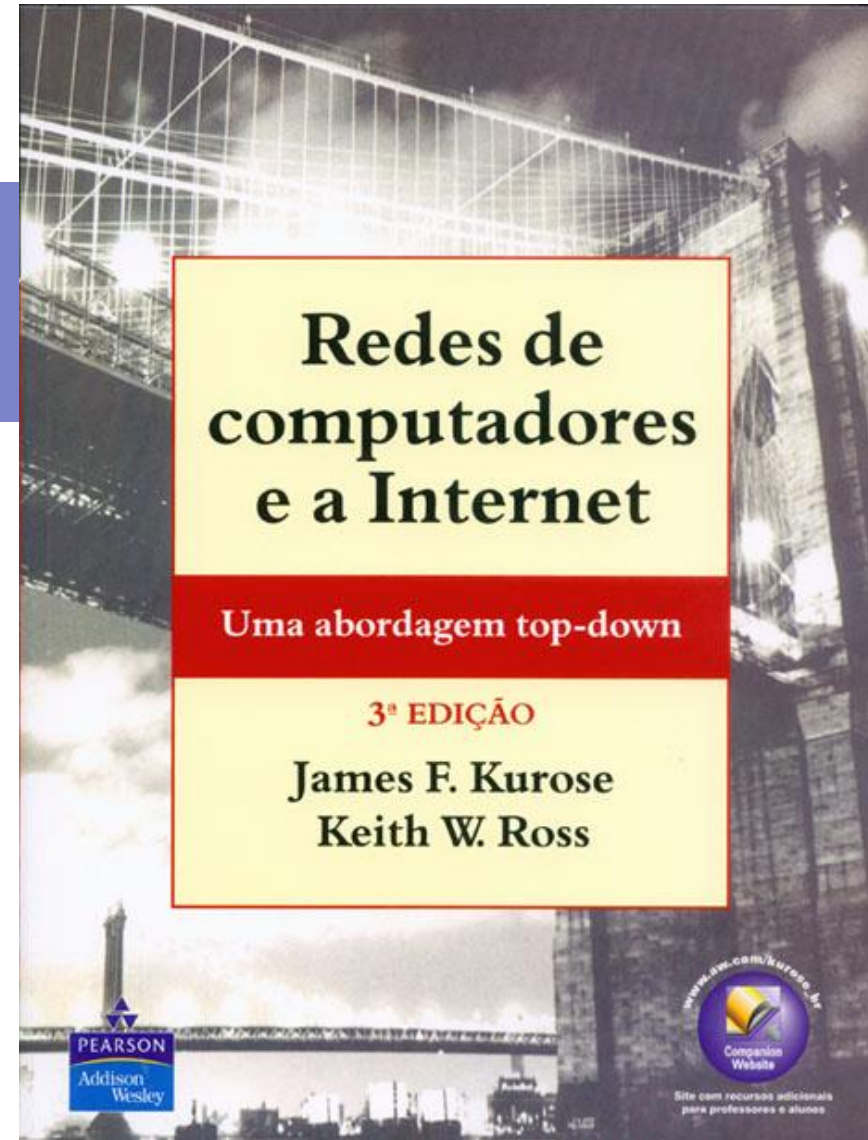


Redes de computadores e a Internet

Capítulo 5

A camada de enlace e redes locais

(Alterado por Atslands Rocha)



5 A camada de enlace

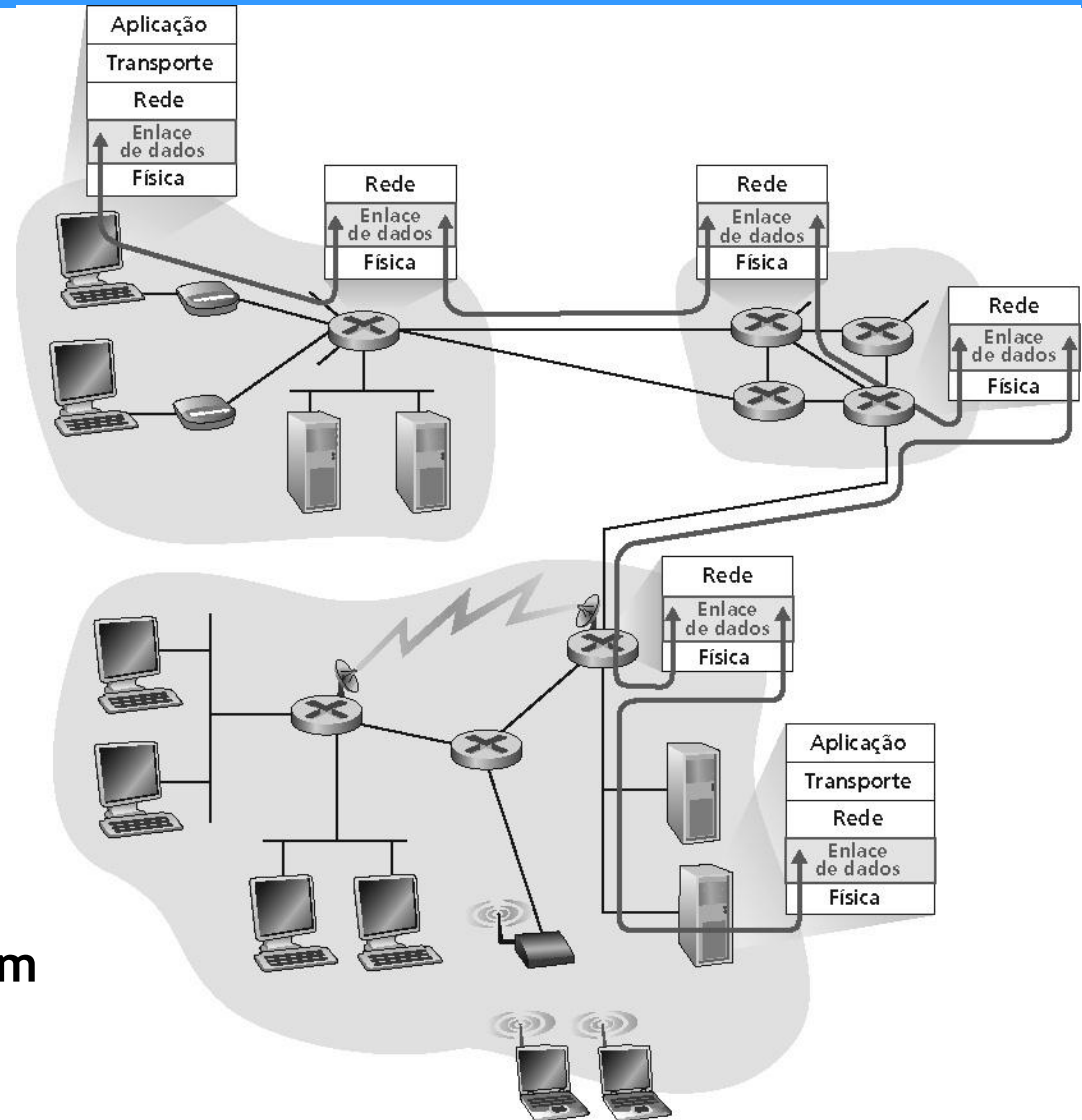
- 5.1 Introdução e serviços
- 5.2 Endereçamento da camada de enlace
- 5.3 Detecção e correção de erros
- 5.4 Ethernet
- 5.5 Hubs e switches

