



EACH

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

---

# Redes de Computadores

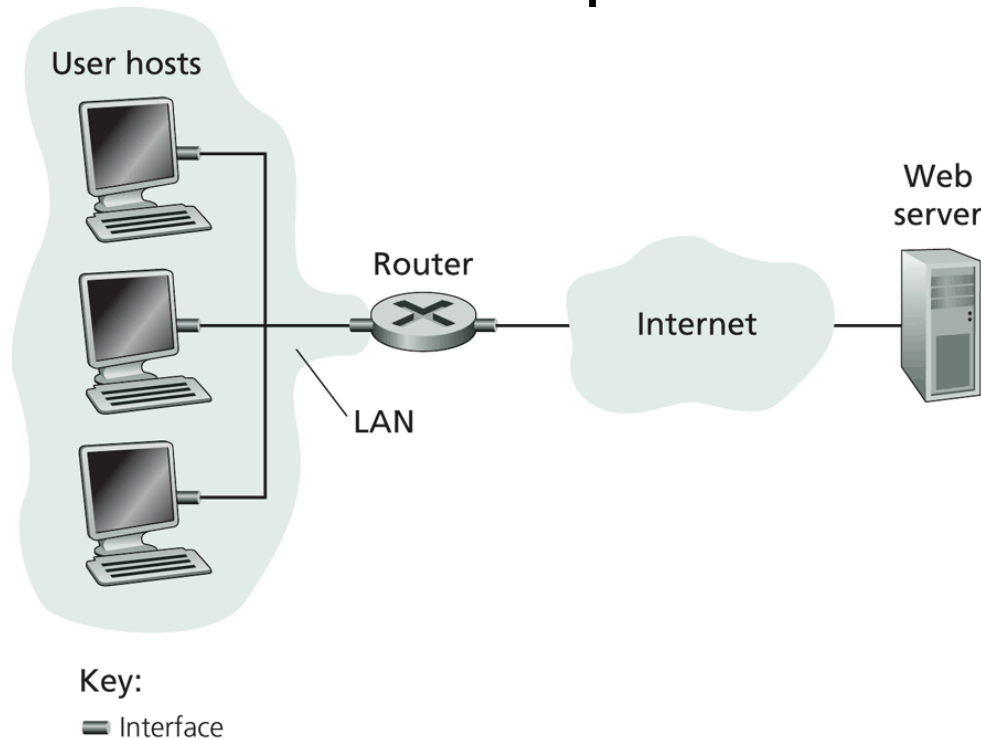
## Capítulo 5.4 a 5.7 – Endereçamento, Ethernet, Interconexões e PPP

Profa. Cíntia B. Margi  
Novembro/2009



# Redes Locais

- LAN: Local Area Network
  - concentrada em uma área geográfica, como um prédio ou um campus.



**Figure 5.15** ♦ User hosts access an Internet Web server through a LAN. The broadcast channel between a user host and the router consists of one link.



# Tecnologias de Redes Locais

- ❑ Década de 80 e início de 90:
  - Ethernet (IEEE802.3): redes de acesso aleatório;
  - Token Ring (IEEE802.5): passagem de permissão;
  - FDDI: passagem de permissão.
- ❑ Atualmente:
  - Ethernet.



# Camada de Enlace

- Funcionalidade:
  - transferência de dados entre elementos vizinhos da rede.
- Como identificar para qual nó (elemento vizinho) o quadro destina-se?



# Endereços de Camada de Enlace

- Endereços IP de 32-bit:
  - endereços da *camada de rede*;
  - usados para levar o datagrama até a rede de destino.
- 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).
  - notação hexadecimal: AB-DE-34-55-89-F0.

