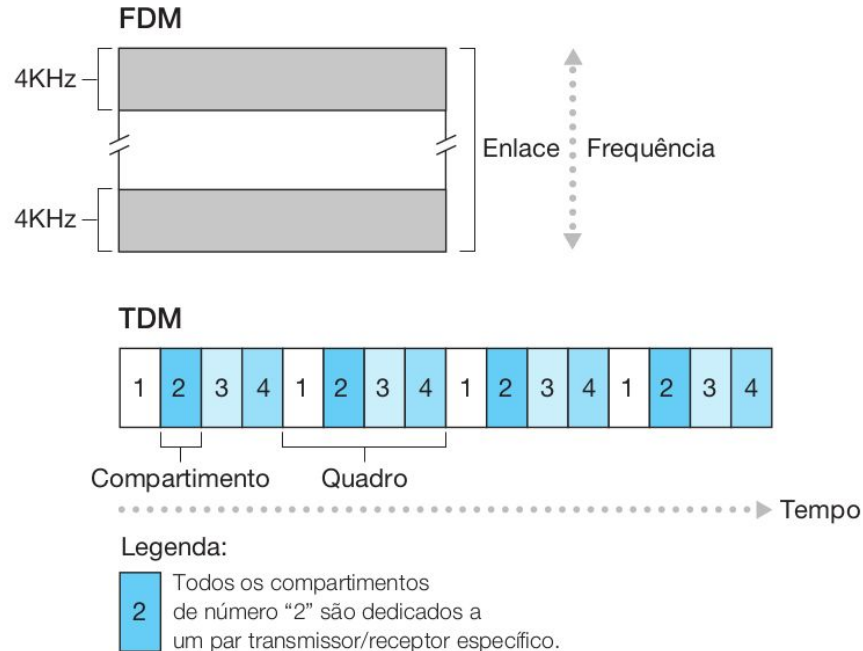
MULTIPLEXAÇÃO EM REDES DE COMUTAÇÃO DE CIRCUITOS

- 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

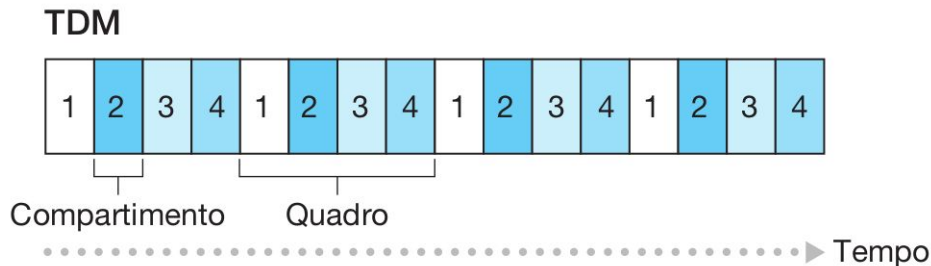


EXERCÍCIO

➤ 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.

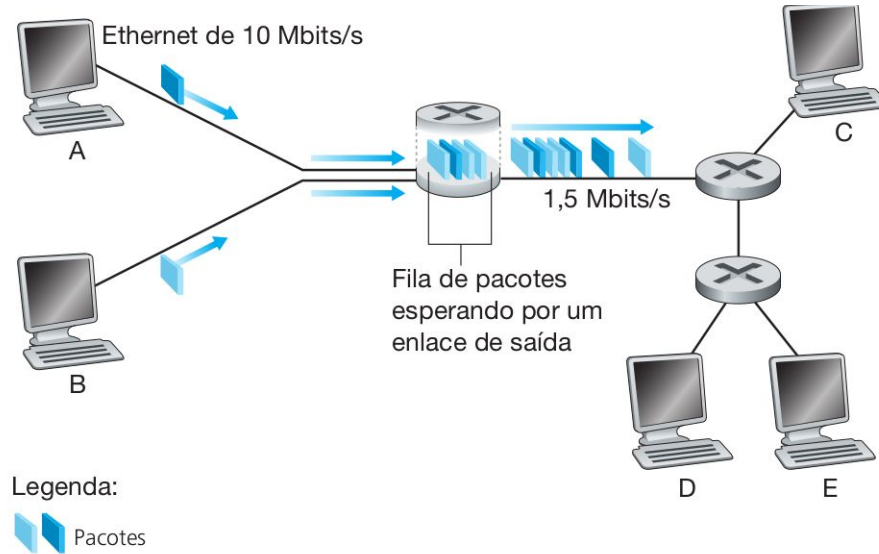
COMUTAÇÃO DE PACOTES

- 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

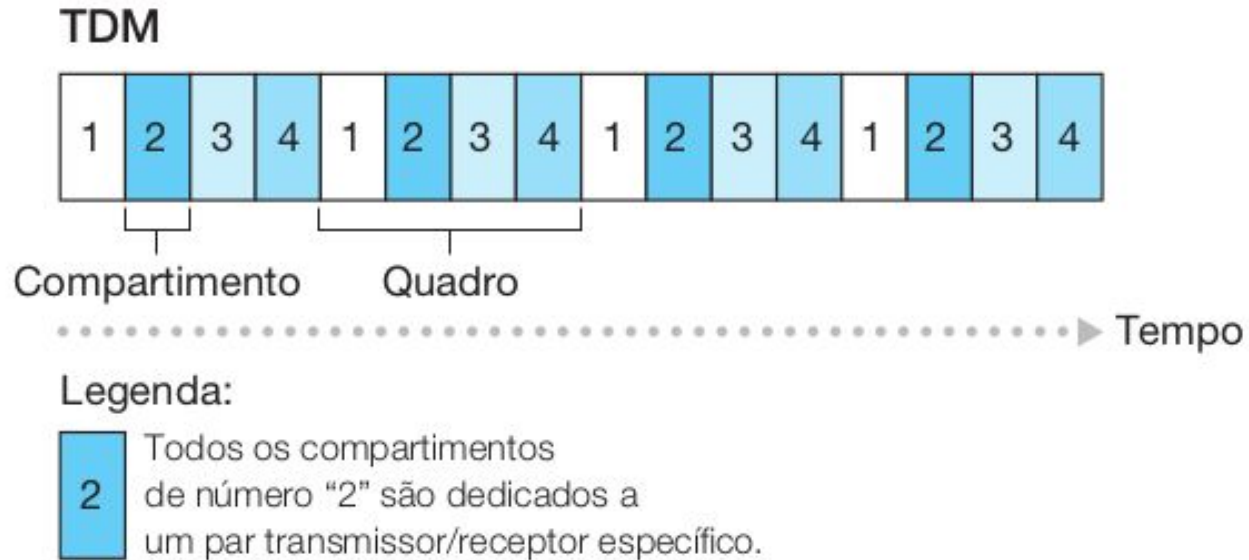
- Congestionamento: filas de pacotes, espera para uso do link
- Armazena e reenvia: pacotes se movem um “salto” por vez
- O nó recebe o pacote completo antes de encaminhá-lo
- Não há alocação fixa nem reserva de recursos