5 Camada de enlace: introdução

Algumas terminologias:

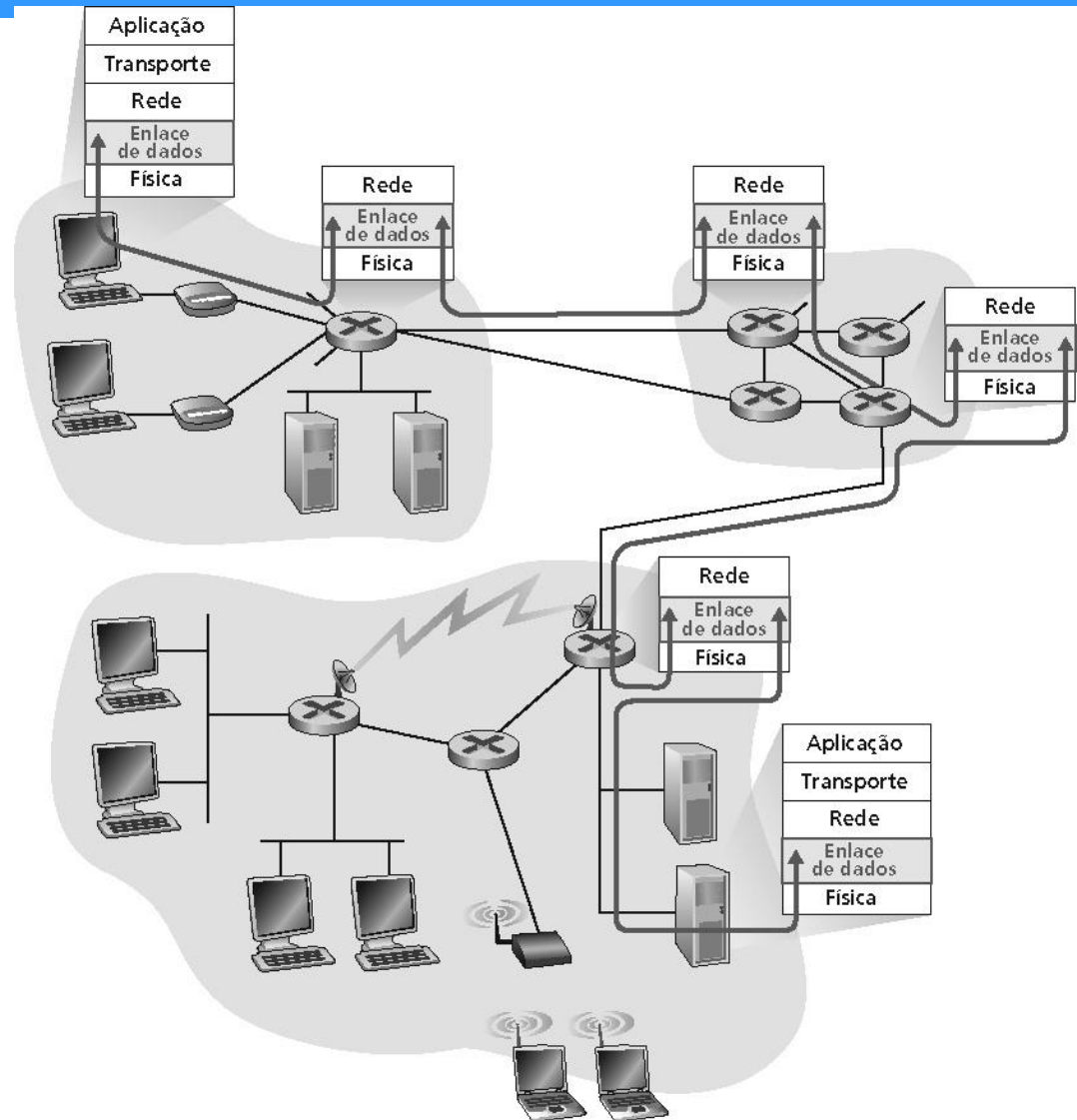
- Hospedeiros e roteadores são **nós**
- Canais de comunicação que conectam nós vizinhos são **enlaces**
 - Enlaces com fio
 - Enlaces sem fio
 - LANs
- Pacote de camada-2 é chama-se quadro.

camada de enlace tem a responsabilidade de transferir um datagrama de um nó para o nó vizinho sobre um enlace.



5 A camada de enlace: contexto

- Datagrama pode ser transferido por protocolos e enlaces diferentes:
 - ex.: Ethernet no primeiro enlace, quadro relay nos enlaces intermediários, 802.11 no último enlace...
- Cada protocolo de enlace provê serviços diferentes.
 - ex.: pode ou não prover transferência confiável sobre o enlace



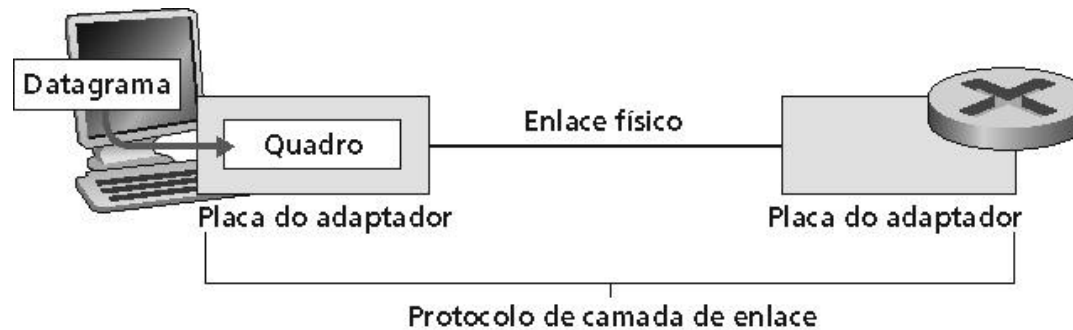
5 Serviços da camada de enlace

- **Enquadramento, acesso ao enlace:**
 - Encapsula datagramas em quadros acrescentando cabeçalhos.
 - Implementa acesso ao canal se o meio é compartilhado.
 - ‘endereços físicos’ usados nos cabeçalhos dos quadros para Identificar a fonte e o destino dos quadros .
- **Entrega confiável entre dois equipamentos fisicamente conectados:**
 - Já aprendemos como isso deve ser feito: TCP!
 - Raramente usado em enlaces com baixa taxa de erro (fibra, alguns tipos de par de fios trançados de cobre).
 - Enlaces sem fio (wireless): altas taxas de erro.

5 Serviços da camada de enlace

- **Controle de fluxo:**
 - Limitação da transmissão entre transmissor e receptor.
- **Deteção de erros:**
 - Erros causados pela atenuação do sinal e por ruídos.
 - O receptor detecta a presença de erros e avisa o transmissor para reenviar o quadro perdido.
- **Correção de erros:**
 - O receptor identifica **e corrige** o bit com erro(s) sem recorrer à retransmissão.
- **Half-duplex e full-duplex**
 - Com *half-duplex*, os nós em ambas as extremidades do enlace podem transmitir, mas não ao mesmo tempo.