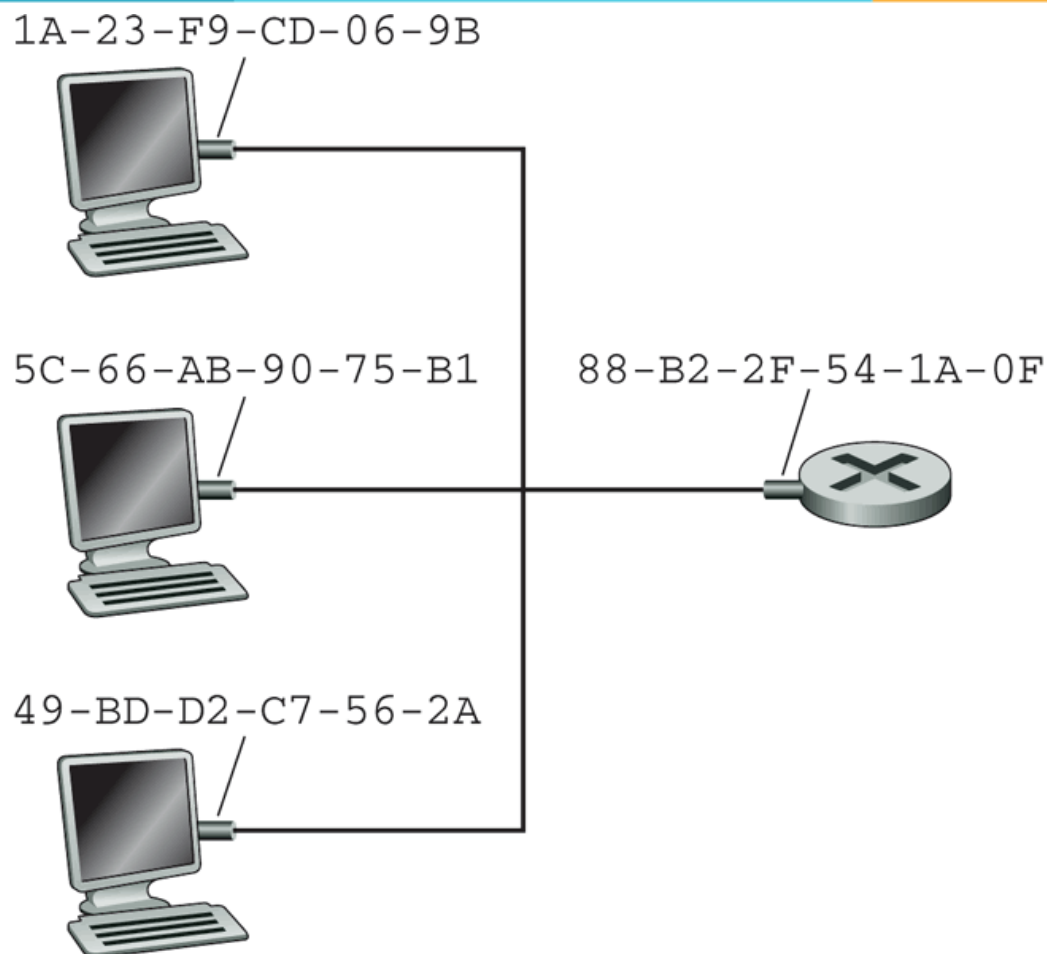


# Endereços de Camada de Enlace

- ∇ 48 bits gravados na memória fixa (ROM) do adaptador de rede.
  - 24 bits fixos (alocados pelo IEEE);
  - 24 bits definidos pelo fabricante.
- ∇ é “flat” => portabilidade.
  - mobilidade entre LANs, sem reconfiguração.
- ∇ Analogia:
  - endereço MAC: CPF de uma pessoa;
  - endereço IP: endereço postal.



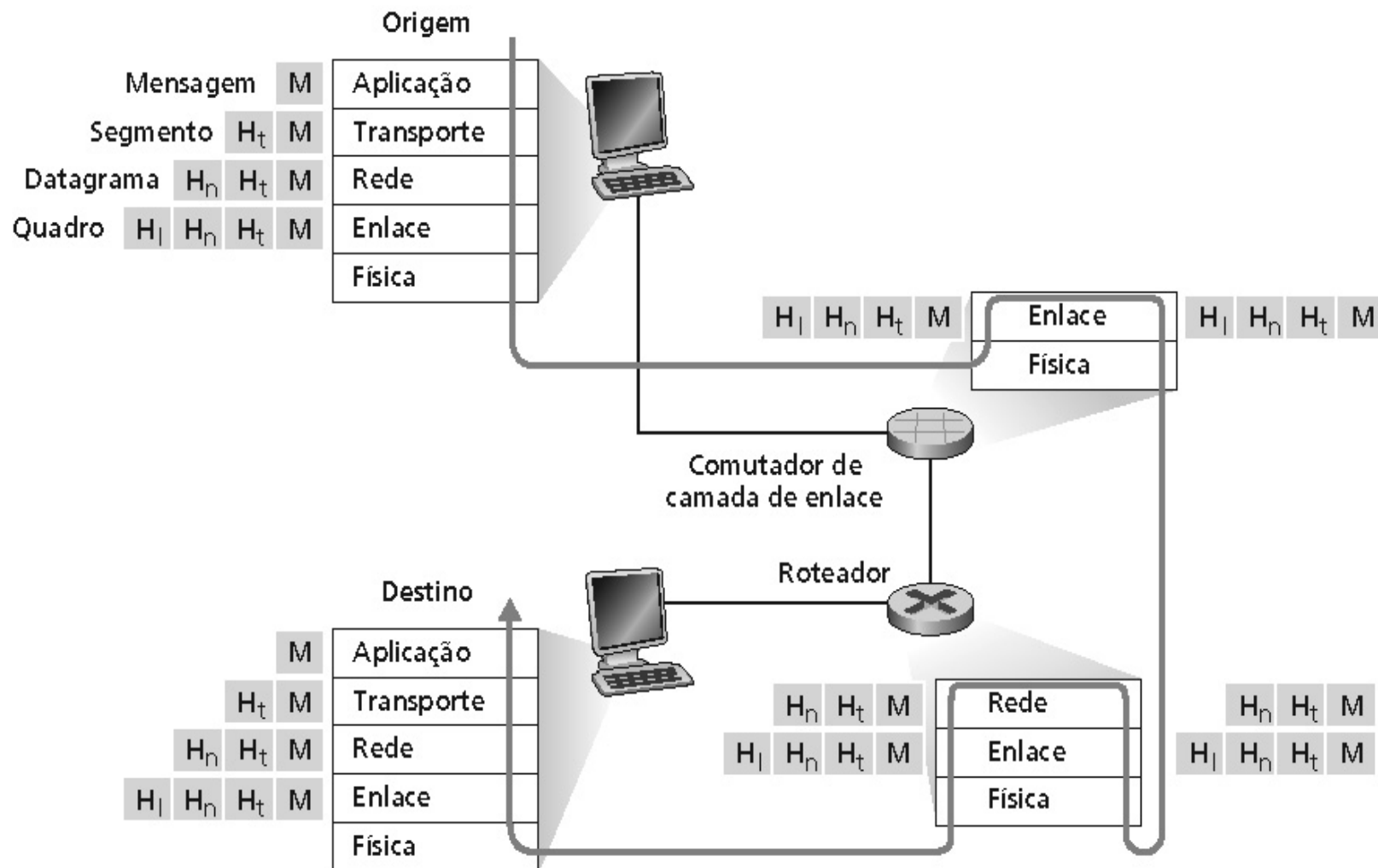
# Endereços MAC em uma LAN



**Figure 5.16** ♦ Each adapter connected to a LAN has a unique MAC address.



## Como determinar o endereço MAC dado o endereço IP?







EACH

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

# ARP (Address Resolution Protocol)

ou Protocolo de Resolução de Endereços.