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



➤ *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

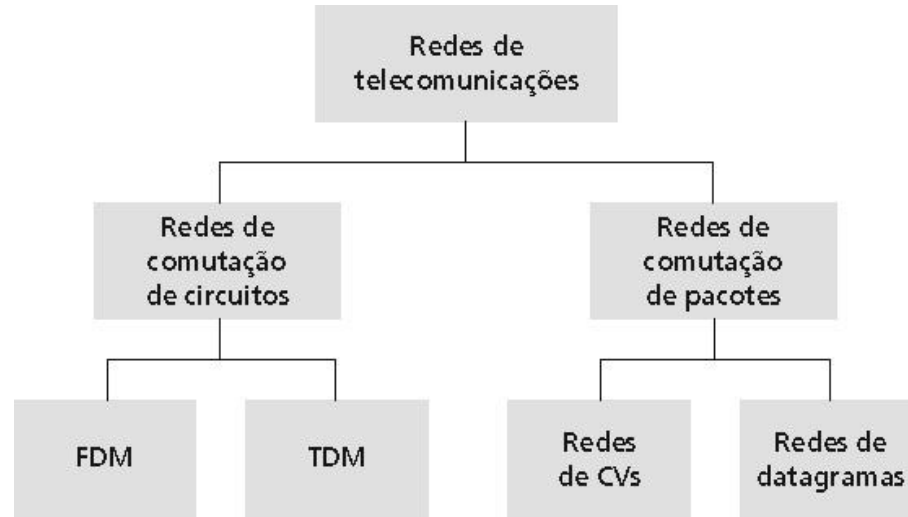
REDES DE CIRCUITOS VIRTUAIS

- 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

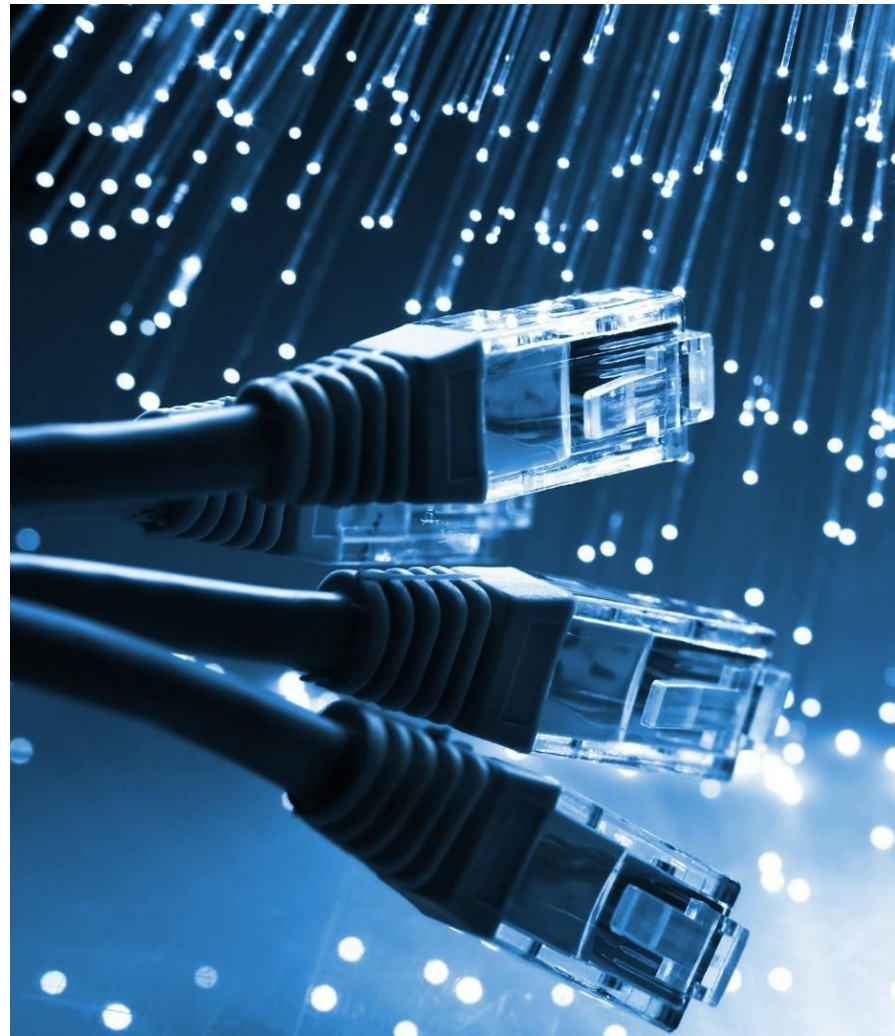
TAXONOMIA DA REDE



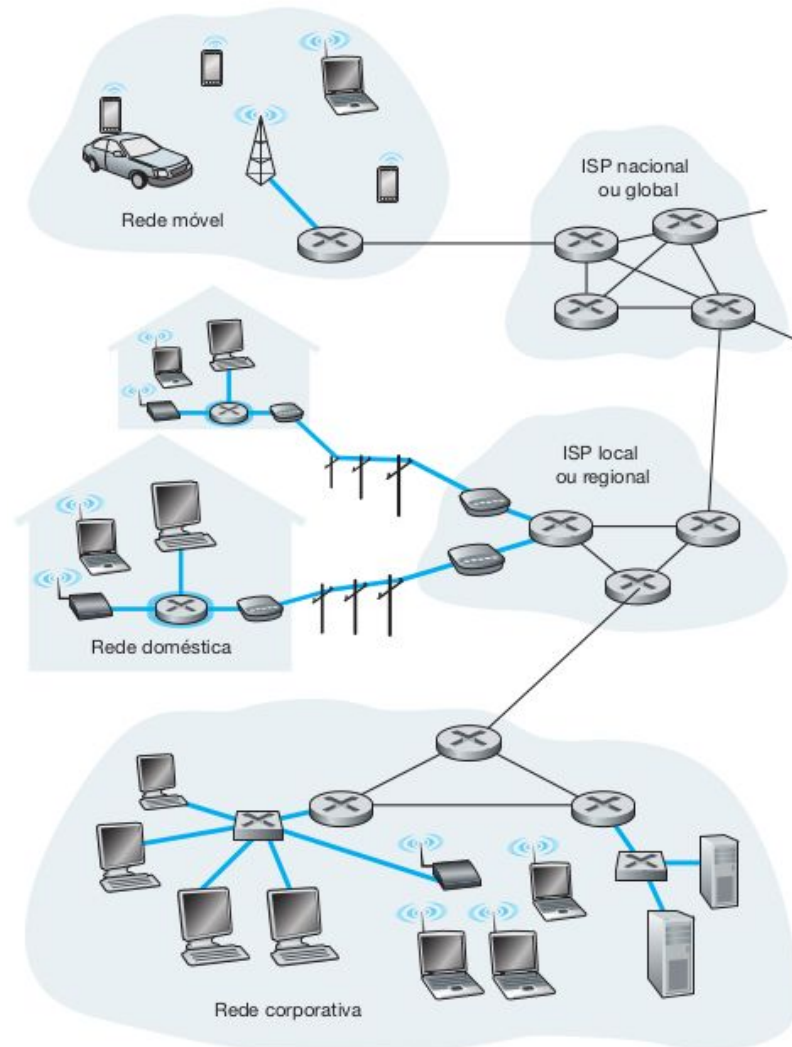
- **Comutadores em redes de circuitos virtuais:** transmitem pacotes de acordo com seus números CVs e mantêm estado de conexão
- **Comutadores em redes de datagramas:** transmitem pacotes de acordo com seus endereços de destino e não mantêm estado de conexão

#1.4

REDES DE ACESSO E MEIOS FÍSICOS

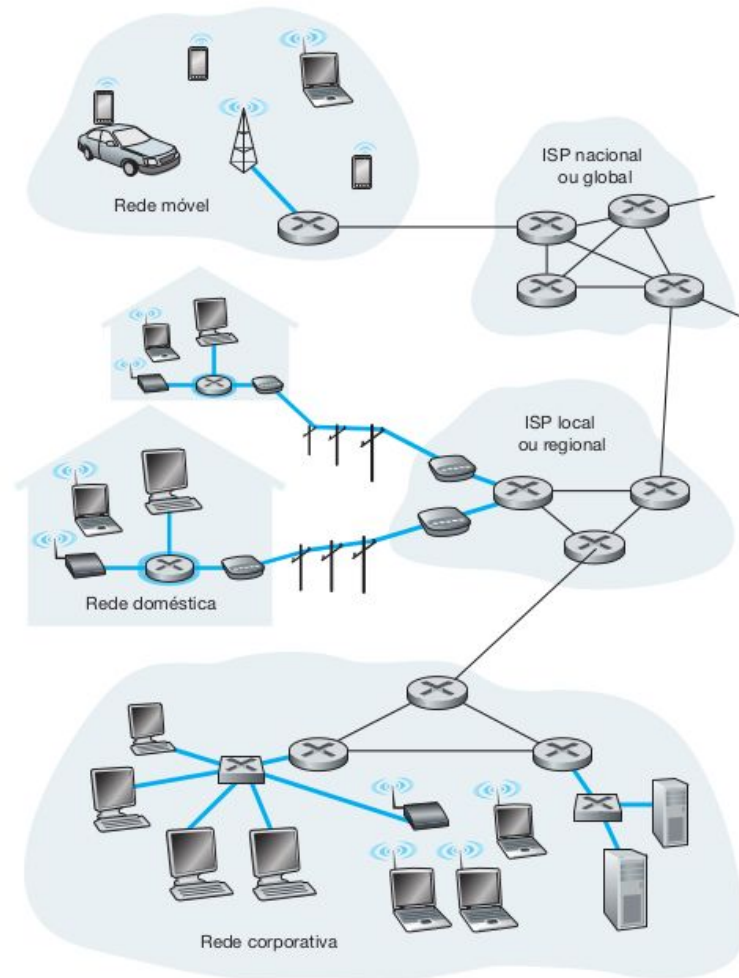


- **Redes de acesso:** o enlace ou os enlaces físicos que conectam um sistema final a seu roteador de borda
- **Roteador de borda:** é o primeiro roteador de um caminho entre um sistema final e qualquer outro sistema final remoto



