

Endereços físicos (MAC)

Endereços IPv4 de 32 bits - endereços da camada de rede atribuídos a cada interface \Rightarrow usado pelas tabelas de repasse dos roteadores para levar um datagrama da origem ao destino

Endereço MAC (ou LAN, ou físico, ou Ethernet):

Usado 'localmente' para levar o quadro de uma interface até outra interface **conectada fisicamente** (na mesma rede, no sentido do endereçamento IP)

Endereço MAC tem 48 bits (para a maioria das LANs):
gravado na ROM do adaptador (placa de rede), ou configurado por software

Ex: 1A-2F-BB-76-09-AD

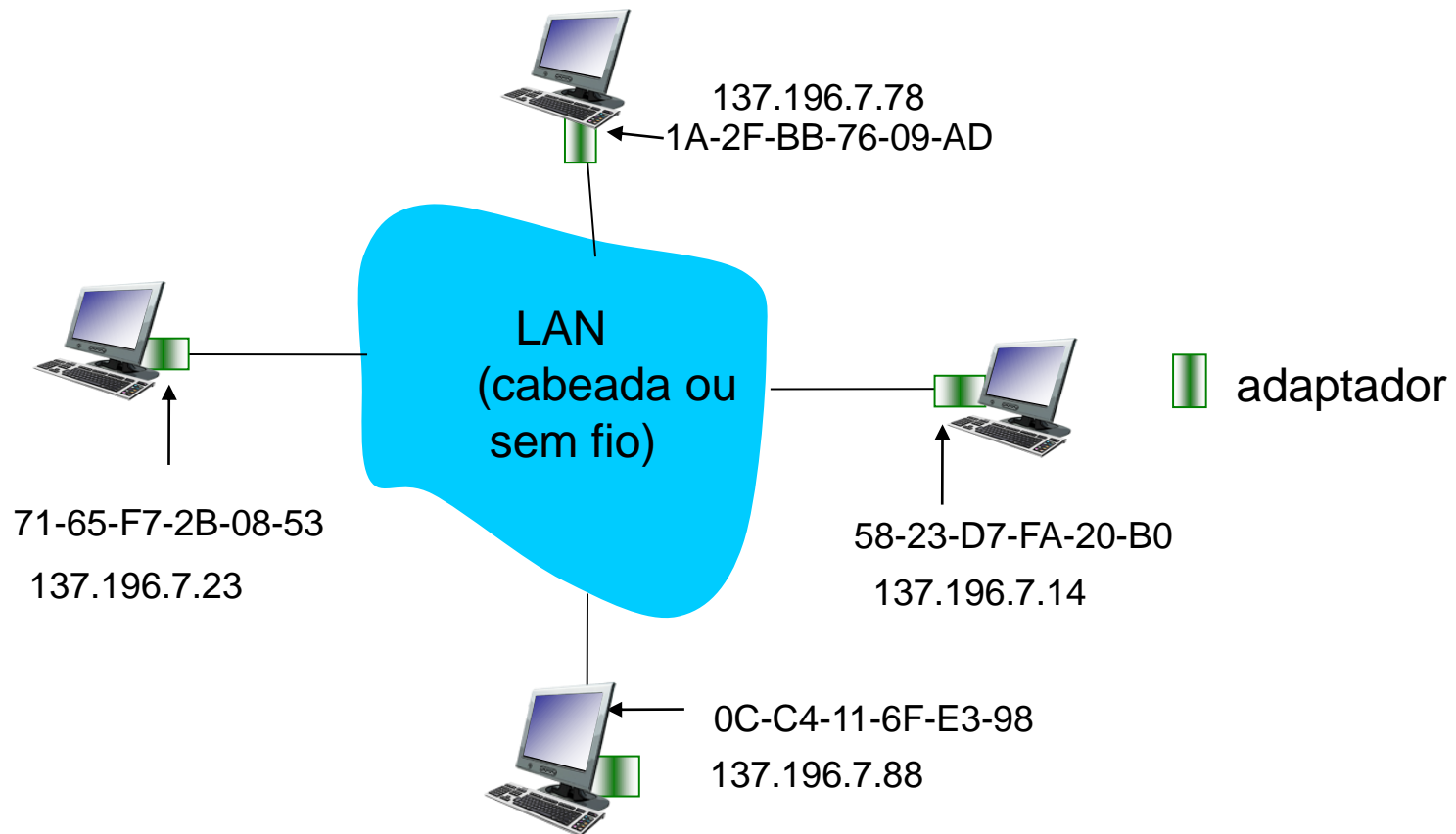
notação hexadecimal (base 16)
(cada dígito representa 4 bits)

Endereços físicos (MAC)

Cada adaptador na LAN

- tem um end **MAC** único de 48 bits
- tem um end IP localmente único

Endereço de Broadcast =
FF-FF-FF-FF-FF-FF



Endereços físicos MAC

- ❑ A alocação de endereços MAC é administrada pelo IEEE
- ❑ Um fabricante compra uma parte do espaço de endereços (para garantir unicidade)
- ❑ Analogia:
 - (a) endereço MAC: como número do CPF
 - (b) endereço IP: como endereço postal (CEP)
- ❑ endereço MAC tem estrutura linear (sem estrutura hierárquica)
⇒ portabilidade - pode mover um cartão de uma LAN para outra
- ❑ endereço IP é hierárquico: não é portátil (requer IP móvel)
⇒ depende da subrede IP à qual o nó está conectado
- ❑ endereço MAC de difusão (*broadcast*): 1111.....1111 ou
FF-FF-FF-FF-FF-FF

