

Introdução

Centro de Informática - UFPE

Prof. Kelvin Lopes Dias

Slides originais (traduzidos) de Kurose/Ross

**Complementos: Soares/Lemos/Colcher e
Tanenbaum/Wetheral**

Computer Networking

A Top-Down Approach



sixth edition

KUROSE | ROSS



REDES DE COMPUTADORES

Das LANs
MANs
e WANs
às Redes ATM

2ª Edição

Luiz Fernando Gomes Soares
Guido Lemos
Sérgio Colcher



Parte I: Introdução

Meta do Capítulo:

- ❑ dar o contexto, visão geral e intuitiva de redes
- ❑ profundidade e detalhes vêm mais adiante
- ❑ abordagem:
 - descritiva
 - uso da Internet como exemplo

Visão geral:

- ❑ o que é a Internet
- ❑ o que é um protocolo
- ❑ a borda da rede
- ❑ o núcleo da rede
- ❑ rede de acesso, meio físico
- ❑ desempenho: perdas, retardo
- ❑ camadas de protocolo, modelos de serviço
- ❑ *backbones*, PTTs, provedores

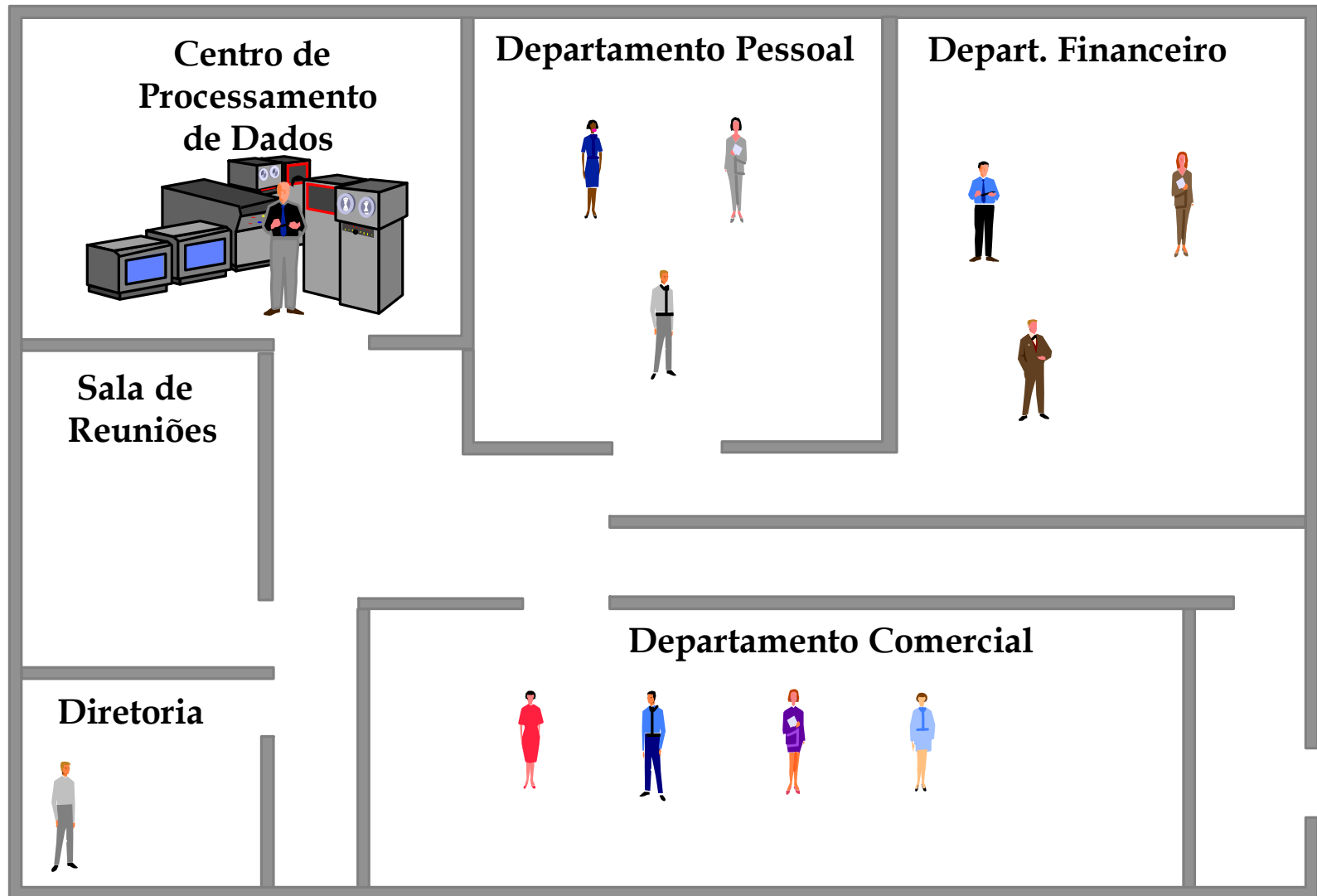
Histórico

Sistemas Centralizados

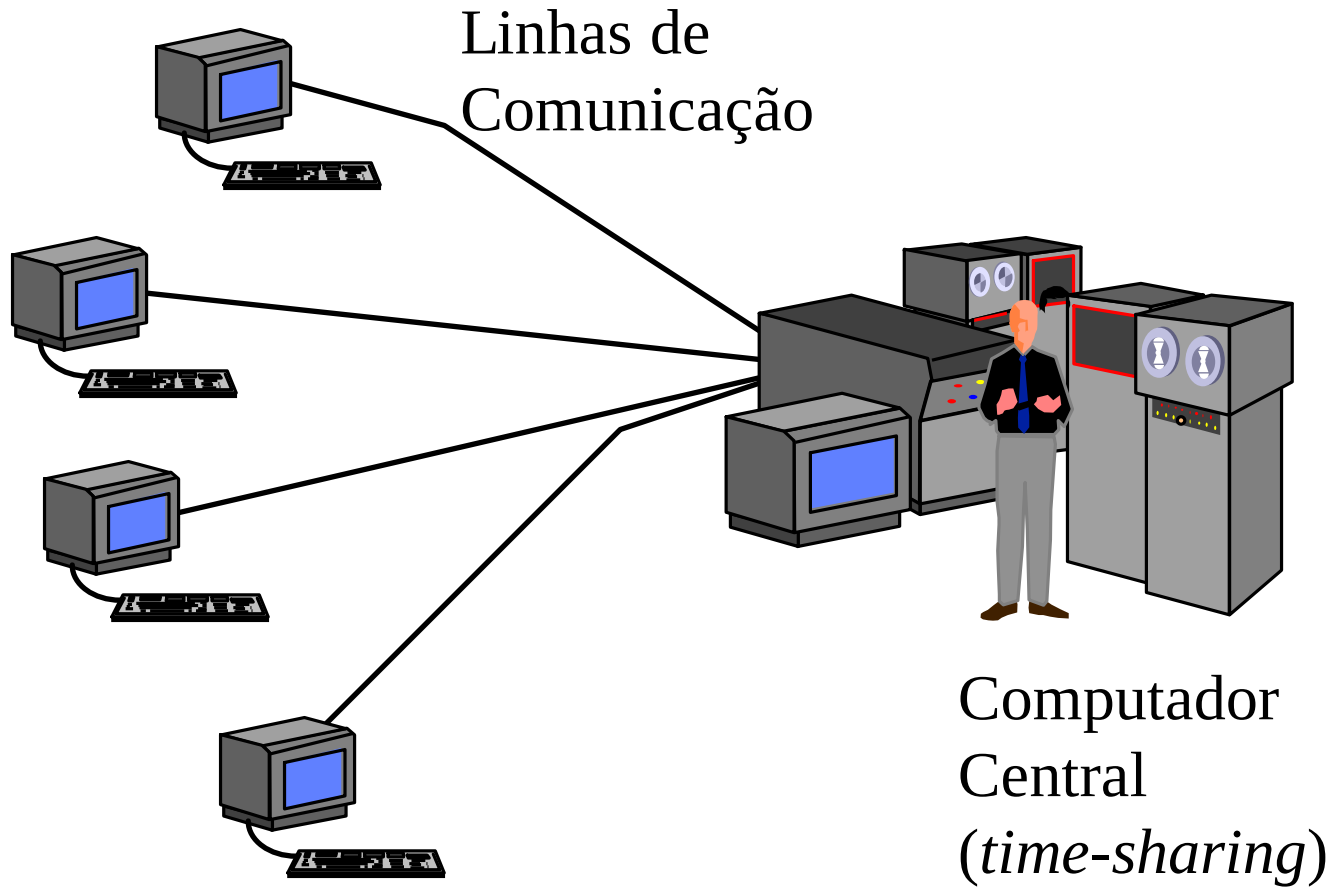
□ MainFrame

- Processamento em lote, ou "em batch" (1950)
 - Transações não são processadas imediatamente
 - Processadas em um único lote

Processamento Batch

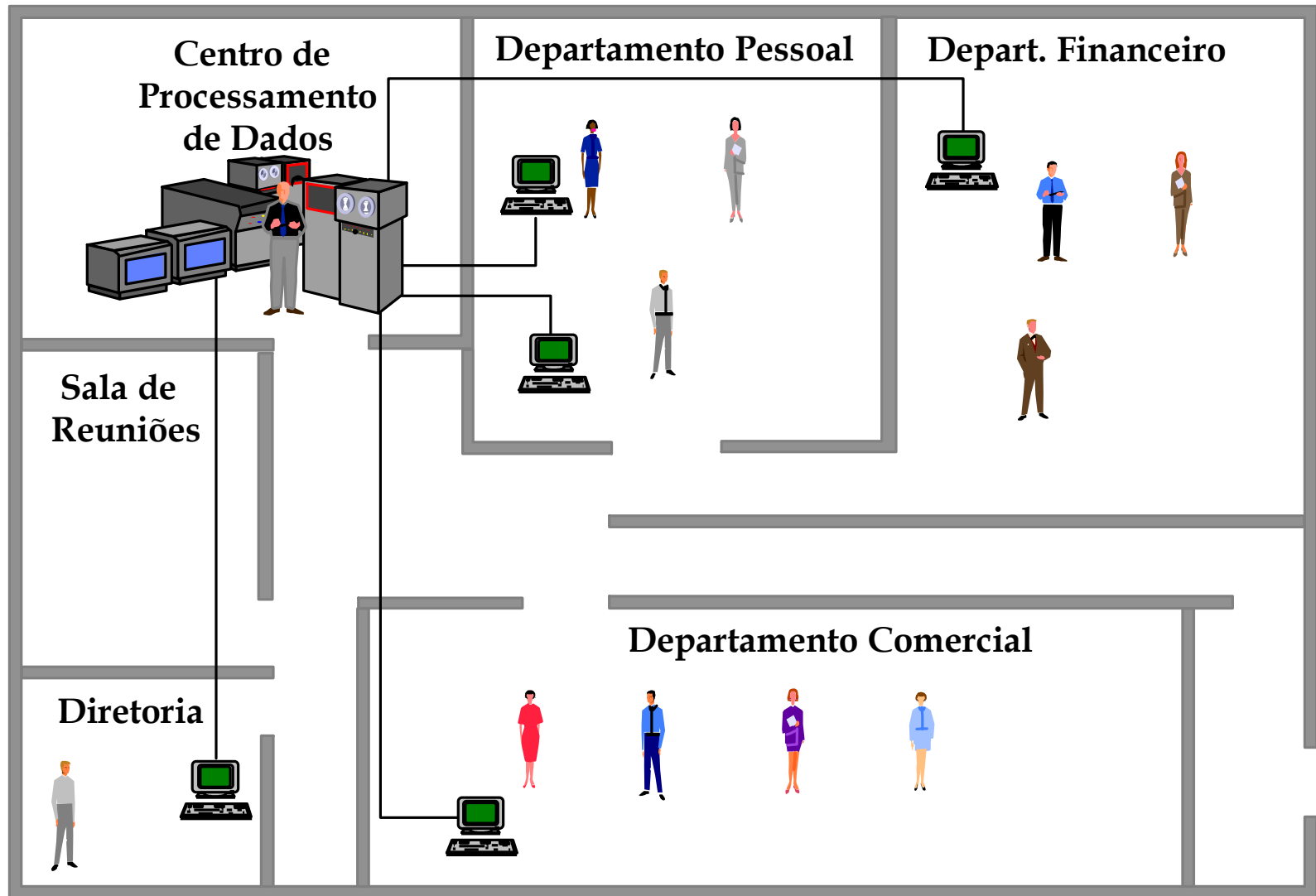


Sistemas Centralizados (1960)



Terminais Burros

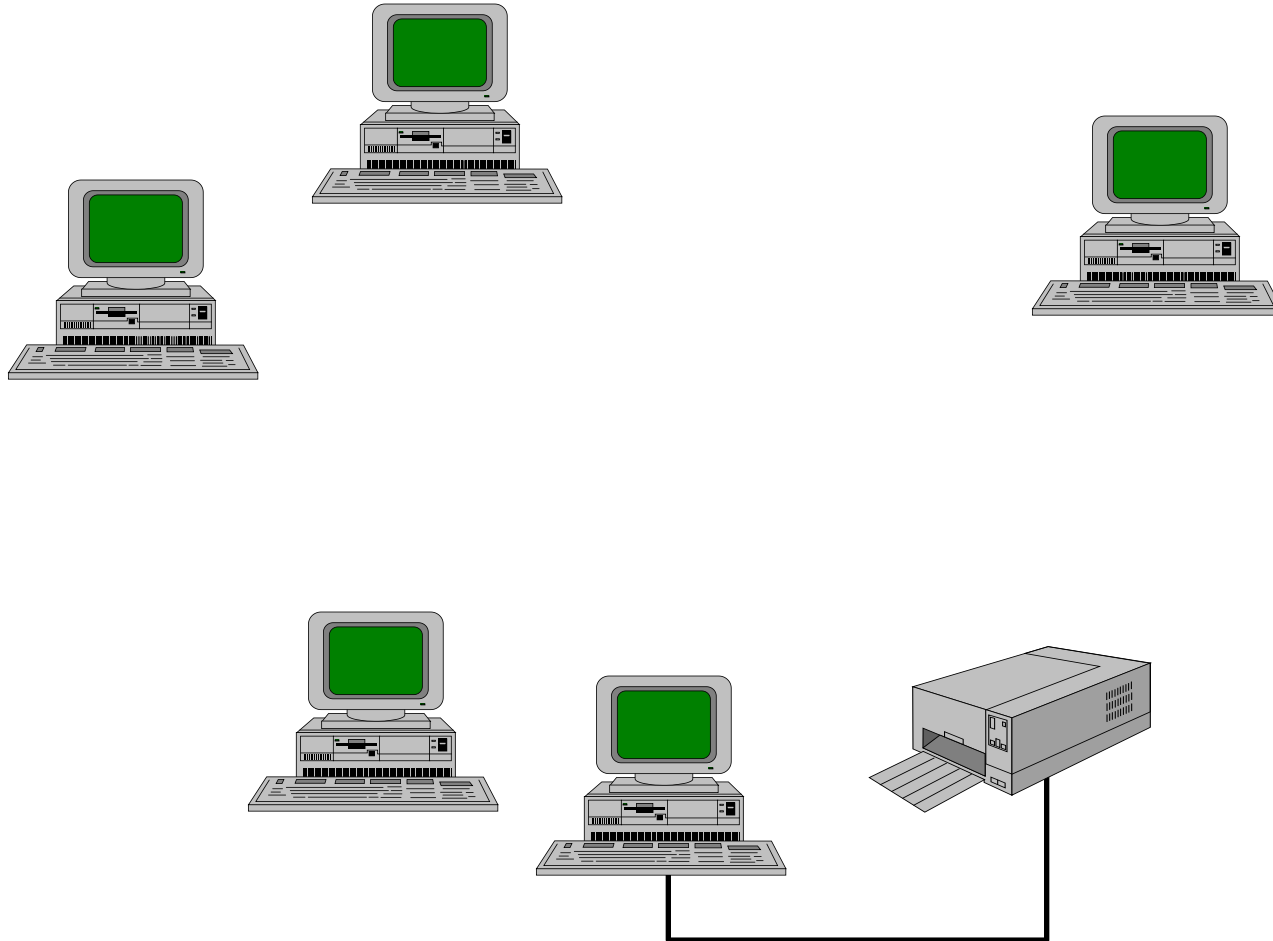
Processamento On-line



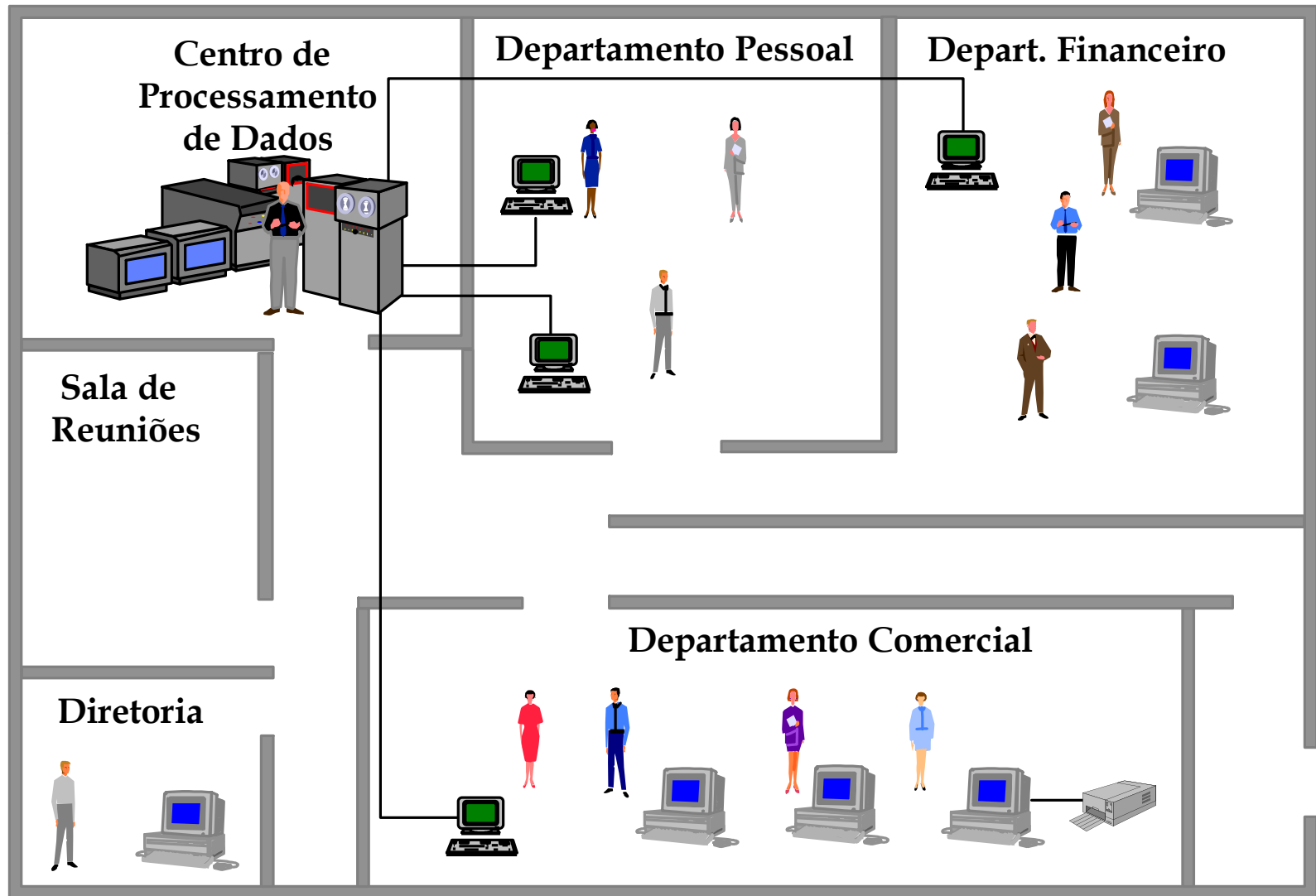
Microcomputadores (Distribuição do Poder computacional)

- ❑ Tecnologia digital e micro eletrônica (1970)
- ❑ Redução de custos e das exigências de temperatura e umidade
- ❑ Descentralização
- ❑ Individualização

Microcomputadores (1970)



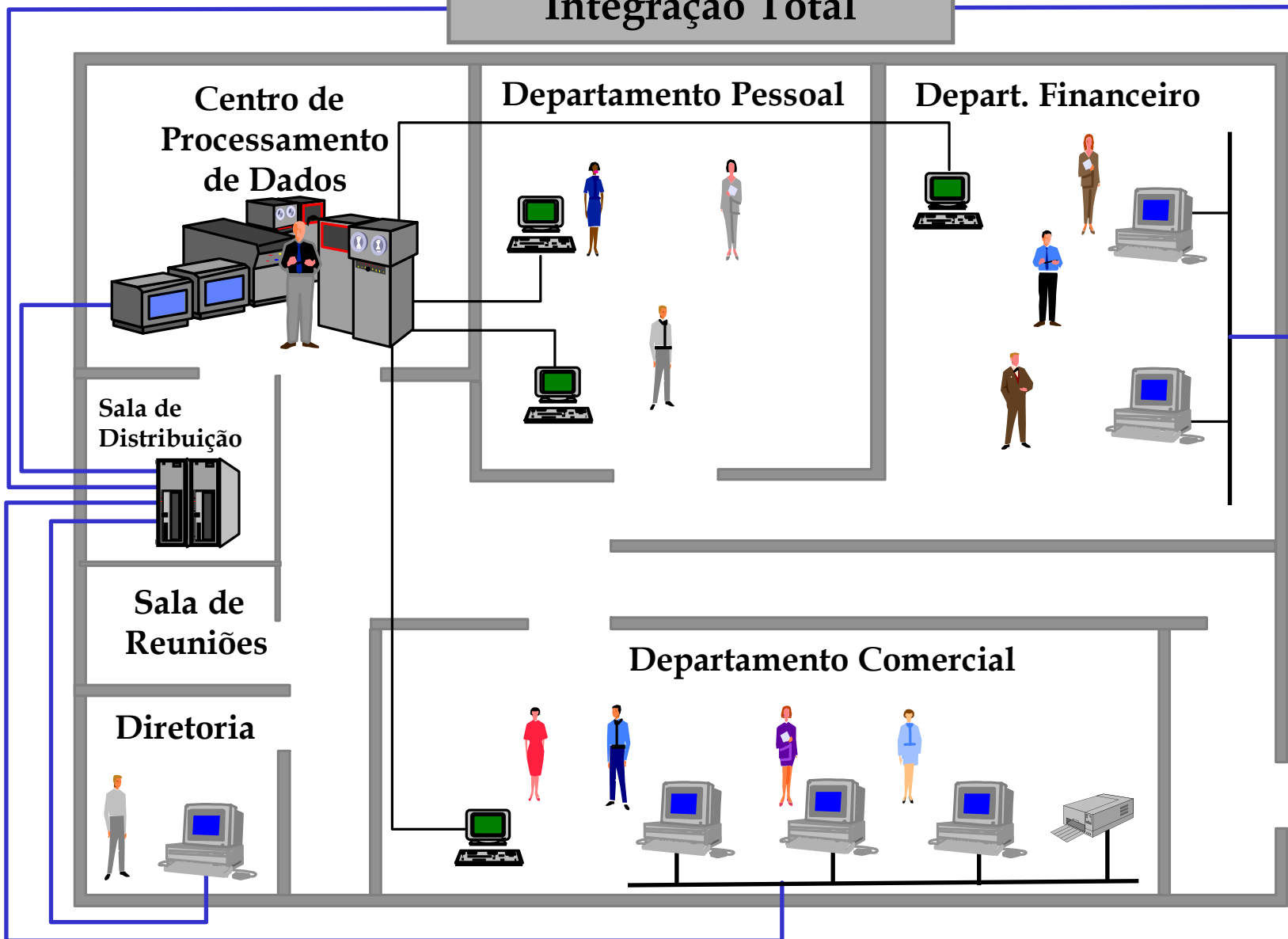
Computadores Pessoais (1970)



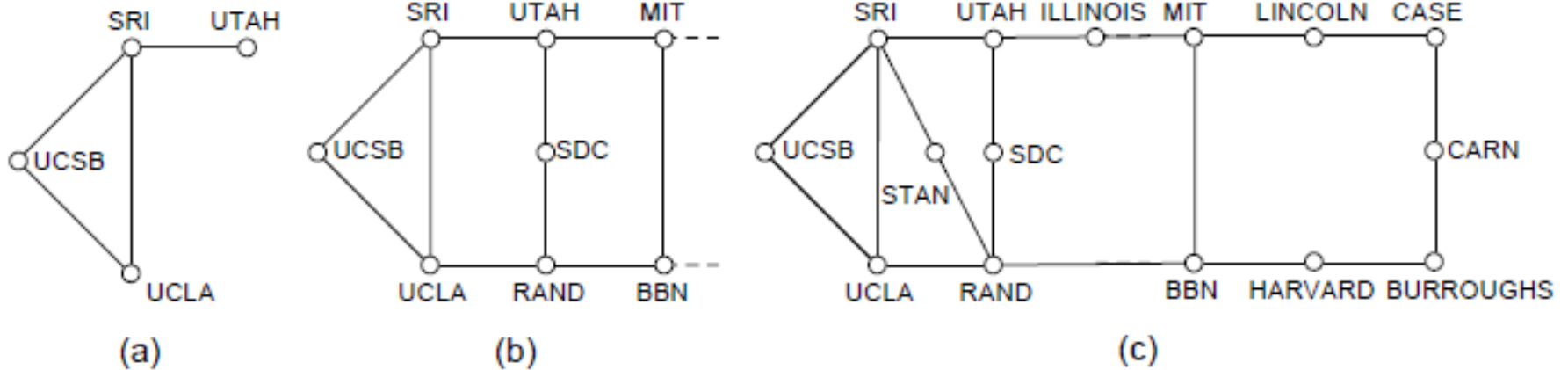
Redes de Computadores (Década de 80 - interconexão)



Redes de Computadores Integração Total



The ARPANET



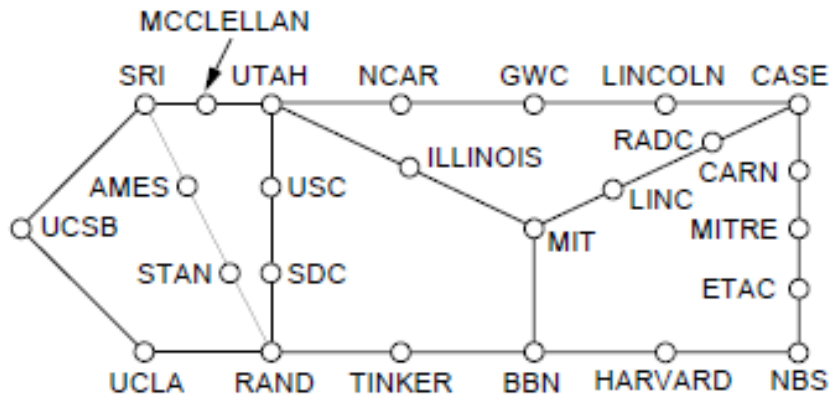
Growth of the ARPANET.

a) December 1969.

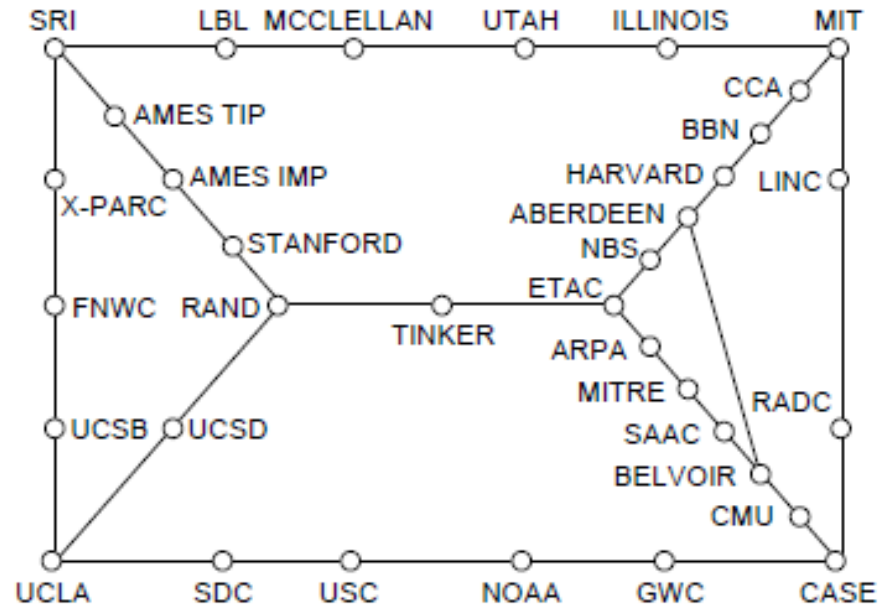
b) July 1970.

c) March 1971.

The ARPANET



(d)



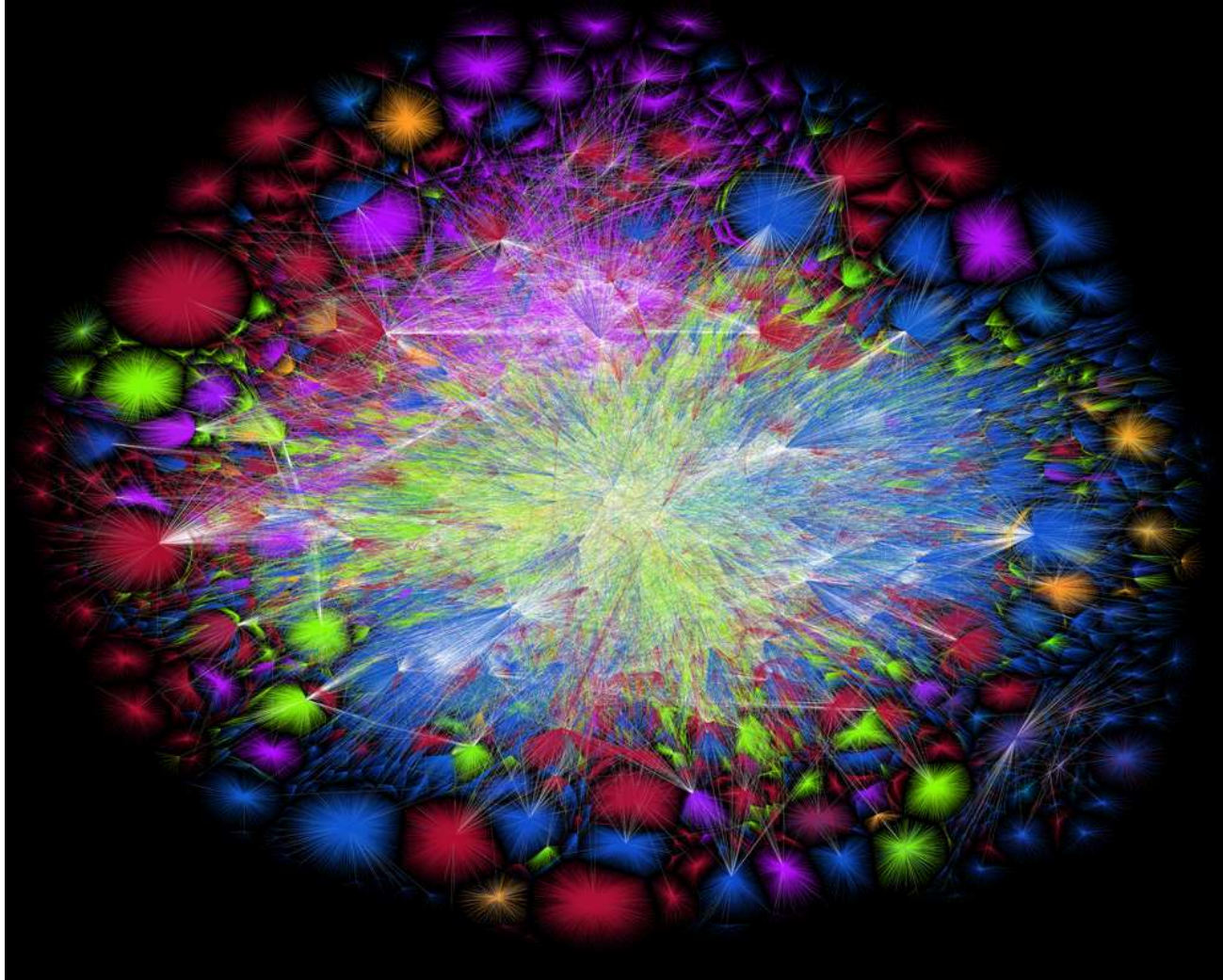
(e)

Growth of the ARPANET.

d) April 1972.

e) September 1972.

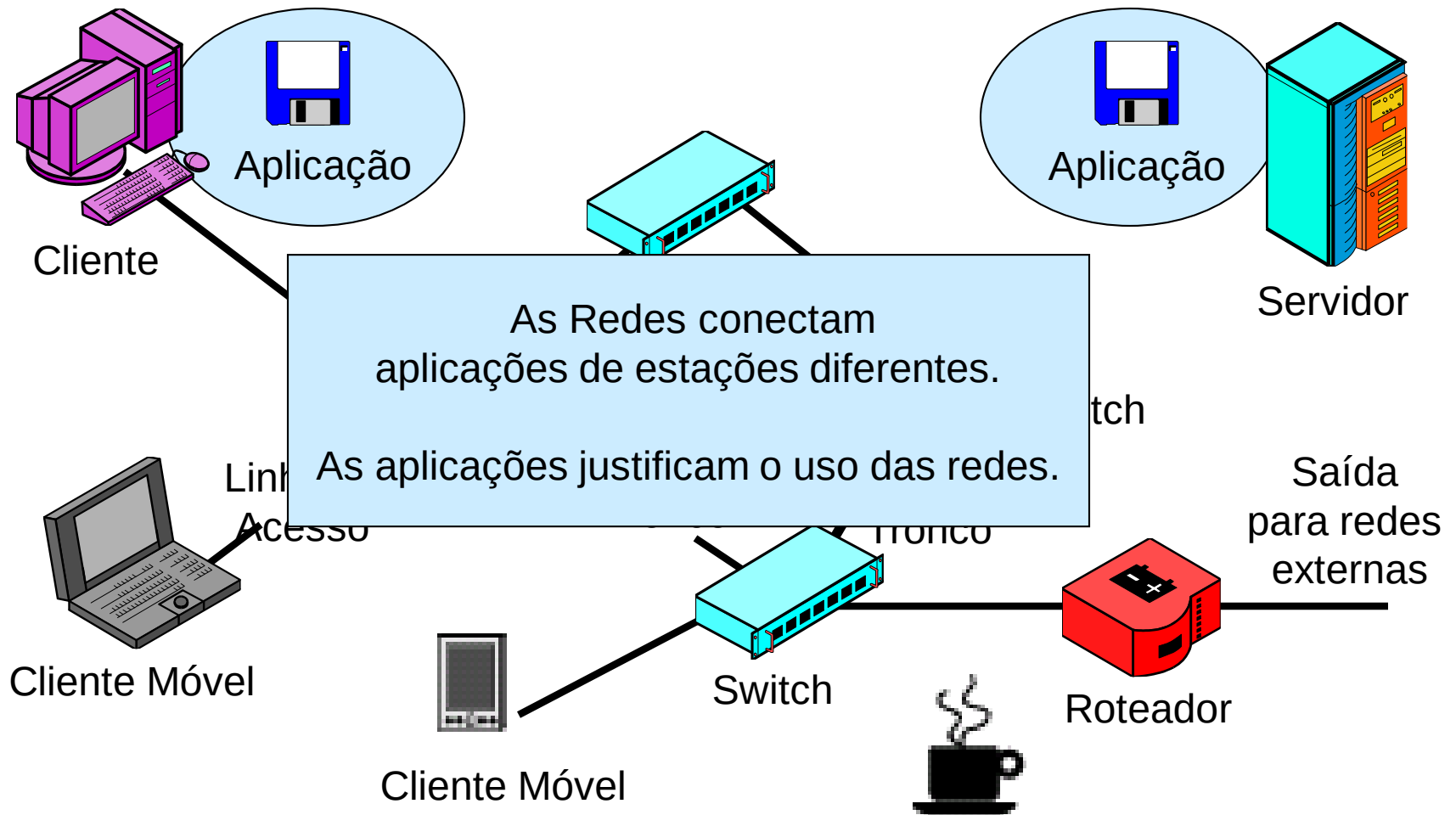
<http://www.opte.org/the-internet/>



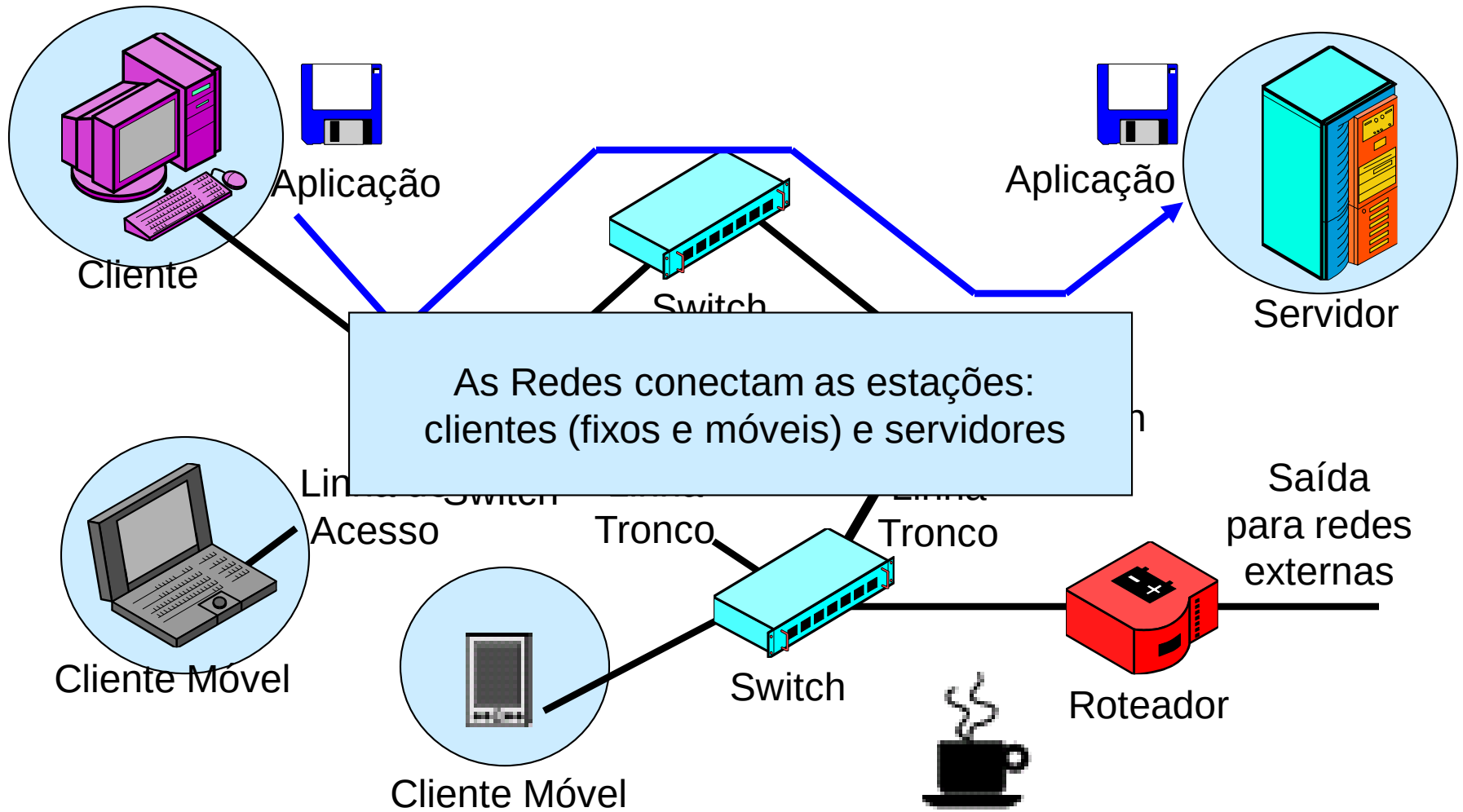
Conceitos

- ❑ **Rede de Computadores:** conjunto de computadores autônomos interconectados.
 - Autônomos: computadores independentes;
 - Interconectados: Capazes de trocar informações;
- ❑ **Sistema Distribuído:** conjunto de computadores autônomos interconectados que aparecem para o usuário **como um único computador.**
 - A existência da rede é transparente.