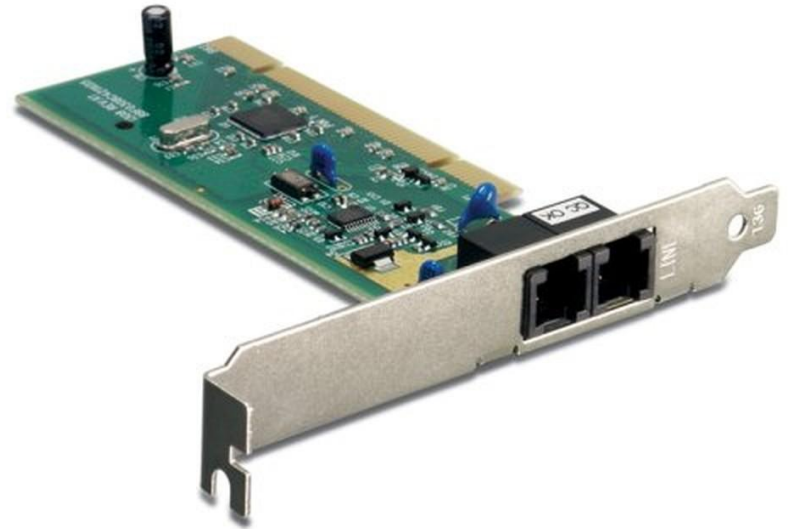
1.4.1 - REDES DE ACESSO

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



ACESSO RESIDENCIAL

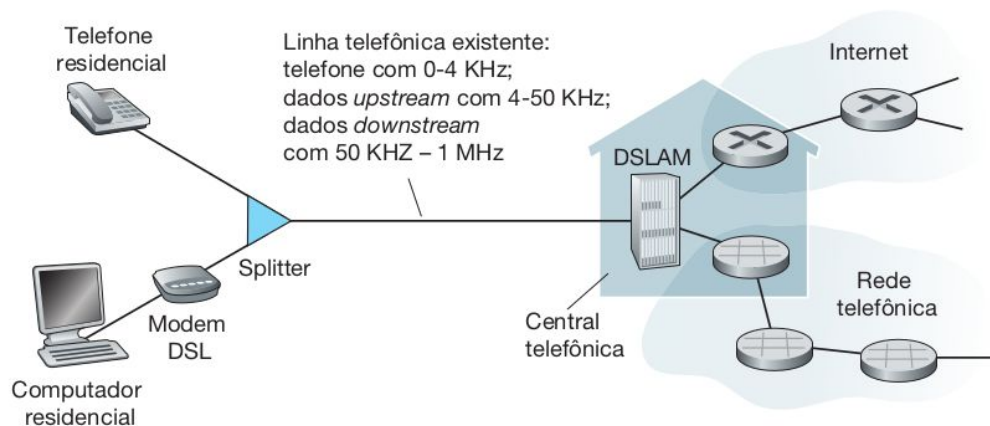
- **Modem discado**
 - Até 56 kbps, com acesso direto ao roteador
 - Não é possível navegar e telefonar ao mesmo tempo
 - Não pode estar sempre on-line



ACESSO RESIDENCIAL

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

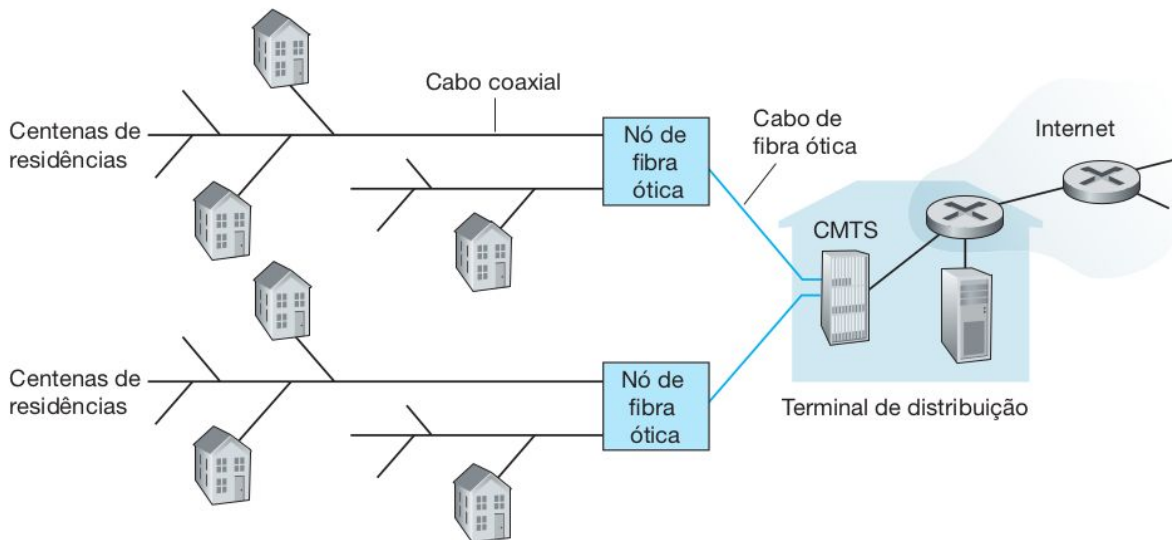
- **Upload:** até 2,5 Mbps - **Download:** até 24 Mbps
- **FDM:**
 - **0 a 4 kHz:** canal telefônico comum de duas vias
 - **4 a 50 kHz:** canal na direção do provedor (upload)
 - **50 kHz a 1 Mhz:** canal na direção do usuário (download)



ACESSO RESIDENCIAL

➤ HFC - híbrido fibra e coaxial

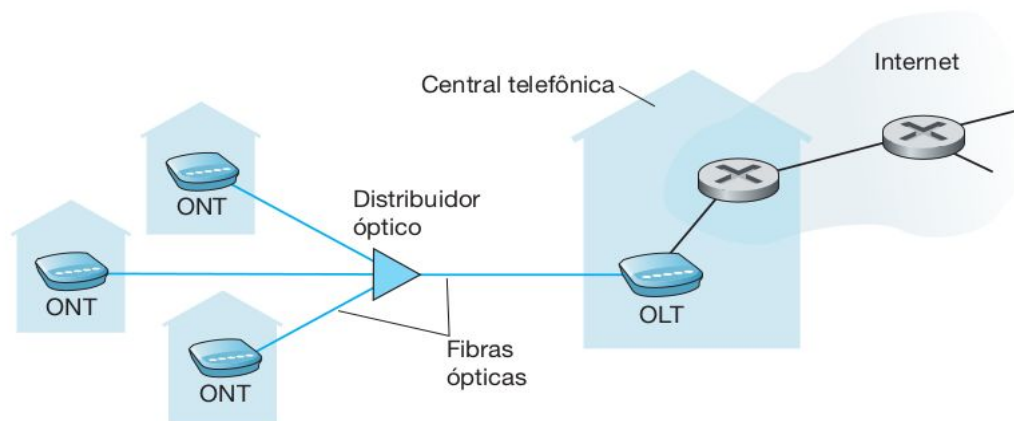
- Assimétrico
- Compartilhado
- Disponível via Tvs a cabo