ARP: Address Resolution Protocol

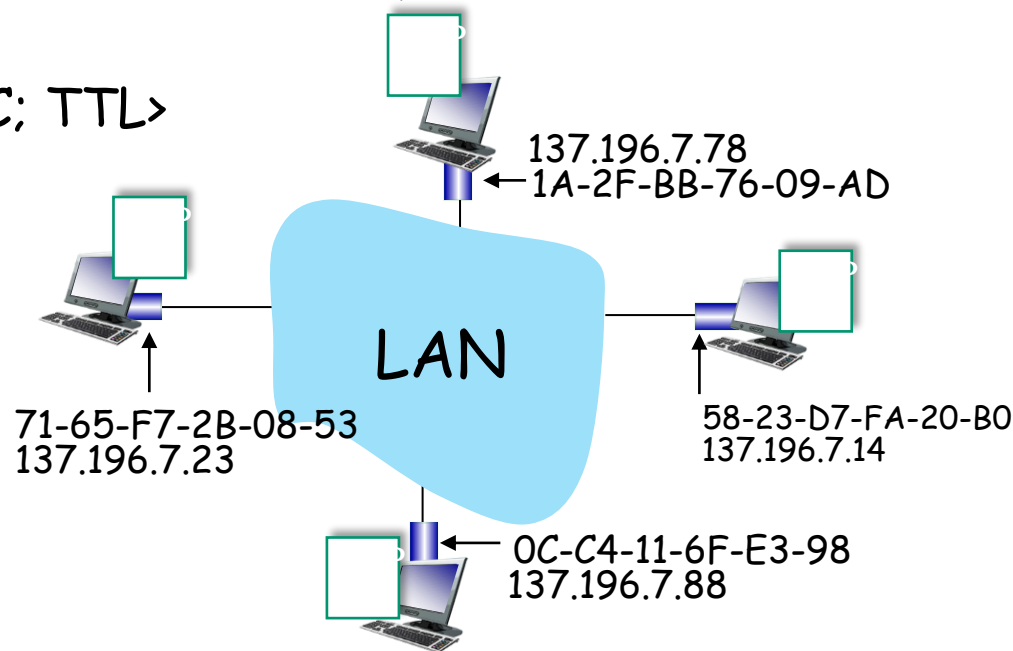
Questão: como determinar o endereço MAC, sabendo seu endereço IP?

Cada nó IP (host ou roteador) na rede local possui uma Tabela **ARP**

- faz o mapeamento entre endereços IP/MAC para os nós na rede local

< endereço IP; endereço MAC; TTL >

- TTL (Time To Live):
tempo a partir do qual o mapeamento será esquecido
(valor típico: 20 minutos)



Protocolo ARP em ação

Exemplo: A quer enviar um datagrama para B

- O endereço MAC de B não está na tabela ARP, logo A usa o ARP para achar o endereço MAC de B

A difunde uma consulta ARP , contendo o end IP de B

①

- end MAC de destino = FF-FF-FF-FF-FF-FF
- todos os nós da LAN recebem a consulta ARP