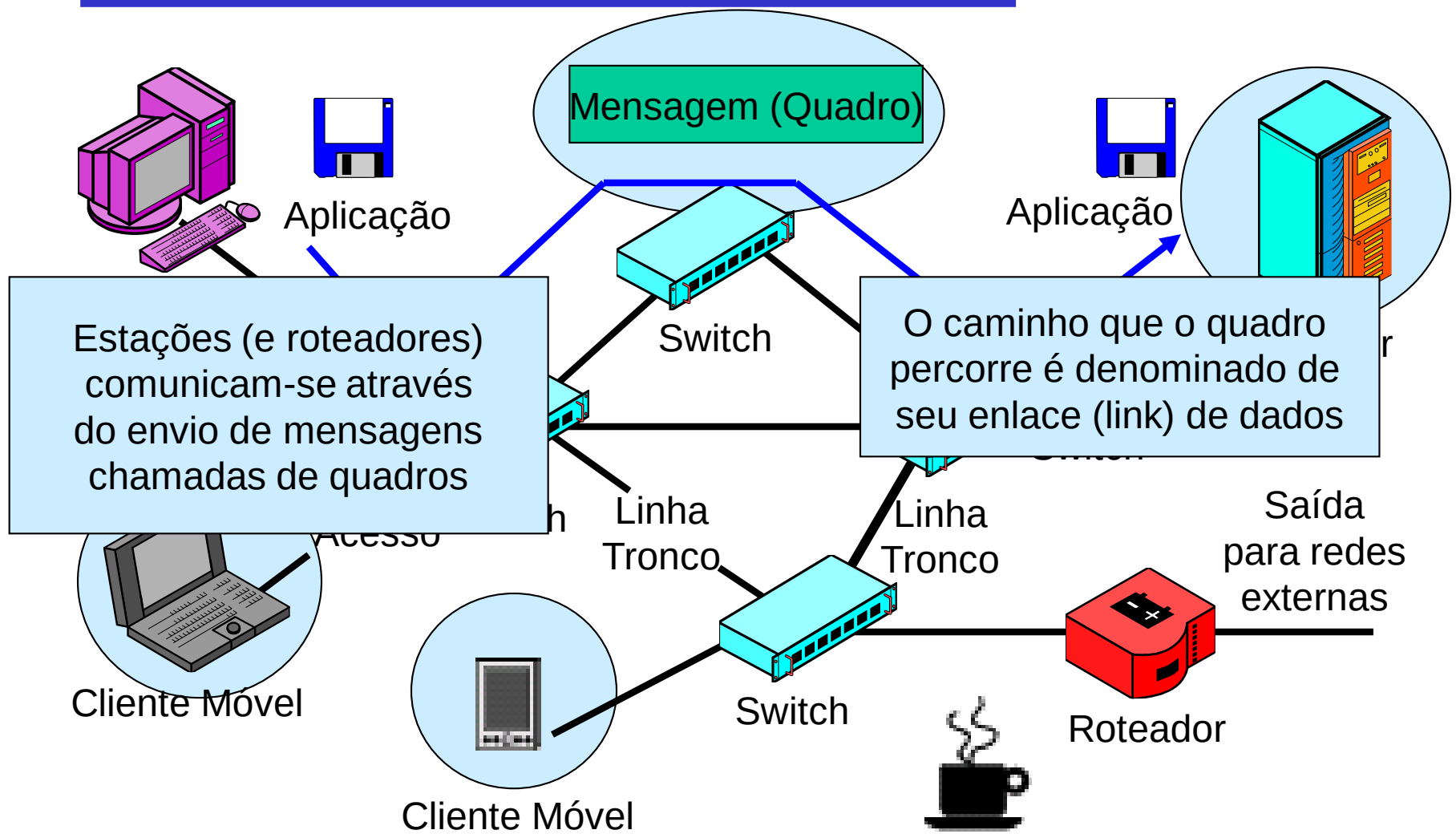
Elementos de uma Rede



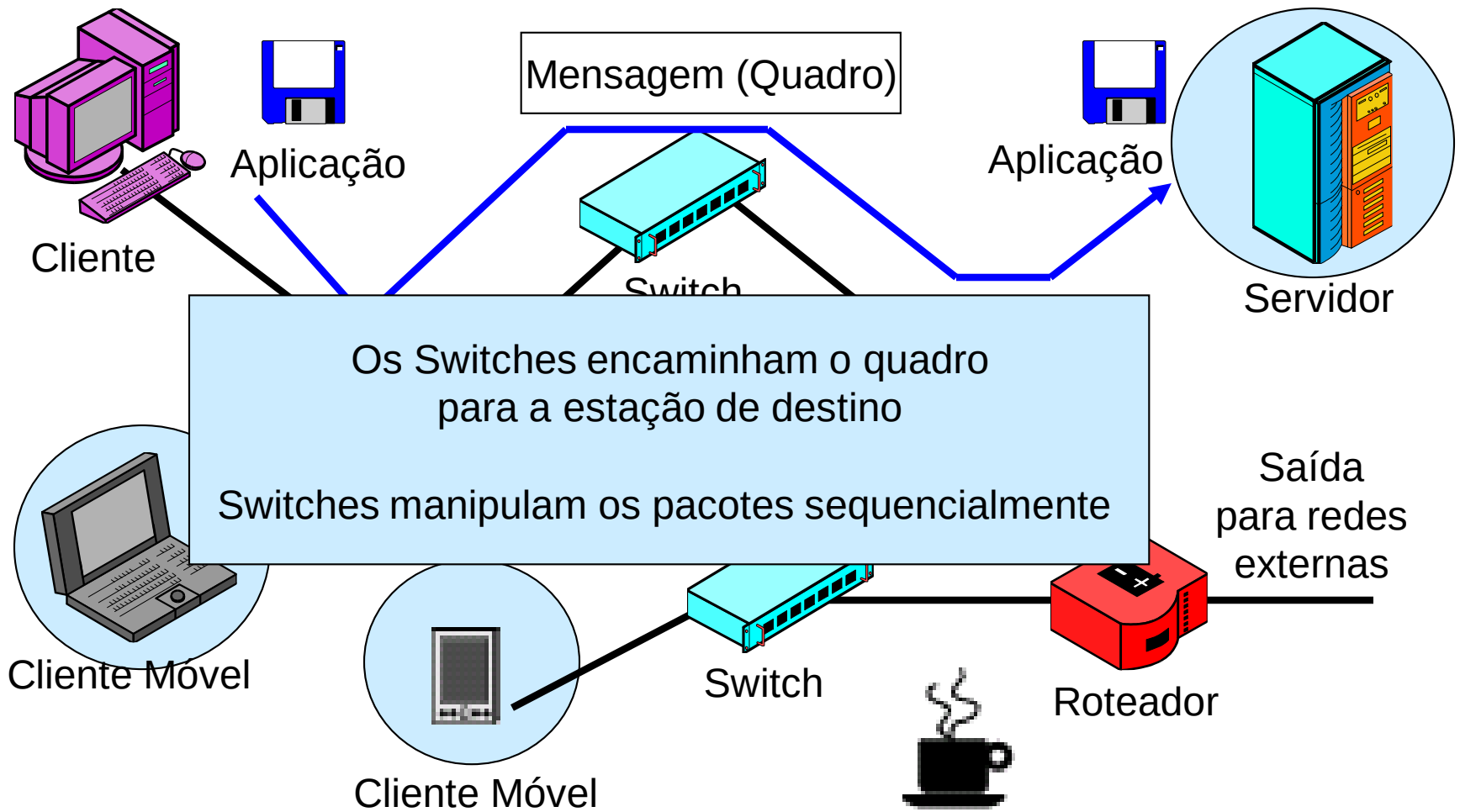
Elementos de uma Rede



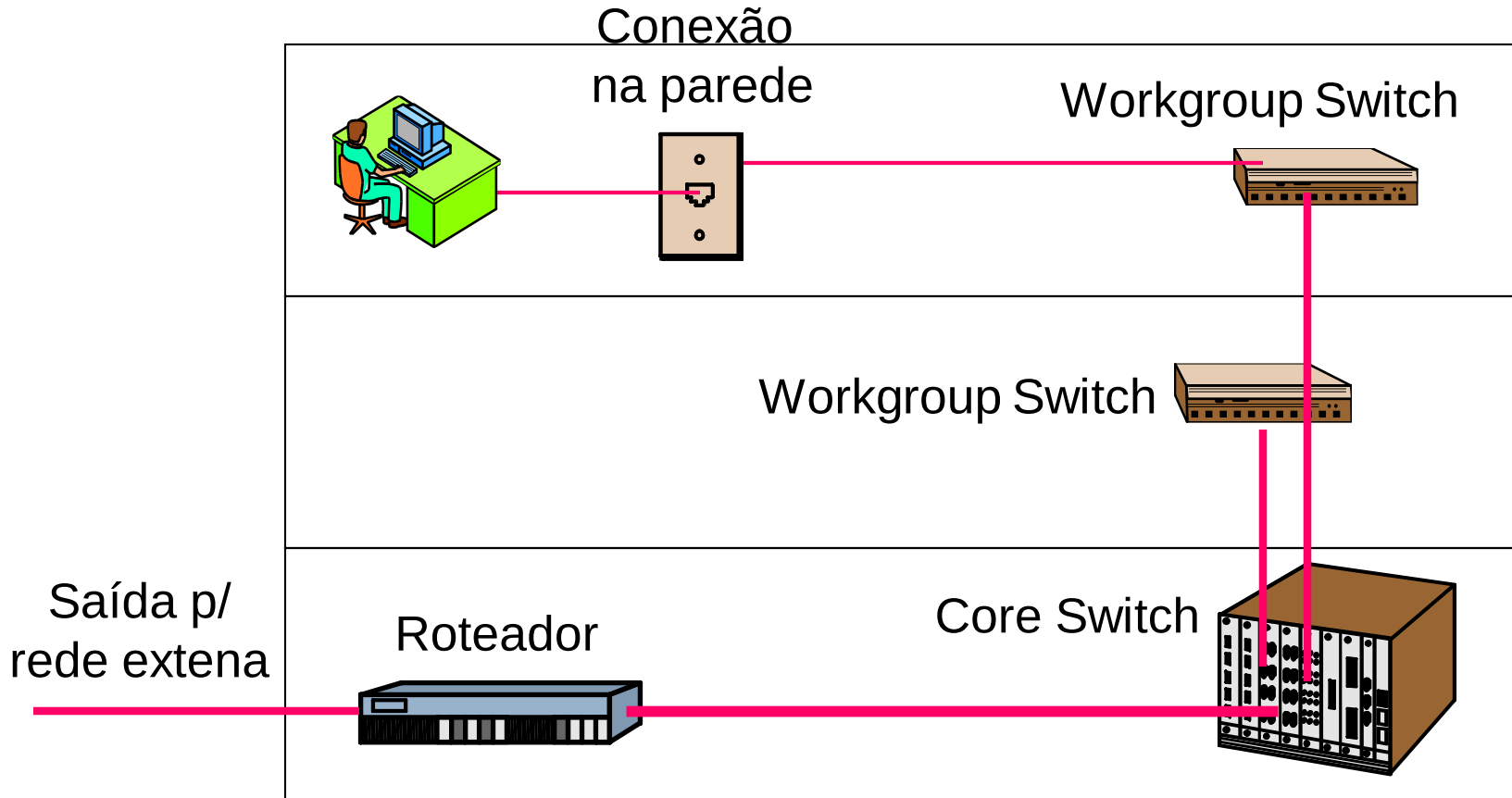
Elementos de uma Rede



Elementos de uma Rede



Elementos de uma Rede



Workgroup e Core Switches

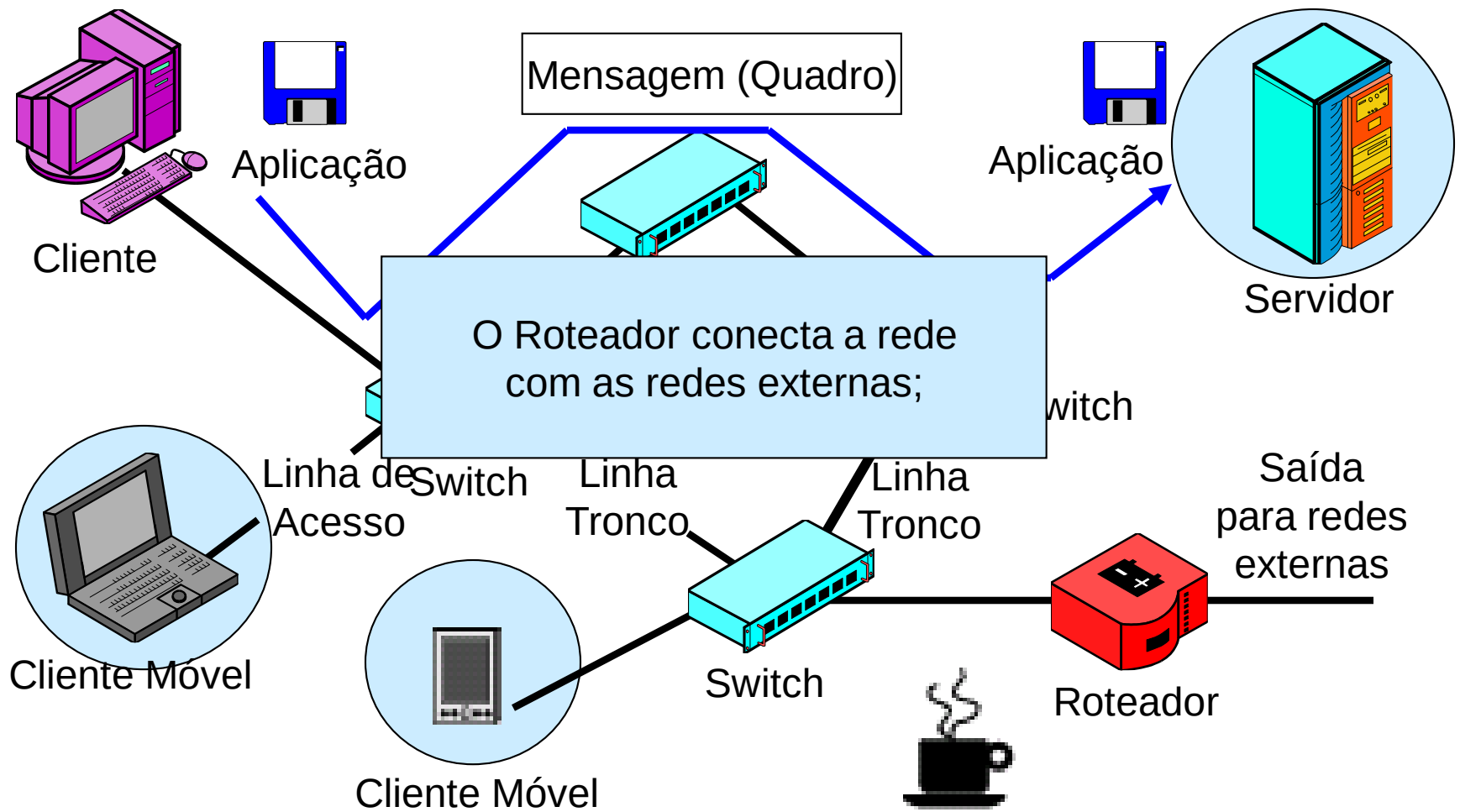


Switches Pequenos
(Empilhados):
Workgroup Switches
Para conectar estações a
Rede



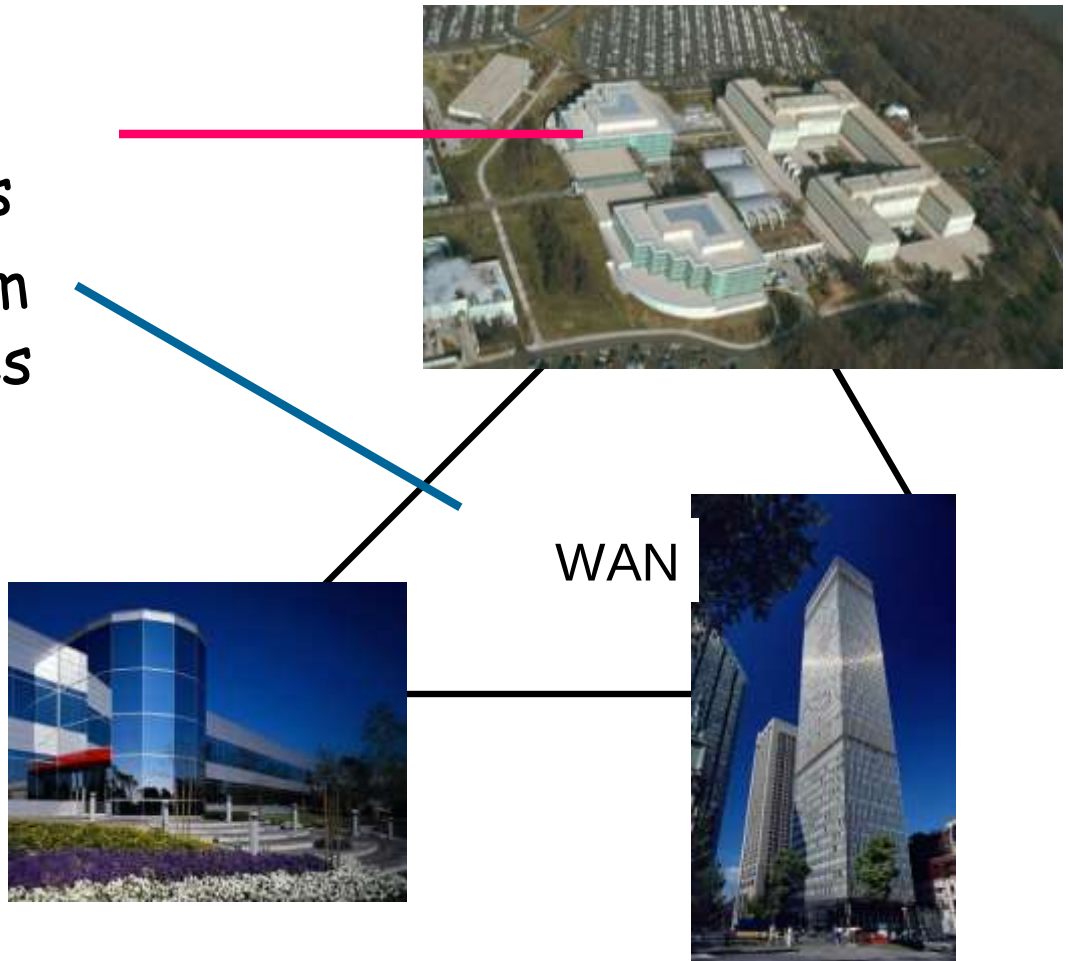
Central Core Switch

Elementos de uma Rede



LANs e WANs

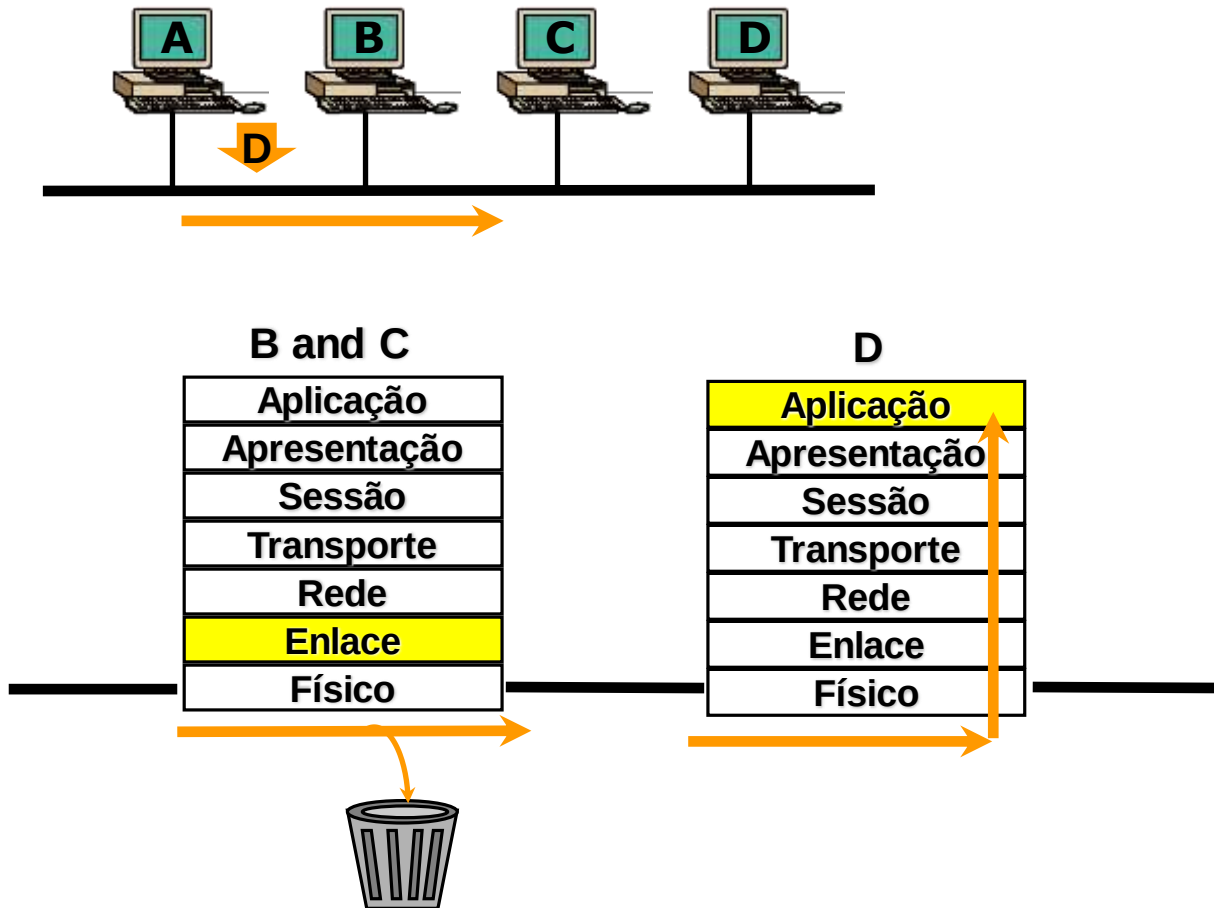
- ❑ LANs transmitem dados *dentro* de sites corporativos
- ❑ WANs transmitem dados *entre* sites corporativos



Topologias

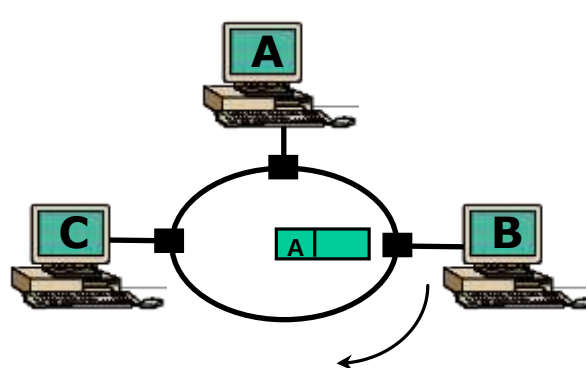
- ❑ Topologia em anel
- ❑ Topologia em barra
- ❑ Topologia em Estrela
- ❑ Topologia física vs. Lógica

► Topologia em Barramento

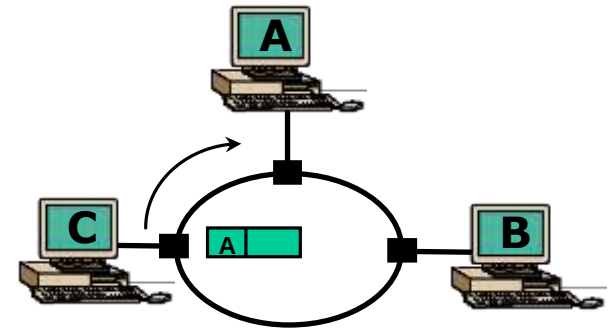


► Topologia em Anel

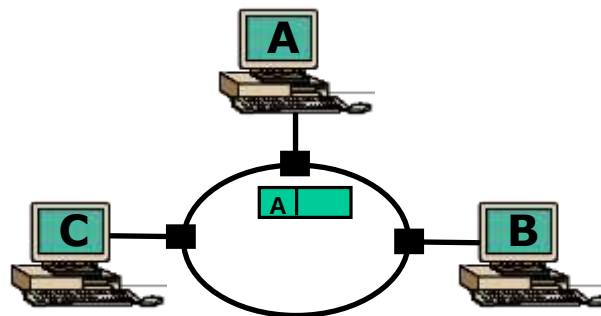
- ❑ Nós funcionam como repetidores
- ❑ Apenas o destino copia o frame para ele, todos os outros nós o descartam
- ❑ Enlace unidirecional



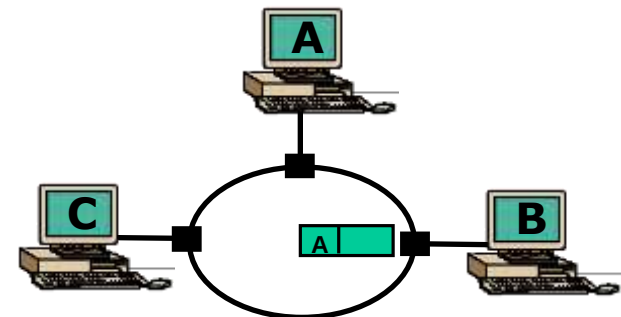
B transmite um frame endereçado a A



C ignora o frame



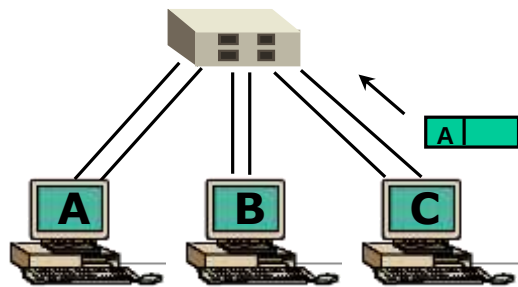
A copia o frame



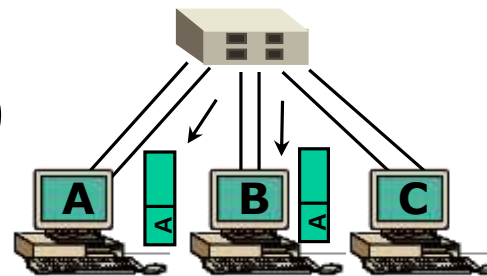
B retira o frame do anel

► Topologia em Estrela

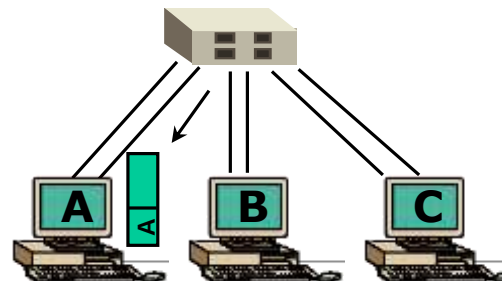
- ❑ Cada estação se conecta ao nó central
- ❑ Dois links ponto a ponto para transmitir e receber
- ❑ Duas alternativas de operação
 - Broadcast (difusão)
 - Switch (chaveamento)



C transmite frame endereçado a A



hub compartilhado difunde (broadcast) o pacote para todas as portas mas apenas o destino copia o frame



hub chaveia (switch) o pacote transmitido apenas para o destino

O que é a Internet: visão dos componentes



- milhões de dispositivos de computação conectados: **hospedeiros (hosts) = sistemas finais**

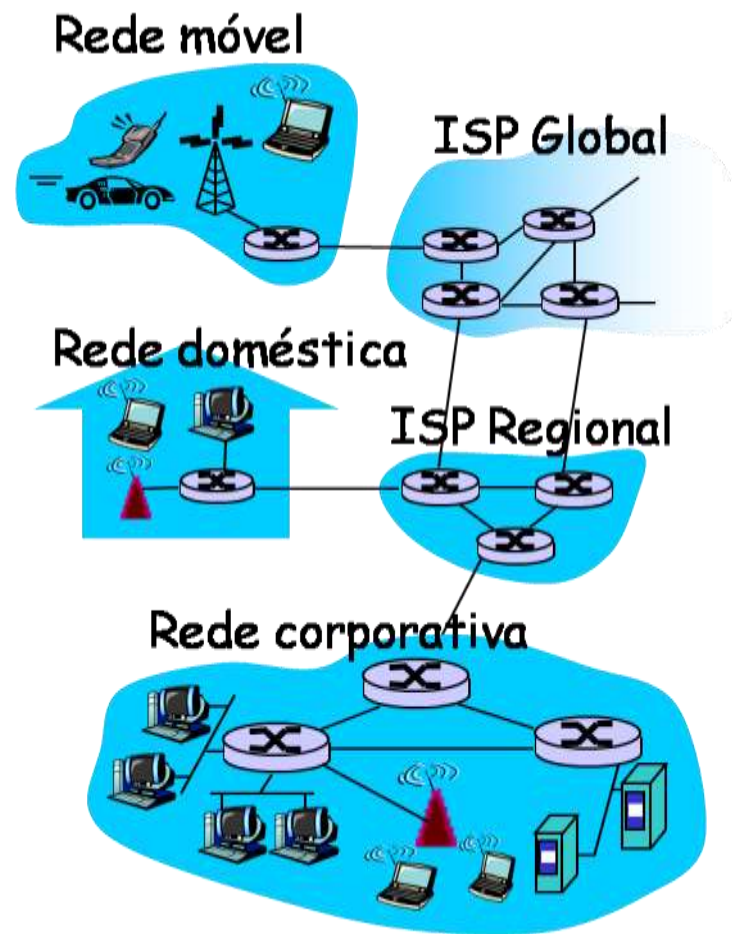
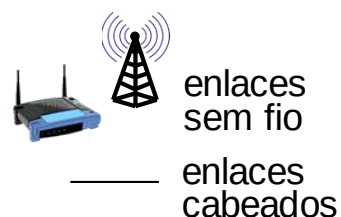
- rodando **aplicações de rede**

- enlaces (links) de comunicação**

- fibra, cobre, rádio, satélite
 - Taxa de transmissão = largura de banda (bandwidth)

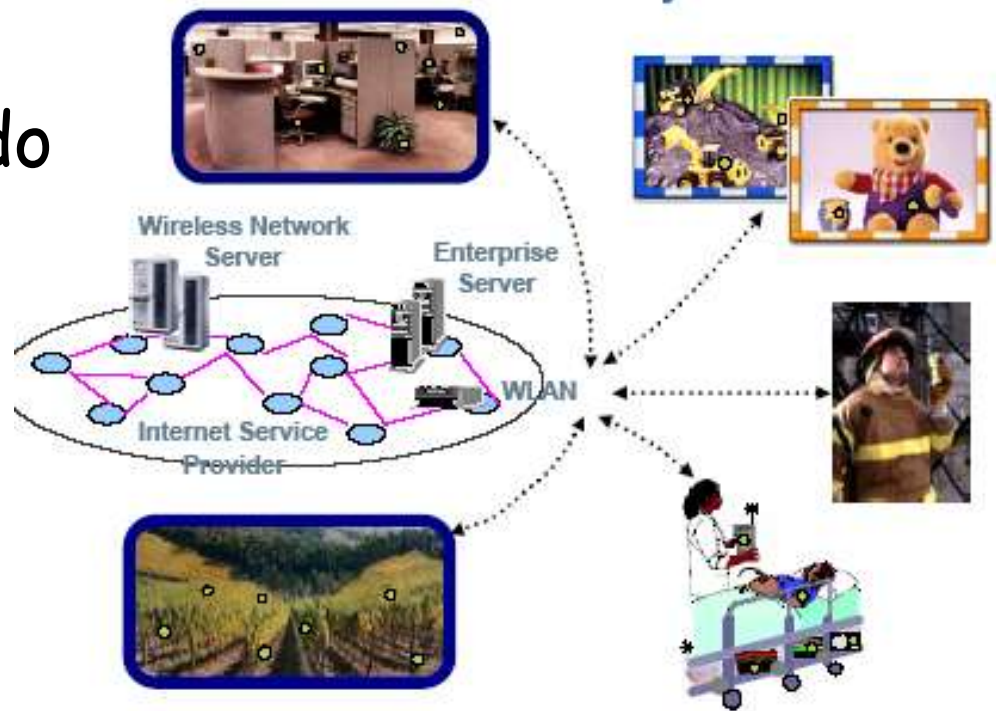
- Roteadores (comutadores de pacotes):** encaminham pacotes (pedaços de dados)

- Roteadores e switches**



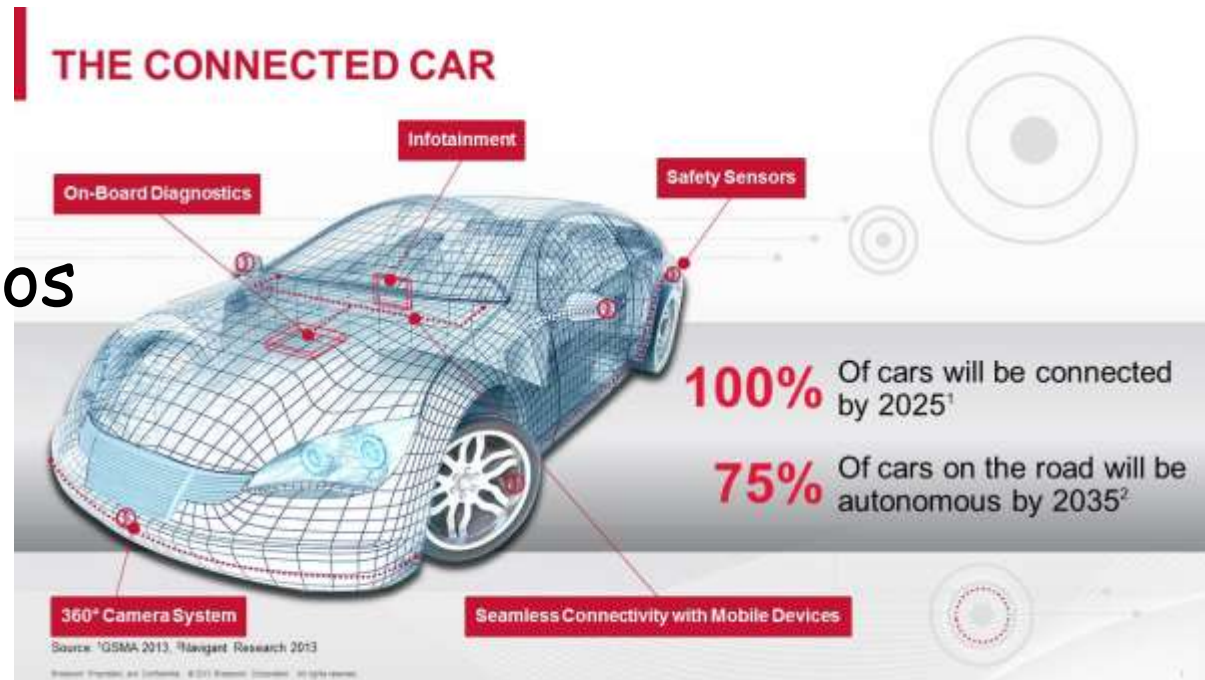
Redes de Sensores e Internet das Coisas (IoT)

- ❑ Comunicação sem fio interconectando dispositivos sensores-atuadores-processadores de baixo custo habilitando sensoriamento e atuação no mundo real



Redes Veiculares

- ❑ Redes Intraveiculares
- ❑ Ethernet em Automóveis
- ❑ V2V e V2I
- ❑ Carros Elétricos
- ❑ IoT



O que é a Internet: visão dos componentes

❑ *Internet: "rede de redes"*

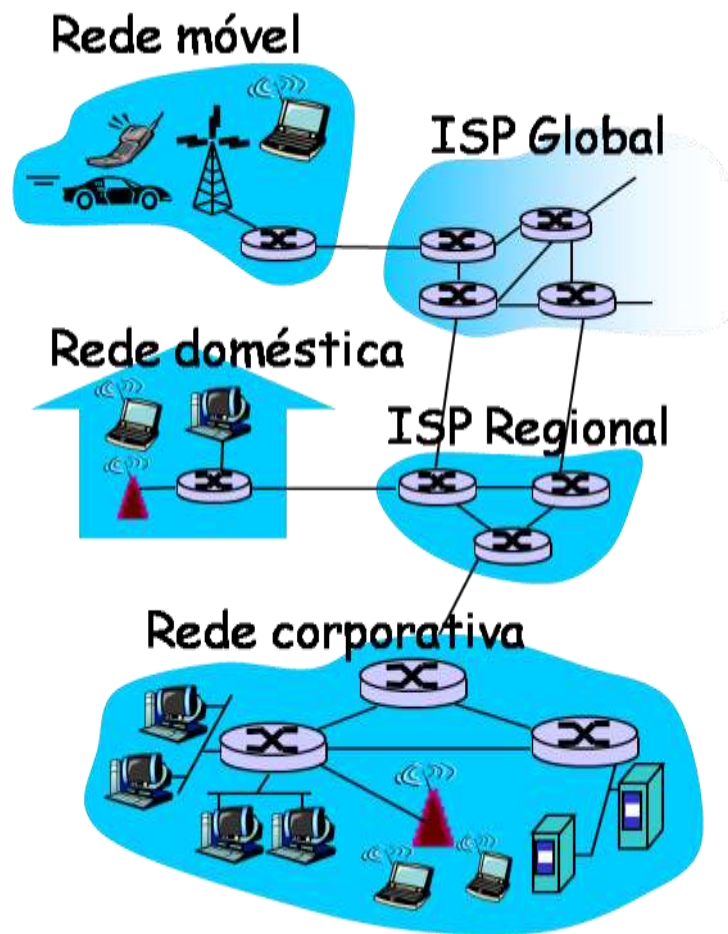
- livremente hierárquica
- ISPs interconectados

❑ *protocolos*: controlam o envio e o recebimento de mensagens

- ex., TCP, IP, HTTP, Skype, 802.11

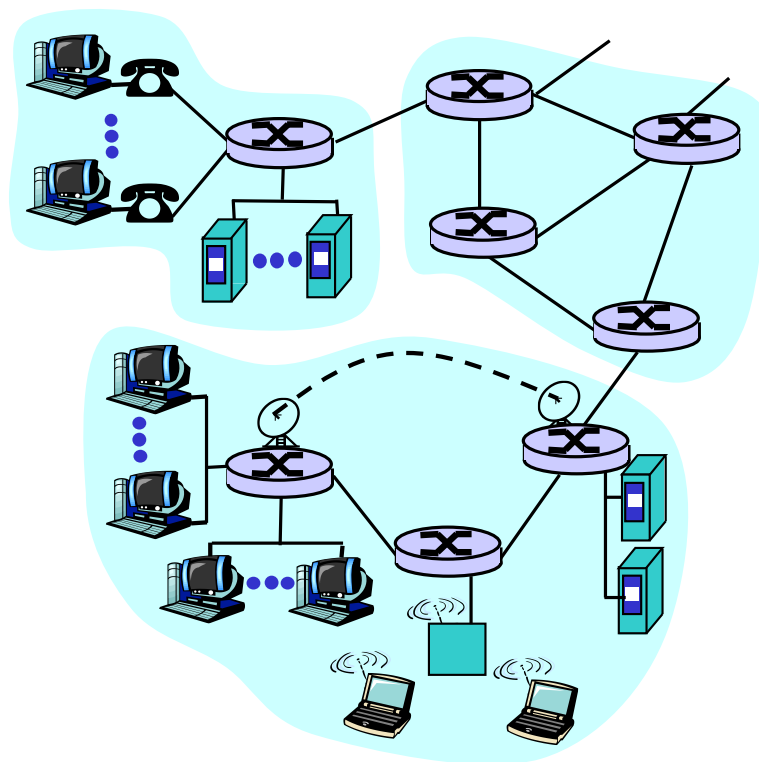
❑ Padrões Internet

- RFC: *Request for comments*
- IETF: *Internet Engineering Task Force*
- www.ietf.org



O que é a Internet: os serviços

- ❑ **Infraestrutura de comunicação:** possibilita aplicações distribuídas:
 - WWW, correio, jogos, comércio eletrônico, bases de dados, eleições,
 - outras?
- ❑ **serviços de comunicação oferecidos:**
 - Não confiável, sem conexão
 - Confiável, orientado a conexão



O que é um protocolo?

protocolos humanos:

- ❑ "que horas são?"
- ❑ "queria perguntar..."
- ❑ apresentações

... mensagens
específicas enviadas

... ações específicas
tomadas ao receber
mensagens, ou em
outros eventos

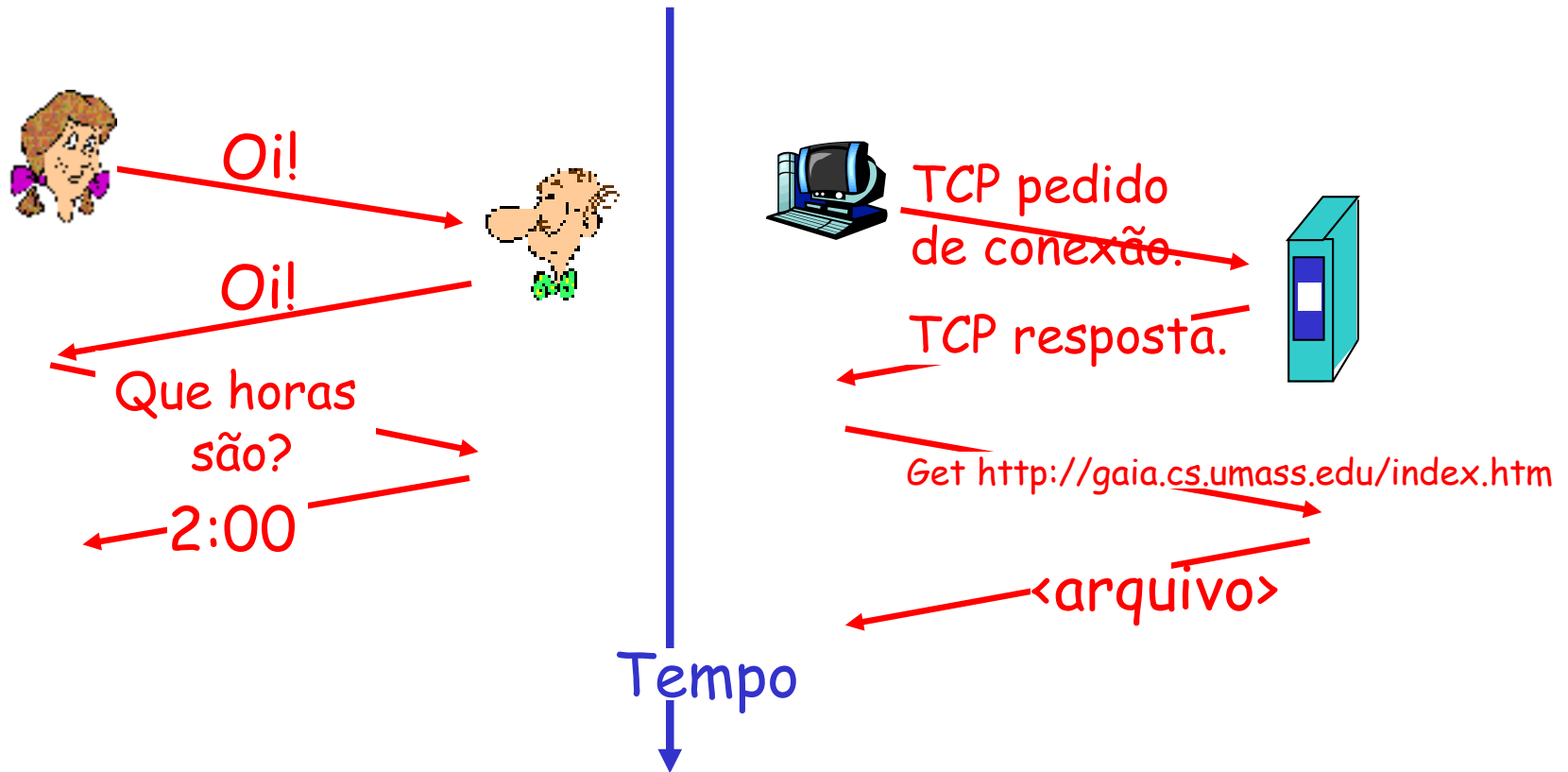
protocolos de rede:

- ❑ máquinas em vez de gente
- ❑ toda comunicação na Internet governada por protocolos

*protocolos definem **formato**,
ordem de mensagens
enviadas e recebidas
entre entidades de rede,
e **ações** tomadas ao enviar
ou receber uma mensagem*

O que é um protocolo?

