

**Instituto Federal de Santa Catarina**

***Redes de Computadores***  
***Aula 02 - Comutação, Estrutura da rede,***  
***Protocolos***

**Prof. Tomás Grimm**

[tomas.grimm@ifsc.edu.br](mailto:tomas.grimm@ifsc.edu.br)

# Redes de computadores e a Internet

## 1.1 O que é Internet?

1.2 Núcleo da rede

1.3 Borda da rede

1.4 Protocolos de comunicação em redes

1.5 Acesso à rede e meio físico

1.6 Estrutura da Internet e ISPs

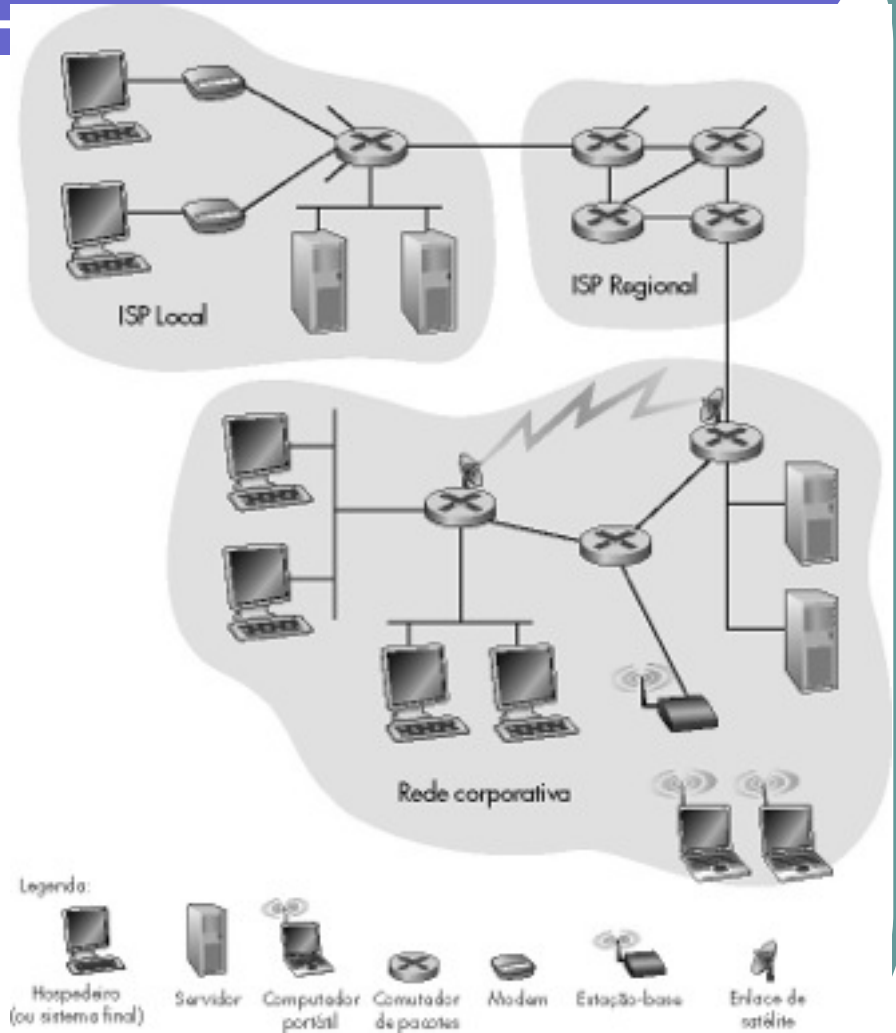
1.7 Atraso e perda em redes de comutação de pacotes

1.8 Camadas de protocolo, modelos de serviço

1.9 História

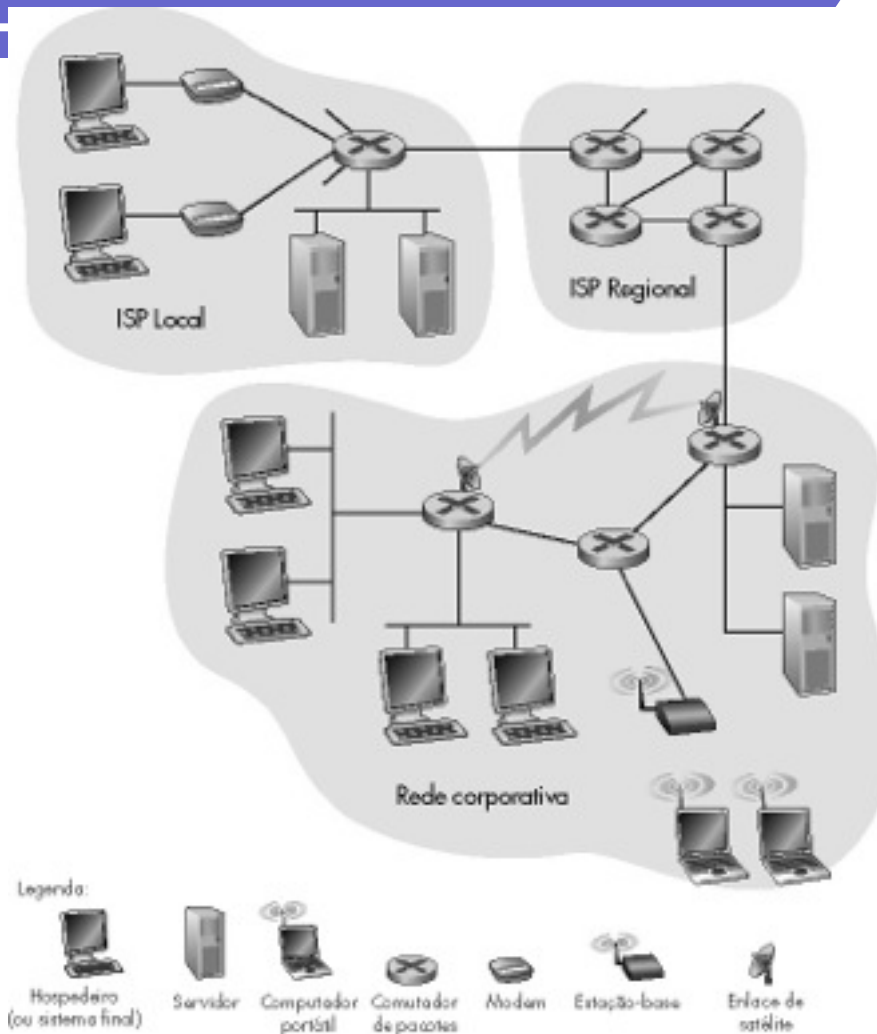
# O que é a Internet?

- Milhões de elementos de computação interligados:  
**hospedeiros = sistemas finais**
- Executando **aplicações distribuídas**
- **Enlaces de comunicação**  
fibra, cobre, rádio, satélite  
taxa de transmissão = **largura de banda variável**
- **Roteadores:** encaminham pacotes (blocos de dados) para seus destinos finais



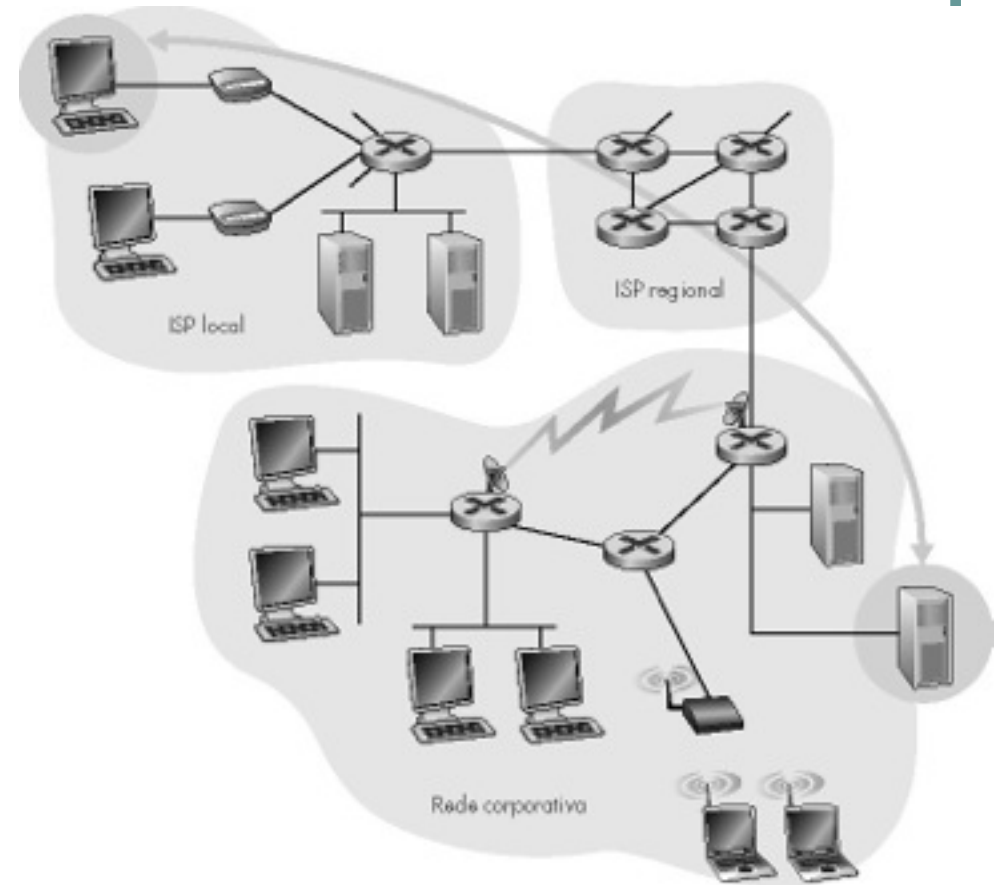
# O que é a Internet?

- **Protocolos:** controlam o envio e a recepção de mensagens  
ex.: PPP, IP, TCP, UDP, HTTP, FTP
- **Internet:** “rede de redes”  
fracamente hierárquica  
Internet pública e Internets privadas (intranets)
- *Internet standards*  
RFC: *Request for comments*  
IETF: *Internet Engineering Task Force*



