



EACH

Escola de Artes, Ciências e Humanidades
da Universidade de São Paulo

ACH2026

Redes de Computadores

Introdução:
Capítulo 1- Redes de Computadores e a
Internet

Profa. Dra. Cíntia B. Margi

Agosto/2009

ACH2026 - 2009



EACH

Escola de Artes, Ciências e Humanidades
da Universidade de São Paulo

O que são Redes???



Rede - Exemplos:

- onipresentes:
 - rede telefônica;
 - rede de comunicação de operadoras de cartão de crédito;
 - rede bancária;
 - rede celular;
 - etc.
- e é claro, a Internet!



Rede - Definição:

- Dicionário Houaiss:
 - 16, informática:
sistema constituído pela interligação de dois ou mais computadores e seus periféricos, com o objetivo de comunicação, compartilhamento e intercâmbio de dados.



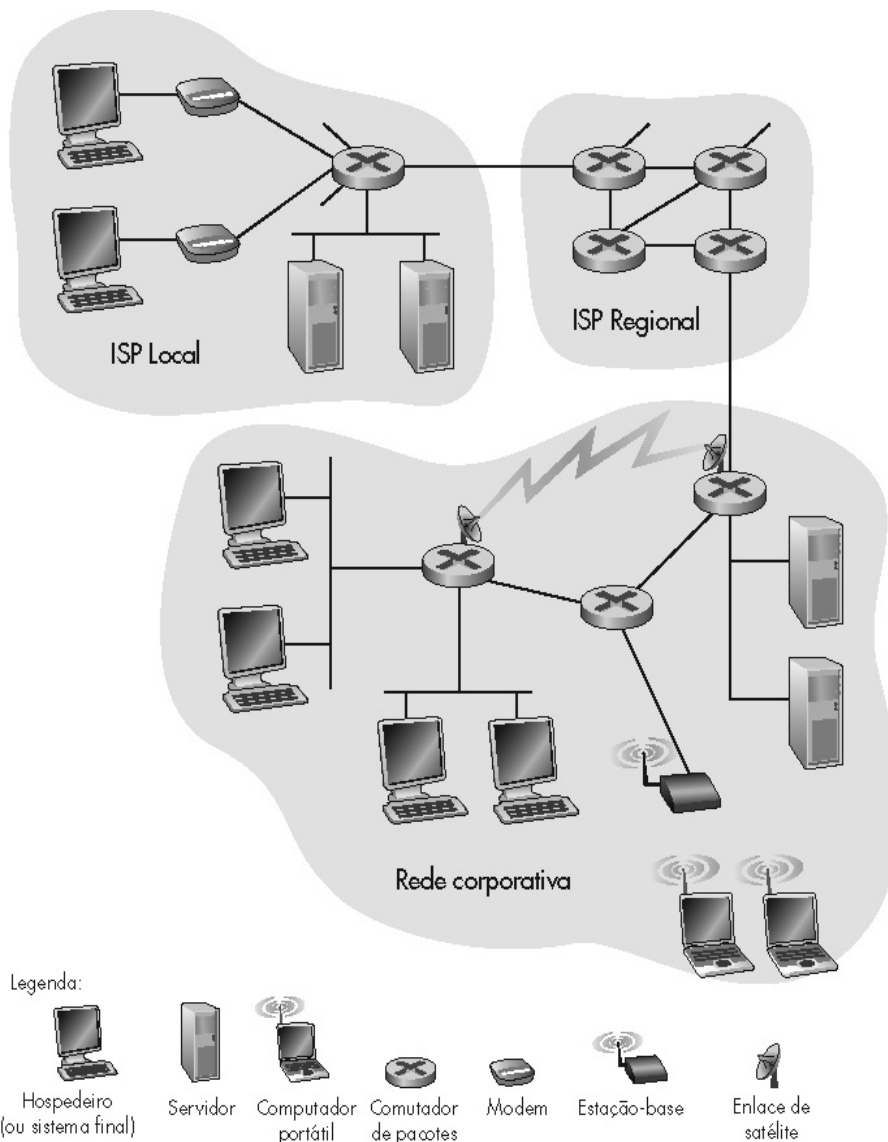
Cap. 1 – Objetivos

- Entender o contexto e a terminologia de redes de computadores.
- Maior profundidade e detalhes serão vistos ao longo do curso.
- Abordagem:
 - usar a Internet como exemplo.



O que é a Internet?

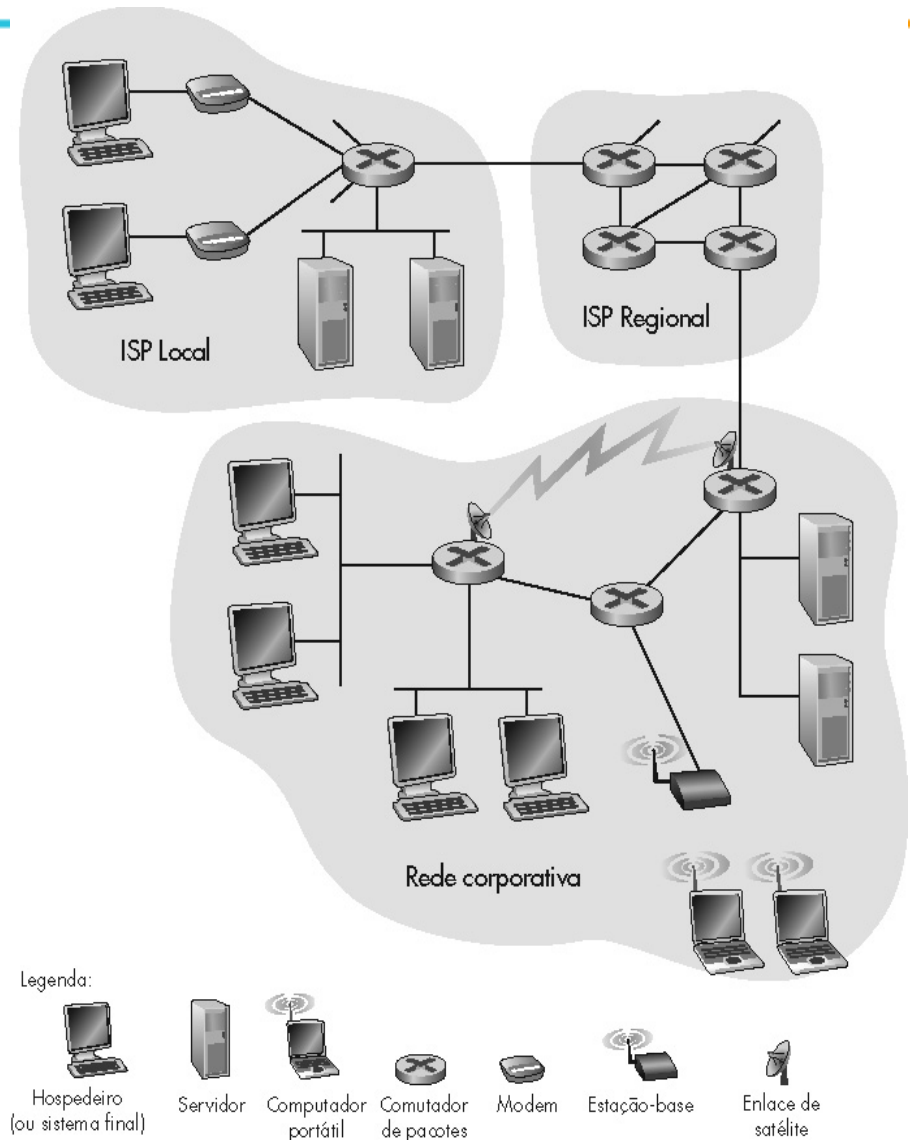
- Milhões de elementos de computação interligados: hospedeiros (sistemas finais), executando aplicações distribuídas.
- Enlaces de comunicação: fibra, cobre, rádio, satélite. taxa de transmissão = largura de banda.
- Roteadores: enviam pacotes (blocos de dados).





O que é a Internet?

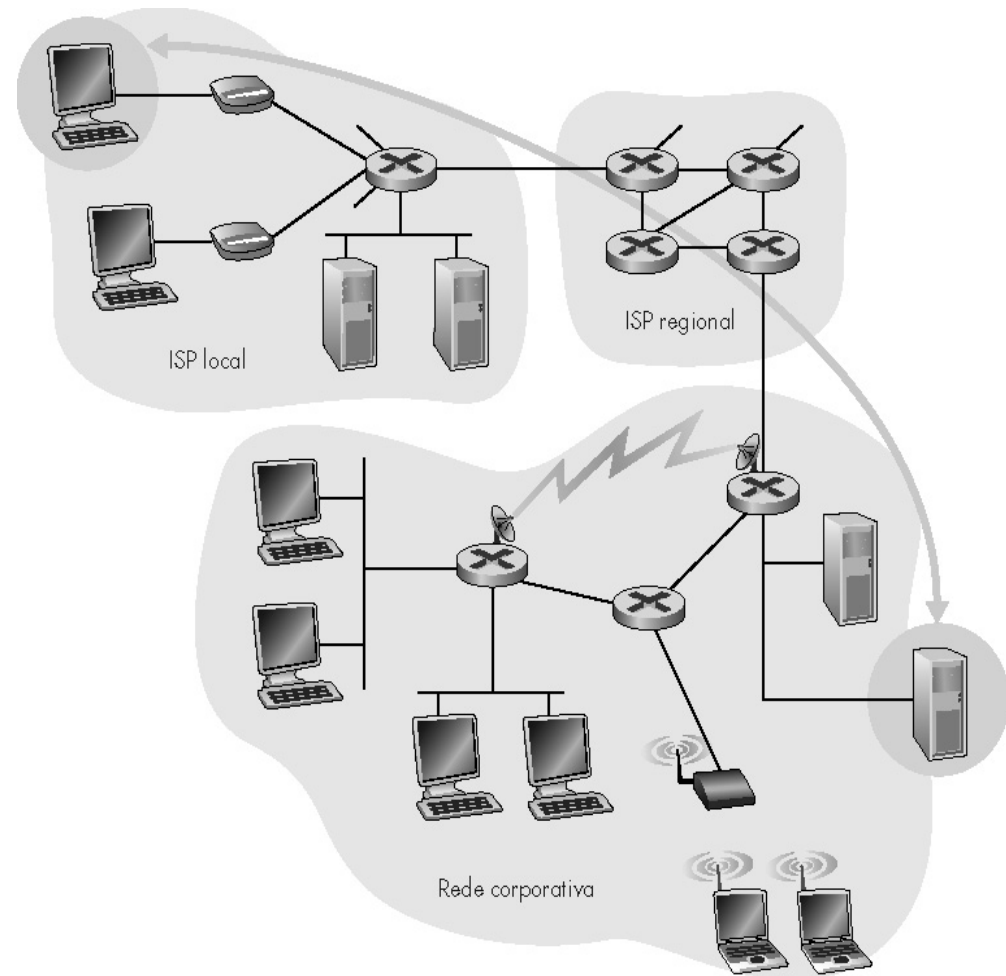
- Protocolos: controlam o envio e a recepção de mensagens. Ex.: TCP, IP, HTTP, FTP, PPP
- Internet: “rede de redes”. Fracamente hierárquica, Internet pública e Internets privadas (intranets).
- Padrões Internet:
 - RFC: Request for comments.
 - IETF: Internet Engineering Task Force.





Serviços da 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.
 - ... mensagens específicas enviadas;
 - ... ações específicas tomadas quando mensagens são recebidas ou outros eventos.