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

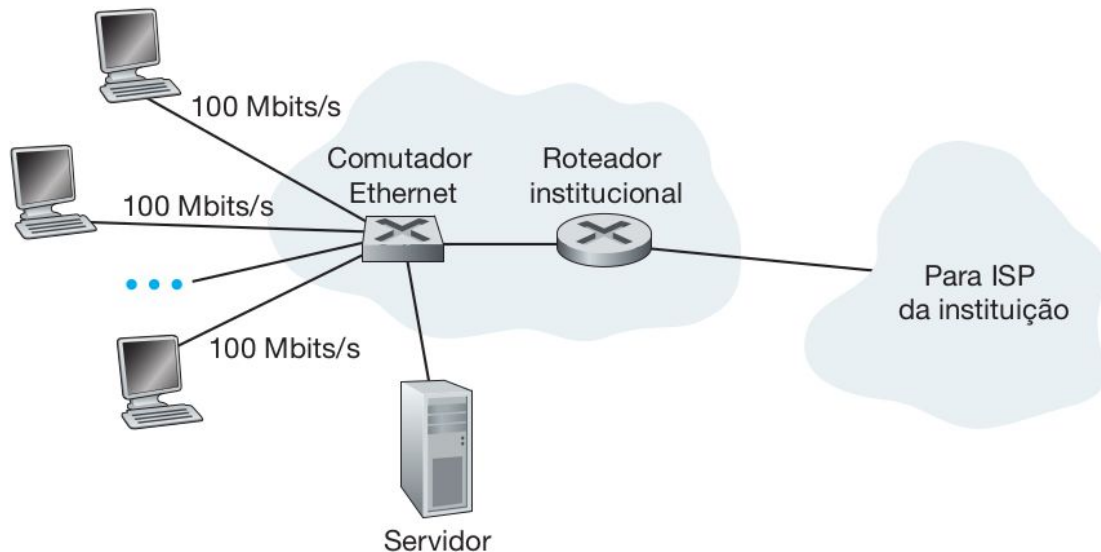


ACESSO CORPORATIVO

- 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

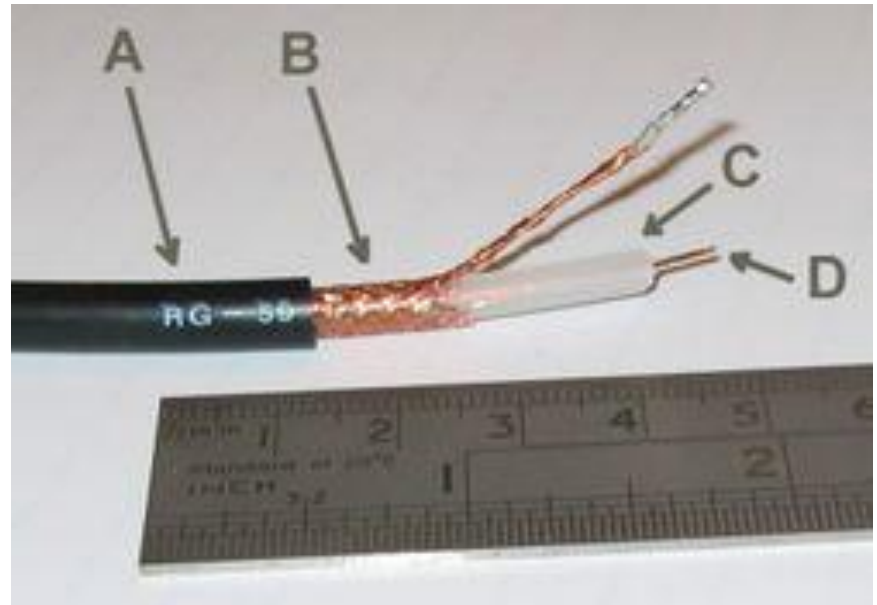
PAR DE FIOS DE COBRE TRANÇADO

- 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

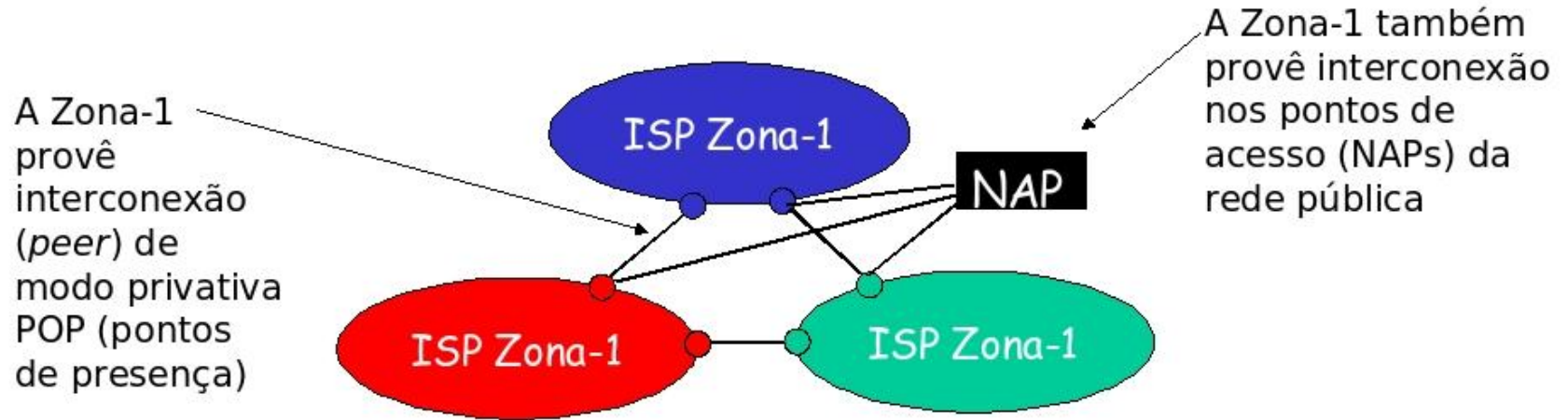
- Um satélite de comunicação liga dois ou mais transmissores/receptores de micro-ondas na Terra
- Trabalham na faixa de Gbps
- Satélites geoestacionários:
 - 36.000 km de altitude
 - Permanentemente sobre o mesmo lugar na Terra
 - Atraso na propagação do sinal na faixa de 250 ms
- Satélites de baixa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