# Serviços de Internet

- **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



# Uma visão mais de perto da estrutura da rede:

**Borda da rede:**

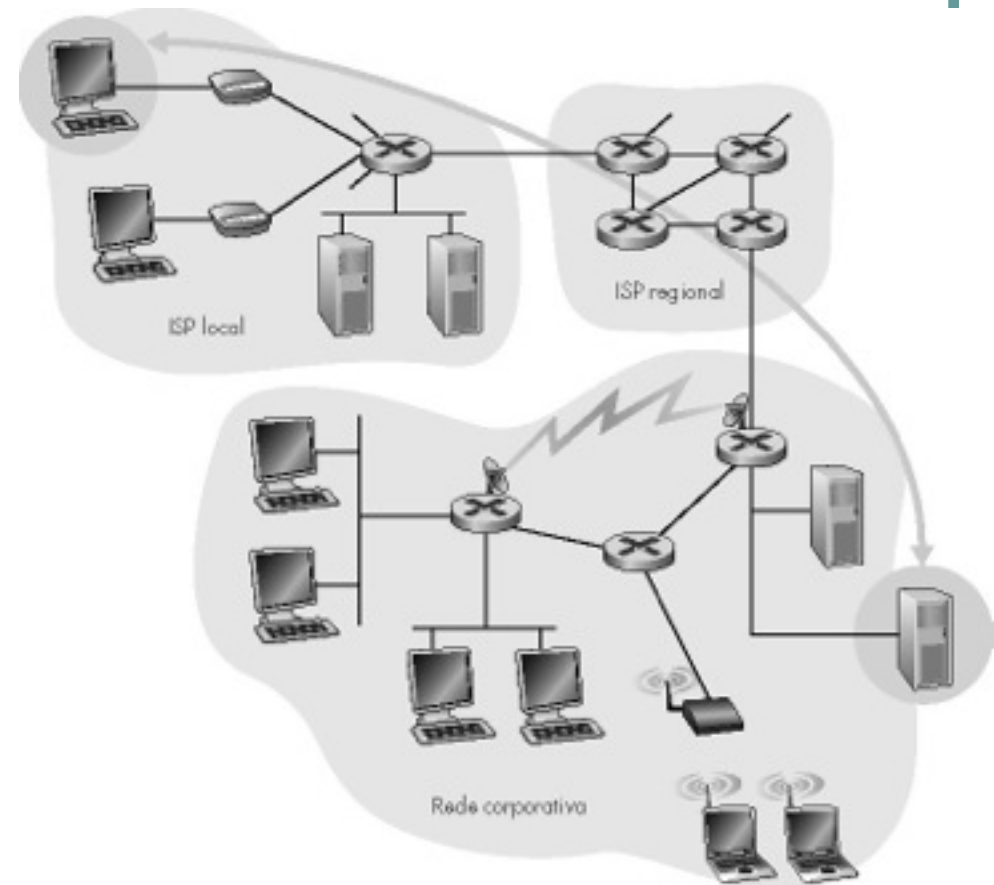
aplicações e hospedeiros

**Núcleo da rede:**

roteadores rede de redes

**Redes de acesso, meio físico:**

enlaces de comunicação



# Redes de computadores e a Internet

1.1 O que é Internet?

1.2 Núcleo da rede

1.3 Borda da rede

1.4 Protocolos de comunicação em redes

1.5 Acesso à rede e meio físico

1.6 Estrutura da Internet e ISPs

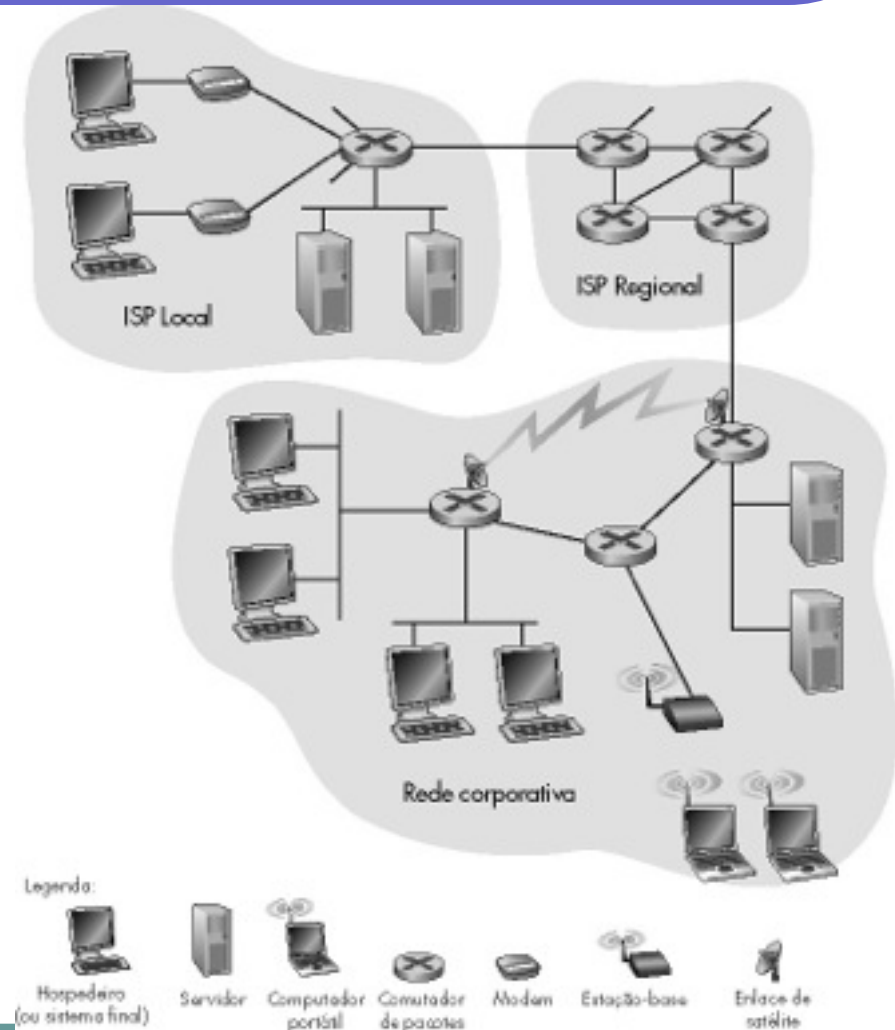
1.7 Atraso e perda em redes de comutação de pacotes

1.8 Camadas de protocolo, modelos de serviço

1.9 História

# O núcleo da rede

- 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

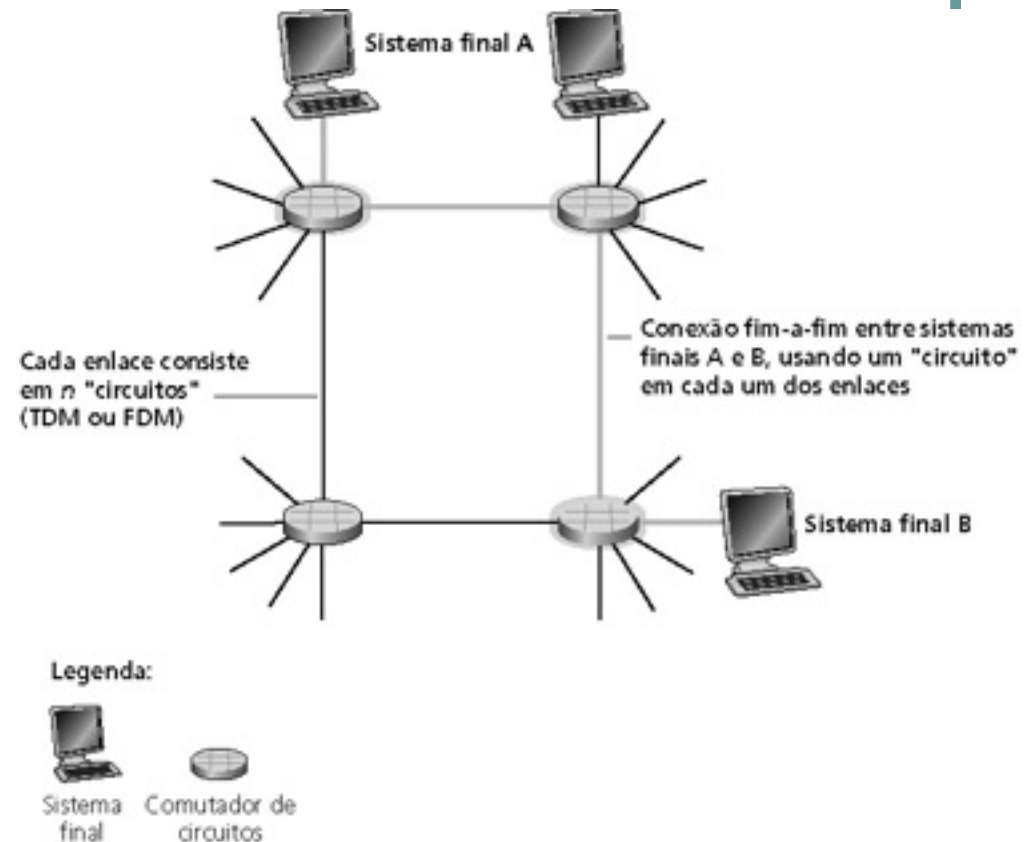




# O núcleo da rede: comutação de circuitos

## Recursos fim-a-fim são reservados por “chamada”

- Taxa de transmissão, capacidade dos comutadores
- Recursos dedicados: não há compartilhamento
- Desempenho análogo aos circuitos físicos (Qualidade de Serviço, QoS, garantido!)
- Exige estabelecimento de conexão

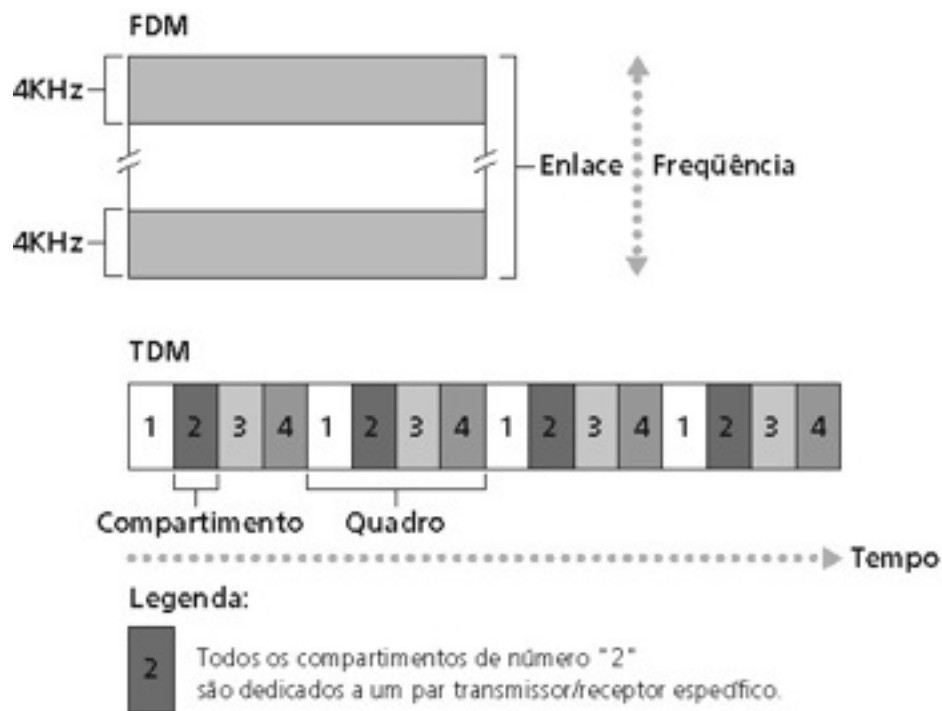


# O núcleo da rede: comutação de circuitos

Recursos da rede (ex.: capacidade de transmissão) **divididos em “pedaços”**

- “Pedaços” alocados às chamadas
- “Pedaço” do recurso desperdiçado se não for usado pelo dono da chamada (**sem divisão**)
- Formas de divisão da capacidade de transmissão em “pedaços”
  - Divisão em frequência
  - Divisão temporal

# Comutação de circuitos: FDMA e TDMA



# Núcleo da rede: comutação de pacotes

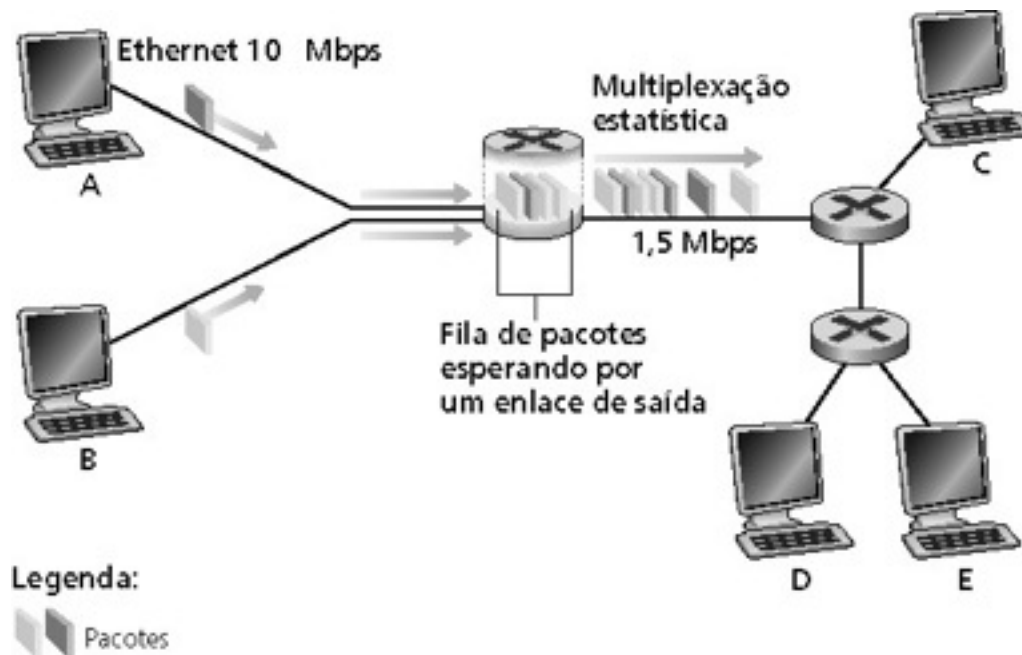
## Cada fluxo de dados fim-a-fim é dividido em pacotes

- Os recursos da rede são compartilhados em bases estatísticas
- Cada pacote usa toda a banda disponível ao ser transmitido
- Recursos são usados na medida do necessário

## Contenção de recursos:

- A demanda agregada por recursos pode exceder a capacidade disponível
- Congestão: filas de pacotes, espera para uso do link
- Armazena e reenvia (*store-and-forward*): pacotes se movem um “salto” por vez
- O nó recebe o pacote completo antes de encaminhá-lo

# Comutação de pacotes: multiplexação estatística (sob demanda)



A seqüência de pacotes de A e B não possui padrão específico

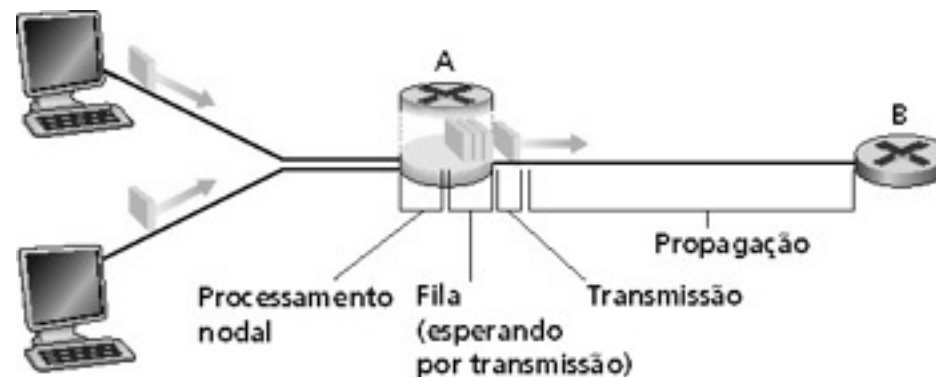
→ **multiplexação estatística (transmissão sob demanda)**

No TDM, cada hospedeiro adquire o mesmo slot dentro do frame TDM

# Comutação de pacotes x comutação de circuitos

Comutação de pacotes permite que mais usuários usem a mesma rede!  
Para um enlace de 1 Mbit/s

- Com comutação de pacotes:
  - Rede com 10 usuários
  - Cada usuário utiliza 100 Kbits/s quando “ativo” e fica ativo 10% do tempo
- Com comutação de circuitos:
  - Rede com 35 usuários
  - Probabilidade de 10 estarem ativos é menor que 0,0004%



# Comutação de pacotes x comutação de circuitos

## A comutação de pacotes é melhor sempre?

- Ótima para dados esporádicos
- Melhor compartilhamento de recursos
- Não há estabelecimento de chamada
- **Congestionamento excessivo:** atraso e perda de pacotes
- Protocolos são necessários para transferência confiável, controle de congestionamento

## Como obter um comportamento semelhante ao de um circuito físico?

- Garantias de taxa de transmissão são necessárias para aplicações de áudio/vídeo
- Problema ainda sem solução (estudaremos isso adiante)

# Comutação de pacotes: armazena e reenvia

- Leva  $L/R$  segundos para enviar pacotes de  $L$  bits para o enlace de  $R$  bps
- O pacote todo deve chegar no roteador antes que seja transmitido para o próximo enlace: *armazena e reenvia*
- Atraso =  $3L/R$  (i.e., são três saltos!!!)