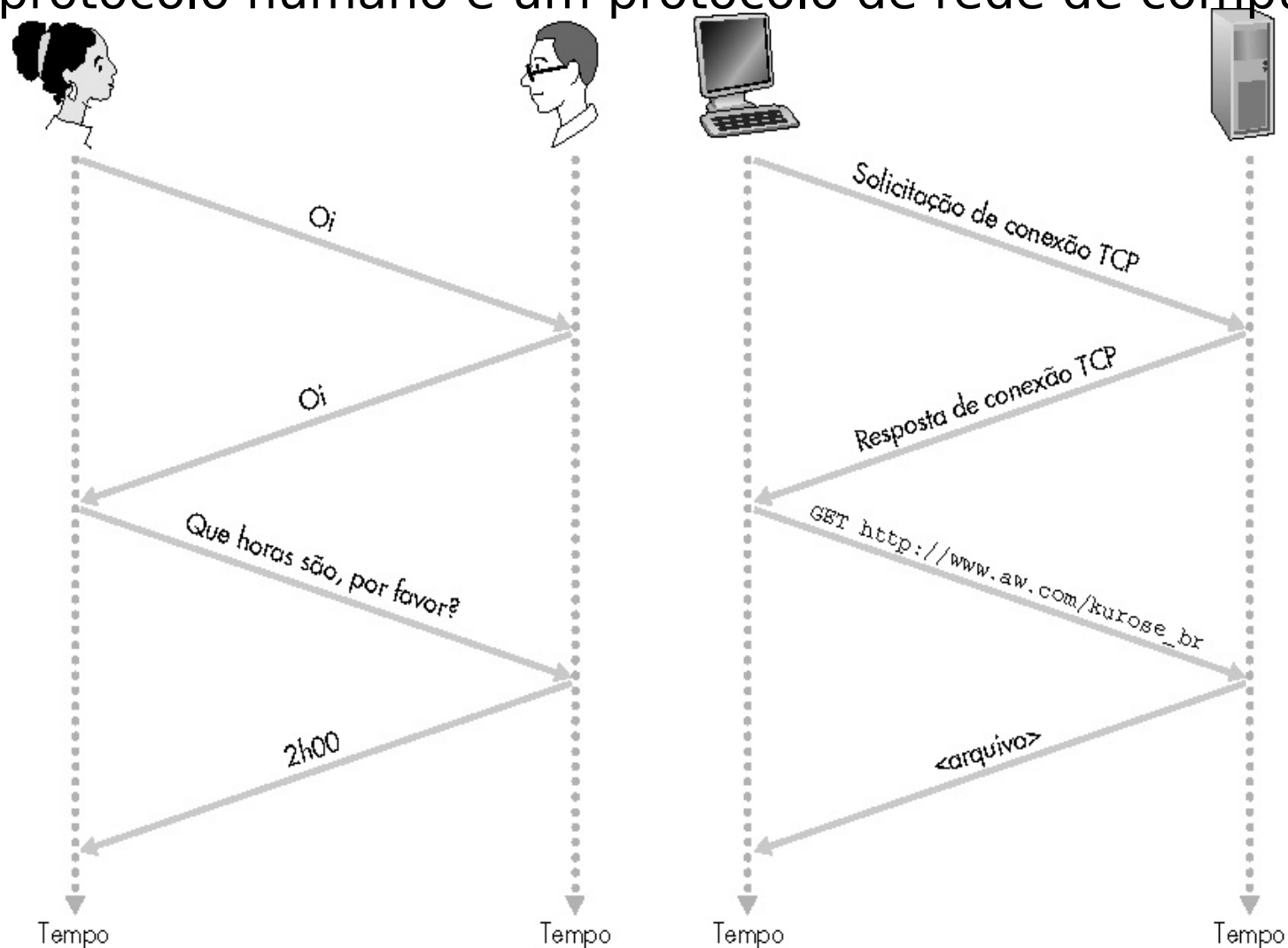
O que é um protocolo?

- Protocolos de rede:
 - 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?

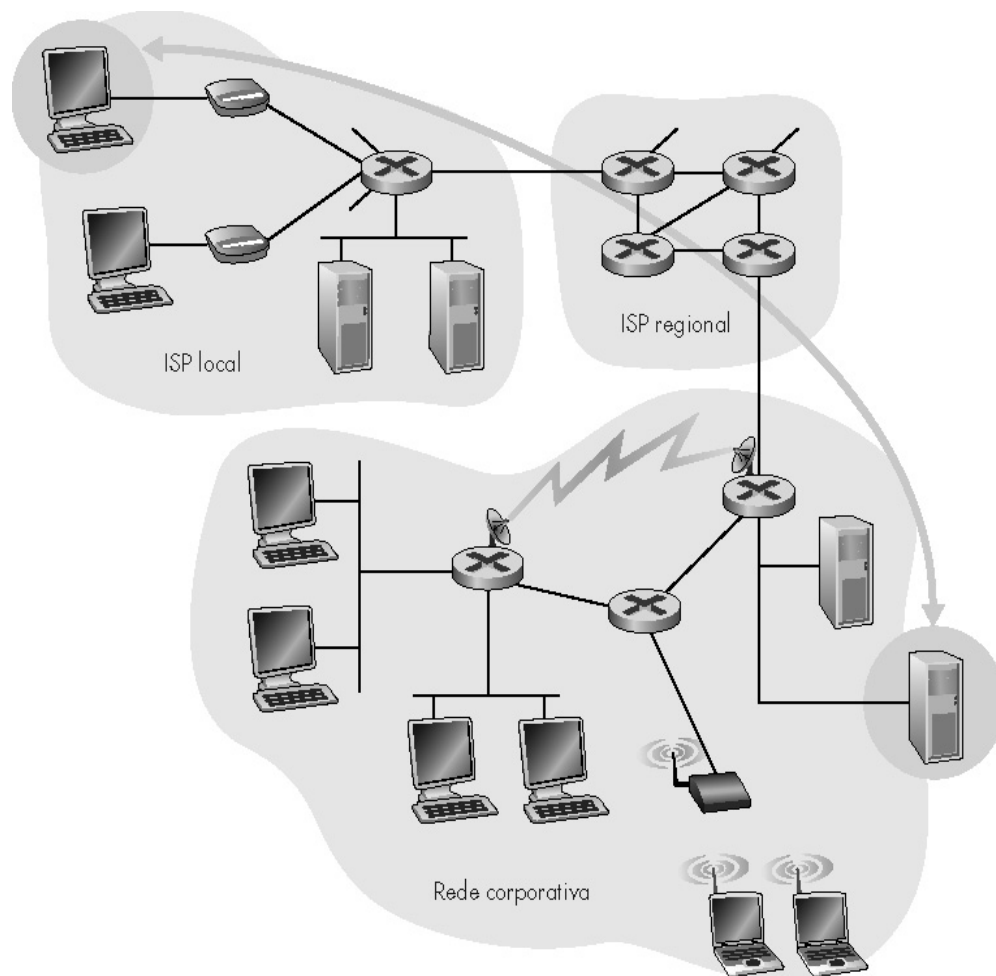
Um protocolo humano e um protocolo de rede de computadores:





Estrutura da Rede

- Borda da rede: aplicações e hospedeiros.
- Núcleo da rede: roteadores e rede de redes.
- Redes de acesso, meio físico: enlaces de comunicação.





Borda da Rede

- Modelo cliente/servidor:
 - 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, BitTorrent.



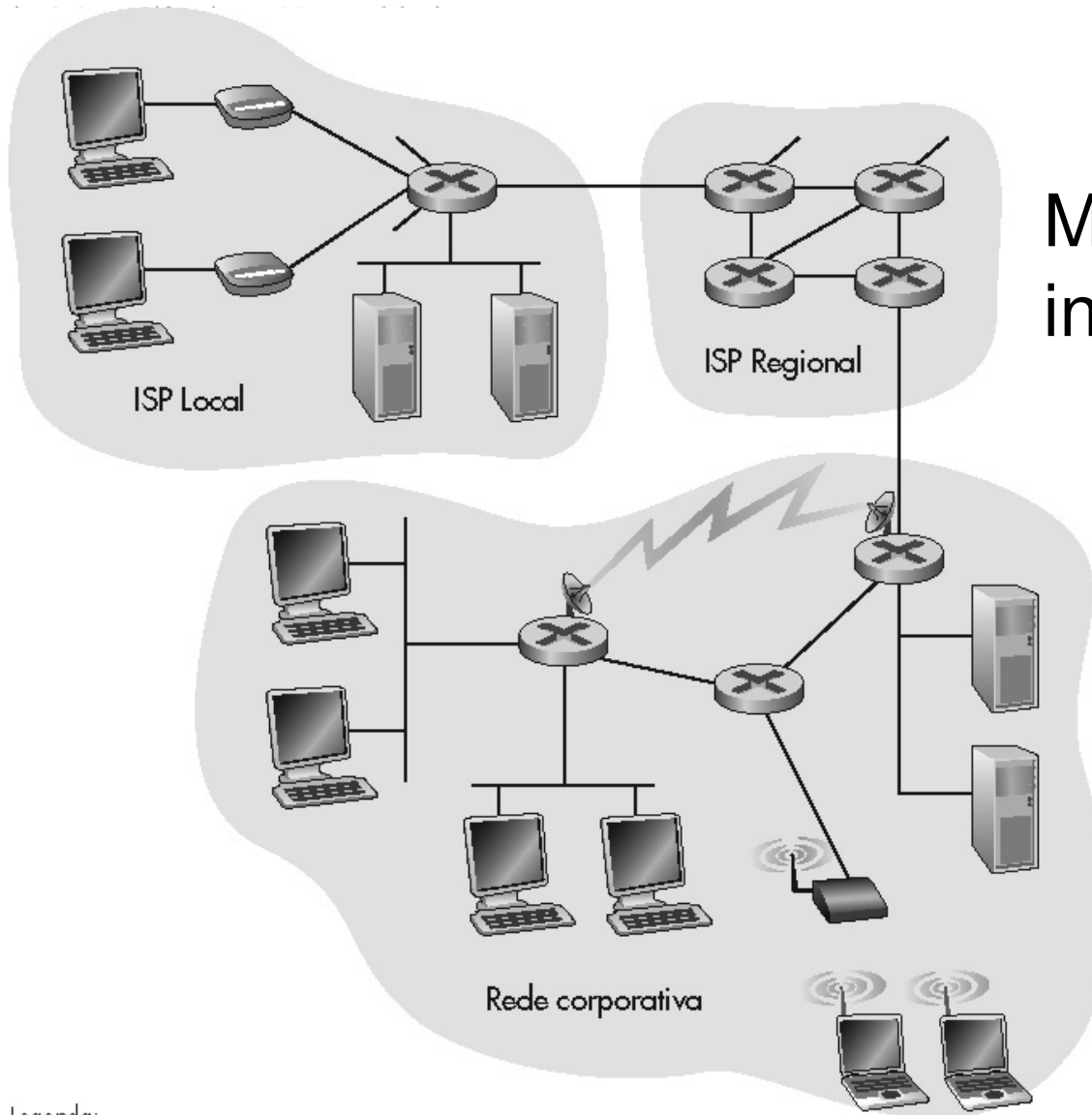
Borda da Rede: Serviço orientado à conexão

- **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.
- **Exemplo:**
 - TCP (Transport Control Protocol).



O núcleo da rede

Escola
da Uni



Malha de roteadores interconectados.

Legenda:


Hospedeiro
(ou sistema final)


