

Introdução à Redes de computadores e a Internet

Prof Dr. Ernane Costa



Prof. Dr. Ernane Costa
LAFAC- FZEA - USP

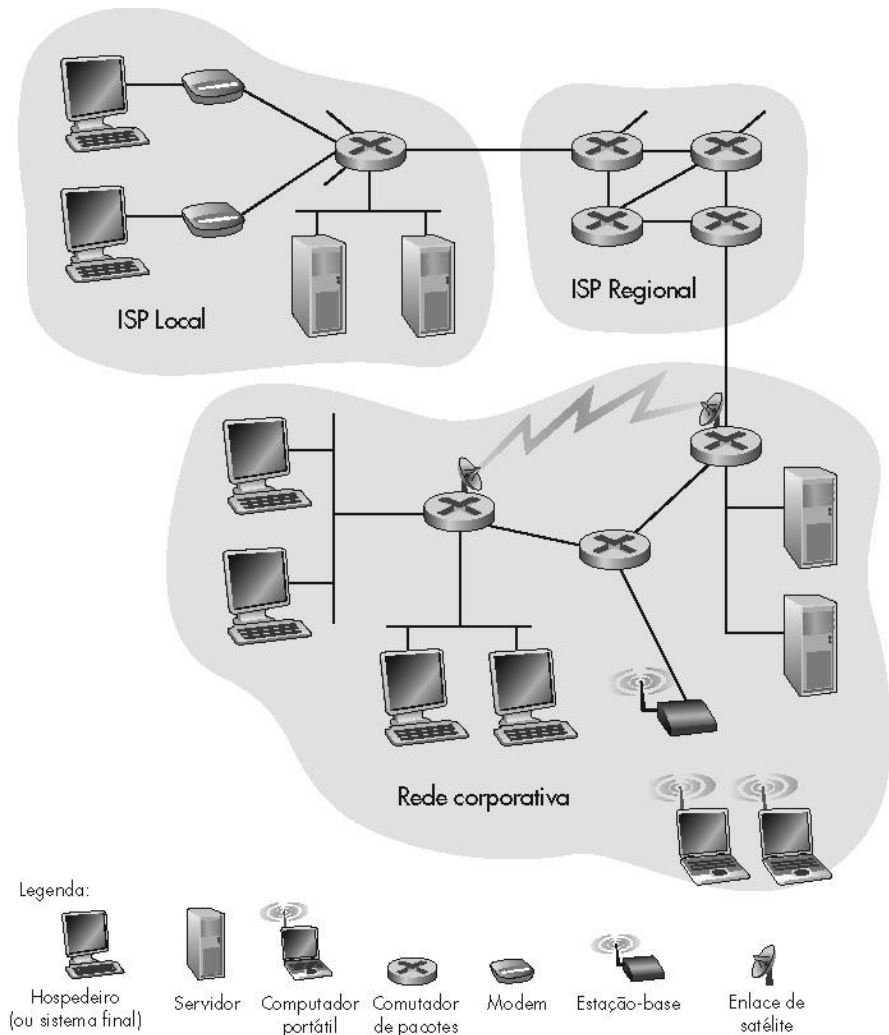


Redes de computadores e a Internet

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

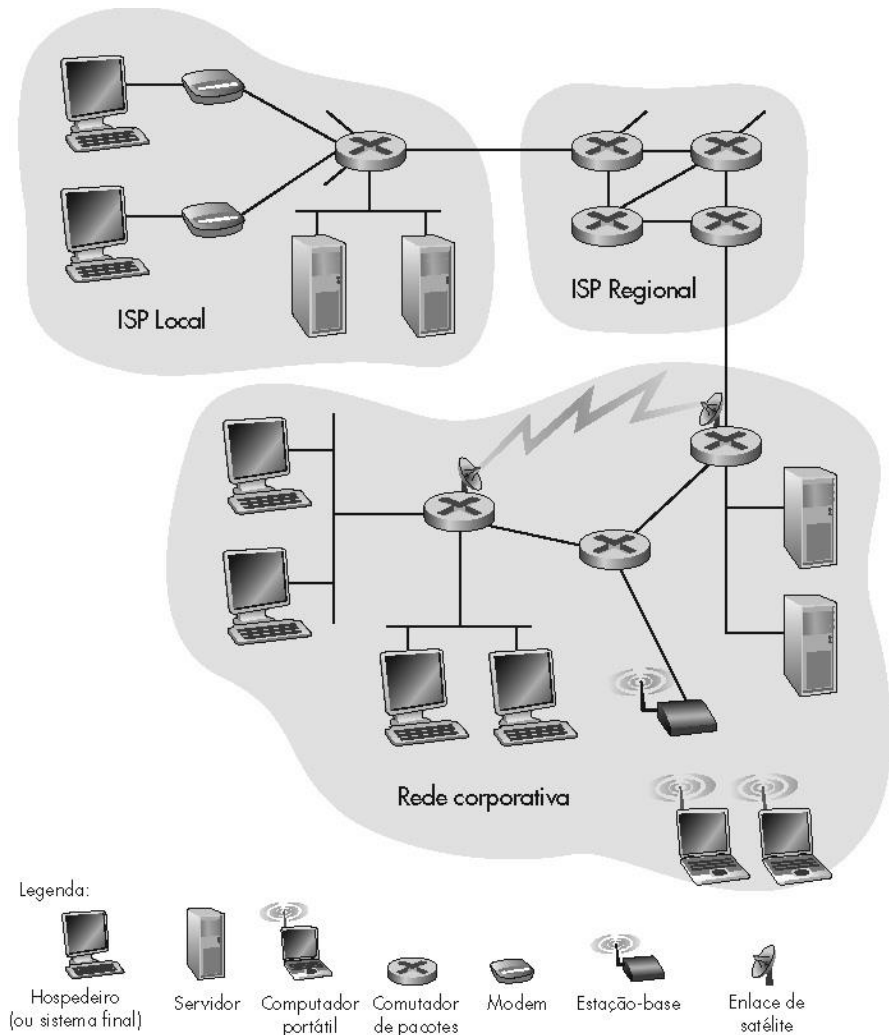
O que é a Internet?

- 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
- Roteadores: enviam pacotes
blocos de dados)



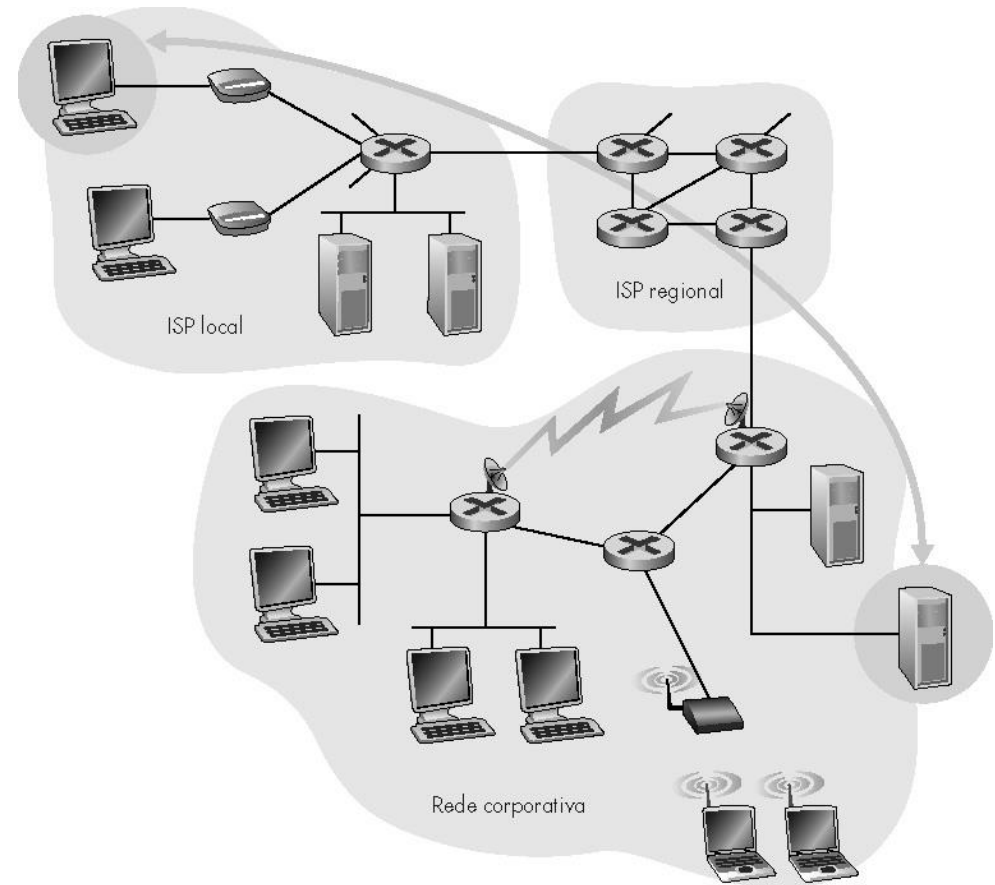
O que é a Internet?

- **Protocolos:** controlam o envio e a recepção de mensagens
ex.: TCP, IP, HTTP, FTP, PPP
- **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



O que é um protocolo?

Protocolos humanos:

- “Que horas são?”
- “Eu tenho uma pergunta.”
- Apresentações
- ... msgs específicas enviadas
- ... ações específicas tomadas quando msgs são recebidas ou outros eventos

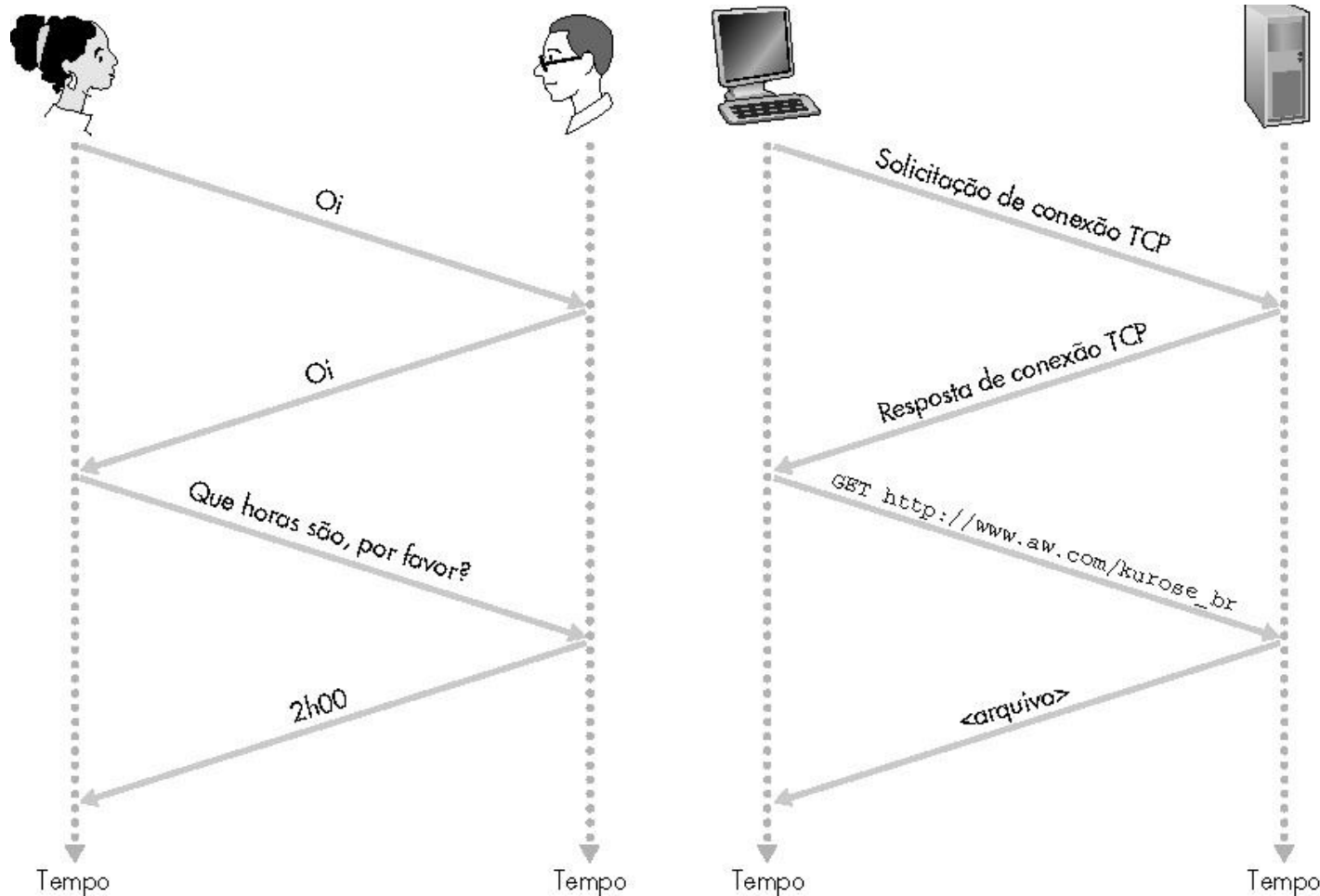
Protocolos de rede:

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

PROCOLOS DEFINEM OS FORMATOS, A ORDEM DAS MSGS 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:

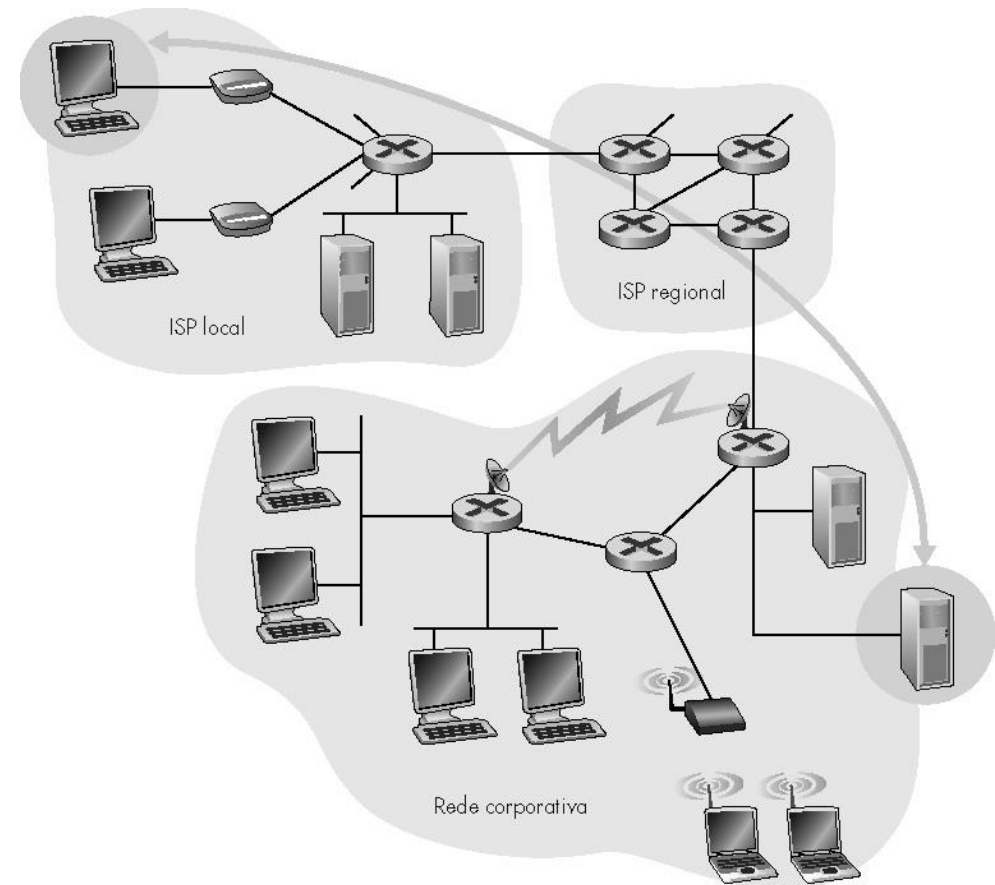


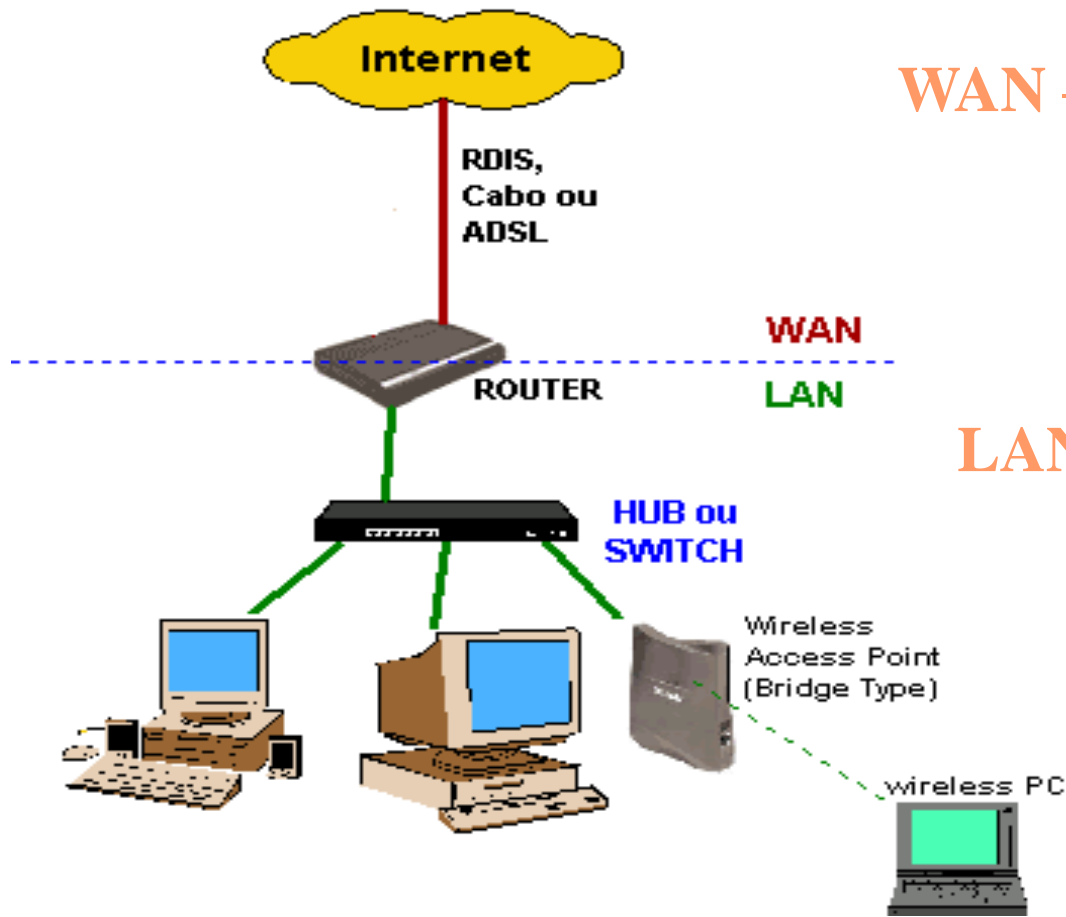
Redes de computadores e a Internet

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

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





WAN – Wide Area Network

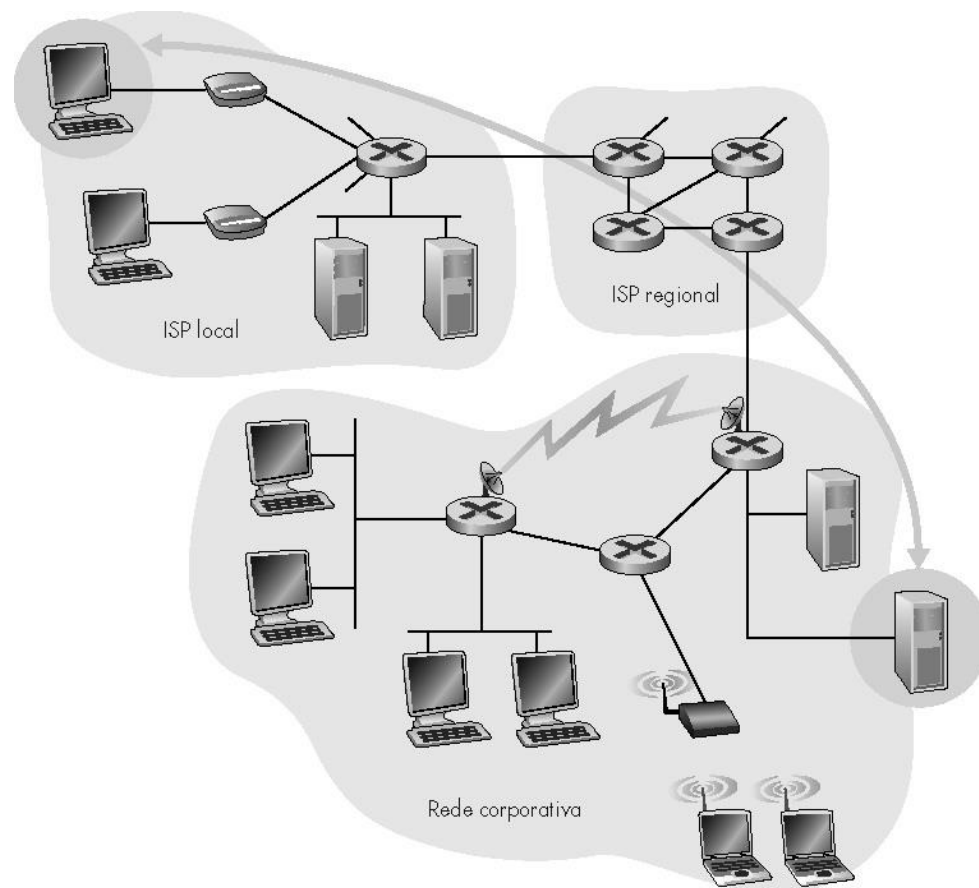
Rede Alargada

LAN – Local Area Network

Rede Local

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, KaZaA



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 seqüencial, orientada à cadeia de bytes**
 - Perdas: reconhecimentos e retransmissões
- **Controle de fluxo:**
 - Evita que o transmissor afogue o receptor
- **Controle de congestionamento:**
 - Transmissor reduz sua taxa quando a rede fica congestionada

App's usando TCP:

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

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

App's usando UDP:

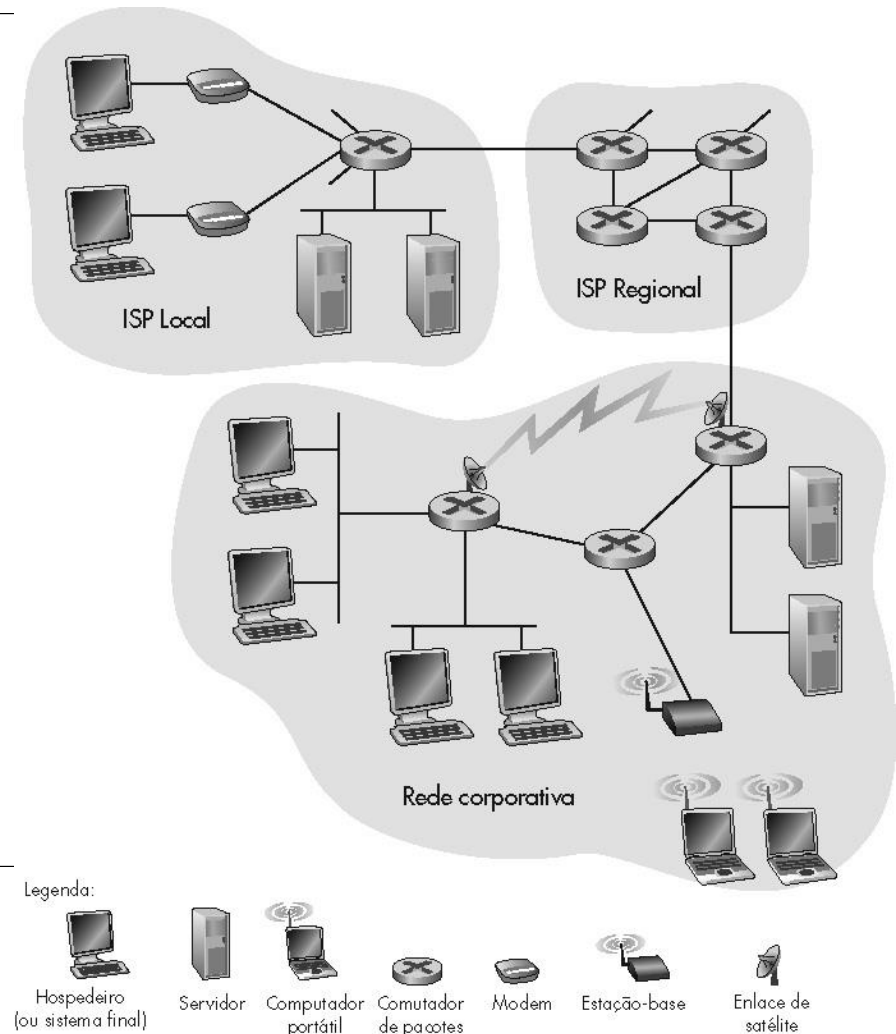
- Streaming media, teleconferência, DNS, telefonia IP

Redes de computadores e a Internet

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



Redes de comutação de pacotes: roteamento

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

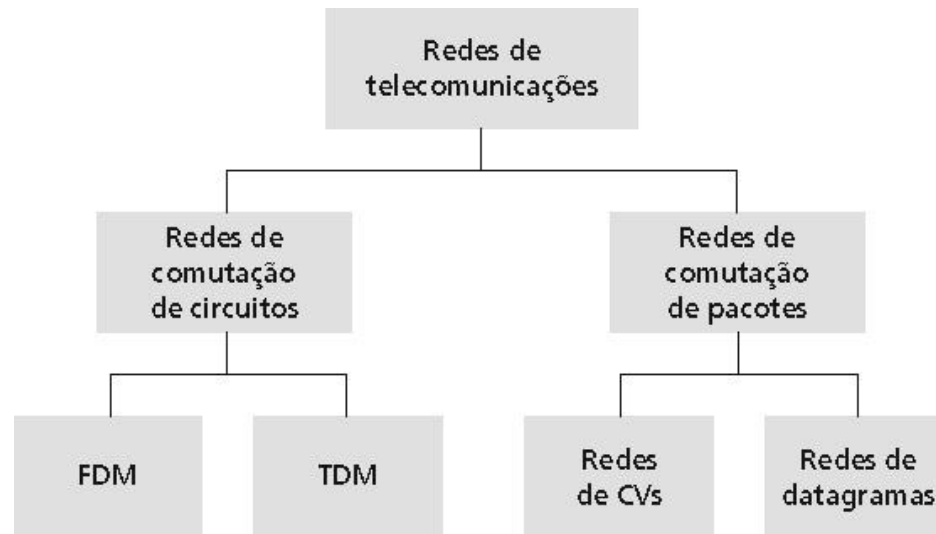
- **Redes datagrama:**

- *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 orientada à conexão
- A Internet provê serviços com orientação à conexão (TCP) e serviços sem orientação à conexão (UDP) para as apps.

Redes de computadores e a Internet

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

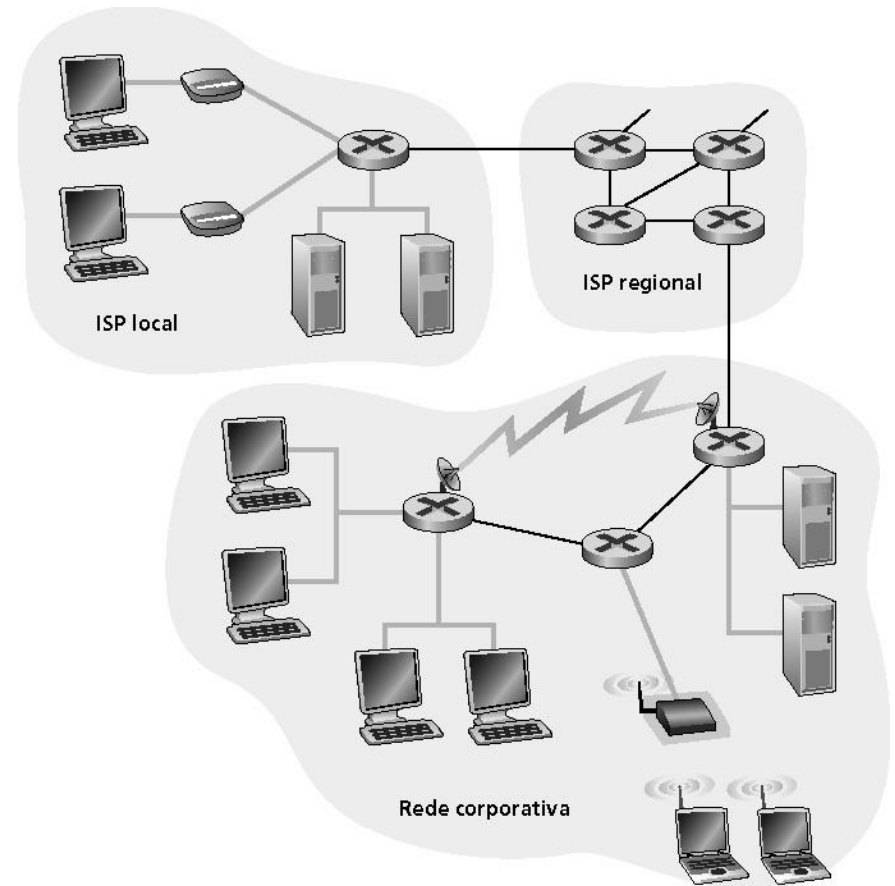
Redes de acesso e meios físicos

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?



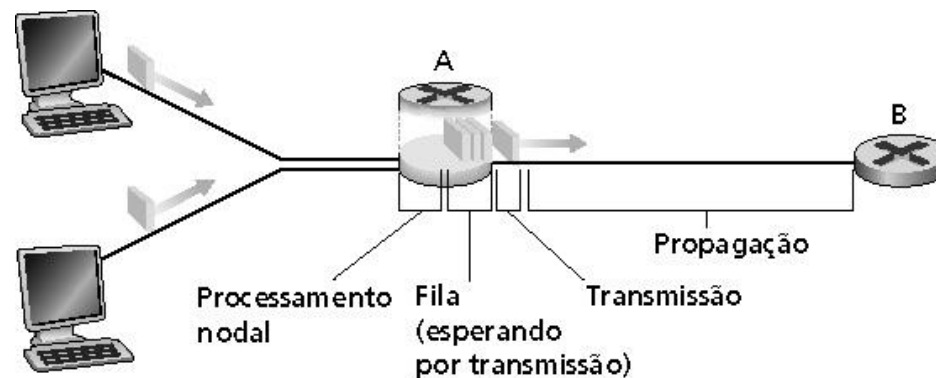
Acesso residencial: redes ponto-a-ponto

- **Modem discado**

- Até 56 kbps com acesso direto ao roteador (menos em tese)
- 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