## Exemplo:

$L = 7,5$  Mbits

$R = 1,5$  Mbps

atraso = 15 s (3 x 5s por enlace)





# Redes de comutação de pacotes: roteamento

**Objetivo:** mover pacotes entre roteadores da origem ao destino

- Iremos estudar vários algoritmos de seleção de caminhos

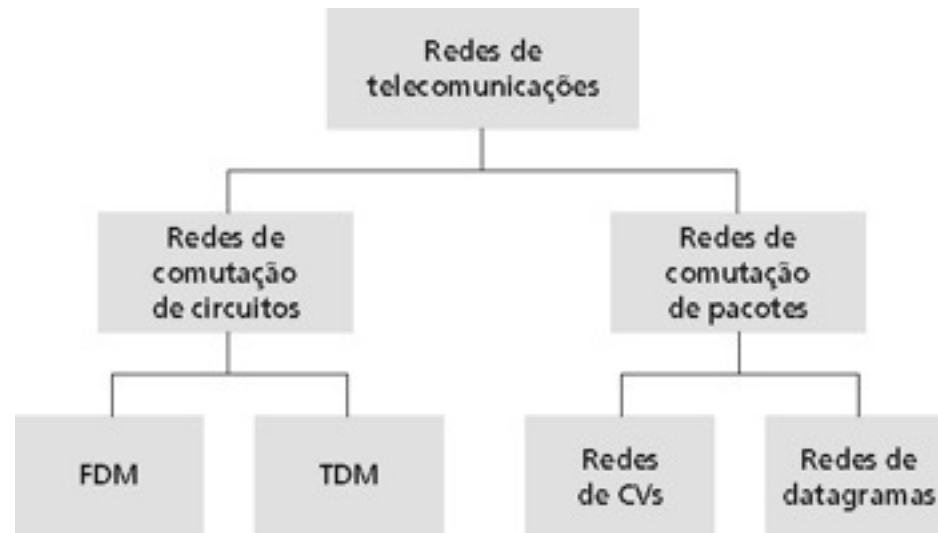
**Redes datagrama:**

- *O endereço de destino* determina o próximo salto
- Rotas podem mudar durante uma sessão
- Analogia: dirigir perguntando o caminho

**Rede 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 estado por conexão**

# Taxonomia da rede



- Rede de datagramas *não* é nem orientada à conexão nem não orientada à conexão
- A Internet provê serviços com orientação à conexão (TCP) e serviços sem orientação à conexão (UDP) para as aplicações.

# Redes de computadores e a Internet

1.1 O que é Internet?

1.2 Núcleo da rede

1.3 Borda da rede

1.4 Protocolos de comunicação em redes

1.5 Acesso à rede e meio físico

1.6 Estrutura da Internet e ISPs

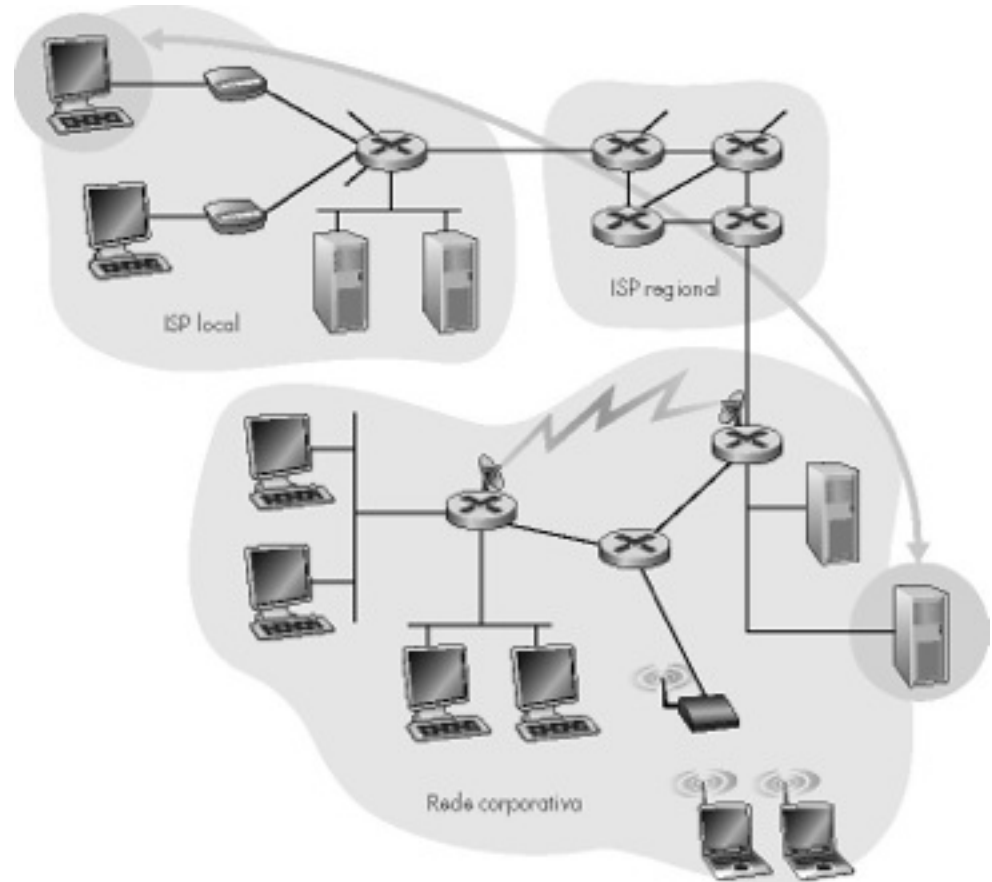
1.7 Atraso e perda em redes de comutação de pacotes

1.8 Camadas de protocolo, modelos de serviço

1.9 História

# As bordas da rede

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



# Borda da rede: serviço orientado à conexão

**Meta:** transferência de dados entre sistemas finais.

- **Handshaking:** estabelece as condições para o envio de dados antes de enviá-los
  - Alô: protocolo humano
  - **Estados de “conexão”** controlam a troca de mensagens entre dois hospedeiros
- TCP - *Transmission Control Protocol*
  - Realiza o serviço orientado à conexão da Internet

**Serviço TCP** [RFC 793]

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

# Borda da rede: serviço sem conexão

**Meta:** transferência de dados entre sistemas finais

- O mesmo de antes!
- **UDP** - User Datagram Protocol [RFC 768]: oferece o serviço sem conexão da Internet
  - Transferência de dados não confiável
  - Sem controle de fluxo
  - Sem controle de congestão

**Aplicações que utilizam TCP:**

- HTTP (Web), FTP (transferência de arquivo), Telnet (login remoto), SMTP (e-mail)

**Aplicações que utilizam UDP:**

- Streaming media, teleconferência, DNS, telefonia IP

# Redes de computadores e a Internet

1.1 O que é Internet?

1.2 Núcleo da rede

1.3 Borda da rede

**1.4 Protocolos de comunicação em redes**

1.5 Acesso à rede e meio físico

1.6 Estrutura da Internet e ISPs

1.7 Atraso e perda em redes de comutação de pacotes

1.8 Camadas de protocolo, modelos de serviço

1.9 História

# 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 ou outros eventos

## Protocolos de comunicação em redes:

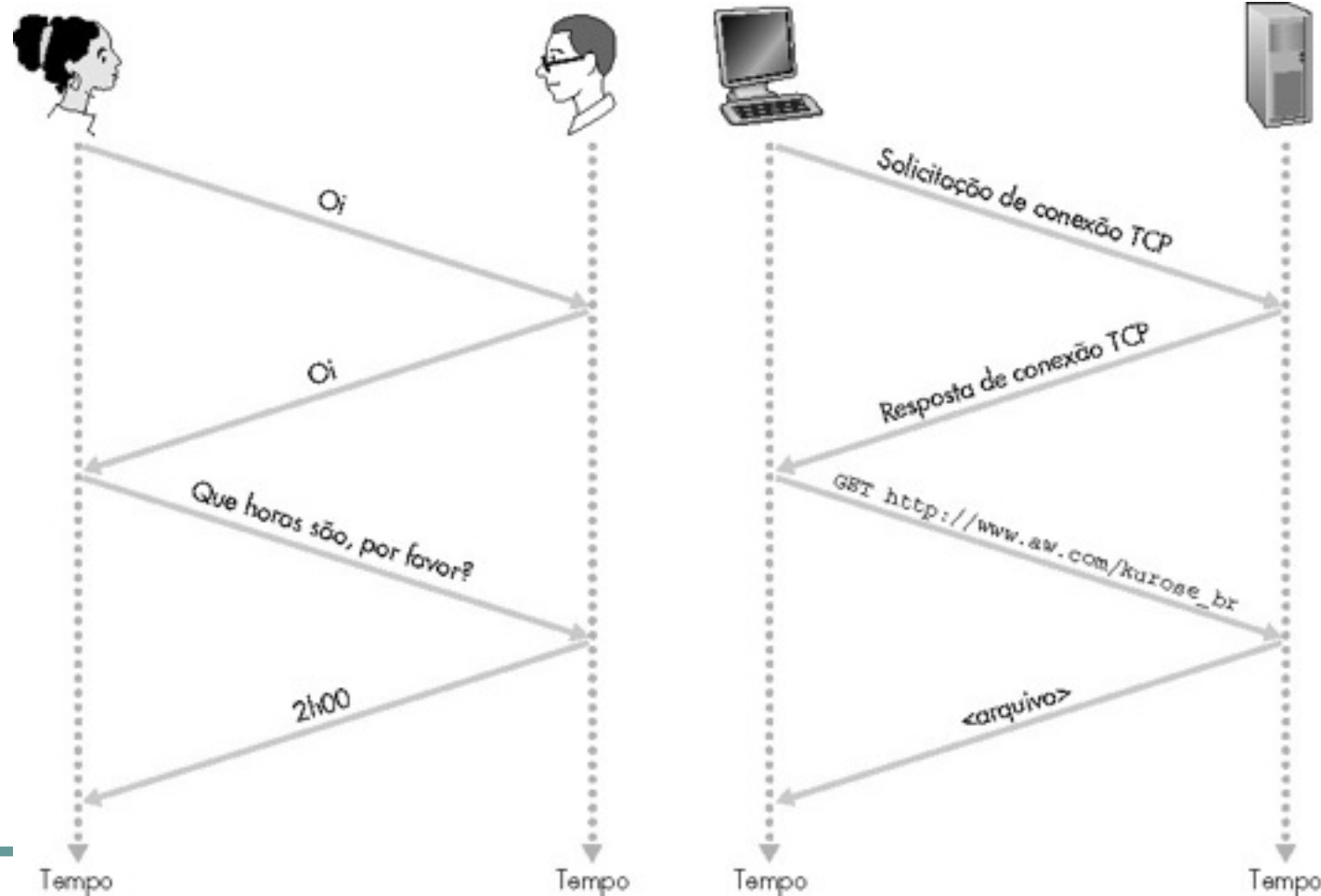
- Máquinas em vez de humanos
- Toda atividade de comunicação na Internet é governada por protocolos

**PROTOCOLOS DEFINEM OS FORMATOS, A ORDEM DAS MENSAGENS ENVIADAS E RECEBIDAS PELAS ENTIDADES DE REDE E AS AÇÕES A SEREM TOMADAS NA TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO DE MENSAGENS**



# O que é um protocolo?

Um protocolo humano e um protocolo de rede de computadores:



# O que é um protocolo?

- **Um protocolo tem cinco partes:**
  - O serviço oferecido
  - As hipóteses sobre o ambiente onde ele executa, incluindo os serviços utilizados pelo protocolo
  - O vocabulário de mensagens utilizado para implementá-lo
  - O formato de cada mensagem do vocabulário
  - Os algoritmos garantindo a consistência na troca de mensagens e a integridade do serviço oferecido

# O que estudaremos sobre protocolos?

- Como reconhecer um bom projeto de protocolo?
  - Por exemplo, julgando pela sua sobrevivência: *Ethernet* e IP são bons; protocolos *token ring* não são muito bons.
- Quais os aspectos positivos e negativos em um protocolo?
  - TCP se adapta a congestionamentos, mas assume que a Internet entrega os pacotes ordenados.
- Utilizaremos exemplos de protocolos para analisar estas e outras questões

# Princípios da comunicação entre computadores

- **Especificação do protocolo:** A descrição do protocolo é completa e acurada.
- **Safety:** Um protocolo faz o que deve fazer todo o tempo.
- **Liveness:** Um protocolo é livre de *deadlock*.
- **Eficiência:** Um protocolo utiliza os recursos disponíveis de uma forma eficiente.
- **Justiça (*fairness*):** utilização **justa ou contratual** dos recursos
- **Simplicidade** é desejável mas não necessária!