Servidor


Computador
portátil


Comutador
de pacotes

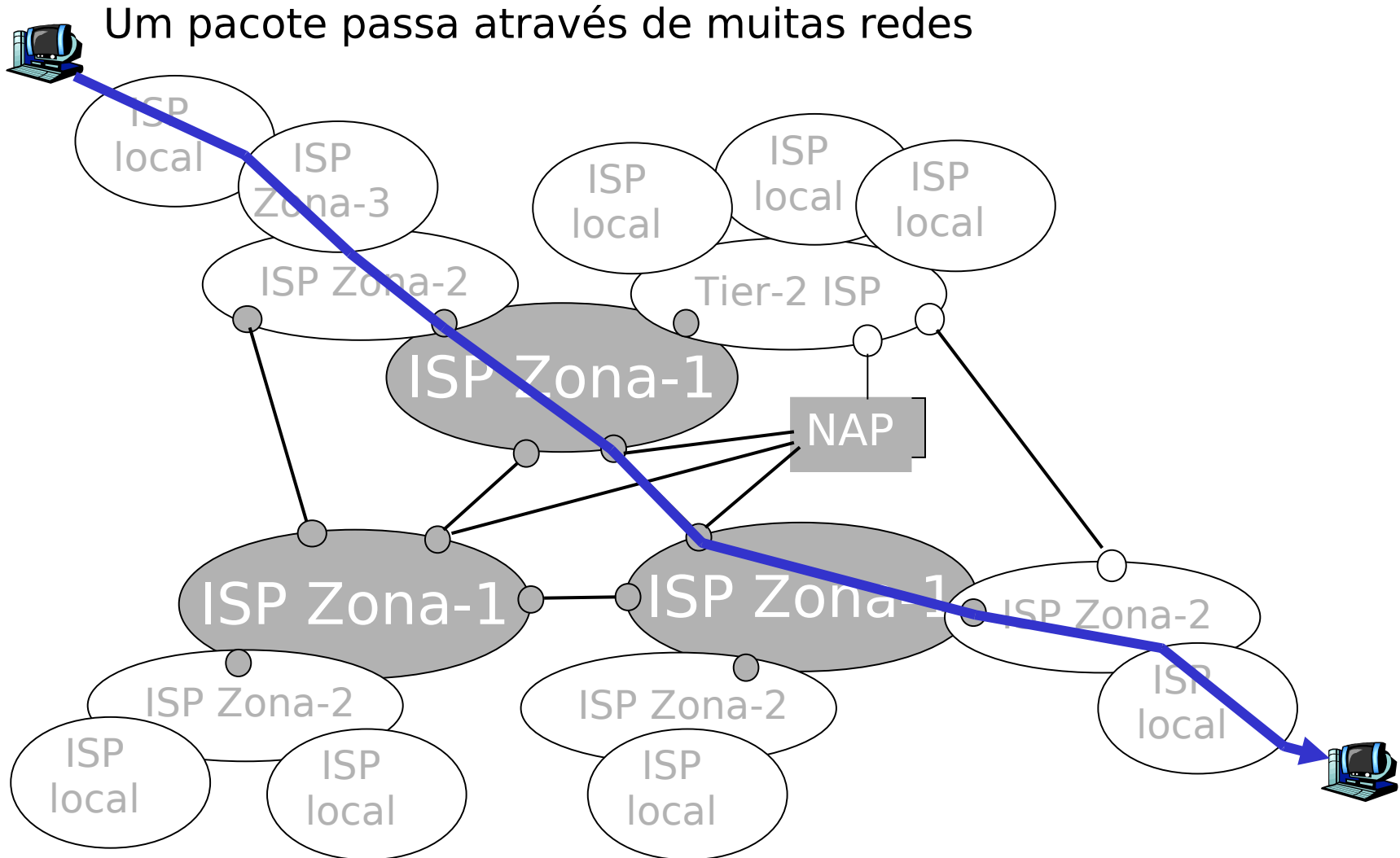

Modem


Estação-base


Enlace de
satélite



Backbones





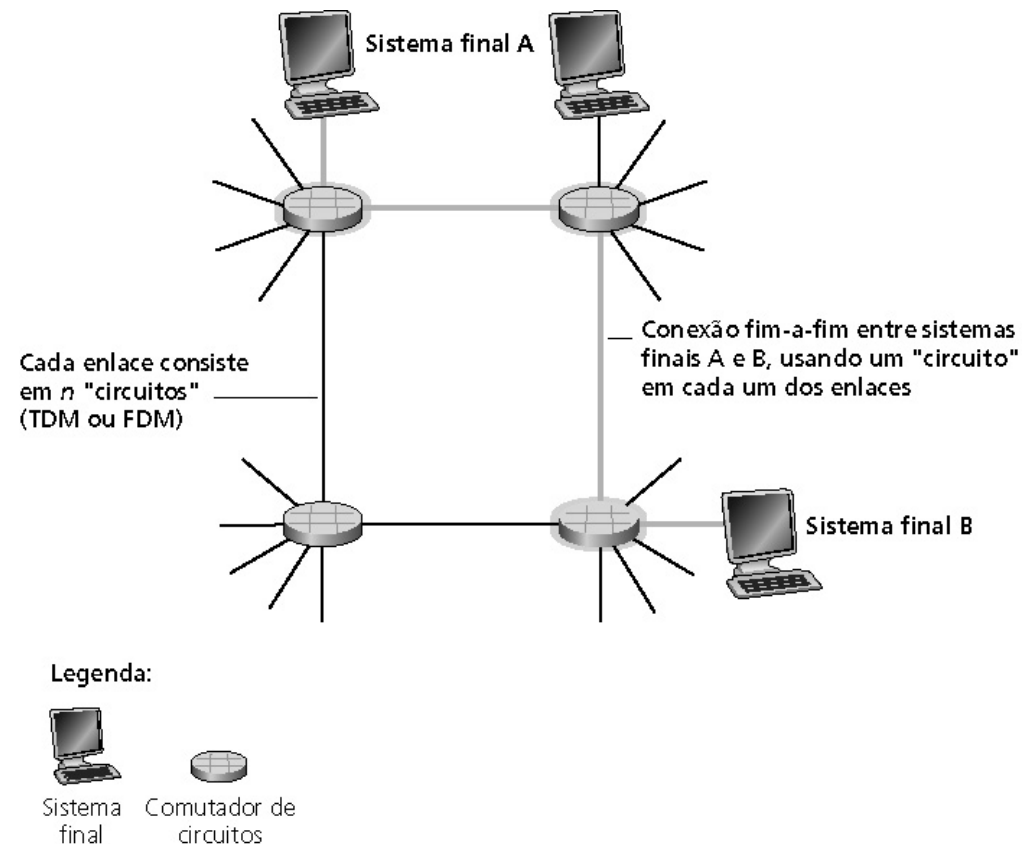
O núcleo da rede

- **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.



Núcleo da rede: Comutação de Circuitos

- **Recursos fim-a-fim são reservados por “chamada”.**
 - estabelecimento de conexão!
 - Recursos dedicados: não há compartilhamento.
 - Desempenho análogo aos circuitos físicos (QOS garantido).

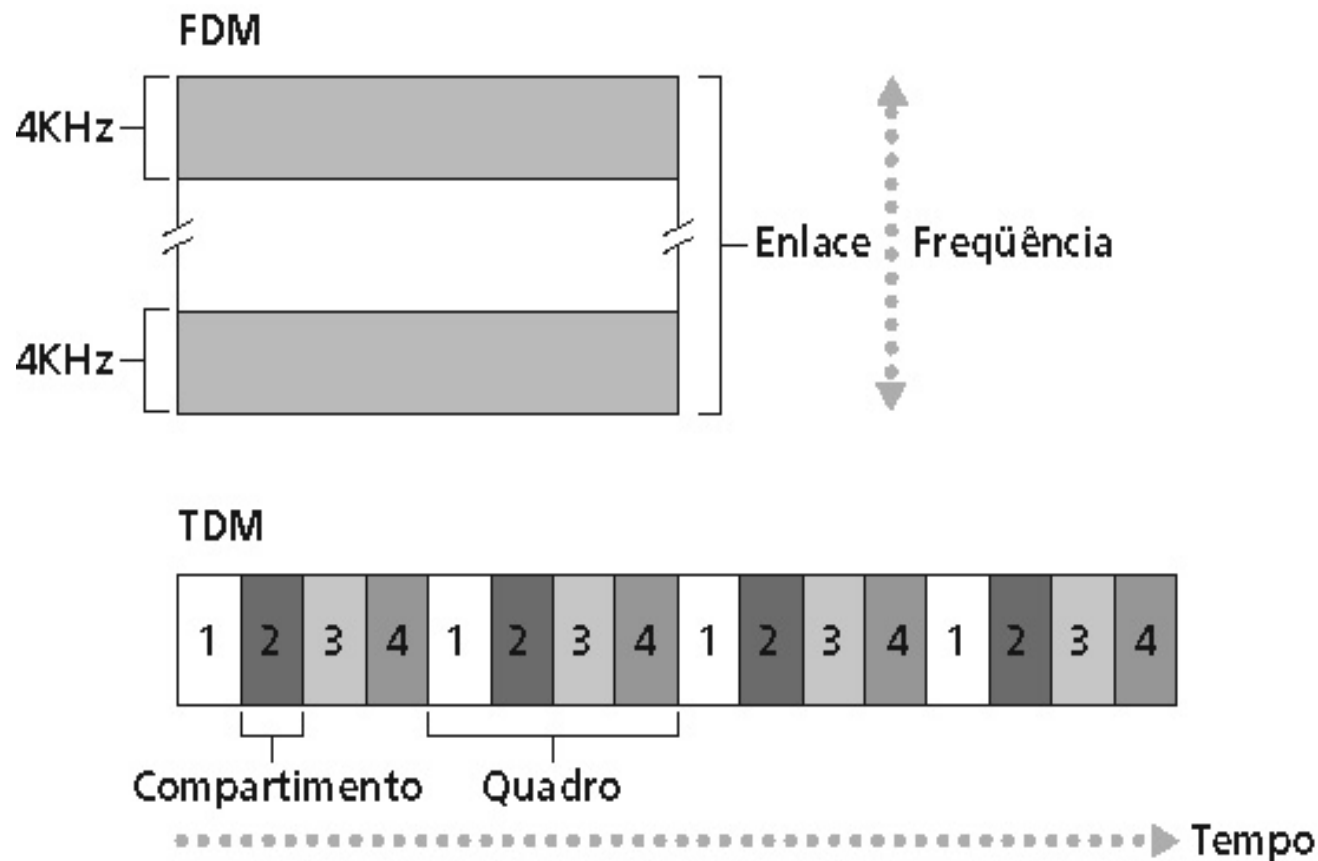


Núcleo da rede: Comutação de Circuitos

- Recursos da rede (ex.: capacidade de transmissão) dividida 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: FDM e TDM



Legenda:



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



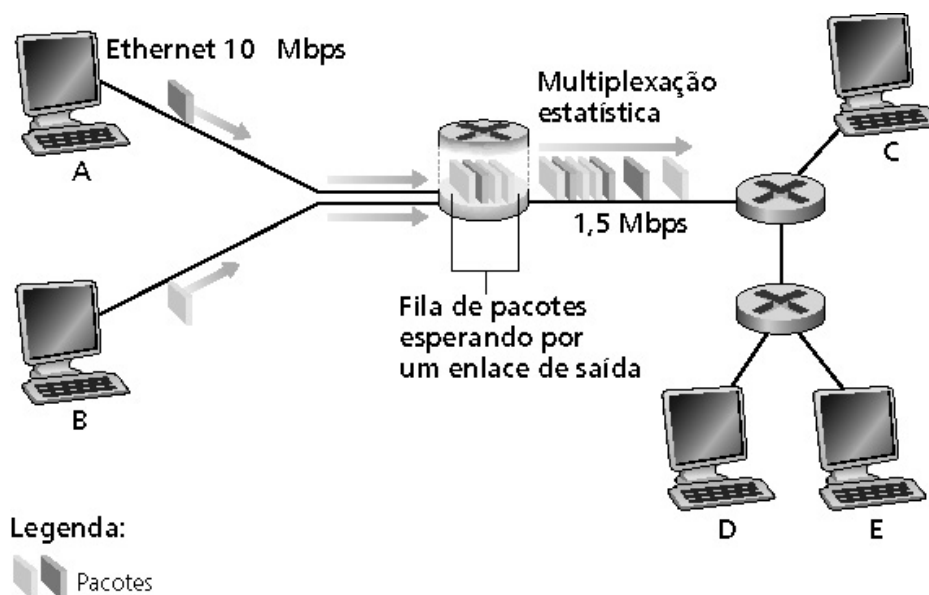
Comutação de circuitos: exemplo

- Quanto tempo leva para enviar um arquivo de 640.000 bits do nó A para o nó B numa rede de **comutação de circuitos**?
 - todos os links possuem 1,536 Mbps;
 - cada link utiliza TDM com 24 slots;
 - 500 mseg para estabelecer um circuito fim-a-fim.



Núcleo da rede: Comutação de Pacotes

- Cada fluxo de dados fim-a-fim é dividido em pacotes.
 - recursos compartilhados em bases estatísticas;
 - pacote tx usa toda a banda disponível;
 - recursos são usados quando necessários.



Seqüência de pacotes A e B não possui padrão específico → **multiplexação estatística.**

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



Núcleo da rede: Comutação de Pacotes

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



Comutação de Pacotes X Comutação de Circuitos

Comutação de pacotes:

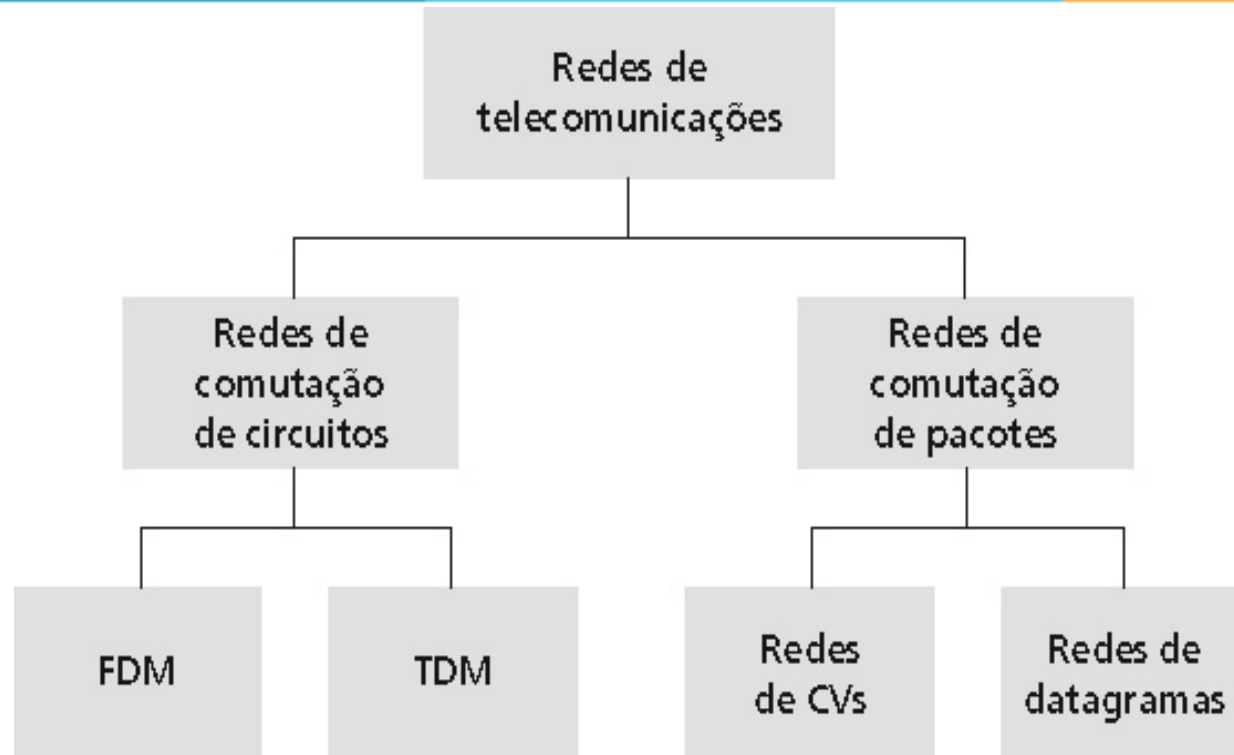
- Ótima para dados em “rajada” (*burst*):
 - melhor compartilhamento de recursos;
 - não há estabelecimento de chamada.
- Congestionamento excessivo: atraso e perda de pacotes!
 - Protocolos são necessários para transferência confiável, controle de congestionamento!

Comutação de circuitos:

- ótima para dados “constantes”;
- taxa de transmissão constante e garantida.



