

# Camada de Enlace

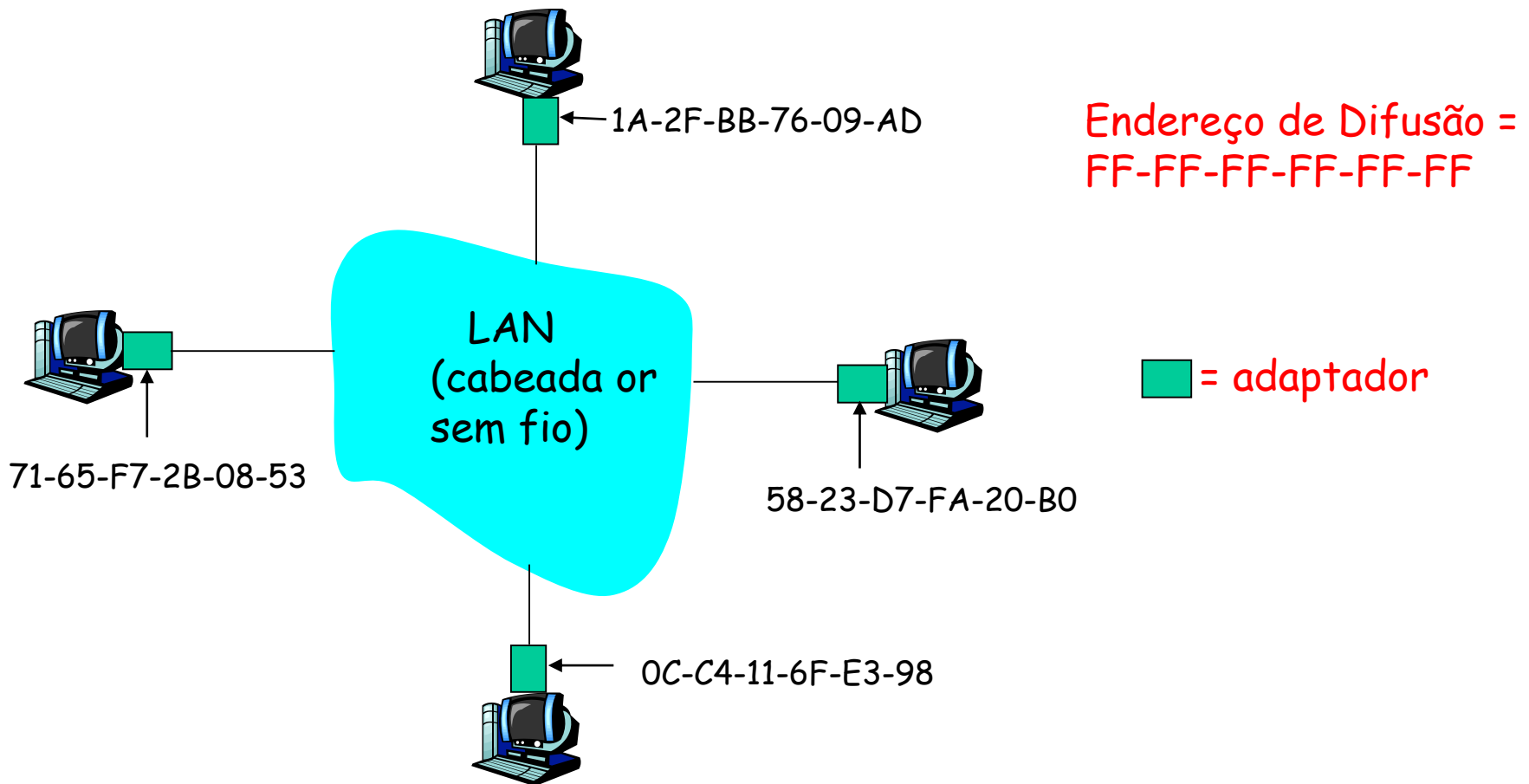
- ❑ 5.1 Introdução e serviços
- ❑ 5.2 Detecção e correção de erros
- ❑ 5.3 Protocolos de Acesso Múltiplo
- ❑ 5.4 Endereçamento da Camada de Enlace
- ❑ 5.5 Ethernet
- ❑ 5.7 PPP
- ❑ 5.6 *Hubs e switches*
- ❑ 5.8 Virtualização do enlace: ATM e MPLS