Um protocolo humano e um protocolo de rede :

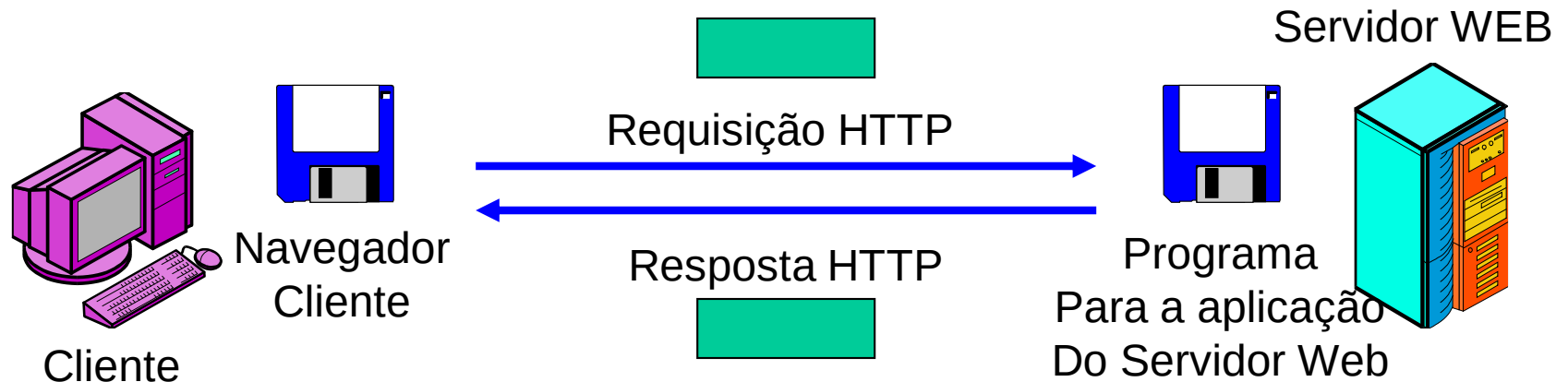


P: Outro protocolo humano?

Padrões

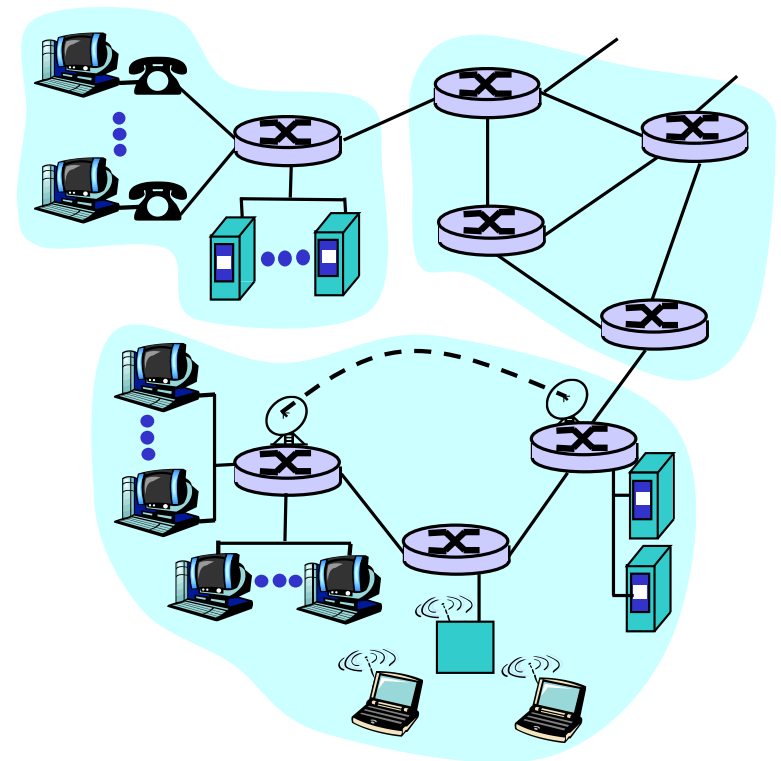
❑ Os padrões gerenciam as interações entre os pares de entidades

- Por Exemplo, HTTP requisita e responde mensagens para acesso WWW.



Detalhes sobre a estrutura da rede

- ❑ **Borda da rede:**
aplicações e hospedeiros
- ❑ **núcleo da rede:**
 - roteadores
 - rede de redes
- ❑ **redes de acesso, meios físicos:**
enlaces de comunicação



A borda da rede:

❑ sistemas terminais:

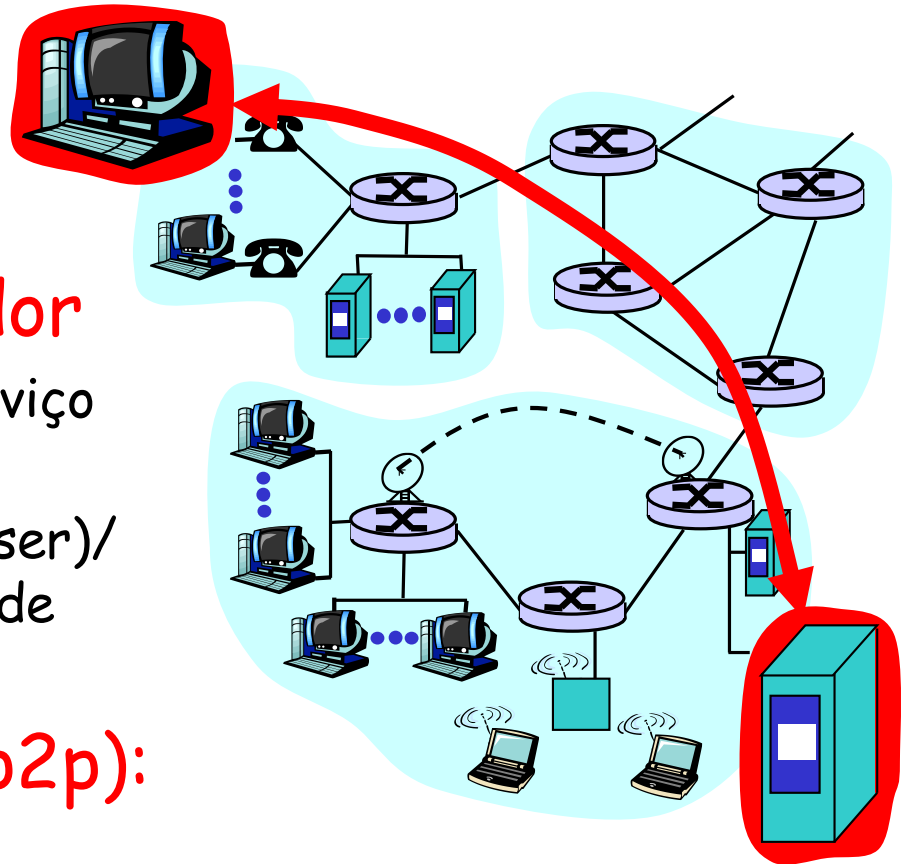
- executam aplicações
- p.ex. WWW, correio
- na "borda da rede"

❑ modelo cliente/servidor

- cliente solicita, recebe serviço do servidor
- p.ex., cliente WWW (browser)/servidor; cliente/servidor de correio

❑ modelo entre pares (p2p):

- interação simétrica
- p.ex.: teleconferências



Borda da rede: serviço orientado à conexão

Meta: transferência de dados entre sistemas

- ❑ "handshaking":
preparação para iniciar transferência
 - protocolo humano: "Oi!", "Oi!"
 - *criar "estado"* em 2 sistemas em comunicação
- ❑ TCP - Transmission Control Protocol
 - serviço orientado à conexão da Internet

serviço TCP [RFC 793]

- ❑ *transf. dados: fluxo de bytes ordenado, confiável*
 - perdas: reconhecimentos e retransmissões
- ❑ *controle de fluxo:*
 - remetente não vai "afogar" o receptor
- ❑ *controle de congestionamento:*
 - remetentes "reduzem a taxa de envio" quando rede congestionada

Borda da rede: serviço sem conexão

Meta: transferência de dados entre sistemas

- mesma que antes!

❑ **UDP** - User Datagram Protocol [RFC 768]:
serviço sem conexão da Internet

- transf. de dados não confiável
- sem controle de fluxo
- sem controle de congestionamento

Aplics. usando TCP:

- ❑ HTTP (WWW), FTP (transf. de arquivo), Telnet (acesso remoto), SMTP (correio)

Aplics. usando UDP:

- ❑ mídia com "streaming", teleconferências, telefonia pela Internet

Uma olhada mais de perto na estrutura da rede:

❑ Borda da rede:

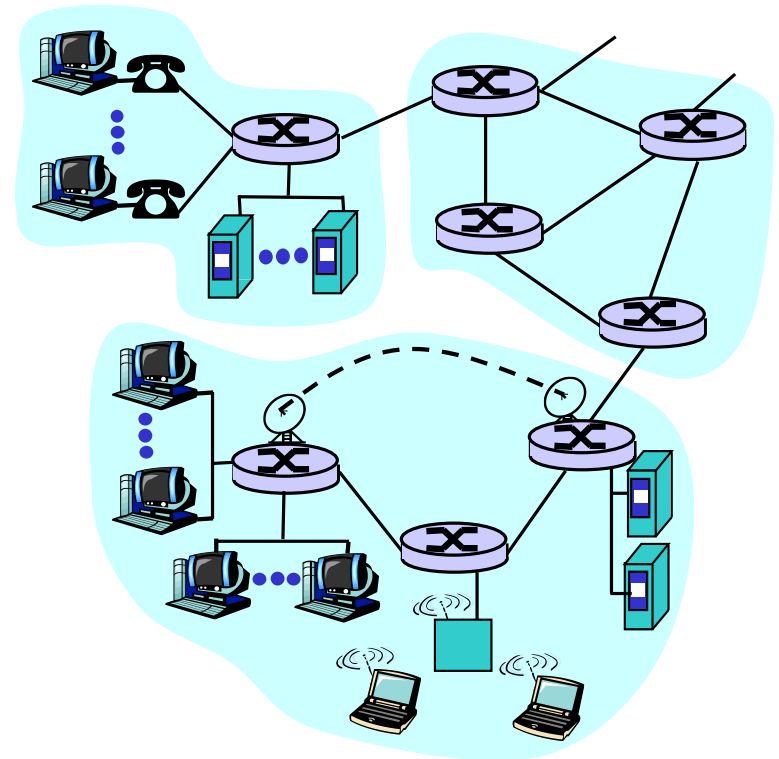
- hospedeiros (hosts)/sistemas finais: clientes e servidores
- Servidores frequentemente em Data Centers

❑ redes de acesso, meio físico:

- enlaces de comunicação cabeados e sem fio

❑ núcleo da rede:

- Roteadores interconectados
- rede de redes



Unidades usadas na Transmissão de Dados

Prefix Name	Prefix Symbol	Factor	
		SI	Computer Storage
tera	T	10^{12}	2^{40}
giga	G	10^9	$2^{30} = 1,073,741,824$
mega	M	10^6	$2^{20} = 1,048,576$
kilo	k	10^3	$2^{10} = 1024$
milli	m	10^{-3}	
micro	μ	10^{-6}	
nano	n	10^{-9}	

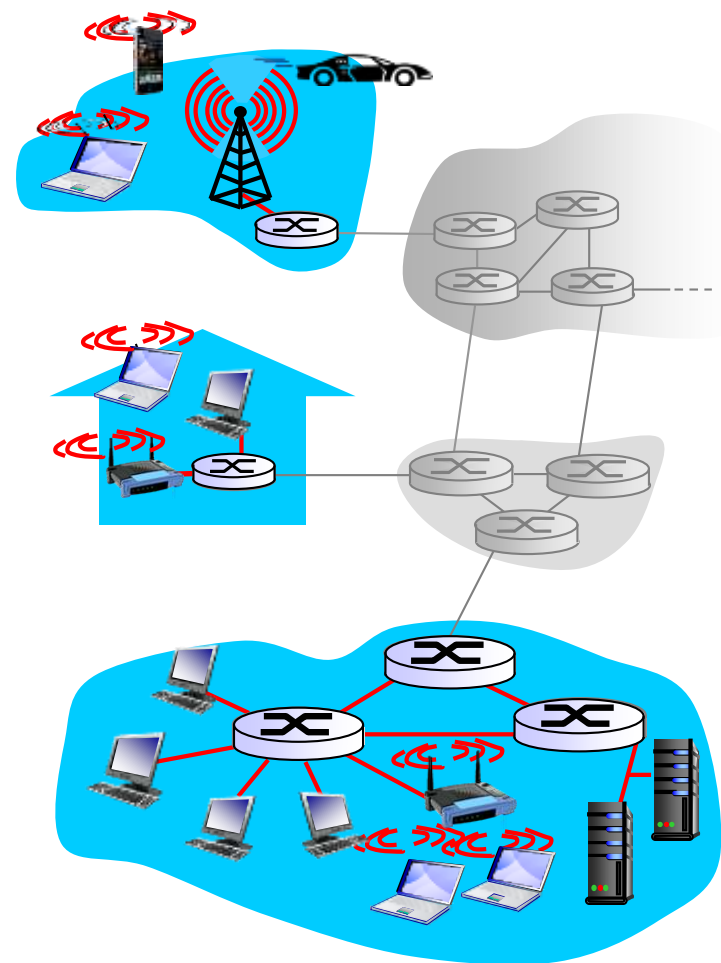
Redes de acesso e meios físicos

P: Como conectar os sistemas finais aos roteadores de borda?

- ❑ redes de acesso residencial
- ❑ redes de acesso corporativo (escola, empresa)
- ❑ redes de acesso sem fio

Questões a serem consideradas:

- ❑ largura de banda (bits por segundo) da rede de acesso.
- ❑ compartilhada ou dedicada?

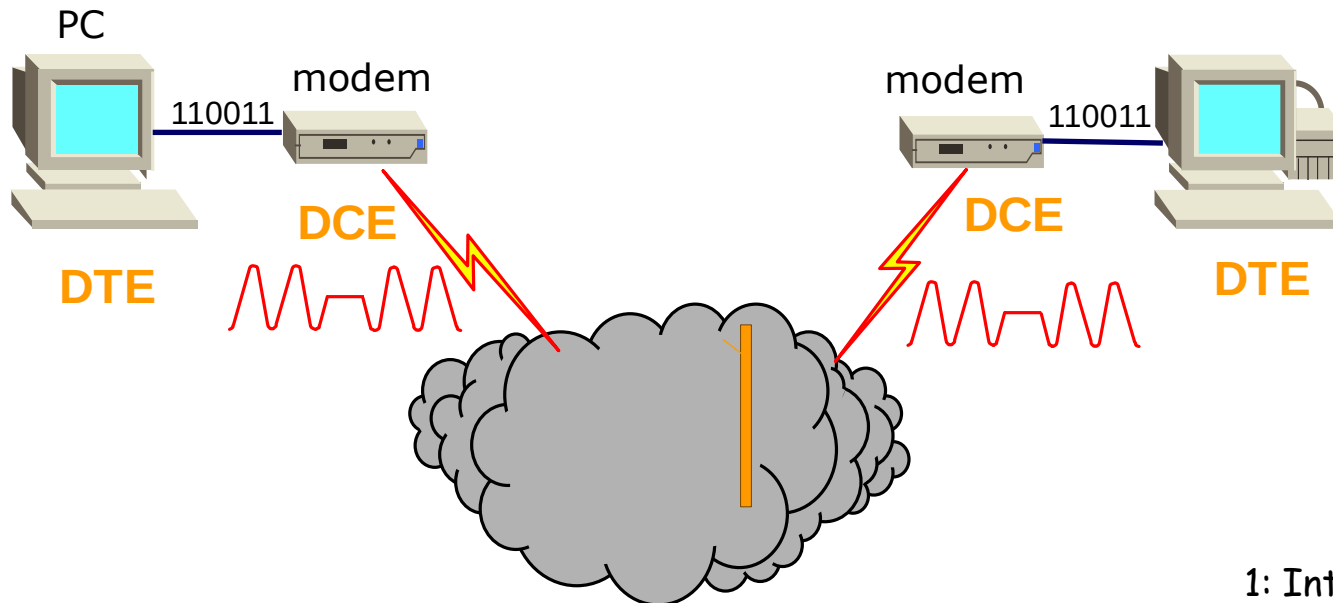


Acesso residencial: redes ponto-a-ponto

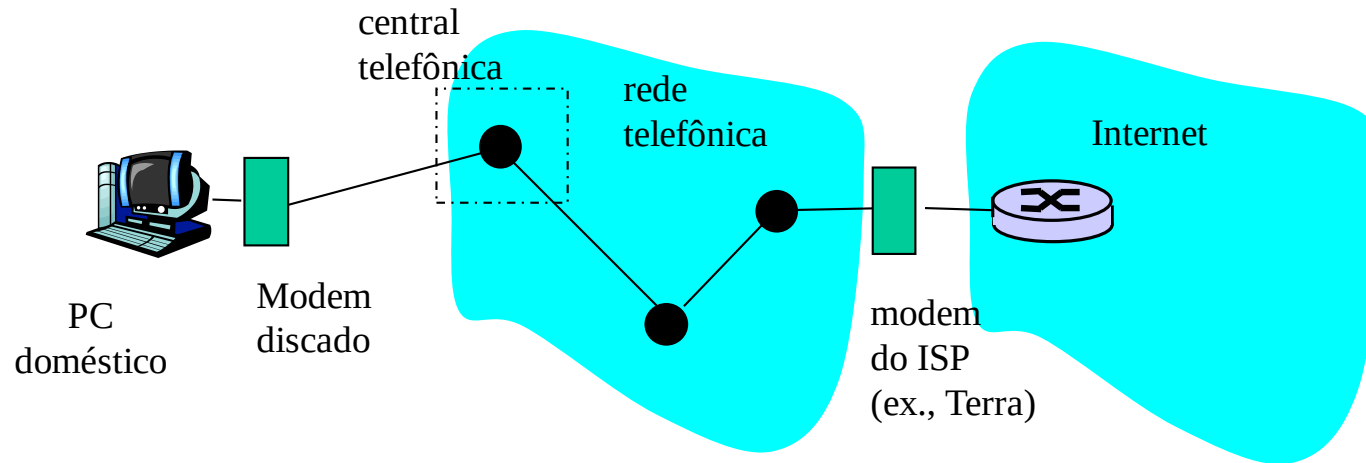
- ❑ **Modem discado**
 - até 56kbps com acesso direto ao roteador

Modulação/Demodulação

- ❑ DTE - Data Terminal Equipment
- ❑ DCE - Data Communication Equipment

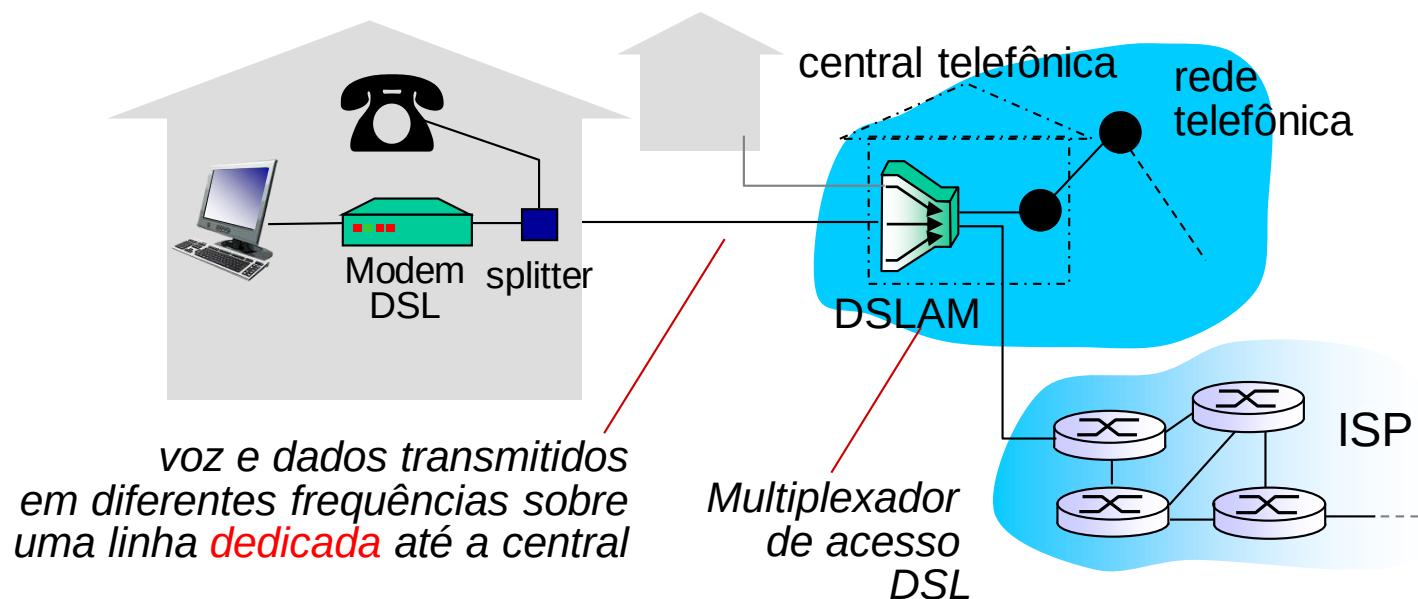


Acesso discado



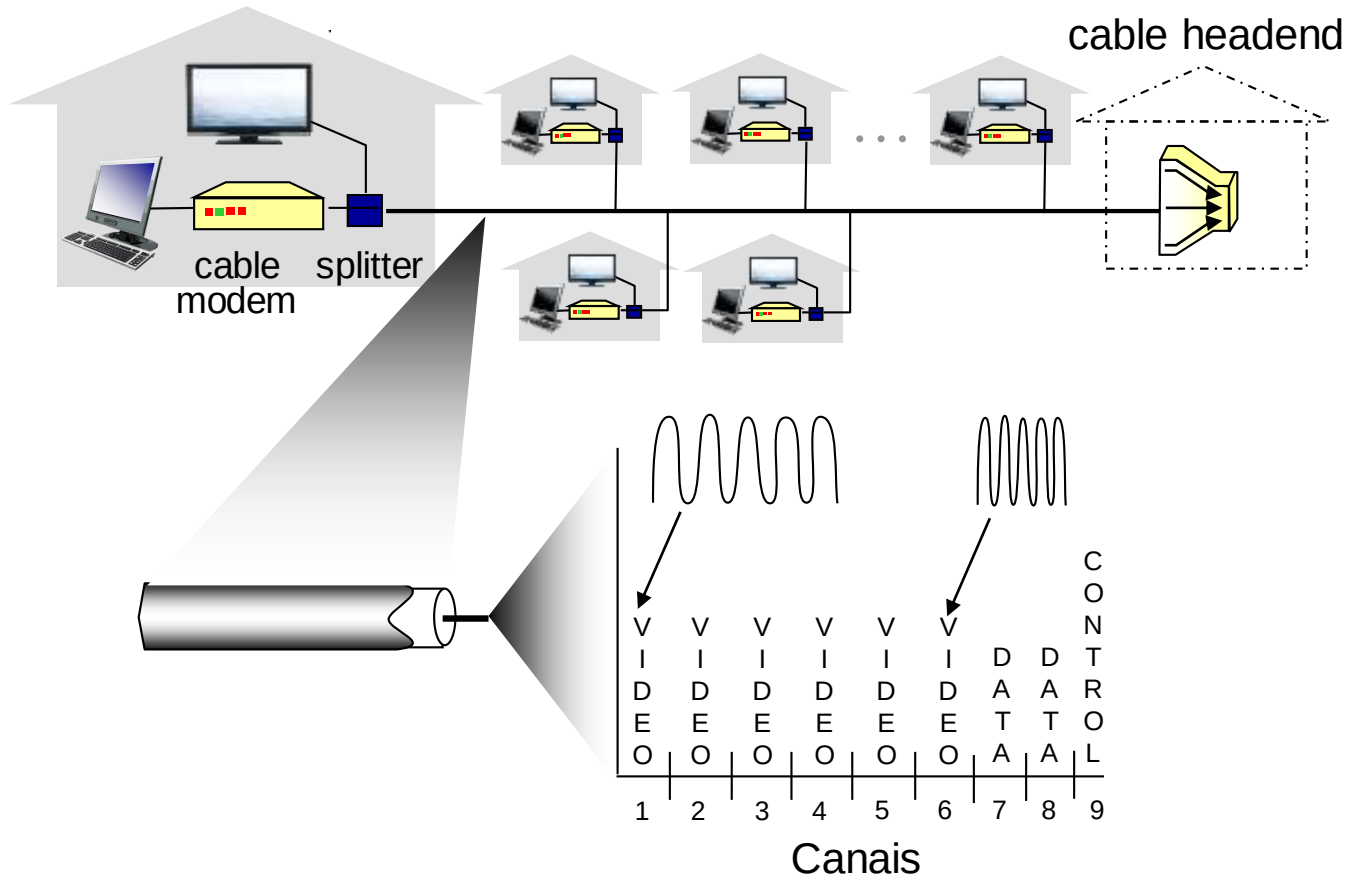
- ❑ Usa a infraestrutura existente de telefonia
 - Residência está conectada à **central telefônica**
- ❑ Até 56kbps de acesso direto ao roteador (frequentemente menos)
- ❑ Não dá para navegar e usar o telefone ao mesmo tempo: não está **"sempre conectado"**

Rede de acesso: DSL (Digital Subscriber Line)



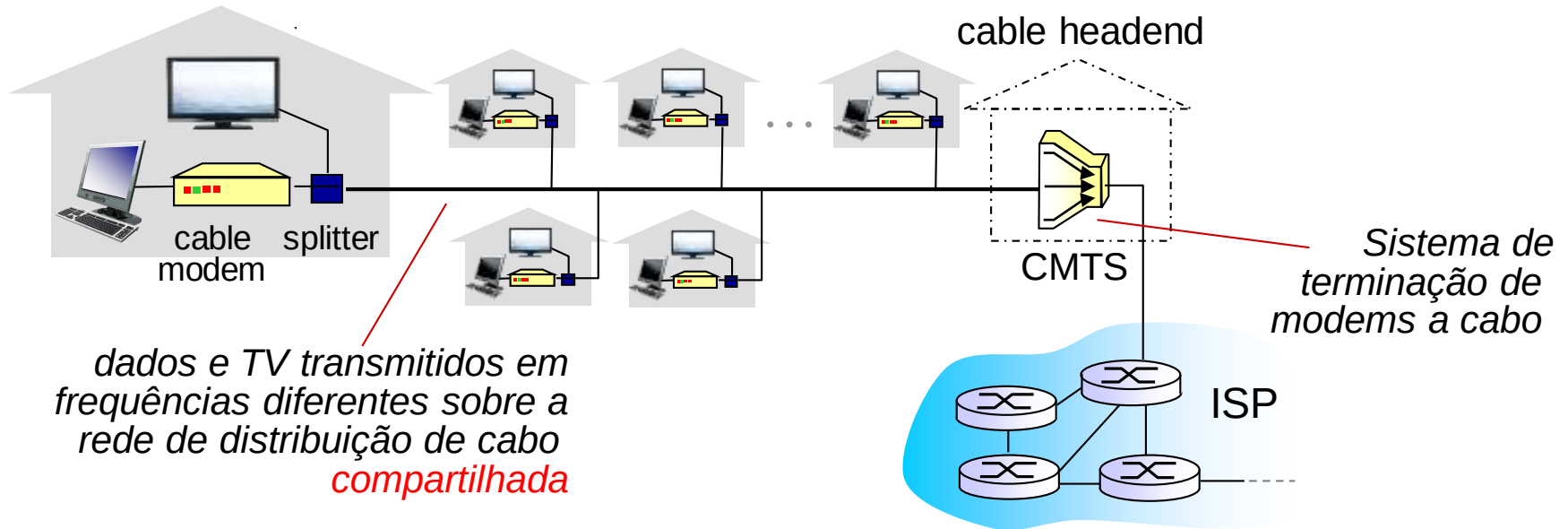
- ❑ usa a linha telefônica **existente** até o DSLAM na central telefônica
 - dados vão para a Internet através da linha telefônica DSL
 - voz vai para a rede telefônica através da linha telefônica DSL
- ❑ até 2,5 Mbps de subida (tipicamente < 1 Mbps)
- ❑ até 24 Mbps de descida (tipicamente < 10 Mbps)

Redes de Acesso: Tv a cabo



multiplexação por divisão de frequência: canais diferentes são transmitidos em diferentes faixas de frequência

Redes de Acesso: Tv a cabo



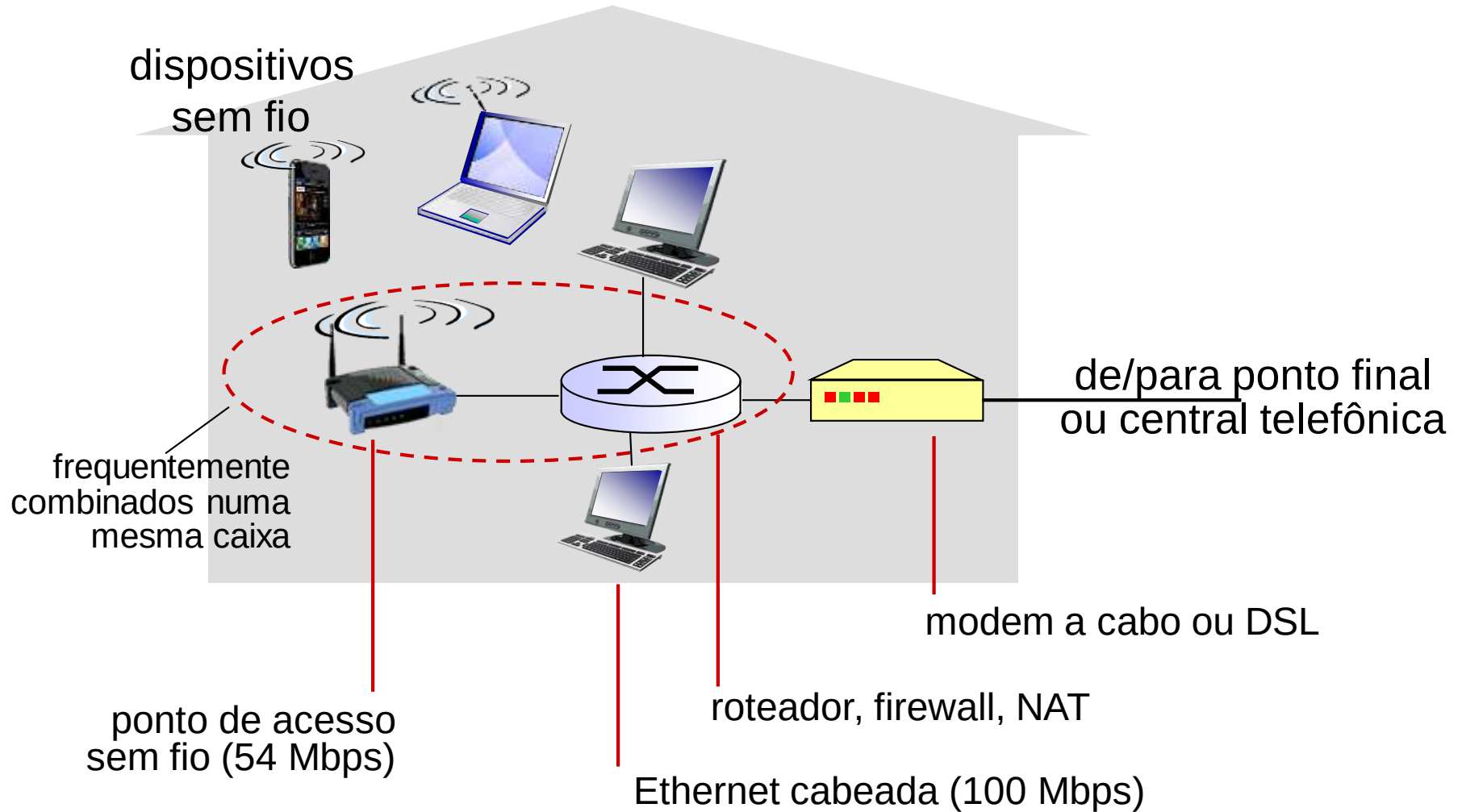
❑ HFC: híbrido coaxial/fibra

- assimétrico: até 30Mbps descida (*downstream*), 2 Mbps subida (*upstream*).

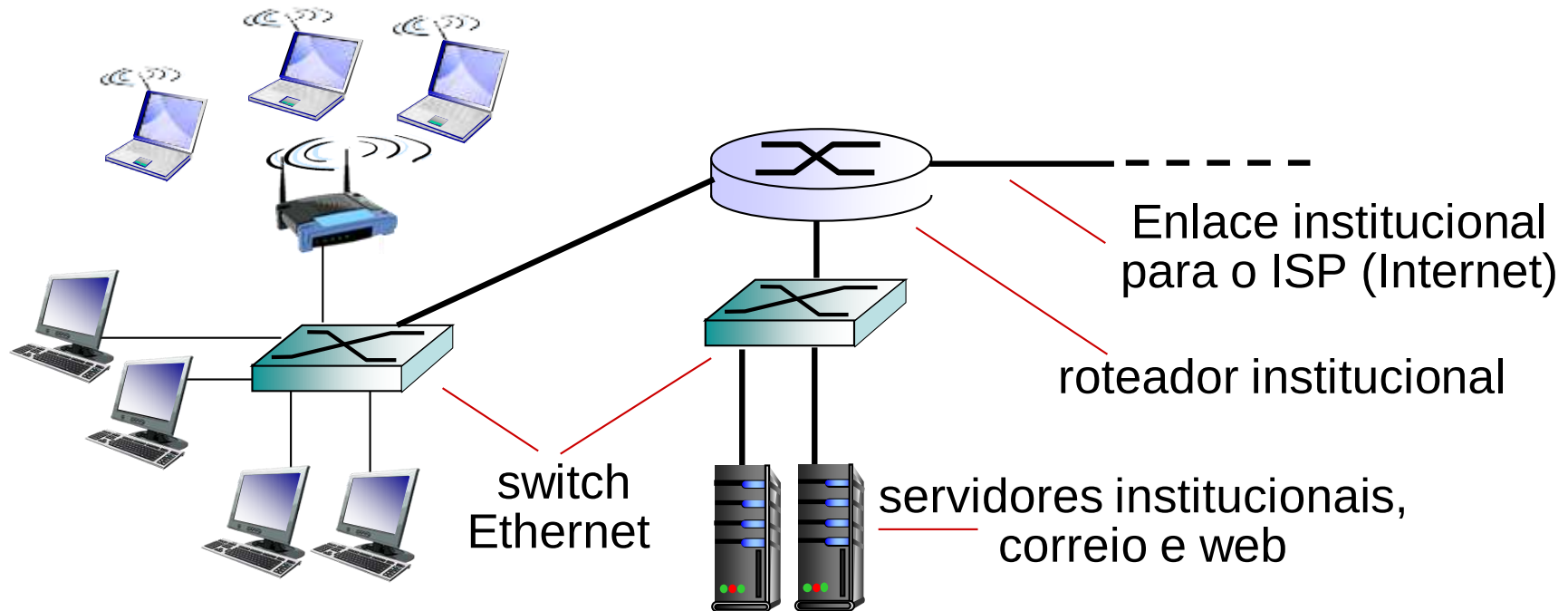
❑ rede de cabos e fibra conectam as residências ao roteador do ISP

- **acesso compartilhado** das residências ao roteador
- ao contrário do DSL, que tem **acesso dedicado**

Redes de acesso: rede doméstica



Redes de acesso corporativas (Ethernet)



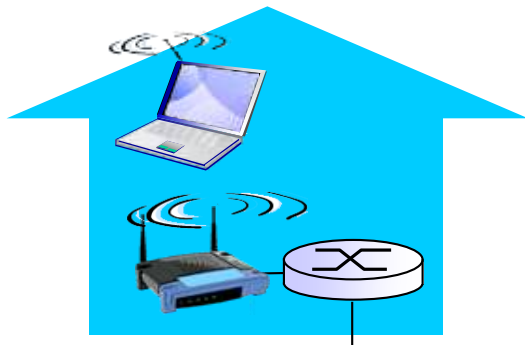
- ❑ Usado tipicamente em empresas, universidades, etc.
- ❑ Ethernet de 10Mbps, 100Mbps, 1Gbps e 10Gbps
- ❑ Hoje, tipicamente os sistemas terminais se conectam a switches Ethernet

Redes de acesso sem fio (wireless)

- ❑ rede de acesso compartilhado *sem fio* conecta o sistema final ao roteador
 - Via estação base = "ponto de acesso" sem fio

LANs sem fio:

- dentro de um edifício (200 m)
- 802.11b/g (WiFi): taxas de transmissão de 11, 54 Mbps



para a Internet

acesso sem fio de longa distância

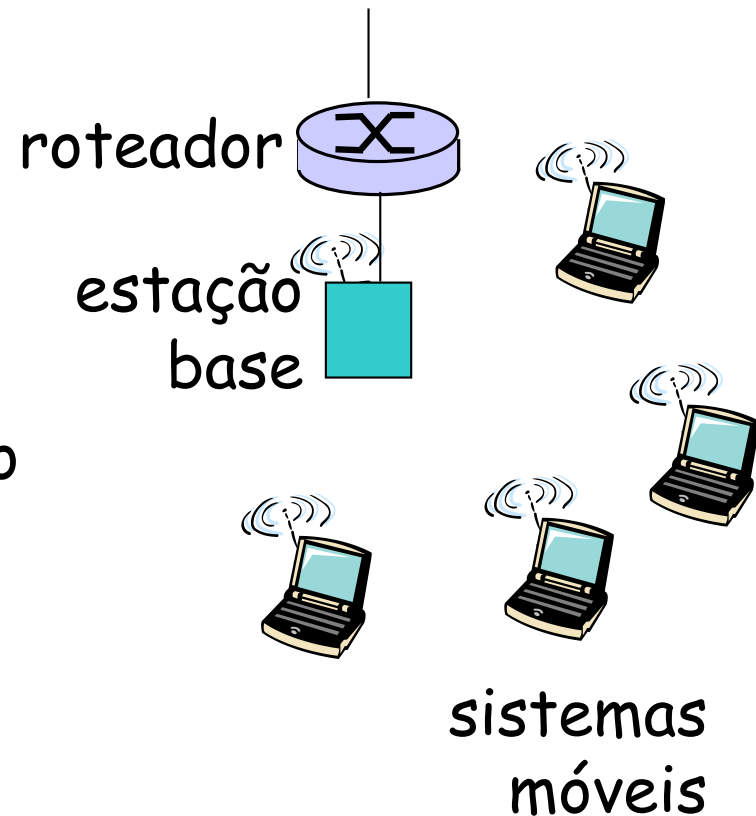
- provido por uma operadora (celular), 10's km
- entre 1 e 10 Mbps
- 3G, 4G: LTE



para a Internet

Redes de acesso sem fio

- acesso sem fio compartilhado conecta sistemas finais ao roteador de acesso
- **redes locais sem fio:**
 - espectro de rádio substitui cabo
 - p.ex., 802.11 (Wi-Fi) 11, 54 e 300Mbps
 - Modos ad hoc e infraestruturado
- **acesso sem fio não local**
 - Metropolitano: 802.16 (WiMax)
 - WWAN: acesso sem fio ao roteador do provedor via rede de telefonia celular

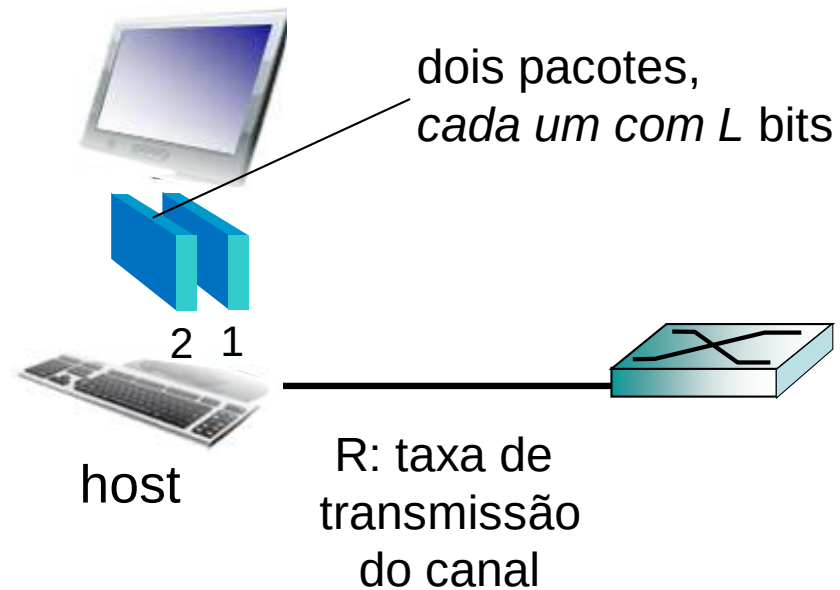


- ❑ *Worldwide Interoperability for Microwave Access*
- ❑ Padrão IEEE 802.16d-2004
 - Distâncias de 16 km
 - Taxas de até 75 Mbps
- ❑ Padrão IEEE 802.16e-2005 (WiMax Móvel)
- ❑ Padrão IEEE 802.16m-2011
 - Distâncias: 3 km, 5-30 km e 30-100 km
 - Taxas: 100 Mbps (estações móveis), 1 Gbps (fixas)
- ❑ www.wimaxforum.org

Hospedeiro: envia pacotes de dados

função de transmissão do hospedeiro:

- ? pega msg da aplicação
- ? quebra em pequenos pedaços, conhecidos como *pacotes*, com L bits de comprimento
- ? transmite o pacote pela rede de acesso a uma *taxa de transmissão* R
 - ? taxa de transmissão do canal, ou *capacidade* do canal, ou *largura de banda do canal*



$$\begin{array}{l} \text{atraso de} \\ \text{transmissão} \\ \text{do pacote} \end{array} = \begin{array}{l} \text{tempo necessário} \\ \text{para transmitir um} \\ \text{pacote de } L \text{ bits} \\ \text{no canal} \end{array} = \frac{L \text{ (bits)}}{R \text{ (bits/sec)}}$$

Meios Físicos

- ❑ **Bit:** Propaga-se entre o transmissor e o receptor
- ❑ **enlace físico:** o que está entre o transmissor e o receptor
- ❑ **meios guiados:**
 - os sinais se propagam em meios sólidos: cobre, fibra, cabo coaxial
- ❑ **meios não guiados:**
 - os sinais se propagam livremente, ex. rádio



par trançado (TP - Twisted Pair)

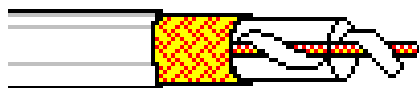
- ❑ dois fios de cobre isolados
 - Categoria 5: 100Mbps e 1 Gbps Ethernet
 - Categoria 6: 10 Gbps
 - Categoria 8: 40 Gbps



Meios físicos: cabo coaxial, fibra

Cabo coaxial:

- ❑ fio (transporta o sinal) dentro de outro fio (blindagem)
- ❑ bidirecional
- ❑ banda larga (*broadband*):
 - ❑ múltiplos canais num cabo
 - ❑ HFC



Cabo de fibra óptica:

- r fibra de vidro transporta pulsos de luz
- r opera em alta velocidade:
 - m transmissão ponto a ponto de alta velocidade (ex., 10' s a 100' s Gbps)
- r baixa taxa de erros:
 - r repetidores mais afastados;
 - r imune a ruído eletromagnético



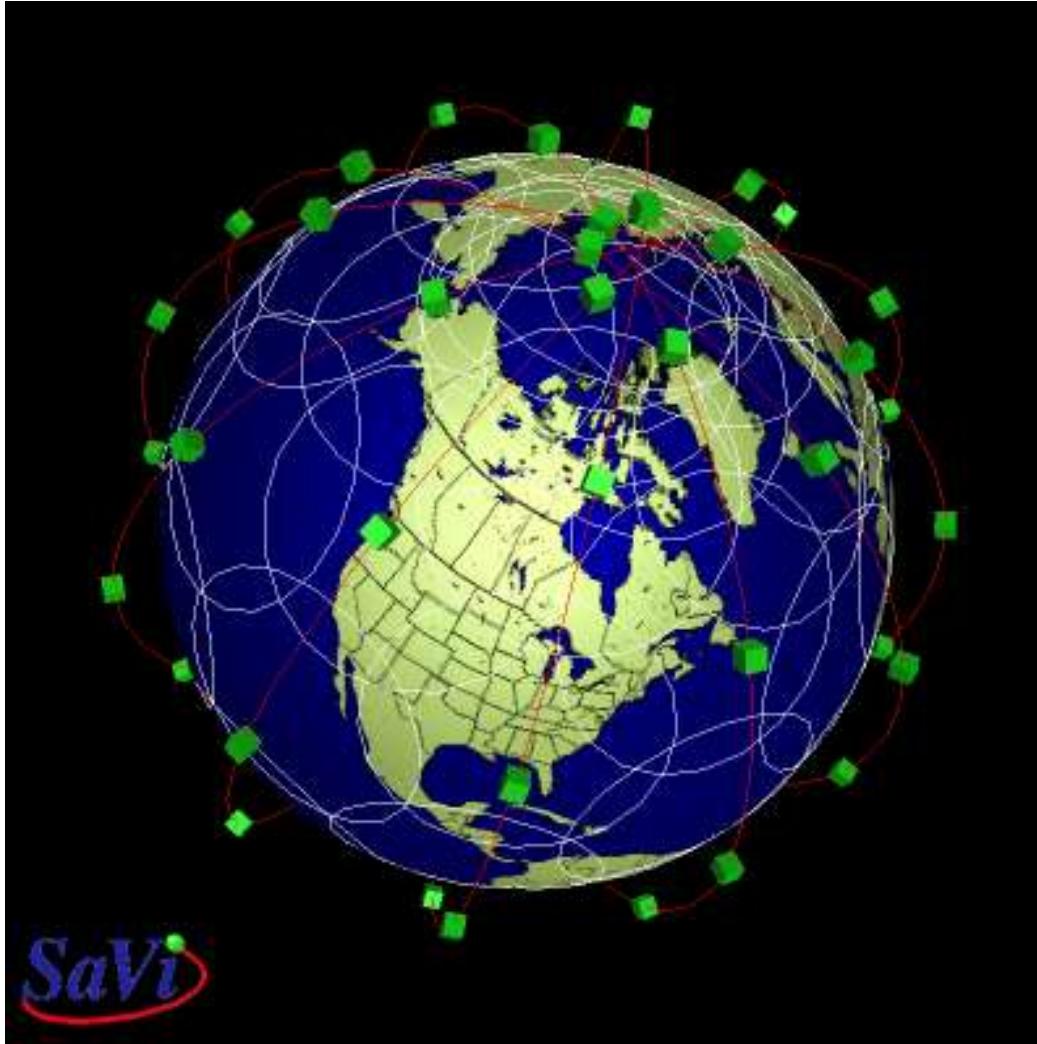
Meios físicos: rádio

- ❑ sinal transportado em ondas eletromagnéticas
- ❑ não há "fio" físico
- ❑ bidirecional
- ❑ efeitos do ambiente de propagação:
 - reflexão
 - obstrução por objetos
 - interferência

Tipos de enlaces de rádio:

- ❑ **microondas**
 - ex.: canais de até 45 Mbps
- ❑ **LAN** (ex., Wifi)
 - 11Mbps, 54 Mbps
- ❑ **longa distância** (ex., celular)
 - ex. 3G, ~ 1 Mbps
- ❑ **satélite**
 - canal de até 50Mbps (ou múltiplos canais menores)
 - atraso de propagação de 270 msec (fim-a-fim)
 - geoestacionários versus de baixa altitude (LEOS)

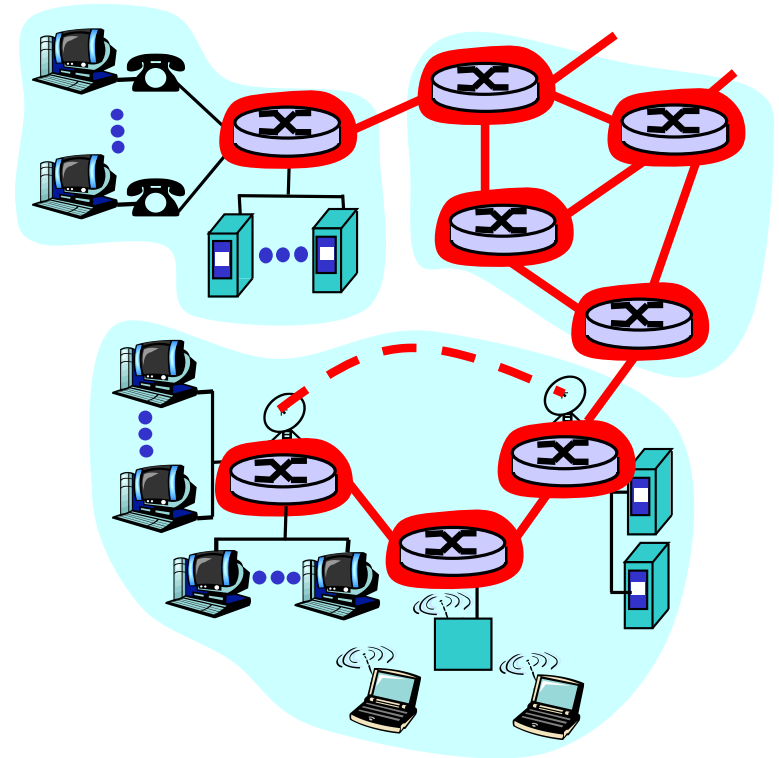
Meios Físicos: Satélites de Baixa Órbita - Iridium



- ❑ Projeto original:
 - 77 satélites
 - No. atômico do Irídio
- ❑ Projeto implementado:
 - 66 satélites
 - No. atômico do **Disprósio!!!**

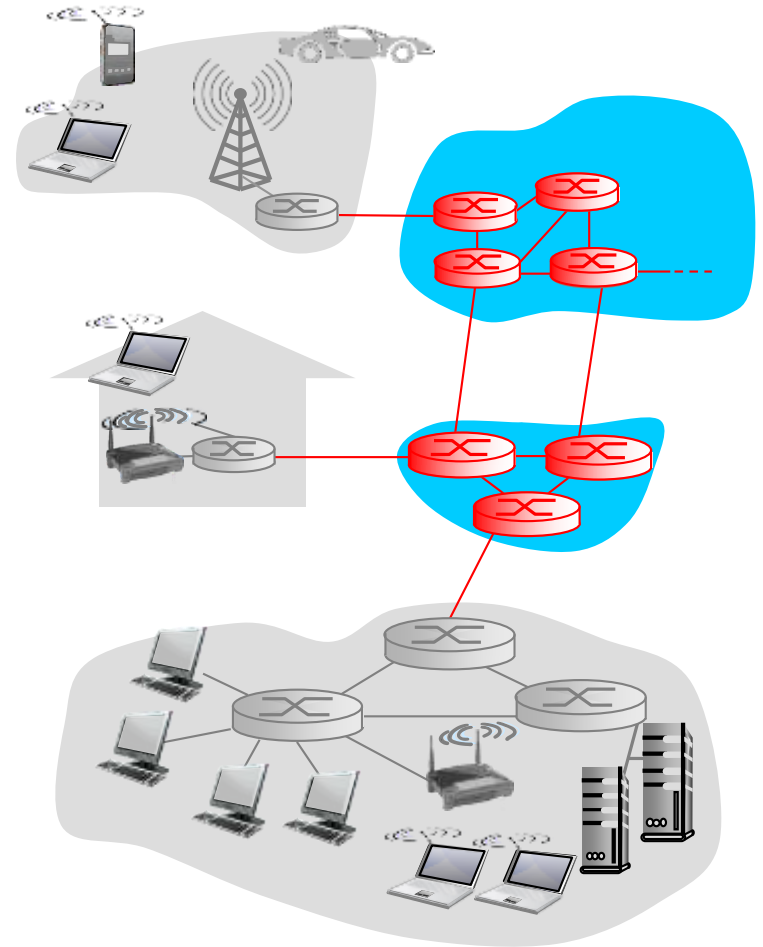
Núcleo da Rede

- ❑ malha conexa de roteadores
- ❑ a questão fundamental: como se transferem dados através da rede?
 - **comutação de circuitos:** circuito dedicado por chamada: rede de telefonia
 - **comutação de pacotes:** dados enviados pela rede em quantias discretas

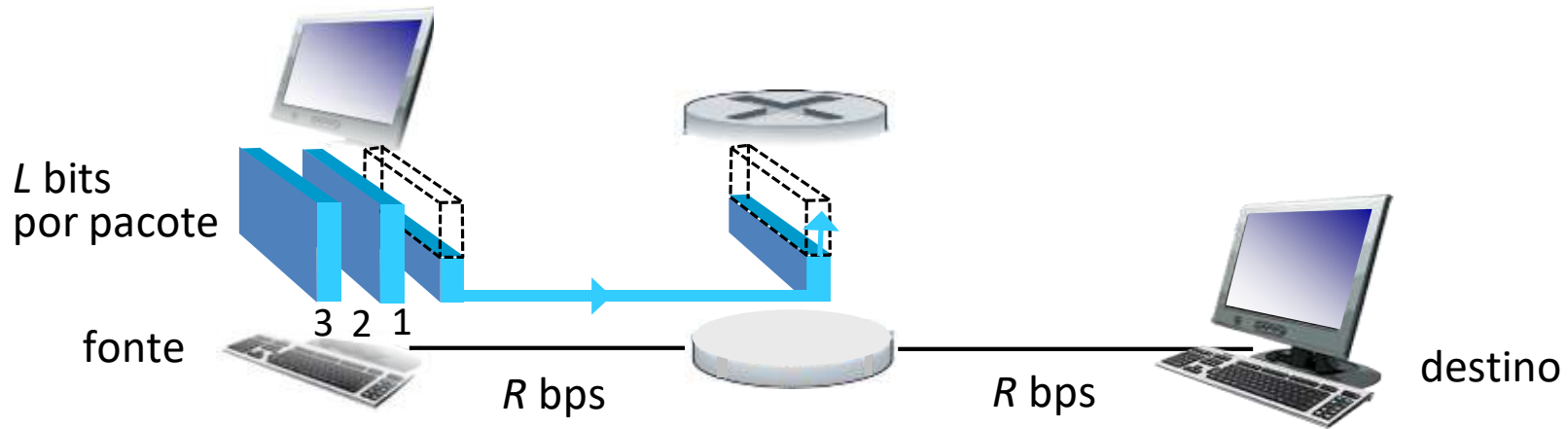


O Núcleo da Rede

- ❑ Malha de roteadores interconectados
- ❑ **comutação de pacotes:**
hospedeiros quebram mensagens da camada de aplicação em pacotes
 - Repassa os pacotes de um roteador para o próximo, através de enlaces no caminho da origem até o destino
 - cada pacote é transmitido na capacidade máxima do enlace.



Comutação de pacotes: armazena e repassa



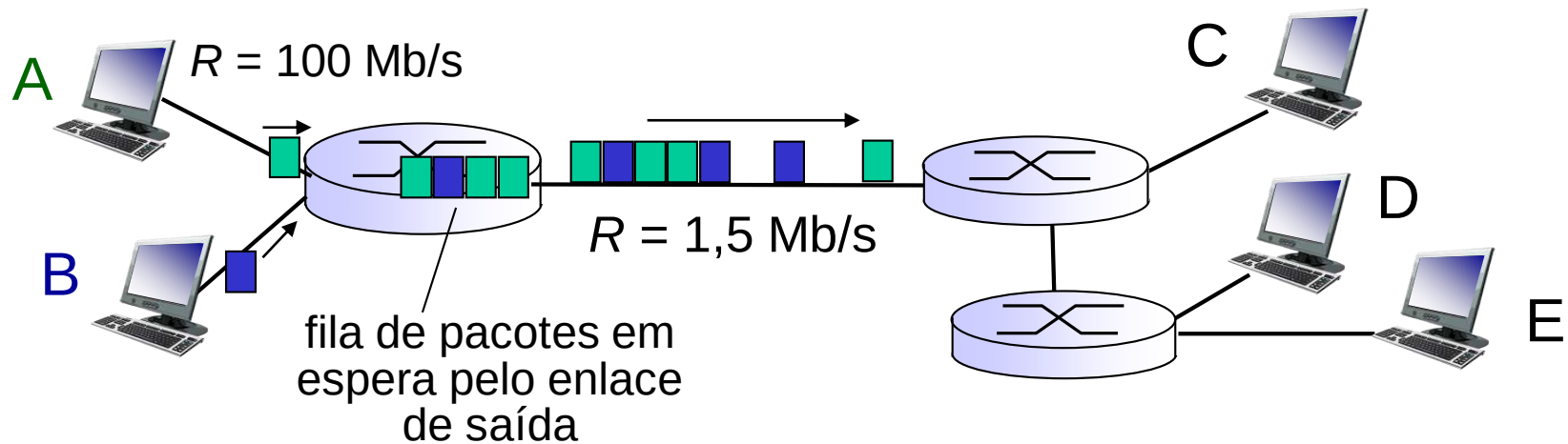
- leva L/R seg para transmitir (botar para fora) um pacote de L -bits num enlace a R bps
- **armazena e repassa:** todo o pacote deve chegar ao roteador antes que possa ser transmitido no próximo enlace
- ❖ atraso fim-a-fim = $2L/R$ (desprezando o atraso de propagação)

exemplo numérico para um salto/etapa:

- $L = 7,5$ Mbits
- $R = 1,5$ Mbps
- atraso de transmissão em um salto = 5 seg

} mais sobre atrasos em breve...

Comutação de pacotes: atraso de enfileiramento, perdas



enfileiramento e perdas:

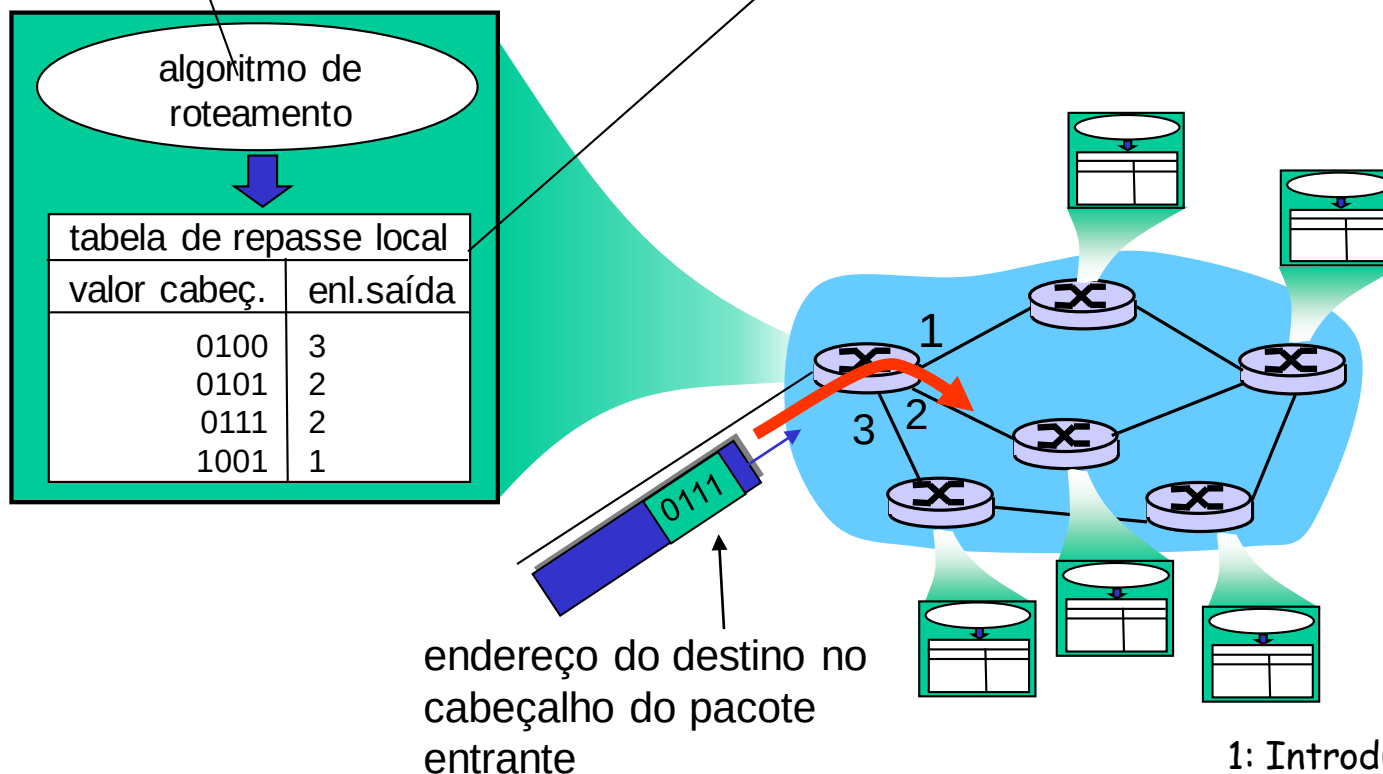
- ❖ Se a taxa de chegadas (em bits) no enlace exceder a taxa de transmissão do canal num certo intervalo de tempo:
 - pacotes irão enfileirar, esperar para serem transmitidos no enlace
 - pacotes poderão ser descartados (perdidos) se a memória (buffer) encher

Duas funções chave do núcleo da rede

roteamento: determina a rota origem-destino tomada pelos pacotes

- *algoritmos de roteamento*

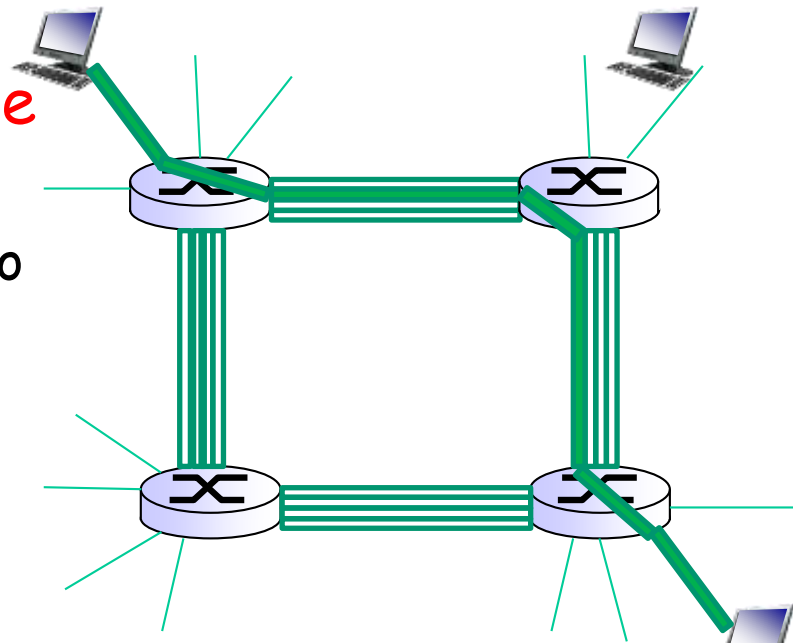
repasse: move pacotes da entrada do roteador para a saída apropriada do roteador



Alternativa: comutação de circuitos

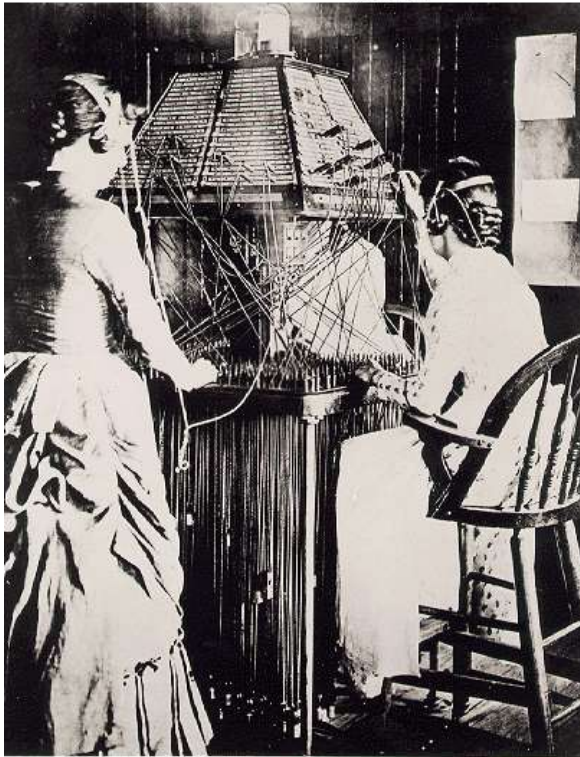
recursos fim-a-fim alocados/
reservados para "chamada" entre
origem-destino:

- r No diagrama, cada enlace possui quatro circuitos.
 - m chamada recebe o 2º circuito no enlace superior e o 1º circuito no enlace da direita
- r recursos dedicados: sem compartilhamento
 - m desempenho tipo circuito (garantido)
- r segmento do circuito fica ocioso se não for utilizado pela chamada (*sem compartilhamento*)
- r Usado normalmente na rede telefônica tradicional



Núcleo da Rede: Comutação de Circuitos

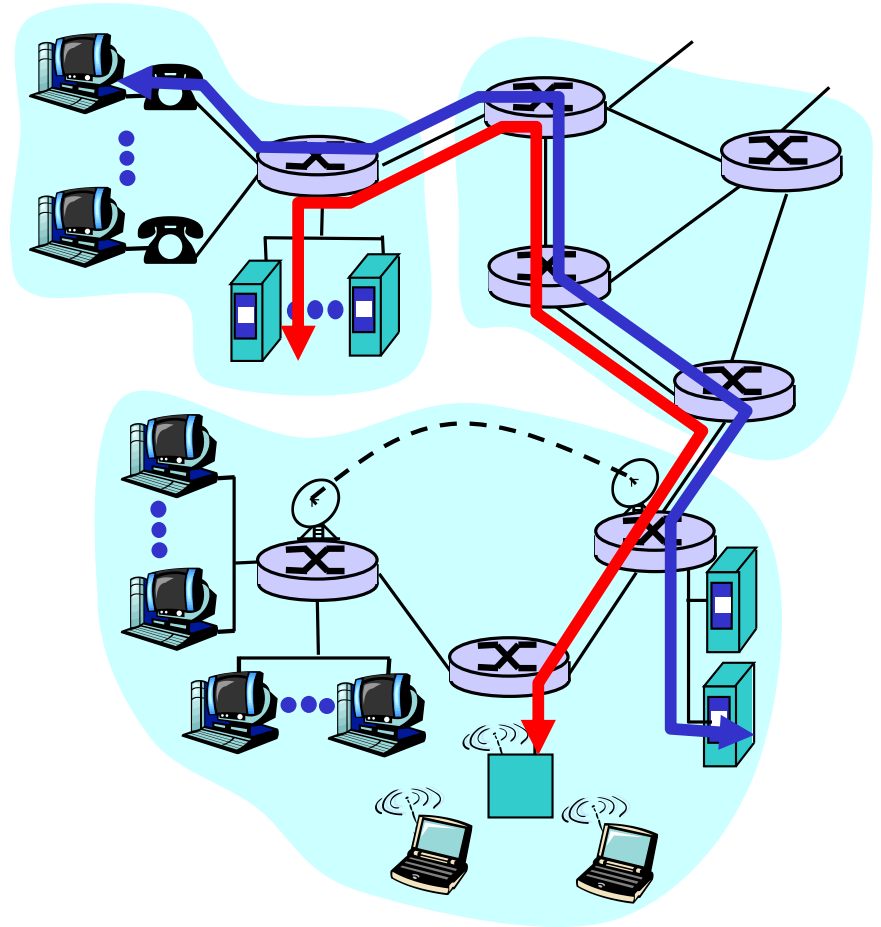
From Computer Desktop Encyclopedia
Reproduced with permission.
© 1996 AT&T



Núcleo da Rede: comutação de circuitos

Recursos fim a fim
reservados para a
"chamada"

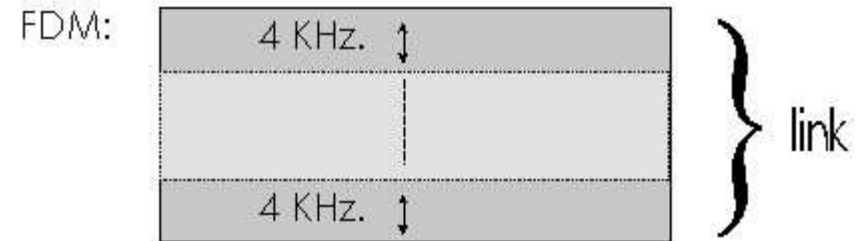
- ❑ banda de enlace, capacidade de comutação
- ❑ recursos dedicados: não há compartilhamento
- ❑ desempenho como circuitos (garantido)
- ❑ requer fase inicial ("setup")



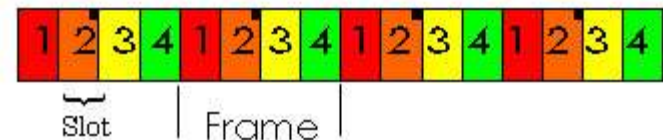
Núcleo da Rede: comutação de circuitos

Recursos de rede (p.ex., banda) **retalhado em "pedaços"**

- ❑ pedaços alocados a chamadas
- ❑ recurso **ocioso** se não usado pela chamada (*não há compartilhamento*)
- ❑ divisão de banda em "pedaços"
 - divisão por frequência
 - divisão por tempo



TDM:



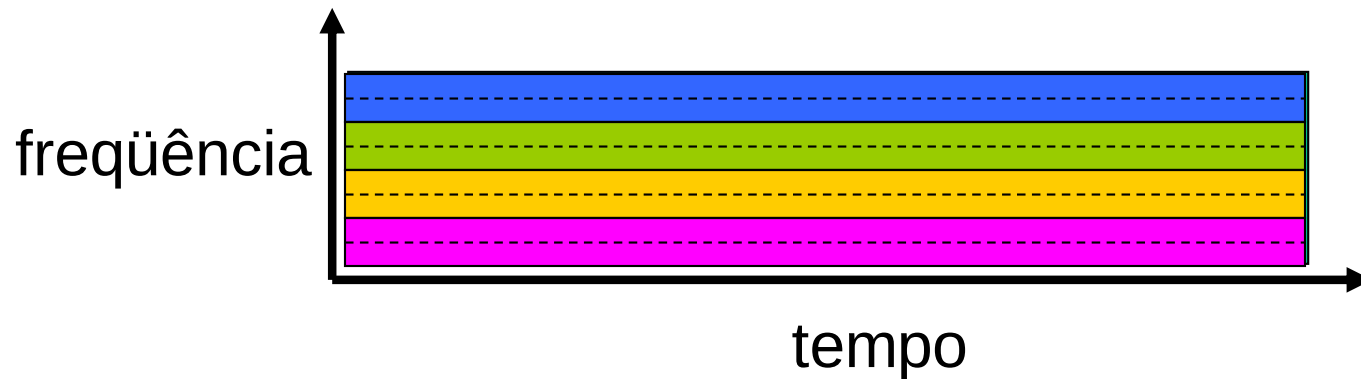
All slots labelled  are dedicated to a specific sender-receiver pair.

Comutação de Circuitos: FDMA e TDMA

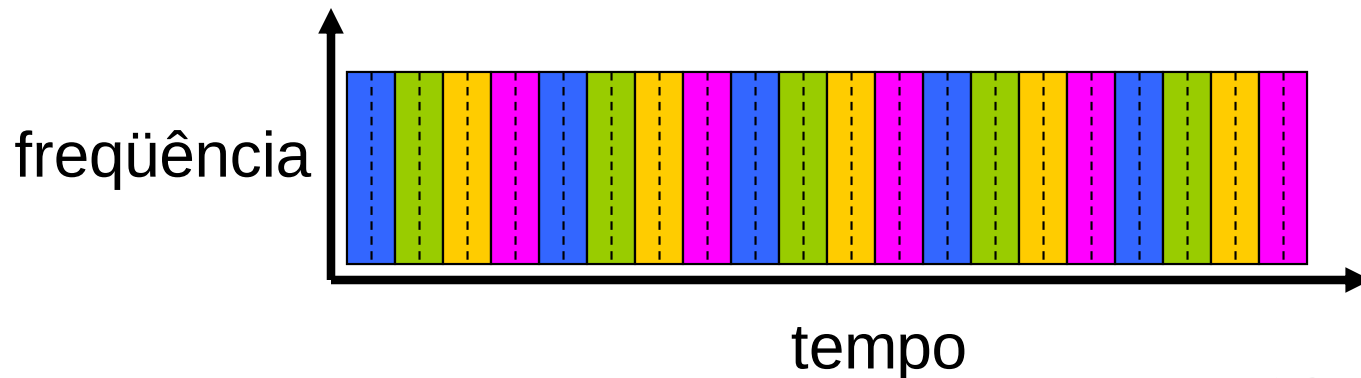
FDMA

Exemplo:

4 usuários    



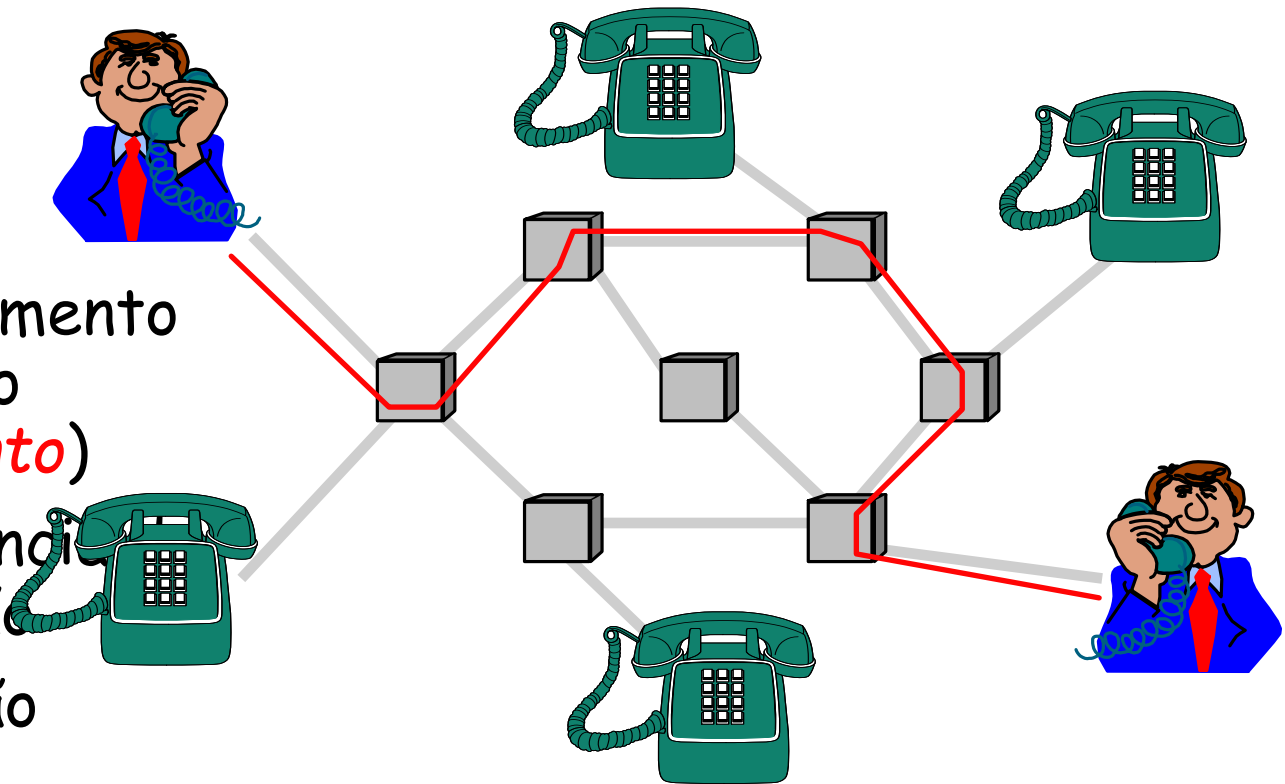
TDMA



Comutação de Circuitos

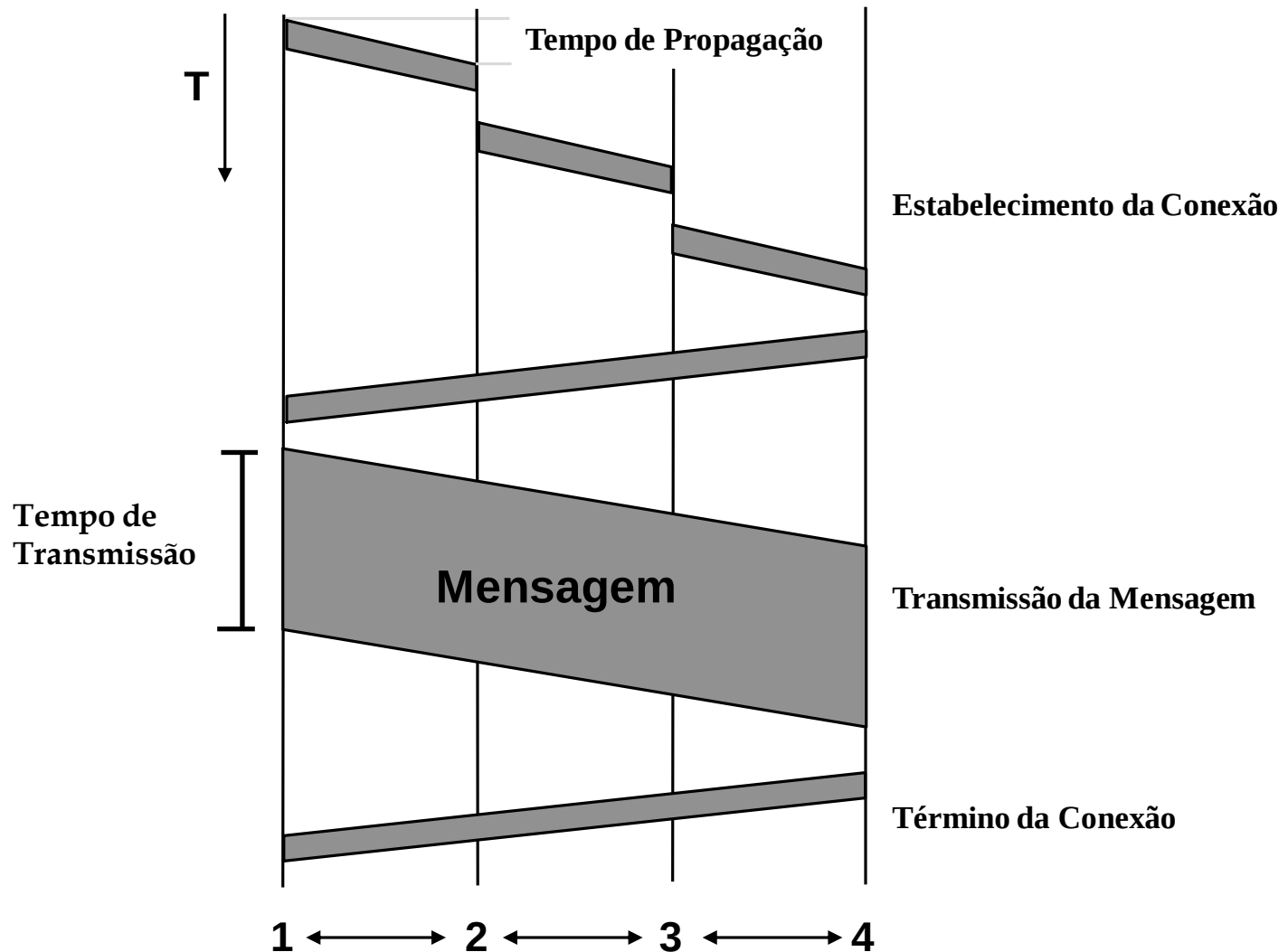
Fases

- ❑ Estabelecimento da Conexão (*Roteamento*)
- ❑ Transferência de Informação
- ❑ Desconexão

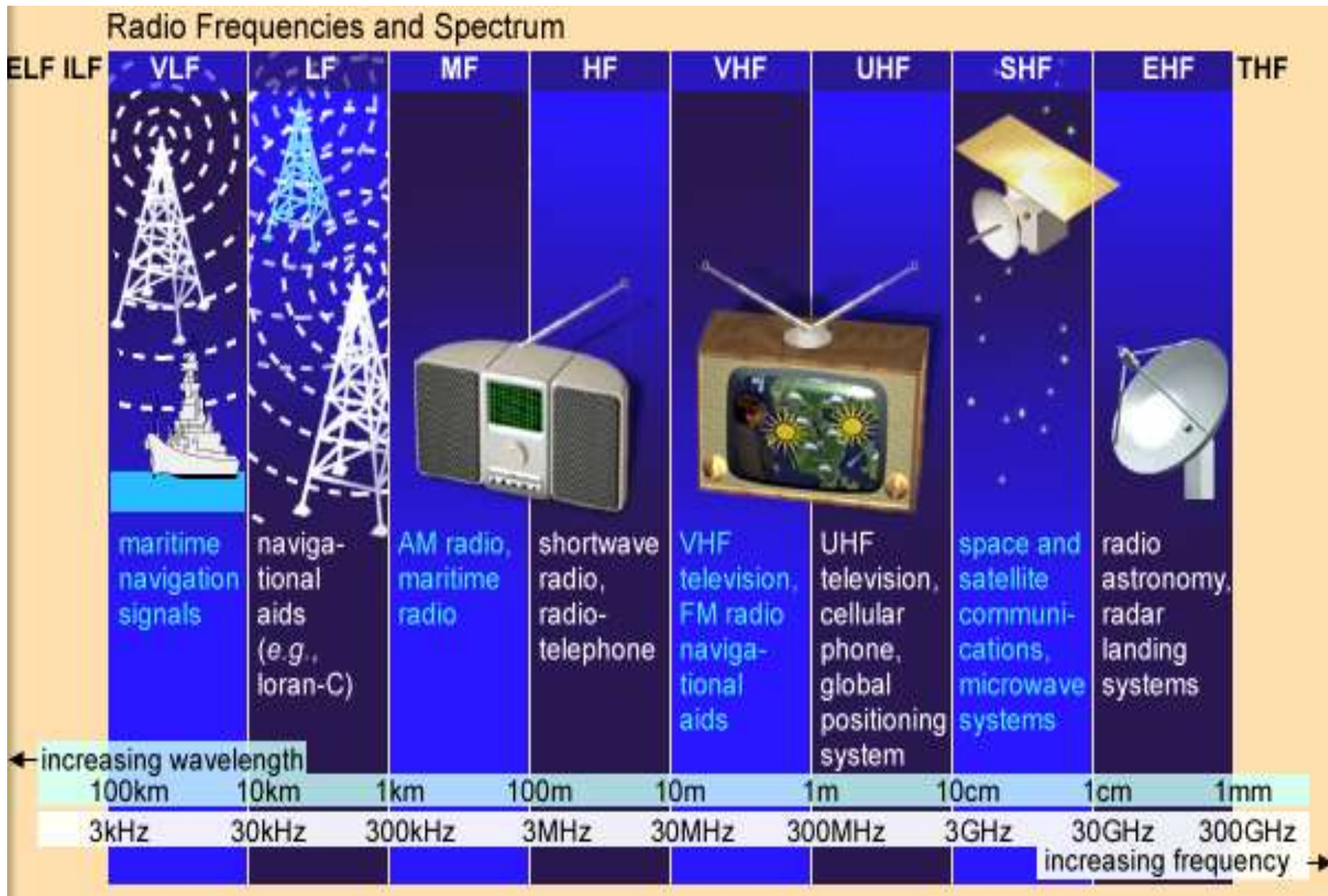


Um caminho permanece dedicado entre origem e destino durante todo o tempo de conexão