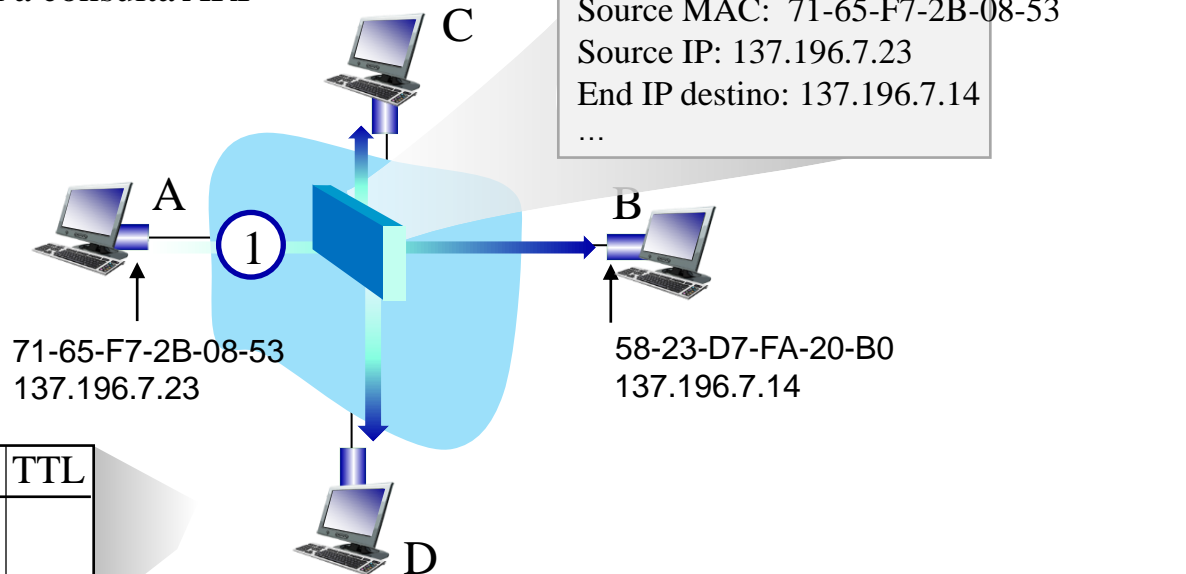


Tabela ARP em A

End IP	End MAC	TTL

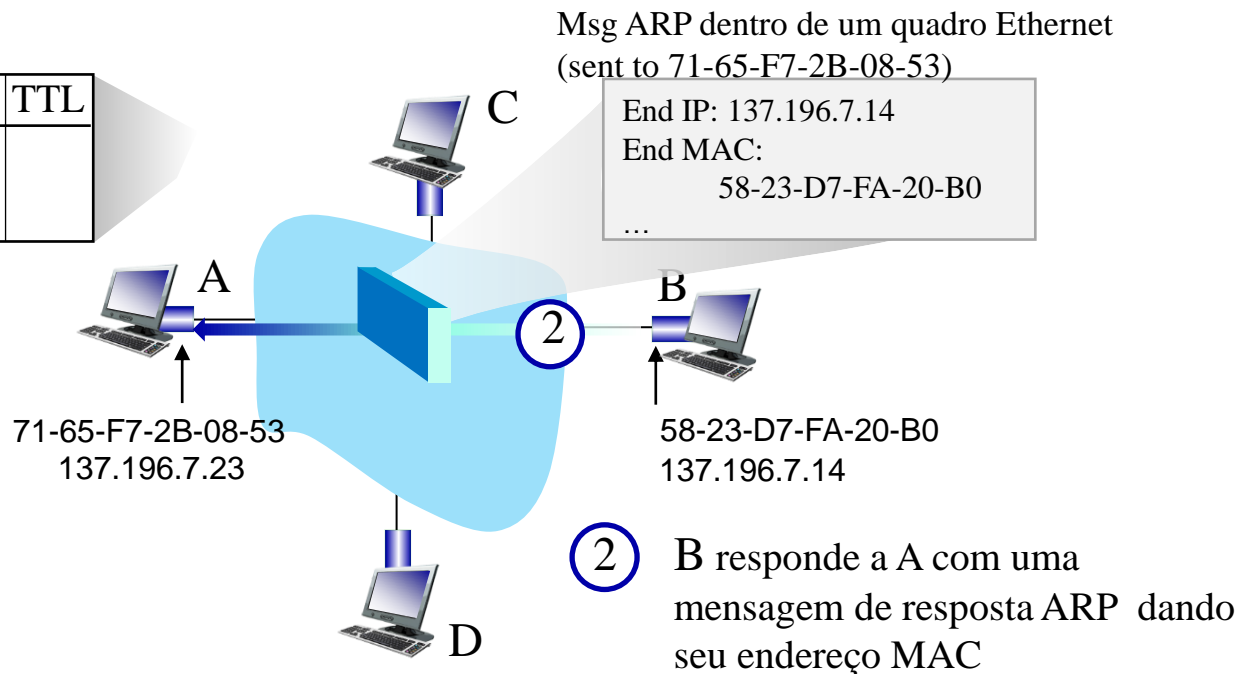
Protocolo ARP em ação

Exemplo: A quer enviar um datagrama para B

- O endereço MAC de B não está na tabela ARP, logo A usa o ARP para achar o endereço MAC de B

Tabela ARP em A

End IP	End MAC	TTL



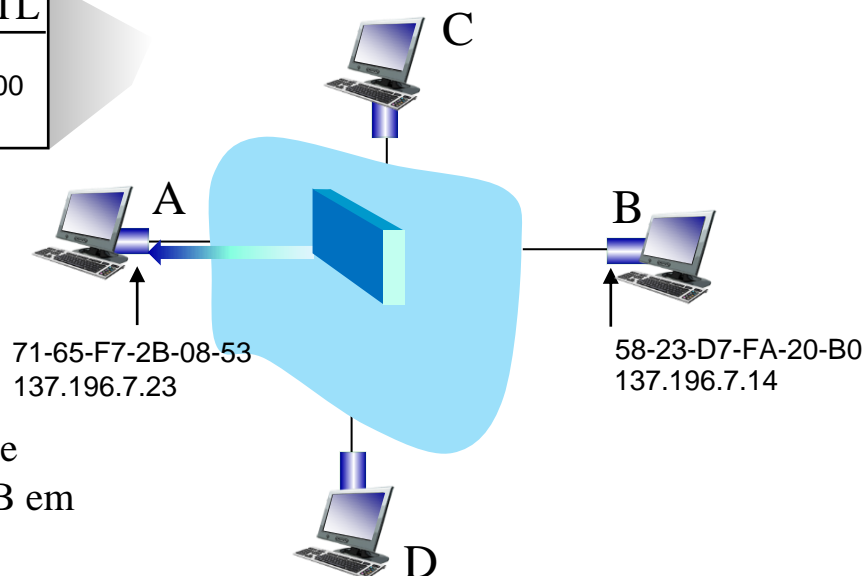
Protocolo ARP em ação

Exemplo: A quer enviar um datagrama para B

- O endereço MAC de B não está na tabela ARP, logo A usa o ARP para achar o endereço MAC de B

Tabela ARP em A

End IP	End MAC	TTL
137.196. 7.14	58-23-D7-FA-20-B0	500



- ③ A recebe a resposta de B e põe o endereço MAC de B em sua tabela ARP local

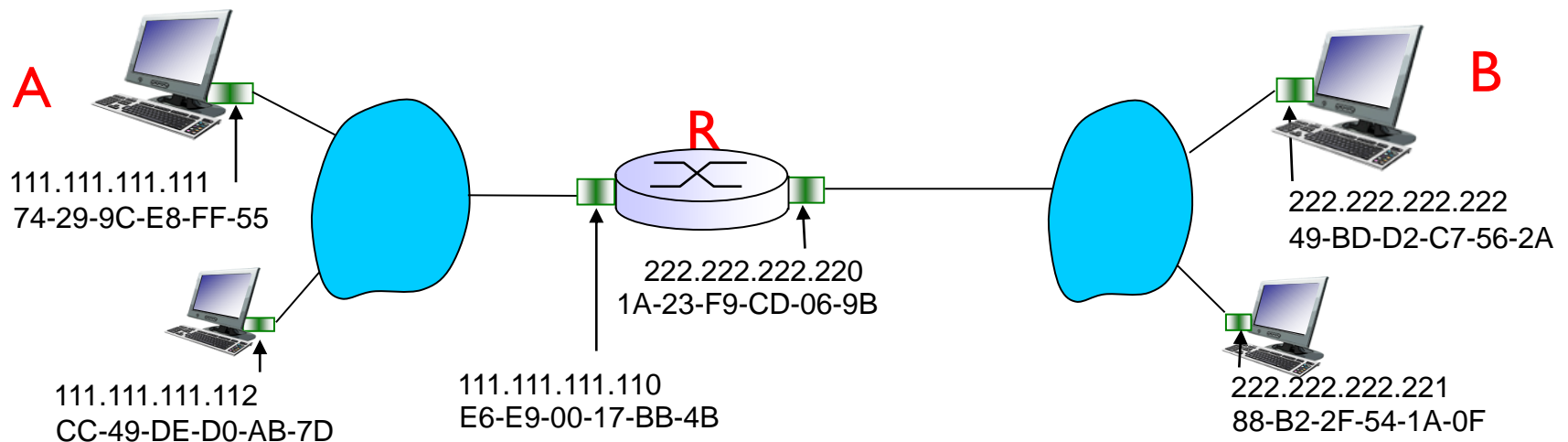
Protocolo ARP: mesma LAN

- A salva na cache o par IP-para-MAC na sua tabela ARP até a informação ficar velha (até que o ttl expire)
soft state: informação expira e não ser que seja renovada
- ARP é "plug-and-play": nós criam suas tabelas ARP sem a intervenção do administrador da rede