# Endereços MAC e ARP

- ❑ Endereço IP de 32 bits:
  - Endereços da camada de rede
  - usado para levar o datagrama à subrede IP destino
- ❑ Endereço MAC (ou LAN, ou físico, ou Ethernet):
  - usado para levar o datagrama de uma interface até outra interface conectada fisicamente (da mesma rede)
  - Endereço MAC de 48 bits (para a maioria das redes); queimado na ROM do adaptador

# Endereços LAN e ARP

Cada adaptador na LAN possui um endereço LAN único



## Endereço LAN (cont)

- ❑ Alocação de endereços MAC 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
- ❑ endereço MAC sem estrutura (*flat*)=> portabilidade
  - Pode mover um cartão LAN de uma LAN para outra
- ❑ endereço IP hierárquico NÃO é portátil (requer IP móvel)
  - Depende da subrede IP à qual o nó está conectado

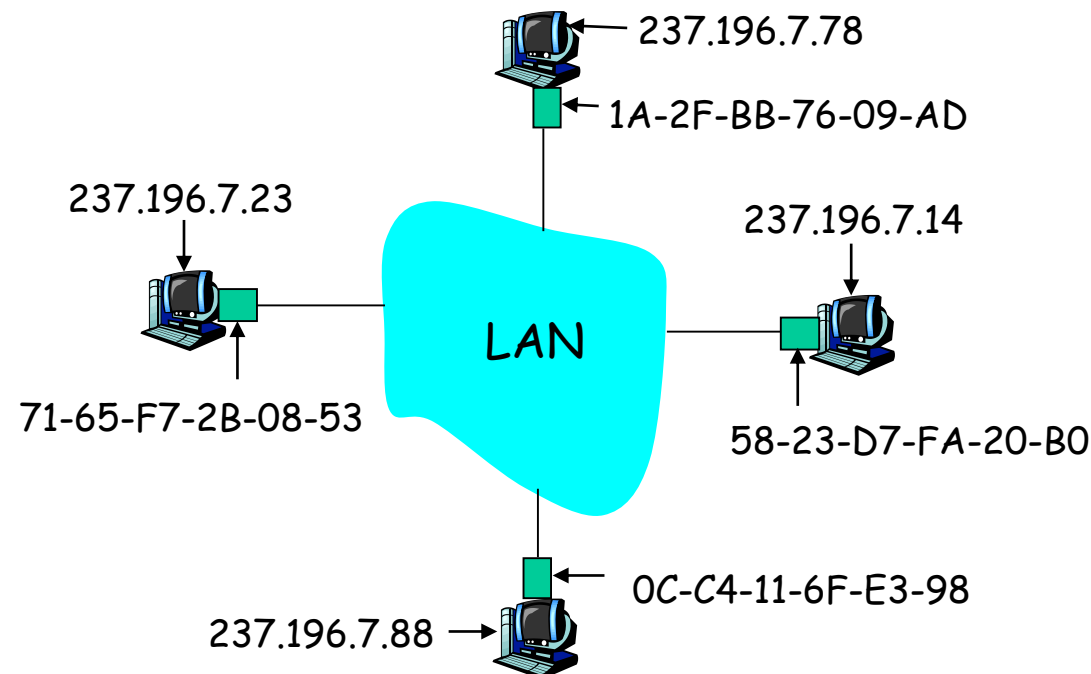
# ARP: Address Resolution Protocol (Protocolo de Resolução de Endereços)

Pergunta: como obter o endereço MAC de B a partir do endereço IP de B?