Comutação de Circuitos

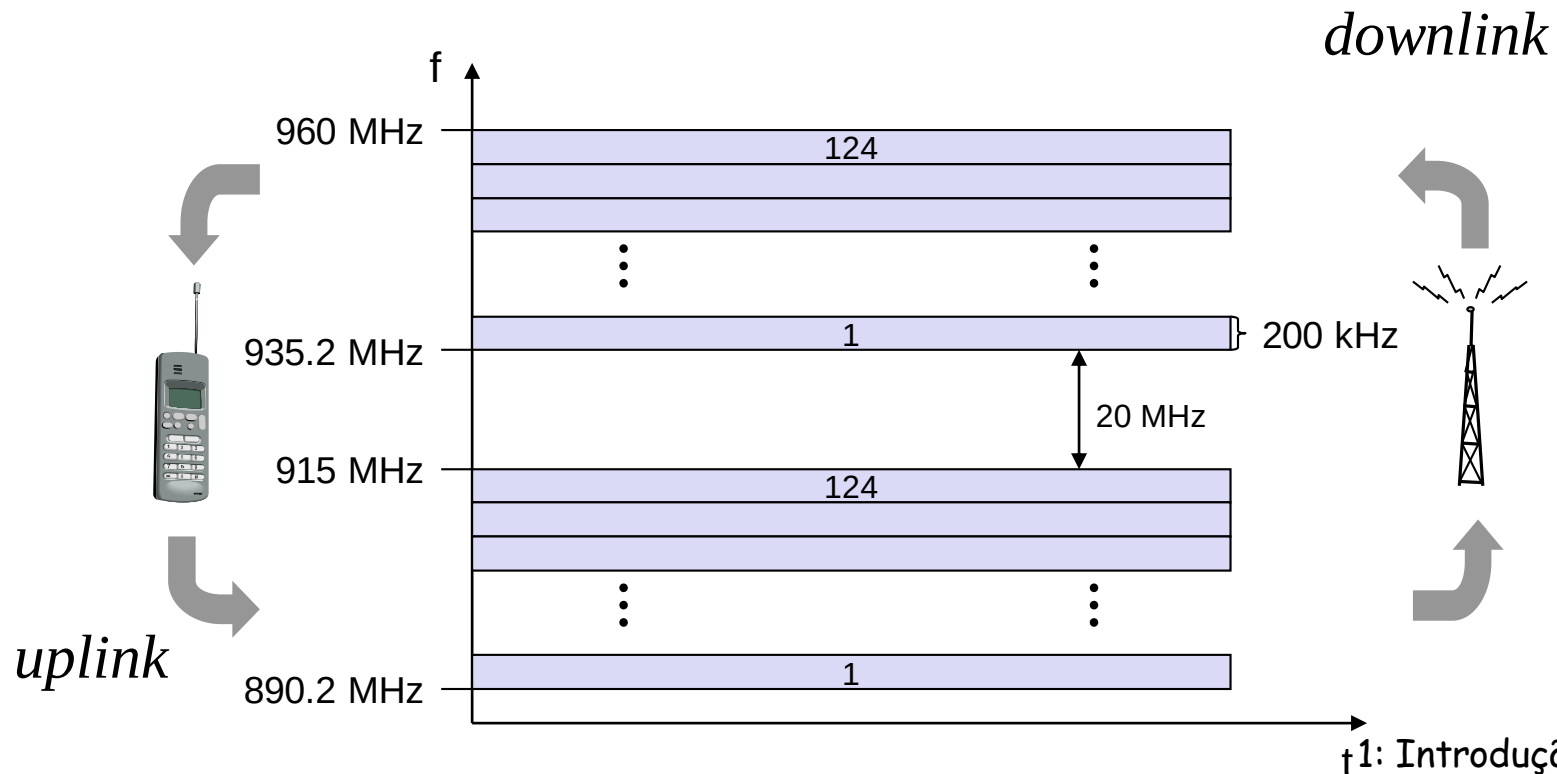


Espectro Eletromagnético (Redes sem Fio)



FDD (Frequency Division Duplex)/FDMA

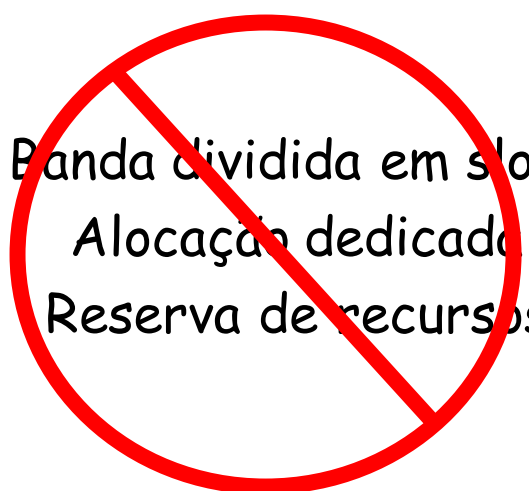
- As duas direções são separadas usando frequências diferentes
- Relação entre frequências do *uplink* (f_v) e do *downlink* (f_d) para um dado canal n .
 - $f_v = 890\text{MHz} + n \times 0,2\text{MHz}$
 - $f_d = 935\text{ MHz} + n \times 0,2\text{ MHz}$



Núcleo da Rede: comutação de pacotes

Cada fluxo de dados fim a fim dividido em pacotes

- ❑ pacotes de usuários A, B compartilham recursos
- ❑ cada pacote usa banda inteira do enlace
- ❑ recursos usados a demanda

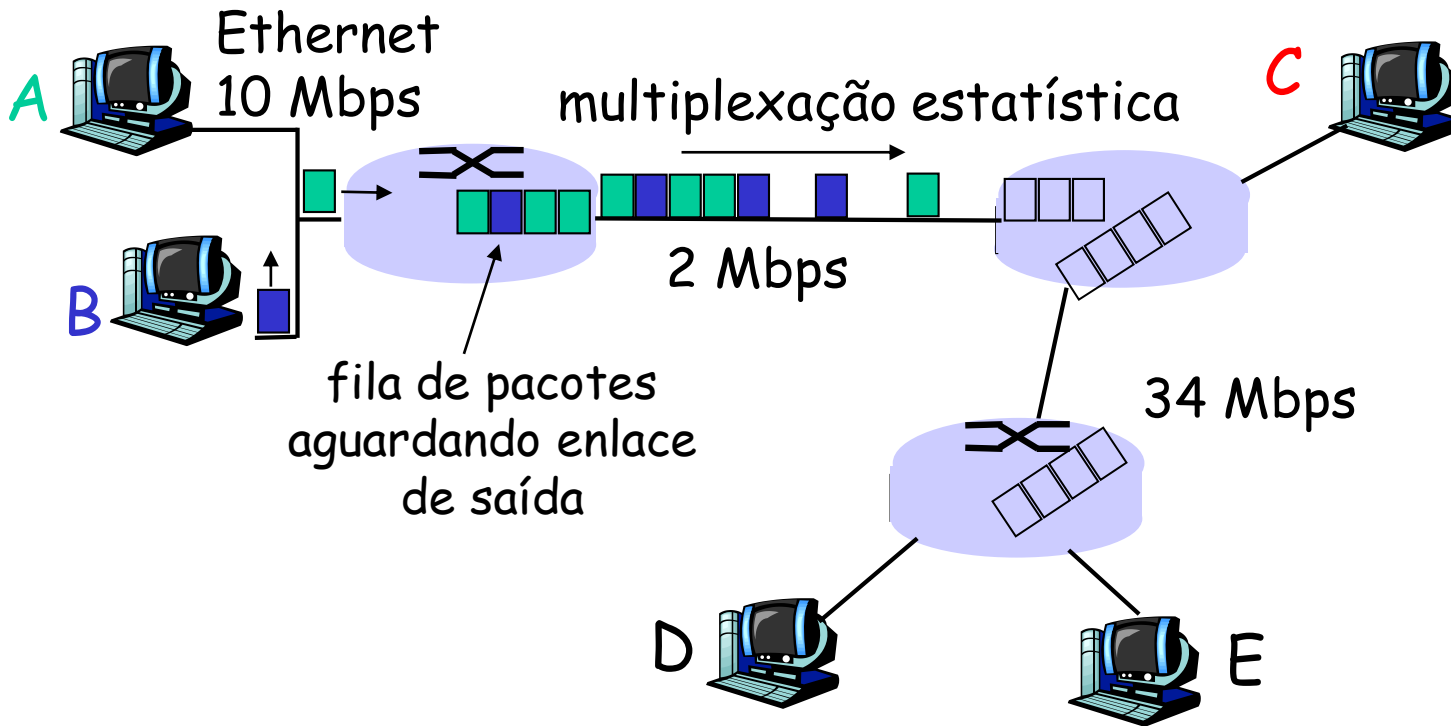


Banda dividida em slots
Alocação dedicada
Reserva de recursos

Contenção por recursos:

- ❑ demanda agregada pode exceder os recursos disponíveis
- ❑ congestionamento: fila de pacotes, espera para uso do enlace
- ❑ armazena, reencaminha: pacotes movem um enlace a cada vez
 - transmite pelo enlace
 - aguarda vez p/ o próx.

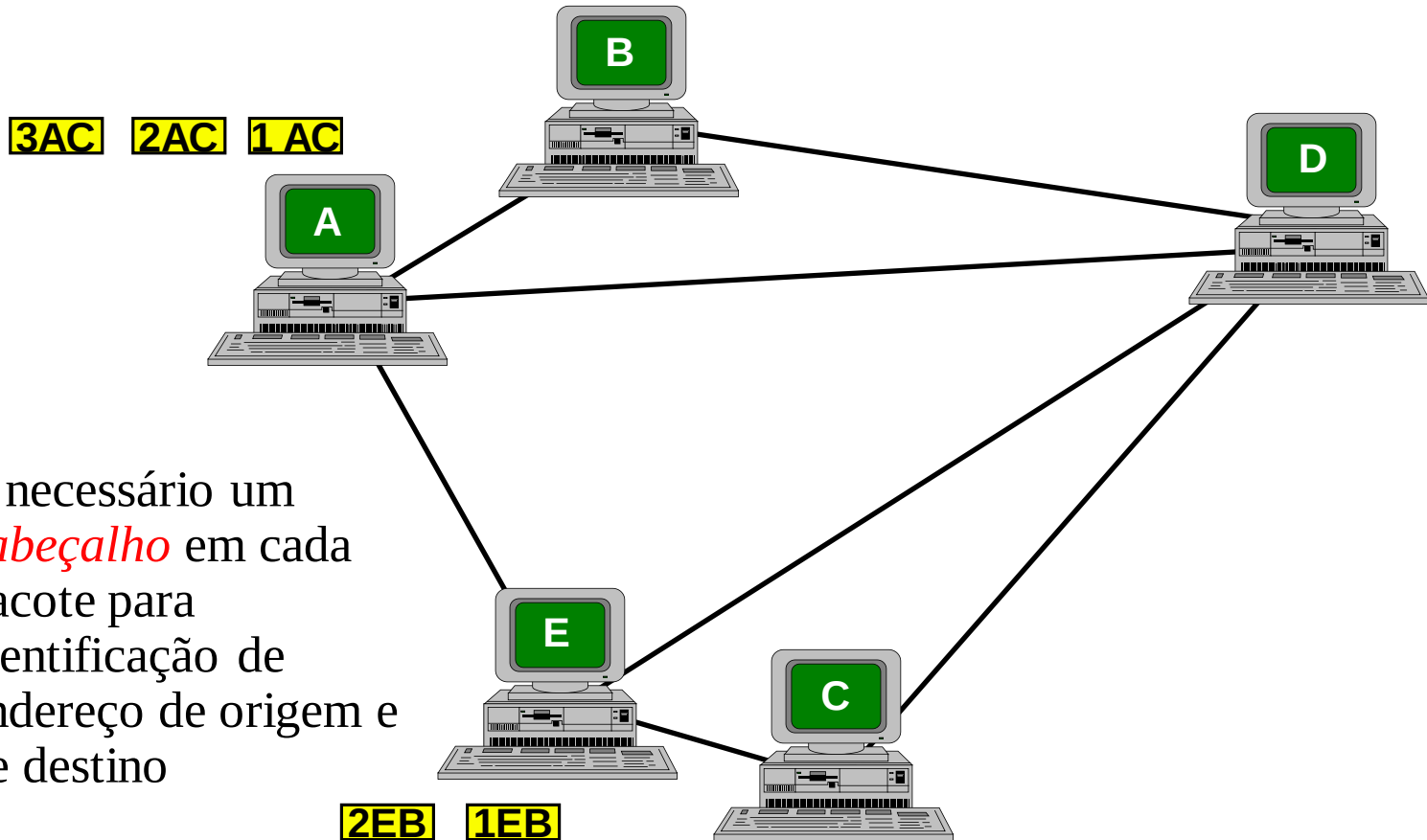
Núcleo da rede: comutação de pacotes



Comutação de pacotes X comutação de circuitos:
analogia humana de restaurante

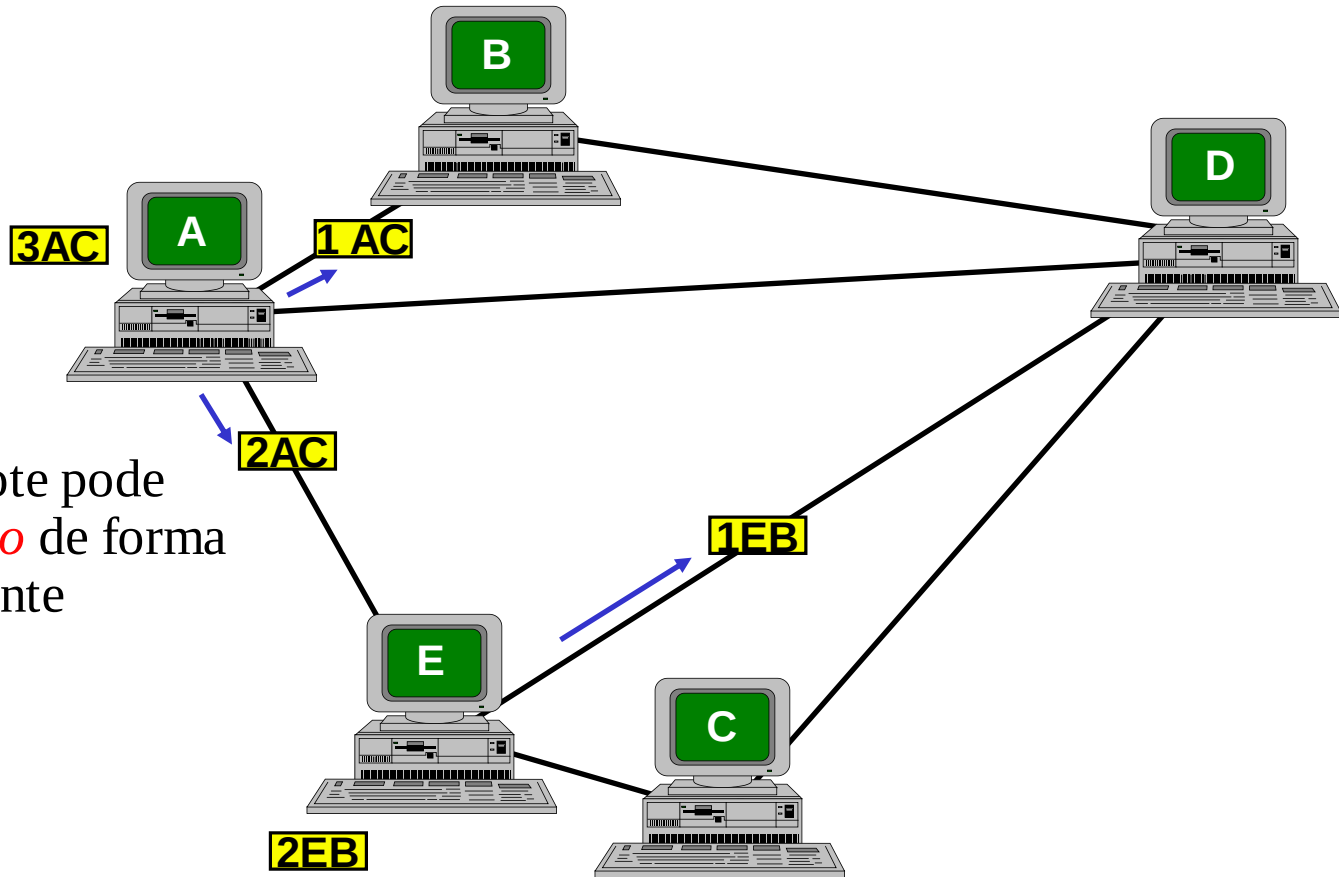
□ outras analogias humanas?

Comutação de Pacotes



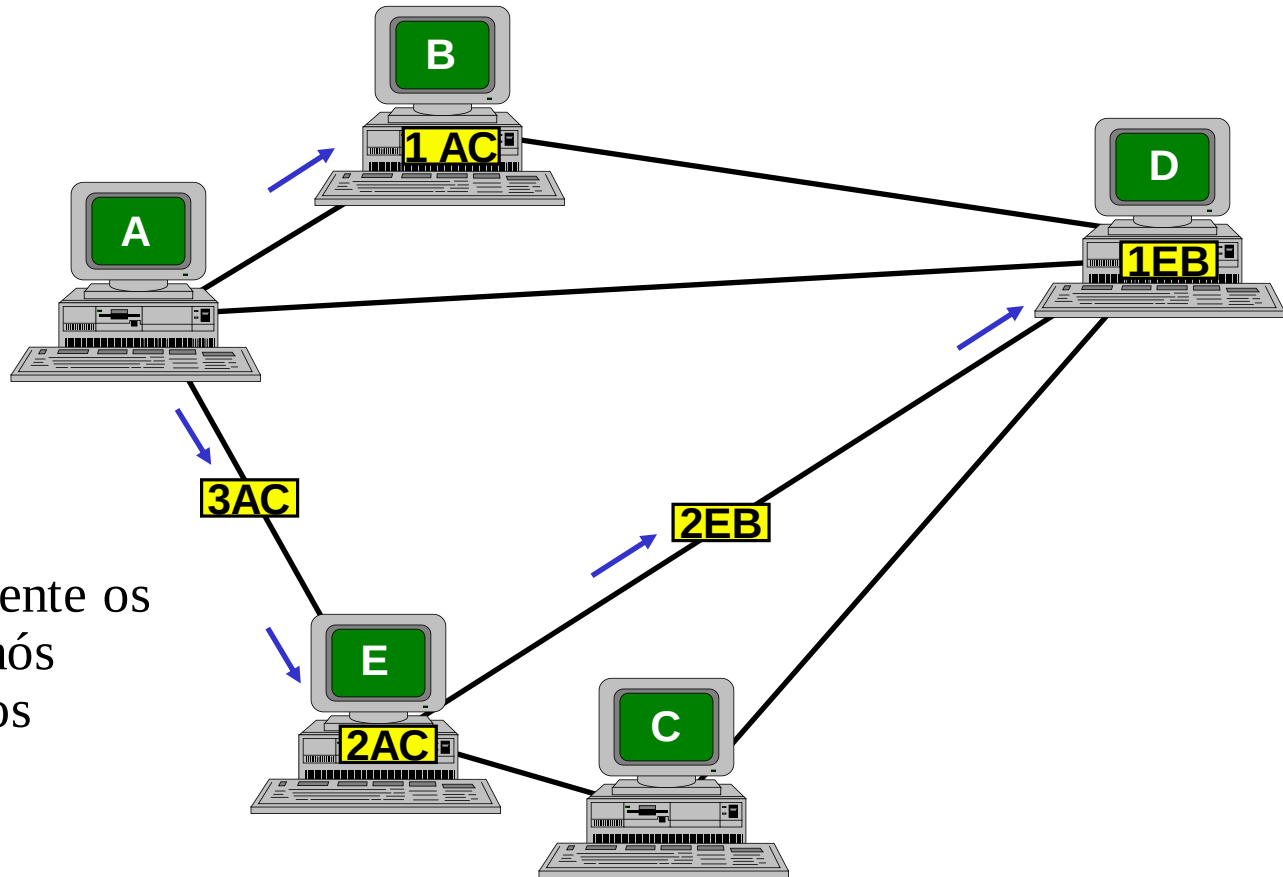
- É necessário um *cabeçalho* em cada pacote para identificação de endereço de origem e de destino

Comutação de Pacotes



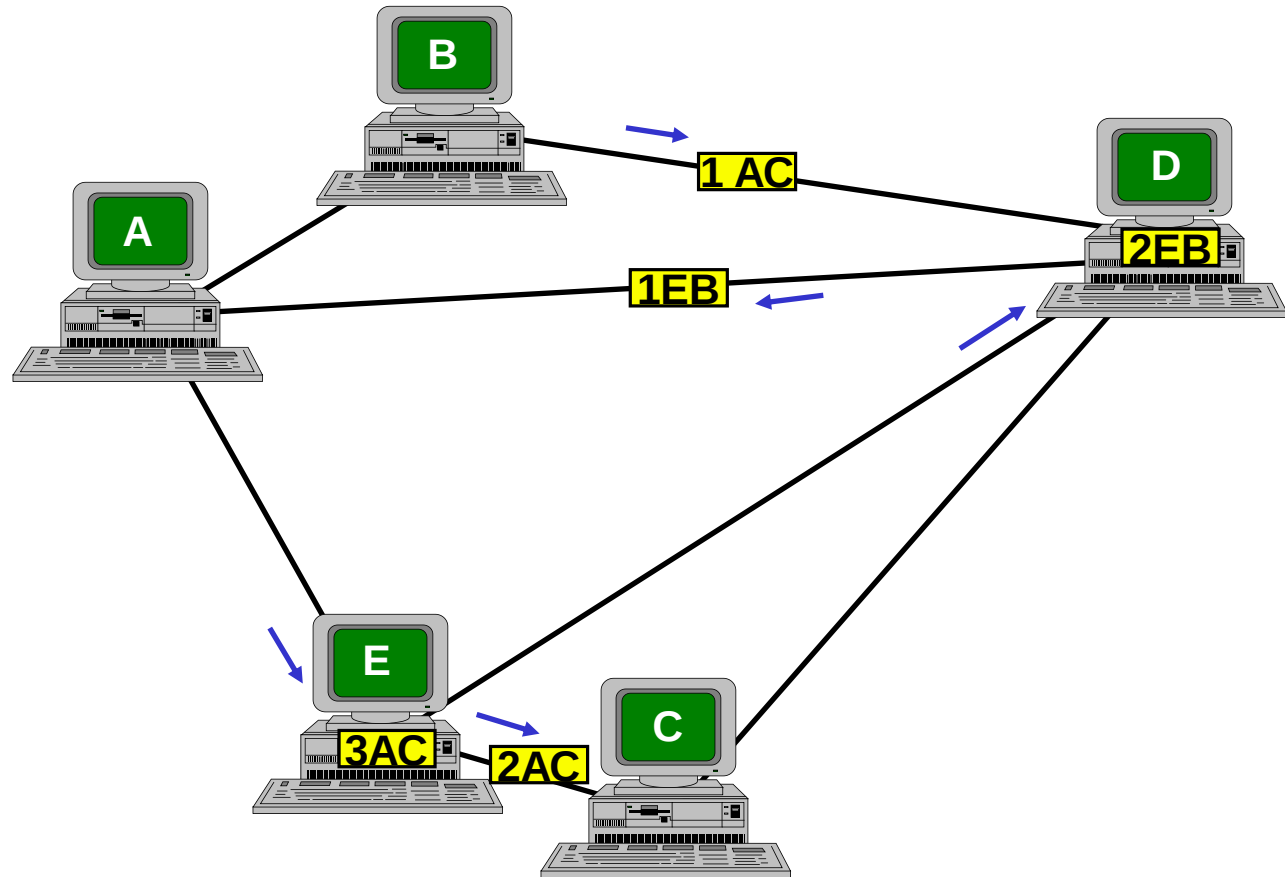
- Cada pacote pode ser *roteado* de forma independente

Comutação de Pacotes

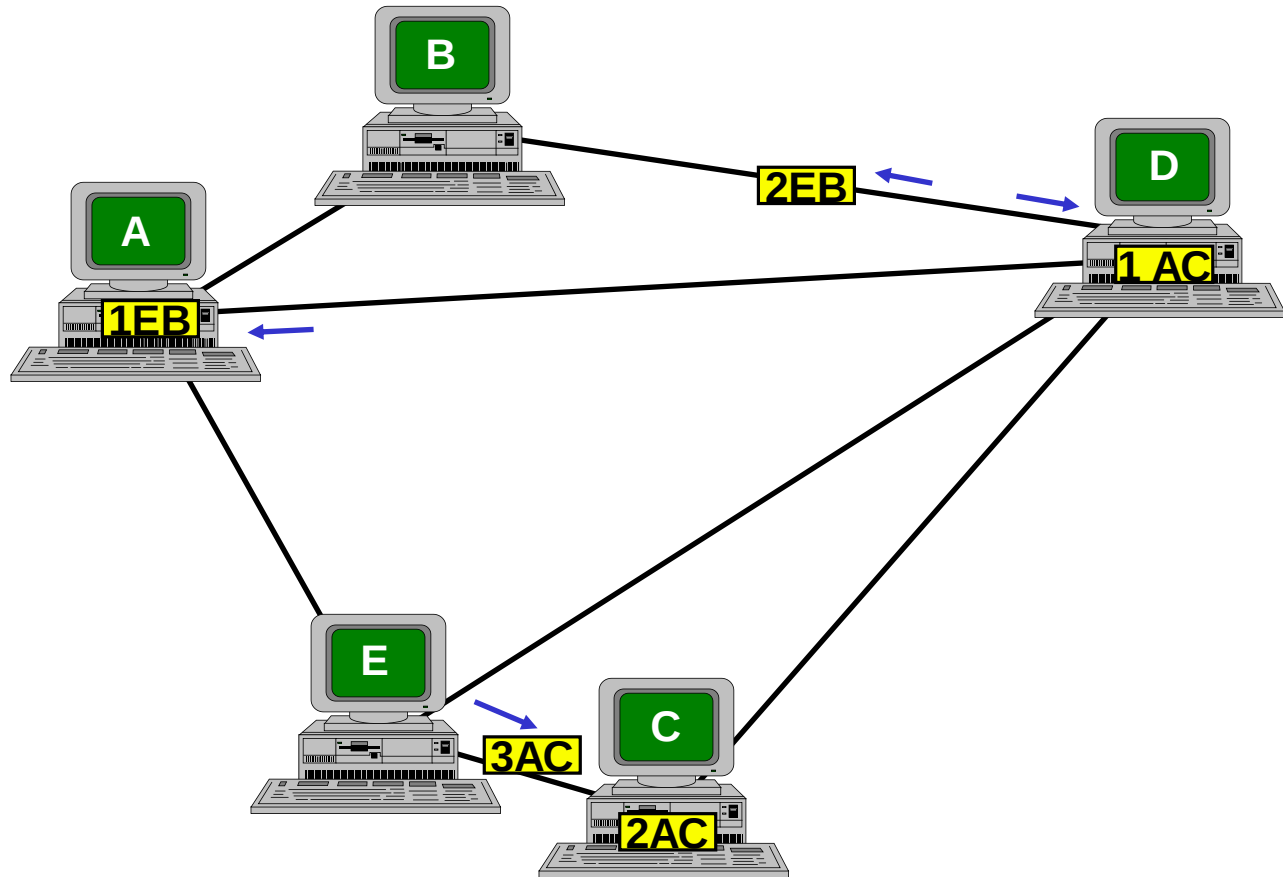


- É necessário *armazenar* temporariamente os pacotes em nós intermediários

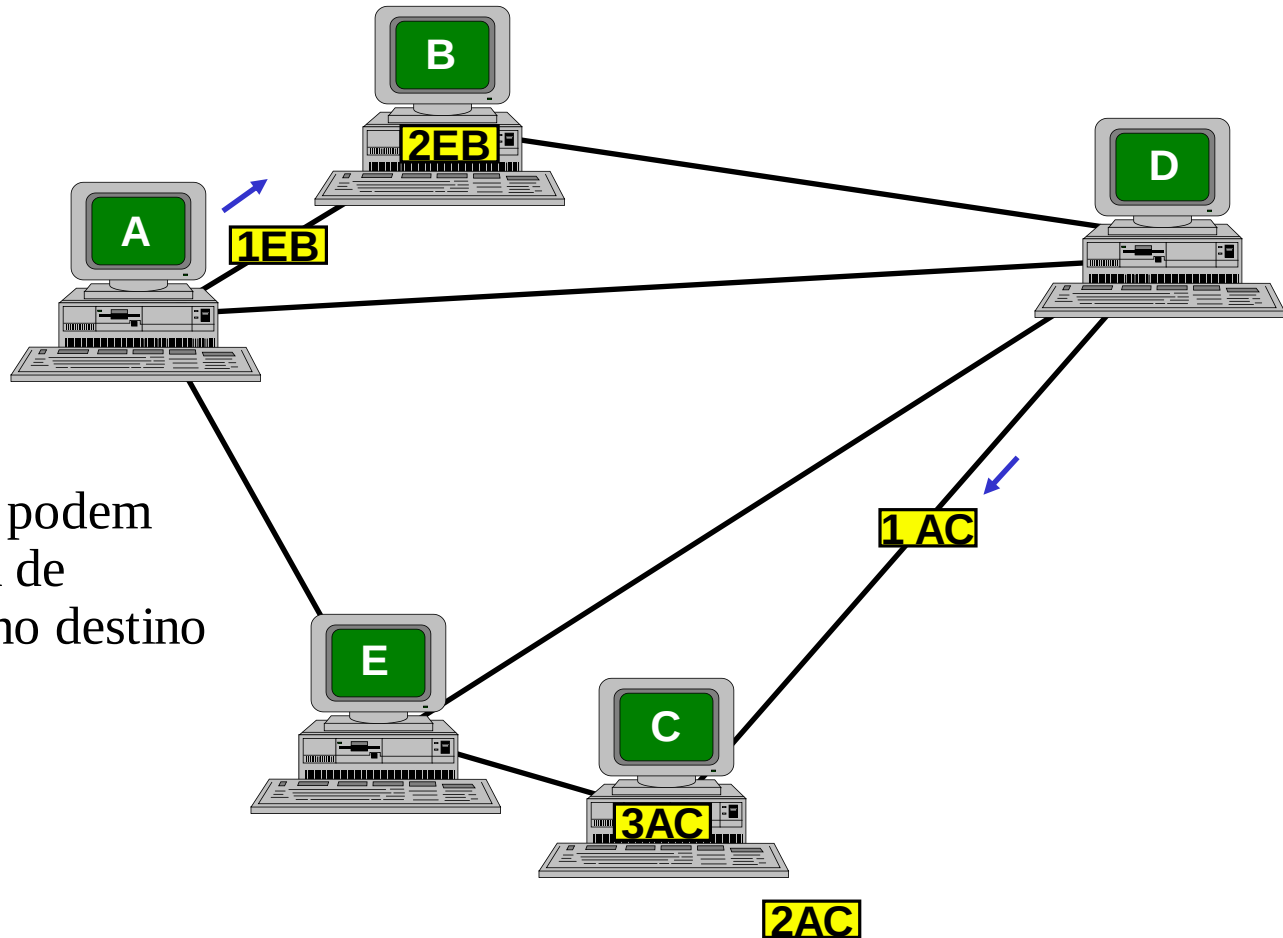
Comutação de Pacotes



Comutação de Pacotes

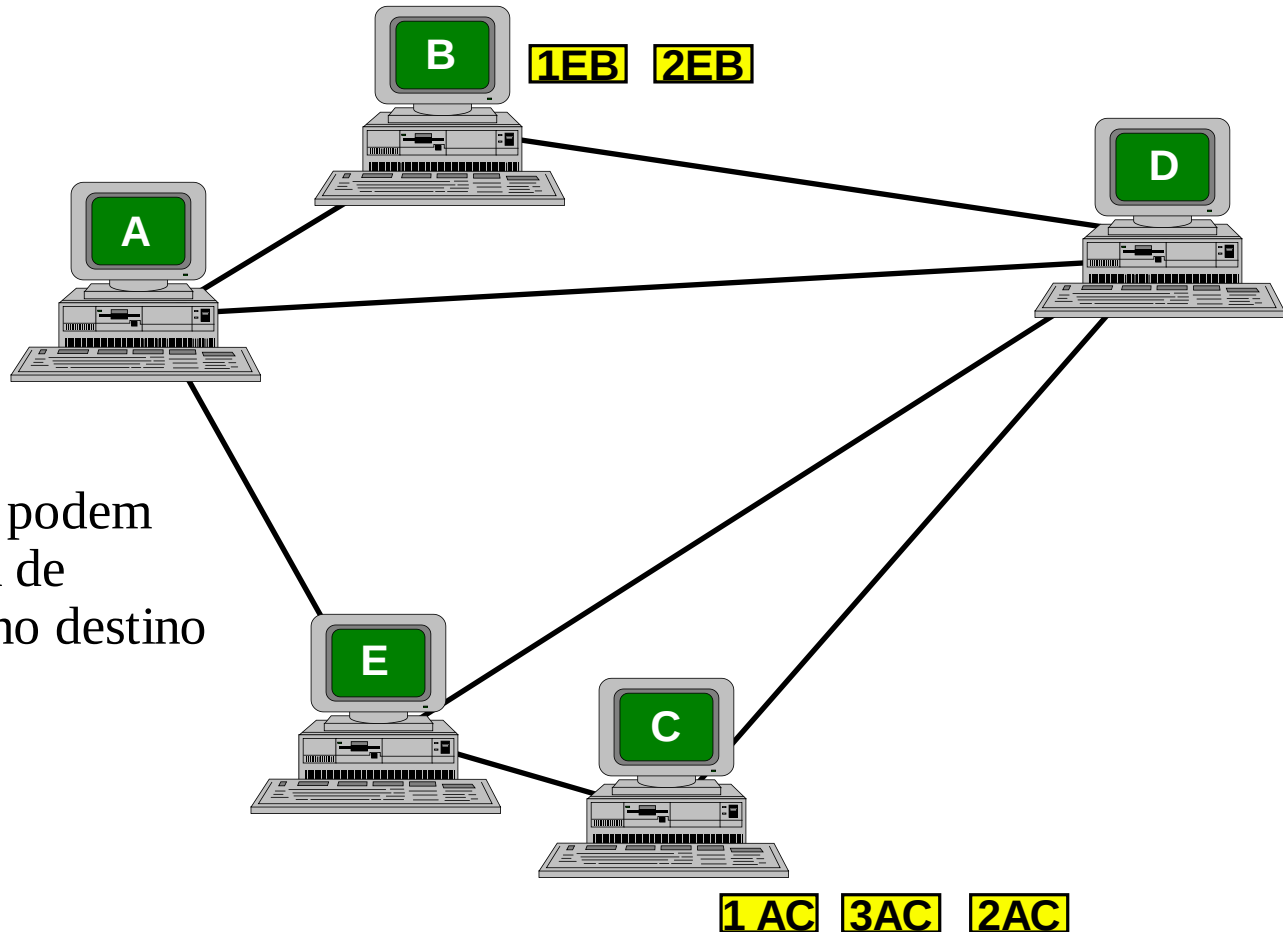


Comutação de Pacotes



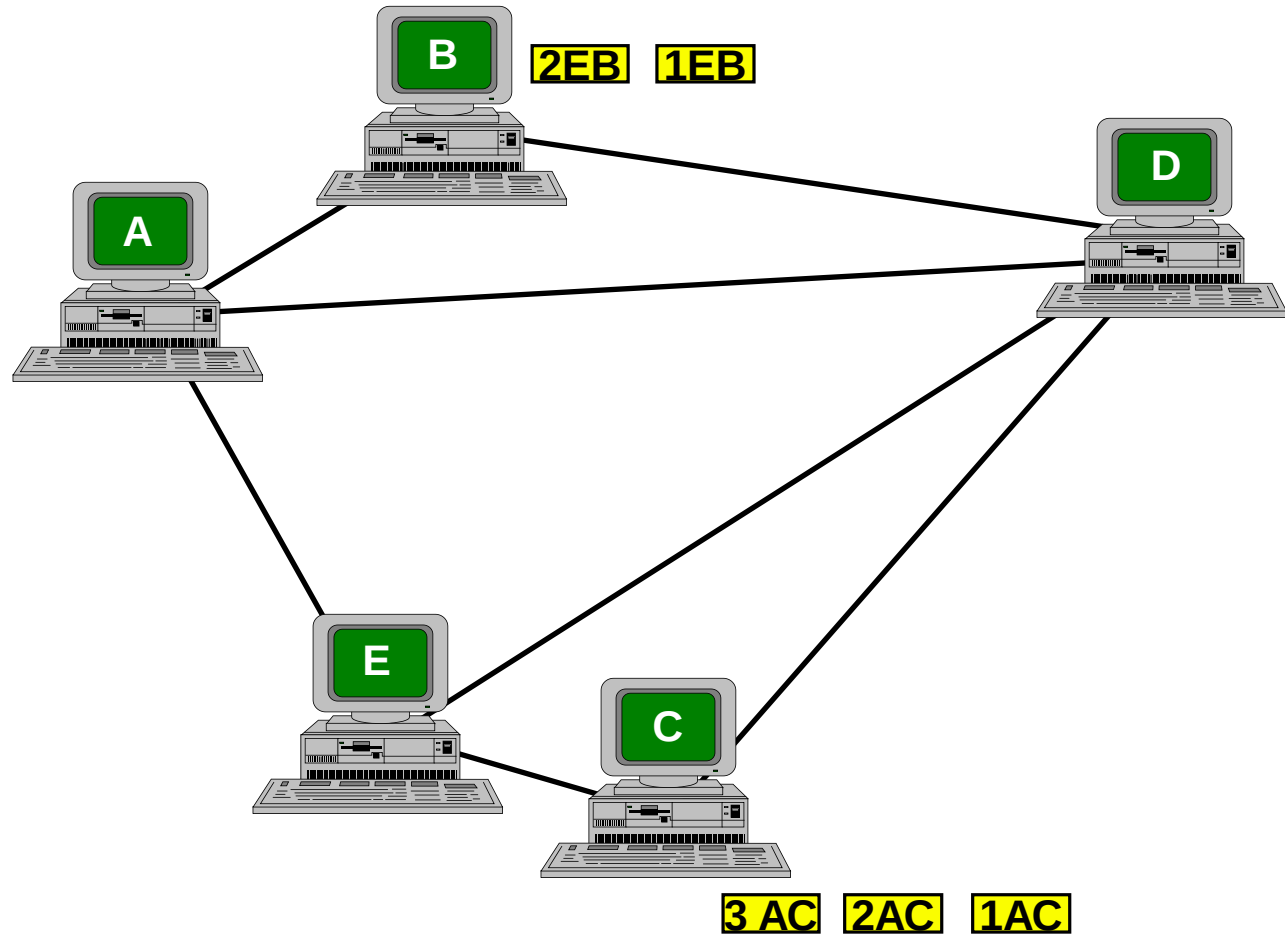
- Os pacotes podem chegar fora de *sequência* no destino

Comutação de Pacotes

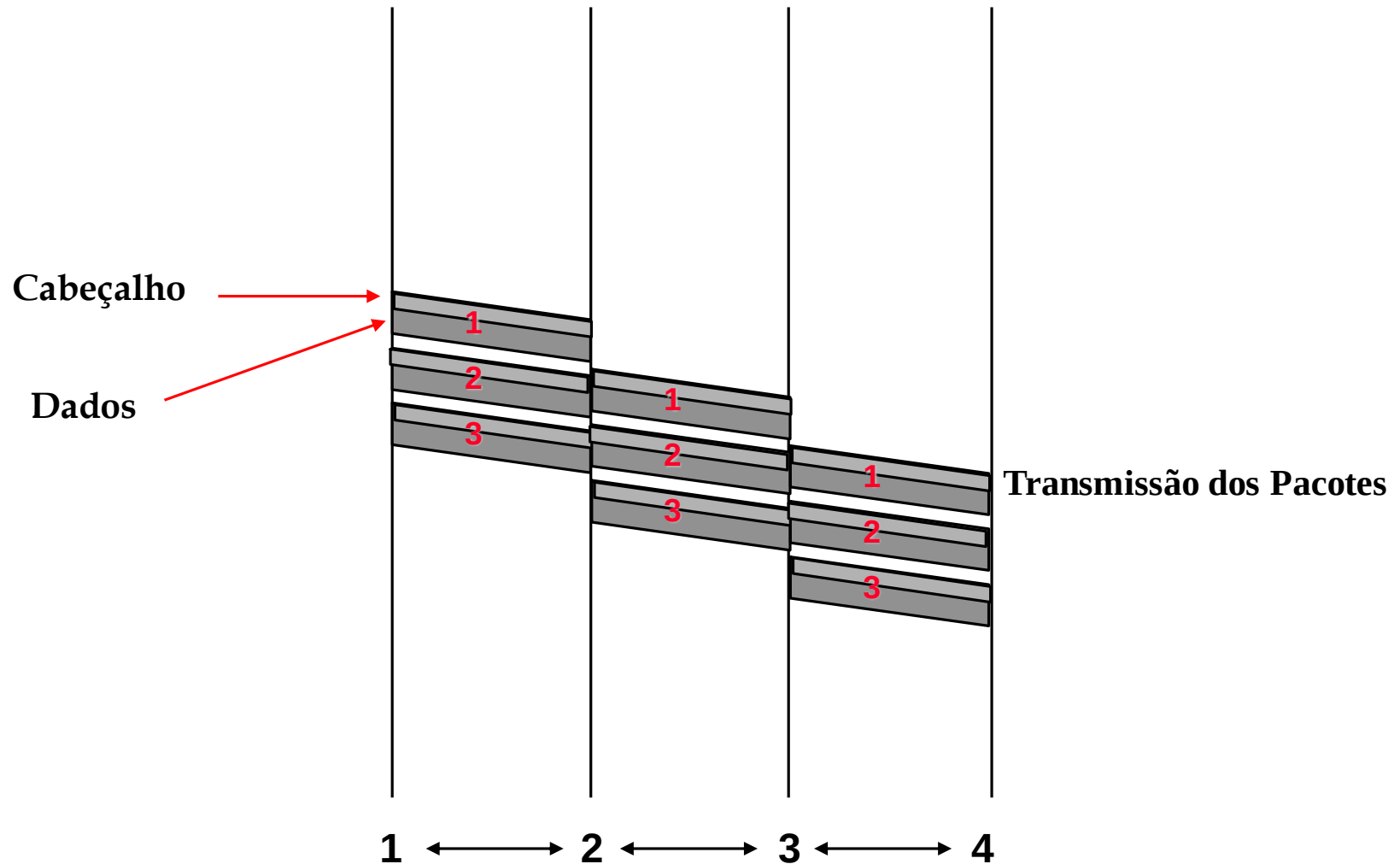


- Os pacotes podem chegar fora de *seqüência* no destino

Comutação de Pacotes



Comutação de Pacotes



Comutação de pacotes versus comutação de circuitos

A comutação de pacotes ganha de lavada?