Endereçamento: roteando para outra LAN

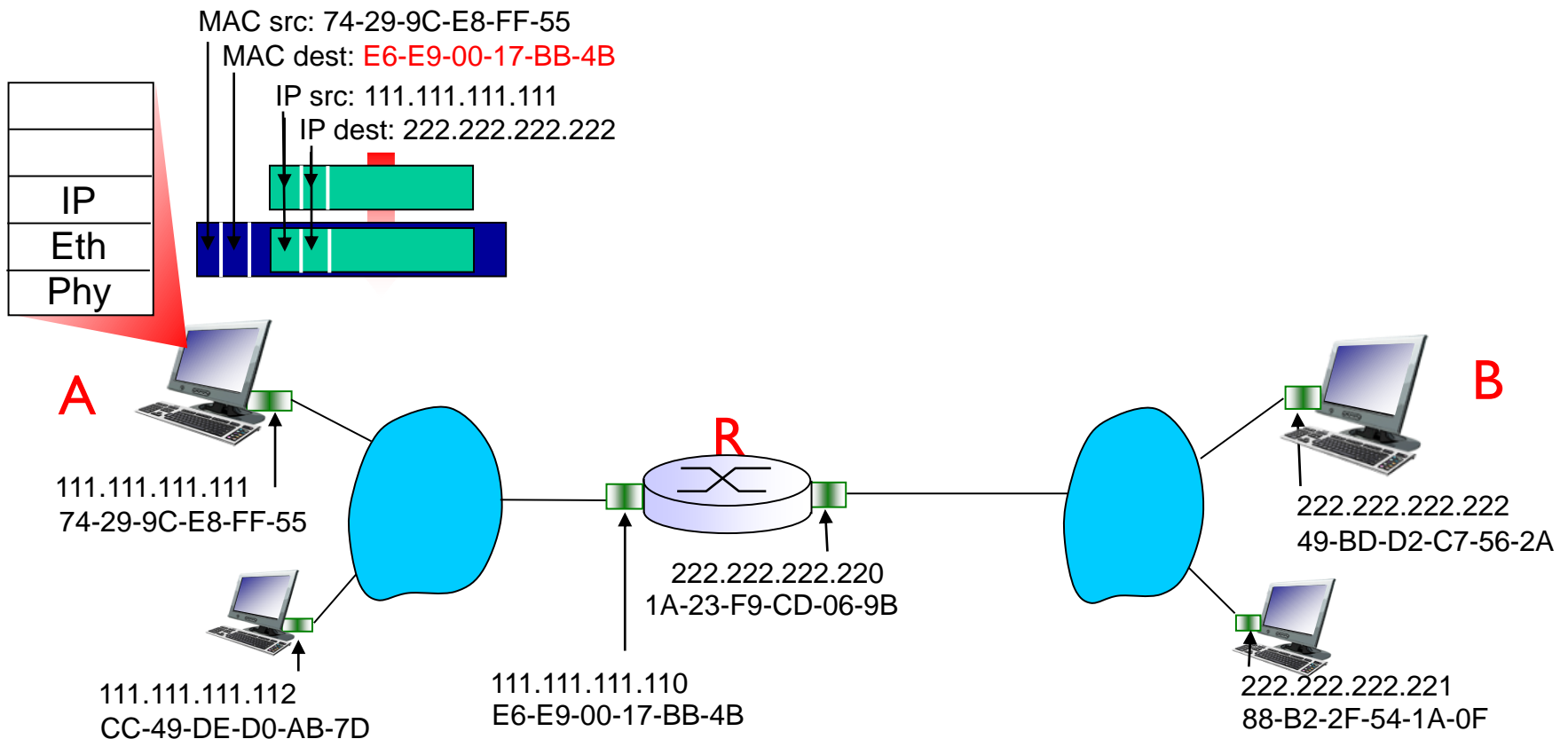
Objetivo: enviar datagrama de A para B via roteador R

- foco no endereçamento - IP (datagrama) e camada MAC (quadro)
- assuma que A conhece endereço IP de B
- assuma que A conhece end IP do rot. de primeiro salto, R (como?)
- assuma que A conhece end. MAC de R (como?)