- Cada nó IP (Host, Roteador) de uma LAN possui tabela **ARP**
- Tabela ARP: mapeamento de endereços IP/MAC para alguns nós da LAN

< endereço IP; endereço MAC; TTL >

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

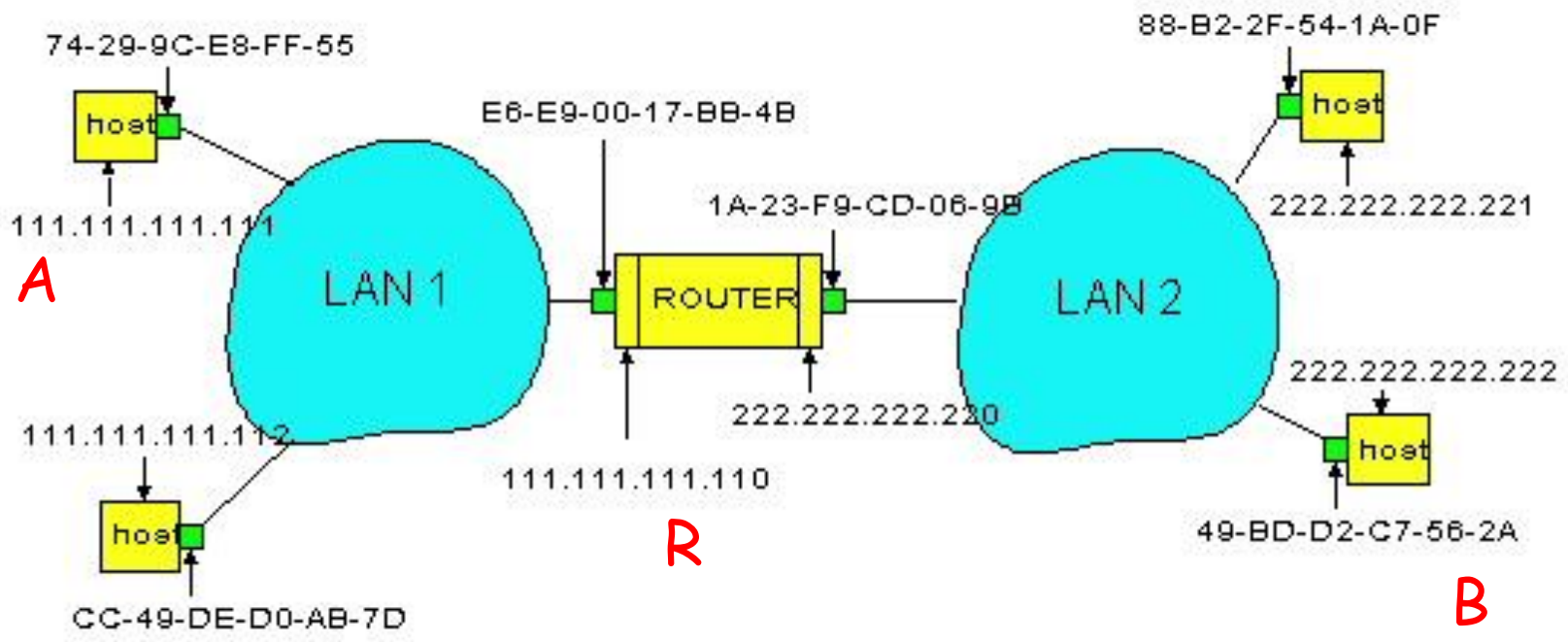


# Protocolo ARP: Mesma LAN (rede)

- ❑ A deseja enviar datagrama para B, e o endereço MAC de B não está na tabela ARP.
- ❑ A **difunde** o pacote de solicitação ARP, que contém o endereço IP de B
  - Endereço MAC destino = FF-FF-FF-FF-FF-FF
  - todas as máquinas na LAN recebem a consulta do ARP
- ❑ B recebe o pacote ARP, responde a A com o seu (de B) endereço MAC
  - Quadro enviado para o endereço MAC (unicast) de A
- ❑ Uma cache (salva) o par de endereços IP-para-MAC na sua tabela ARP até que a informação fique antiquada (expire)
  - 'soft state': informação que expira (vai embora) a menos que seja renovada
- ❑ ARP é "*plug-and-play*":
  - os nós criam suas tabelas ARP sem a intervenção do administrador da rede