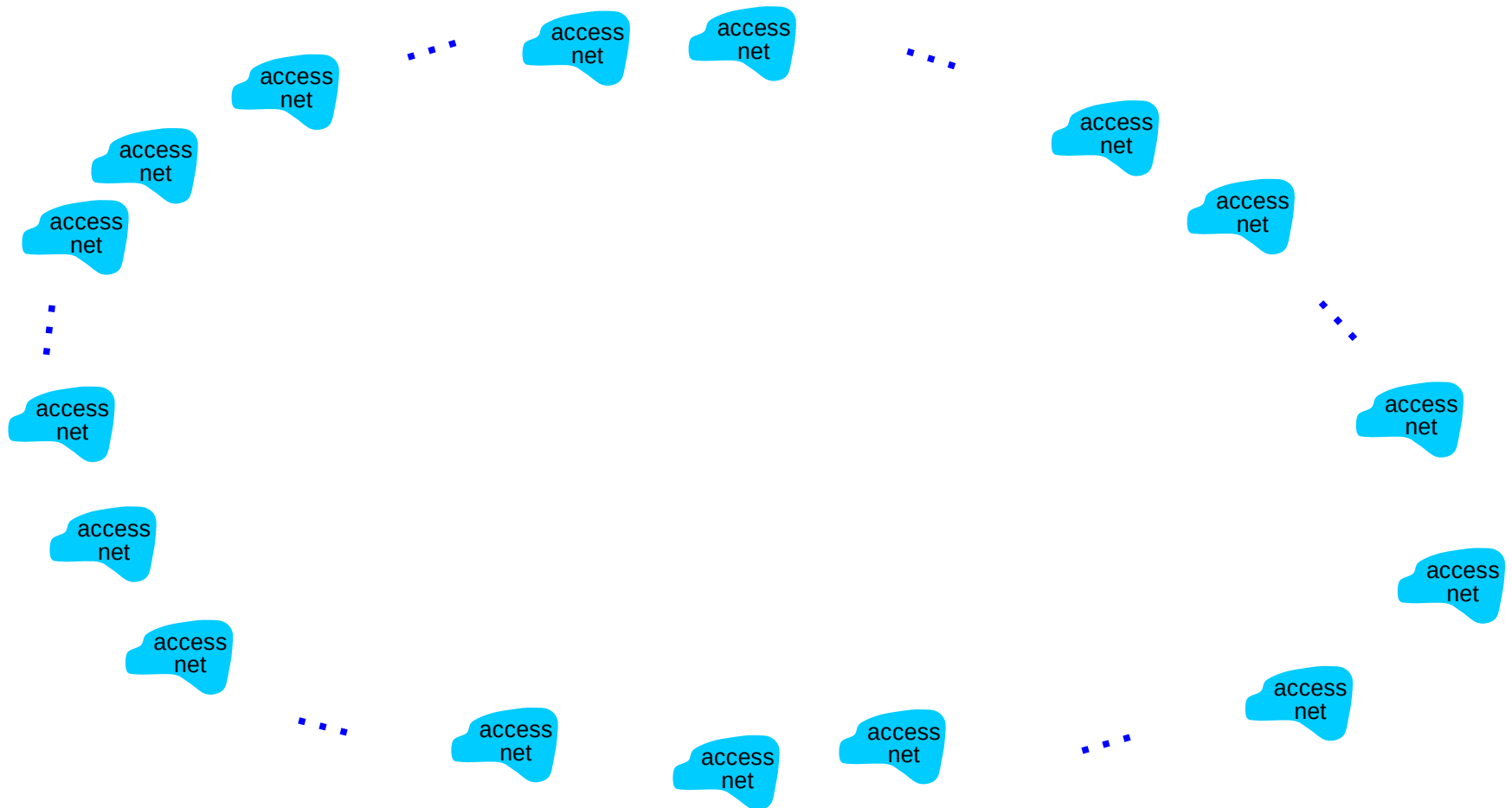
- ❑ Ótima para dados em surtos
 - compartilhamento dos recursos
 - não necessita estabelecimento de conexão
- ❑ **Congestionamento excessivo:** atraso e perda de pacotes
 - necessita de protocolos para transferência confiável de dados, controle de congestionamento
- ❑ **P: Como fornecer um comportamento do tipo circuito?**
 - São necessárias garantias de banda para aplicações de áudio e vídeo
 - ainda é um problema não resolvido (cap. 7)

Estrutura da Internet: rede de redes

- ❑ Sistemas finais conectam-se à Internet através de **ISPs** (*Internet Service Providers*) **de acesso**
 - ISP residencial, corporativo e acadêmico
- ❑ Os ISPs de acesso devem ser interconectados
 - De modo que quaisquer dois hospedeiros possam enviar pacotes um para o outro
- ❑ A rede de redes resultante é muito complexa
 - Evolução foi dirigida pela economia e por políticas nacionais
- ❑ Seguiremos uma abordagem passo-a-passo para descrever a estrutura atual da Internet

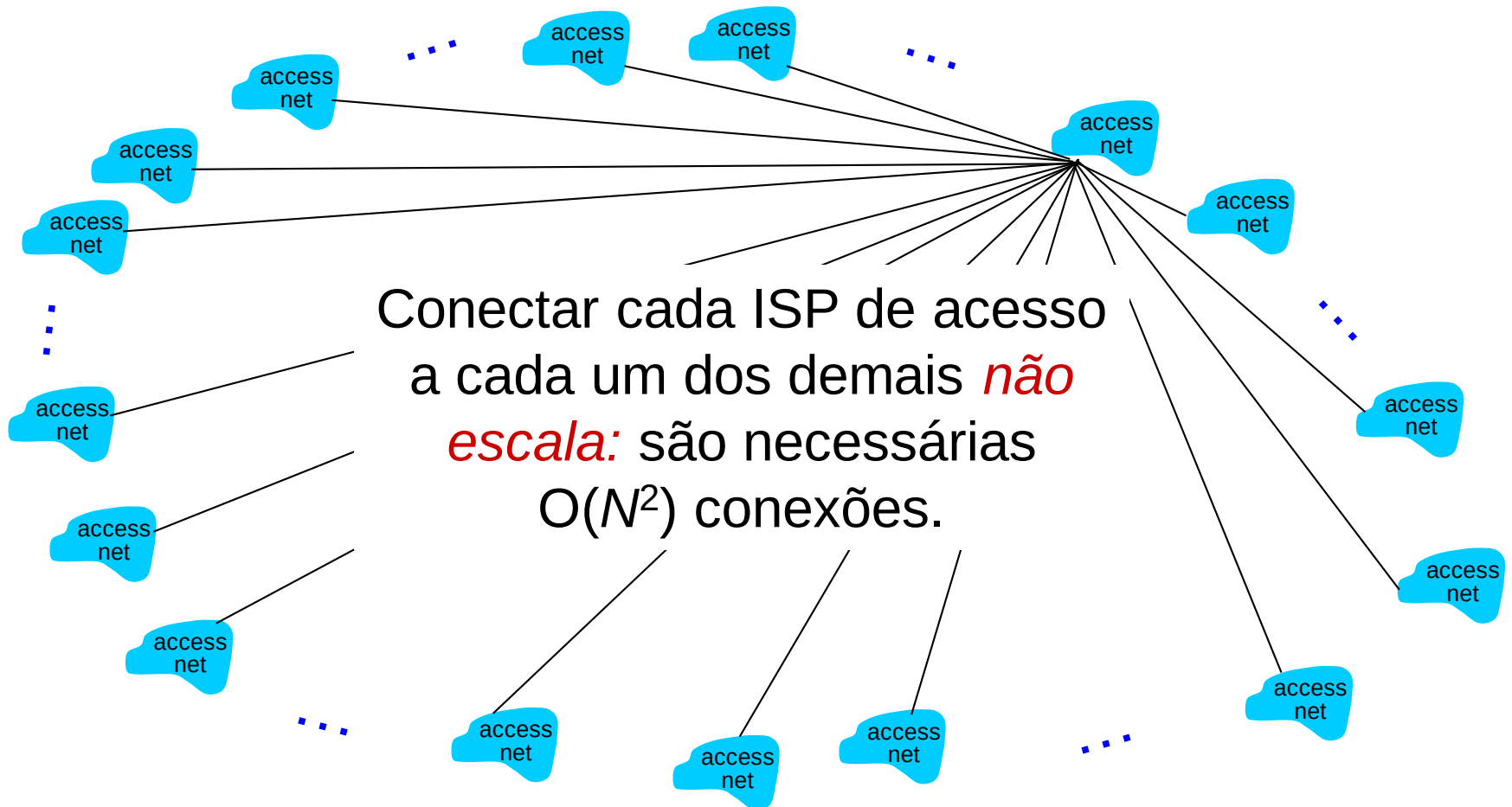
Estrutura da Internet: rede de redes

Pergunta: dados *milhões* de ISPs de acesso, como interligar todos eles?



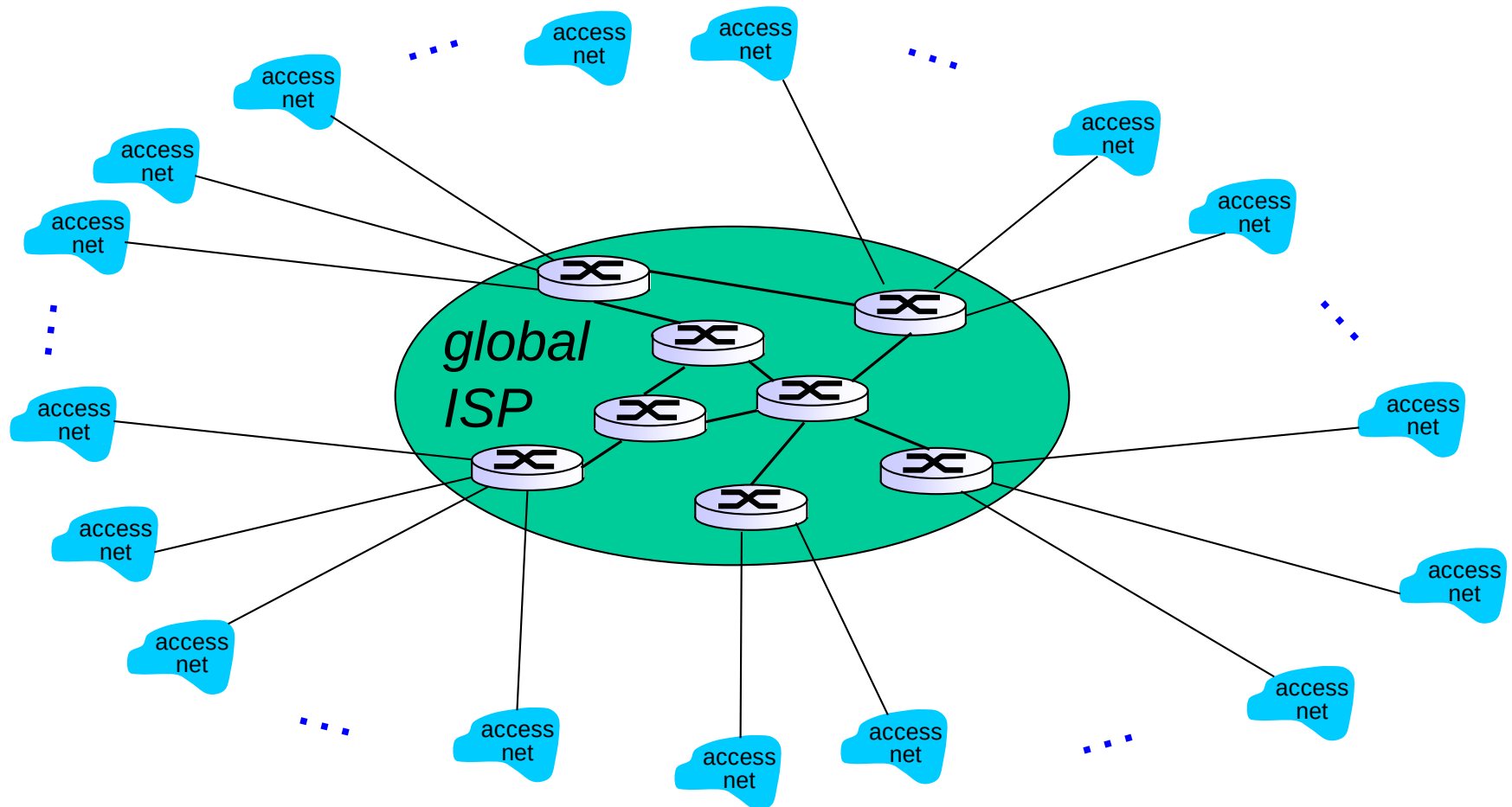
Estrutura da Internet: rede de redes

Opção: conectar cada ISP de acesso a cada um dos demais ISPs de acesso?



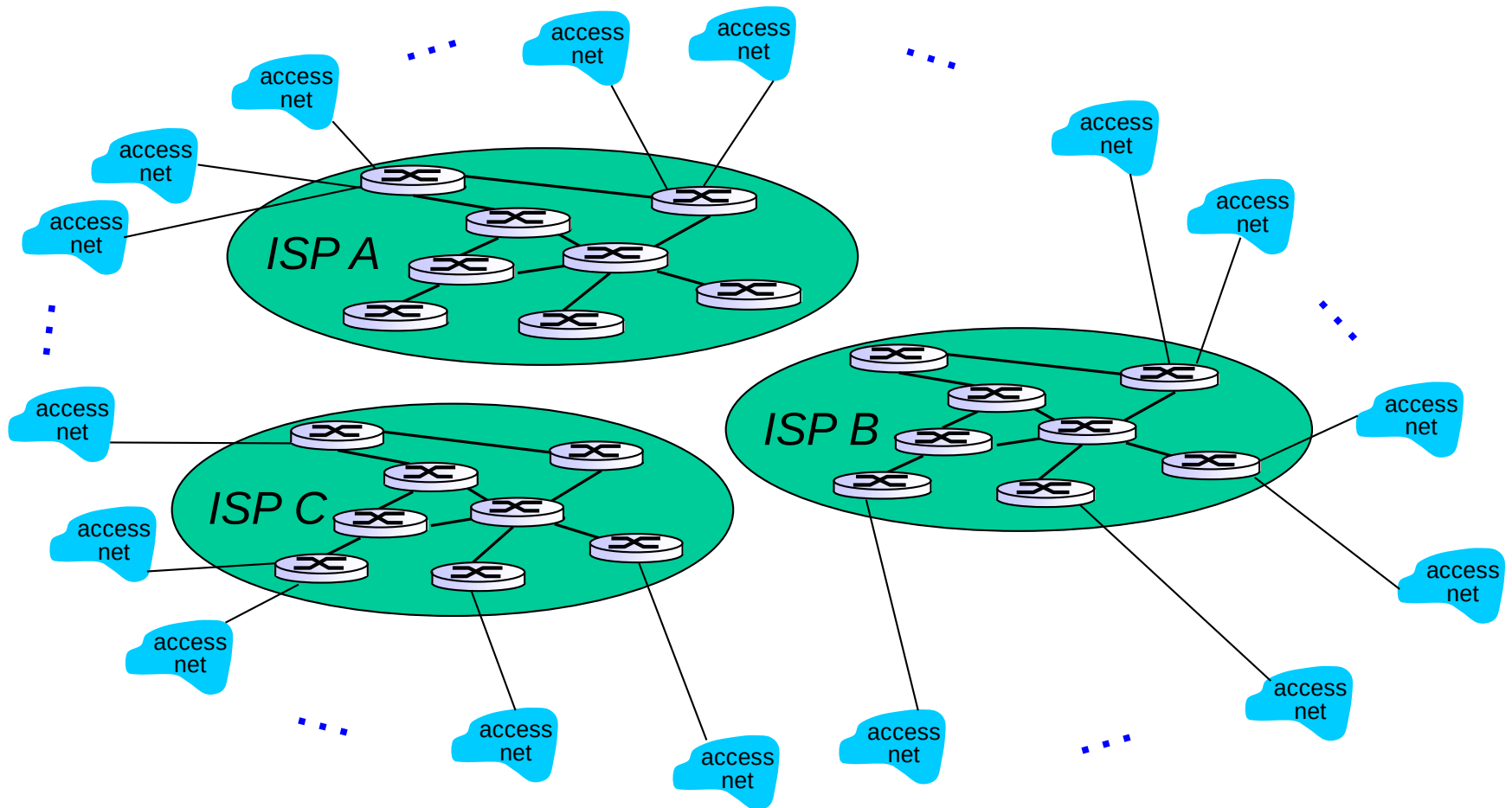
Estrutura da Internet: rede de redes

Opção: conectar cada ISP de acesso a um ISP de trânsito global?
Os ISPs de **usuário** e **provedor** têm um acordo econômico.



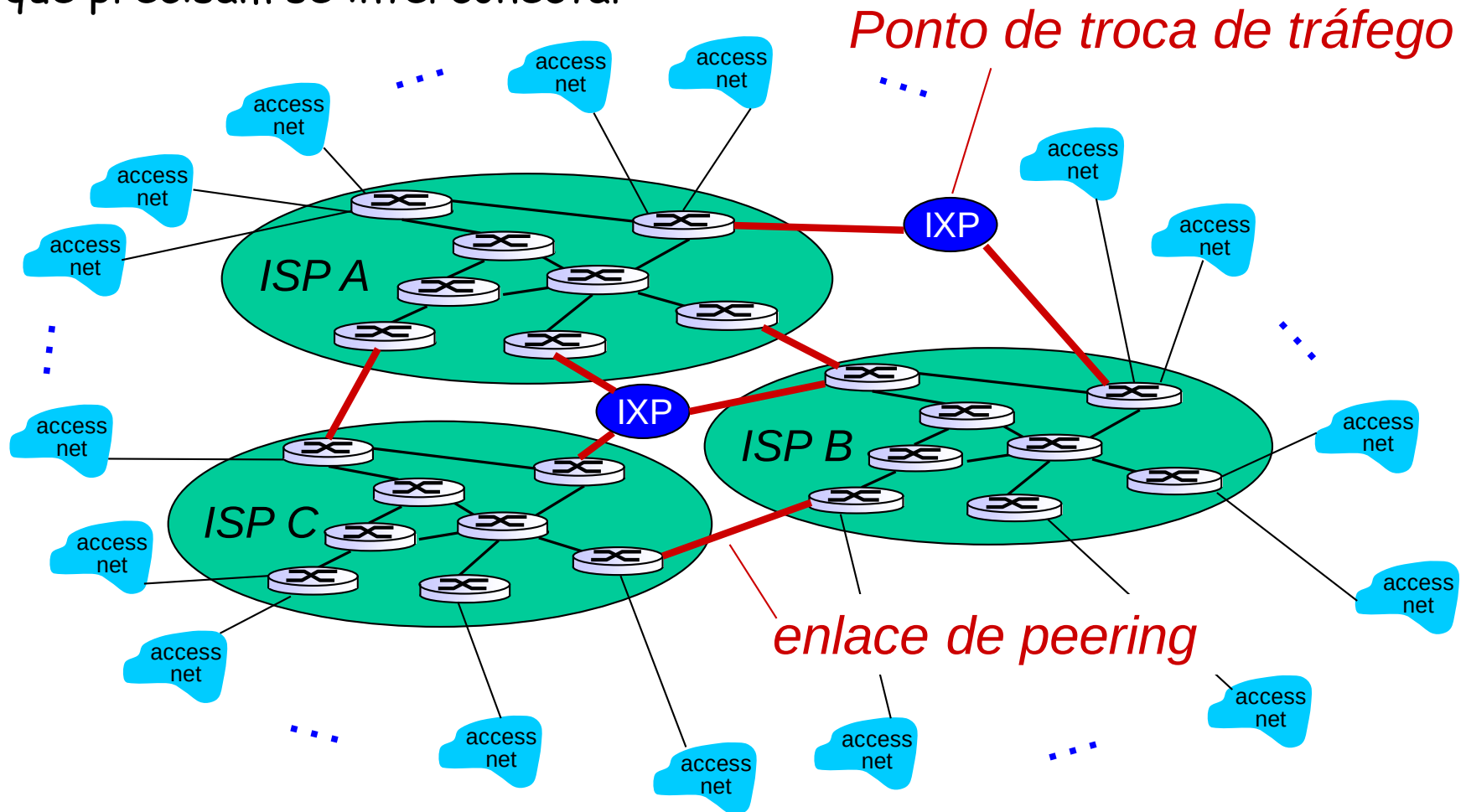
Estrutura da Internet: rede de redes

Mas, se um ISP global for um negócio viável, haverá competidores...



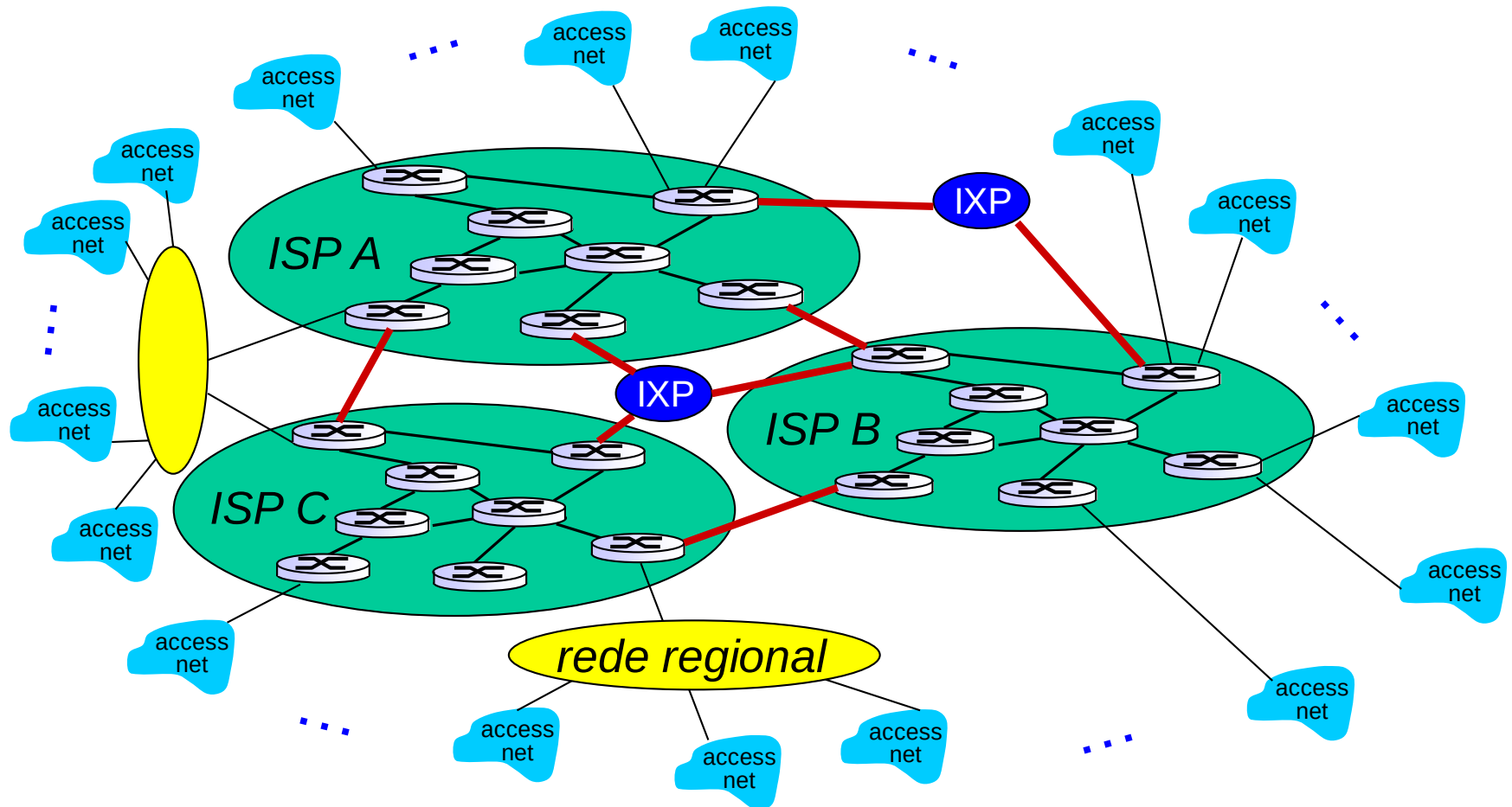
Estrutura da Internet: rede de redes

Mas, se um ISP global for um negócio viável, haverá competidores... que precisam se interconectar



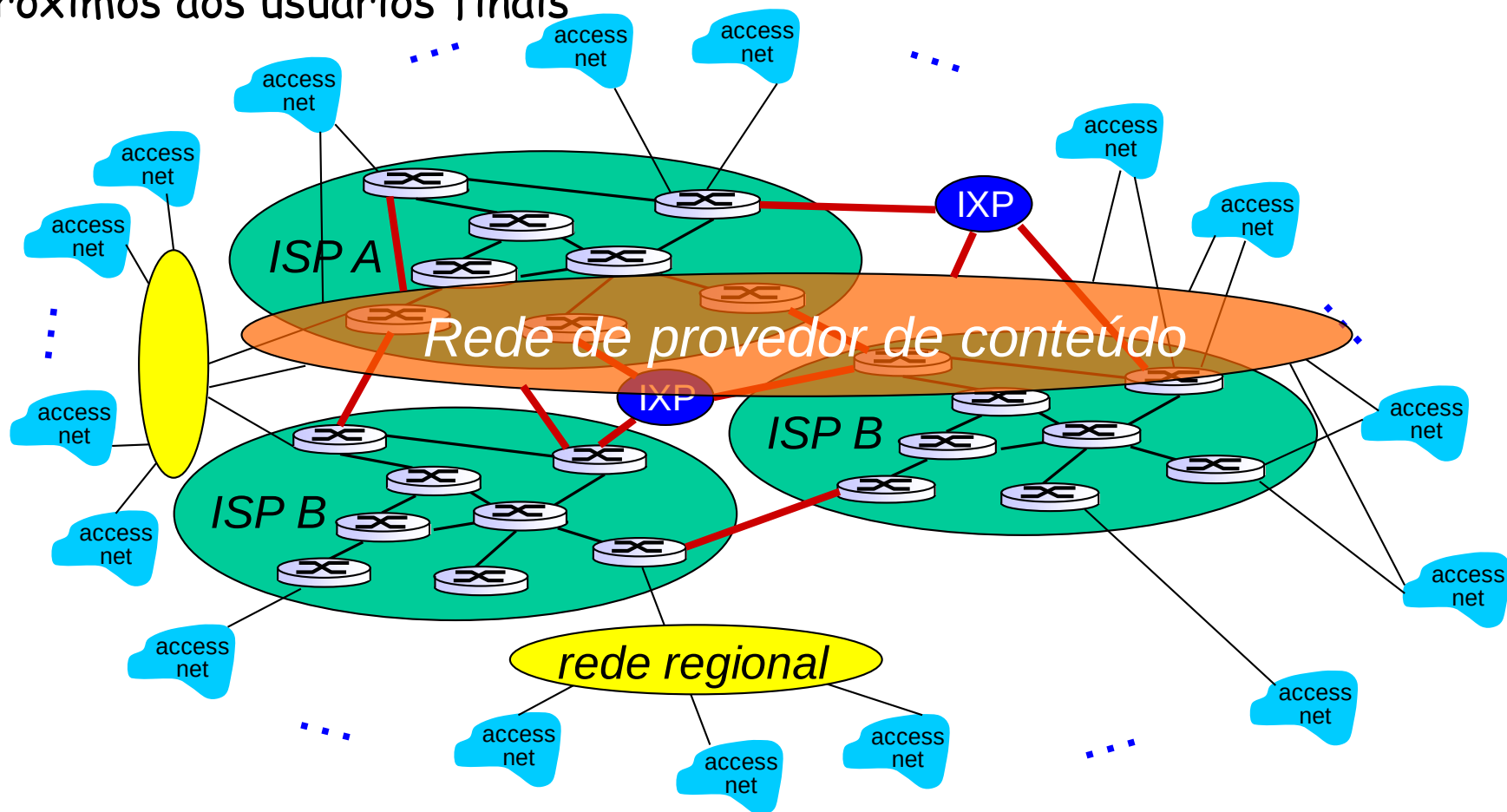
Estrutura da Internet: rede de redes

... e redes regionais podem surgir para conectar redes de acesso a ISPs

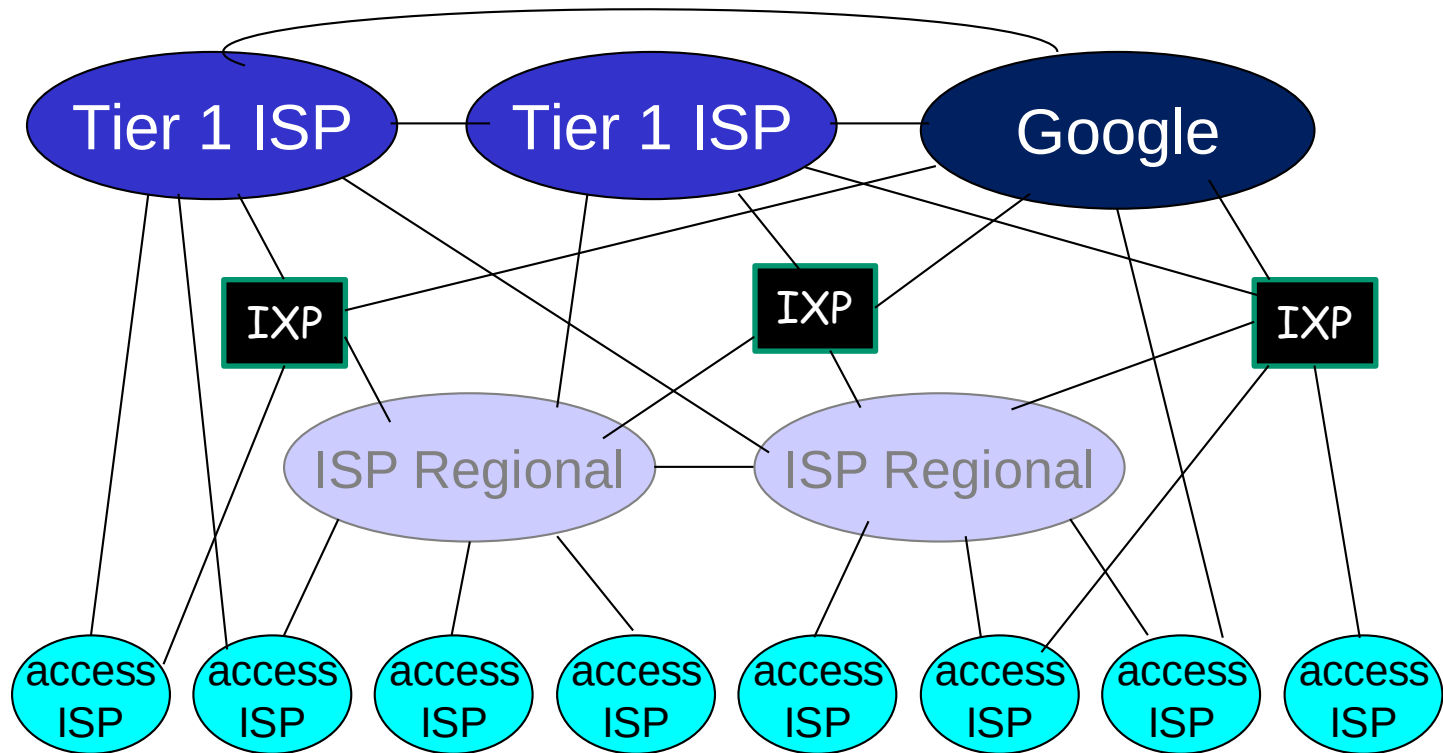


Estrutura da Internet: rede de redes

... e redes de provedores de conteúdo (ex.: Google, Microsoft, Akamai) podem criar as suas próprias redes, para levar serviços e conteúdos próximos aos usuários finais



Estrutura da Internet: rede de redes

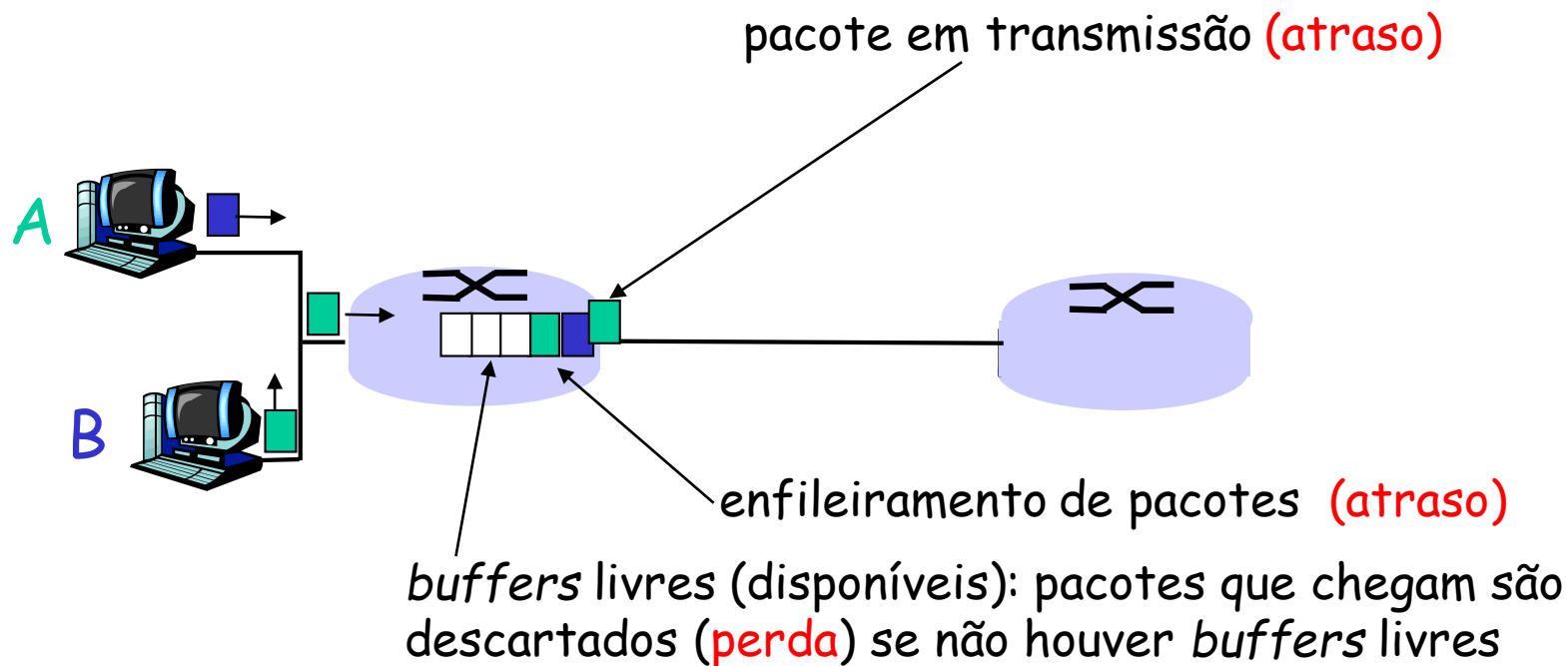


- No centro: pequeno no. de grandes redes bem conectadas
 - **ISPs comerciais "tier-1"** (ex., Level 3, Sprint, AT&T, NTT), cobertura nacional e internacional)
 - **rede de provedor de conteúdo** (ex. Google): rede privada que conecta os seus centros de dados à Internet, normalmente "bypassando" ISPs tier-1 e regionais.

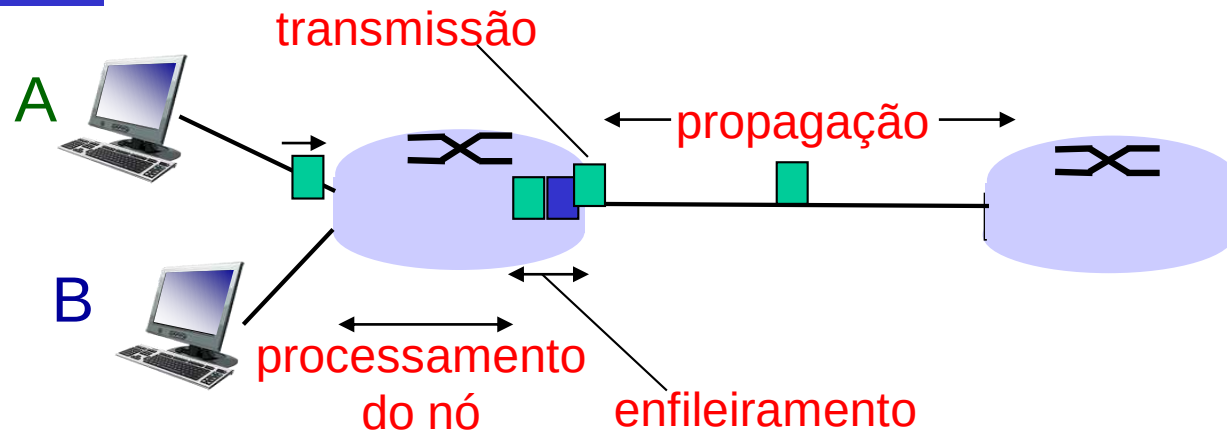
Como ocorrem as perdas e atrasos?

pacotes enfileiram nos buffers do roteador

- taxa de chegada de pacotes ao enlace excede a capacidade do enlace de saída.
- pacotes enfileiram, esperam pela vez



Quatro fontes de atraso dos pacotes



$$d_{\text{nó}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{enfil}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

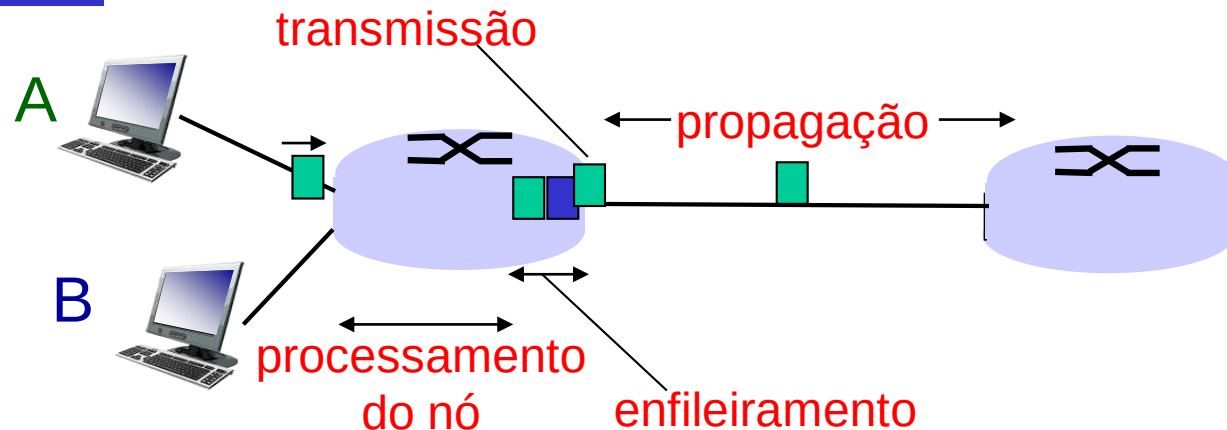
d_{proc} : processamento no nó

- verifica erros de bit
- determina enlace de saída
- tipicamente < mseg

d_{enfil} : atraso de enfileiramento

- tempo esperando no enlace de saída pela vez de transmitir
- depende do nível de congestionamento do roteador

Quatro fontes de atraso dos pacotes



$$d_{\text{nó}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{enfil}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

d_{trans} : atraso de transmissão:

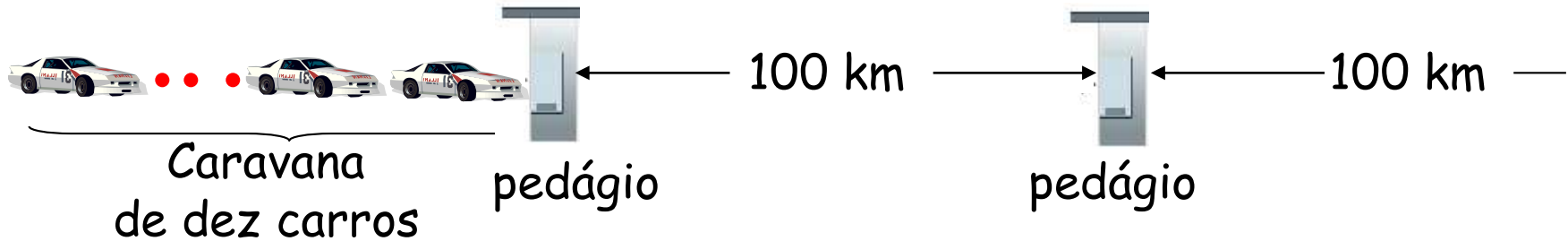
- L: comprimento do pacote (bits)
- R: largura de banda do enlace (bps)
- $d_{\text{trans}} = L/R$

d_{prop} : atraso de propagação

- d: comprimento do enlace físico
- s: velocidade de propagação no meio ($\sim 2 \times 10^8$ m/seg)
- $d_{\text{prop}} = d/s$

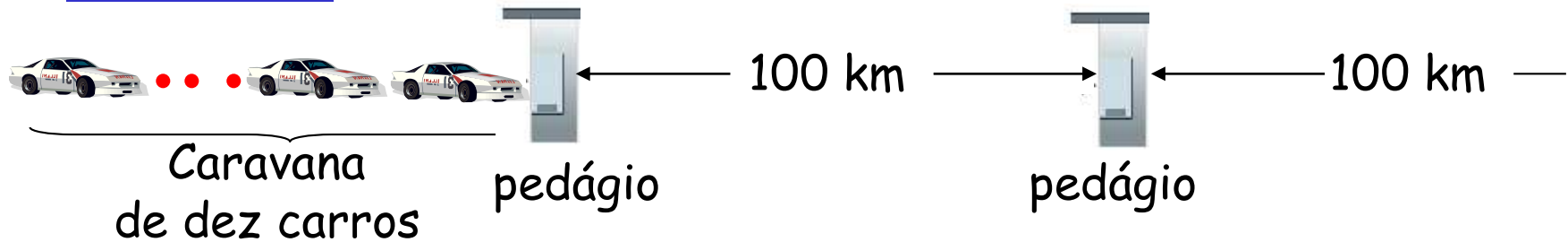
d_{trans} e d_{prop}
muito diferentes

Analogia com uma Caravana



- ❑ Os carros se “propagam” a 100 km/h
- ❑ O pedágio leva 12 seg para atender um carro (tempo de transmissão)
- ❑ carro~bit; caravana ~ pacote
- ❑ P: Quanto tempo leva até que a caravana esteja enfileirada antes do segundo pedágio?
- ❑ Tempo para “atravessar” toda a caravana através do pedágio para a estrada = $12 \times 10 = 120$ seg
- ❑ Tempo para que o último carro se propaga do primeiro para o segundo pedágio:
 $100\text{km} / (100\text{km/h}) = 1 \text{ h}$
- ❑ R: 62 minutos

Analogia com uma caravana (mais)

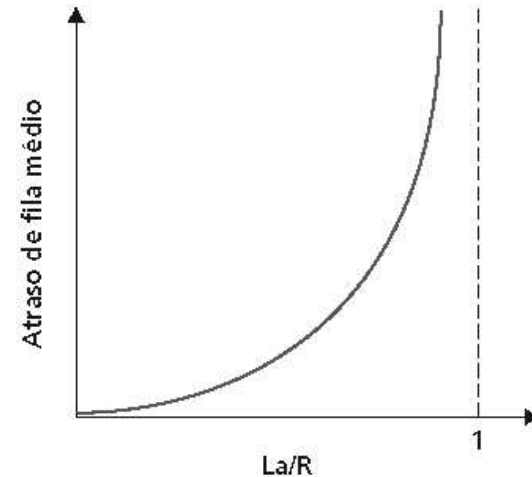


- ❑ Os carros agora se "propagam" a 1000 km/h
- ❑ Os pedágios agora levam em torno de 1 min para atender um carro
- ❑ **P: Os carros chegarão ao segundo pedágio antes que todos os carros tenham sido atendidos no primeiro pedágio?**

- ❑ **Sim!** Após 7 min, o 1o. Carro chega ao 2o. Pedágio e ainda há 3 carros no 1o. pedágio.
- ❑ **O 1o. bit do pacote pode chegar ao 2o. Roteador antes que o pacote tenha sido totalmente transmitido no 1o. roteador!**
 - Veja o applet Ethernet no site da AWL

Atraso de enfileiramento

- R = largura de banda do enlace (bps)
- L = compr. do pacote (bits)
- a = taxa média de chegada de pacotes



intensidade de tráfego = La/R

- $La/R \sim 0$: pequeno atraso de enfileiramento
- $La/R \rightarrow 1$: grande atraso
- $La/R > 1$: chega mais "trabalho" do que a capacidade de atendimento, atraso médio infinito!