## ARP

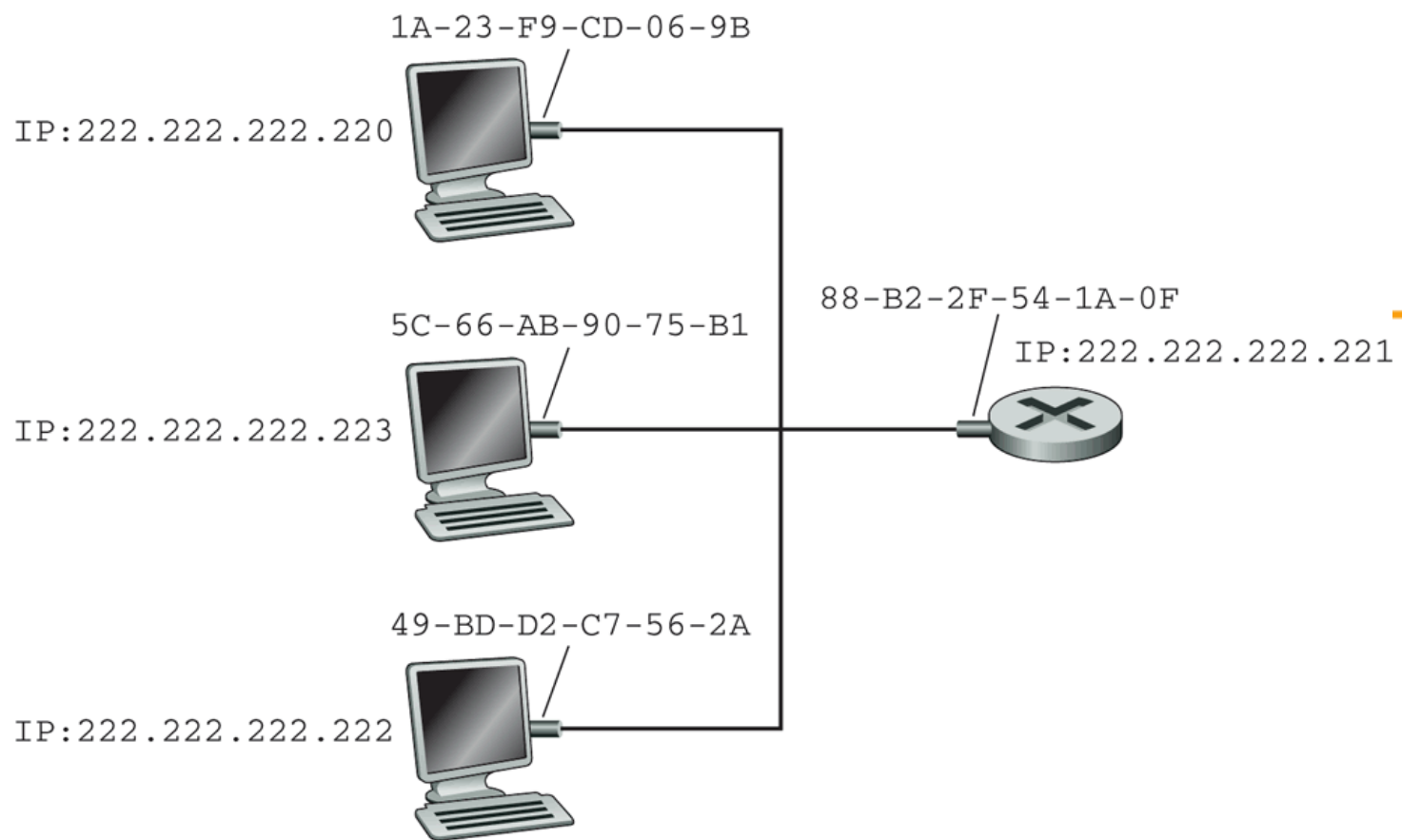
- ∇ RFC 826 define ARP Ethernet.
- ∇ Cada nó IP (hospedeiro, roteador) numa **LAN** tem um módulo e uma tabela ARP.
- ∇ Tabela ARP: mapeamento de endereços IP/MAC para alguns nós da LAN.
  - < endereço IP; endereço MAC; TTL >
  - TTL (Time To Live): tempo depois do qual o mapeamento de endereços será esquecido (tipicamente 20 min).



E

E  
di

—



**Figure 5.17** ♦ Each node on a LAN has an IP address, and each node's adapter has a MAC address.

IP Address	MAC Address	TTL
222.222.222.221	88-B2-2F-54-1A-0F	13:45:00
222.222.222.223	5C-66-AB-90-75-B1	13:52:00

**Figure 5.18** ♦ A possible ARP table in node 222.222.222.220

# Funcionamento do ARP

- ∇ Nó A quer enviar um datagrama para nó B, porém não possui endereço MAC do nó B.
- ∇ Nó A faz broadcast de pacote de consulta ARP, contendo o endereço IP do nó B:
  - endereço MAC destino = FF-FF-FF-FF-FF-FF (broadcast);
  - todas as máquinas na LAN recebem a consulta ARP.