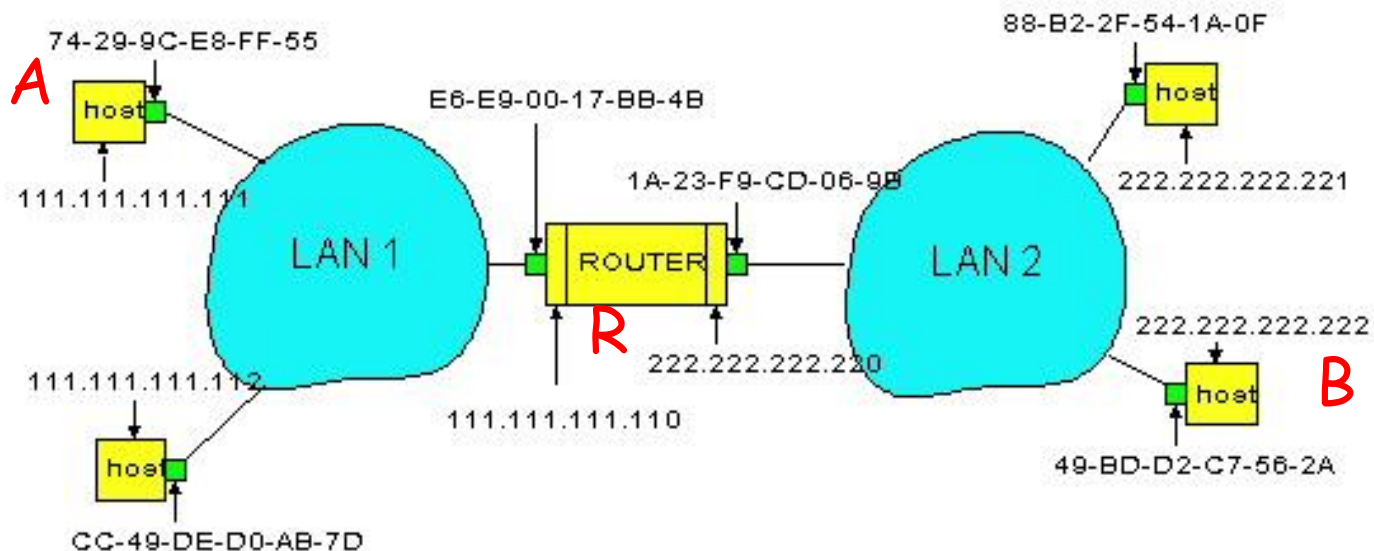
# Roteando um pacote para outra LAN

passo a passo: envio de datagrama de A para B via R  
assuma que A conhece o endereço IP de B



- Duas tabelas ARP no roteador R, uma para cada rede IP (LAN)

- ❑ A cria datagrama com origem A, destino B
- ❑ A usa ARP para obter o endereço MAC de R para 111.111.111.110
- ❑ A cria quadro da camada de enlace com o endereço MAC de R como destino, quadro contém datagrama IP de A para B
- ❑ O adaptador de A envia o quadro
- ❑ O adaptador de R recebe o quadro
- ❑ R remove o datagrama IP do quadro Ethernet, verifica que é destinado para B
- ❑ R usa ARP para obter o endereço MAC de B
- ❑ R cria quadro contendo datagrama IP de A para B e o envia para B