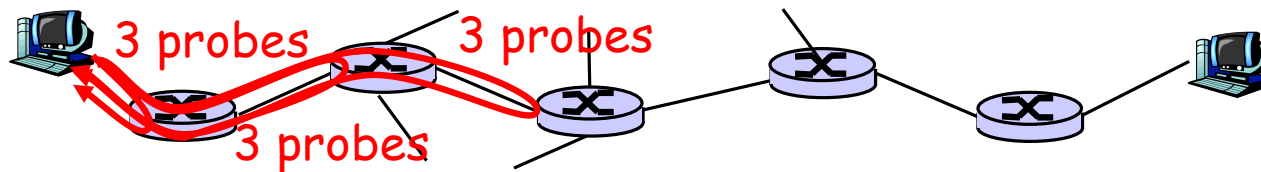
$La/R \sim 0$



$La/R \rightarrow 1$

Atrasos e rotas "reais" da Internet

- ❑ Como são os atrasos e as perdas reais da Internet?
- ❑ Programa **traceroute**: fornece medições de atraso da fonte até os diversos roteadores ao longo do caminho fim-a-fim até o destino. Para cada i :
 - Envia três pacotes que alcançarão o roteador i no caminho até o destino.
 - O roteador i devolverá os pacotes ao transmissor
 - O transmissor calcula o intervalo de tempo decorrido entre a transmissão e a chegada da resposta.



Atrasos e rotas "reais"

traceroute: gaia.cs.umass.edu para www.eurocom.fr

Três medições de atraso de
gaia.cs.umass.edu p/cs-gw.cs.umass.edu



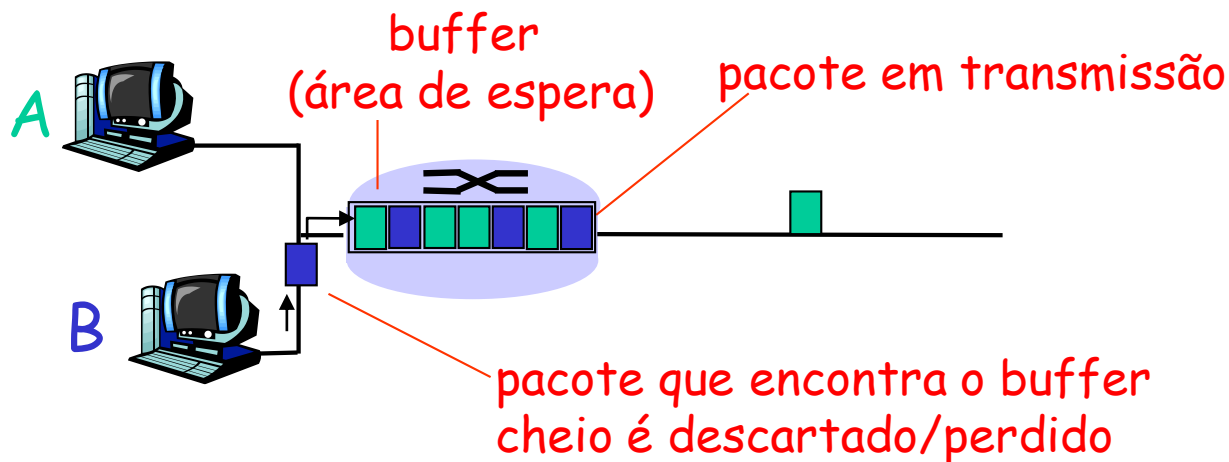
```
1 cs-gw (128.119.240.254) 1 ms 1 ms 2 ms
2 border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145) 1 ms 1 ms 2 ms
3 cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130) 6 ms 5 ms 5 ms
4 jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129) 16 ms 11 ms 13 ms
5 jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136) 21 ms 18 ms 18 ms
6 abilene-vbns.abilene.ucaid.edu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

* sem resposta (pacote perdido, roteador não responde)

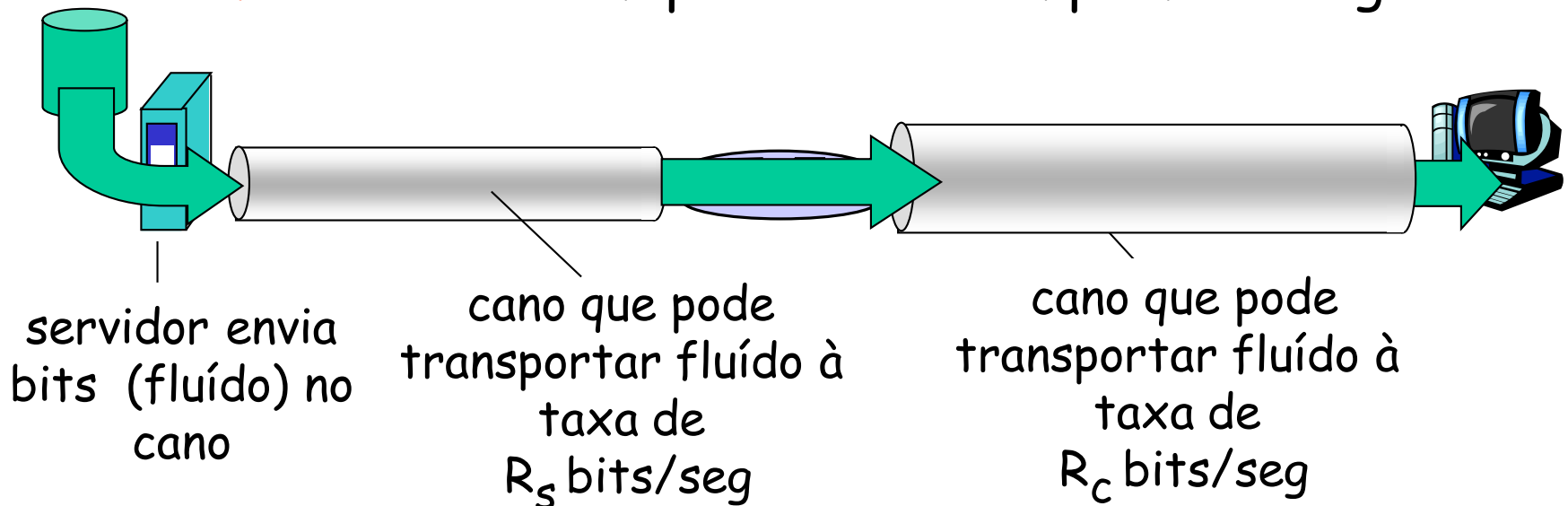
Perda de pacotes

- ❑ fila (buffer) anterior a um canal possui capacidade finita
- ❑ quando um pacote chega numa fila cheia, o pacote é descartado (perdido)
- ❑ o pacote perdido pode ser retransmitido pelo nó anterior, pelo sistema origem, ou não ser retransmitido



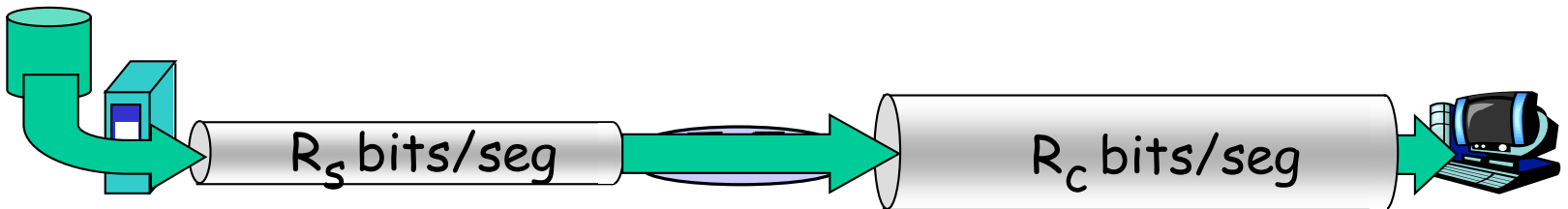
Vazão (Throughput)

- **vazão**: taxa (bits/unidade de tempo) na qual os bits são transferidos entre o transmissor e o receptor
 - **instantânea**: taxa num certo instante de tempo
 - **média**: taxa num período de tempo mais longo

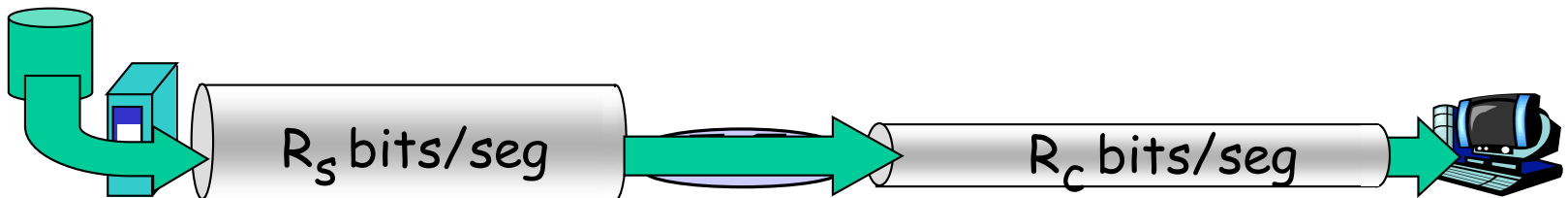


Vazão (mais)

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



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

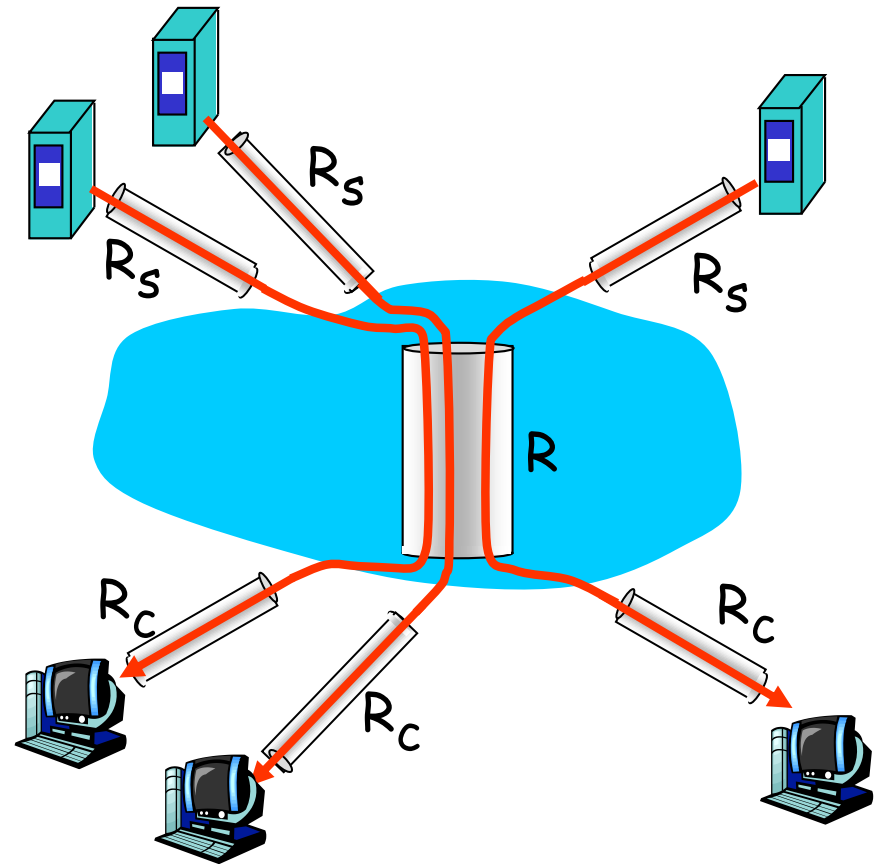


Enlace gargalo

link no caminho fim-a-fim que restringe a vazão fim-a-fim

Vazão: cenário da Internet

- vazão por conexão fim-a-fim:
 $\min(R_c, R_s, R/10)$
- na prática: R_c ou R_s são frequentemente o gargalo



10 conexões compartilham (de modo justo) o enlace gargalo do *backbone* de R bits/seg

Roteiro do Capítulo 1

1.1 O Que é a Internet?

1.2 A Borda (Periferia) da Internet

1.3 O Núcleo da Rede

1.4 Atraso, perda e vazão em redes de comutação de pacotes

1.5 Camadas de protocolos e seus modelos de serviços

1.6 Redes sob ameaça

1.7 História das redes de computadores e da Internet

"Camadas" de Protocolos

Redes são complexas!

❑ Muitos componentes:

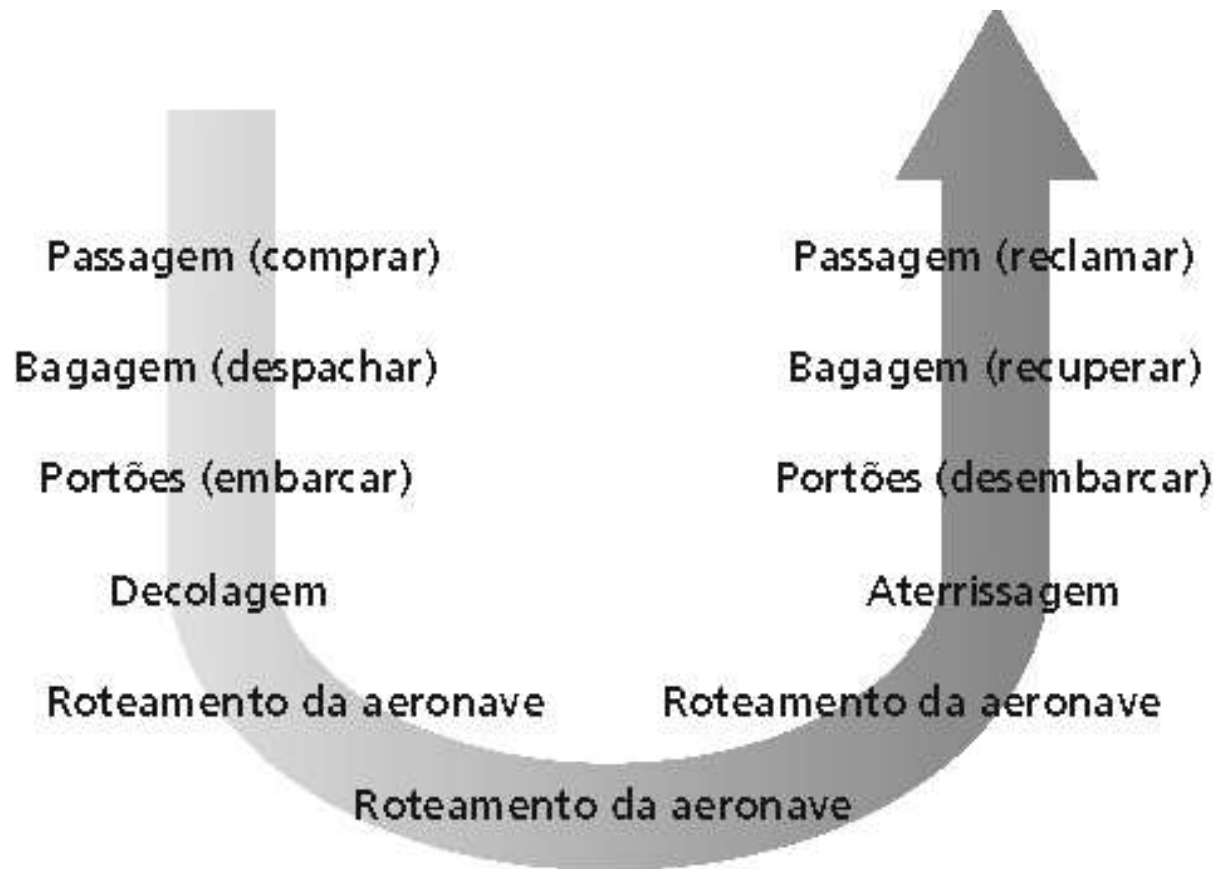
- hospedeiros
- roteadores
- enlaces de diversos meios
- aplicações
- protocolos
- hardware, software

Pergunta:

Existe alguma esperança
de *organizar* a
estrutura da rede?

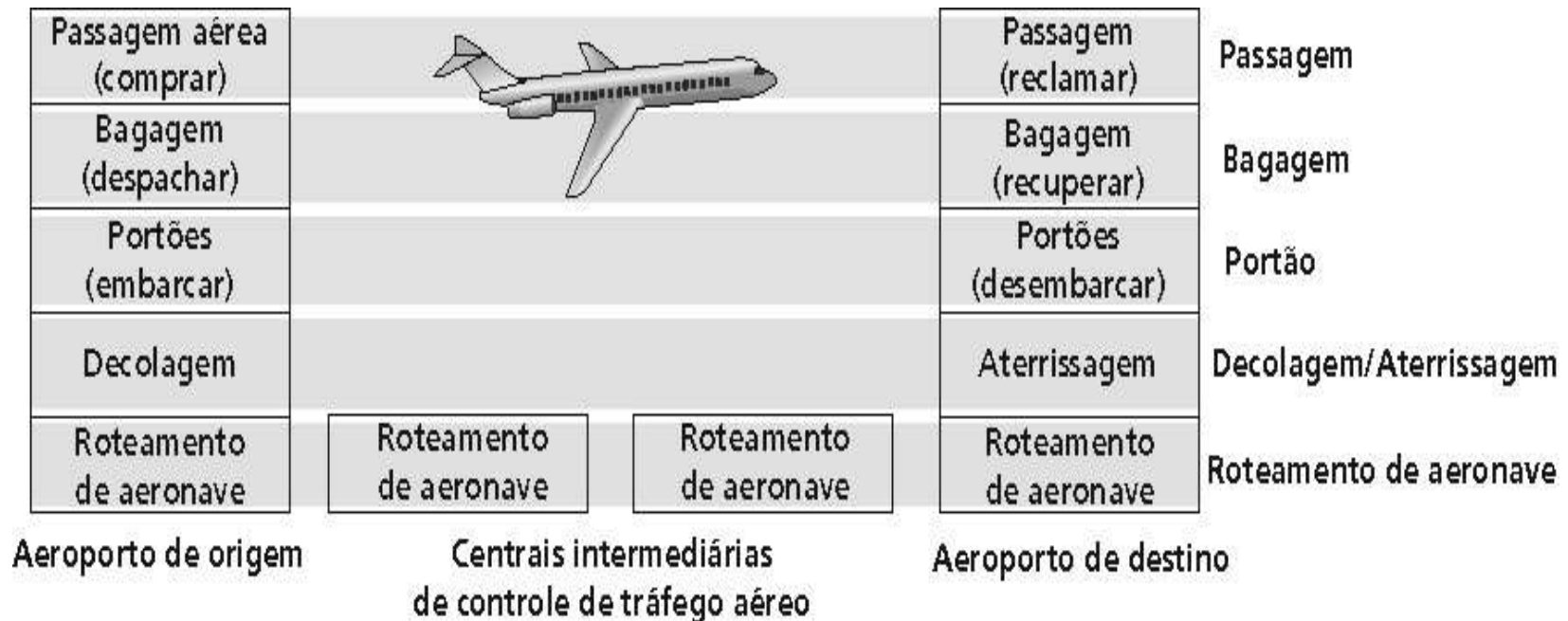
Ou, pelo menos, organizar
nossa discussão de
redes?

Organização de uma viagem aérea



- Uma série de passos/ações

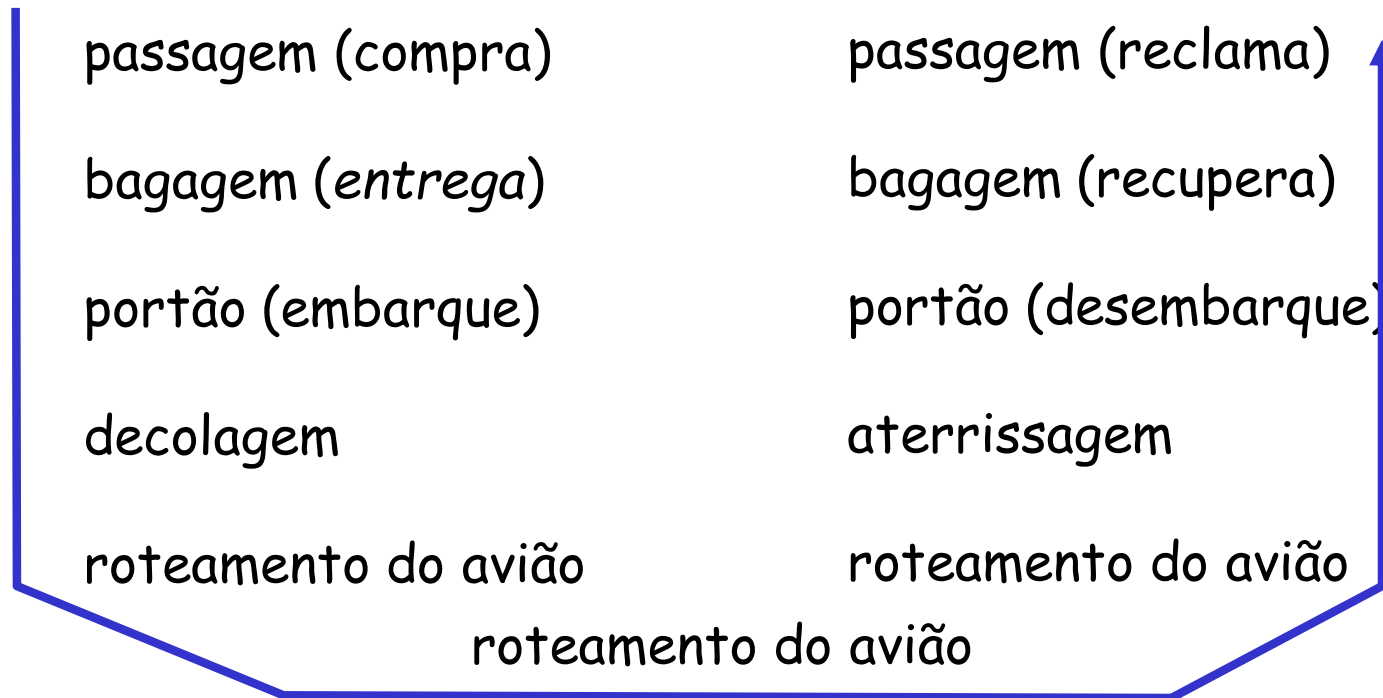
Funcionalidade de uma linha aérea em camadas



Camadas: cada camada implementa um serviço

- através de ações internas à camada
- depende dos serviços providos pela camada inferior

Organização de viagens aéreas



- ❑ Como descrever este sistema?
 - uma série de passos

Organização de viagens aéreas: outra visão

passagem (compra)	passagem (reclama)
bagagem (entrega)	bagagem (recupera)
portão (embarque)	portão (desembarque)
decolagem	aterriçagem
roteamento do avião	roteamento do avião
	roteamento do avião

Camadas: cada camada implementa um serviço

- através das ações internas da própria camada
- uso dos serviços providos pela camada inferior

Viagens aéreas em camadas: serviços

entrega balcão a balcão de passageiros/bagagem

entrega de bagagem do check-in à esteira

entrega pessoas: p. embarque ao p. desembarque

entrega de avião: aeroporto a aeroporto

roteamento do avião da origem ao destino

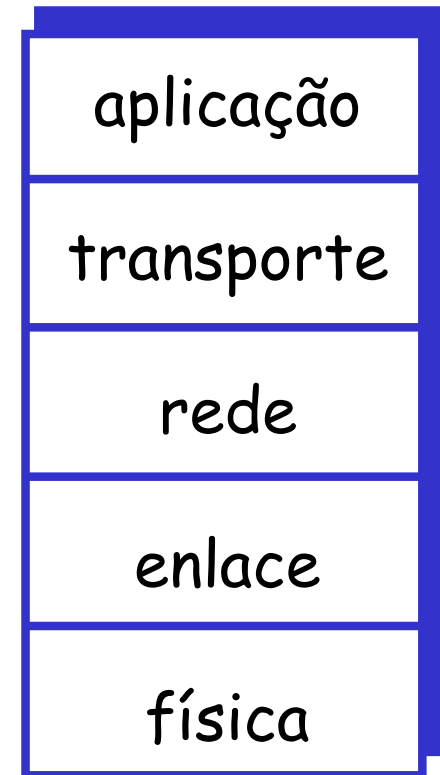
Por que dividir em camadas?

Lidar com sistemas complexos:

- ❑ estrutura explícita permite a identificação e relacionamento entre as partes do sistema complexo
 - **modelo de referência** em camadas para discussão
- ❑ modularização facilita a manutenção e atualização do sistema
 - mudança na implementação do serviço da camada é transparente para o resto do sistema
 - ex., mudança no procedimento no portão não afeta o resto do sistema
- ❑ divisão em camadas é considerada prejudicial?

Pilha de protocolos Internet

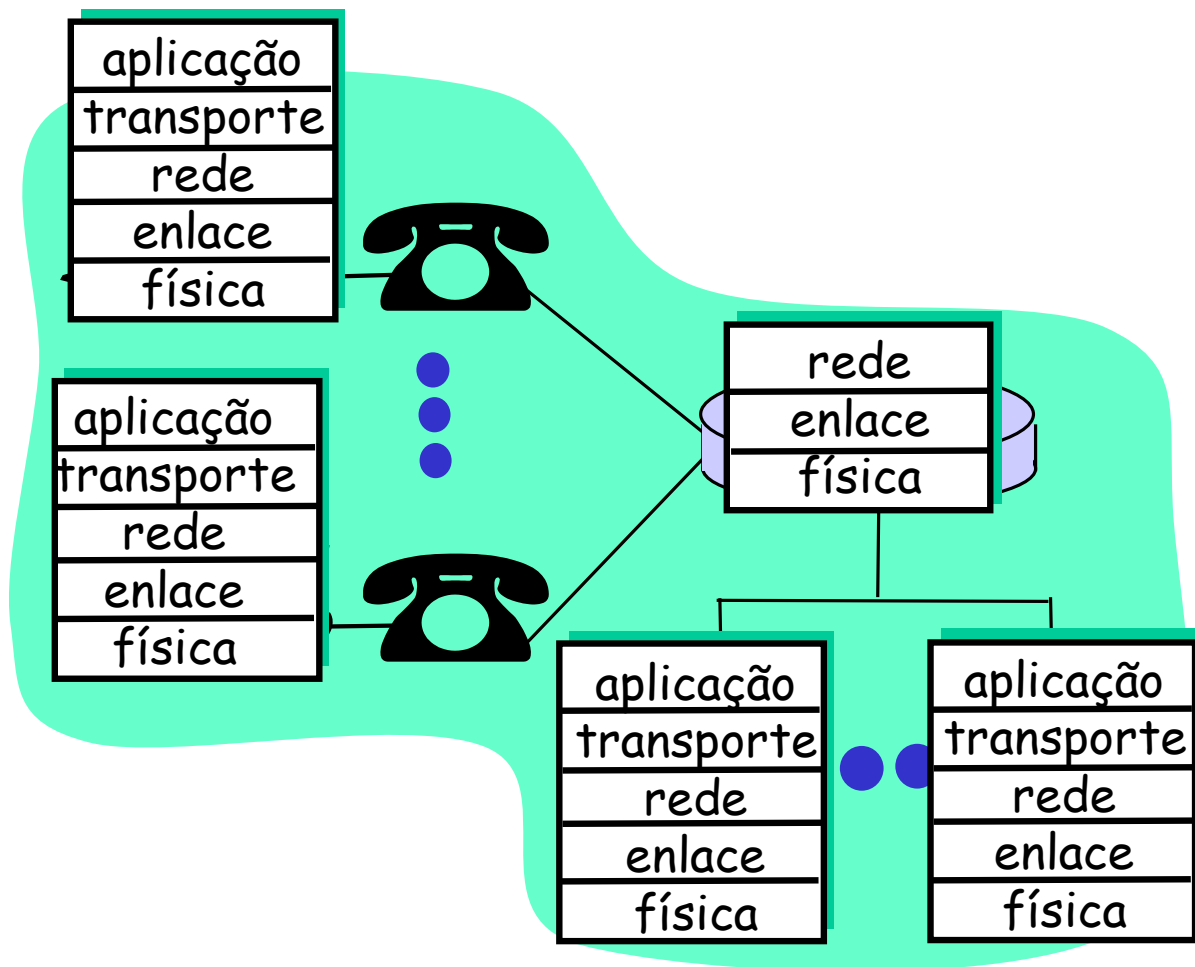
- ❑ **aplicação:** dá suporte a aplicações de rede
 - FTP, SMTP, HTTP
- ❑ **transporte:** transferência de dados processo a processo
 - TCP, UDP
- ❑ **rede:** repasse (encaminhamento) de datagramas da origem até o destino
 - IP, protocolos de roteamento
- ❑ **enlace:** transferência de dados entre elementos de rede vizinhos
 - PPP, Ethernet, 802.11
- ❑ **física:** bits “no fio”



Camadas: comunicação lógica

Cada camada:

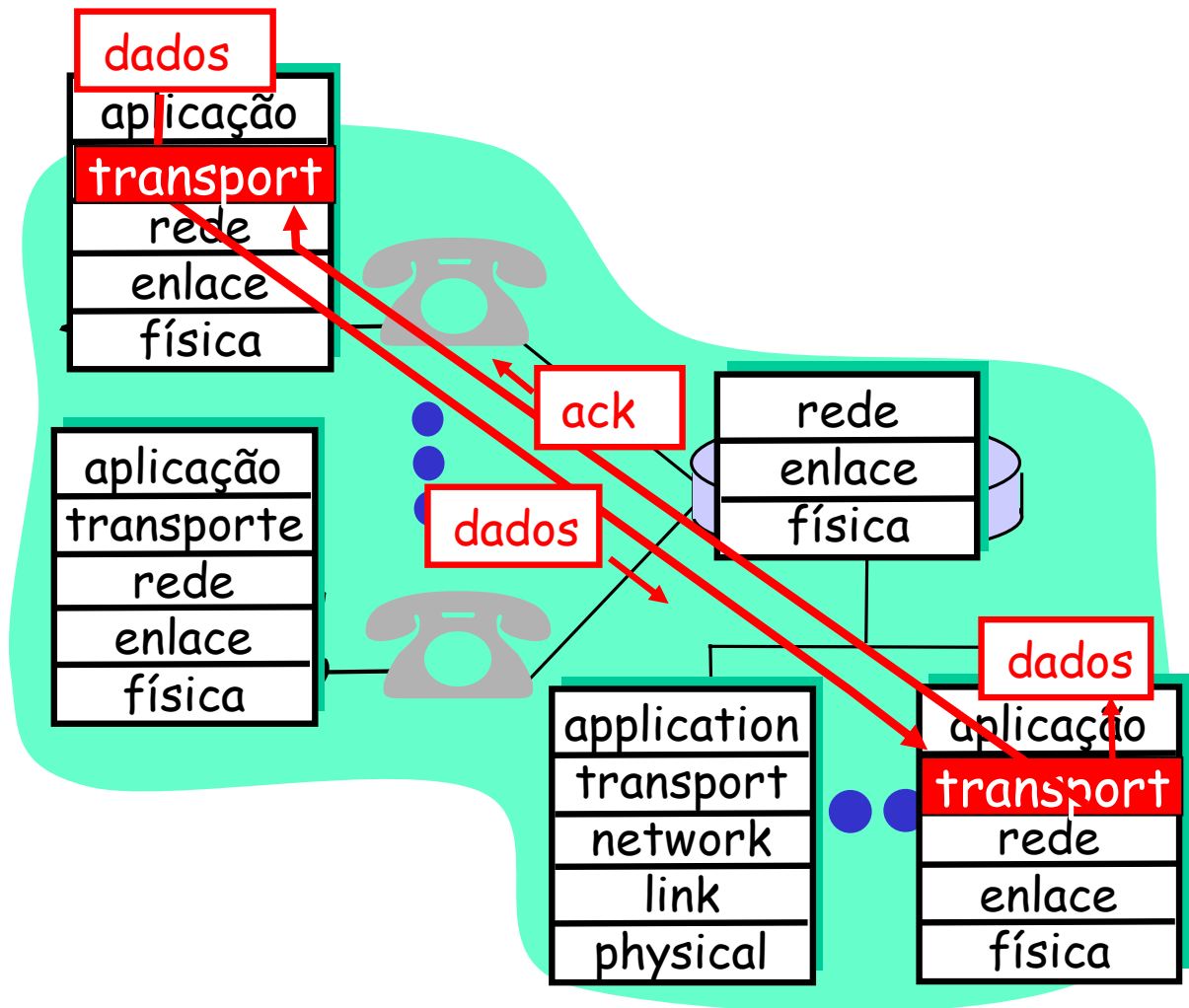
- ❑ distribuída
- ❑ "entidades" implementam funções da camada em cada nó
- ❑ entidades realizam ações, trocam mensagens com pares



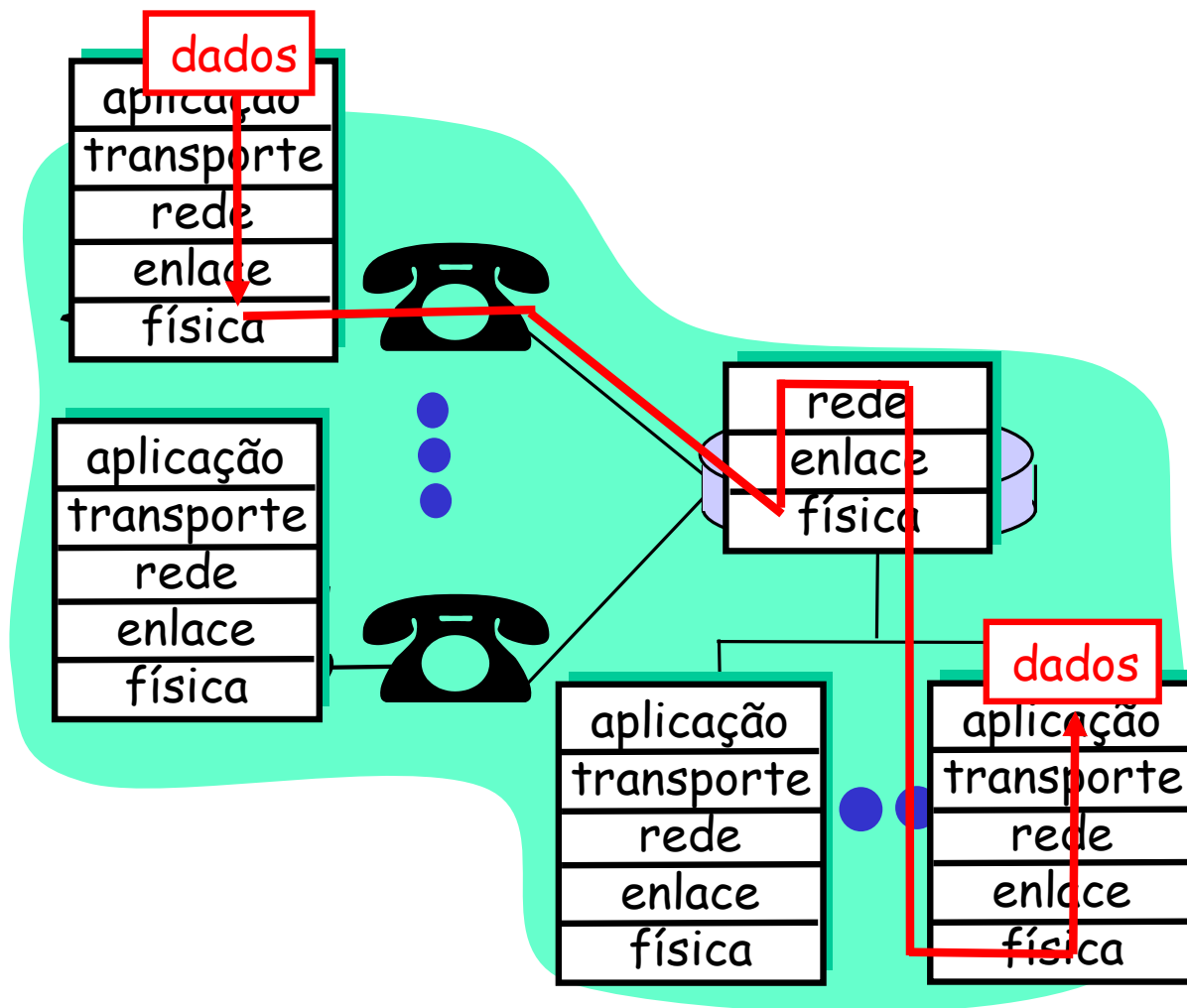
Camadas: comunicação lógica

P.ex.: transporte

- obtém dados da apl.
- inclui endereços, info para confiabilidade para formar "datagrama"
- envia datagrama ao par
- espera receber ack (reconhecimento) do par



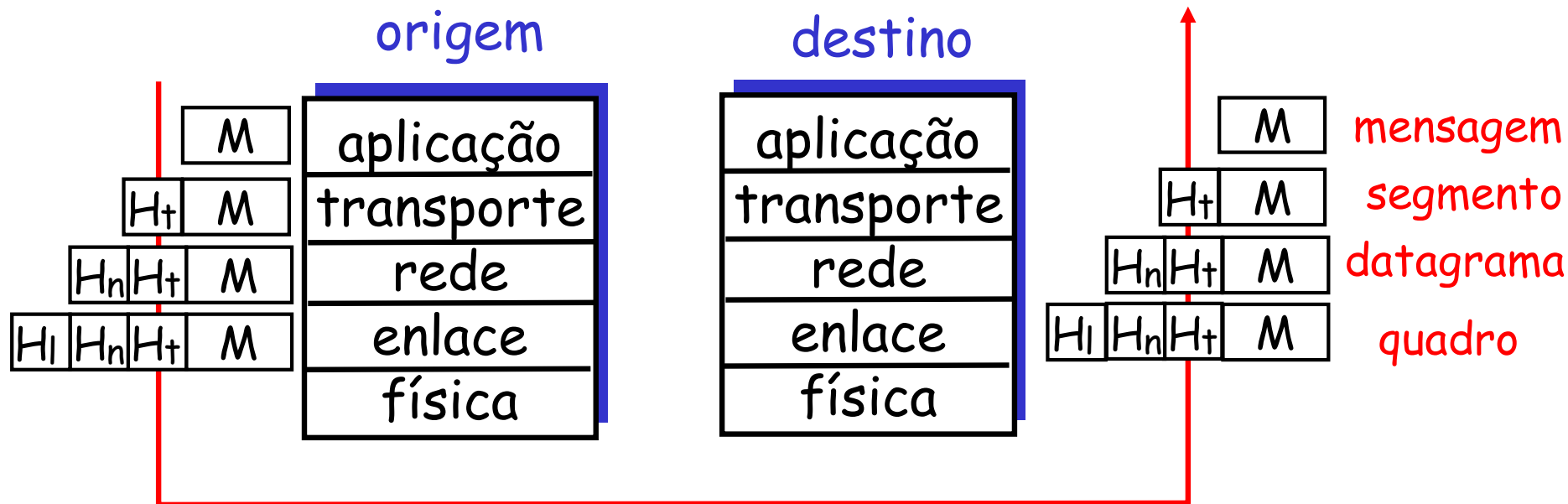
Camadas: comunicação física



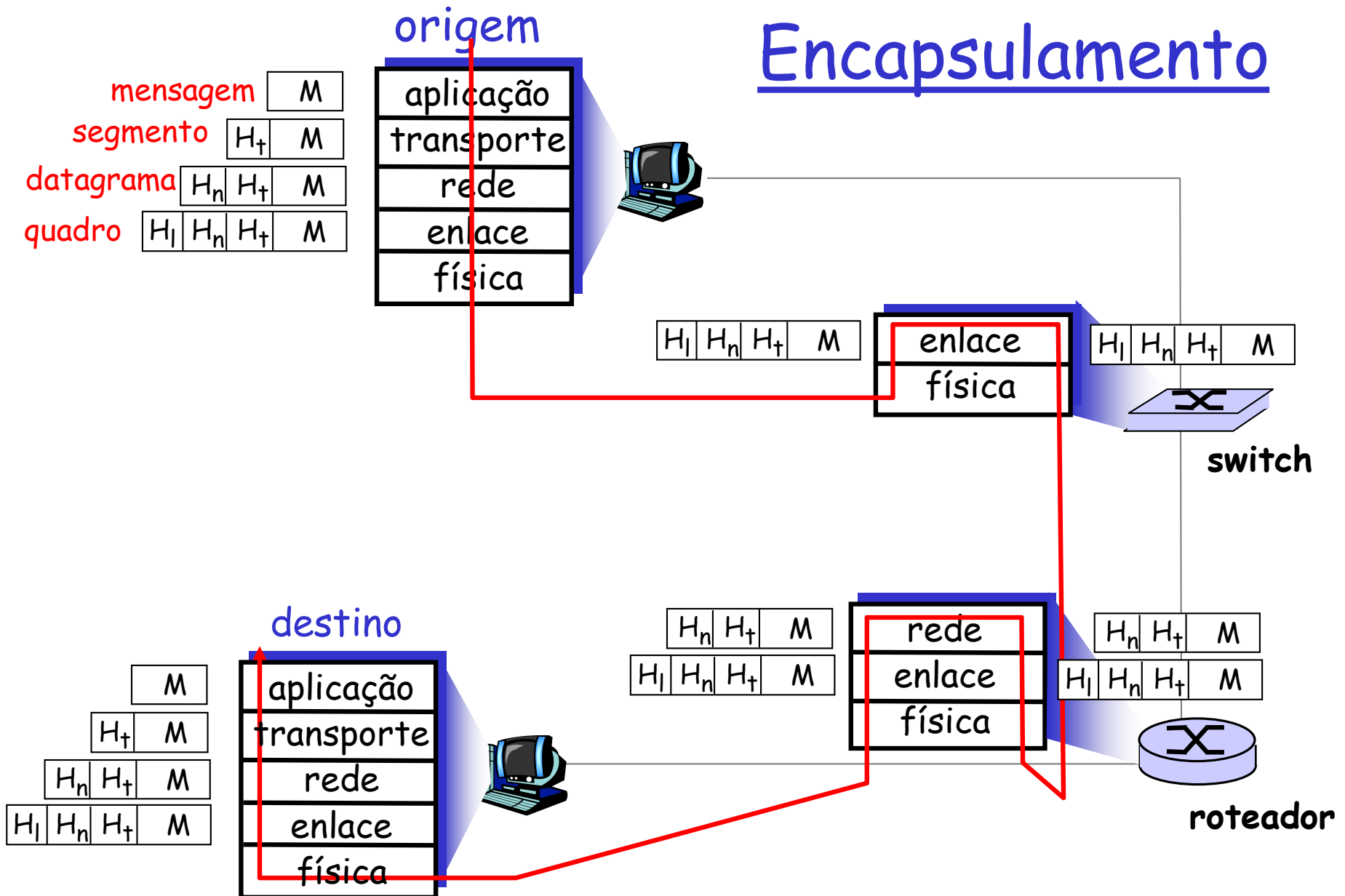
Camadas de protocolos e dados

Cada camada recebe dados da camada superior

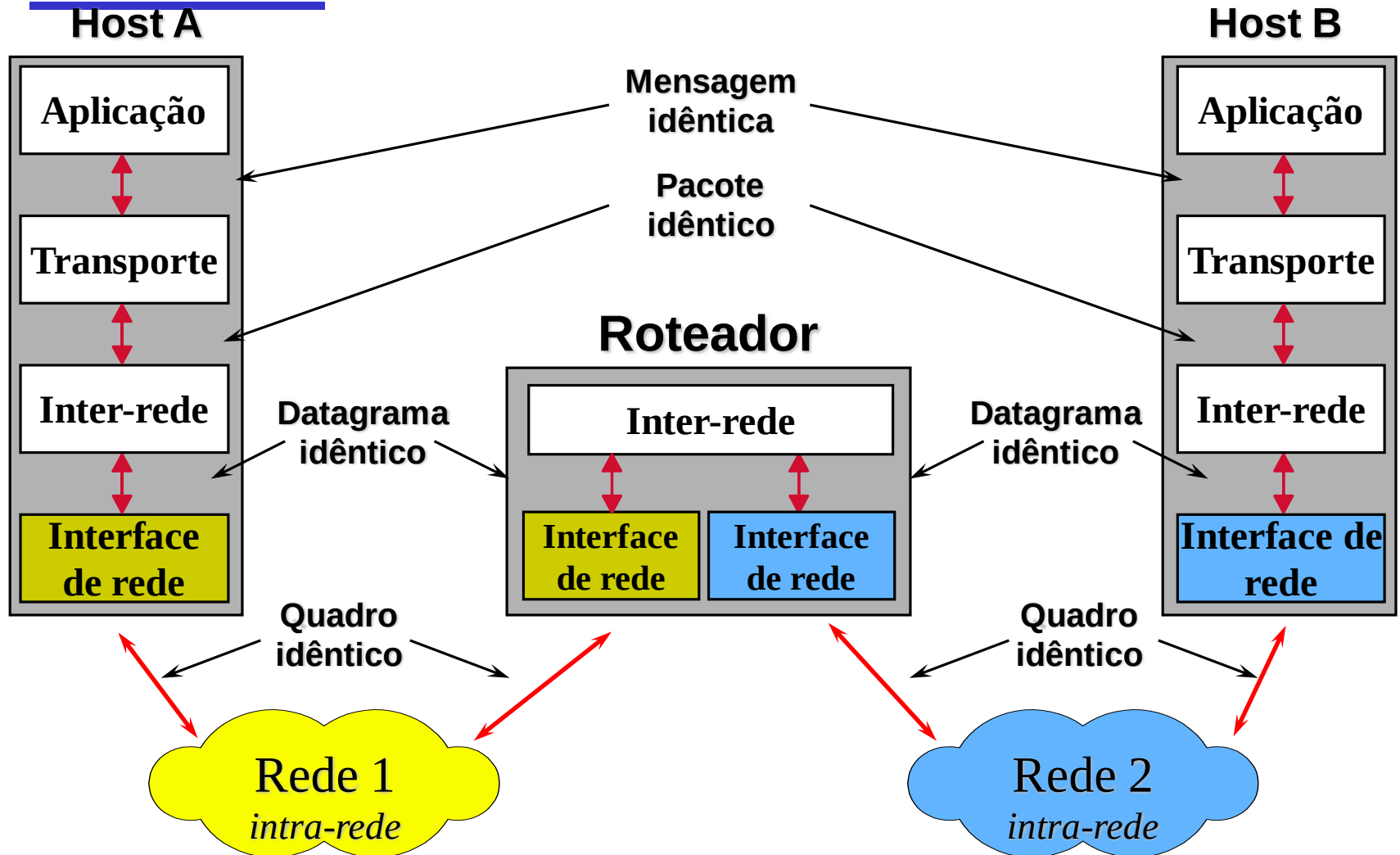
- ❑ acrescenta cabeçalho com informação para criar nova unidade de dados
- ❑ passa nova unidade de dados para camada inferior



Encapsulamento



Nós Intermediários na Arquitetura TCP/IP



Exemplo

□ Protocol.h