5 Comunicação de adaptadores



- Camada de rede implementada no “adaptador” (isto é, NIC)
 - Cartão Ethernet, cartão PCMCIA, cartão 802.11
- Lado transmissor:
 - Encapsula o datagrama em um quadro.
 - Adiciona bits de verificação de erro, controle de fluxo etc.
- Lado receptor:
 - Procura erros, controle de fluxo etc...
 - Extrai o datagrama, passa para o lado receptor.
- Camadas de enlace e física.

5 Endereços de LAN e ARP

Endereços IP de 32-bit:

- Endereços da *camada de rede*.
- Usados para levar o datagrama até a rede de destino (lembre-se da definição de rede IP).

Endereço de LAN (ou MAC ou físico):

- Usado para levar o datagrama de uma interface física a outra fisicamente conectada com a primeira (isto é, na mesma rede).
- Endereços MAC com 48 bits (na maioria das LANs) gravados na memória fixa (ROM) do adaptador de rede.

5 Endereços de LAN (mais)

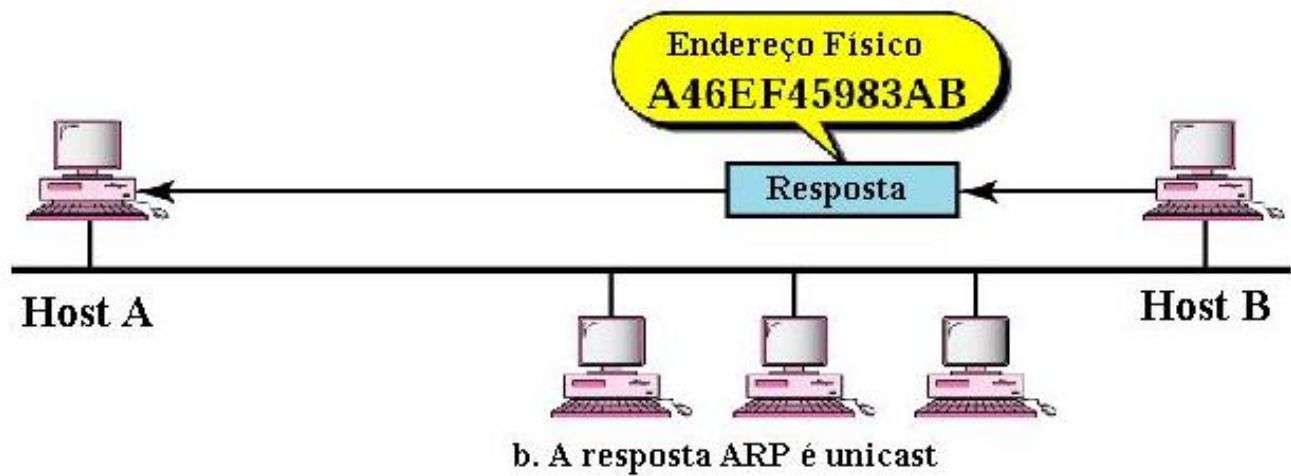
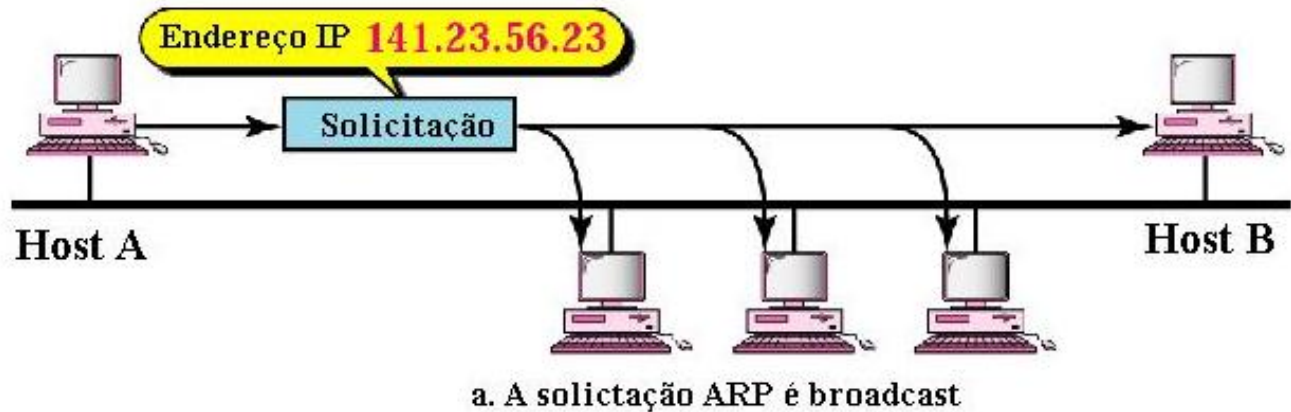
- A alocação de endereços MAC é administrada pelo IEEE.
- O fabricante compra porções do espaço de endereço MAC (para assegurar a unicidade).
- Endereçamento MAC possui portabilidade
 - É possível mover uma placa de LAN de uma rede para outra sem reconfiguração de endereço MAC.
- Endereçamento IP “hierárquico” => NÃO portátil
 - Depende da rede na qual se está ligado.

Questão: como determinar o endereço MAC de B dado o endereço IP de B?

- Cada nó IP (host, roteador) numa LAN tem um módulo e uma tabela **ARP**.
- Tabela ARP:
 - < endereço IP; endereço MAC; TTL>
- TTL (Time To Live): tempo depois do qual o mapeamento de endereços será esquecido (tipicamente 20 min).
- Uma solicitação ARP é sempre dada de modo broadcast e uma resposta ARP é dada de modo unicast.
- Roteador possui tabelas ARP para cada rede conectada a ele!

5

Funcionamento ARP (Máquinas na mesma rede)