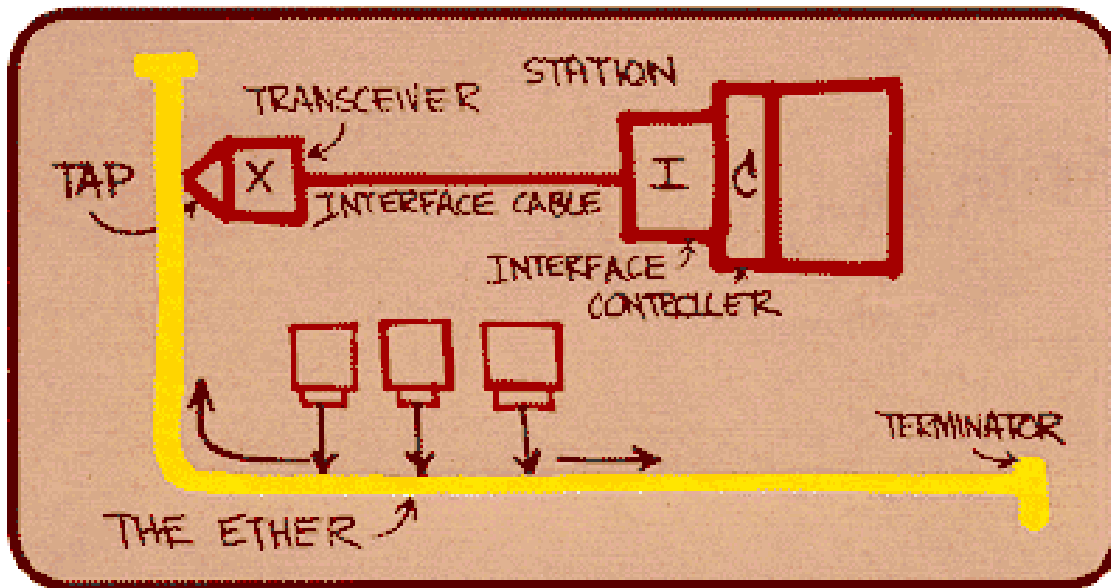


# Camada de Enlace

- ❑ 5.1 Introdução e serviços
- ❑ 5.2 Detecção e correção de erros
- ❑ 5.3 Protocolos de Acesso Múltiplo
- ❑ 5.4 Endereçamento da Camada de Enlace
- ❑ 5.5 Ethernet
- ❑ 5.7 PPP
- ❑ 5.6 *Hubs e switches*
- ❑ 5.8 Virtualização do enlace: ATM e MPLS

# Ethernet

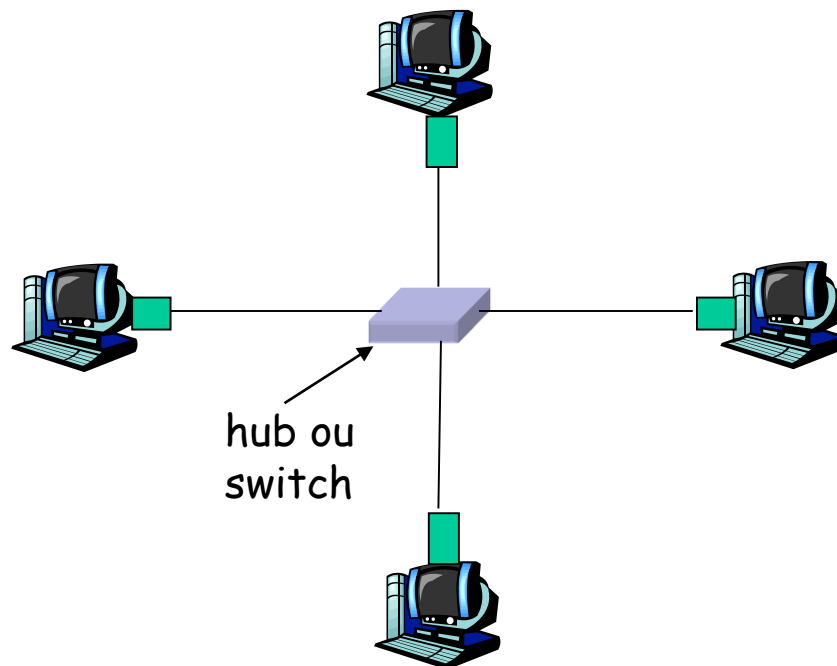
- ❑ MUITÍSSIMO difundida porque:
  - Muito barata! R\$30 para placas 10/100Mbps!
  - A mais antiga das tecnologias de rede local
  - Mais simples e menos cara que redes usando fibra ou ATM
  - Acompanhou o aumento de velocidade: 10 Mbps - 10 Gbps