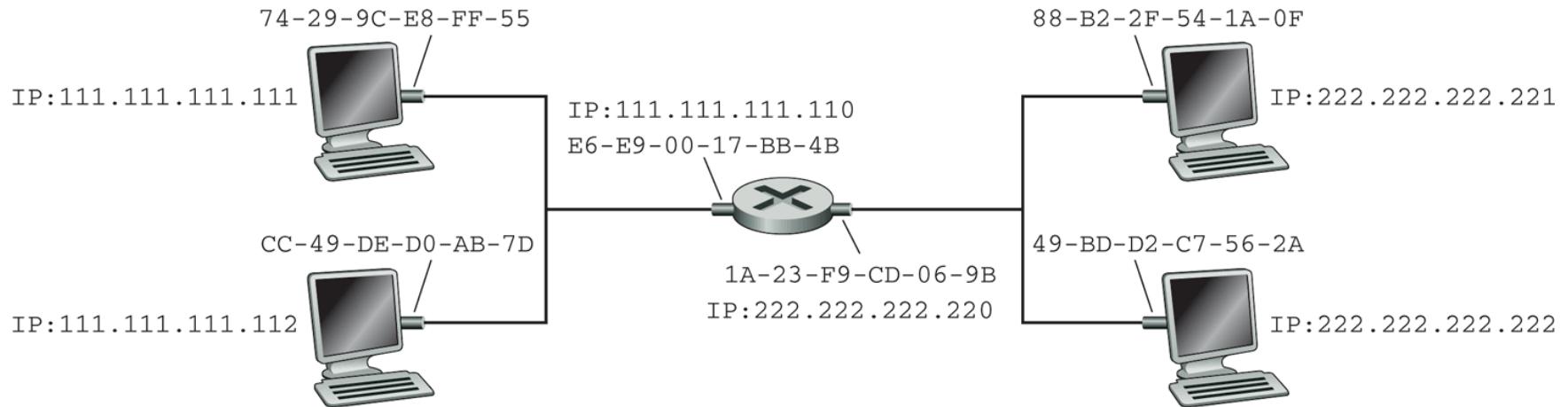


# Funcionamento do ARP (cont.)

- ∇ Nó B recebe o pacote ARP, e responde para nó.
  - Quadro enviado para o endereço MAC do nó A (unicast).
- ∇ Nó A atualiza a tabela ARP com o par de endereços IP e MAC.
  - Soft state: informação que expira, é descartada sem atualização.
- ∇ ARP é “plug-and-play”:
  - nós criam suas tabelas ARP sem intervenção do administrador da rede.



# Roteamento entre LANs



**Figure 5.19** ♦ Two subnets interconnected by a router

- ∇ Duas tabelas ARP no roteador R, um para cada rede IP (LAN).
- ∇ Interface do roteador na rede local responde a requisição ARP para endereço fora da LAN.



# EACH

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

# DHCP



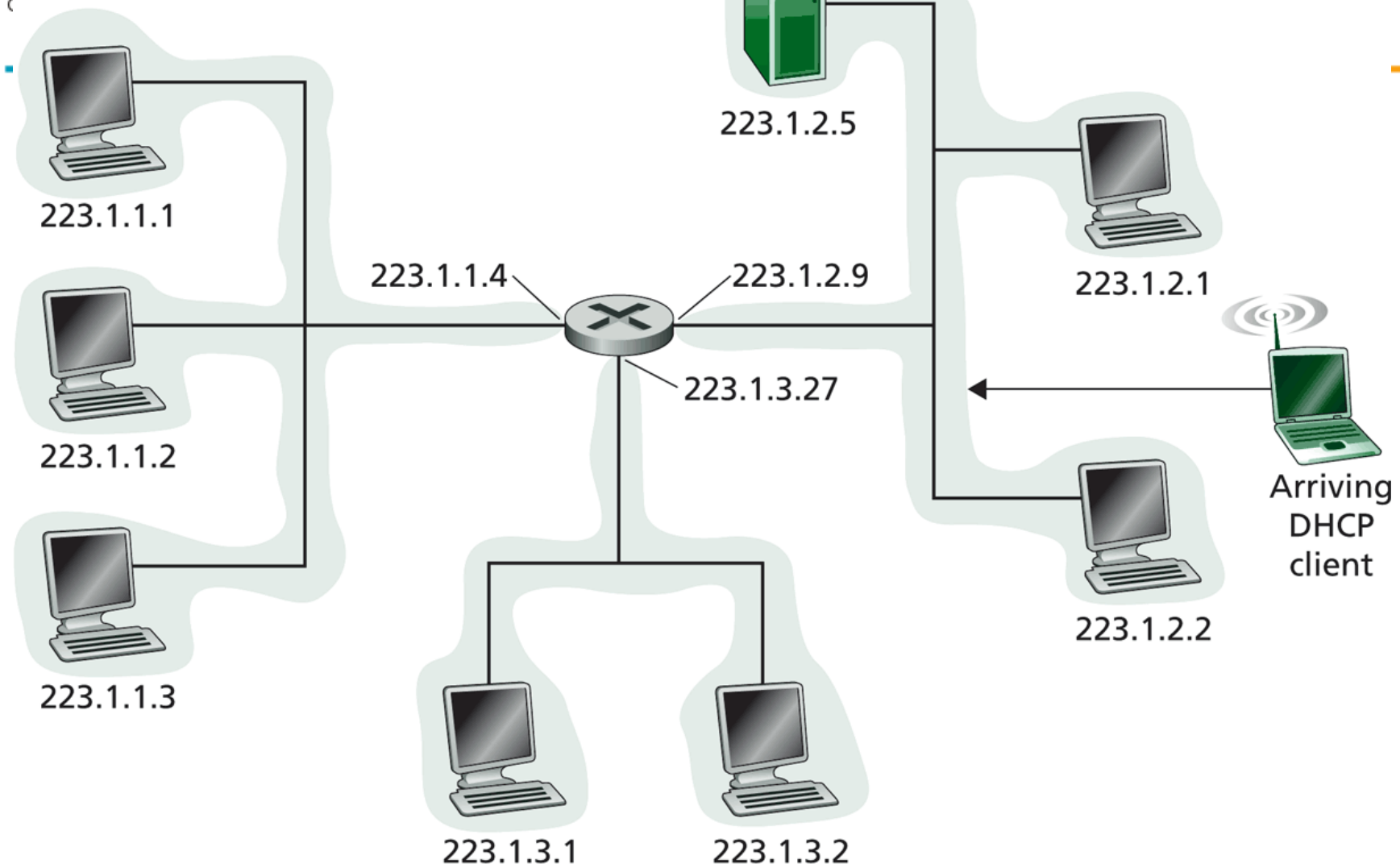
# DHCP

- Dynamic Host Configuration Protocol ou Protocolo de Configuração Dinâmica de Hospedeiro.
- RFC 2131 (março de 1997).
- Utiliza UDP.
  - servidor escuta na porta 67 e cliente na 68.
- Aplicação cliente-servidor.
- Cliente obtém: endereço IP, default gateway, máscara de subrede, endereço IP de servidores DNS.