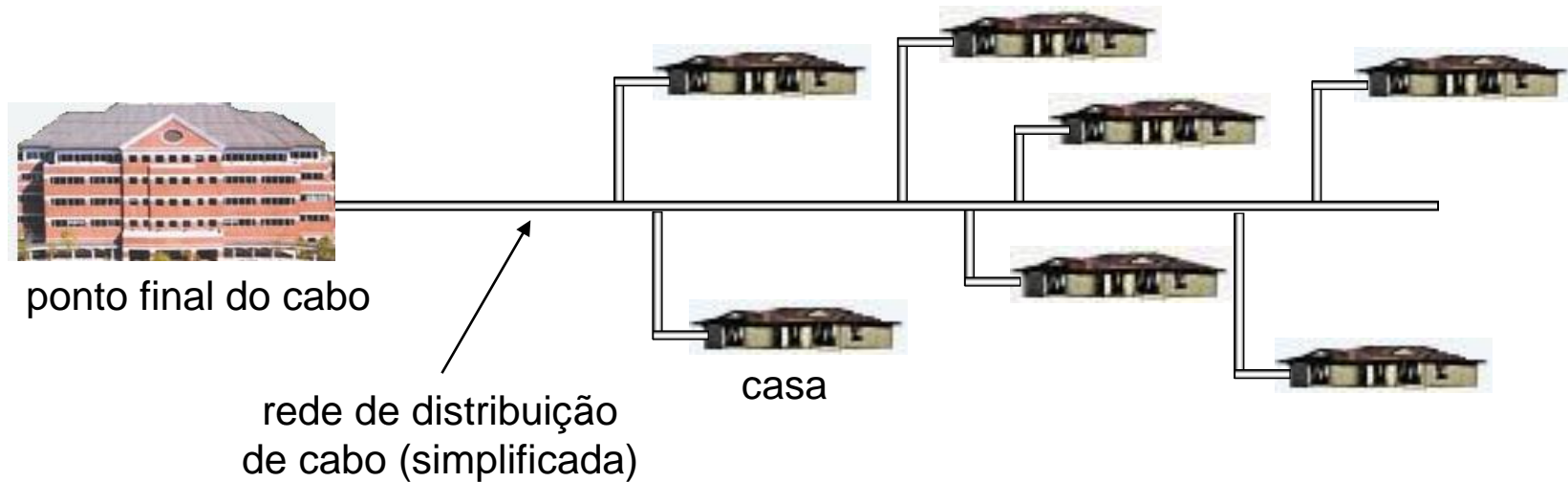


Acesso residencial: cable modems

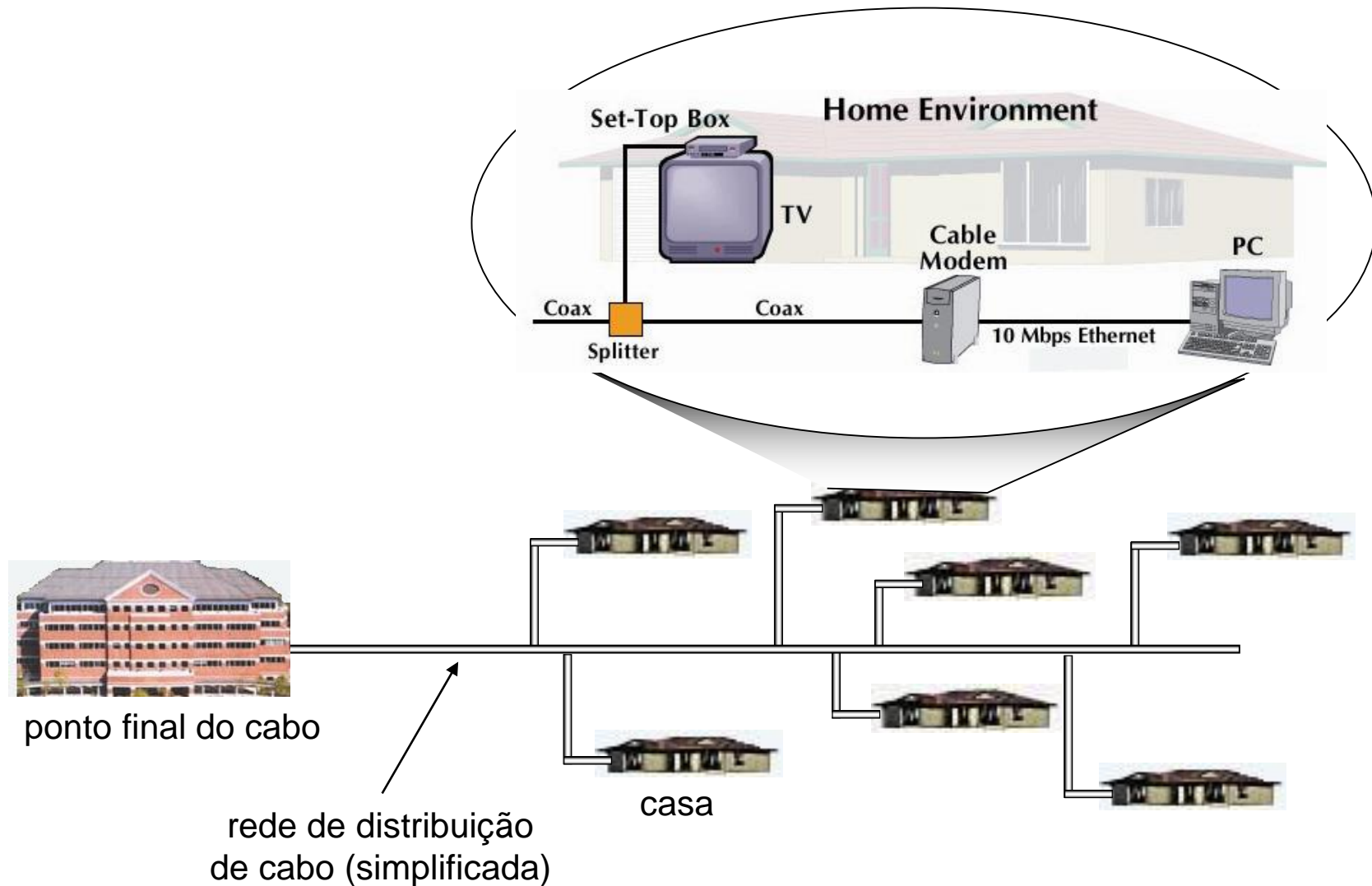
- **HFC: híbrido fibra e coaxial**
 - Assimétrico: até 30 Mbps upstream, 2 Mbps downstream
- **Rede** de cabo e fibra liga residências ao roteador do ISP
 - Acesso compartilhado das casas de um condomínio ou de um bairro
- Deployment: disponível via companhias de TV a cabo

Arquiteturas de redes a cabo: visão geral

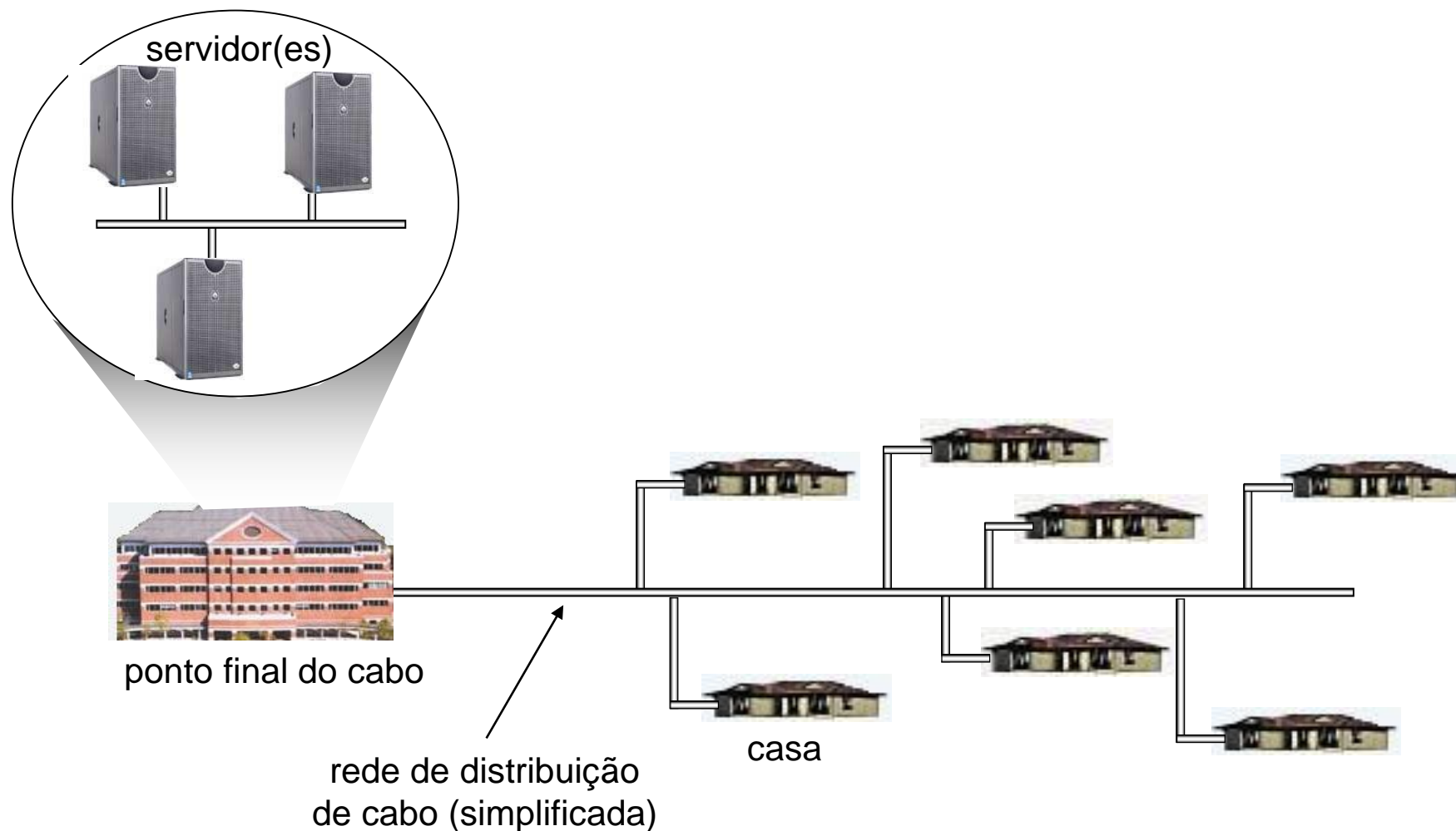
Tipicamente 500 a 5.000 casas



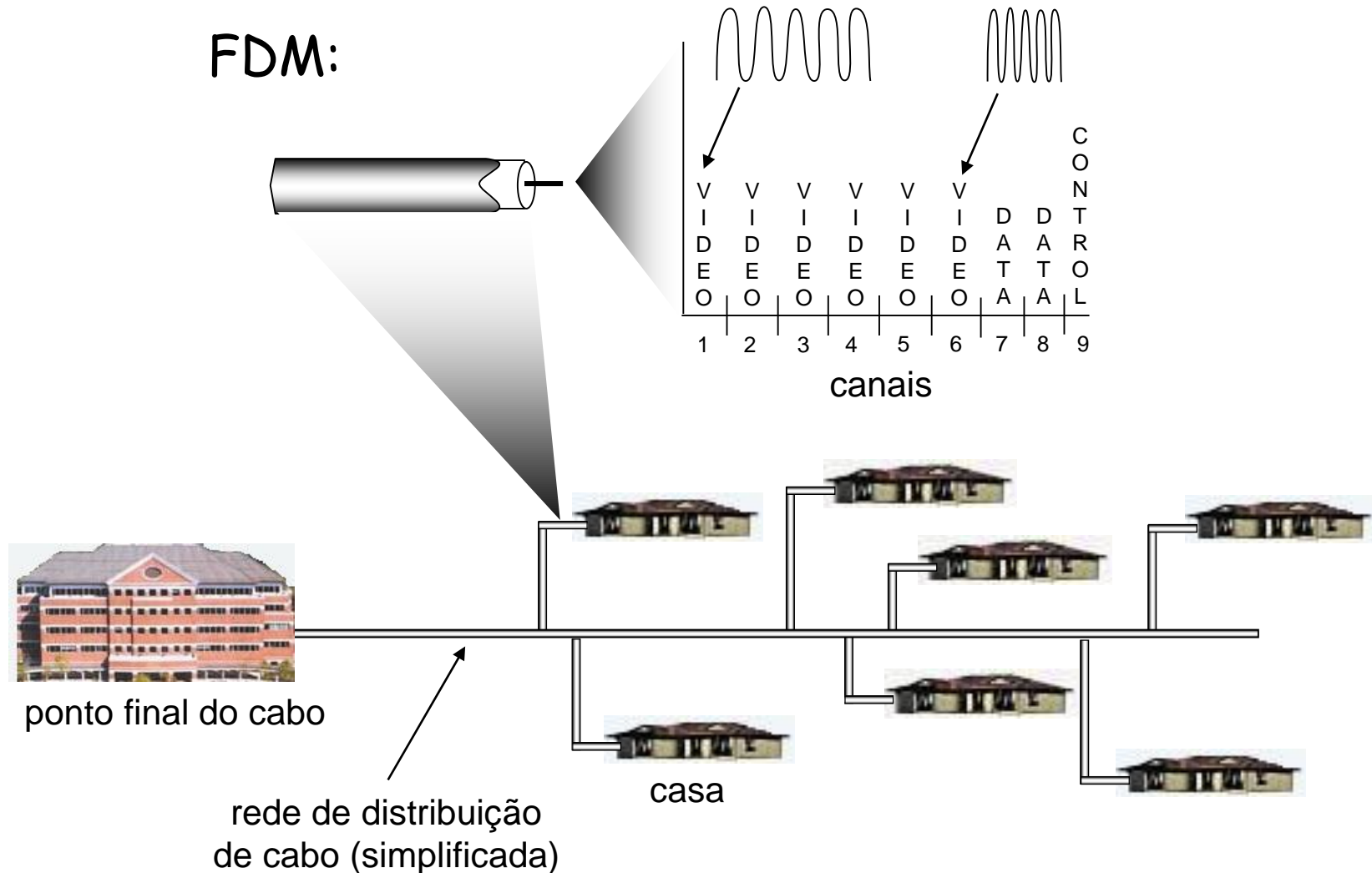
Arquiteturas de redes a cabo: visão geral