#1.5

**ISPs E
BACKBONES DA
INTERNET**

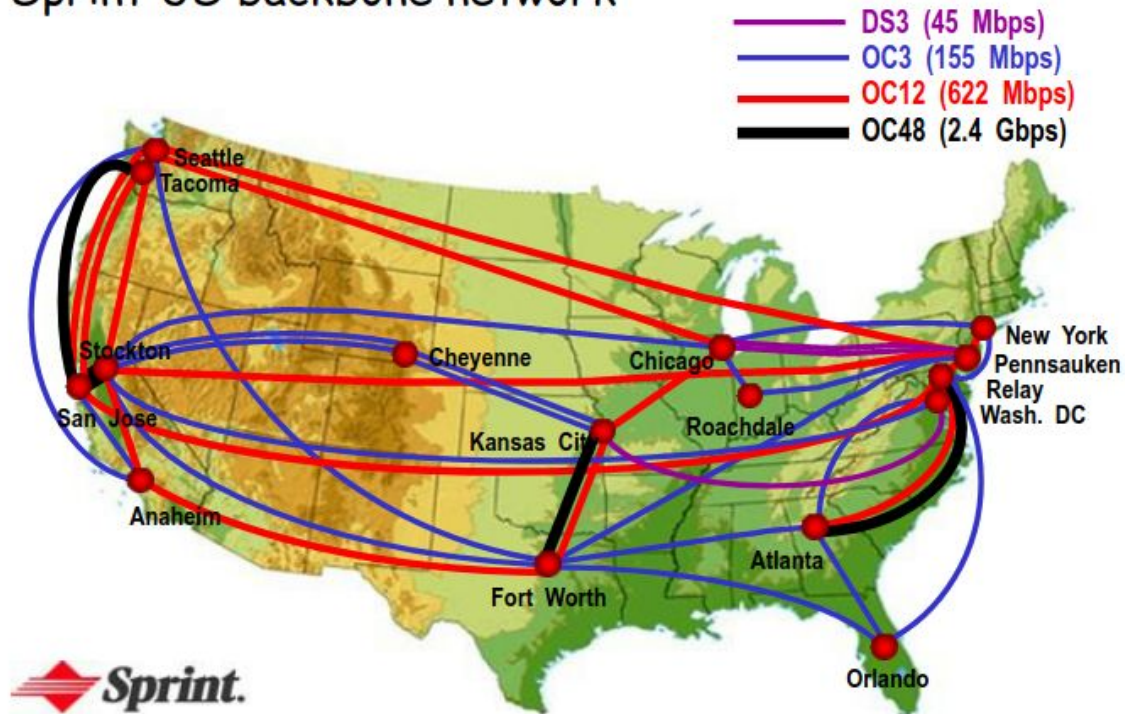


ISPs DE NÍVEL 1



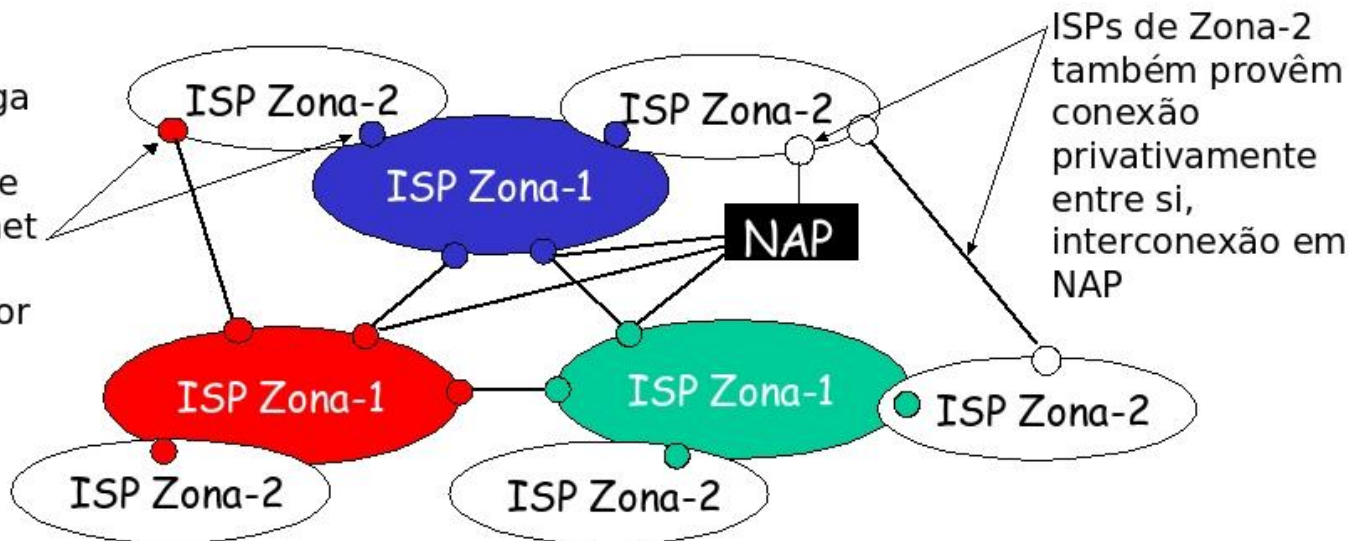
REDE DE BACKBONE ISP NÍVEL 1 DA SPIRIT - EUA

Sprint US backbone network

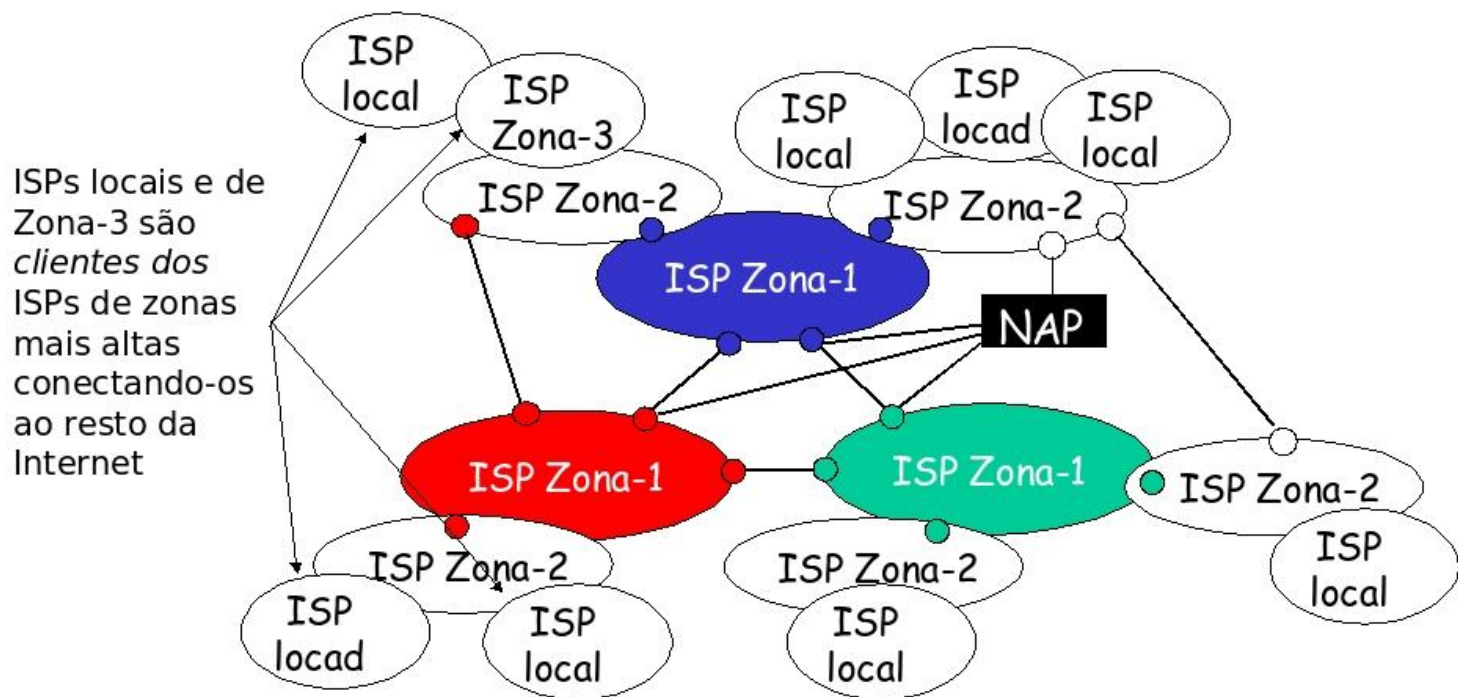


ISPs DE NÍVEL 2

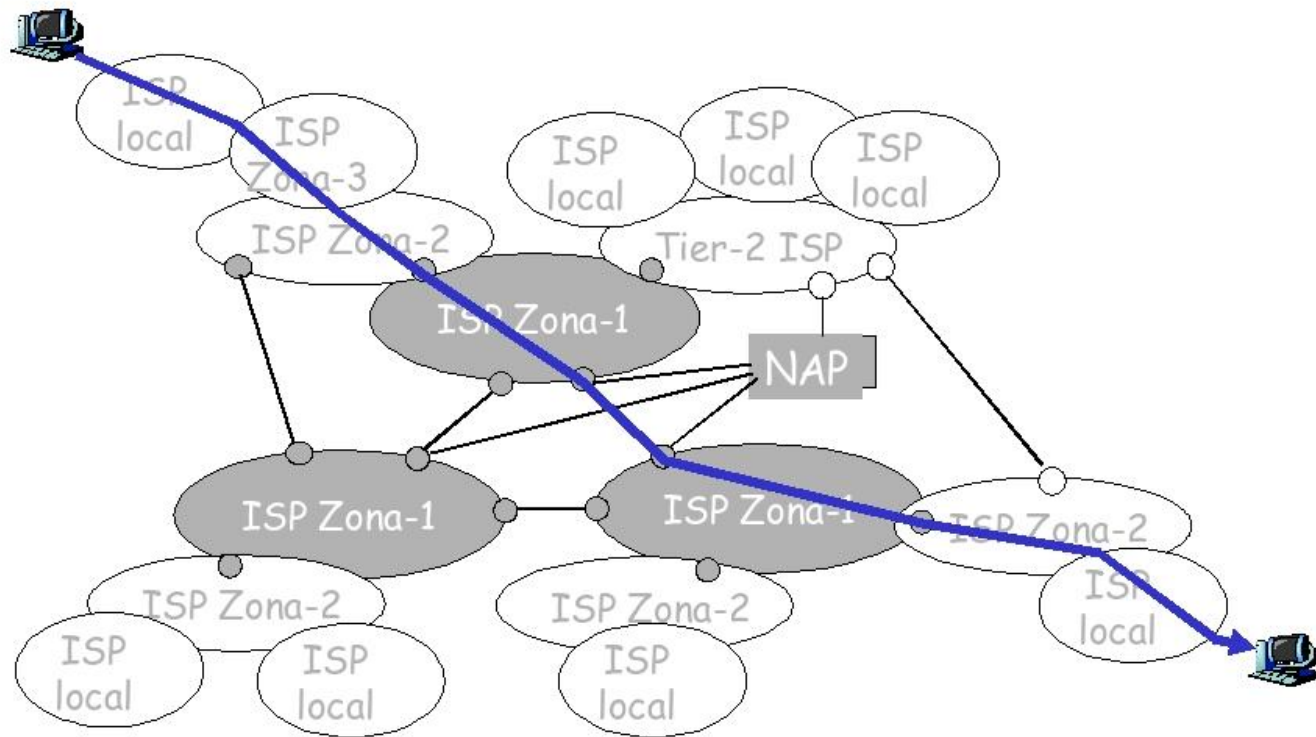
ISP de Zona-2 paga ao ISP de Zona-1 pela conectividade ao resto da Internet
• ISP de Zona-2 é *cliente* do provedor de Zona-1



ISPs DE NÍVEL 3



- Um pacote atravessando várias redes



#1.6

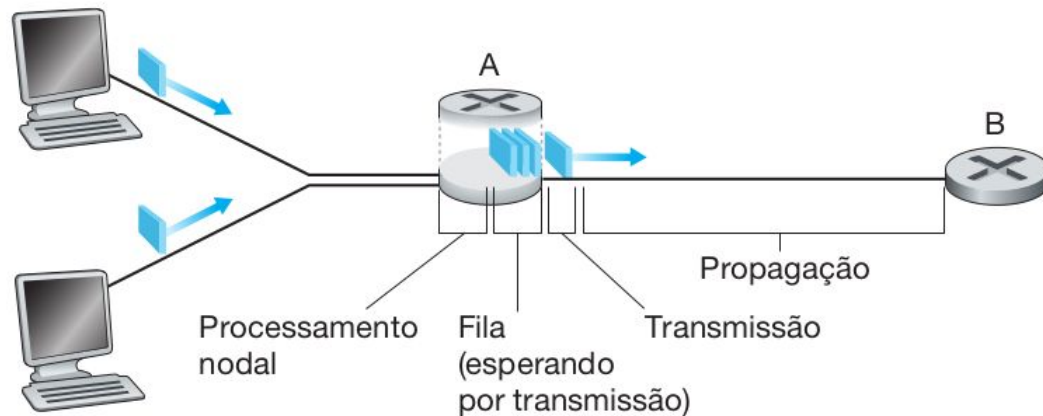
ATRASSO E PERDA EM REDES DE COMUTAÇÃO DE PACOTES



1.6.1 - TIPOS DE ATRASO

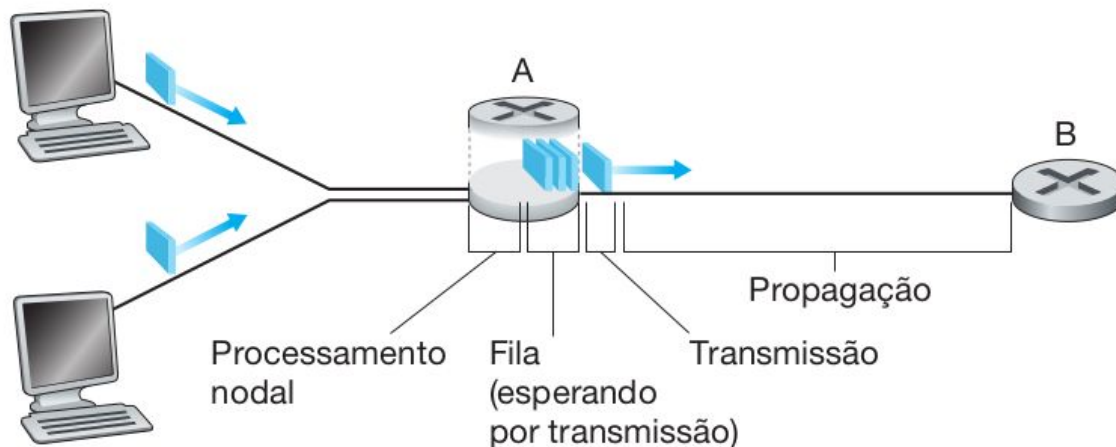
➤ Os mais importantes são:

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



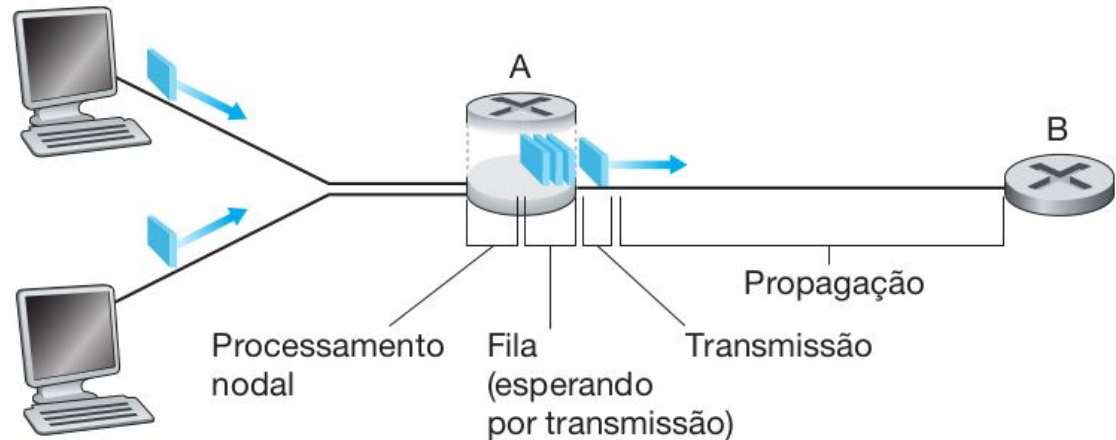
ATRASO DE PROCESSAMENTO NODAL

- 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 microssegundos



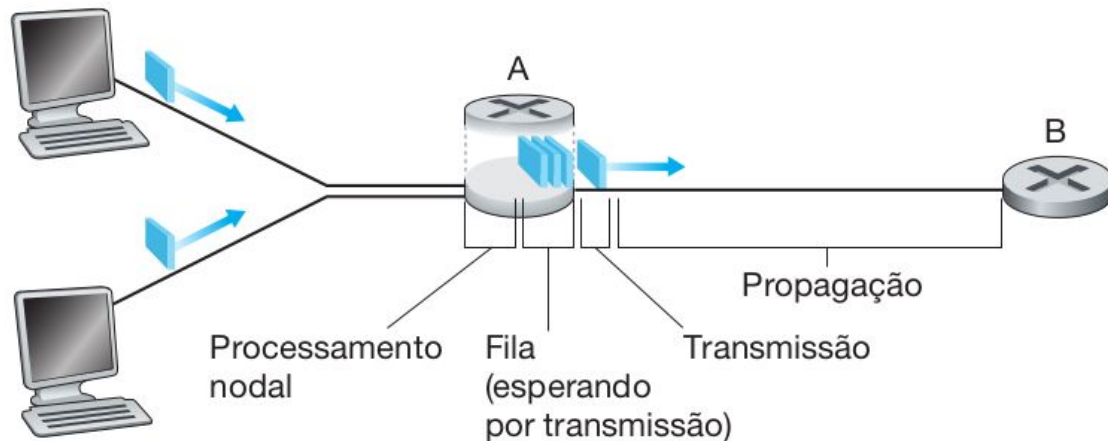
ATRASO DE FILA

- 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



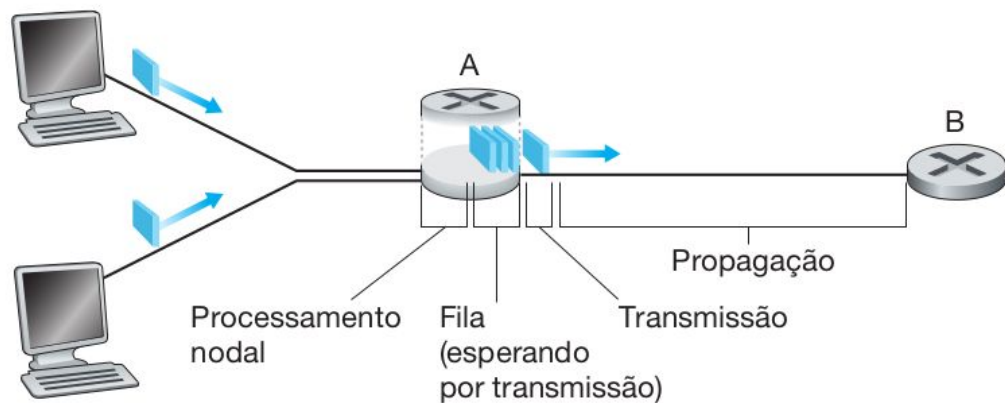
ATRASO DE TRANSMISSÃO

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

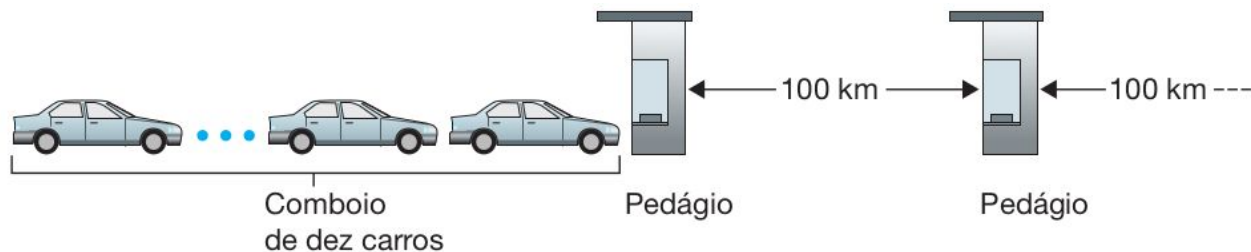


ATRASO DE PROPAGAÇÃO

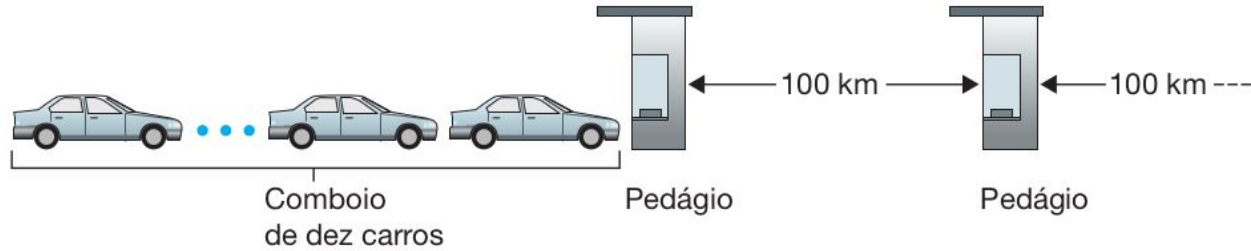
- Tempo que o bit gasta para se propagar de um nó ao outro
- O bit se propaga à velocidade de propagação do enlace, a qual depende do meio físico
- Velocidade de propagação do bit:
 - 2×10^8 m/s a 3×10^8 m/s
- **D** = comprimento do enlace (*metros*)
- **S** = velocidade de propagação (*m/s*)
- **D/S**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