Taxonomia da Rede



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



EACH

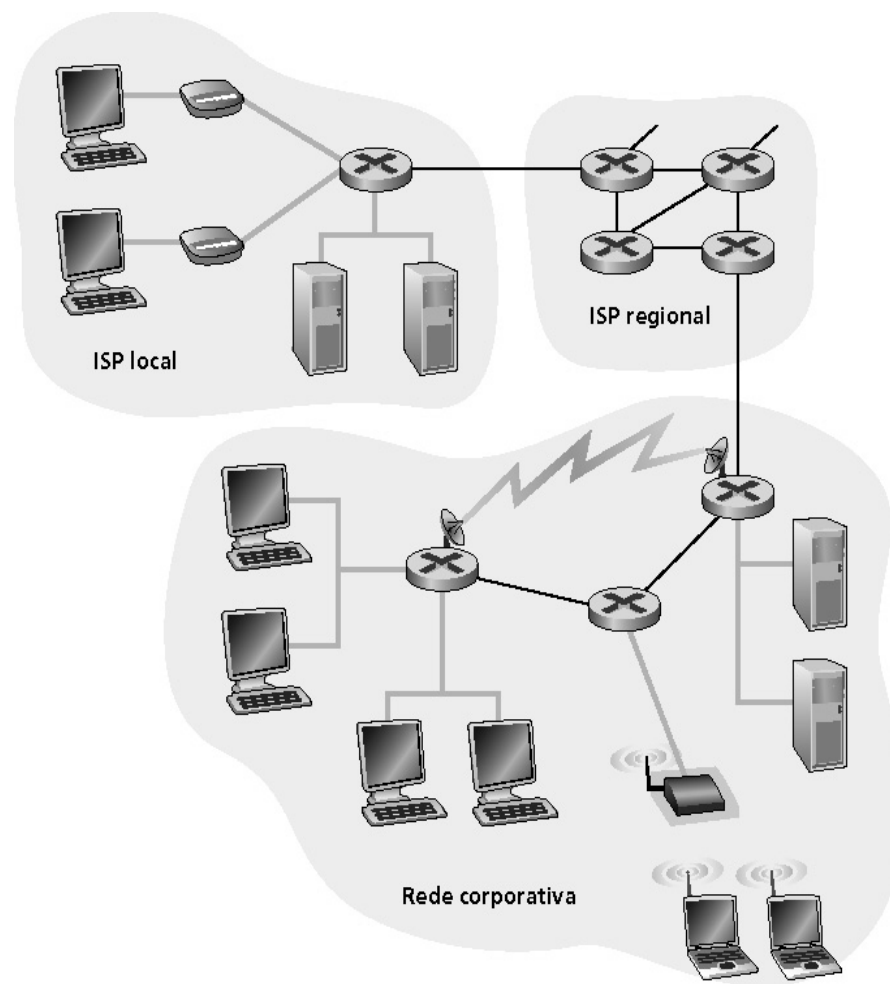
Redes de acesso e meios físicos

Escola de Artes, Ciências e Humanidades
da Universidade de São Paulo

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

Através das rede de acesso!

- infra-estrutura para conectar instalações de clientes a infra-estrutura de rede.





Redes de Acesso

- Três categorias:
 - residencial;
 - acesso corporativo;
 - acesso sem fio.
- Considerações:
 - largura de banda (bits por segundo) da rede de acesso?
 - compartilhado ou dedicado?



Acesso Residencial

- Modem discado:
 - Largura de banda: 56 kbps;
 - Ponto-a-ponto (**dedicado**).
- ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line):
 - restringe distância entre modem cliente e provedor;
 - até 1 Mbps de upstream e até 8 Mbps de downstream, usando FDM.
- Cable-modem:
 - até 30 Mbps upstream, 2 Mbps downstream;
 - acesso **compartilhado** na vizinhança



Acesso institucional: redes locais

- A rede local (LAN) da companhia, ou universidade, 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.
- Usa estação-base (*access point*).
- LANs sem fio:
 - 802.11b (WiFi): 11 Mbps.
- Redes sem fio de longa distância:
 - Provido pelo operador telefônico.
 - WAP (*wireless access protocol*)
 - evolução: 3G ~ 384 kbps.



EACH

Escola de Artes, Ciências e Humanidades
da Universidade de São Paulo

Meios Físicos



Meios Físicos

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



Meios Físicos: Par trançado

ou Twisted Pair (TP)

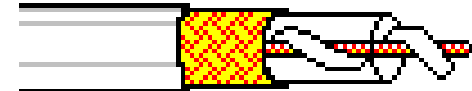


- Par de fios trançados de cobre isolados.
 - Cat 3: tx até 10 Mbps (Ethernet).
 - Cat 5: tx 100 Mbps (Fast Ethernet).
 - Cat 6: tx até 1Gbps (Gigabit Ethernet).
- Norma para cabeamento estruturado: TIA/EIA-568-B.
 - define conexão, e categorias de cabos.



Meio físico: cabo coaxial

- Dois condutores de cobre concêntricos.
- Bidirecional.
- Banda base:
 - Um único sinal presente no cabo.
 - Legado da Ethernet.
- Banda larga:
 - Múltiplos sinais no cabo.
 - Rede de TV a cabo (HFC).





Meio Físico: Fibra ótica

- Fibra de vidro transportando pulsos de luz, cada pulso é um bit.
- Alta velocidade de operação:
 - alta velocidade com transmissão ponto-a-ponto;
 - baixa taxa de erros;
 - repetidores bem espaçados;
 - imunidade a ruídos eletromagnéticos;
 - baixa taxa de atenuação (até 100km).



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

- Microondas terrestre:
 - canais de até 45 Mbps;
 - LAN (ex.: WiFi): 2 Mbps, 11 Mbps;
 - WAN (ex.: celular): Ex., 3G: 100 de kbps.
- Satélite:
 - canal de até 50 Mbps (ou vários canais menores);
 - 270 ms de atraso fim-a-fim;
 - geoestacionários: acima de 36.000 Km;
 - de baixa altitude: como a lua!



EACH

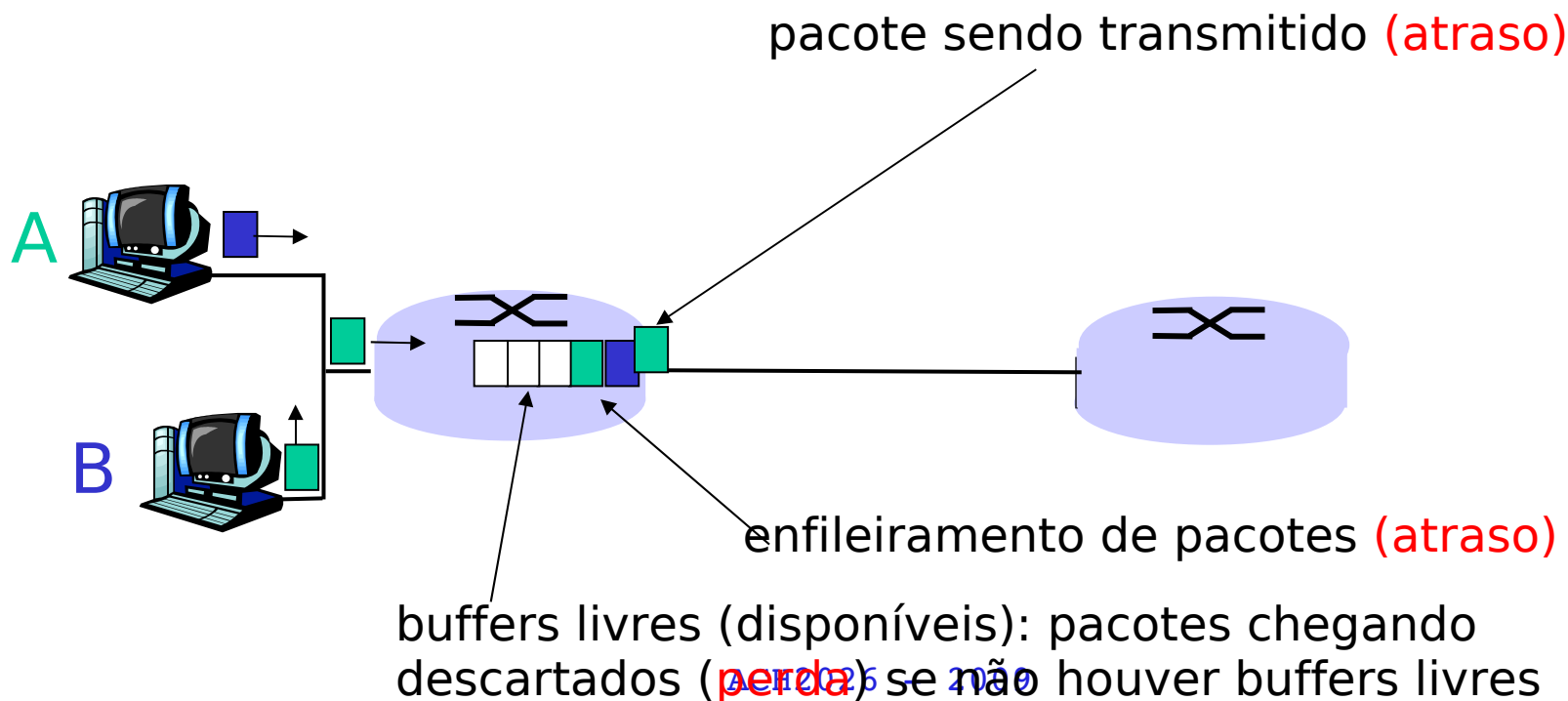
Escola de Artes, Ciências e Humanidades
da Universidade de São Paulo

Atrasos



Como ocorrem perdas e atrasos?

- **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.





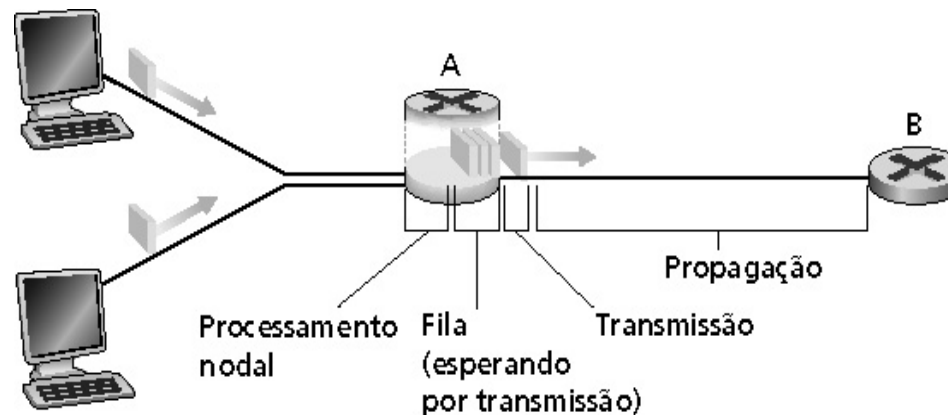
Fontes de atraso de pacotes

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





Fontes de atraso 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



Atraso no nó

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

- 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

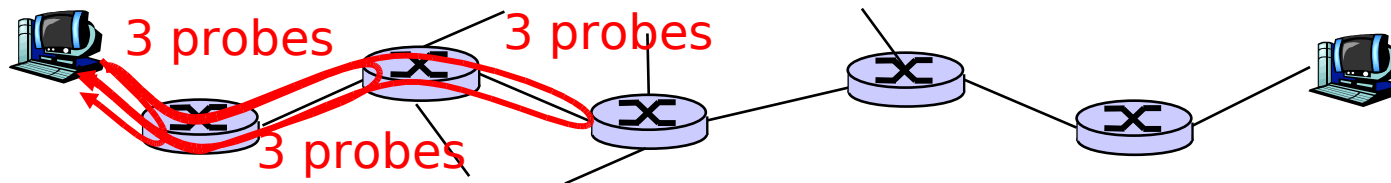


Atrasos e rotas na Internet

- 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 na Internet

traceroute www.usp.br

Três medidas de atraso

traceroute to www.usp.br (143.107.254.11), 30 hops max, 40 byte packets

1 143.107.58.1 (143.107.58.1) 3.016 ms 3.763 ms 2.703 ms

2 core-cce-fr.uspnet.usp.br (143.107.151.117) 3.269 ms 2.358 ms 3.277 ms

3 border1.uspnet.usp.br (143.107.151.1) 2.729 ms 2.664 ms 3.828 ms

4 gw-idc.uspnet.usp.br (143.107.151.85) 4.378 ms 2.758 ms 4.380 ms

5 tellus.uspnet.usp.br (143.107.254.11) 2.780 ms 2.890 ms 3.916 ms

Atrasos e rotas na Internet

traceroute www.akamai.com

traceroute: Warning: www.akamai.com has multiple addresses; using 72.246.25.10

traceroute to a152.g.akamai.net (72.246.25.10), 30 hops max, 40 byte packets

```
1 143.107.58.1 (143.107.58.1) 5.464 ms 13.850 ms 25.821 ms
2 core-cce-fr.uspnet.usp.br (143.107.151.117) 10.745 ms 2.507 ms 4.362 ms
3 border1.uspnet.usp.br (143.107.151.1) 7.309 ms 2.590 ms 6.710 ms
4 ansp.ptta.ansp.br (200.136.37.1) 5.628 ms 8.492 ms 10.819 ms
5 143-108-254-130.ansp.br (143.108.254.130) 3.653 ms 2.826 ms 4.010 ms
6 66.175.113.169 (66.175.113.169) 116.301 ms 117.224 ms 117.248 ms
7 t6-0-0.core1.mia.terremark.net (66.165.161.192) 116.556 ms 115.434 ms
  119.842 ms
8 nota.netarch.akamai.com (198.32.124.114) 116.597 ms 116.719 ms 116.701 ms
9 a72-246-25-10.deploy.akamaitechnologies.com (72.246.25.10) 115.558 ms
  120.837 ms 120.349 ms
```



Perdas de pacotes

- A fila (isto é, buffer) 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



Applets...