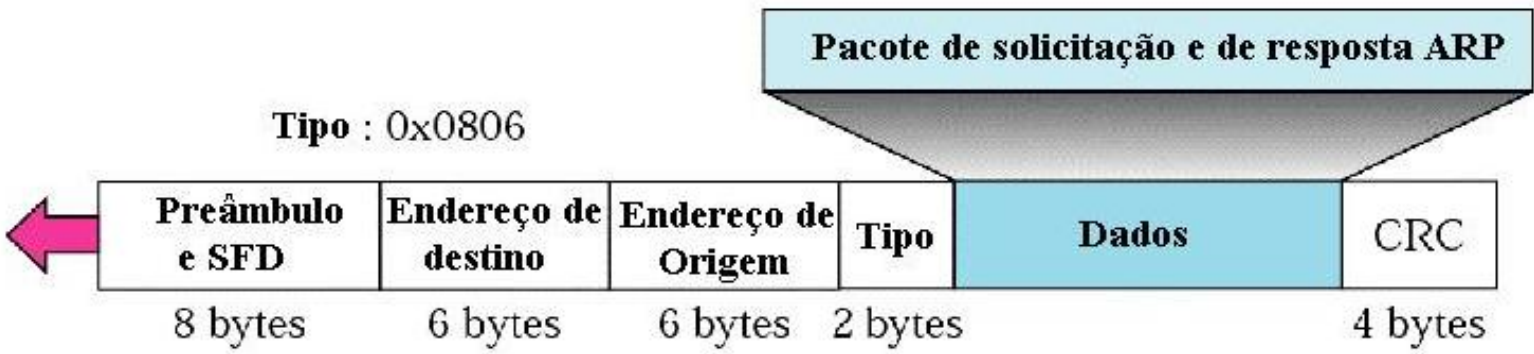
5

Encapsulamento do Pacote ARP

Pacote ARP =>

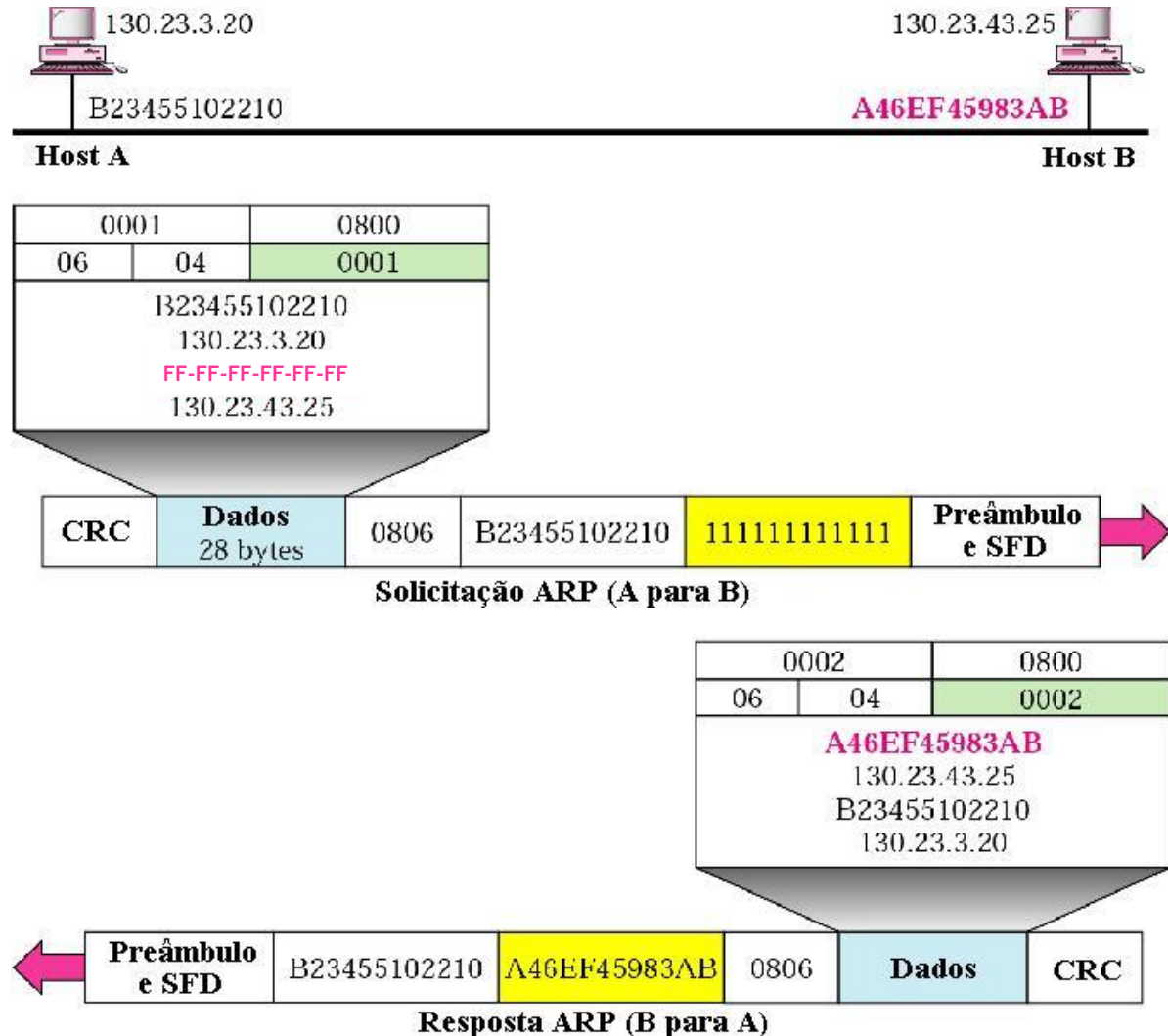
Tipo de Hardware		Tipo de Protocolo
Tamanho do Endereço Físico	Tamanho do Protocolo	Operação Solicitação 1, Resposta 2
Endereço Físico de origem (Por exemplo, 6 bytes para Ethernet)		
Protocolo do endereço de origem (Por exemplo, 4 bytes para IP)		
Endereço Físico do destino (Por exemplo, 6 bytes para Ethernet) (Não é preenchido numa solicitação)		
Protocolo do endereço de destino (Por exemplo, 4 bytes para IP)		

Endereço de destino em uma solicitação é FFFFFFFF.



5 Funcionamento ARP (Máquinas na mesma rede)

- A salva em sua tabela ARP o par (MAC, IP) de B.
- ARP é “plug-and-play”:



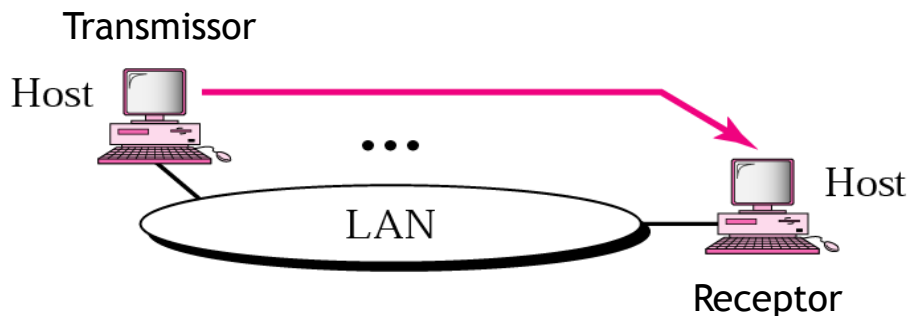
5

Funcionamento ARP (E se a máquina estiver em uma rede diferente?)

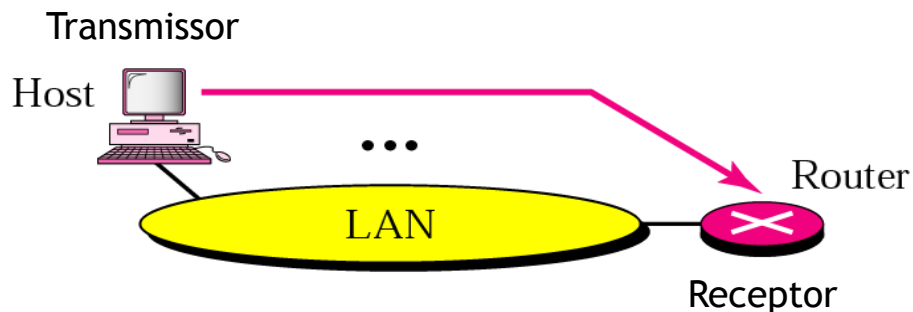
- A cria o pacote IP com origem A, destino B.
- A usa ARP para obter o endereço de camada física de R correspondente ao endereço IP 111.111.111.110.
- A cria um quadro Ethernet com o endereço físico de R como destino, o quadro Ethernet contém o datagrama IP de A para B.
- A camada de enlace de R recebe o quadro Ethernet enviado por A.
- R remove o datagrama IP do quadro Ethernet, verifica que ele se destina a B.
- R usa ARP para obter o endereço físico de B.
- R cria quadro contendo um datagrama de A para B e envia para B.