# Desempenho de protocolos

- **Atraso médio:** Tempo entre a transmissão do primeiro bit e a recepção do mesmo pelo destino.
- **Vazão ou capacidade:** Número total de bits transmitidos dividido pelo tempo entre a transmissão do primeiro bit e a entrega do último bit no destino

# Redes de computadores e a Internet

1.1 O que é Internet?

1.2 Núcleo da rede

1.3 Borda da rede

1.4 Protocolos de comunicação em redes

**1.5 Acesso à rede e meio físico**

1.6 Estrutura da Internet e ISPs

1.7 Atraso e perda em redes de comutação de pacotes

1.8 Camadas de protocolo, modelos de serviço

1.9 História

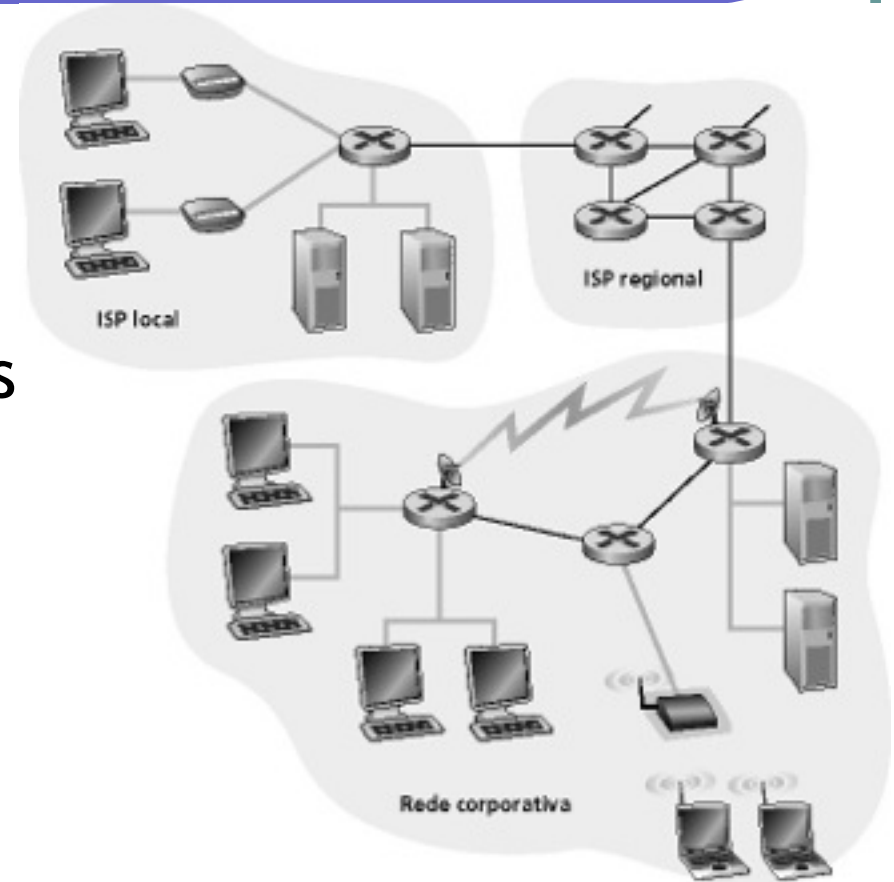
# Redes de acesso e meios físicos

## P.: Como conectar o sistema final ao roteador de borda?

- Redes de acesso residencial
- Redes de acesso institucionais (escolas, bancos, empresas)
- Redes de acesso móveis

## Lembre-se:

- Largura de banda (bits por segundo) da rede de acesso?
- Compartilhado ou dedicado?



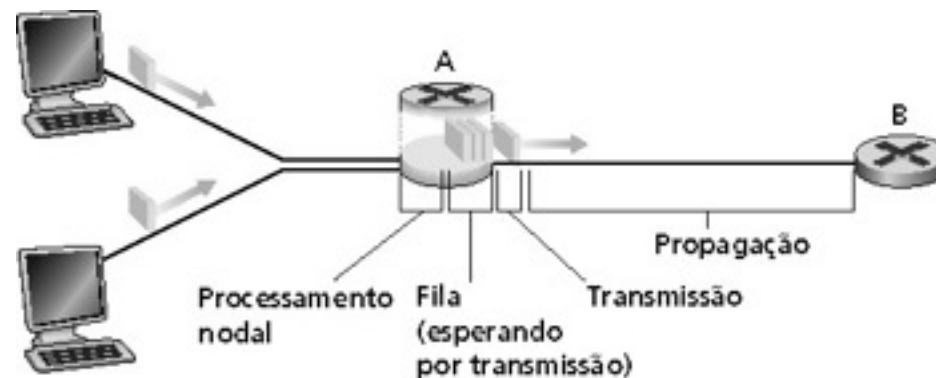
# Acesso residencial: redes ponto-a-ponto

## 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”

## ADSL: asymmetric digital subscriber line

- Até 1 Mbps de upstream (hoje tipicamente < 256 kbps)
- Até 8 Mbps de downstream (hoje tipicamente < 1 Mbps)
- FDM: 50 kHz - 1 MHz para downstream
  - 4 kHz - 50 kHz para upstream
  - 0 kHz - 4 kHz para telefonia comum





# Acesso residencial: cable modems

- **HFC: híbrido fibra e coaxial**

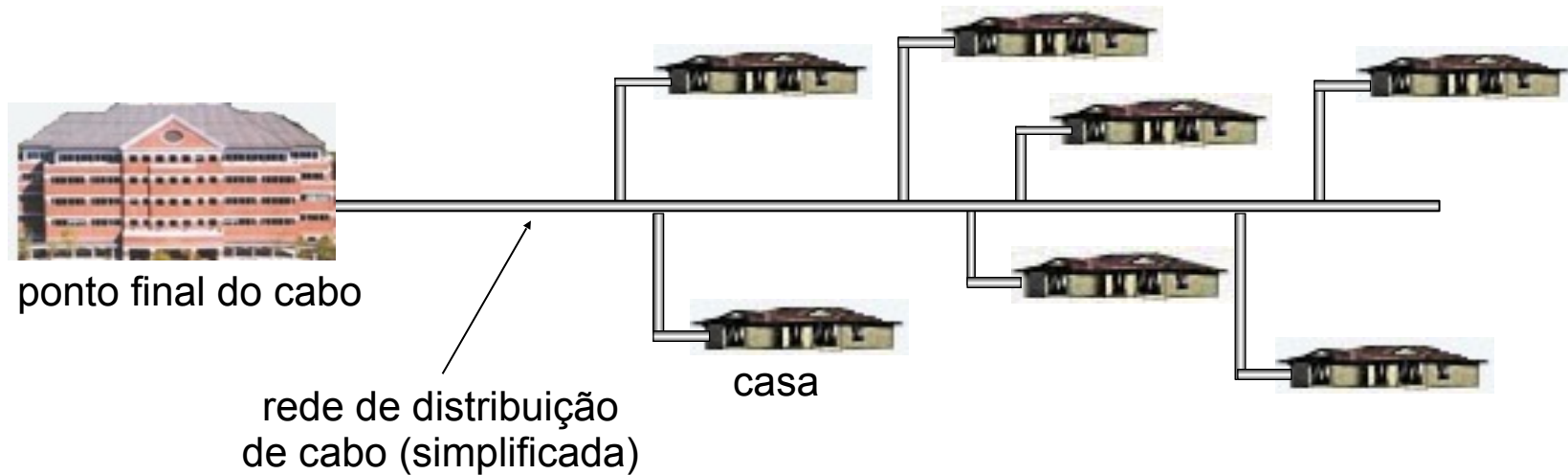
- Assimétrico: até 30 Mbps upstream, 2 Mbps downstream

**Rede** de cabo e fibra liga residências ao roteador do ISP

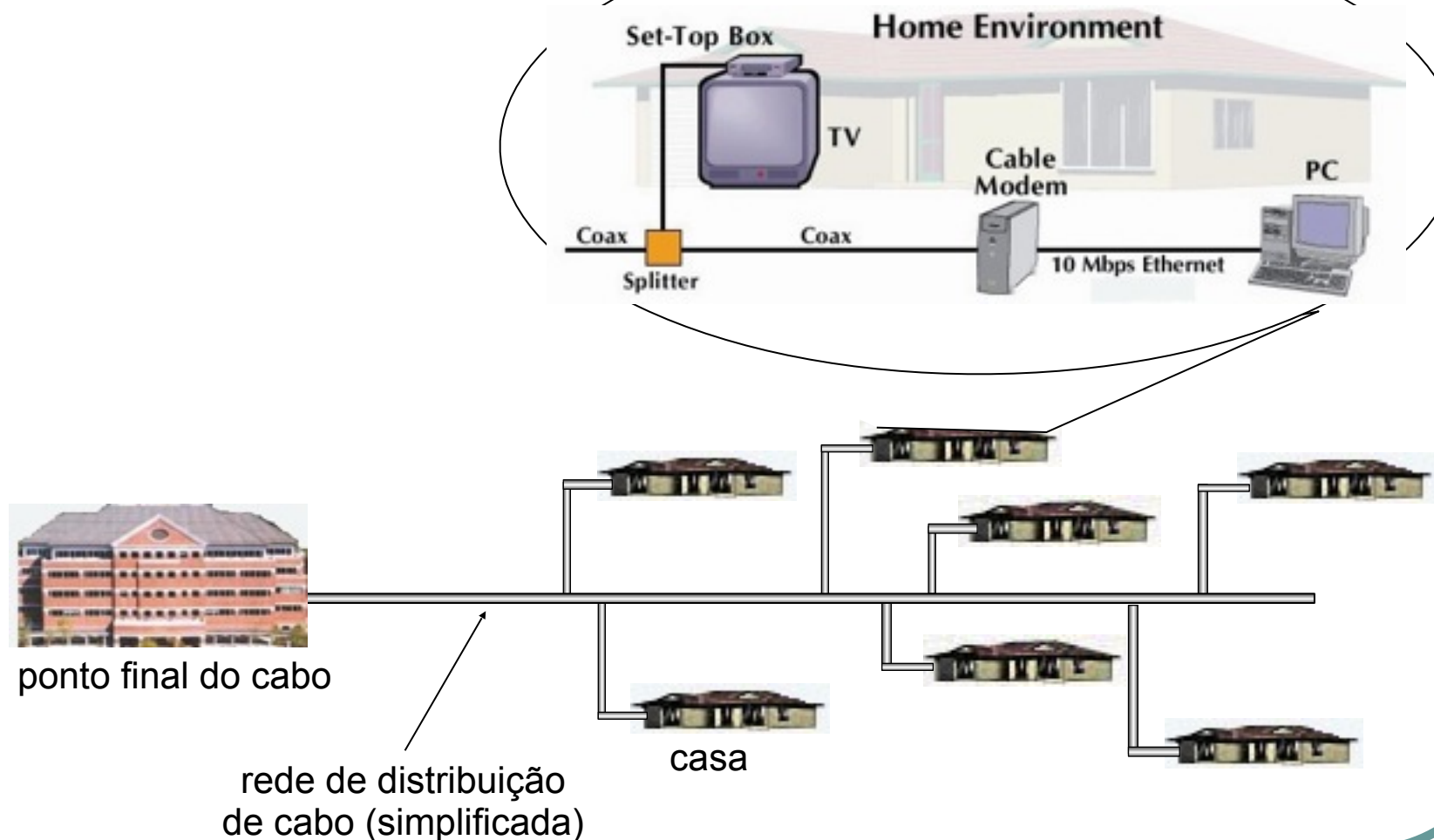
- Acesso compartilhado das casas de um condomínio ou de um bairro
- *Deployment*: disponível via companhias de TV a cabo