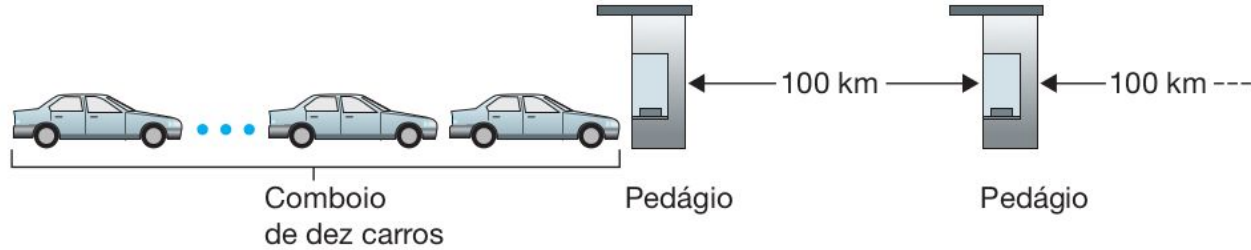
COMPARAÇÃO ENTRE ATRASOS DE TRANSMISSÃO E PROPAGAÇÃO



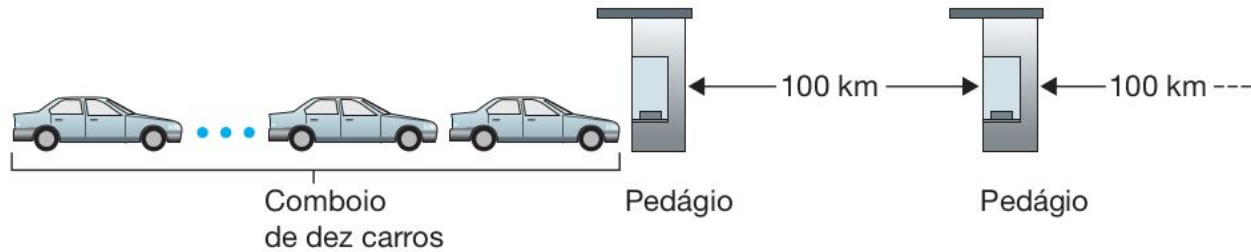
- Carros se propagam a 100 Km/h
- Pedágios levam 12 s para atenderem um carro (tempo de transmissão)
- Carro = bit ; Caravana = pacote
- **Pergunta:** quanto tempo levará até a caravana ser alinhada antes do 2o. pedágio?



- **Pergunta:** quanto tempo levará até a caravana ser alinhada antes do 2o. pedágio?
- Tempo para “empurrar” a caravana toda pelo pedágio até a estrada = $10 \text{ carros} \times 12 \text{ s} = 120 \text{ s}$
 - 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 – significativo 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** = $L a / R$

➤ **Intensidade de tráfego = $\lambda a / R$**

➤ **$\lambda a / R \leq 1$:** natureza do tráfego influencia o atraso de fila

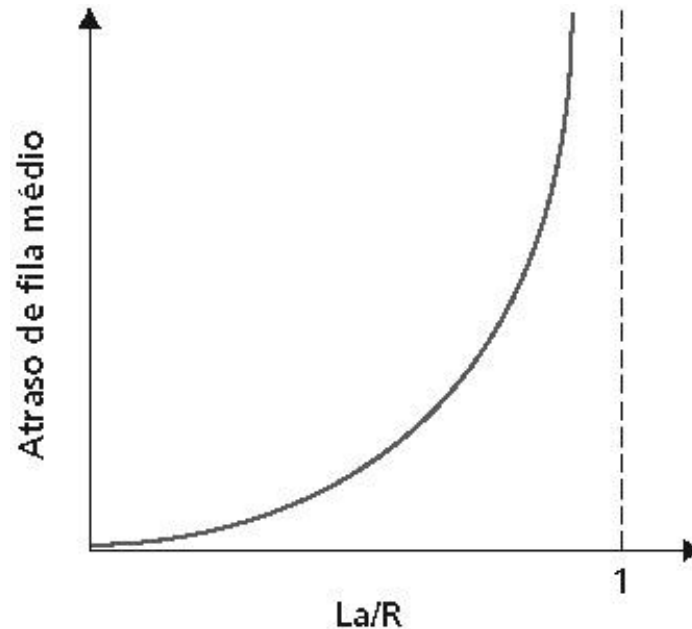
- Pacotes chegando periodicamente: fila vazia e sem atraso
- Pacotes chegando em rajadas: atraso de fila médio aumenta