- Atraso de propagação e de transmissão:
http://media.pearsoncmg.com/aw/aw_kuroso
- Filas e perdas:
http://media.pearsoncmg.com/aw/aw_kuroso
-



EACH

Escola de Artes, Ciências e Humanidades
da Universidade de São Paulo

Pilhas de Protocolos



Redes são complexas!

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



Camadas de protocolos

Redes são complexas!

- Muitos componentes
- Enlaces de vários tipos
- Aplicações
- Protocolos, ...

QUESTÃO:

Há alguma esperança de **organizar** a arquitetura de uma rede?

Ou pelo menos nossa discussão sobre redes?

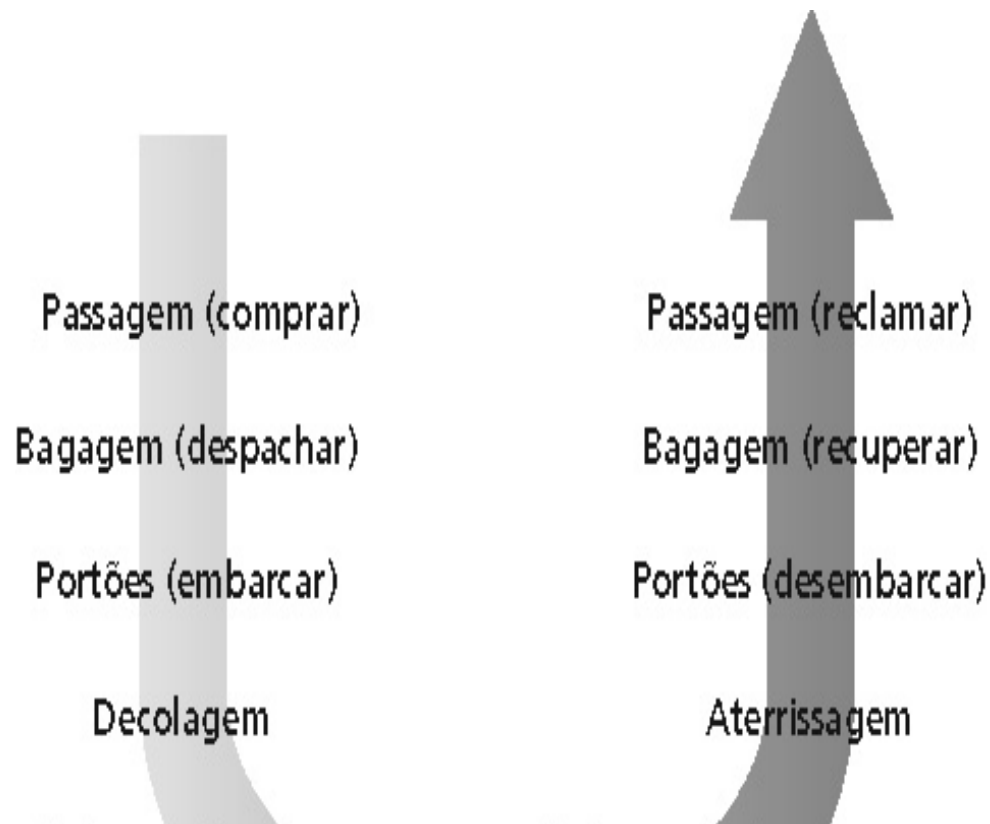


Abordagem em Camadas

- Construir um sistema complexo é difícil!!
 - Abordagem: “**Dividir e Conquistar!**”
 - Dividir o trabalho em partes pequenas, ou **camadas**.
- Idéia básica: cada etapa depende da anterior, mas não é necessário saber como a etapa anterior foi realizada.
 - Analogia: linha de produção de carros.



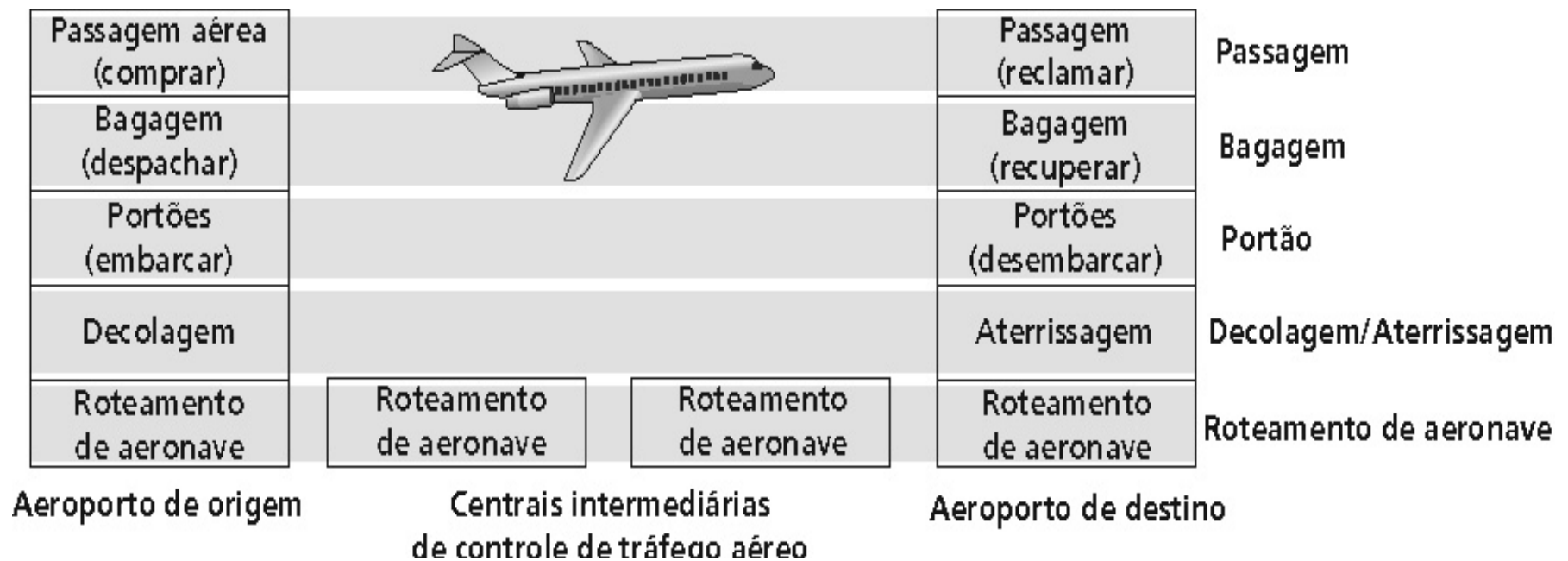
Organização de uma viagem aérea



- Uma série de passos



Organização de uma viagem aérea



- Camadas: cada camada implementa um serviço:
 - via suas próprias ações internas;
 - confiando em serviços fornecidos pela camada inferior.



Modelo ISO/OSI

- Modelo de referência para redes de comunicação.
- ISO: International Standards Organization
- OSI: Open Systems Interconnection
- Lida com conectividade de sistemas abertos.



Modelo ISO/OSI

- **Princípios:**

- uma camada deve ser criada onde é necessário um nível de abstração diferente;
- cada camada deve desempenhar uma função bem definida;
- a função desempenhada em cada camada deve ser escolhida considerando a definição de protocolos padronizados;
- a fronteira das camadas deve ser definida de modo a minimizar o fluxo de informações entre camadas;
- o número de camadas deve ser grande o suficiente para que funções distintas não precisem estar na mesma camada sem necessidade, porém pequeno o suficiente para que a arquitetura não se torne muito grande e complexa.



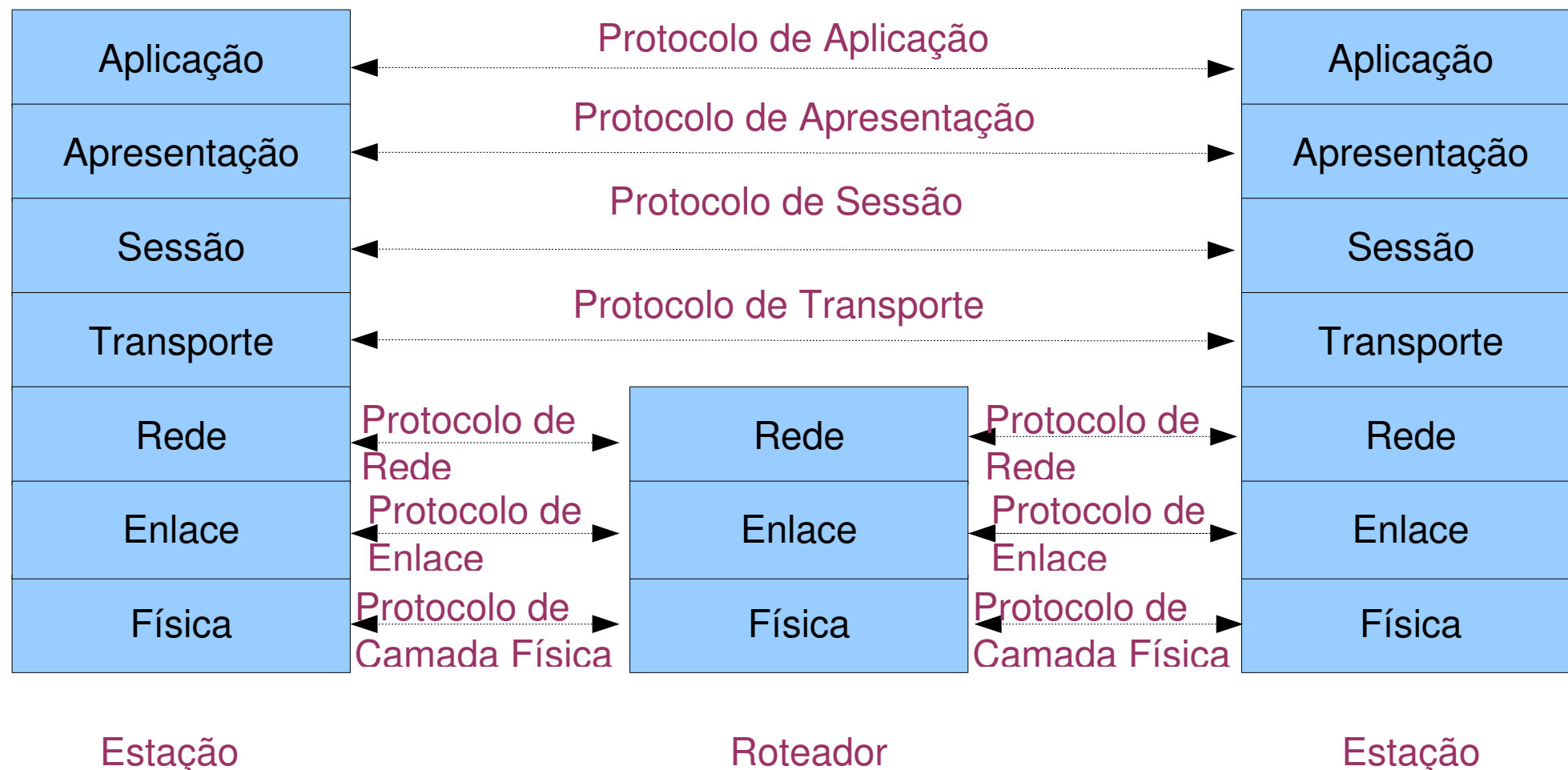
Modelo ISO/OSI

- 7 camadas.
- Trata da interação entre:
 - camadas na mesma pilha
 - ex.: entre a camada física e a de enlace.
 - mesma camada em sistemas diferentes
 - ex.: camada de rede entre dois sistemas.





Comunicação entre mesma camada



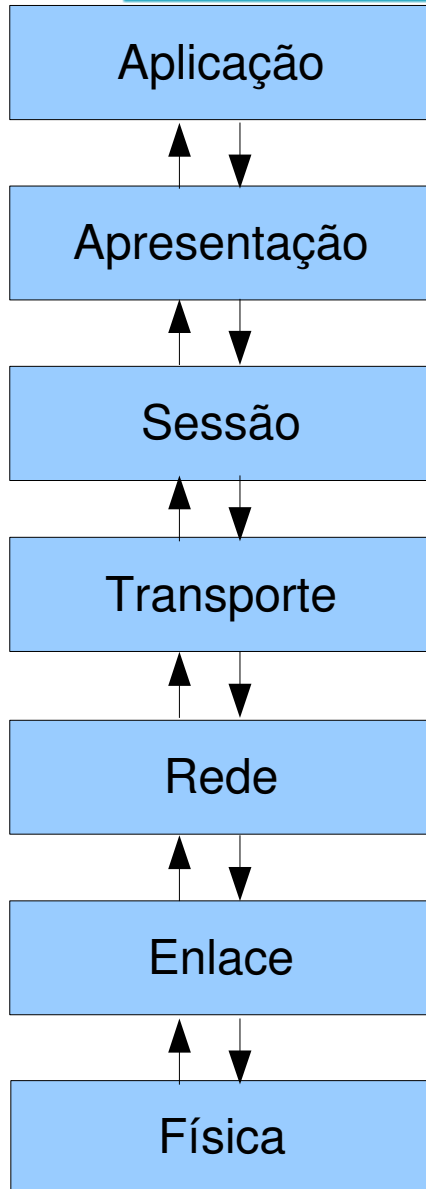


PDU

- Protocol Data Unit
- dados que a camada deseja enviar, mais cabeçalho do protocolo da camada.