5

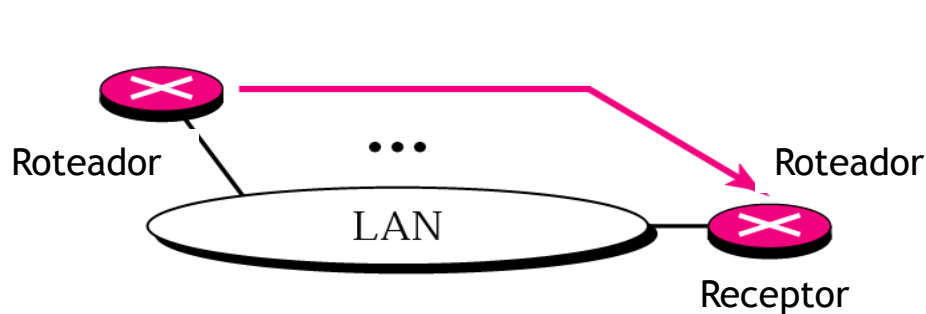
Funcionamento ARP (Quatro situações)



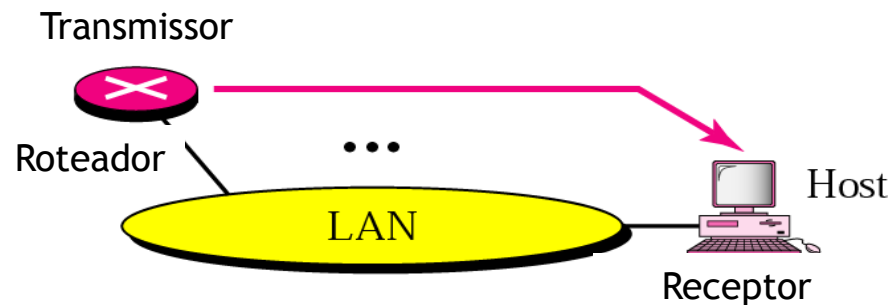
Situação 1. O host de origem deseja transmitir um pacote para outro host na mesma rede.



Situação 2. O host de origem deseja transmitir um pacote para outro host localizado noutra rede. Ele deve primeiro entregar o pacote ao roteador apropriado.



Situação 3. O host de origem é um roteador que recebeu um datagrama destinado a um host localizado noutra rede. Ele deve primeiro entregar o pacote ao roteador apropriado.



Situação 4. O host de origem é um roteador que recebeu um datagrama destinado a um host sob a jurisdição dele..

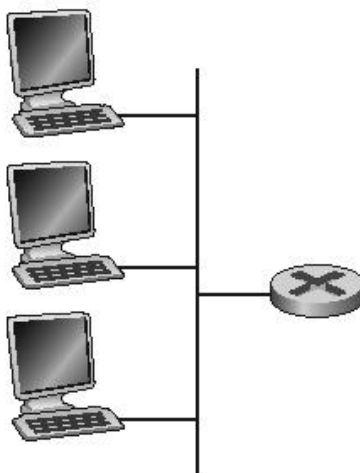
5

Enlaces de acceso múltiplo e protocolos

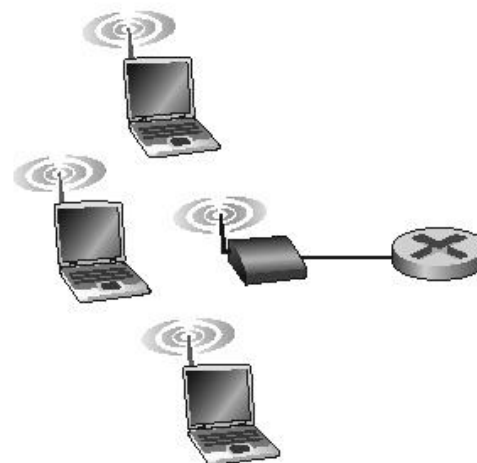
Três tipos de enlaces:

- Ponto-a-ponto (fio único, ex.: PPP)
- **Broadcast** (fio ou meio compartilhado);
 - Ethernet tradicional
 - 802.11 LAN sem fio

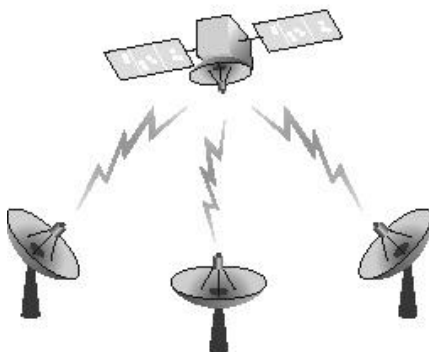
Compartilhado com fio
(por exemplo, Ethernet)



Compartilhado sem fio
(por exemplo, Wi-Fi)



Satélite



Coquetel



5 Protocolos de acesso múltiplo

- Canal de comunicação único e compartilhado.
- Duas ou mais transmissões simultâneas pelos nós: interferência.
 - **Colisão** se um nó receber dois ou mais sinais ao mesmo tempo.
- **Protocolo de múltiplo acesso:**
 - Algoritmo distribuído que determina como as estações compartilham o canal, isto é, determinam quando cada estação pode transmitir.
 - Comunicação sobre o compartilhamento do canal deve utilizar o próprio canal!
 - Nenhum canal fora-de-banda para coordenação.

5

Exemplo: CSMA - Carrier Sense Multiple Access

CSMA: protocolo de acesso aleatório.

Exemplo: CSMA/CD usado na rede Ethernet!

CSMA: escuta antes de transmitir:

- Se o canal parece vazio: transmite o pacote.
 - Se o canal está ocupado, adia a transmissão.
 - Analogia humana: não interrompa os outros!
-
- Colisões podem ocorrer e se a colisão ocorre: todo o tempo de transmissão do pacote é desperdiçado.