Arquiteturas de redes a cabo: visão geral



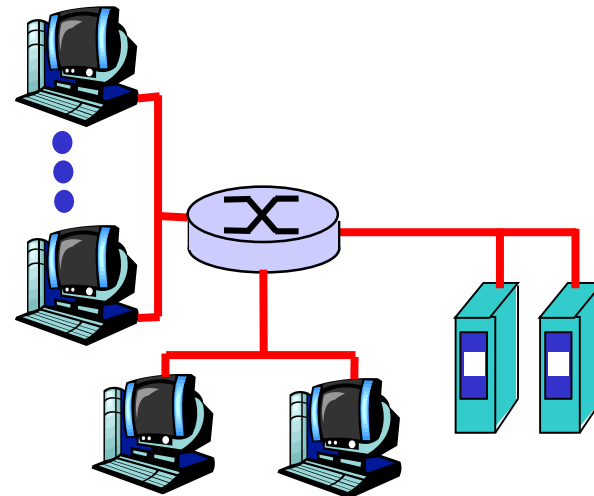
Arquiteturas de redes a cabo: visão geral



Acesso institucional: redes de área local

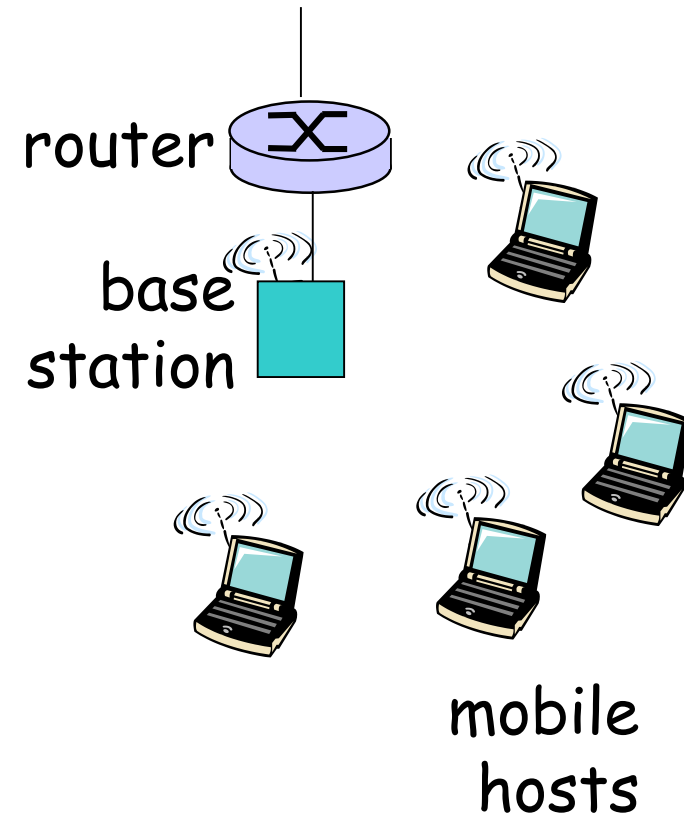
- A **rede local** (LAN) da companhia/univ conecta sistemas finais ao roteador de acesso
- **Ethernet:**
 - Cabo compartilhado ou dedicado conecta sistemas finais e o roteador
 - 10 Mbs, 100 Mbps, Gigabit Ethernet

LANs: capítulo 5



Redes de acesso sem fio

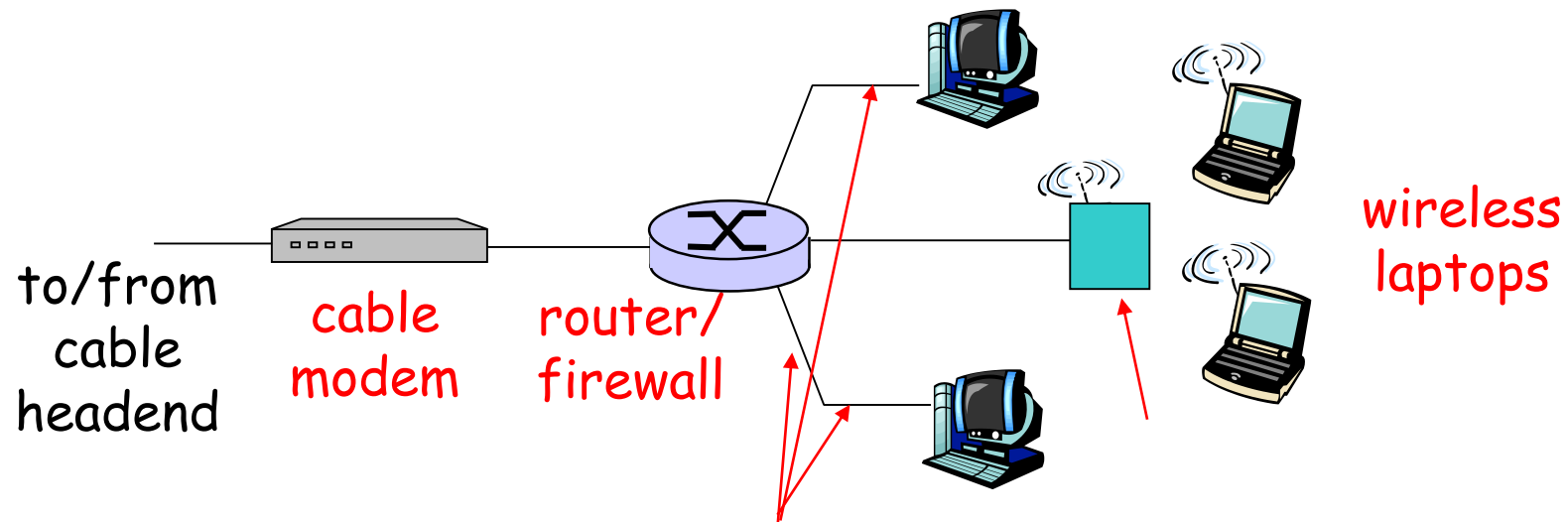
- Rede de acesso sem fio compartilhada conecta sistemas finais ao roteador
 - Através de “ponto de acesso” da estação base
 - **LANs sem fio:**
 - 802.11b (WiFi): 11 Mbps
 - **Wide-area de acesso sem fio**
 - Provido pelo operador telco
 - 3G ~ 384 kbps
- O que acontecerá
- GPRS na Europa



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
- **Meios não guiados:**
 - Propagação livre, ex.: rádio

Twisted Pair (TP)

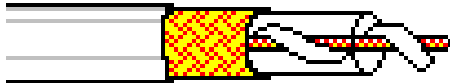
- Par de fios trançados de cobre isolados
 - Categoria 3: taxas de transmissão até 10 Mbps categoria 5: 100 Mbps Ethernet
 - Categoria 5: 100 Mbps Ethernet



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
 - HFC



Cabo de fibra óptica:

- Fibra de vidro transportando pulsos de luz, cada pulso é um bit
- Alta velocidade de operação:
 - Alta velocidade com transmissão ponto-a-ponto (ex.: 5 Gps)
- Baixa taxa de erros;
- Repetidores bem espaçados; imunidade a ruídos eletromagnéticos



Meio físico: rádio

- Sinal transportado como campo eletromagnético
- Não há fios físicos
- Bidirecional
- O ambiente afeta a propagação:
 - Reflexão
 - Obstrução por objetos
 - Interferência

Meio físico: rádio

Tipos de enlaces de rádio:

- **Microondas terrestre**
 - Canais de até 45 Mbps

LAN (ex.: WiFi)

- 2 Mbps, 11 Mbps, 54 Mbps

Wide-area (ex.: celular)

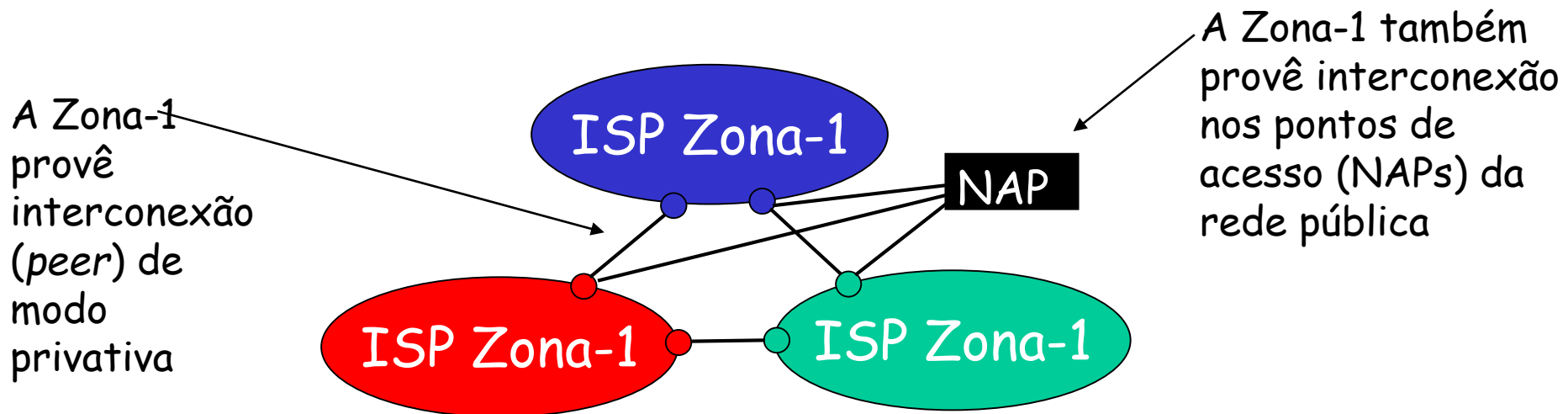
- Ex., 3G: centenas de kbps
- **Satélite**
 - Canal de até 50 Mbps (ou vários canais menores)
 - 270 ms de atraso fim-a-fim
 - Geossíncrono *versus* LEOS (baixa altitude)