Rascunho de Metcalfe sobre o Ethernet

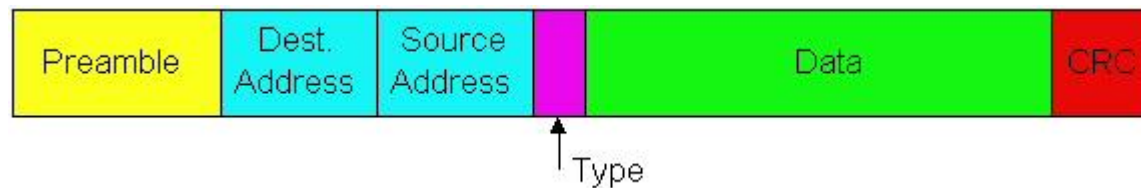
# Topologia em Estrela

- ❑ Topologia de barramento popular até meados dos anos 90
- ❑ Agora prevalência de topologia estrela
- ❑ Escolhas de conexão: hub ou switch (mais sobre isto depois)



# Estrutura de Quadro Ethernet

Adaptador remetente encapsula datagrama IP (ou pacote de outro protocolo da camada de rede) num **Quadro Ethernet**

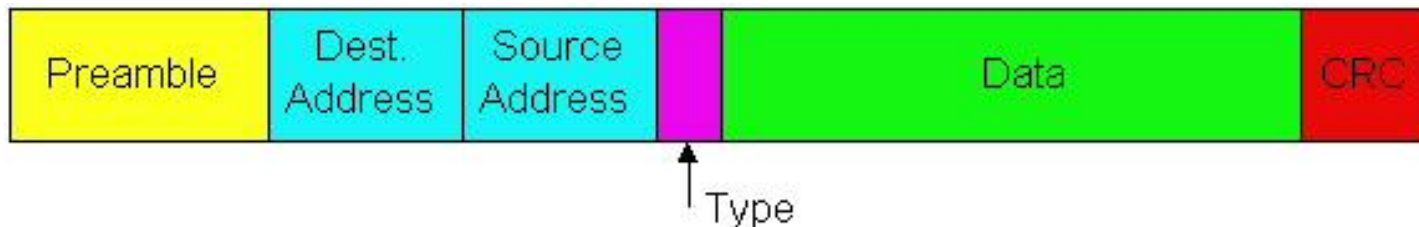


## **Preâmbulo:**

- ❑ 7 bytes com o padrão 10101010 seguidos por um byte com o padrão 10101011
- ❑ usado para sincronizar receptor ao relógio do remetente (relógios nunca são exatos, é muito provável que exista algum desvio entre eles)

# Estrutura de Quadro Ethernet (cont)

- ❑ **Endereços:** 6 bytes para cada endereço MAC
  - se o adaptador recebe um quadro com endereço destino igual ao seu, ou com endereço de difusão (ex., pacote ARP), ele passa os dados do quadro para o protocolo da camada de rede
  - caso contrário, o adaptador descarta o quadro
- ❑ **Tipo:** indica o protocolo da camada superior, usualmente IP, mas existe suporte para outros (tais como IPX da Novell e AppleTalk)
- ❑ **CRC:** verificado pelo receptor: se for detectado um erro, o quadro será descartado



# Serviço não confiável e sem conexões

- ❑ **Sem conexões:** 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
  - fluxo de datagramas passados para a camada de rede pode conter falhas na seqüência
  - falhas serão preenchidas se aplicação estiver usando o TCP
  - caso contrário, a aplicação verá as falhas

# Ethernet usa o CSMA/CD

- ❑ Sem slots
- ❑ o adaptador não transmite se perceber que algum outro adaptador está transmitindo, isto é, escuta antes de transmitir (*carrier sense*)
- ❑ adaptador transmissor aborta quando percebe que outro adaptador está transmitindo, isto é, *detecção de colisão*
- ❑ Antes de tentar uma retransmissão, o adaptador espera um tempo aleatório, isto é, *acesso aleatório*

# Algoritmo CSMA/CD do Ethernet

1. Adaptador recebe datagrama da camada de rede e cria um quadro
2. Se o adaptador percebe que o canal está ocioso, começa a transmitir o quadro. Se percebe que o canal está ocupado, espera que o canal fique livre e transmite
3. Se o adaptador transmitir todo o quadro sem detectar outra transmissão, o adaptador "terminou" com o quadro!
4. Se o adaptador detectar outra transmissão enquanto estiver transmitindo, aborta e envia sinal de "jam"
5. Após o aborto, o adaptador entra na **retirada exponencial binária**: após a  $m$ -ésima colisão, o adaptador escolhe um  $K$  aleatoriamente entre  $\{0, 1, 2, \dots, 2^m - 1\}$ . O adaptador espera  $K \cdot 512$  tempos de bit e retorna ao Passo 2