5 CSMA/CD (detecção de colisão)

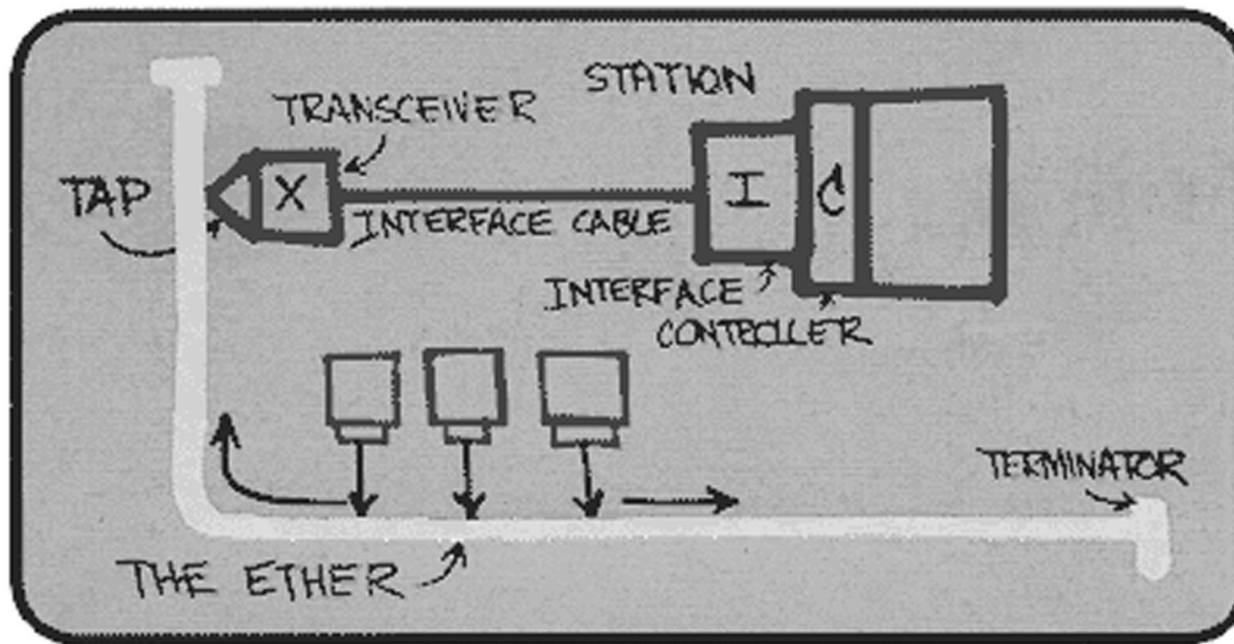
CSMA/CD (collision detection): detecção de portadora.

- Colisões **detectadas** num tempo mais curto.
- Transmissões com colisões são interrompidas, reduzindo o desperdício do canal.
- Detecção de colisão:
- Fácil em LANs cabeadas: medição da intensidade do sinal, comparação dos sinais transmitidos e recebidos.
- Analogia humana: o “bom de papo” educado.

5 Ethernet

Tecnologia de rede local “dominante” :

- Primeira tecnologia de LAN largamente usada por ser simples e barata.
- Velocidade crescente: 10Mbps - 10Gbps
- Serviço não confiável e sem conexão.



esboço da Ethernet
por Bob Metcalf

5 Topologia em estrela

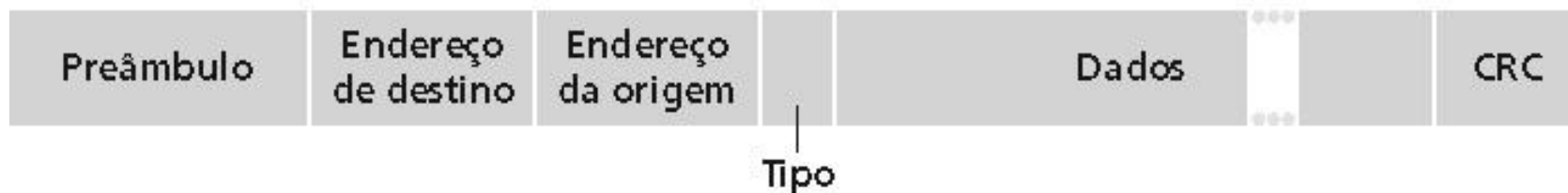
- Topologia de barramento popular em meados dos anos 90.
- Agora a topologia em estrela prevalece.
- Opções de conexão: hub ou switch (mais adiante).



5

Estrutura do quadro Ethernet

Adaptador do transmissor encapsula o datagrama IP (ou outro pacote de protocolo da camada de rede) num **quadro Ethernet**.



Preâmbulo:

- Usado para sincronizar as taxas de relógio do transmissor e do receptor.
- **Endereços:** 6 bytes
 - Se o adaptador recebe um quadro com o seu endereço de destino ou com endereço de broadcast, ele repassa o pacote para a camada de rede.
- **Tipo:** indica o protocolo da camada superior (geralmente IP, mas outros podem ser suportados: Novell IPX e AppleTalk)
- **CRC:** Detecção de erro: se um erro é detectado, o quadro é descartado.

5 Ethernet usa CSMA/CD

- Sem slots
- Adaptador não transmite se ele detectar algum outro adaptador transmitindo, isto é, **carrier sense**.
- Várias máquinas podem usar o mesmo canal de comunicação, isto é, **multiple access**.
- O adaptador transmissor aborta quando detecta outro adaptador transmitindo, isto é, **collision detection**.

5 10BaseT e 100BaseT

- Taxa de 10/100 Mbps; chamado mais tarde de “fast ethernet”.
- **T** significa “Twisted Pair” (par de fios trançados de cobre).
- “Topologia em estrela”; 100 m é a distância máxima (cabos) entre os nós e o hub.



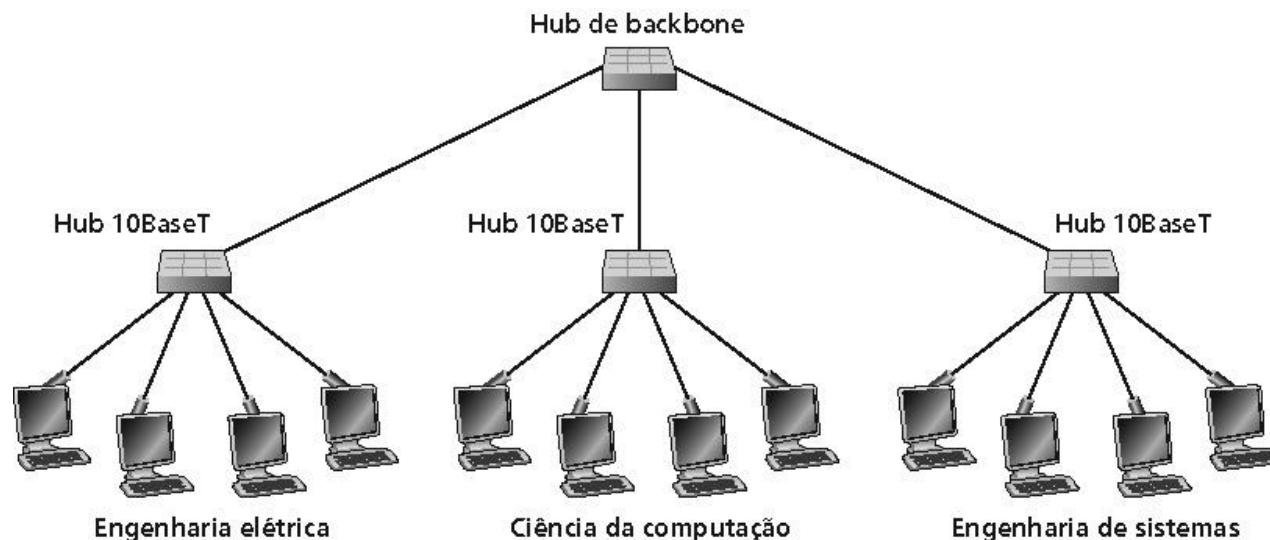
5 Gigabit Ethernet e 10Gbps

- Usa o formato do quadro do Ethernet padrão.
- Permite somente enlaces ponto-a-ponto.
- Full-Duplex a 1 Gbps para enlaces ponto-a-ponto.
- 10 Gbps agora!