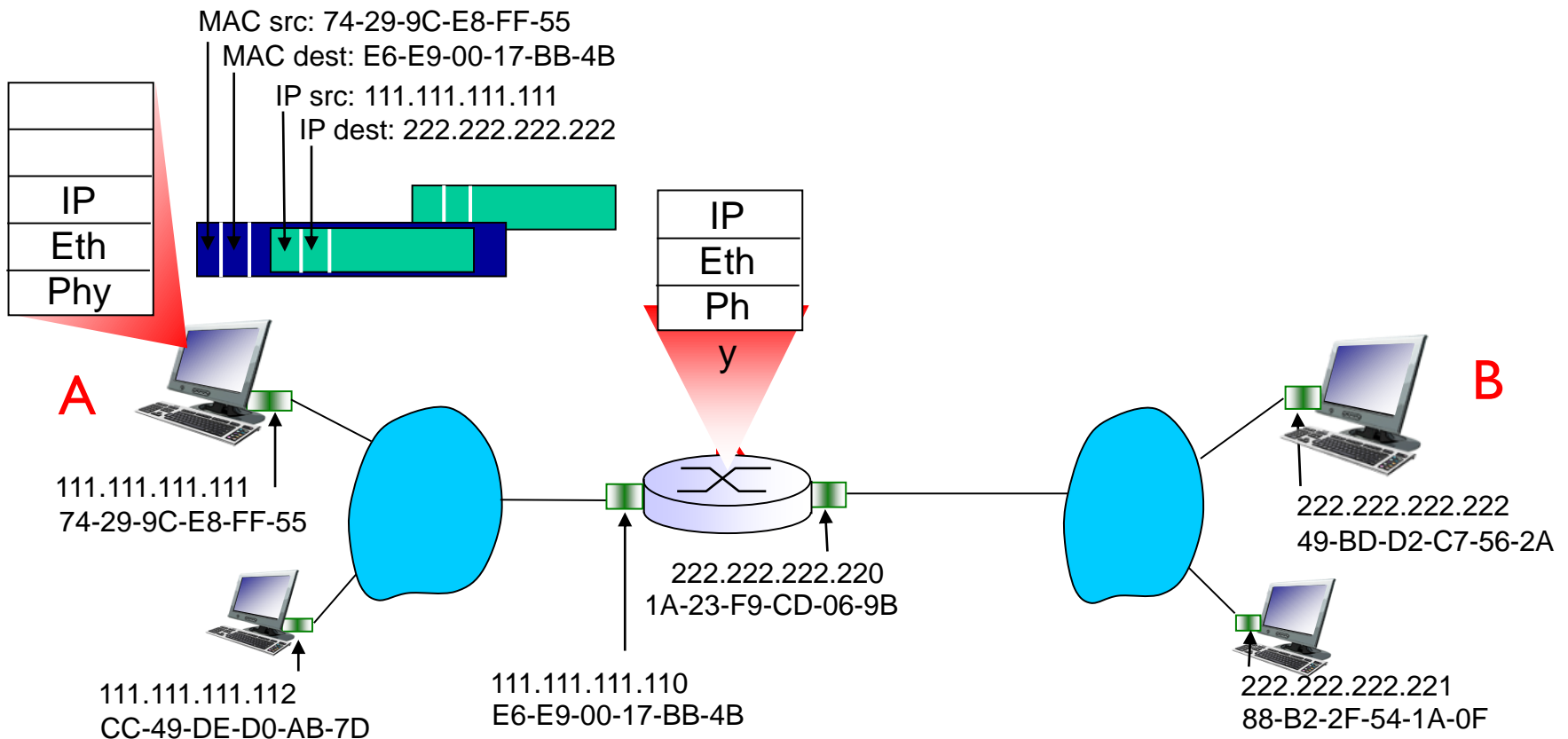
Roteando para outra LAN

- ❖ A cria datagrama IP com endereço IP de origem A e de destino B
- ❖ A cria quadro com endereço MAC de R como destino. Quadro contém o datagrama IP a ser enviado de A para B



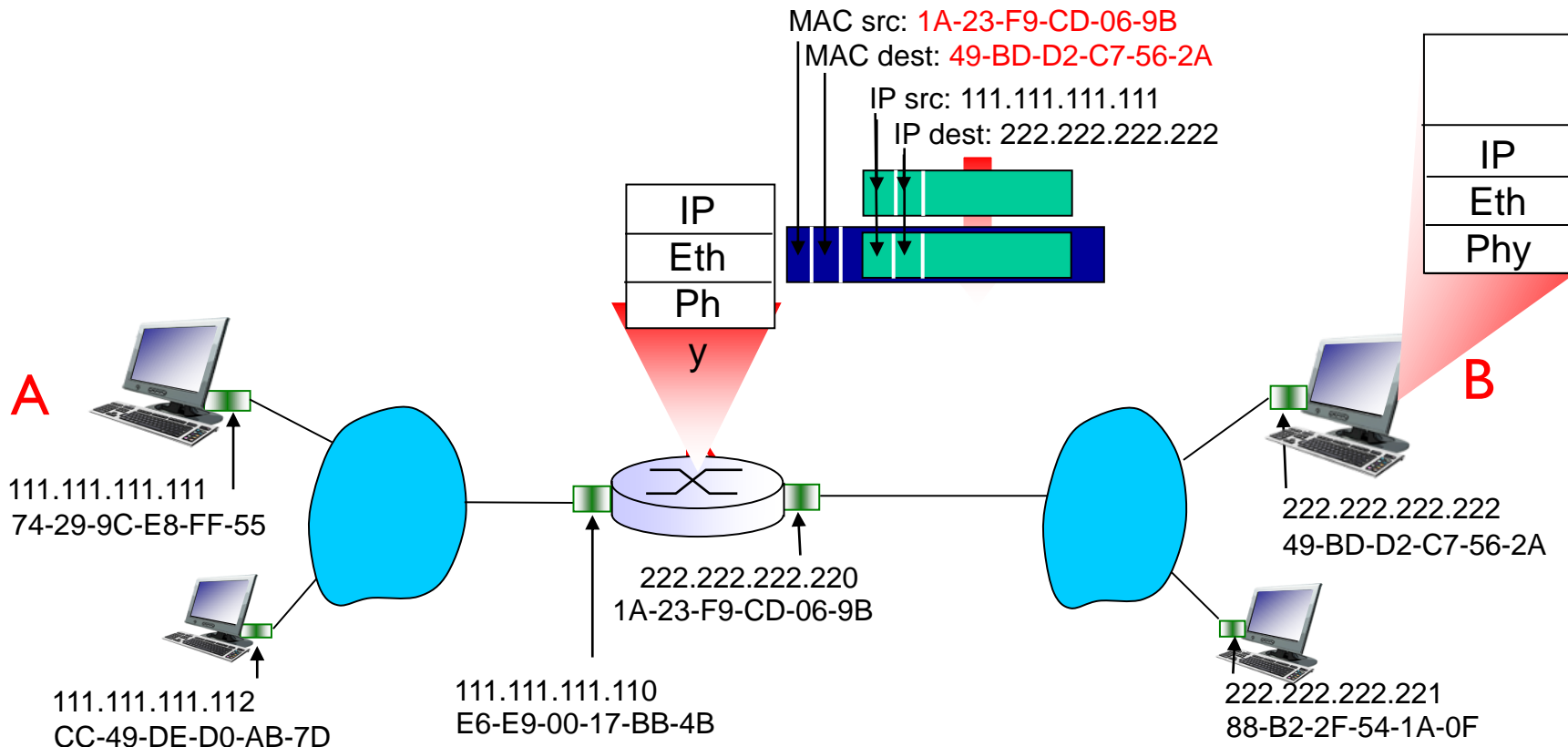
Roteando para outra LAN

- ❖ Quadro é enviado de A para R
- ❖ Quadro é recebido em R, datagrama é removido e passado para a camada de rede