Redes de computadores e a Internet

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

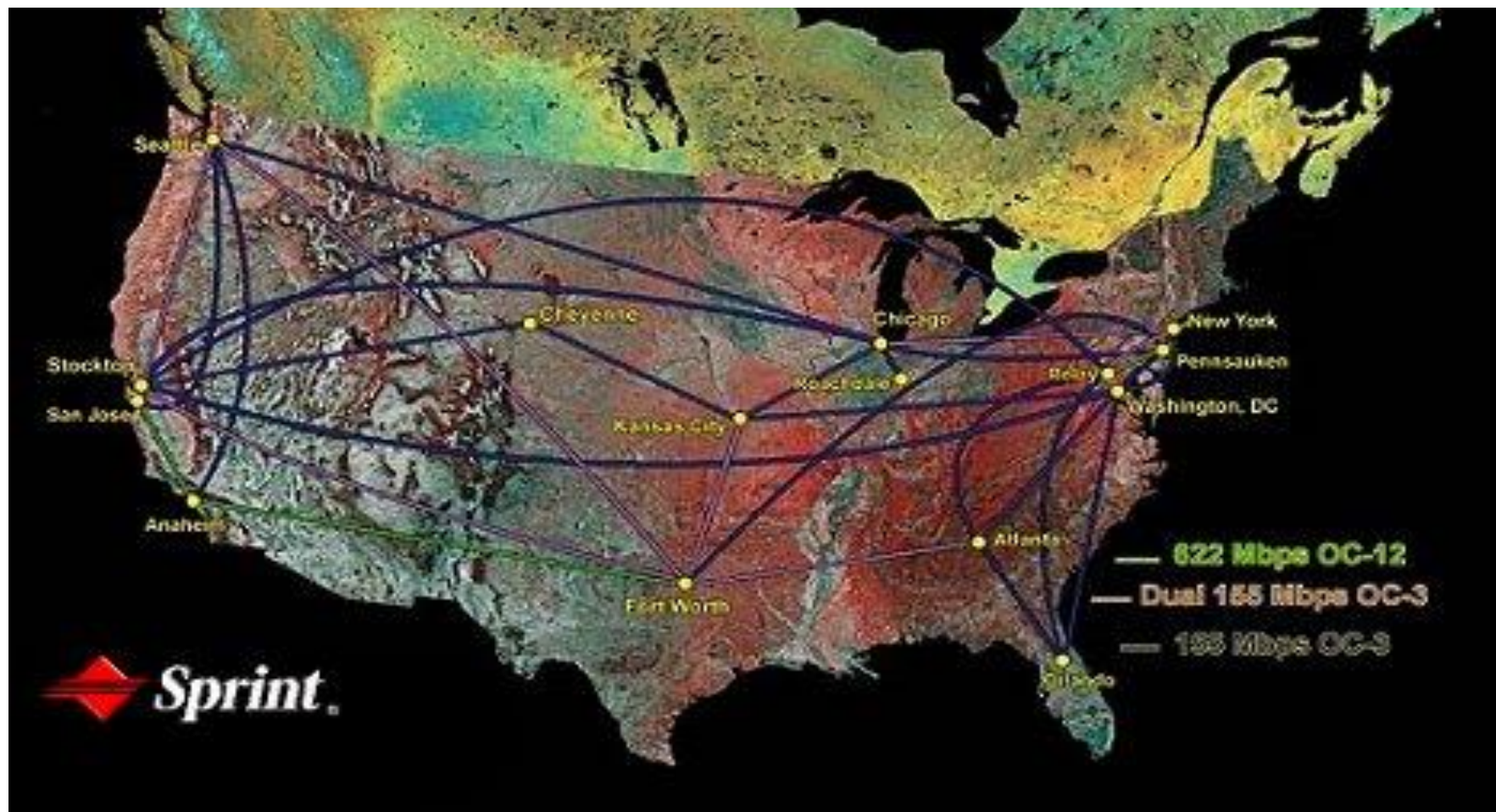
Estrutura da Internet: rede de redes

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



ISP de Zona-1 – ex.: Sprint

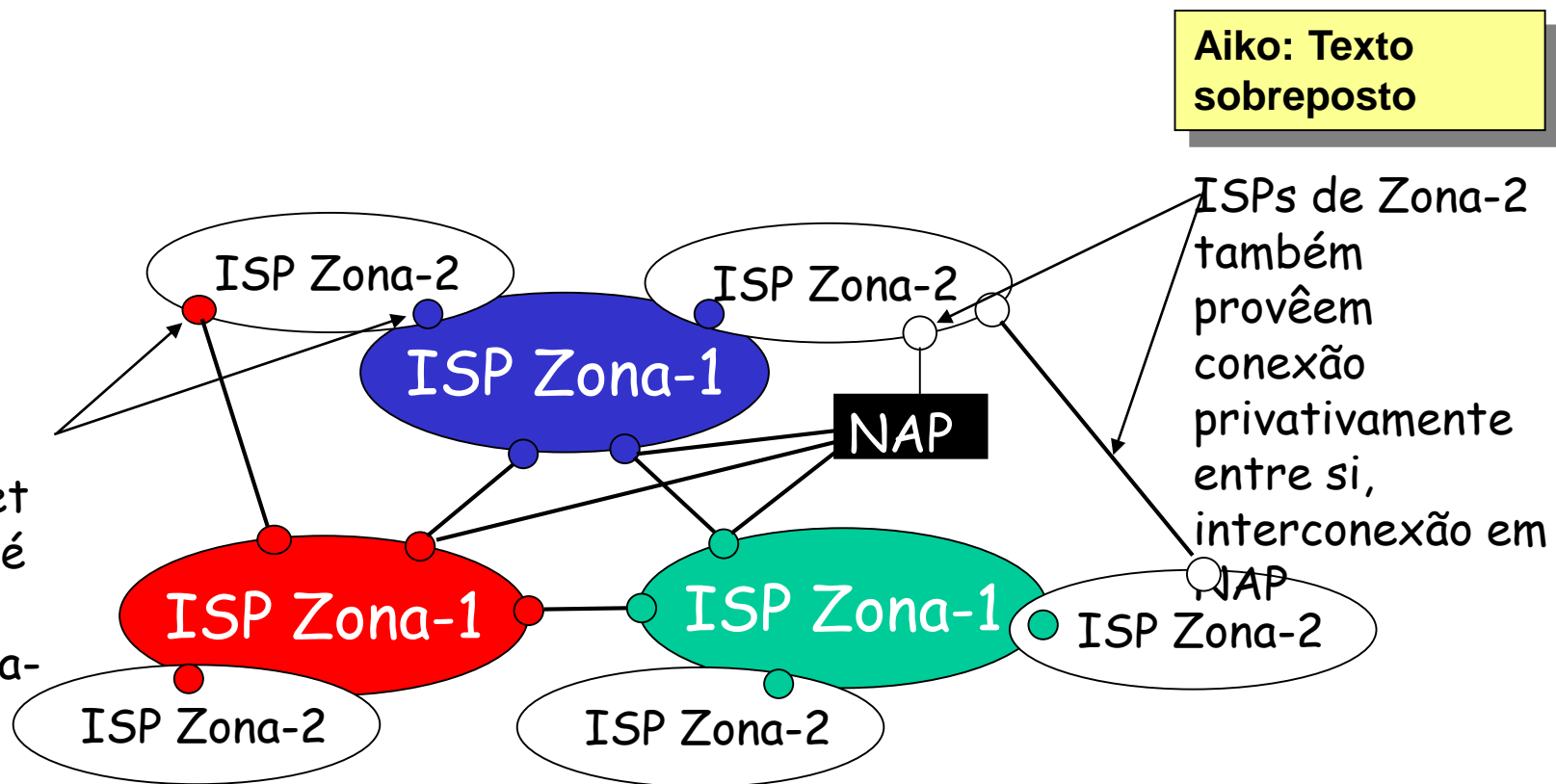
Rede de backbone da Sprint US



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

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

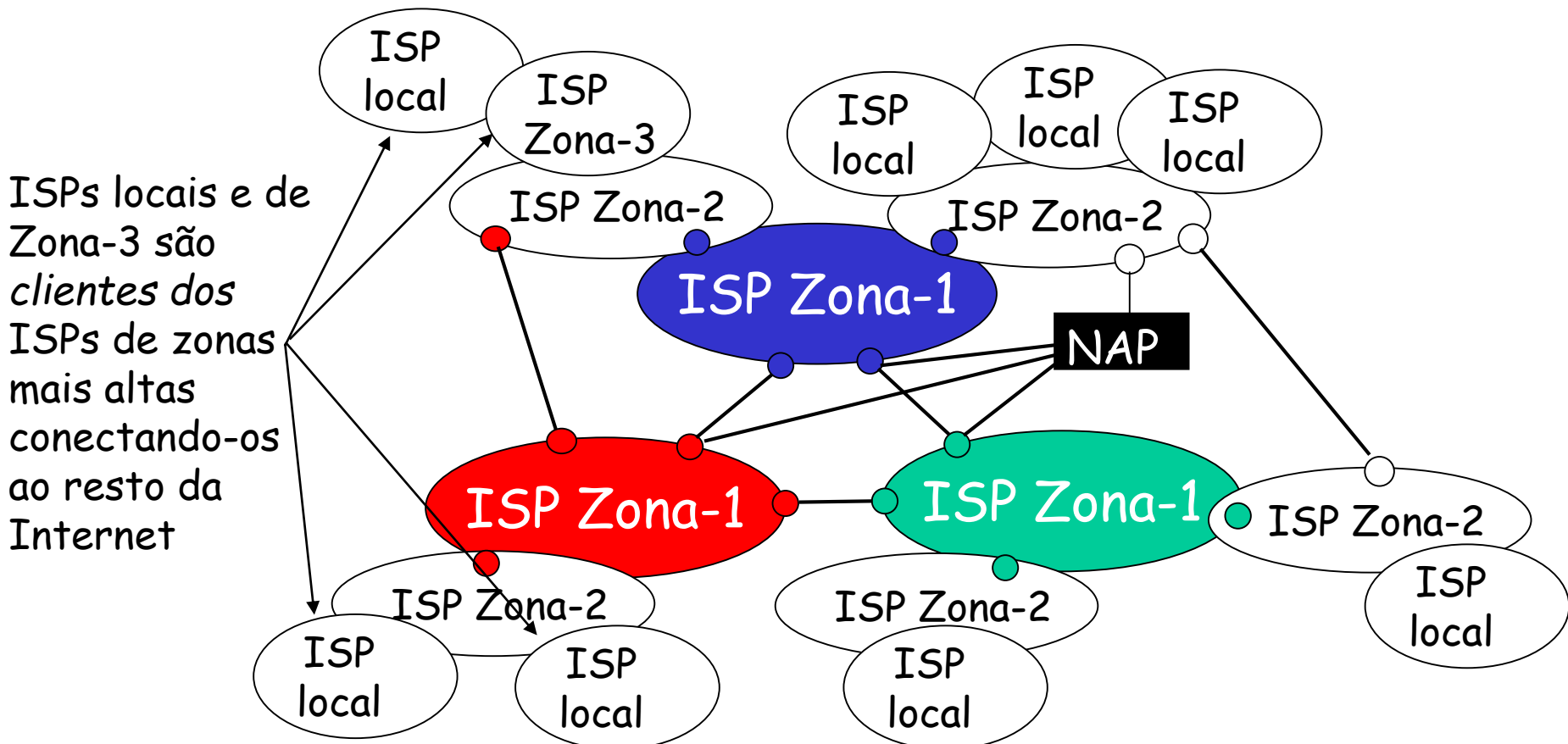


Aiko: Texto sobreposto

ISPs de Zona-2 também provêem conexão privativamente entre si, interconexão em NAP