# Arquiteturas de redes a cabo: visão geral

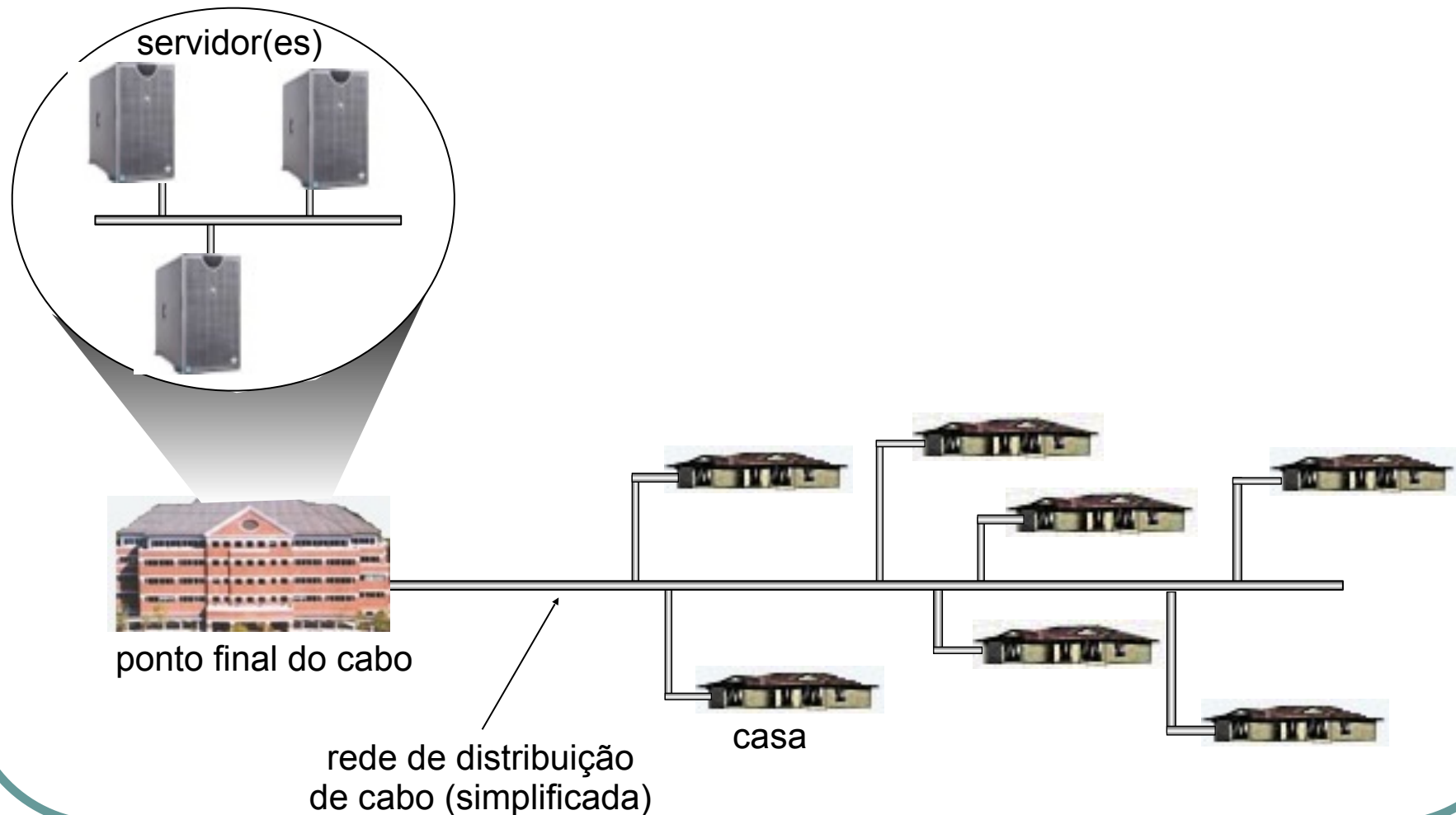
Tipicamente 500 a 5.000 casas



# Arquiteturas de redes a cabo: visão geral

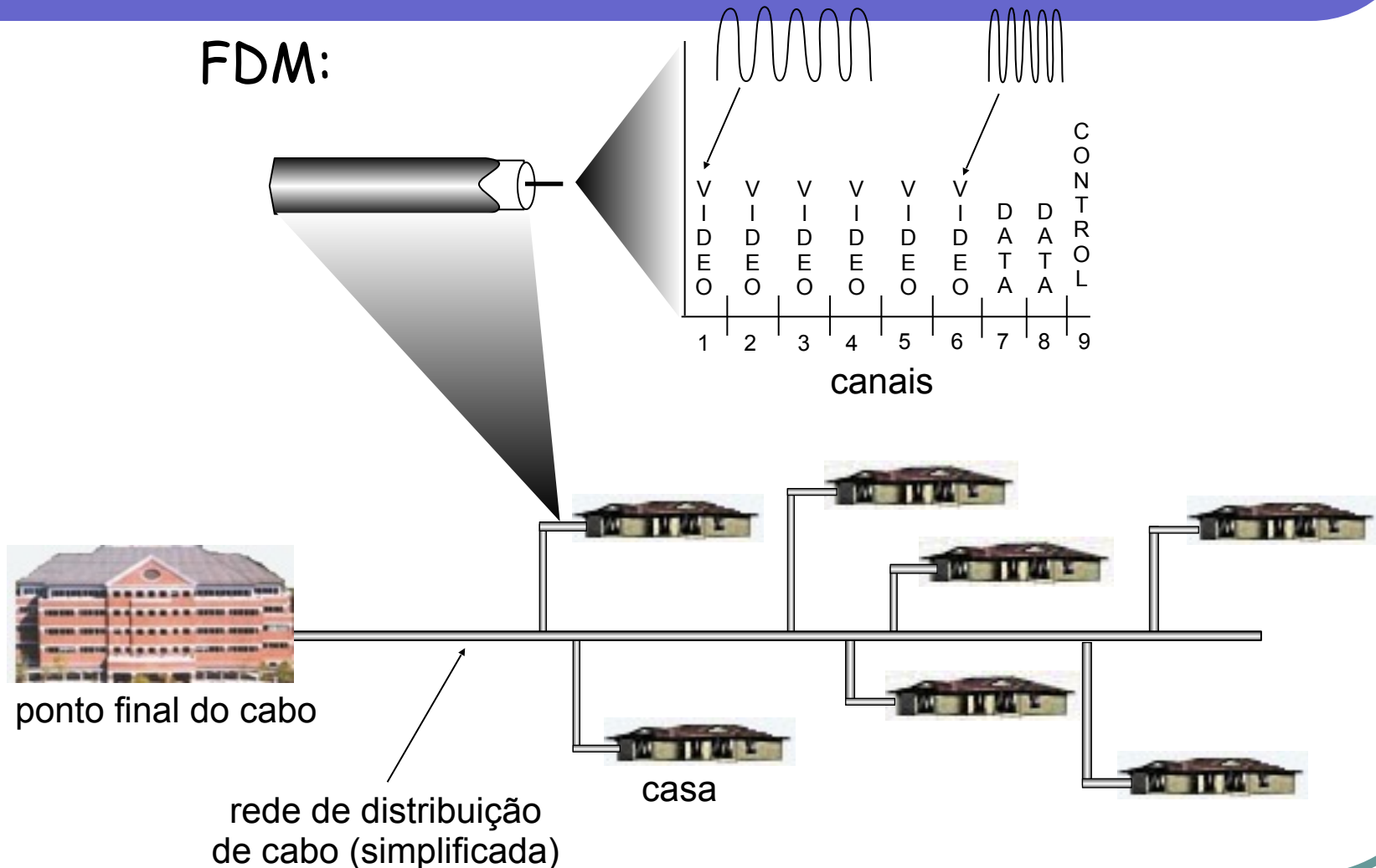


# Arquiteturas de redes a cabo: visão geral



# Arquiteturas de redes a cabo: visão geral

FDM:



# Acesso institucional: redes de área local

- A **rede local** (LAN) da companhia/univ conecta sistemas finais ao roteador de acesso
- **Ethernet:**
  - Cabo compartilhado ou dedicado conecta sistemas finais e o roteador
  - 10 Mbs, 100 Mbps, Gigabit Ethernet

LANs: estudaremos mais adiante

# Redes de acesso sem fio

- Rede de acesso sem fio compartilhada conecta sistemas finais ao roteador
  - Através de “ponto de acesso” da estação base
- **LANs sem fio:**
  - 802.11b (WiFi)
- **Wide-area de acesso sem fio**
  - Provido pelo operador telefônico
  - 3G
  - WAP/GPRS
  - 4G/LTE

# Redes residenciais

## Componentes típicos de uma rede residencial:

- ADSL ou *cable modem*
- Roteador/firewall
- Ethernet
- Ponto de acesso sem fio



# Meios físicos

- **Bit:** propaga-se entre os pares transmissor/ receptor
- **Enlace físico:** meio que fica entre o transmissor e o receptor
- **Meios guiados:**
  - Os sinais se propagam em meios sólidos com caminho fixo
  - cobre, fibra ótica
- **Meios não guiados:**
  - Propagação livre, ex.: rádio

## Twisted Pair (TP)

- Par de fios trançados de cobre isolados
  - Categoria 3: taxas de transmissão até 10 Mbps
  - Categoria 5: 100 Mbps Ethernet



# Meio físico: coaxial, fibra

## Cabo coaxial:

- Dois condutores de cobre concêntricos
- Bidirecional
- Banda base:
  - Um único sinal presente no cabo
  - Legado da Ethernet
- Banda larga:
  - Canal múltiplo no cabo



## Cabo de fibra óptica:

- Fibra de vidro transportando pulsos de luz, cada pulso é um bit;
- Alta velocidade de operação, com transmissão ponto-a-ponto;
- Baixa taxa de erros;
- Repetidores bem espaçados;
- Imunidade a ruídos eletromagnéticos



# Meio físico: rádio

- Sinal transportado como campo eletromagnético
- Não há fios físicos
- Omnidirecional
- O ambiente afeta a propagação:
  - Reflexão
  - Obstrução por objetos
  - Interferência
  - Diminuição da potência do sinal

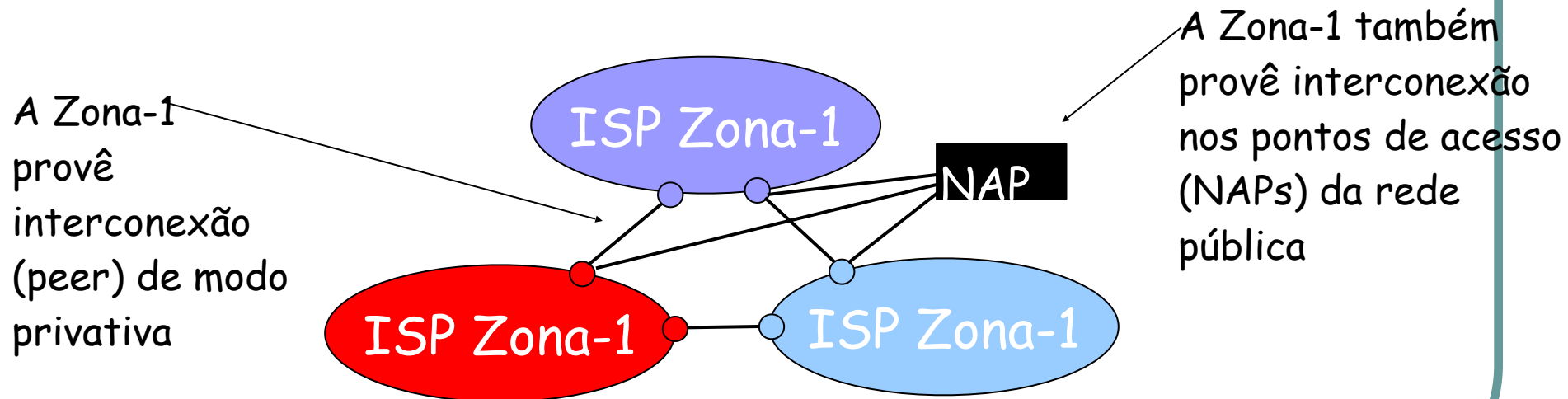
# Meio físico: rádio

## Tipos de canais de rádio:

- **Microondas terrestre**
  - Canais de até 45 Mbps
- **LAN** (ex.: WiFi)
  - 2 Mbps, 11 Mbps, 54 Mbps
- **Wide-area** (ex.: celular)
  - Ex., 3G: centenas de kbps
- **Satélite**
  - Canal de até 50 Mbps (ou vários canais menores)
  - 270 ms de atraso fim-a-fim
  - Geossíncrono *versus* LEOS

# Estrutura da Internet: rede de redes

- Grosseiramente hierárquica
- **No centro: ISPs de “zona-1”** (ex.: UUNet, BBN/Genuity, Sprint, AT&T), cobertura nacional/internacional
  - Os outros são igualmente tratados