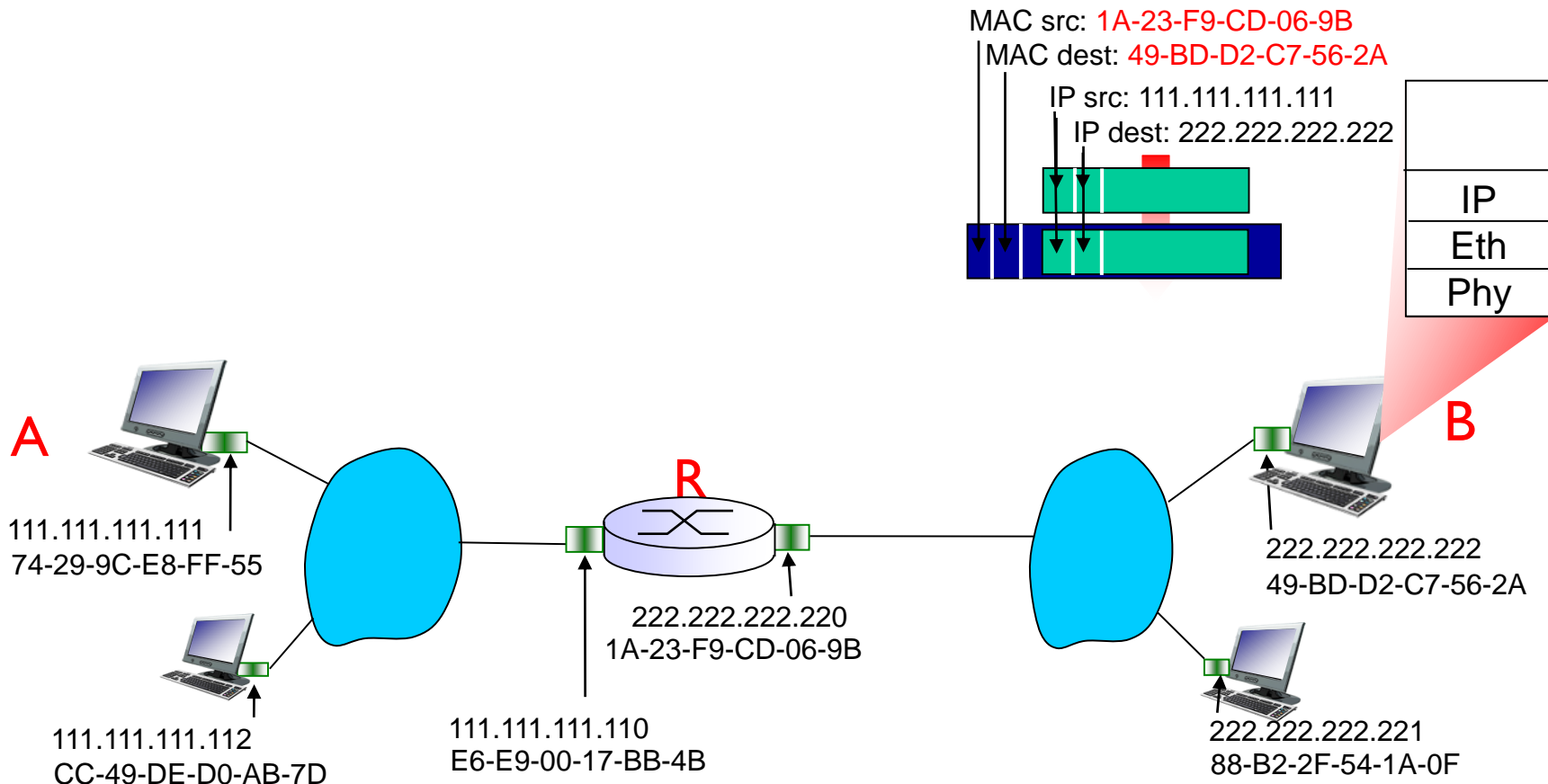
Roteando para outra LAN

- ❖ R repassa o datagrama com endereço IP de origem A e de destino B
- ❖ R cria um quadro com endereço MAC de B como destino, que contém o datagrama IP de A para B



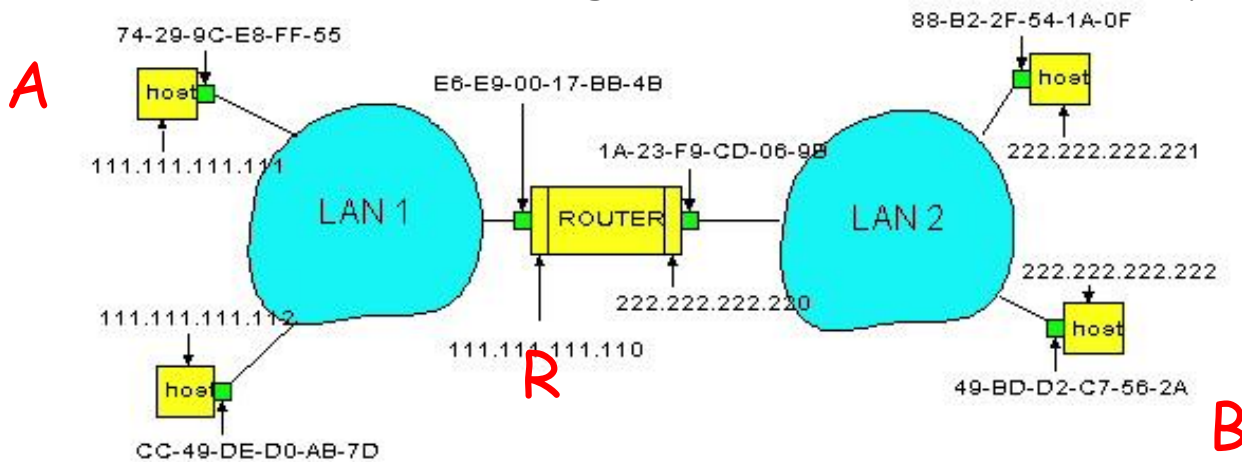
Roteando para outra LAN

- ❖ R repassa o datagrama IP (origem A, destino B)
- ❖ R cria quadro com endereço MAC de destino de B, contendo o datagrama proveniente de A