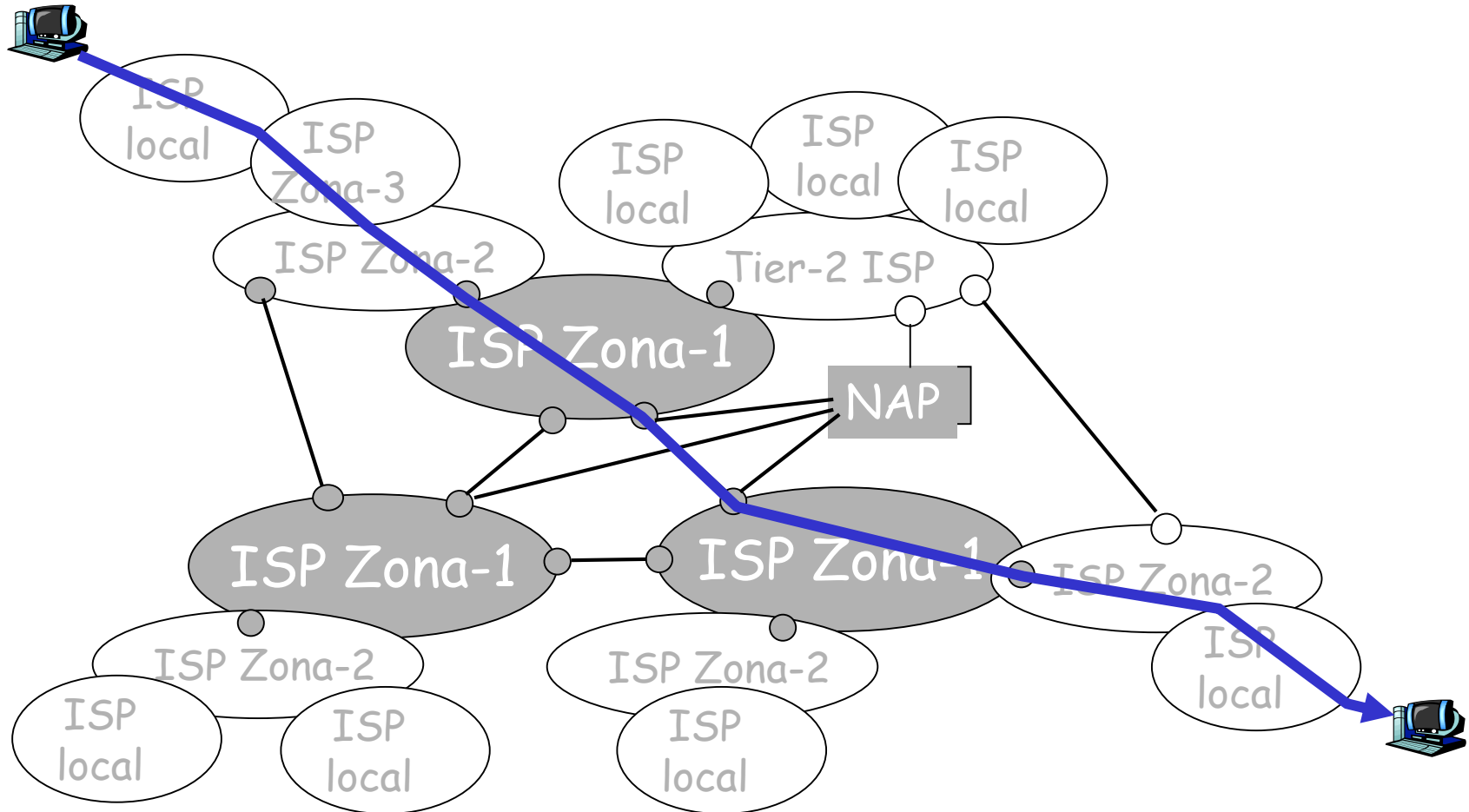
Estrutura da Internet: rede de redes

- 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



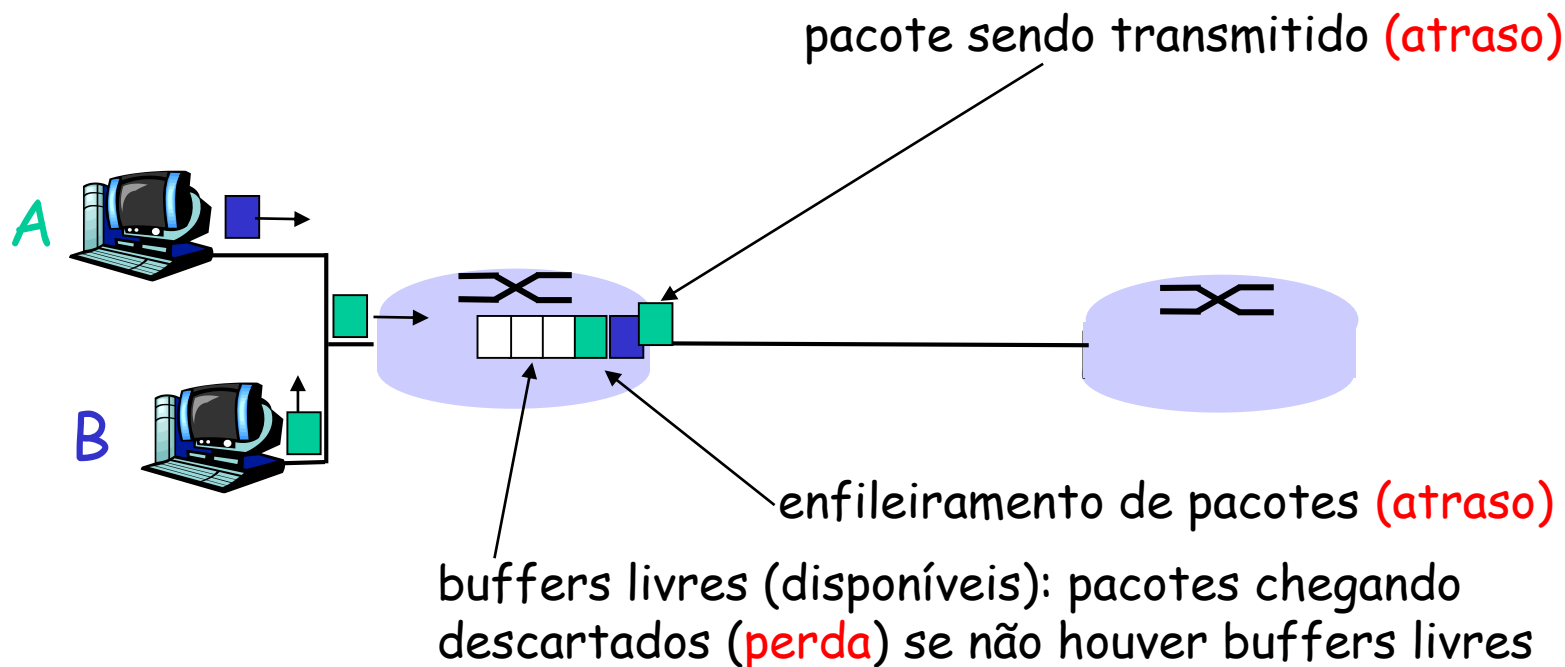
Redes de computadores e a Internet

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



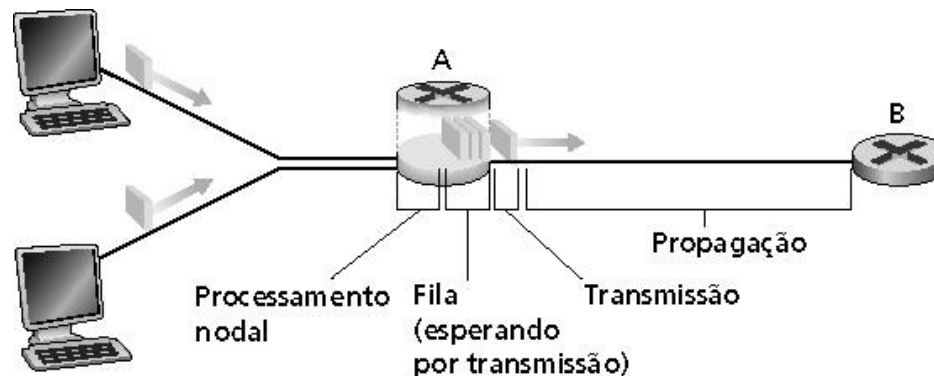
Quatro fontes de atraso de pacotes

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



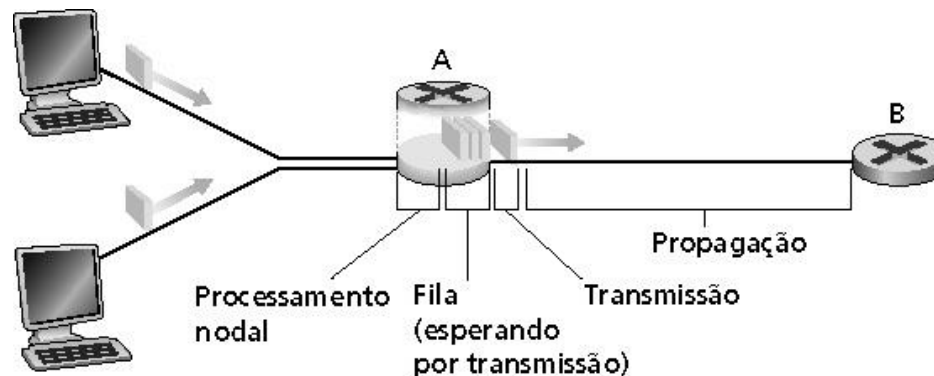
Atraso em redes de comutação de pacotes

3. Atraso de transmissão:

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

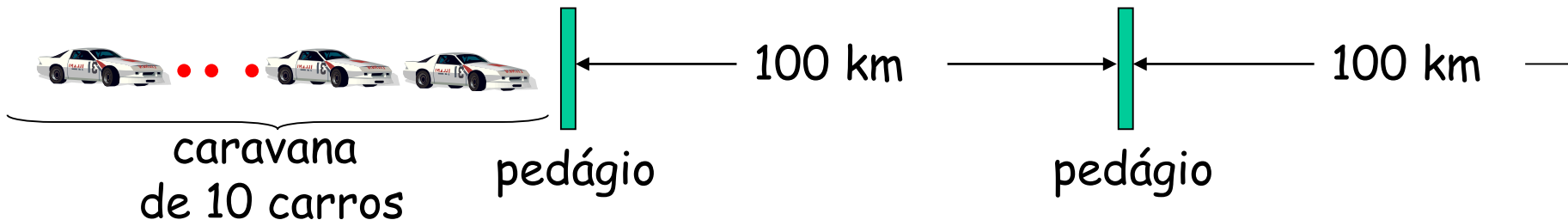
4. Atraso de propagação:

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



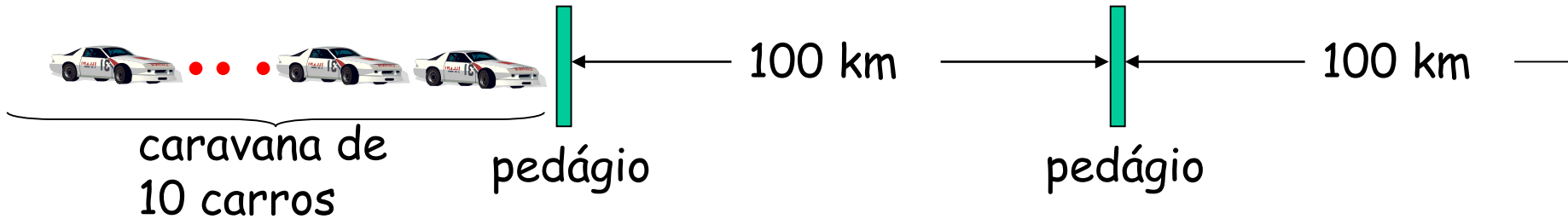
Nota: “s” e “R” são medidas muito diferentes!