```
#define MAX_PKT 1024           /* determines packet size in bytes */

typedef enum {false, true} boolean; /* boolean type */
typedef unsigned int seq_nr;      /* sequence or ack numbers */
typedef struct {unsigned char data[MAX_PKT];} packet; /* packet definition */
typedef enum {data, ack, nak} frame_kind; /* frame_kind definition */

typedef struct {                /* frames are transported in this layer */
    frame_kind kind;            /* what kind of a frame is it? */
    seq_nr seq;                 /* sequence number */
    seq_nr ack;                 /* acknowledgement number */
    packet info;                /* the network layer packet */
} frame;

/* Wait for an event to happen; return its type in event. */
void wait_for_event(event_type *event);

/* Fetch a packet from the network layer for transmission on the channel. */
void from_network_layer(packet *p);
```

Transmissor

```
typedef enum {frame_arrival} event_type;
#include "protocol.h"

void sender1(void)
{
    frame s;                /* buffer for an outbound frame */
    packet buffer;          /* buffer for an outbound packet */

    while (true) {
        from_network_layer(&buffer);    /* go get something to send */
        s.info = buffer;                /* copy it into s for transmission */
        to_physical_layer(&s);          /* send it on its way */
    }
    /* Tomorrow, and tomorrow, and tomorrow,
       Creeps in this petty pace from day to day
       To the last syllable of recorded time
       - Macbeth, V, v */
}
```

Exemplo (receptor)

```
void receiver1(void)
{
    frame r;
    event_type event;          /* filled in by wait, but not used here */

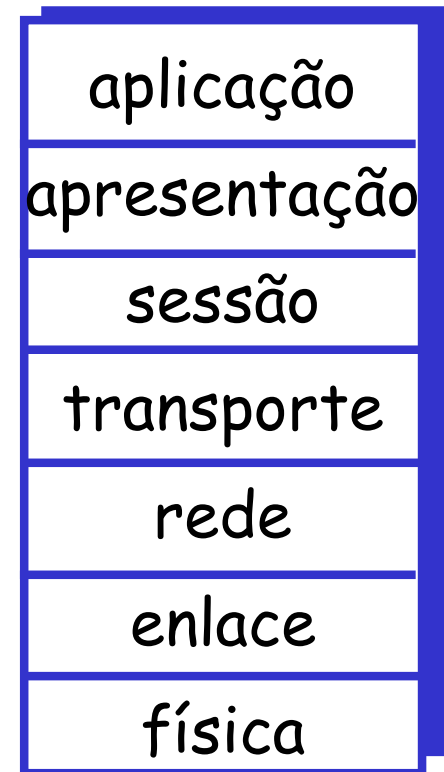
    while (true) {
        wait_for_event(&event); /* only possibility is frame_arrival */
        from_physical_layer(&r); /* go get the inbound frame */
        to_network_layer(&r.info); /* pass the data to the network layer */
    }
}
```

Modelo de Referência OSI

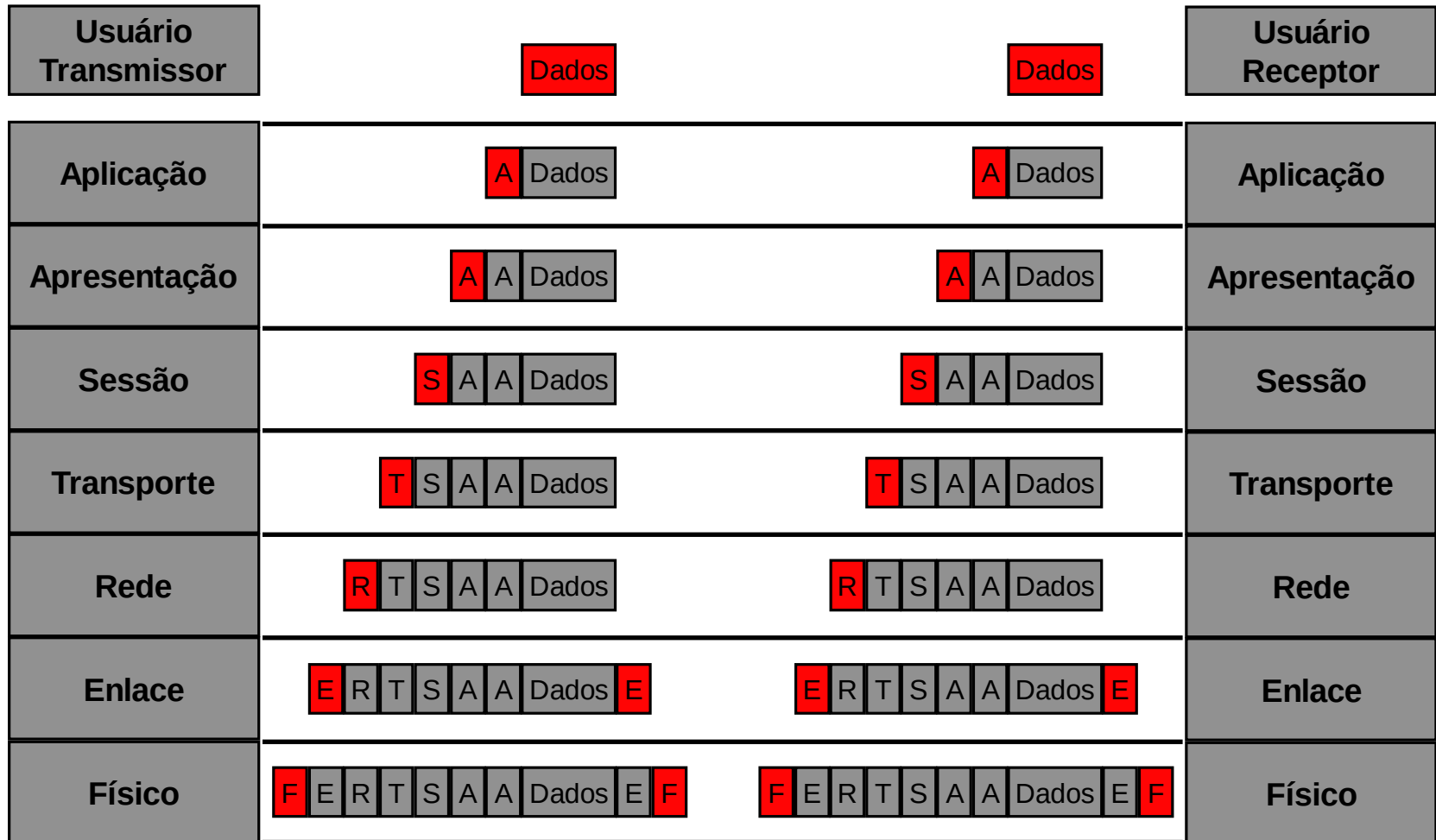
- ❑ Open System Interconnection
- ❑ ISO (International Organization for Standardization)
- ❑ Sete camadas funcionais

Modelo de referência ISO/OSI

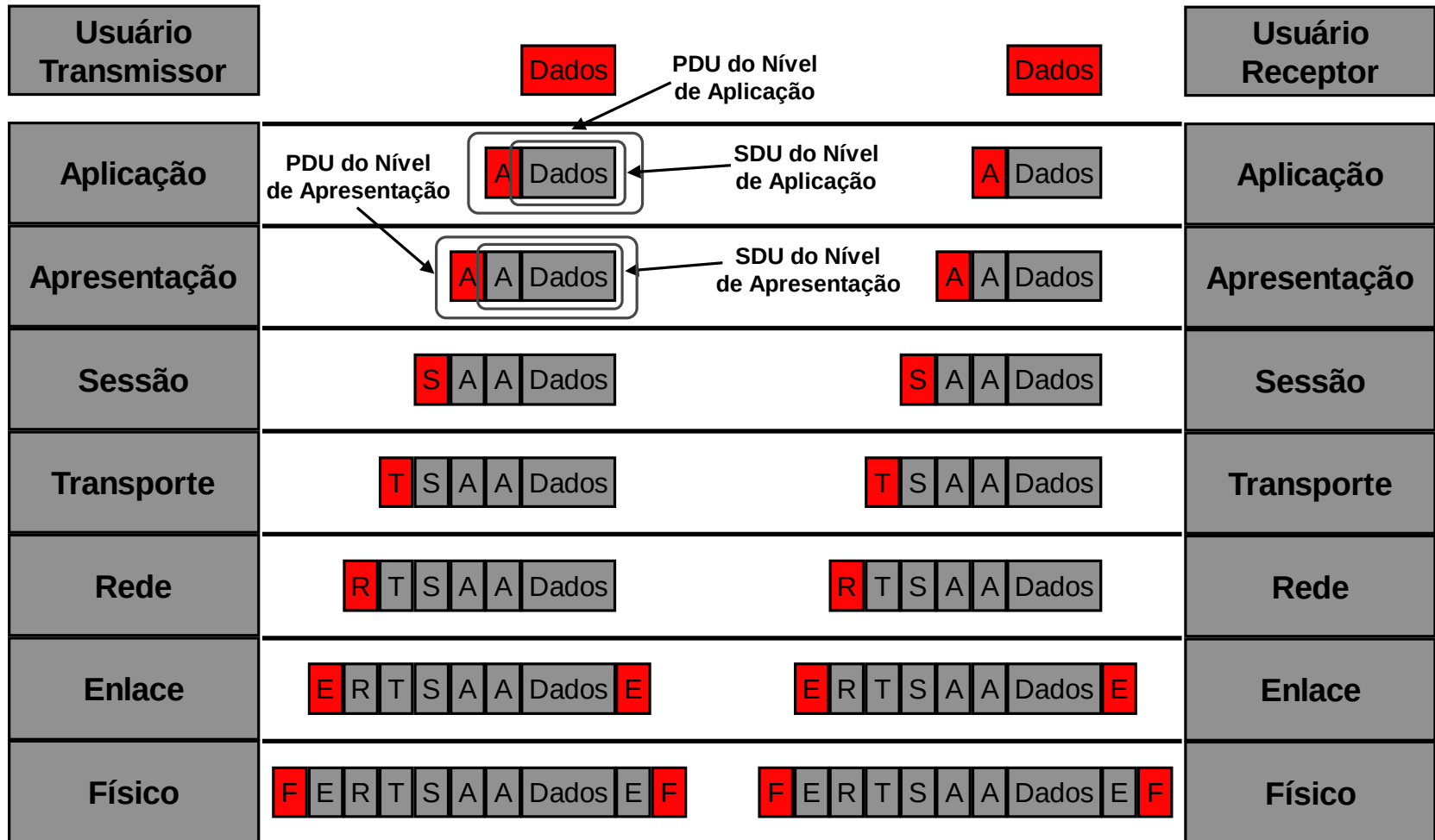
- ❑ **apresentação**: permite às aplicações interpretar o significado dos dados, ex., cifragem, compressão, convenções específicas de máquina
- ❑ **sessão**: sincronização, verificação, recuperação da troca de dados
- ❑ a pilha Internet não contém estas camadas!
 - estes serviços, *caso necessários*, devem ser implementados na aplicação
 - eles são necessários?



Transmissão de Dados no Modelo OSI



Transmissão de Dados no Modelo OSI



Arquitetura IEEE

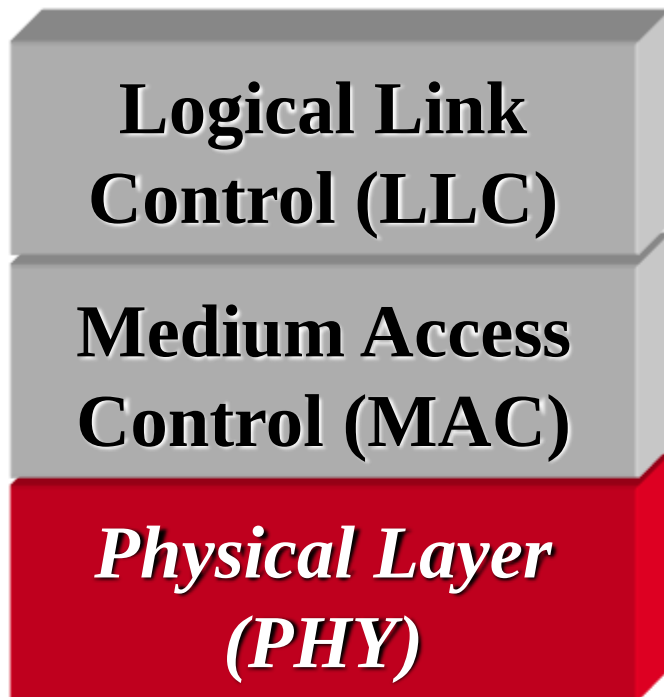
- ❑ IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers
- ❑ Conjunto de Padrões para Redes Pessoais, Locais e metropolitanas

▶ Padrões para LAN

- ❑ 802.2 Logical Link Control
- ❑ 802.3 CSMA/CD (Ethernet)
- ❑ 802.4 Token Bus
- ❑ 802.5 Token Ring
- ❑ 802.6 Distributed Queue Dual Bus
- ❑ 802.11 Rede Local sem Fio

802.2 LLC				
802.3 CSMA/CD	802.4 Token Bus	802.5 Token Ring	802.6 DQDB	FDDI

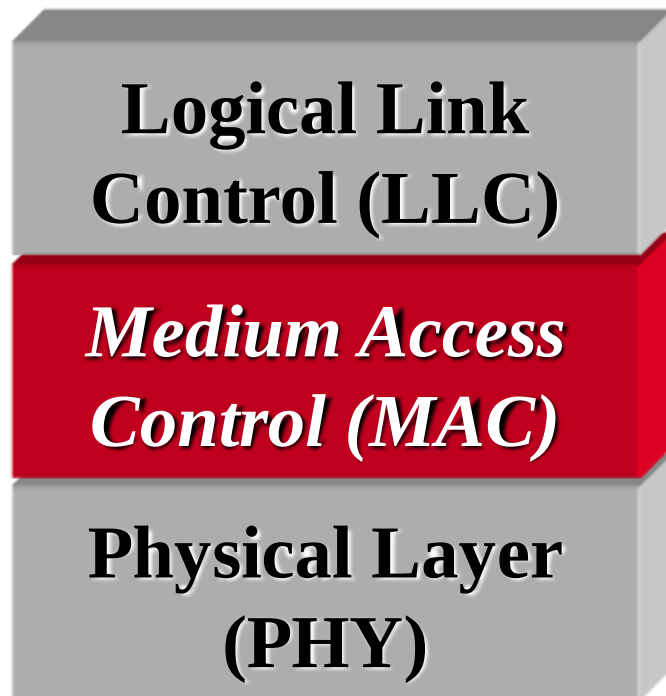
Camada Física



transmissão de bits
através de um meio
físico

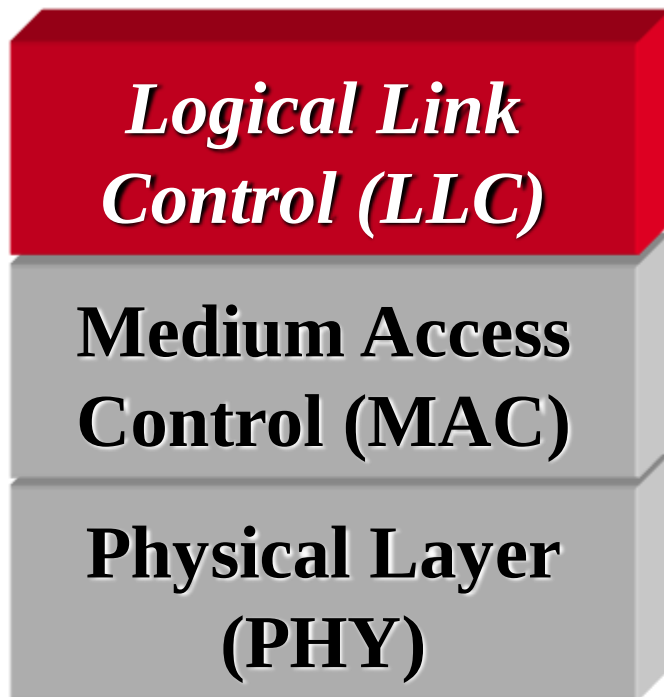
- Cabo coaxial
- Par trançado
- Fibra ótica
- Método de codificação
- Taxa de Transmissão

Camada de Controle de Acesso ao Meio



- ❑ Organização do acesso ao meio físico compartilhado
 - Barra
 - Anel
 - Wireless
- ❑ Técnicas
 - CSMA-CD (802.3)
 - Token Bus (802.4)
 - Token Ring (802.5)
 - DQDB (802.6)

Camada de Controle de Enlace Lógico



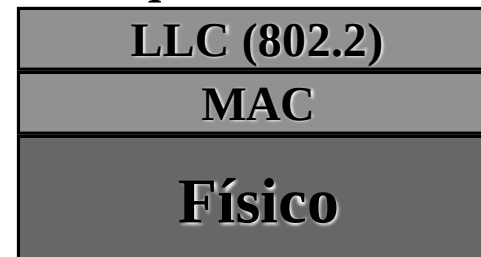
- ❑ Independência da camada MAC
- ❑ Controle de erros e de fluxo

OSI x IEEE 802

Arquitetura OSI



Arquitetura IEEE



Roteiro do Capítulo 1

1.1 O Que é a Internet?

1.2 A Borda (Periferia) da Internet

1.3 O Núcleo da Rede

1.4 Atraso, perda e vazão em redes de comutação de pacotes

1.5 Camadas de protocolos e seus modelos de serviços

1.6 Redes sob ameaça

1.7 História das redes de computadores e da Internet

Segurança de Redes

- ❑ O campo de segurança de redes lida com:
 - como os vilões podem atacar as redes
 - como podemos defender as redes contra ataques
 - como projetar arquiteturas que sejam imunes a ataques

- ❑ A Internet não foi projetada inicialmente com (muita) segurança em mente
 - *visão original*: “um grupo de usuários mutuamente confiáveis conectados a uma rede transparente 😊
 - Projetistas dos protocolos Internet estão “correndo atrás do prejuízo”
 - Considerações sobre segurança em todas as camadas!

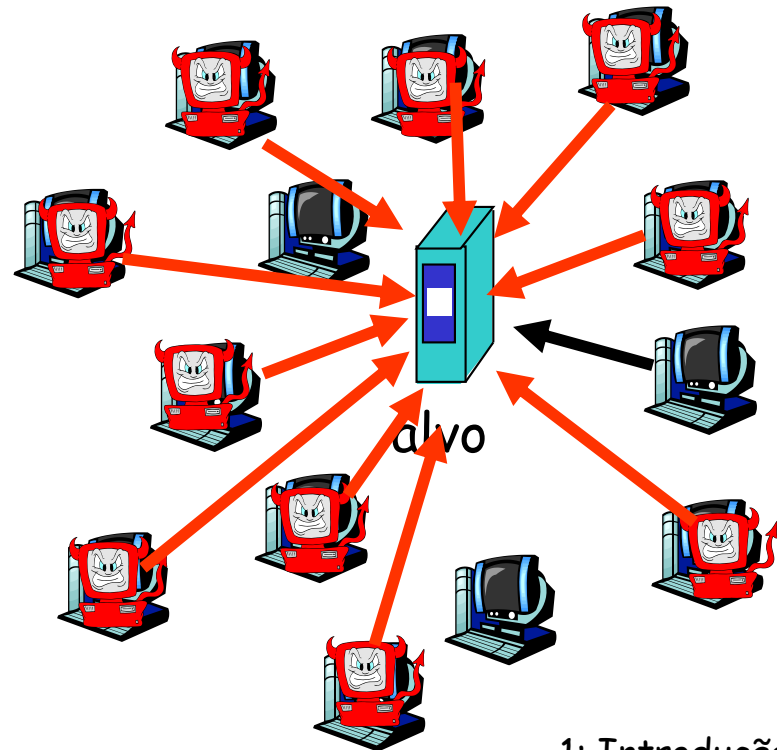
Os vilões podem colocar malware no seu hospedeiro através da Internet

- ❑ O *Malware* pode entrar nos hospedeiros através de:
 - *vírus*: infecção autoreplicante através da recepção/ execução de um objeto (ex., anexo de e-mail)
 - *Worms*: infecção autoreplicante através da recepção passiva de um objeto que se autoexecuta
- ❑ *Spyware* pode registrar teclas digitadas, sítios web visitados, carregar informações para sítio de coleta.
- ❑ Hospedeiro infectado podem ser incluídos numa *botnet*, usada para gerar spams e ataques DDoS.

Ataque a servidores e à infraestrutura da rede

□ **Negação de serviço (DoS):** atacantes deixam os recursos (servidor, banda) indisponíveis para o tráfego legítimo sobrecarregando o recurso com tráfego falso

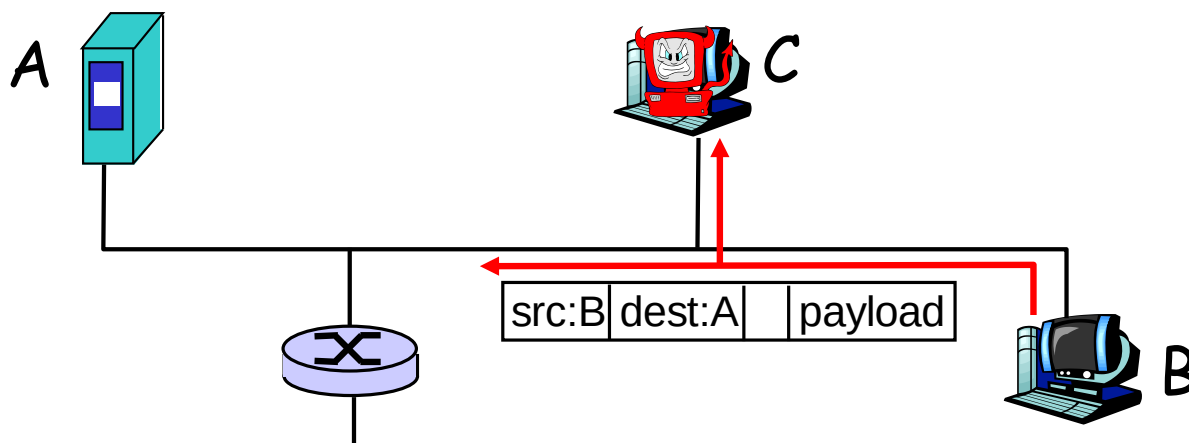
1. seleciona o alvo
2. Invade hospedeiros na rede (vide botnet)
3. envia pacotes para o alvo a partir de hospedeiros invadidos



Os vilões podem analisar pacotes

Analísadores (farejadores) de pacotes:

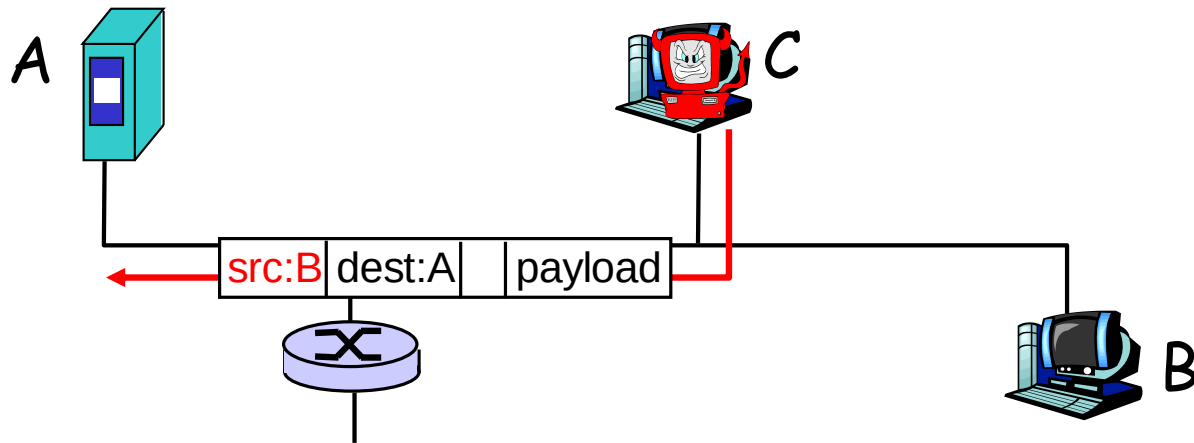
- meios de difusão (Ethernet compartilhado, sem fio)
- interface promíscua de rede lê/registra todos os pacotes que passam (incluindo senhas!)



- ❖ O programa Wireshark usado para os laboratórios no final do capítulo é um analisador grátis de pacotes

Os vilões podem se passar por alguém de sua confiança

- ❑ *Imitação (spoofing) de pacotes IP:* envia pacotes com endereços origem falsos



... muito mais sobre segurança (até o Capítulo 8)

Roteiro do Capítulo 1

1.1 O Que é a Internet?

1.2 A Borda (Periferia) da Internet

1.3 O Núcleo da Rede

1.4 Atraso, perda e vazão em redes de comutação de pacotes

1.5 Camadas de protocolos e seus modelos de serviços

1.6 Redes sob ameaça

1.7 História das redes de computadores e da Internet

História da Internet

1961-1972: Estréia da comutação de pacotes

- ❑ 1961: Kleinrock - teoria das filas demonstra eficiência da comutação por pacotes
- ❑ 1964: Baran - comutação de pacotes em redes militares
- ❑ 1967: concepção da ARPAnet pela ARPA (*Advanced Research Projects Agency*)
- ❑ 1969: entra em operação o primeiro nó da ARPAnet

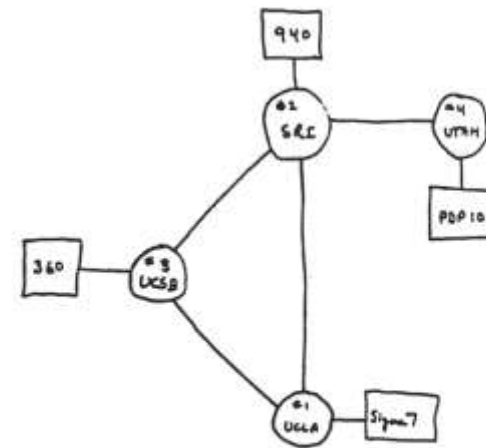


História da Internet

1961-1972: Estréia da comutação de pacotes

□ 1972:

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



THE ARPA NETWORK

História da Internet

1972-1980: Interconexão de redes novas e proprietárias

- ❑ 1970: rede de satélite ALOHAnet no Havaí
- ❑ 1974: Cerf e Kahn - arquitetura para a interconexão de redes
- ❑ 1976: Ethernet no XEROX PARC
- ❑ fim dos anos 70: arquiteturas proprietárias: DECnet, SNA, XNA
- ❑ fim dos anos 70: comutação de pacotes de comprimento fixo (precursor do ATM)
- ❑ 1979: ARPAnet com 200 nós

Princípios de interconexão de Cerf e Kahn:

- minimalismo, autonomia - não é necessária nenhuma mudança interna para interconectar redes
- modelo de serviço *best effort*
- roteadores sem estados
- controle descentralizado

definem a arquitetura atual da Internet

História da Internet

1980-1990: novos protocolos, proliferação de redes

- ❑ 1983: implantação de TCP/IP
- ❑ 1982: definição do protocolo smtp (correio)
- ❑ 1983: definição do DNS para tradução de nome para endereço IP
- ❑ 1985: definição do protocolo ftp
- ❑ 1988: TCP: controle de congestionamento
- ❑ novas redes nacionais: Csnet, BITnet, NSFnet, Minitel
- ❑ 100,000 hospedeiros ligados à confederação de redes
- ❑ Brasil - início da BITnet em 1988 (LNCC e FAPESP)
- ❑ Brasil - início da UUCP em 1989 (Alternex)

História da Internet

Anos 90 e 2000: comercialização, a Web, novas aplicações

- ❑ início dos anos 90: ARPAnet desativada
- ❑ 1991: NSF remove restrições ao uso comercial da NSFnet (desativada em 1995)
- ❑ início dos anos 90 : Web
 - hipertexto [Bush 1945, Nelson 1960's]
 - HTML, HTTP: Berners-Lee
 - 1994: Mosaic, posteriormente Netscape
 - fim dos anos 90: comercialização da Web

Final dos anos 90-00:

- ❑ novas aplicações: mensagens instantâneas, compartilhamento de arquivos P2P
- ❑ preocupação com a segurança de redes
- ❑ est. 50 milhões de computadores na Internet
- ❑ est. mais de 100 milhões de usuários
- ❑ enlaces de backbone a Gbps

História da Internet

A partir de 2005:

- ❑ Mais de um bilhão de hospedeiros
 - *Smartphones e tablets*
- ❑ Implantação agressiva de acesso de banda larga
- ❑ Crescente ubiquidade de acessos sem fio de alta velocidade
- ❑ Surgimento das redes sociais
 - Facebook: mais de um 1,7 bilhões de usuários ativos
- ❑ Provedores de serviço (Google, Microsoft) criam suas próprias redes
 - Evitam a Internet, fornecendo acesso "instantâneo" a buscas, e-mails, etc.
- ❑ Comércio Eletrônico, universidades e empresas rodando serviços na "nuvem" (ex., Amazon EC2)

A Internet no Brasil

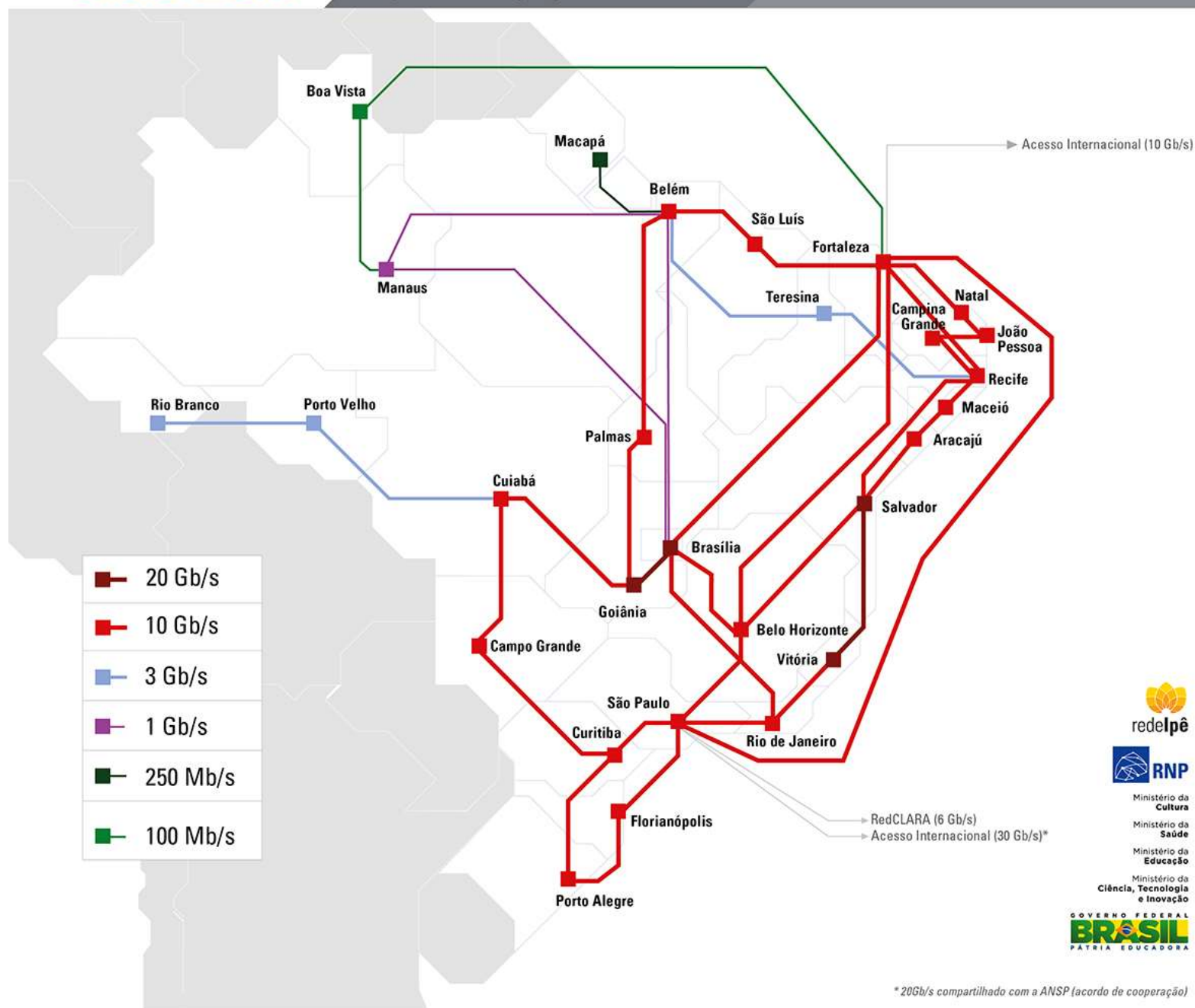
Pequena cronologia

- ❑ 1991 - rede TCP/IP experimental (SP, RJ, RS) até 9.600 bps
- ❑ 1992 - Rede-Rio, ANSP, RNP até 64 kbps
- ❑ 1994/5 - RNPv2, com enlaces de 2 Mbps
- ❑ 1994/5 - abertura comercial, Embratel, Comitê Gestor
- ❑ 1999 - criação das ReMAVs, Rede-Rio 2, enlaces de 155 Mbps
- ❑ 1999 - novo backbone da Rede-UFF 622 Mbps
- ❑ 2000 - backbone ATM da RNP2
- ❑ 2001 - conexão internacional em 155 Mbps

Internet/BR

- ❑ A Rede Nacional de Pesquisa (RNP) teve início em 1989.
- ❑ Aberta para uso comercial em 1994
- ❑ Posição absoluta (7/11)
 - Número de hosts: 22.212.190
 - 4o do Mundo
- ❑ IBOPE/NetRatings (11/12):
 - 53,5 Milhões de Internautas residenciais ativos
 - 46:19 hs de tempo médio mensal de horas navegadas por internauta ativo

Fonte: www.cetic.br



* 20Gb/s compartilhado com a ANSP (acordo de cooperação)

Introdução: Resumo

Foi coberta uma tonelada de material!

- ❑ visão geral da Internet
- ❑ o que é um protocolo?
- ❑ borda da rede, núcleo, rede de acesso
 - Comutação de pacotes vs. Comutação de circuitos
- ❑ estrutura da Internet/ISPs
- ❑ desempenho: perda, atraso, vazão
- ❑ modelos de camadas e de serviços
- ❑ segurança
- ❑ história

Esperamos que agora você possua:

- ❑ contexto, visão geral, "sentimento" do que sejam redes
- ❑ maior profundidade, detalhes *posteriormente no curso*