E  
C

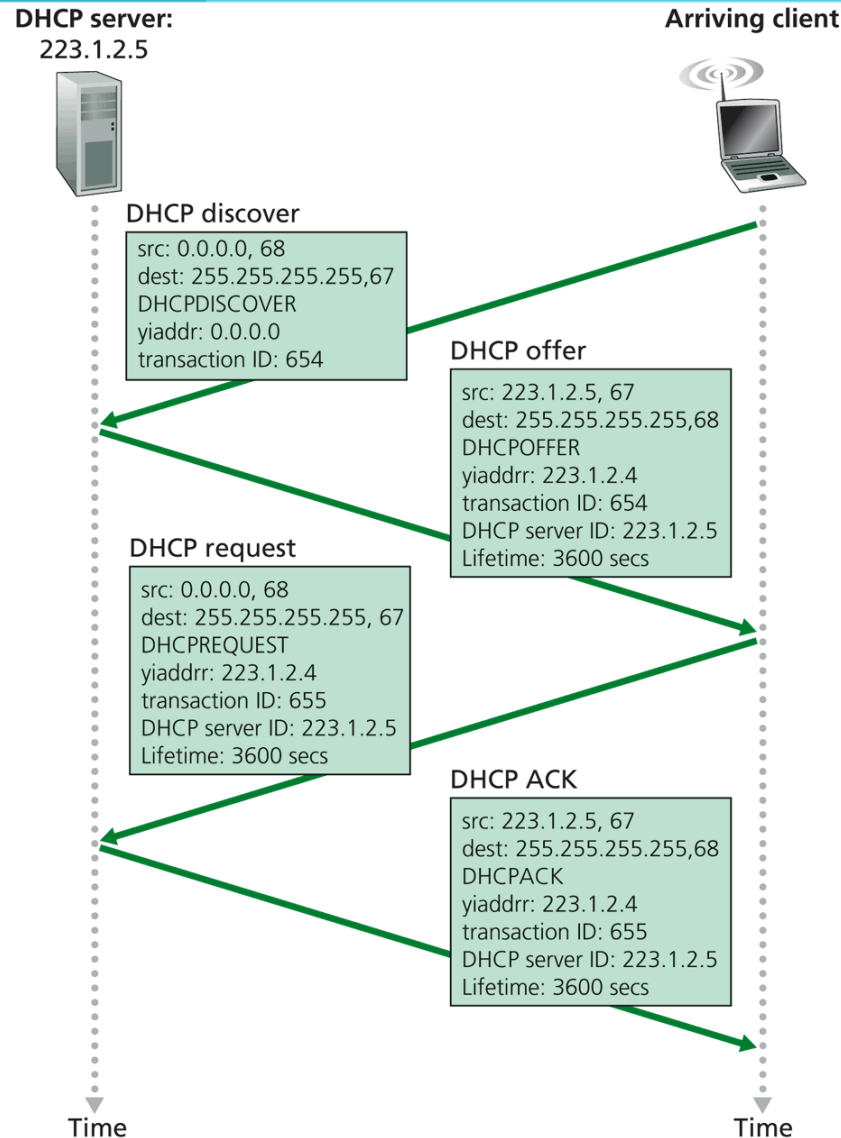


**Figure 5.20** ♦ DHCP client-server scenario

ACI2020 - 2009



# Interação Cliente-Servidor DHCP



**Figure 5.21** ♦ DHCP client-server interaction



**EACH**

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

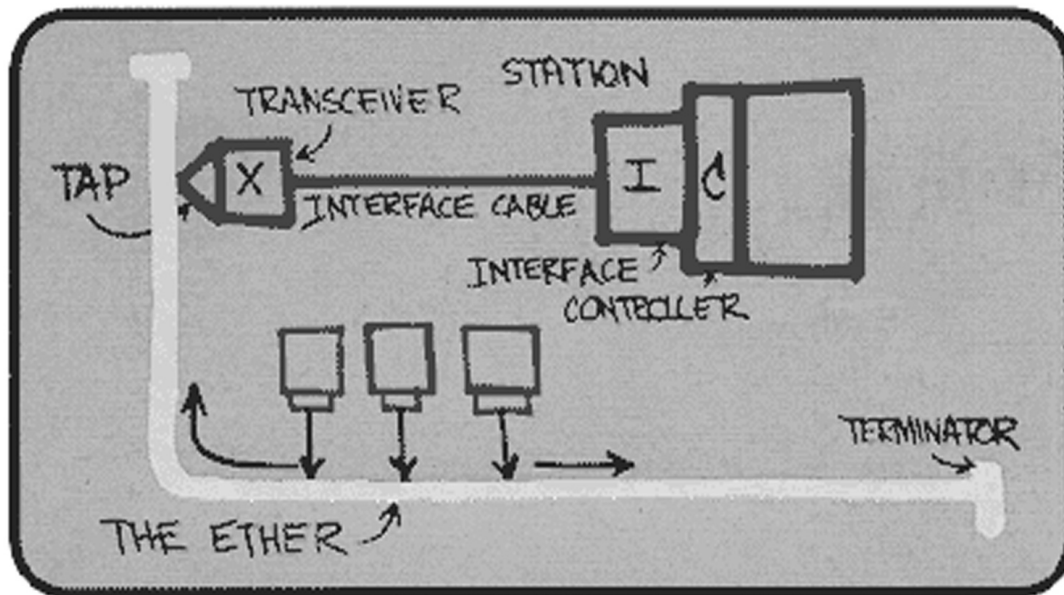
# 5.5 - Ethernet

---



# Ethernet

- ❑ Tecnologia de rede local “dominante”:
  - primeira tecnologia de LAN largamente usada;
  - mais simples e mais barata que outras LANs;
  - velocidade crescente: 10 Mbps – 10 Gbps.