# Redes de computadores e a Internet

**1.1 O que é Internet?**

**1.2 Núcleo da rede**

**1.3 Borda da rede**

**1.4 Protocolos de comunicação em redes**

**1.5 Acesso à rede e meio físico**

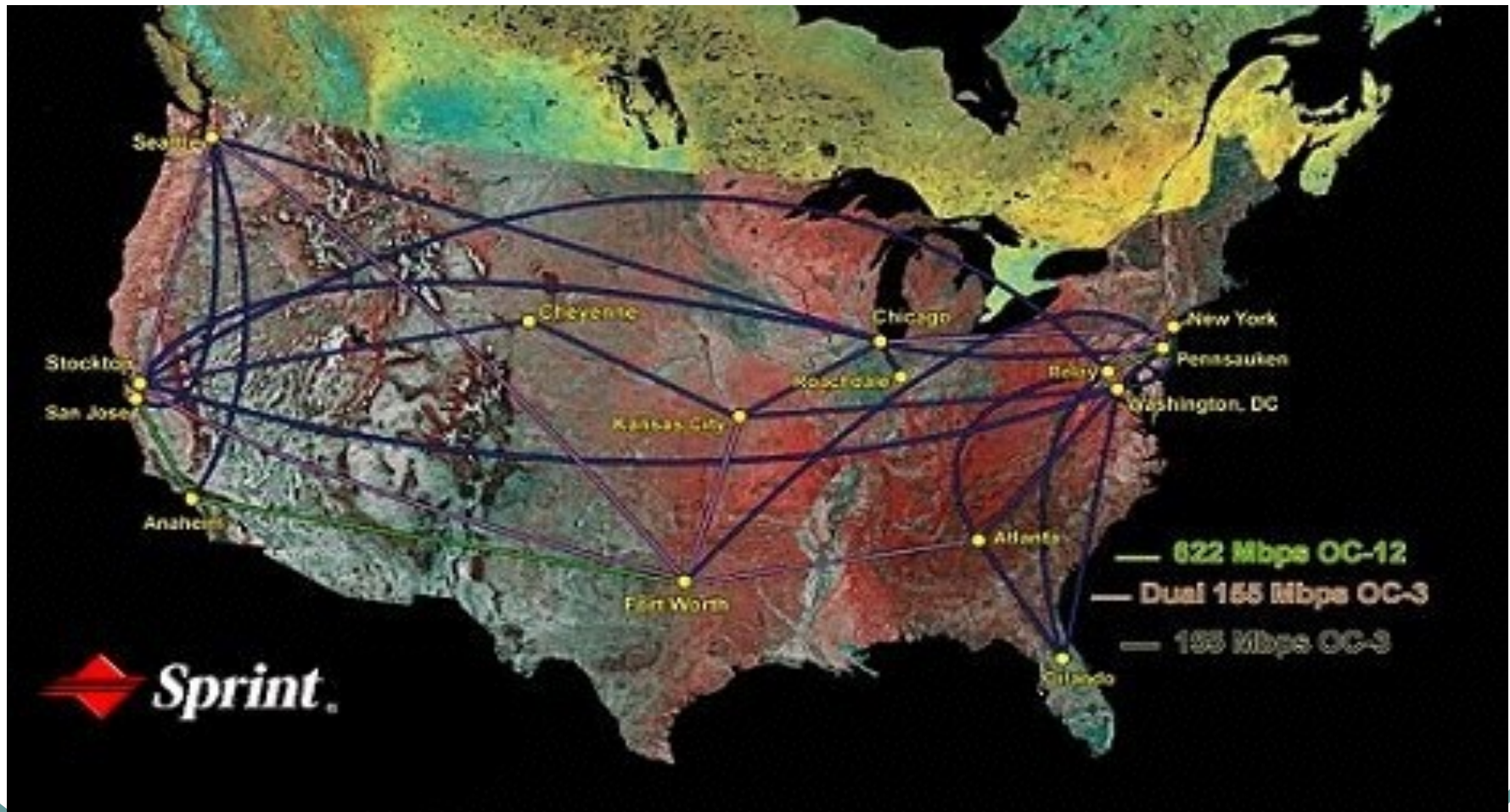
**1.6 Estrutura da Internet e ISPs**

**1.7 Atraso e perda em redes de comutação de pacotes**

**1.8 Camadas de protocolo, modelos de serviço**

**1.9 História**

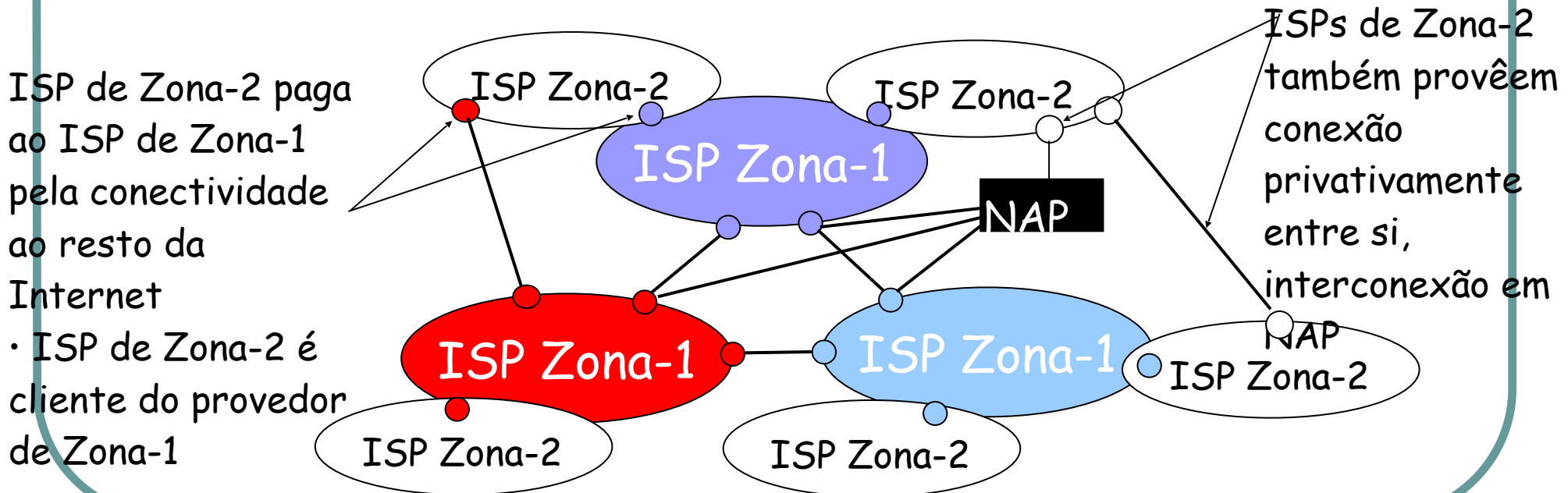
# ISP de Zona-1 – ex.: Sprint



Rede de backbone da Sprint US

# Estrutura da Internet: rede de redes

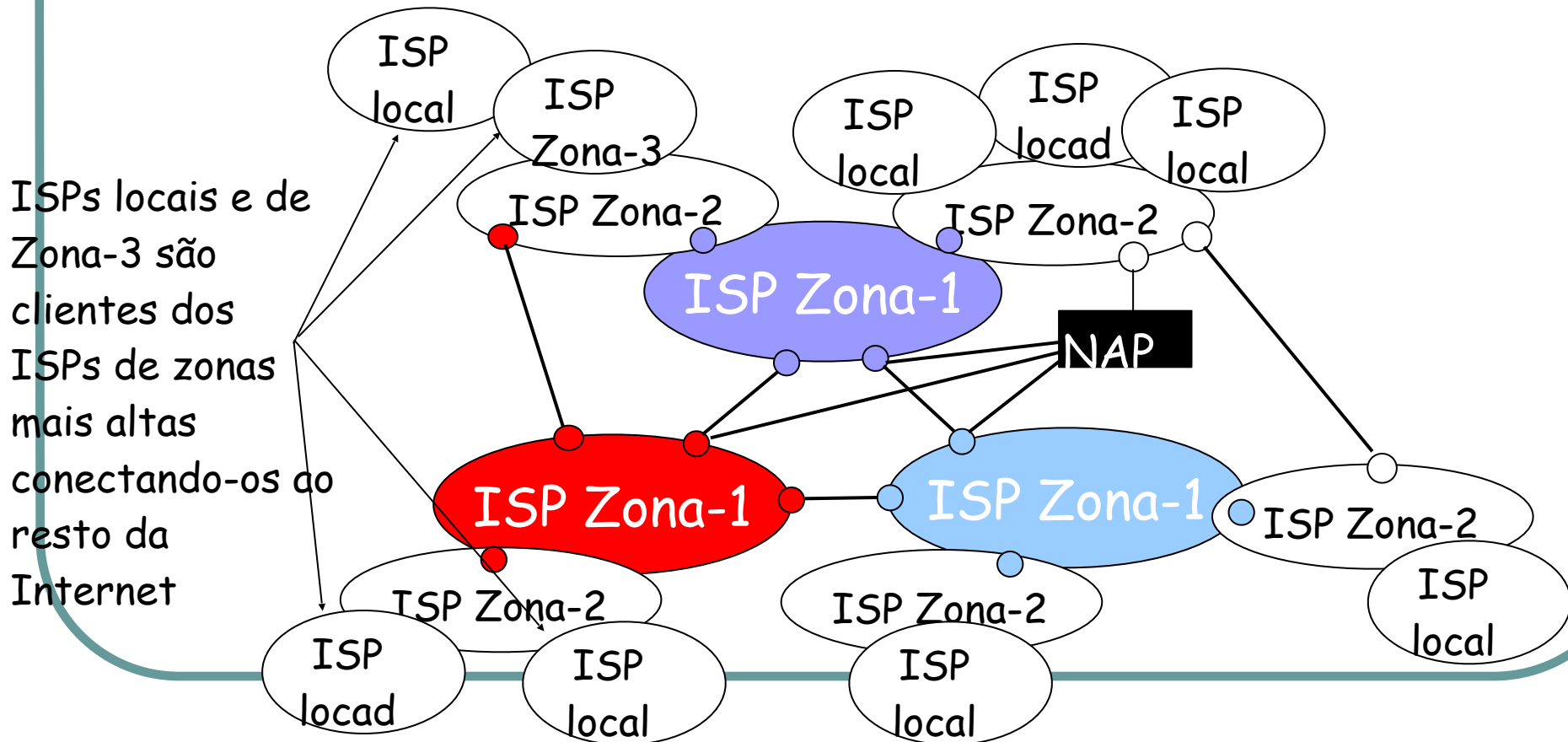
- ISPs de "Zona-2": ISPs menores (frequentemente regionais)
- Conectam-se a um ou mais ISPs de Zona-1, possivelmente a outros ISPs de Zona-2





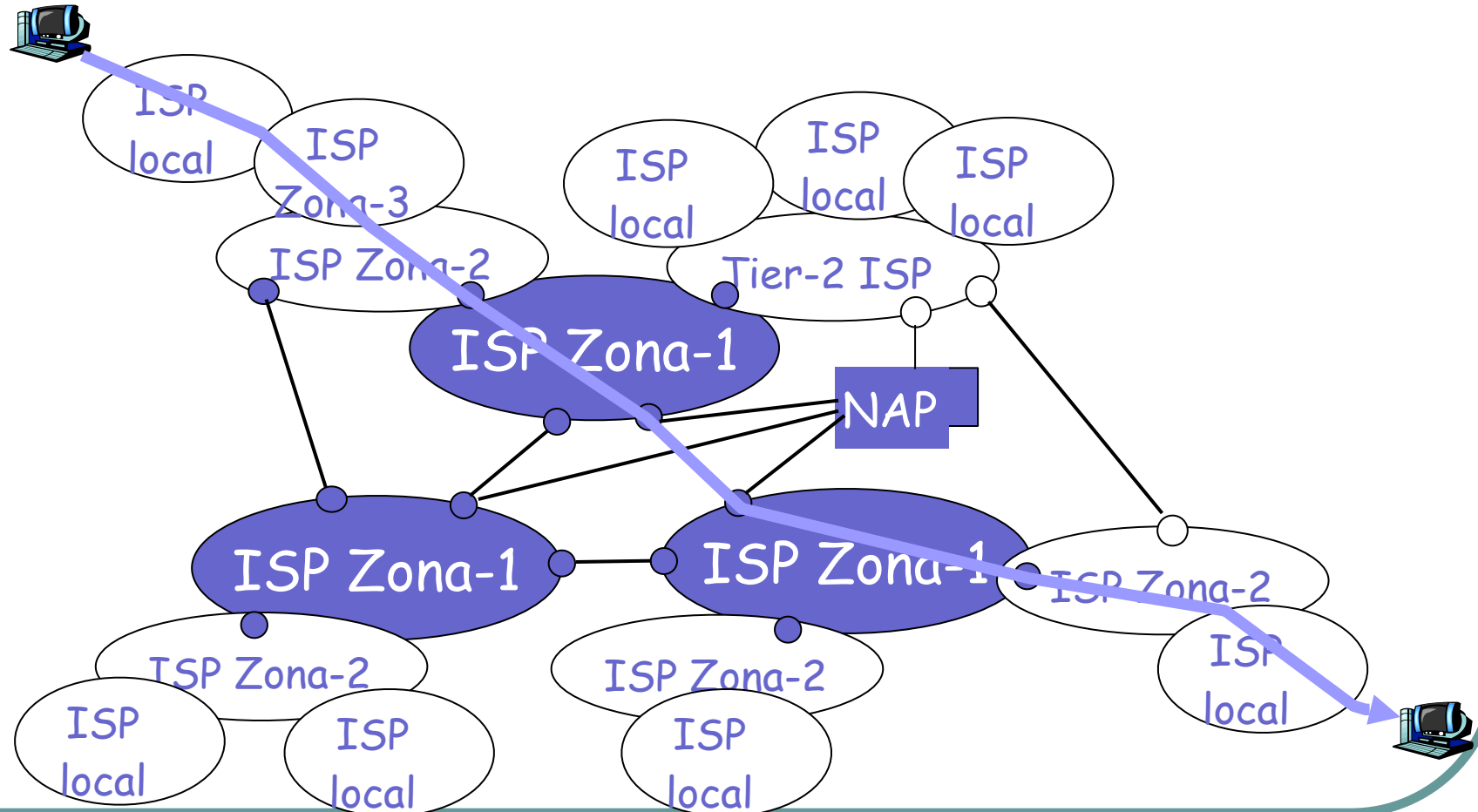
# Estrutura da Internet: rede de redes

- ISPs de “Zona-3” e ISPs locais
- Última rede de acesso (“hop”) (mais próxima dos sistemas finais)