5 Hubs

Hubs são essencialmente repetidores de camada física:

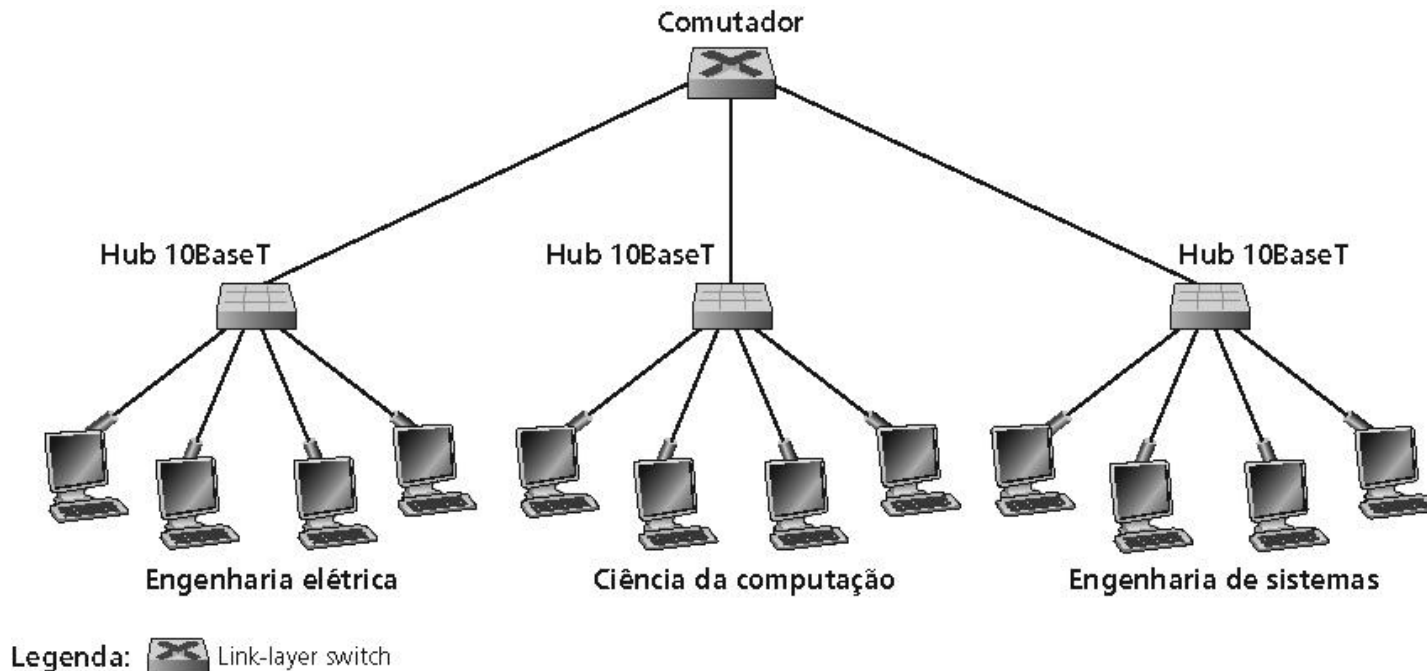
- Bits que chegam de um enlace se propagam para todos os outros enlaces.
- Com a mesma taxa.
- Não possuem **armazenagem de quadros**.
- Não há CSMA/CD no hub: adaptadores detectam colisões.
- Provê funcionalidade de gerenciamento de rede.
- Mas domínios de colisão individuais tornam-se um único e grande domínio de colisão. **(Obsoleto!)**



5 Switch

- Dispositivo de camada de enlace
 - Armazena e encaminha quadros Ethernet.
 - Examina o cabeçalho do quadro e **seletivamente** encaminha o quadro baseado no endereço MAC de destino.
- Transparente
 - Hospedeiros são inconscientes da presença dos switches.
- Plug-and-play e auto-aprendizado.
 - Switches não precisam ser configurados

5 Encaminhamento



- Como determinar para qual segmento da LAN encaminhar o quadro?
- Parece um problema de roteamento...

5 Self learning (auto-aprendizado)

- Um switch possui uma **tabela de switch**.
- Entrada na tabela do switch:
 - (endereço MAC, interface, marca de tempo).
 - Entradas expiradas na tabela são descartadas (TTL pode ser 60 min).
- Quando recebe um quadro, o switch “aprende” a localização do transmissor. Assim, ele sabe quais hosts podem ser alcançados através de suas interfaces.
 - Registra o par transmissor/localização na tabela.

5 Filtragem/encaminhamento

Quando um switch recebe um quadro:

indexa a tabela do switch usando endereço MAC de destino.