ARP - Lans diferentes: resumo

- A quer enviar um datagrama IP para B
- A usa o ARP para obter o endereço físico do próximo roteador (R) que consta da sua tabela de roteamento
- A cria um quadro Ethernet com o endereço MAC de R como destino, contendo o datagrama com o endereço IP de B
- A camada de enlace de A envia o quadro Ethernet para R
- A camada de enlace de R recebe o quadro Ethernet
- R remove o datagrama IP do quadro Ethernet e vê que seu destino é B (usa a tabela de repasse para determinar o enlace de saída)
- R usa o ARP para obter o endereço MAC de B
- R cria um quadro contendo o datagrama IP (A-to-B) e envia para B



Ethernet

Tecnologia dominante nas LANs com fio. MUITÍSSIMO difundida porque:

- A mais antiga das tecnologias de rede local (meados da década de 70)
- Simples e barata
- Acompanhou o aumento de velocidade: 10 Mbps até 40 Gbps
- Um único chip, múltiplas velocidades

Ethernet usa CSMA/CD

A: escuta canal, **se** ocioso

então {

transmite e monitora o canal;

se detectou outra transmissão (colisão)

então {

aborta e envia sinal de "jam"; //reforço de colisão

atualiza número de colisões;

retarda próxima transmissão de acordo com o
algoritmo de retardamento exponencial;

vai para A

}

senão {terminado este quadro; zera número de colisões}

}

senão {espera o final da transmissão atual e **vai para A**}

Ethernet usa CSMA/CD (2)

- **Sinal “Jam”** : para garantir que todos os outros transmissores tomem conhecimento da colisão;
- **Retardamento Exponencial:**
 - Meta é adaptar a taxa de transmissão à estimativa da carga atual (isto é, retardar quando carga pesada)
 - Depois da primeira colisão, escolhe K de $\{0,1\}$; retardo é $(K \times 512 \text{ BTT})$ [1 BTT = tempo para transmitir 1 bit]
 - Depois da segunda colisão escolhe K de $\{0,1,2,3\}$
 - Após a i -ésima colisão escolhe K de $\{0,1,2,\dots,2^i-1\}$
 - Depois de dez ou mais colisões, escolhe K de $\{0,1,2,3,4,\dots,1023\}$

Se não conseguir transmitir após 16 colisões, desiste da transmissão do quadro → recuperação fica a cargo das camadas superiores

Vantagens: Baixo atraso quando há poucas colisões e diminui a ocorrência de colisões com alta carga na rede

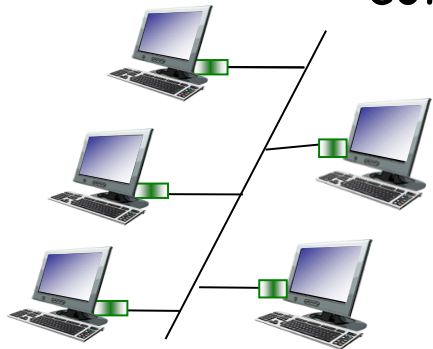
Ethernet: topologia física

barramento: popular em meados dos anos 90
Todos os nós no mesmo domínio de colisão (pacotes podem colidir uns com os outros)

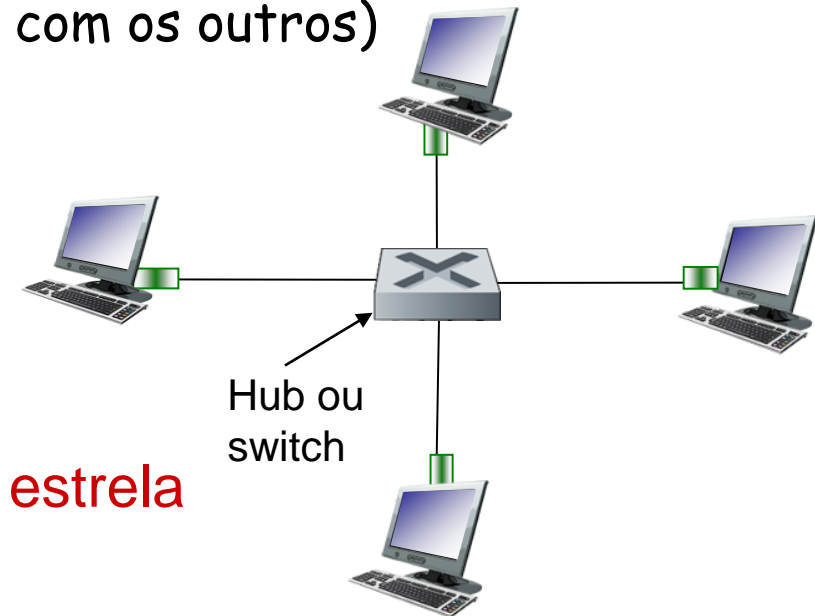
estrela: topologia que prevalece atualmente

- **hub (concentrador)** ativo no centro (até 2000)
- **switch** ativo no centro

Switch: Cada nó roda um protocolo Ethernet separado (pacotes não colidem uns com os outros)



barramento: cabo coaxial



estrela

Estrutura do quadro Ethernet

Adaptador do transmissor encapsula um datagrama IP (ou outro pacote do protocolo de rede) num **quadro Ethernet**



preâmbulo:

- 7 bytes com o padrão 10101010 seguidos por um byte com o padrão 10101011
- usado para sincronizar as taxas do relógios do transmissor e do receptor

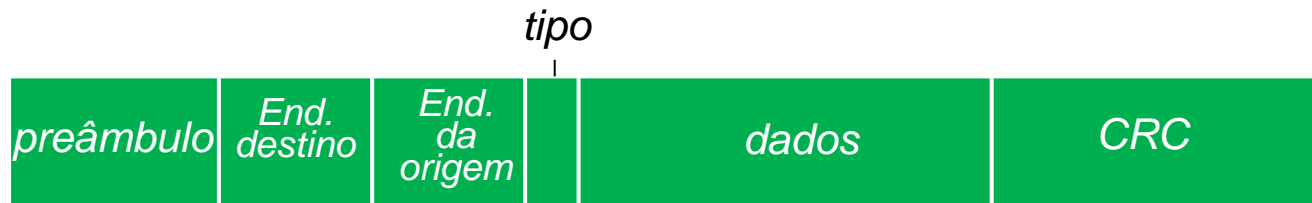
Estrutura do quadro Ethernet

endereços MAC de origem e destino (6 bytes)

- Se o adaptador recebe um quadro com endereço de destino igual ao seu ou com um endereço de broadcast (pacote ARP), ele passa os dados do quadro para o protocolo da camada de rede
- Caso contrário, descarta o Quadro

tipo: indica o protocolo da camada superior (geralmente IP, mas outros protocolos são possíveis: Novell IPX, AppleTalk)

CRC (4 bytes): código de redundância cíclica. Se o receptor detecta um erro, quadro é descartado



Ethernet: não confiável e sem conexão

Sem conexão: não há estabelecimento de conexão (saudação) entre os adaptadores transmissor e receptor.