# Estrutura da Internet: rede de redes

- Um pacote passa através de muitas redes



# Redes de computadores e a Internet

1.1 O que é Internet?

1.2 Núcleo da rede

1.3 Borda da rede

1.4 Protocolos de comunicação em redes

1.5 Acesso à rede e meio físico

1.6 Estrutura da Internet e ISPs

**1.7 Atraso e perda em redes de comutação de pacotes**

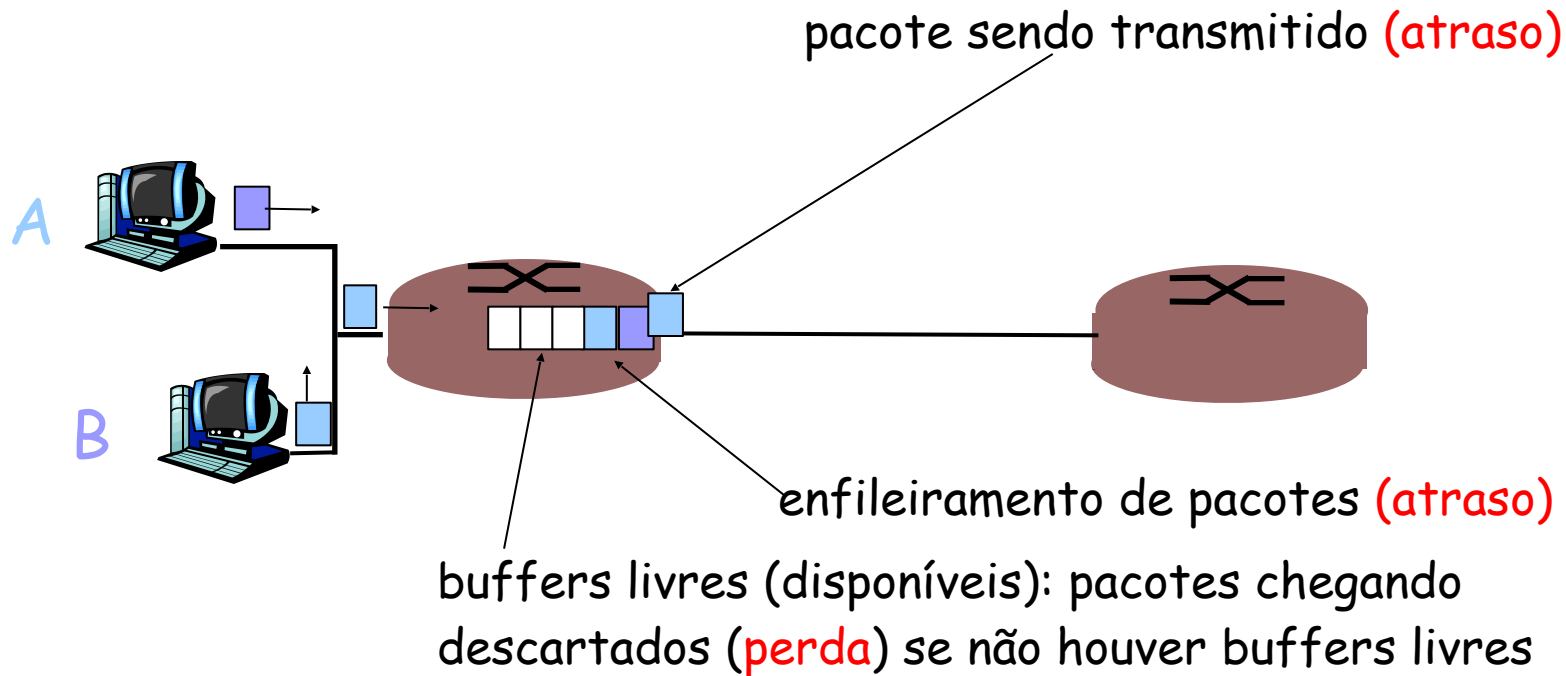
1.8 Camadas de protocolo, modelos de serviço

1.9 História

# Como perdas e atrasos ocorrem?

## Filas de pacotes em buffers de roteadores

- Taxa de chegada de pacotes ao link ultrapassa a capacidade do link de saída
- Fila de pacotes esperam por sua vez



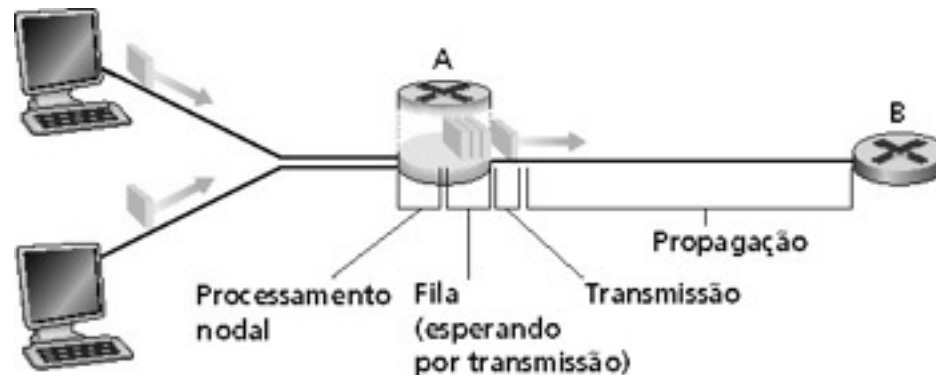
# Quatro fontes de atraso de pacotes

## 1. Processamento nos nós:

- Verifica erros de bit
- Determina link de saída

## 2. Enfileiramento

- Tempo de espera no link de saída para transmissão
- Depende do nível de congestionamento do roteador



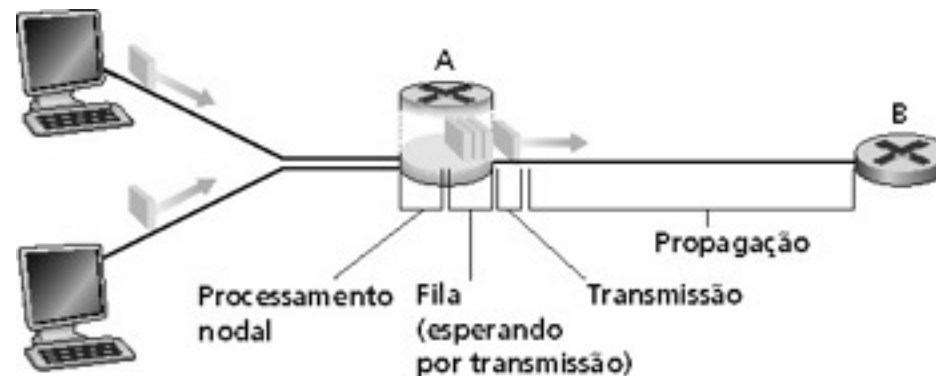
# Atraso em redes de comutação de pacotes

## 3. Atraso de transmissão:

- $R$  = largura de banda do link (bps)
- $L$  = tamanho do pacote (bits)
- Tempo para enviar bits ao link =  $L/R$

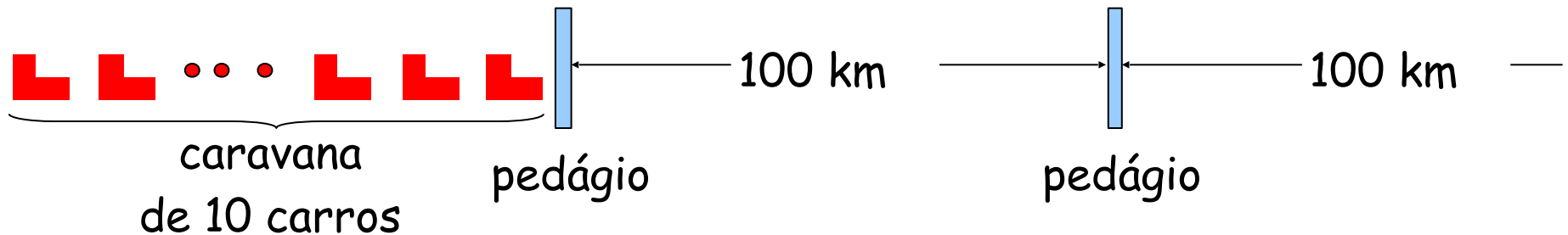
## 4. Atraso de propagação:

- $d$  = comprimento do link físico
- $s$  = velocidade de propagação no meio ( $\sim 2 \times 10^8$  m/s)
- Atraso de propagação =  $d/s$



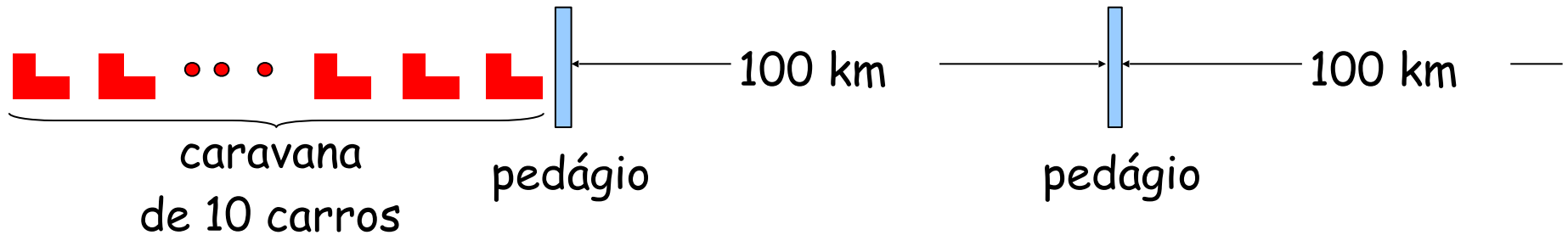
**Nota:** “s” e “R” são medidas muito diferentes!

# Analogia da caravana



- Carros se “propagam” a 100 km/h
- Pedágios levam 12 s para atender um carro (tempo de transmissão)
- Carro = bit; caravana = pacote
- P.: Quanto tempo levará até a caravana ser alinhada antes do 2º pedágio?
- Tempo para “empurrar” a caravana toda pelo pedágio até a estrada =  $12 \cdot 10 = 120$  s
- Tempo para o último carro se propagar do 1º ao 2º pedágio:  $100 \text{ km} / (100 \text{ km/h}) = 1 \text{ h}$
- R.: 62 minutos

# Analogia de caravana



- Agora os carros se “propagam” a 1000 km/h
- Agora o pedágio leva 1 min para atender um carro
- **P.:** Os carros chegarão ao 2º pedágio antes que todos os carros tenham sido atendidos no 1º pedágio?
- **R.:** **Sim!** Após 7 min, o 1º carro está no 2º pedágio e ainda restam 3 carros no 1º pedágio.
- **1º bit do pacote pode chegar ao 2º roteador antes que o pacote seja totalmente transmitido pelo 1º roteador!**



# Atraso nodal

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

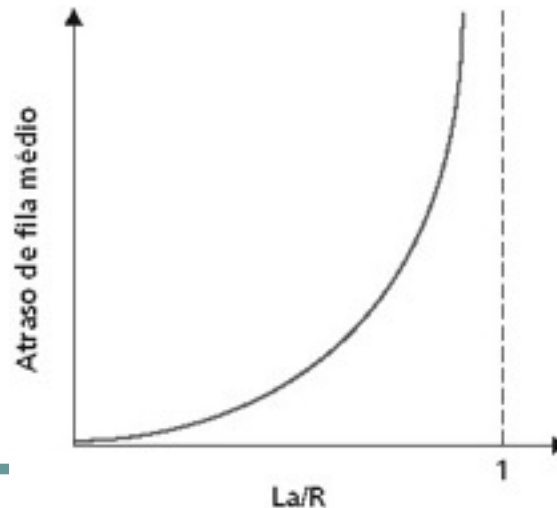
- $d_{\text{proc}}$  = atraso de processamento
  - Tipicamente uns poucos microssegundos ou menos
- $d_{\text{fila}}$  = atraso de fila
  - Depende do congestionamento
- $d_{\text{trans}}$  = atraso de transmissão
  - =  $L/R$ , significativa para links de baixa velocidade
- $d_{\text{prop}}$  = atraso de propagação
  - Uns poucos microssegundos a centenas de milissegundos

# Atraso de filas

- $R$  = largura de banda do link (bps)
- $L$  = tamanho do pacote (bits)
- $A$  = taxa média de chegada de pacotes

**Intensidade de tráfego =  $\lambda L/R$**

- $\lambda L/R \sim 0$ : atraso médio de fila pequeno
- $\lambda L/R \rightarrow 1$ : atraso se torna grande
- $\lambda L/R > 1$ : mais trabalho chega do que a capacidade de transmissão. O atraso médio cresce indefinidamente!