➤ **$\lambda a / R > 1$:** 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

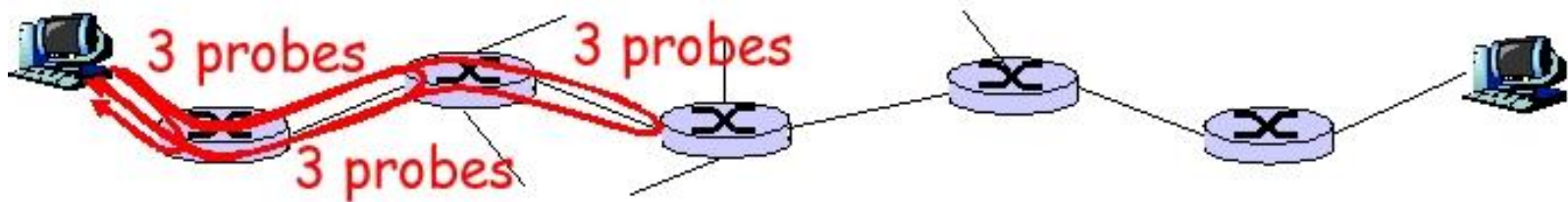
1.6.3 - ATRASO E ROTAS NA INTERNET

➤ 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*

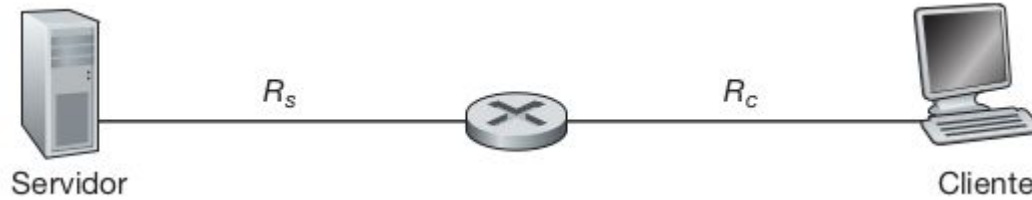
```
1 cs-gw (128.119.240.254) 1 ms 1 ms 2 ms
2 border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145) 1 ms 1 ms 2 ms
3 cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130) 6 ms 5 ms 5 ms
4 jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129) 16 ms 11 ms 13 ms
5 jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136) 21 ms 18 ms 18 ms
6 abilene-vbns.abilene.ucaid.edu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

link transoceânico

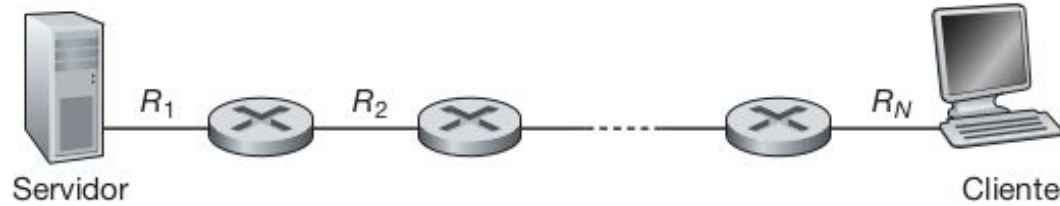
* sem resposta (perda de probe, roteador não responde)

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

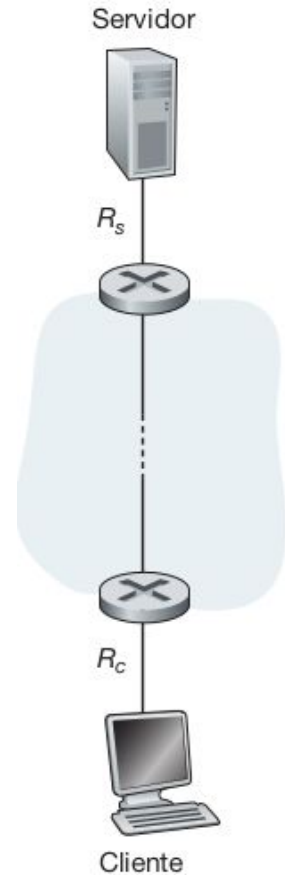


- **R_s** : taxa do enlace servidor-roteador
- **R_c** : taxa do enlace roteador-cliente
- **$R_{\text{fim-a-fim}} = \min\{R_s, R_c\}$**
 - $R_s < R_c \rightarrow R_{\text{fim-a-fim}} = R_s$
 - $R_s > R_c \rightarrow R_{\text{fim-a-fim}} = R_c$
- **Ex:** arquivo MP3 de $F = 4 \text{ MB}$, $R_s = 2 \text{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



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



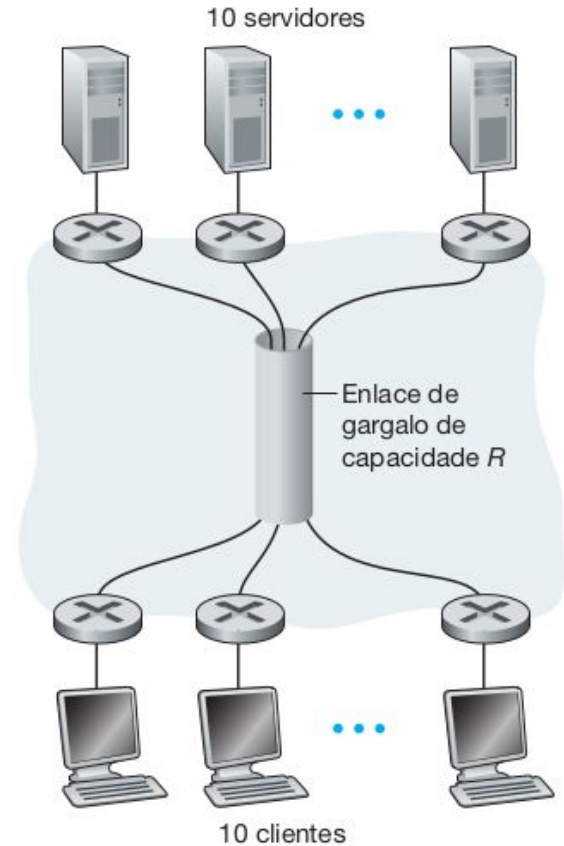
➤ $R \gg R_s, R_c$

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

➤ $R \approx R_s, R_c$

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

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



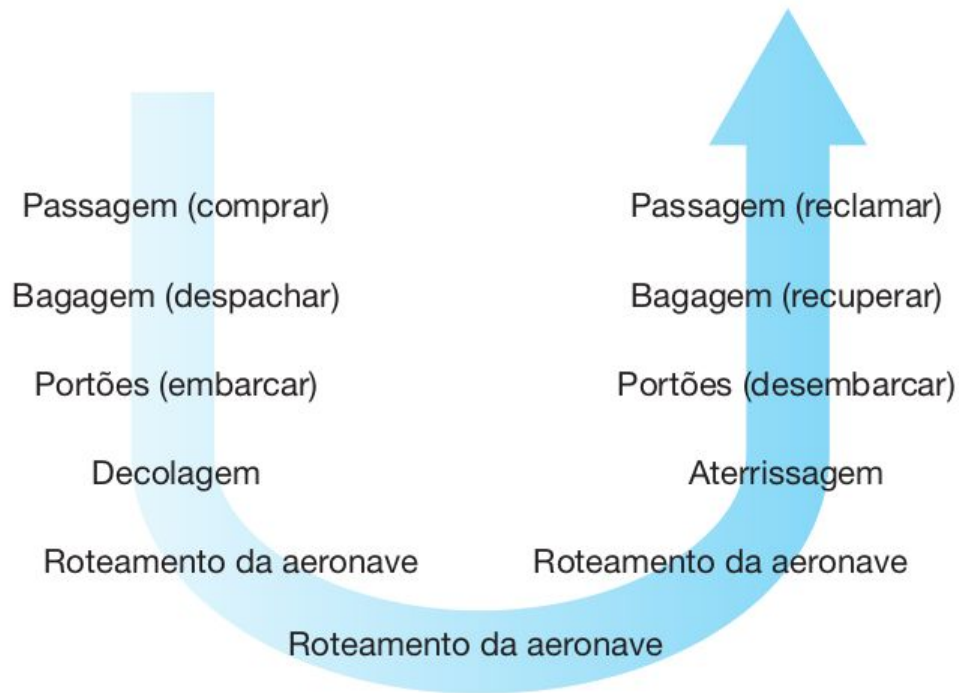
#1.7

CAMADAS DE PROTOCOLO E SEUS MODELOS DE SERVIÇO

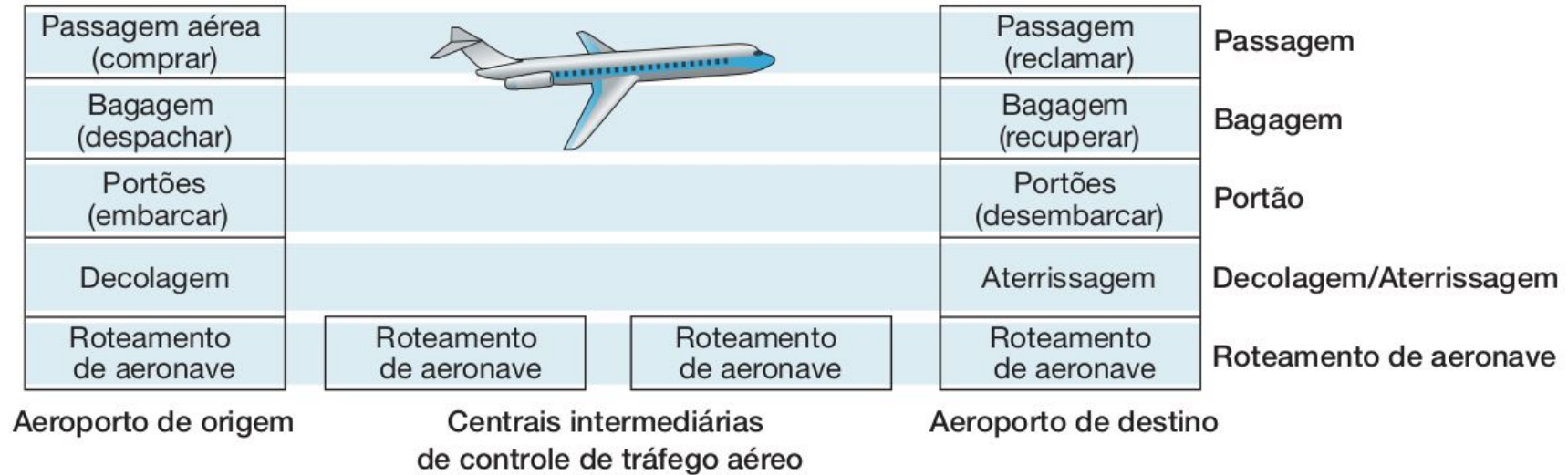


1.7.1 - ARQUITETURA DE CAMADAS

➤ 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



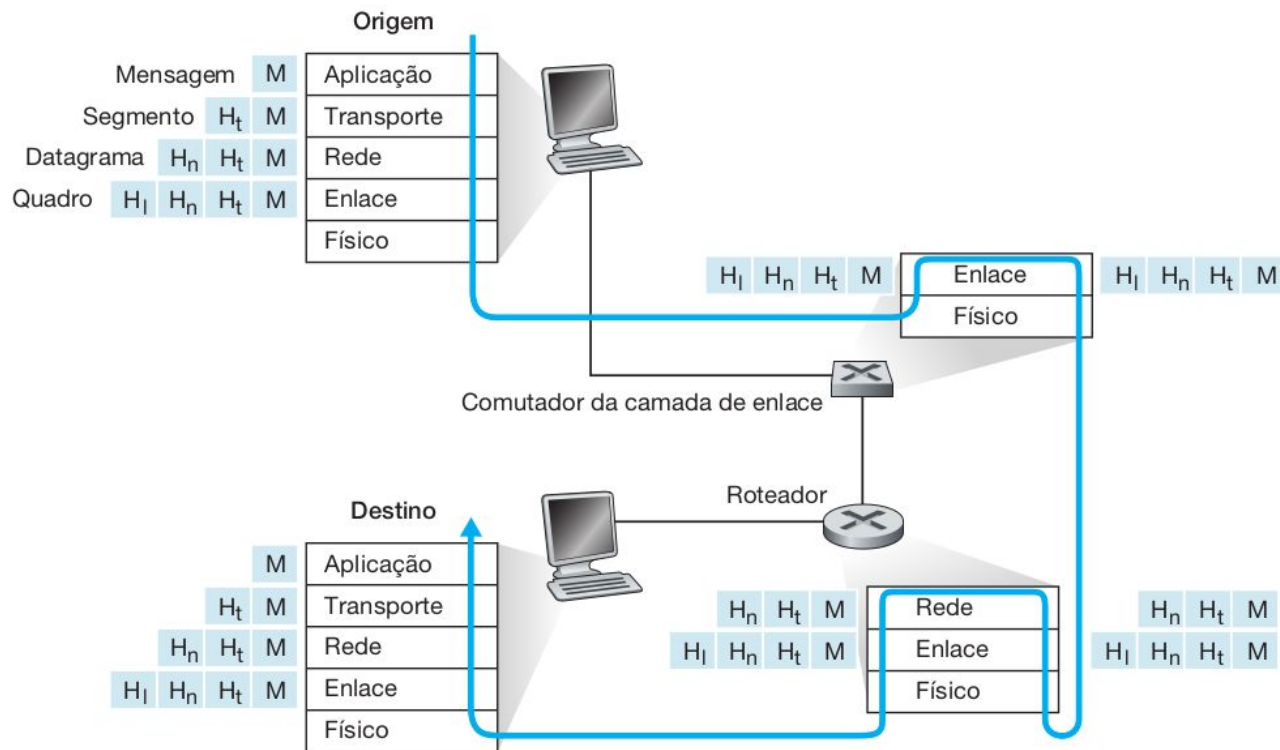
Modelo TCP/IP

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

Aplicação
Transporte
Rede
Enlace
Física

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 EXPLOÇÃO 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