# CSMA/CD da Ethernet (mais)

**Sinal de "Jam":** garantir que todos os demais transmissores estejam cientes da colisão: 48 bits

**Tempo de Bit:** 0,1 microseg para Ethernet de 10 Mbps; para  $K=1023$ , tempo de espera de cerca de 50 mseg

Veja/interaja com o applet Java sítio do livro: altamente recomendável !

## **Retirada Exponencial Binária:**

- *Objetivo:* adaptar as tentativas de retransmissão à carga atual estimada
  - Alta carga: espera aleatória será mais longa
- na primeira colisão: escolhe  $K$  entre  $\{0,1\}$ ; atraso é de  $K \cdot 512$  tempos de transmissão de um
- após a segunda colisão: escolhe  $K$  entre  $\{0,1,2,3\}$ ...
- após 10 colisões, escolhe  $K$  entre  $\{0,1,2,3,4,\dots,1023\}$

# Eficiência do CSMA/CD

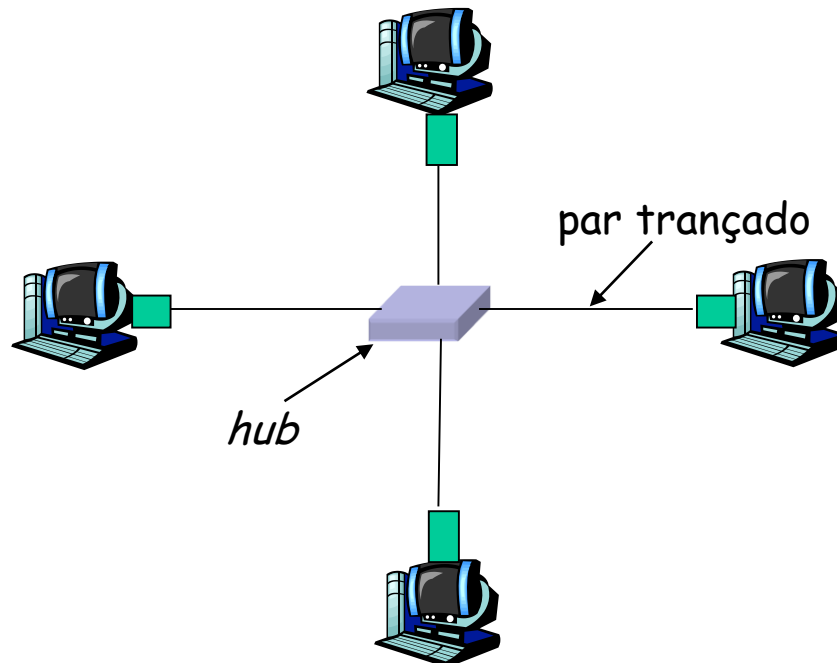
- ❑  $T_{prop}$  = prop máxima entre 2 nós na LAN
- ❑  $t_{trans}$  = tempo para transmitir quadro de tamanho máximo

$$\text{eficiência} = \frac{1}{1 + 5t_{prop} / t_{trans}}$$

- ❑ Eficiência vai para 1 à medida que  $t_{prop}$  vai para 0
- ❑ Vai para 1 à medida que  $t_{trans}$  vai para infinito
- ❑ Muito melhor do que ALOHA, e ainda é descentralizado, simples, e barato