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 1.000 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!
 - [Veja Ethernet applet no AWL Web site](#)

Atraso nodal

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

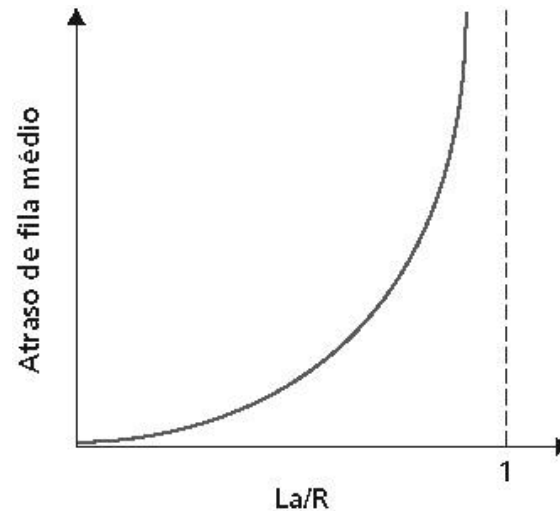
- d_{proc} = atraso de processamento
 - Tipicamente uns poucos microssegundos ou menos
- d_{fila} = atraso de fila
 - Depende do congestionamento
- d_{trans} = atraso de transmissão
 - = L/R , significativa para links de baixa velocidade
- d_{prop} = atraso de propagação
 - Uns poucos microssegundos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

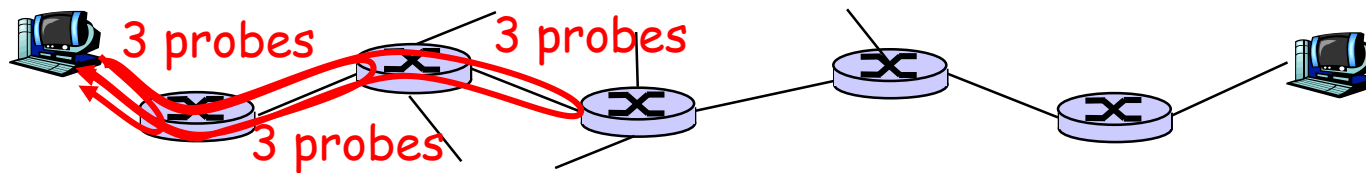


Atrasos e rotas da Internet “real”

- 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 link 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 Borda da rede
- 1.3 Núcleo da rede
- 1.4 Acesso à rede e meio físico
- 1.5 Estrutura da Internet e ISPs
- 1.6 Atraso e perda em redes de comutação de pacotes
- 1.7 Camadas de protocolo, modelos de serviço
- 1.8 História

Camadas de protocolos

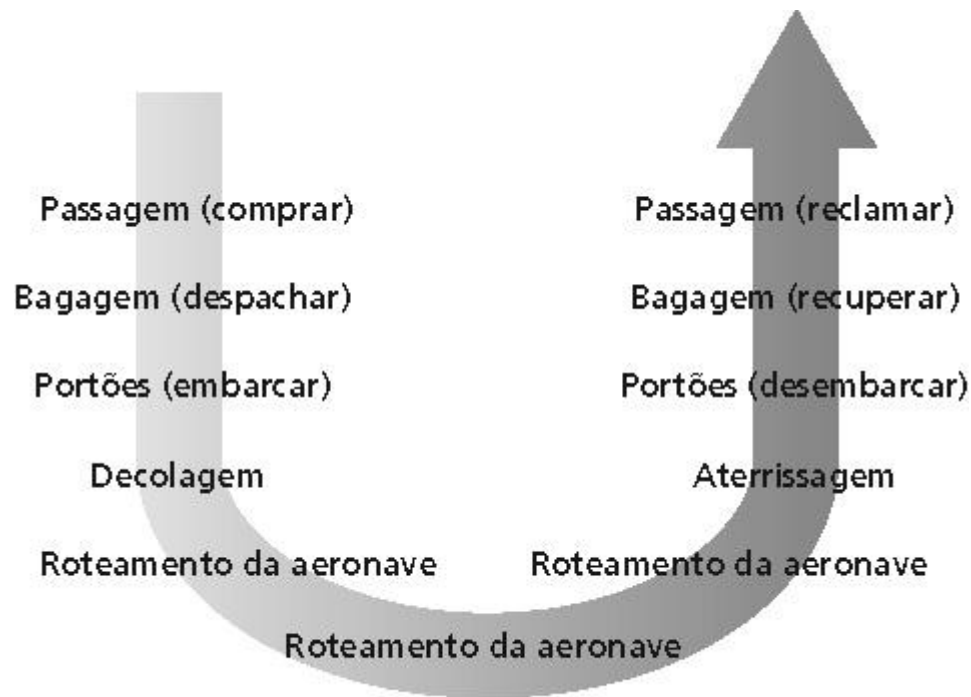
Redes são complexas

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

QUESTÃO:

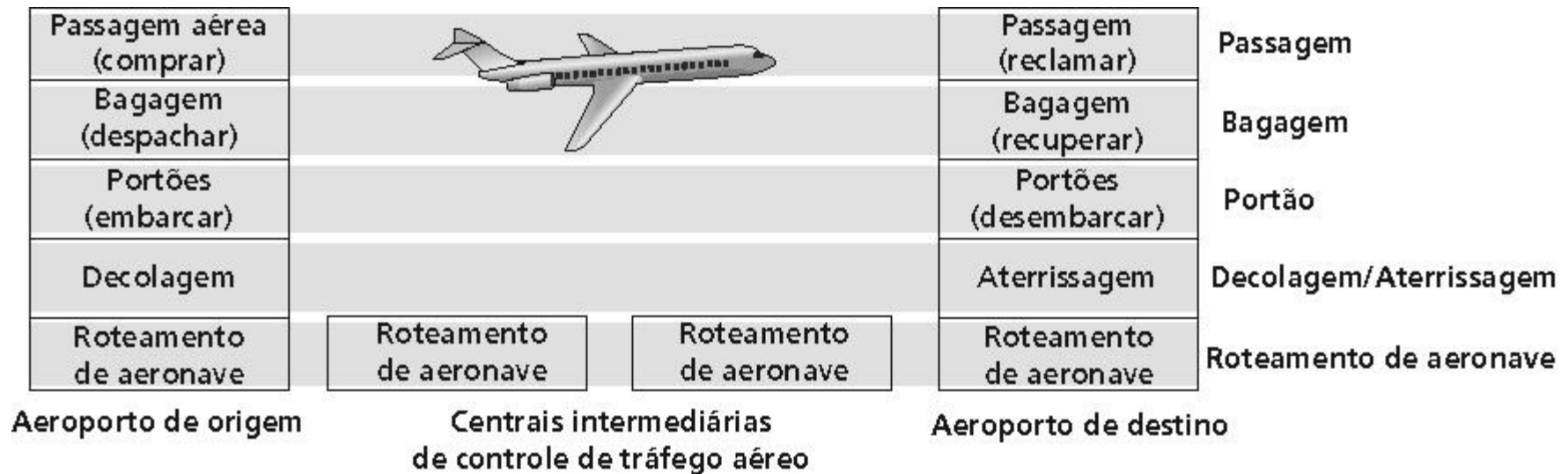
Há alguma esperança de **organizar** a arquitetura de uma rede?
Ou pelo menos nossa discussão sobre redes?

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:

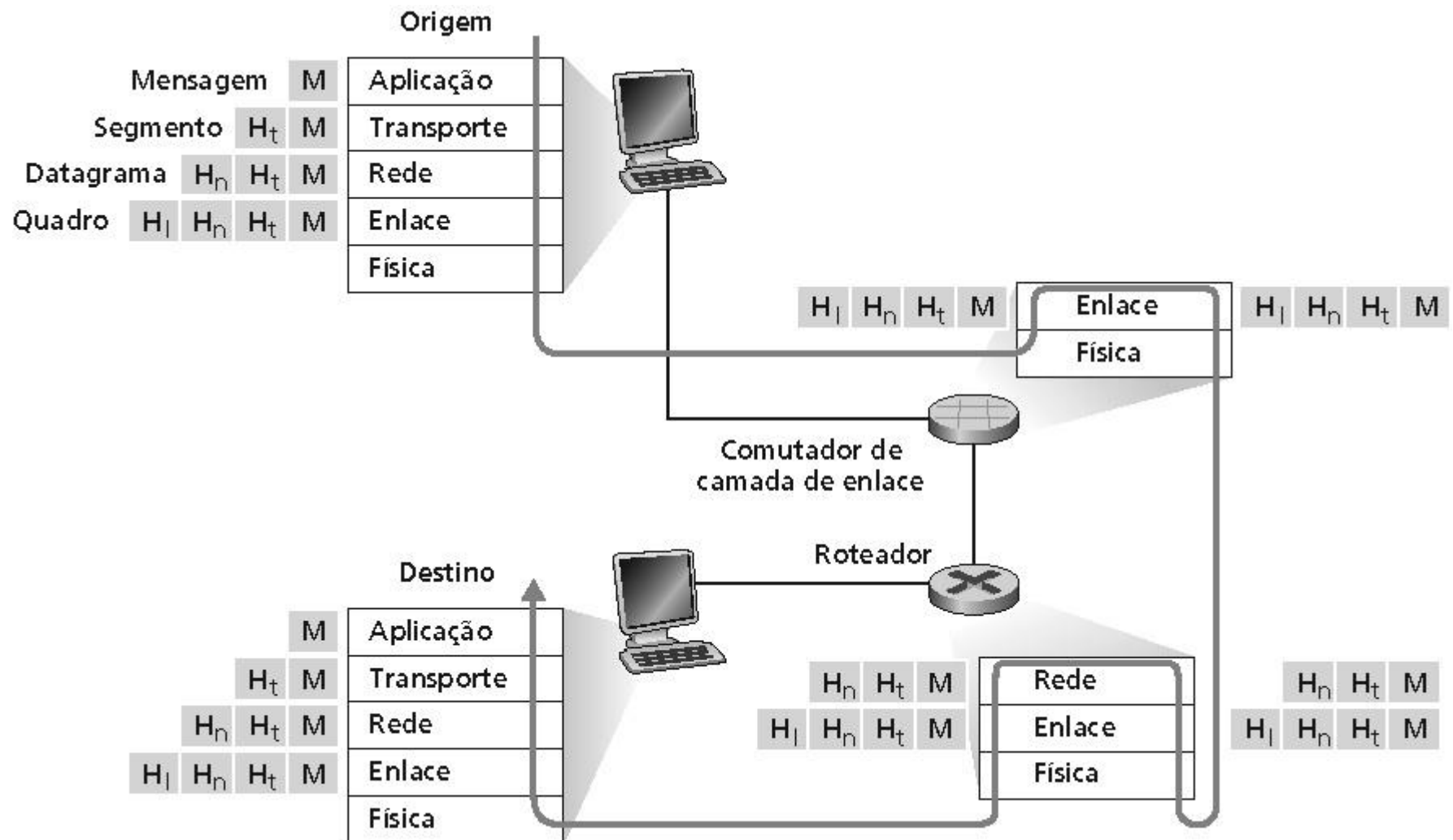
- A estrutura explícita permite identificação, o relacionamento das partes de um sistema complexo
 - Um **modelo de referência** em camadas permite a discussão da arquitetura
- Modularização facilita a manutenção, atualização do sistema
 - As mudanças na implementação de uma camada são transparentes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

Pilha de protocolos da Internet

- **Aplicação:** suporta as aplicações de rede
FTP, SMTP, HTTP
- **Transporte:** transferência de dados hospedeiro-hospedeiro
 - TCP, UDP
- **Rede:** roteamento de datagramas da origem ao destino
 - IP, protocolos de roteamento
- **Enlace:** transferência de dados entre elementos vizinhos da rede
 - PPP, Ethernet
- **Física:** bits “nos fios dos canais”

Aplicação
Transporte
Rede
Enlace
Física

Encapsulamento



- Protocolo TCP IP, formado pelos protocolos
 - protocolo FTP – File transport protocol
 - protocolo SMTP – Simple mail transport protocol
 - protocolo HTTP – Hypertext transport protocol

- **ENDEREÇO IP** – endereço único assinalado a cada computador da rede
 - Tem a forma de um número de 32 bits formado por 4 grupos de 8 bits, por ex:
 - 192.68.20.50 – este endereço significa:
 - 192 – o país;
 - 68 – a rede da instituição;
 - 20 – a sub-rede;
 - 50 – o computador na subrede
 - Cada endereço tem um “nome fantasia”, o endereço simbólico, como `www.usp.br`

Redes de computadores e a Internet

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

Resumo

Cobriu uma “tonelada” de material!

- Internet overview
- O que é um protocolo?
- Borda da rede, núcleo, rede de acesso
 - Comutação de pacotes *versus* comutação de circuitos
- Estrutura da Internet/ISP
- Desempenho: perda, atraso
- Camadas e modelos de serviços
- História

Você agora tem:

- Contexto, visão geral, sentimento das redes
- Conceitos básicos de Redes de computadores