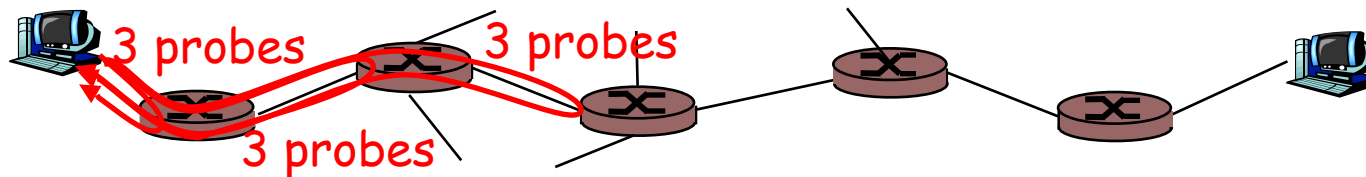


# Atrasos e rotas da Internet “real”

- Como são os atrasos e perdas na Internet “real”?

**Programa Traceroute:** fornece medidas do atraso da fonte para o roteador ao longo de caminhos fim-a-fim da Internet até o 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.



# Atrasos e rotas da Internet “real”

Traceroute: gaia.cs.umass.edu to 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)

# Perda de pacotes

- A fila no *buffer* que precede o enlace possui capacidade finita
- Quando um pacote chega a uma fila cheia, ele é descartado (isto é, perdido)
- O pacote perdido pode ser retransmitido pelo nó anterior, pelo sistema final do emissor, ou não ser retransmitido

# Redes de computadores e a Internet

- 1.1 O que é Internet?
- 1.2 Núcleo da rede
- 1.3 Borda da rede
- 1.4 Protocolos de comunicação em redes
- 1.5 Acesso à rede e meio físico
- 1.6 Estrutura da Internet e ISPs
- 1.7 Atraso e perda em redes de comutação de pacotes
- 1.8 Camadas de protocolo, modelos de serviço**
- 1.9 História

# Camadas de protocolos

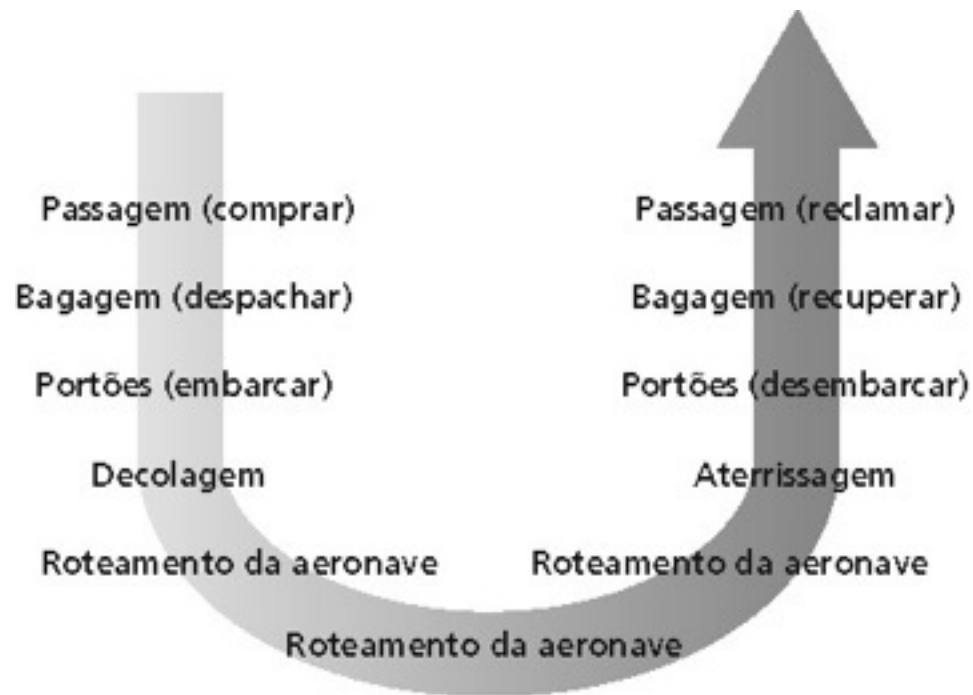
## Redes são complexas

- Muitos componentes:
  - Hospedeiros
  - Roteadores
  - Enlaces de vários tipos
  - Aplicações
  - Protocolos
  - *Hardware, software*

## QUESTÃO:

Há alguma esperança de **organizar** a arquitetura de uma rede?  
Ou pelo menos nossa discussão sobre redes?

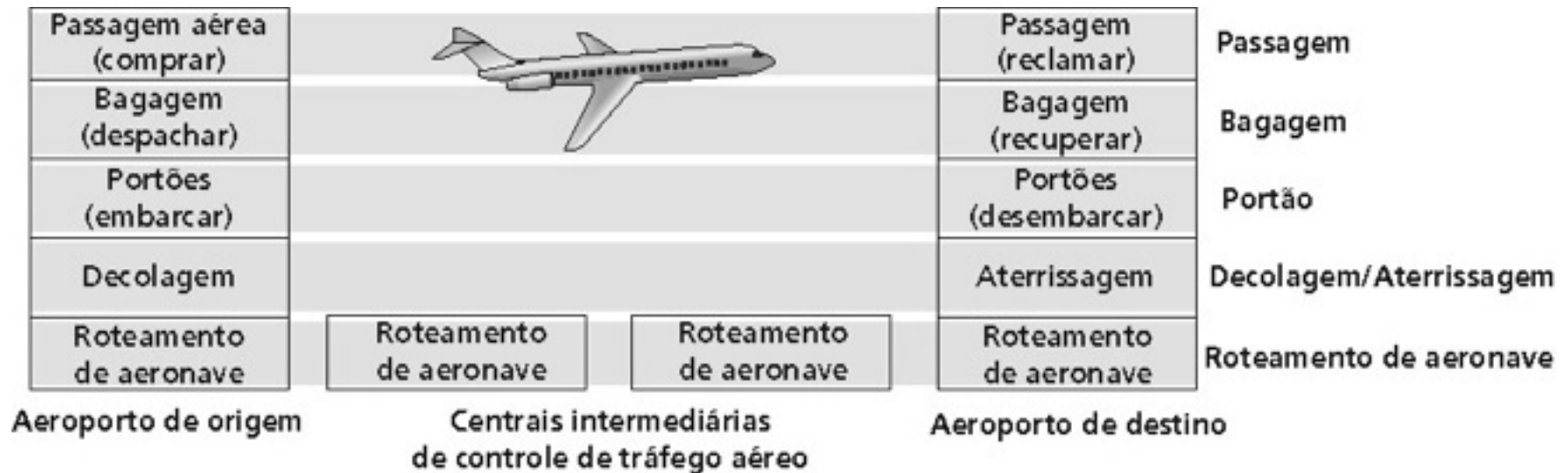
# Organização de uma viagem aérea



- Uma série de passos



# Camadas de funcionalidades da companhia aérea



**Camadas:** cada camada implementa um serviço

- Via suas próprias ações internas
- Confiando em serviços fornecidos pela camada inferior

# Por que as camadas?

Convivendo com sistemas complexos:

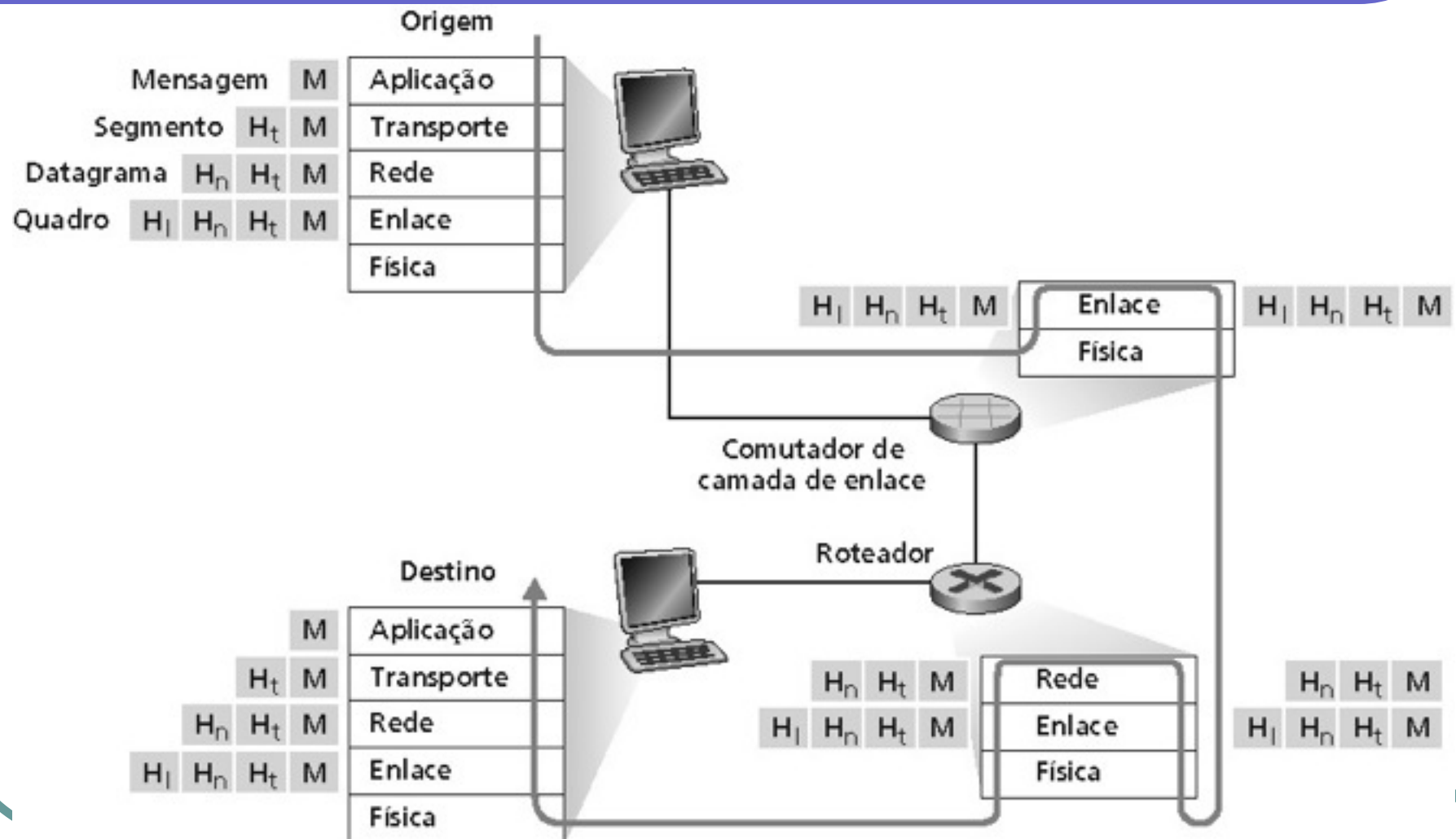
- A estrutura explícita permite identificação, o relacionamento das partes de um sistema complexo
  - Um **modelo de referência** em camadas permite a discussão da arquitetura
- Modularização facilita a manutenção, atualização do sistema
  - As mudanças na implementação de uma camada são transparentes para o resto do sistema
  - Ex.: novas regras para embarque de passageiros não afetam os procedimentos de decolagem

# Pilha de protocolos da Internet

- **Aplicação:** suporta as aplicações de rede  
FTP, SMTP, HTTP
- **Transporte:** transferência de dados hospedeiro-hospedeiro (fim-a-fim)
  - 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:** transmissão física dos *bits* nos canais

Aplicação
Transporte
Rede
Enlace
Física

# Encapsulamento



# Redes de computadores e a Internet

- 1.1 O que é Internet?**
- 1.2 Núcleo da rede**
- 1.3 Borda da rede**
- 1.4 Protocolos de comunicação em redes**
- 1.5 Acesso à rede e meio físico**
- 1.6 Estrutura da Internet e ISPs**
- 1.7 Atraso e perda em redes de comutação de pacotes**
- 1.8 Camadas de protocolo, modelos de serviço**
- 1.9 História**

# História da Internet

## 1961-1972: primeiros princípios da comutação de pacotes

- **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 hospedeiro-hospedeiro
  - Primeiro programa de e-mail
  - ARPAnet cresce para 15 nós

# História da Internet

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

- **1970:** ALOHAnet rede via satélite no Havaí
- **1973:** tese de PhD de Metcalfe propõe a rede *Ethernet*
- **1974:** Cerf e Kahn - arquitetura para interconexão de redes
- **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

## Princípios de interconexão de redes de Cerf e Kahn:

- Minimalismo, autonomia - não se exigem mudanças internas para interconexão de redes
- Modelo de serviço: melhor esforço (*best effort*)
- Roteadores “*stateless*”
- Controle descentralizado

Define a arquitetura da Internet de hoje

# História da Internet

## 1990-2000: comercialização, a Web, novas aplicações

- **Início dos anos 90:** ARPAnet descomissionada
- **1991:** NSF retira restrições sobre o uso comercial da NSFnet (descomissionada em 1995)
- **Início dos anos 90:** WWW
  - *Hypertext* [Bush 1945, Nelson 1960's]
  - HTML, HTTP: Berners-Lee
  - 1994: Mosaic, depois Netscape
  - Final dos anos 90: comercialização da Web

## Final dos anos 90-2000:

- Mais aplicações “killer”: instant messaging, P2P file sharing
- segurança de redes à dianteira
- Est. 50 milhões de hospedeiros, 100 milhões de usuários
- Enlaces de backbone operando a Gbps