if entrada for encontrada para o destino

then {

transmite quadro

if quadro chegou no destino

then descarta o quadro

else reencaminha o quadro na interface indicada

}

else flood

Encaminha para todas as interfaces,
exceto para a que o quadro chegou

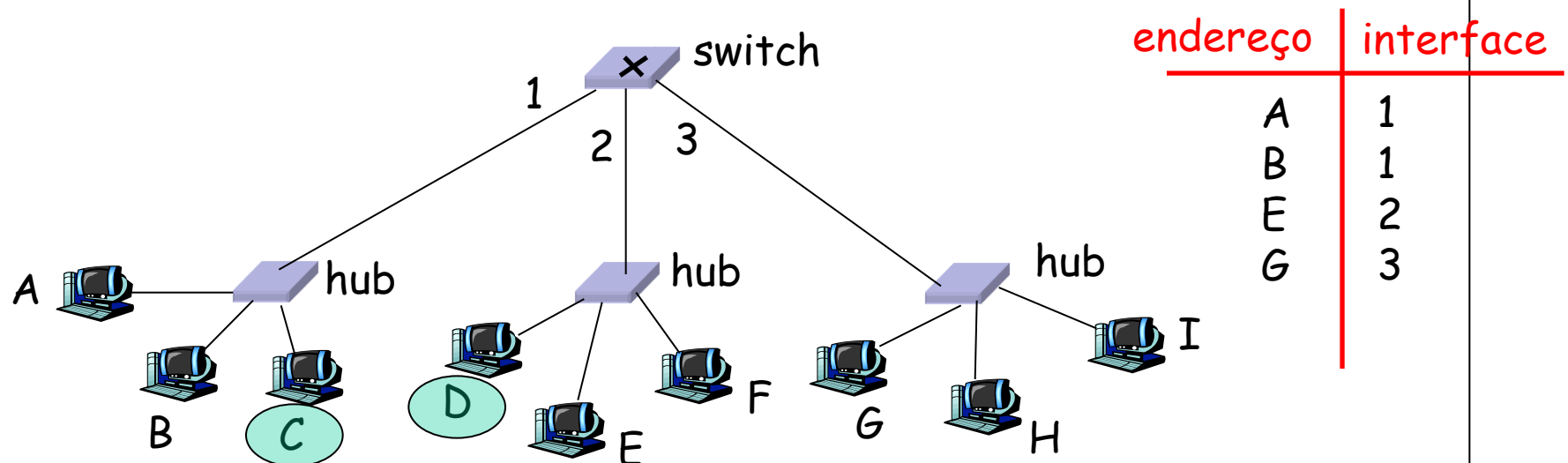


PEARSON

Addison
Wesley

5 Switch: exemplo

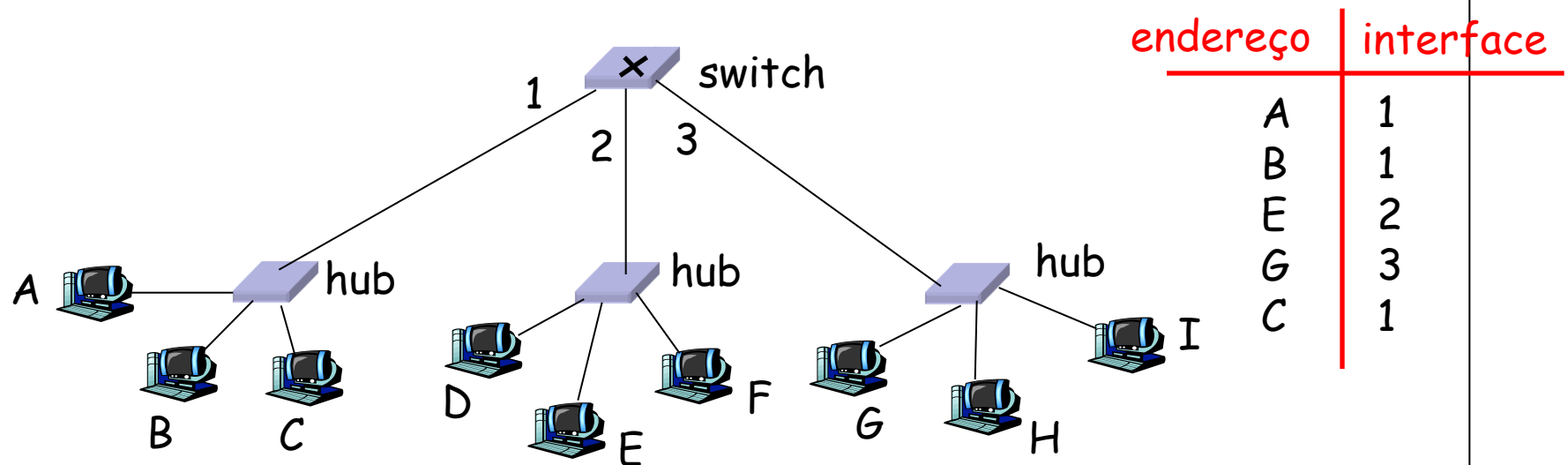
Suponha que C envia um quadro para D



- Switch recebe o quadro de C
 - Anota na tabela que C está na interface 1
 - Como D não está na tabela, o switch encaminha o quadro para as interfaces 2 e 3
- Quadro recebido por D

5 Switch: exemplo

Suponha que D responde com um quadro para C.

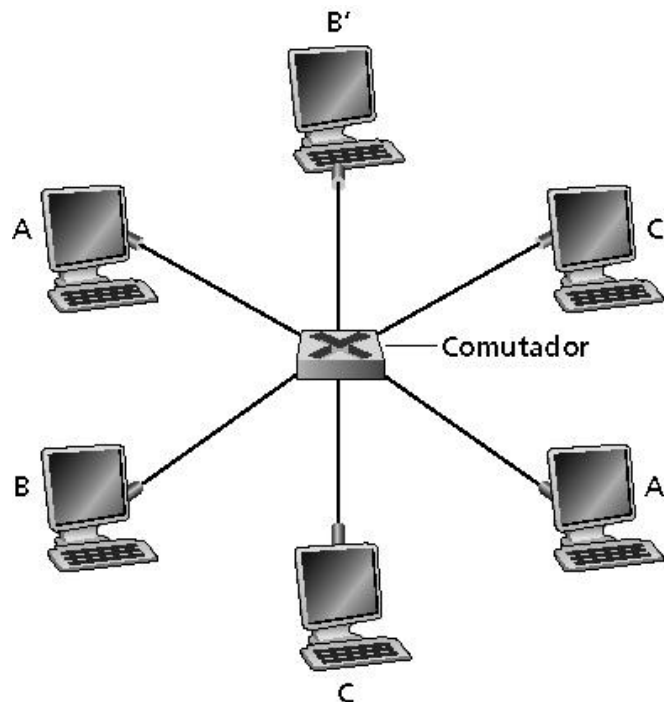


- Switch recebe quadro de D
 - Anota na tabela que D está na interface 2
 - Como C está na tabela, o switch encaminha o quadro apenas para a interface 1
- Quadro recebido por C

5 Switches: acesso dedicado

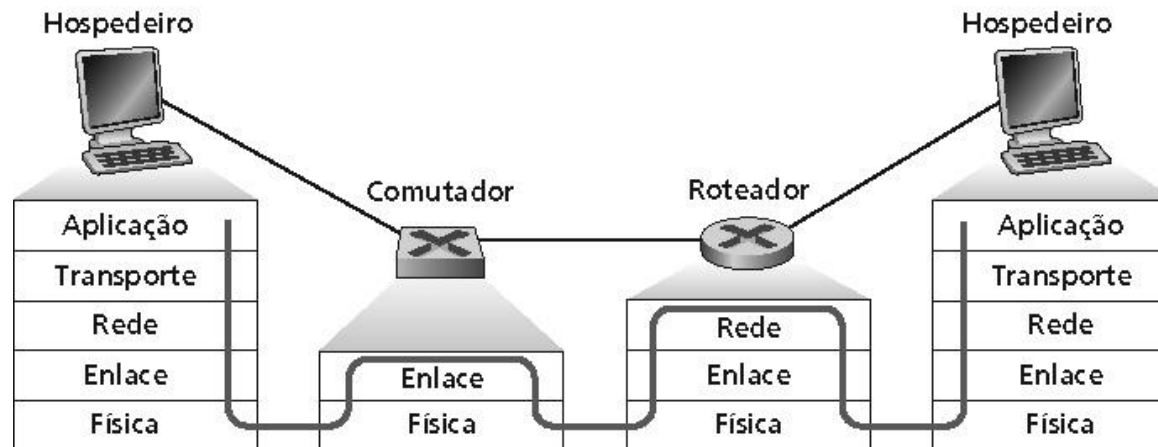
- Hospedeiros possuem conexão direta ao switch.
- Sem colisões; full duplex.

Switching: A-para-A' e B-para-B', simultaneamente, sem colisões



5 Switches vs. roteadores

- Ambos são dispositivos “armazena-encaminha”.
- Roteadores: dispositivos de camada de rede (examinam cabeçalhos da camada de rede).
- Switches são dispositivos da camada de enlace.
- Roteadores mantêm tabelas de roteamento, implementam algoritmos de roteamento.
- Switches mantêm tabelas de switch, implementam algoritmos de aprendizagem.



5 Resumo: comparação

	<u>hubs</u>	<u>roteadores</u>	<u>switches</u>
isolamento de tráfego	não	sim	sim
plug & play	sim	não	sim
roteamento ótimo	não	sim	não



Fontes: 1. Redes de Computadores e a Internet. James Kurose;
2. Comunicação de Dados e Redes de Computadores. Forouzan.