Camada de Aplicação	APDU
Camada de Apresentação	PPDU
Camada de Sessão	SPDU
Camada de Transporte	TPDU
Camada de Rede	Pacote
Camada de Enlace	Quadro (Frame)
Camada Física	Bit

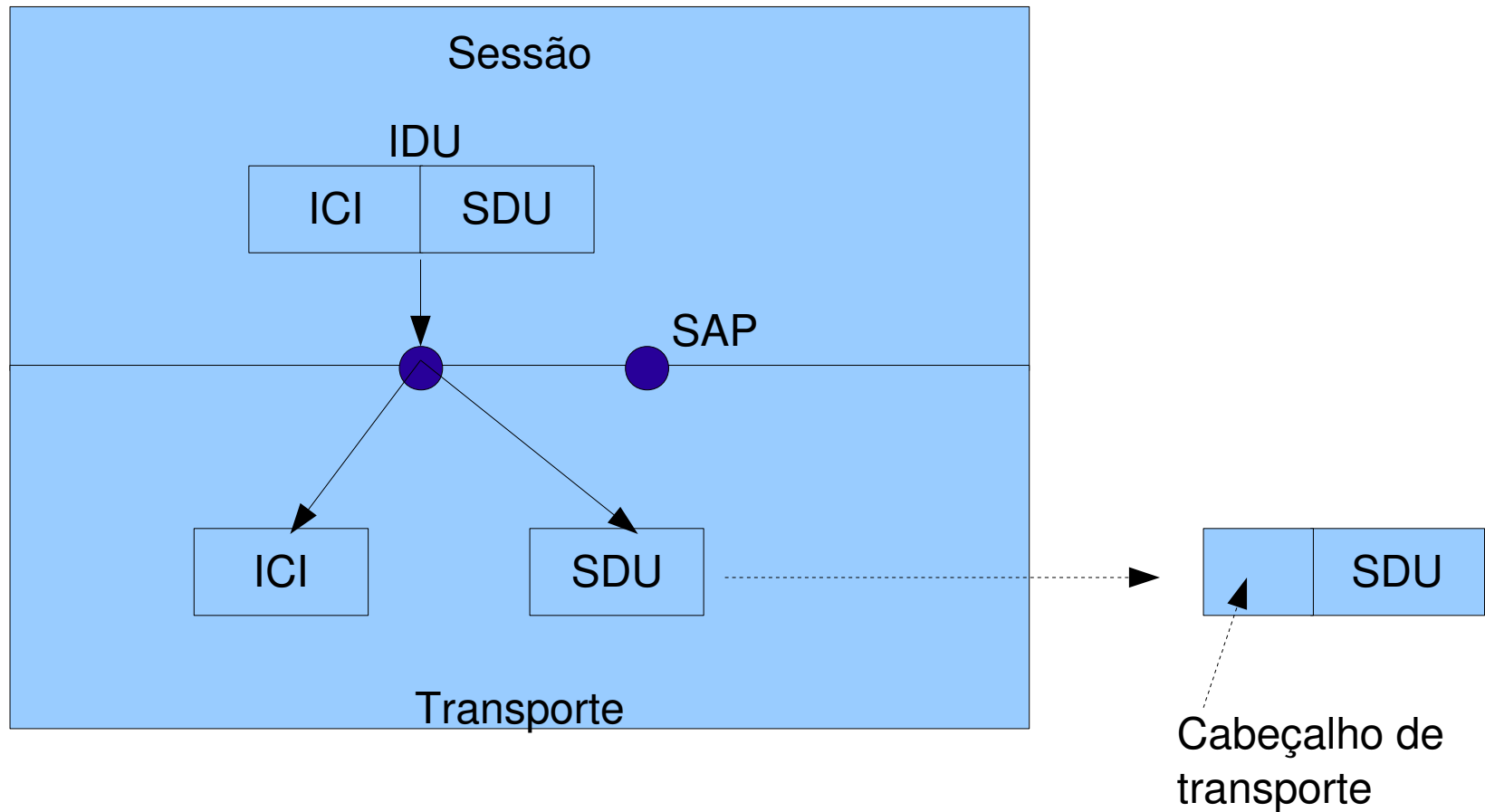
Comunicação entre camadas na mesma pilha



- SAP (Service Access Points): ponto onde o serviço prestado por uma camada está disponível a outra camada.
- IDU (Interface Data Unit): SDU mais informações de controle (ICI).
- SDU (Service Data Unit): informação que será enviada através da rede para o outro sistema.

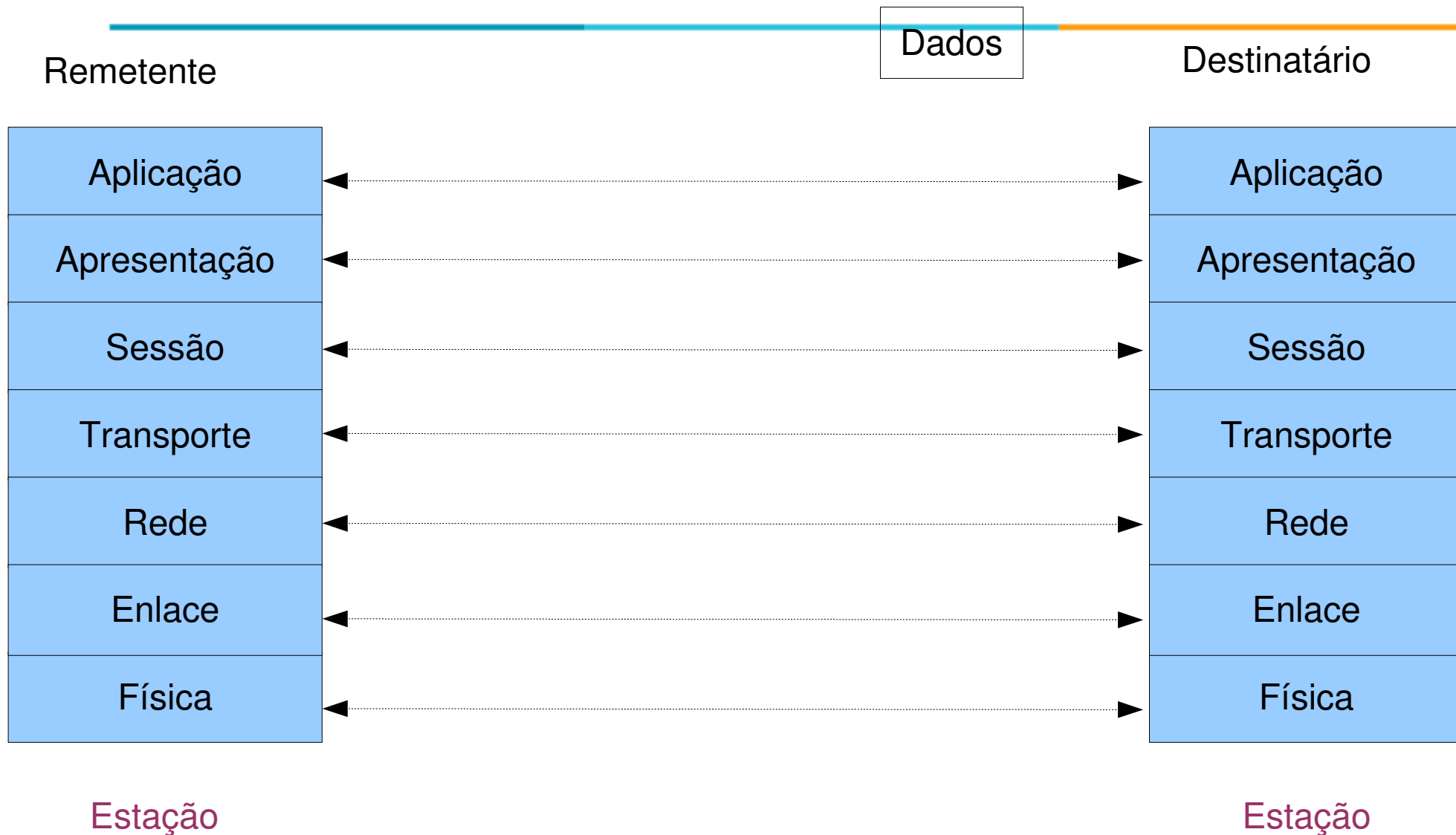


Comunicação entre camadas na mesma pilha (cont.)