esboço da Ethernet  
por Bob Metcalf



# Topologia

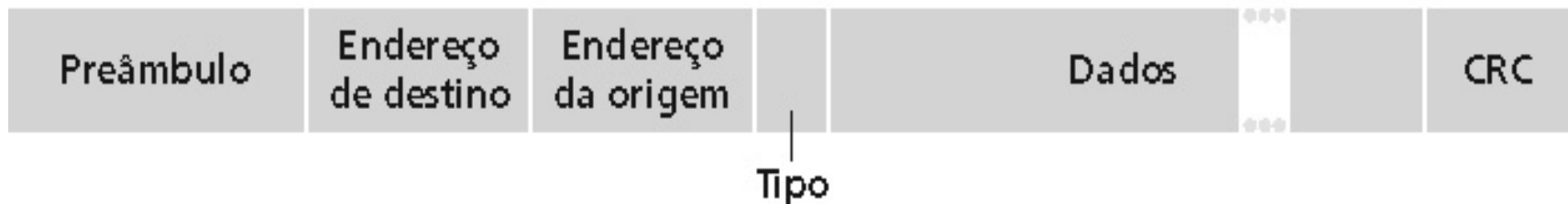
- ∇ Na década de 80 e início dos anos 90: topologia em barramento.
- ∇ Agora a topologia em estrela prevalece.
- ∇ Opções de conexão: hub ou switch.





# Quadro Ethernet

- ❑ Adaptador do transmissor encapsula o datagrama IP em um quadro Ethernet:



- ❑ **Preâmbulo:** (8 bytes)
  - 7 bytes com padrão 10101010 seguido por 1 byte com padrão 10101011;
  - usado para sincronizar as taxas de relógio do transmissor e do receptor.



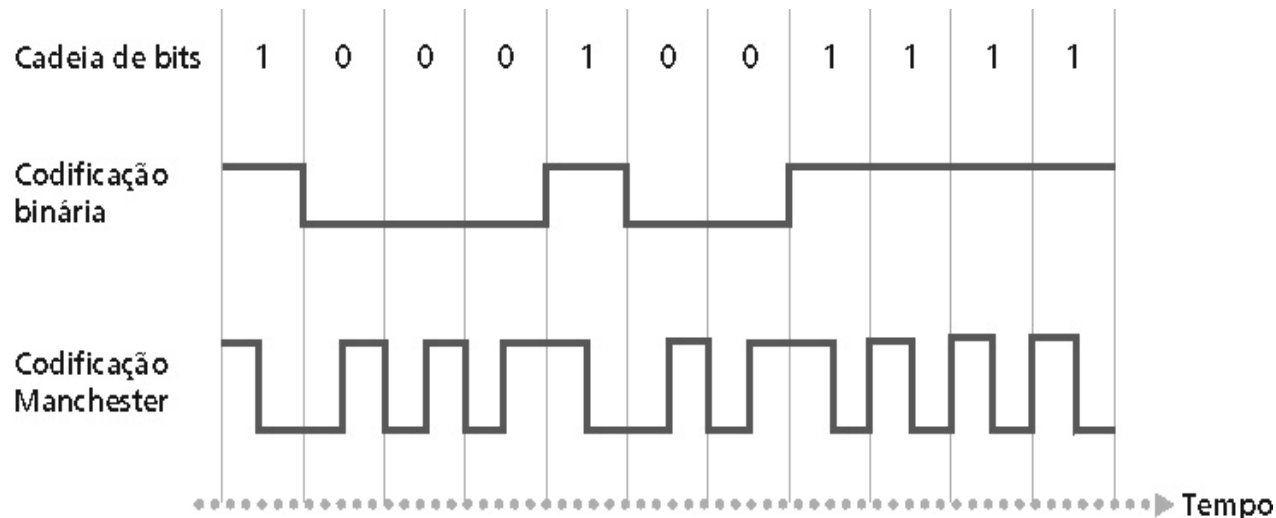
# Quadro Ethernet

- ❑ **Endereços:** (6 bytes cada)
  - quadro com endereço de destino coincidente ou com endereço de broadcast (ex., pacote ARP), ele passa o dado no quadro para o protocolo da camada de rede.
- ❑ **Tipo:** indica o protocolo da camada superior (2 bytes).
- ❑ **CRC:** se um erro é detectado, o quadro é simplesmente descartado (4 bytes).
- ❑ **Dados:** 46 a 1500 bytes.



# Codificação Manchester

- ▽ Usada em 10BaseT.
- ▽ Cada bit é representado por uma transição.
- ▽ Sincroniza relógios nos nós de transmissão e de recepção.
- ▽ Mas isso é coisa de camada física!







# Tipo de Serviço

## ∇ **Sem conexão:**

- não ocorre conexão entre adaptadores transmissor e receptor.