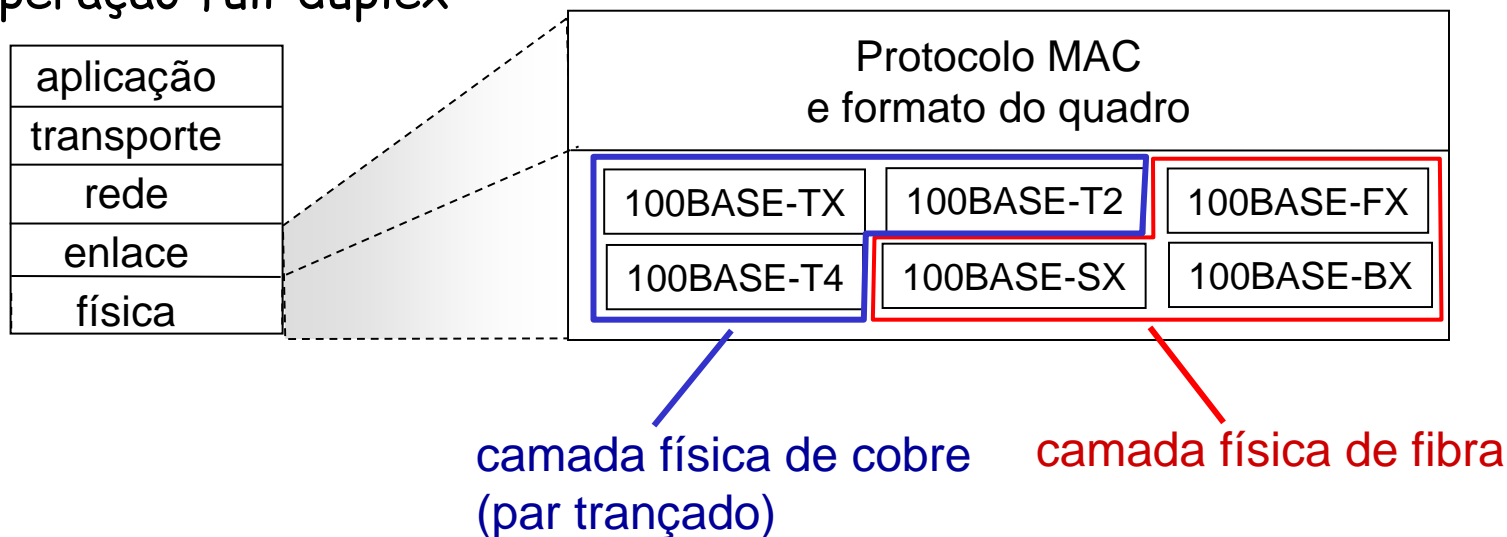
Não confiável: o adaptador receptor não envia ACKs ou NACKs para o adaptador transmissor

*Dados nos quadros descartados são recuperados apenas pelas camadas superiores se o transmissor usa, por exemplo, o TCP.
Caso contrário, são perdidos.*

802.3 Ethernet: camadas de enlace e física

Existem diferentes padrões/versões da Ethernet, dependendo da camada física subjacente (tecnologia usada no enlace)

- têm em comum o protocolo MAC e o formato do quadro
- diferentes velocidades: 2 Mbps, 10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps, 10 Gbps, 40 Gbps (mantém compatibilidade com tecnologias mais antigas)
- diferentes meios físicos: fibra ótica, cabo
- operação full-duplex



Detecção de colisões x tamanho dos quadros

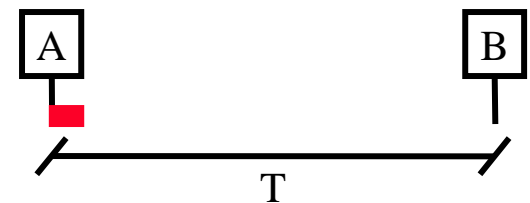
Exemplo: Ethernet de 10 Mbps

Tempo de transmissão do quadro $\geq 2T$ ou $\geq 51,2\mu s$

\Rightarrow Quadro ≥ 64 bytes (10Mbps e 2500m)

Quadro menor que 64 bytes:

- Host terminará de transmitir antes do tempo de ida-e-volta
- Host poderá não escutar uma colisão e concluirá, erroneamente, que o quadro foi transmitido com sucesso



Detecção de colisões x tamanho dos quadros

Detecção de colisões x tamanho dos quadros

À medida em que a velocidade da rede aumenta (100Mbps, 1Gbps, 10Gbps):

- Tamanho mínimo de quadro deve aumentar
- ou
- Distância máxima entre duas estações deve diminuir

Exemplo:

- 100Mbps, distância 2500m → menor quadro: 640 *bytes*
- 1Gbps, distância 2500m → menor quadro: 6400 *bytes*

Gbit Ethernet

- Usa formato do quadro Ethernet padrão
- Também usa topologia em estrela
- Admite enlaces ponto-a-ponto e canais de difusão compartilhados (switch ou hub)
- Em modo compartilhado, usa-se CSMA/CD; para ser eficiente, as distâncias entre os nós devem ser curtas (poucos metros)
- Full-Duplex em 1 Gbps para enlaces ponto-a-ponto
- Opera com fibra ou cabeamento UTP (par trançado) categoria 5