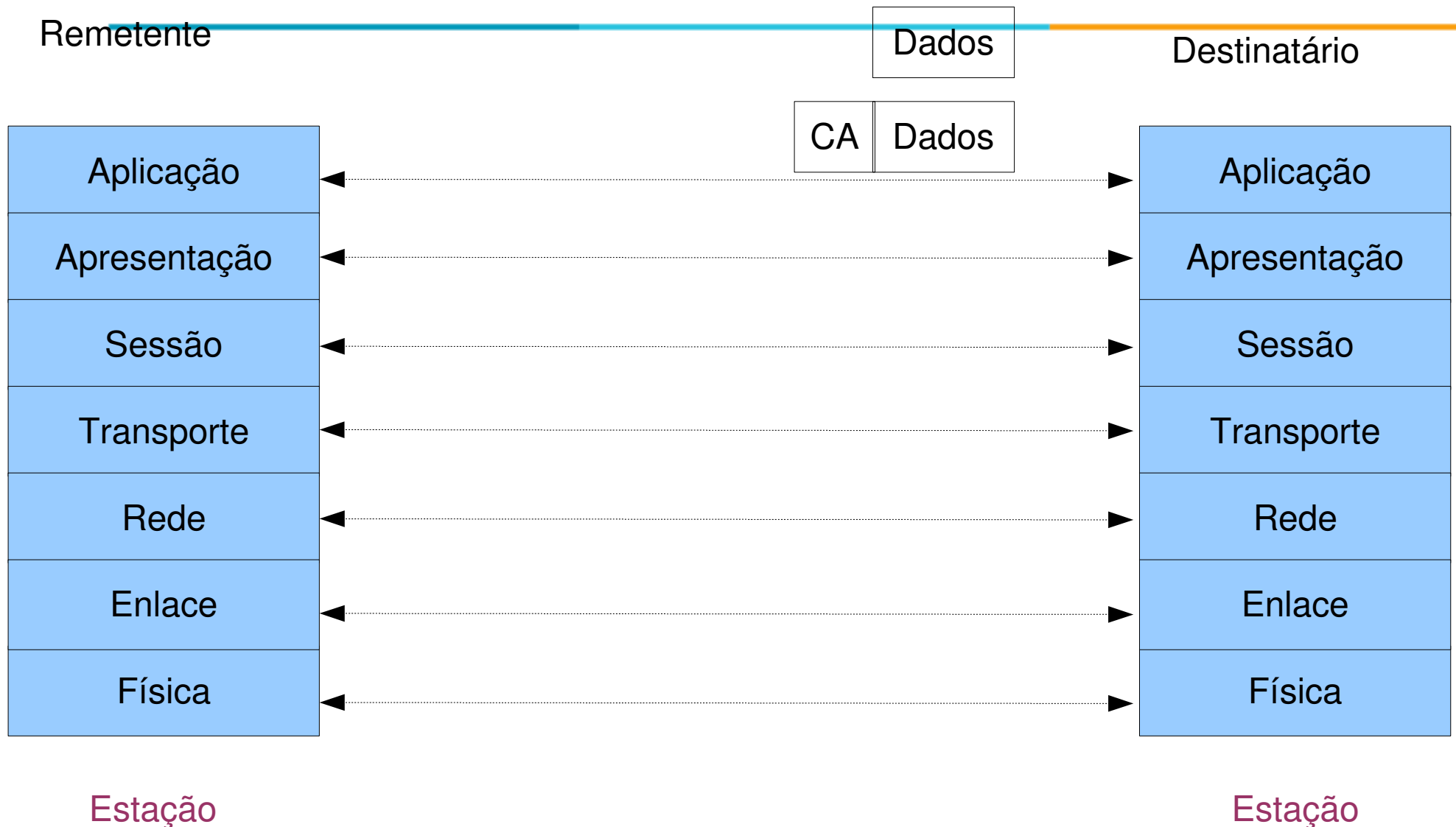




Encapsulamento de Dados



Encapsulamento de Dados

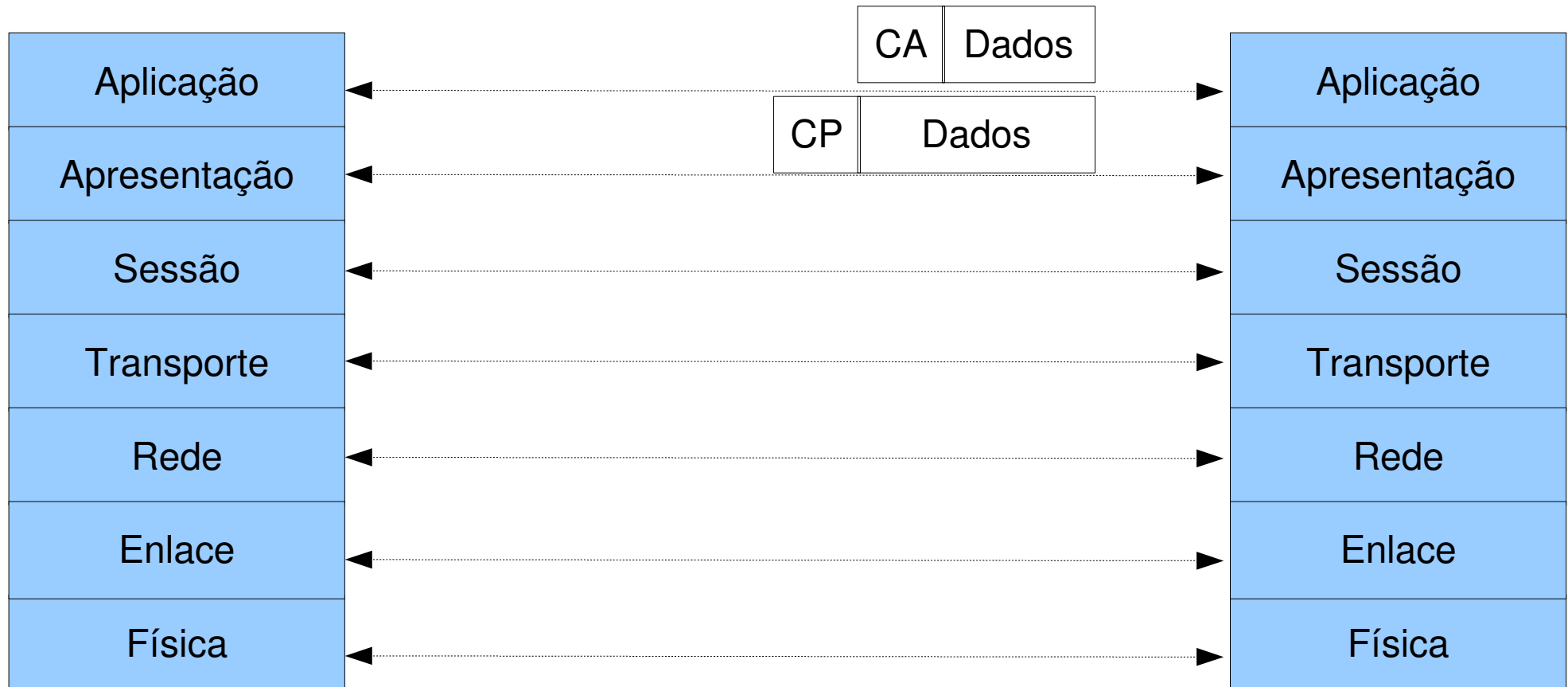




Encapsulamento de Dados

Remetente

Destinatário



Estação

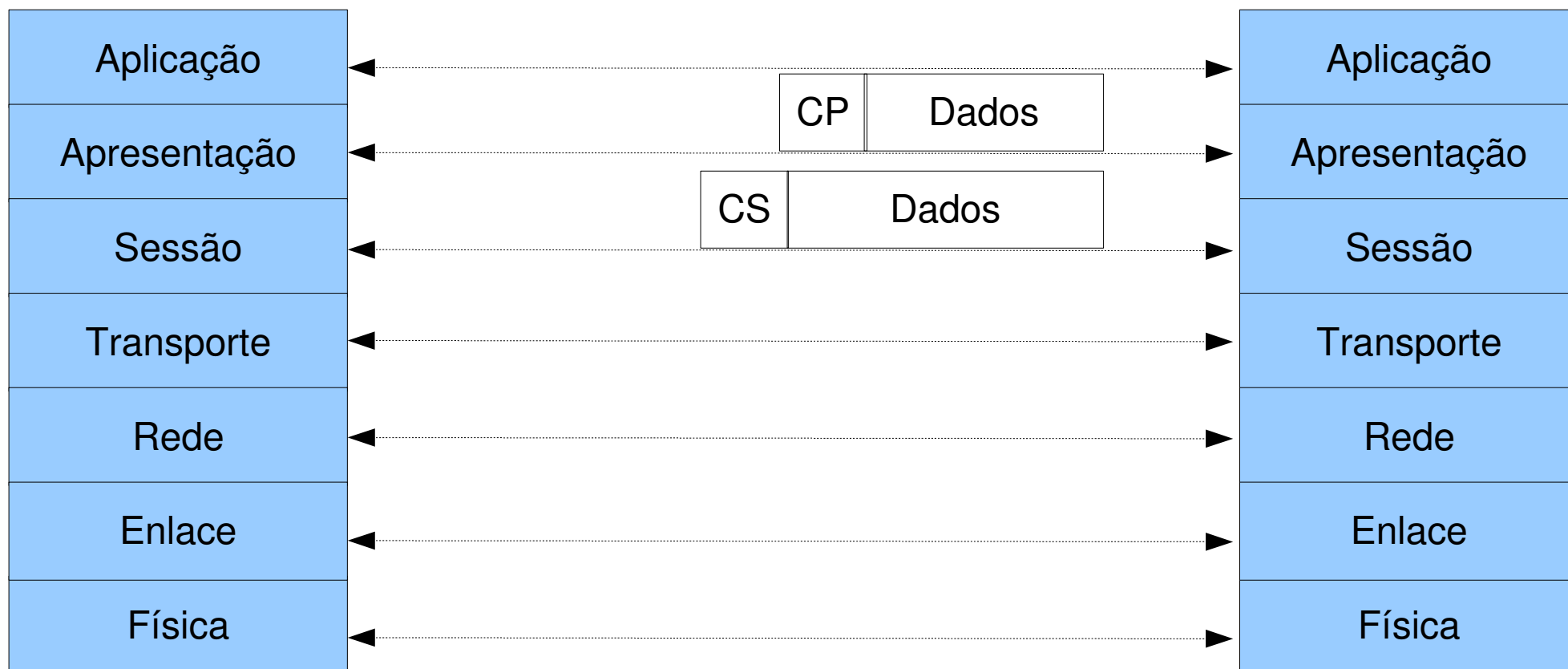
Estação



Encapsulamento de Dados

Remetente

Destinatário



Estação

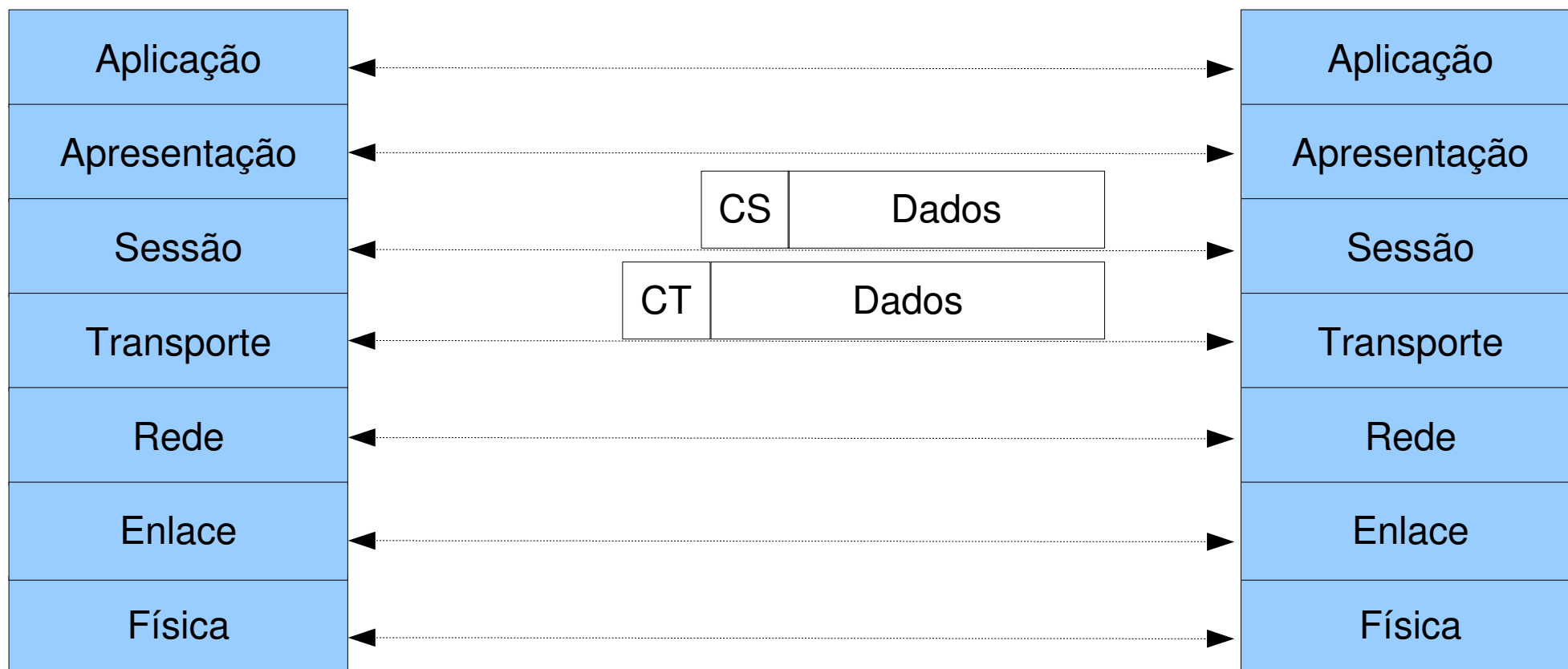
Estação



Encapsulamento de Dados

Remetente

Destinatário



Estação

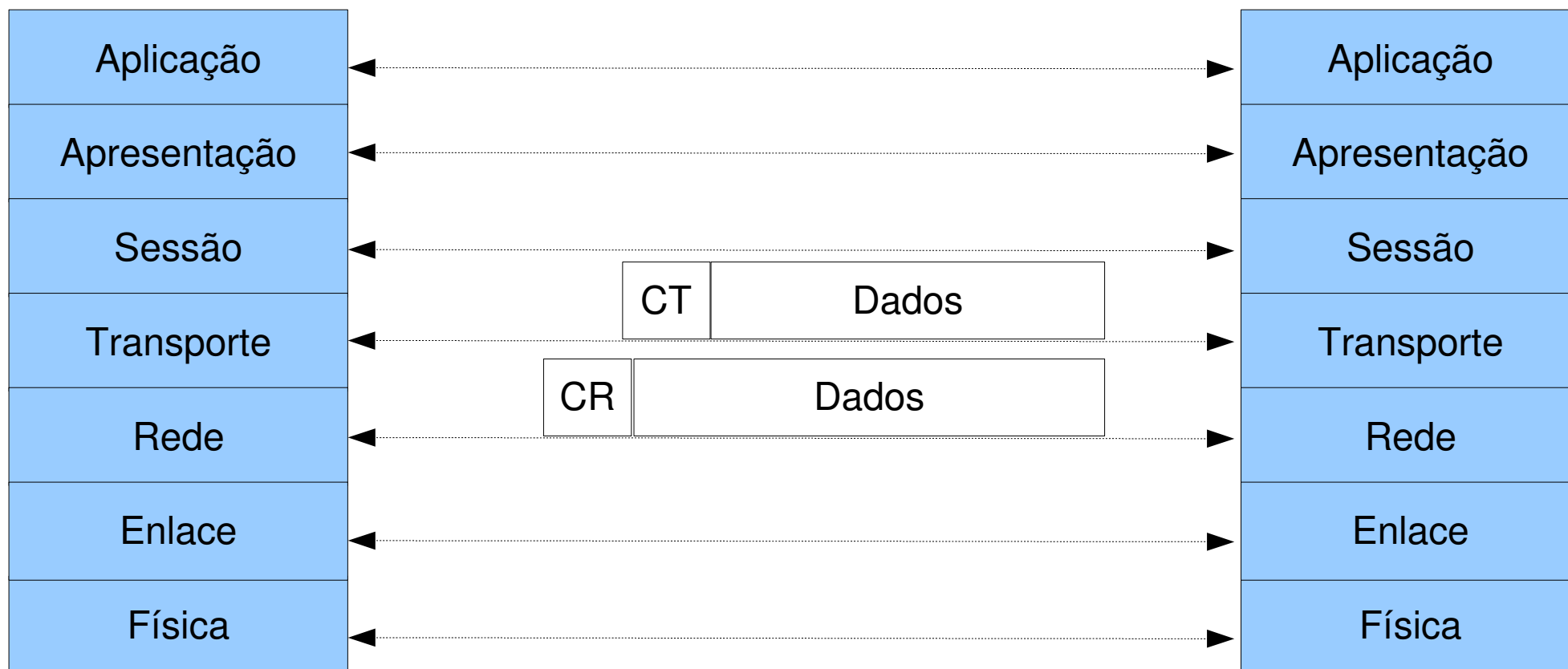
Estação



Encapsulamento de Dados

Remetente

Destinatário



Estação

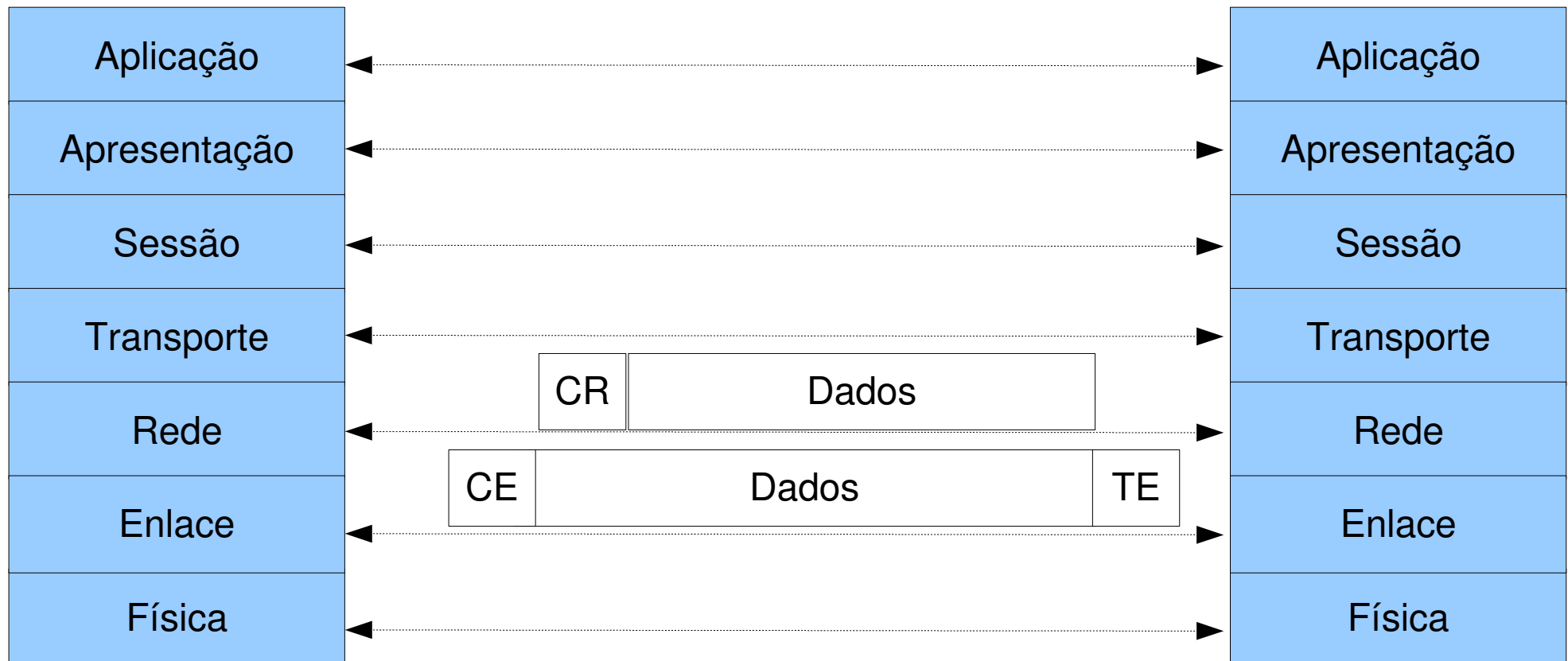
Estação



Encapsulamento de Dados

Remetente

Destinatário



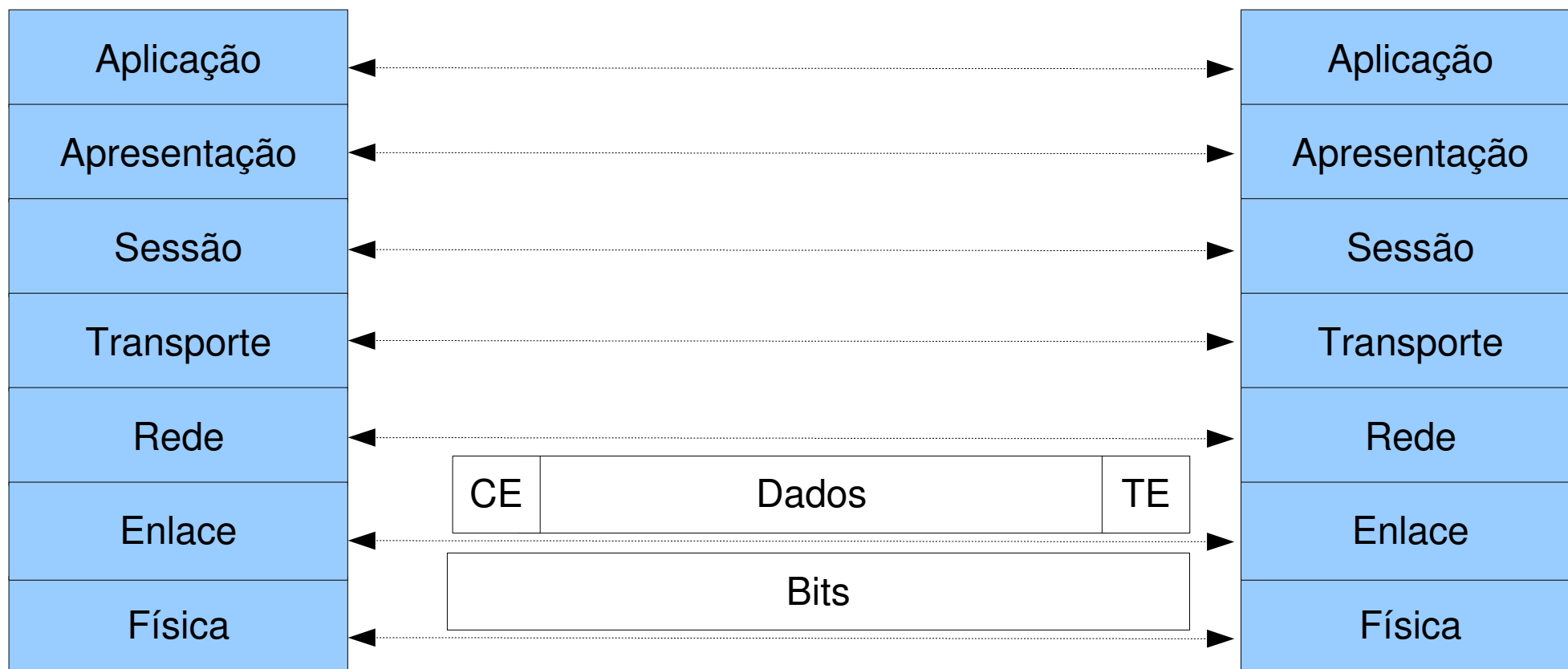
Estação

Estação

Encapsulamento de Dados

Remetente

Destinatário



Estação

Estação



Camadas do Modelo ISO/ OSI

- Quais as funções das 7 camadas?



OSI: Camada Física

- Transmissão transparente de seqüências de bits pelo meio físico.
- Trata de padrões mecânicos, funcionais, elétricos e procedimentos para acesso ao meio físico.
- Mantém a conexão física entre sistemas.
- Tipos de conexão:
 - ponto-a-ponto ou multiponto;
 - full ou half-duplex;
 - serial ou paralela.



OSI: Camada de Enlace

- Esconde as características físicas do meio de transmissão.
- Provê meio de transmissão confiável entre dois sistemas adjacentes.
- Funções típicas:
 - delimitação de quadro;
 - detecção de erros;
 - recuperação de erros;
 - controle de fluxo.



OSI: Camada de Rede

- Provê um canal de comunicação independente dos meios.
- Determina como os pacotes são roteados da origem ao destino.
- Funções típicas:
 - acesso e operação da rede;
 - interconexão de redes e sub-redes;
 - endereçamento lógico;