## ∇ **Não confiável:**

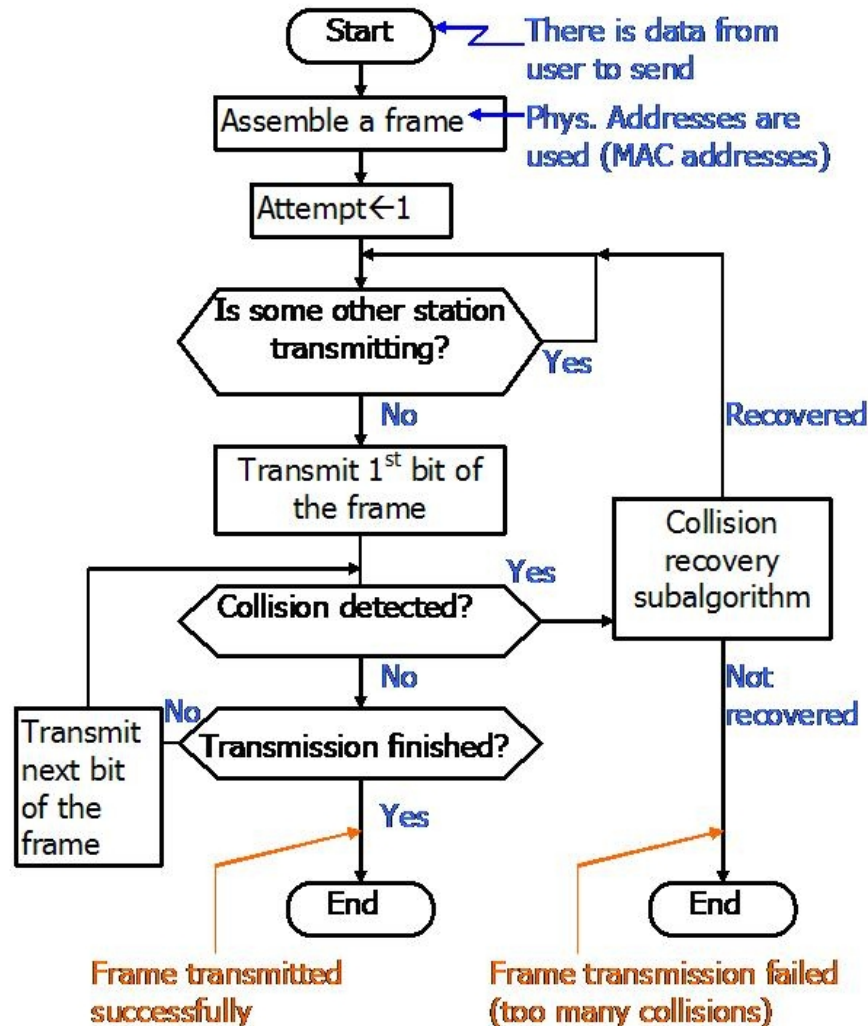
- adaptador receptor não envia ACKs ou NACKs para o adaptador transmissor;
- fluxo de datagramas que passa para a camada de rede pode deixar lacunas.

# Ethernet usa CSMA/CD

- ∇ Sem slots.
- ∇ **Carrier Sense**: adaptador não transmite se detectar algum outro adaptador transmitindo.
- ∇ **Collision Detection**: adaptador transmissor aborta quando detecta outro adaptador transmitindo.
- ∇ Antes de tentar uma retransmissão, o adaptador espera um período aleatório.



# Algoritmo CSMA/CD do Ethernet



- Verifica se há transmissão durante 96 tempos de bit.
- **Tempo de bit:**
  - 0,1 microsseg para Ethernet de 10 Mbps.
- **Jam signal:**
  - garante que todos os outros transmissores estão cientes da colisão;
  - 48 bits.



# Algoritmo de backoff exponencial

- ❑ **Objetivo:** adaptar tentativas de retransmissão para carga atual da rede.
  - Carga pesada: espera aleatória será mais longa.
- ❑ Espera está no intervalo  $[0, 2^m - 1]$ :
  - primeira colisão: escolha  $K$  entre  $\{0, 1\}$ ; espera é  $K \times 512$  tempos de transmissão de bit.
  - após a segunda colisão: escolha  $K$  entre  $\{0, 1, 2, 3\} \dots$
  - após 10 ou mais colisões, escolha  $K$  entre  $\{0, 1, 2, 3, 4, \dots, 1023\}$



# Eficiência da Ethernet

- ∇  $t_{\text{prop}}$  = propagação máxima entre 2 nós
- ∇  $t_{\text{trans}}$  = tempo para transmitir um quadro de tamanho máximo

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

- ∇ Eficiência:
  - tende a 1 quando  $t_{\text{prop}}$  tende a 0.
  - tende a 1 quando  $t_{\text{trans}}$  tende ao infinito.



**EACH**

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

# Tecnologias Ethernet

---



# 10BaseT e 100BaseT

- ∇ Taxa de 10 e 100 Mbps (“fast ethernet”).
- ∇ **T** significa “Twisted Pair” (par trançado).
- ∇ Nós se conectam a um hub:
  - “topologia em estrela”;
  - 100 m é a distância máxima entre os nós e o hub.



# Gigabit Ethernet

- ∇ Padrões IEEE 802.3z e ab.
- ∇ Formato do quadro padrão do Ethernet.
- ∇ Permite enlaces ponto-a-ponto e canais de múltiplo acesso compartilhados.
- ∇ No modo compartilhado, o CSMA/CD é usado; exige pequenas distâncias entre os nós para ser eficiente.
- ∇ Usa hubs (Distribuidores com Armazenagem - “Buffered Distributors”).
- ∇ Full-duplex a 1 Gbps para enlaces ponto-a-ponto.