# 10BaseT e 100BaseT

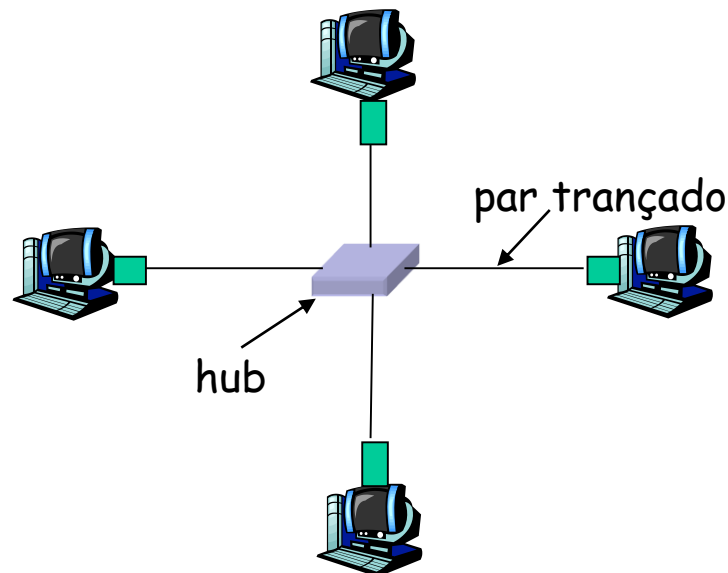
- ❑ Taxas de transmissão de 10 e 100 Mbps; esta última é chamado de "fast ethernet"
- ❑ T significa Par Trançado (*Twisted pair*)
- ❑ Nós são conectados a um *hub*: "topologia estrela"; distância máxima entre os nós e o *hub* de 100m.



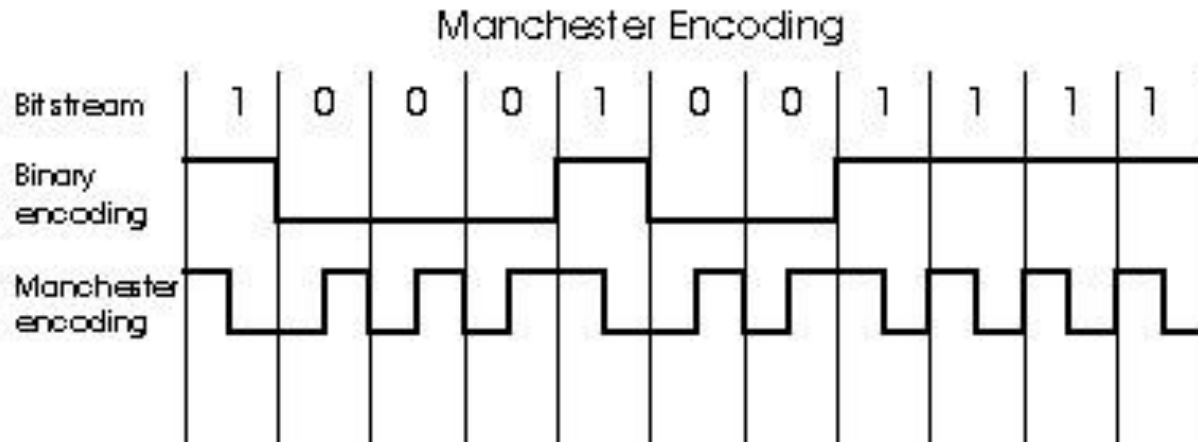
# Hubs

*Hubs* são essencialmente repetidores de camada física:

- bits vindos de um link são repetidos em todos os demais links
- na mesma taxa
- sem bufferização de quadros
- não há CSMA/CD no *hub*: os adaptadores detectam as colisões
- provê funcionalidade de gerenciamento da rede



# Codificação de Manchester



- ❑ Usado no 10BaseT
- ❑ Cada bit possui uma transição
- ❑ Permite que os relógios nos nós transmissor e receptor entrem em sincronismo
  - não há necessidade de um clock global, centralizado
- ❑ Mas, isto é assunto para a camada física!

# Gbit Ethernet

- ❑ Usa formato padrão do quadro Ethernet
- ❑ Admite enlaces ponto-a-ponto e canais de difusão compartilhados
- ❑ Em modo compartilhado, usa CSMA/CD; para ser eficiente, as distâncias entre os nós devem ser curtas (poucos metros)
- ❑ Os Hubs usados são chamados de Distribuidores com Buffers ("Buffered Distributors")
- ❑ Full-Duplex a 1 Gbps para enlaces ponto-a-ponto
- ❑ Agora temos também 10 Gbps!