 - roteamento.



OSI: Camada de Transporte

- Transferência de dados transparente, independente de sub-rede.
- Significado fim-a-fim, independente de topologias de redes.
- Controle de qualidade de serviços de rede globais.



OSI: Camada de Transporte (cont.)

- Classes de serviço:
 - 0: simples
 - 1: recuperação de erros básicos
 - 2: multiplexação
 - 3: recuperação de erros básicos e multiplexação
 - 4: detecção, recuperação de erros básicos e multiplexação



OSI: Camada de Sessão

- Permite o transporte de dados, como a camada de transporte, porém provê serviços adicionais.
 - Controle de diálogo:
 - dados transmitidos em ambos os sentidos.
 - Sincronismo de diálogo:
 - por exemplo: caso uma transferência de arquivo seja interrompida, consegue recuperar o ponto na qual esta caiu.



OSI: Camada de Apresentação

- Transparência na representação de dados: sintaxe.
 - Diferentes sintaxes:
 - transmissor,
 - receptor,
 - transferência.
- Compressão de dados.
- Criptografia.



OSI: Camada de Aplicação

- Trata de vários protocolos que suportam as diferentes aplicações, como:
 - correio eletrônico;
 - navegação na web;
 - transferência de arquivos;
 - terminal virtual;
 - gerência de redes;
 - etc.



Modelo ISO/OSI

- É um modelo de referência!
- Na prática, não é utilizado!
- Na Internet utiliza-se a Arquitetura TCP/IP.



Modelo ISO/OSI versus TCP/IP



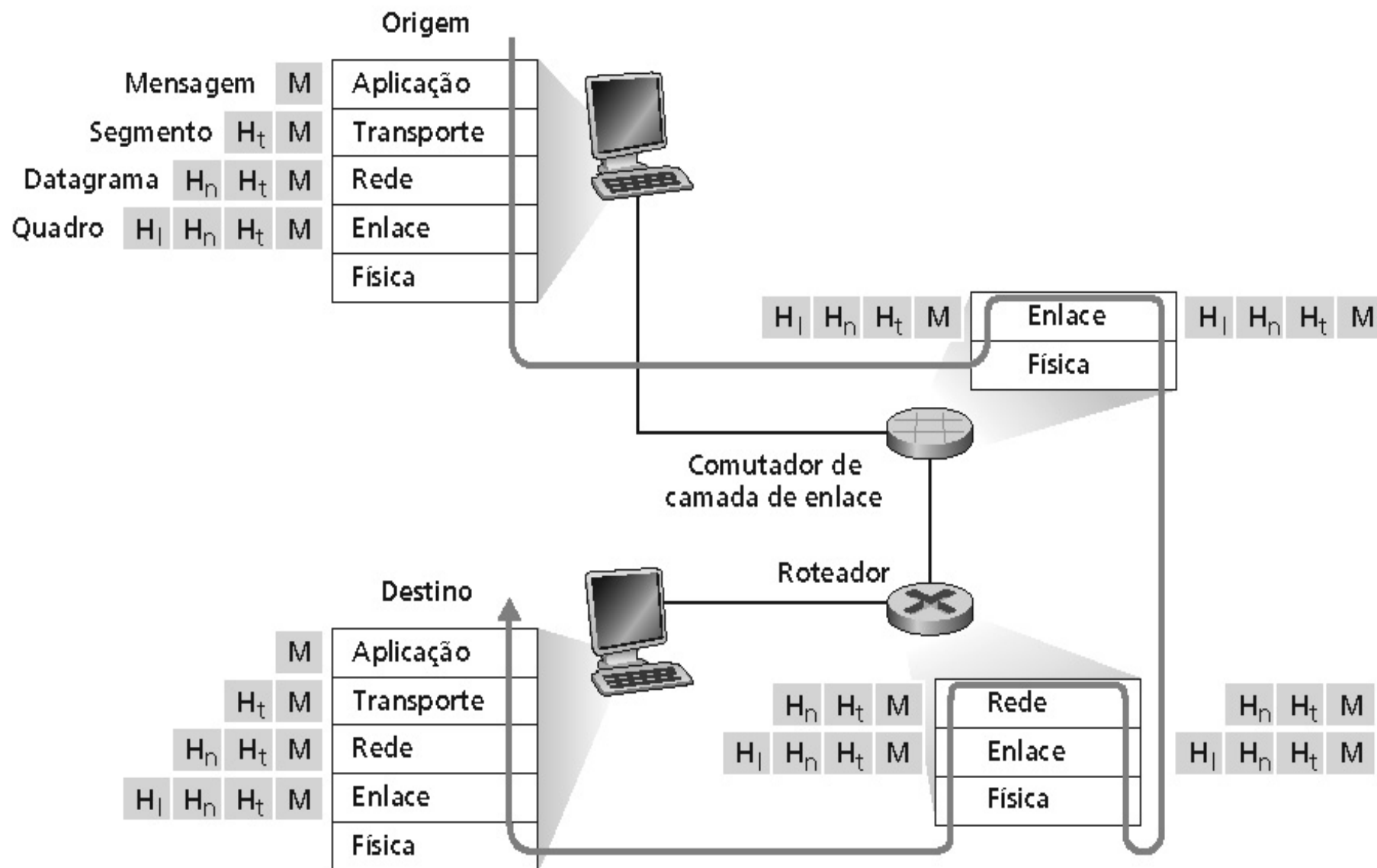


Modelo TCP/IP ou Internet

- 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”



Encapsulamento Internet





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



Então...

- Leiam Capítulo 1!
- Próxima semana: Capítulo 2 – Camada de Aplicação.
- Perguntas???