**EACH**

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

# 5.6 - Elementos de Interconexão

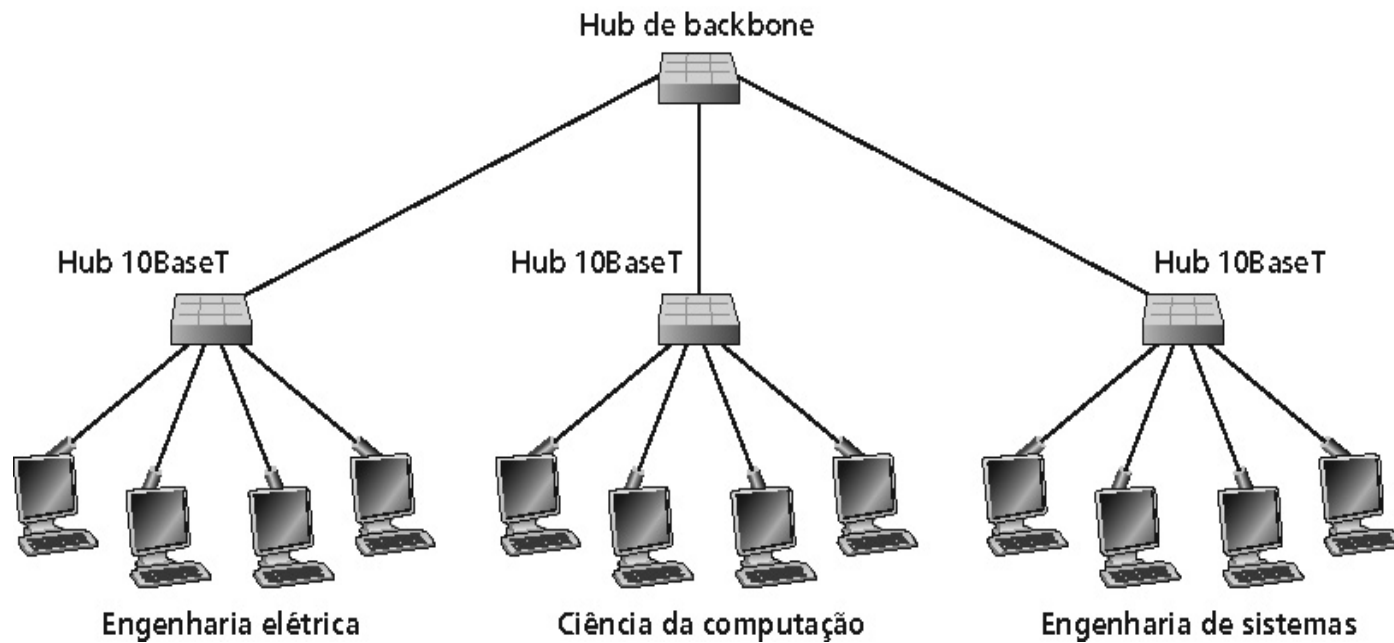
---

- ❑ 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.



# Interconexão com Hubs

- ∇ Dispositivo de camada física.
- ∇ Backbone: conecta segmentos de LAN.
- ∇ Estende a distância máxima entre os nós.
- ∇ Um único domínio de colisão!!
- ∇ Não interconecta 10BaseT e 100BaseT.



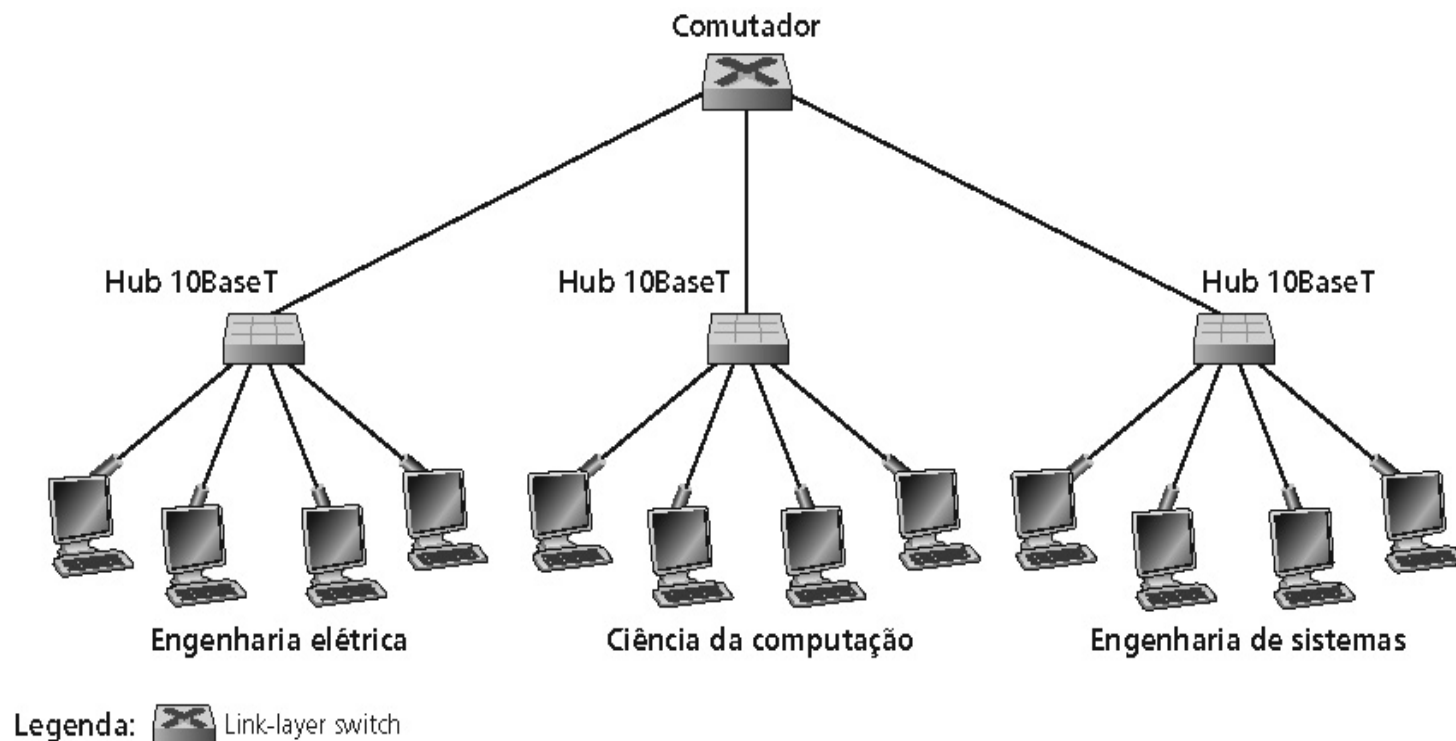


# Comutador ou switch

- ∇ 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;
  - quando um quadro está para ser encaminhado no segmento, usa CSMA/CD para acessar o segmento.
- ∇ Transparente.
- ∇ Plug-and-play, auto-aprendizado:
  - switches não precisam ser configurados.



# Como determinar para qual segmento da LAN encaminhar um quadro??





# Tabela de Comutação

- ∇ Switch possui uma tabela de comutação:
  - entrada na tabela: <endereço MAC, interface, TTL>;
  - entradas expiradas na tabela são descartadas (TTL pode ser 60 min).
- ∇ Switch **aprende** quais hospedeiros são alcançados através de suas interfaces:
  - quando recebe um quadro, o switch “aprende” a localização do transmissor: segmento da LAN que chega.
  - registra o par transmissor/localização na tabela.



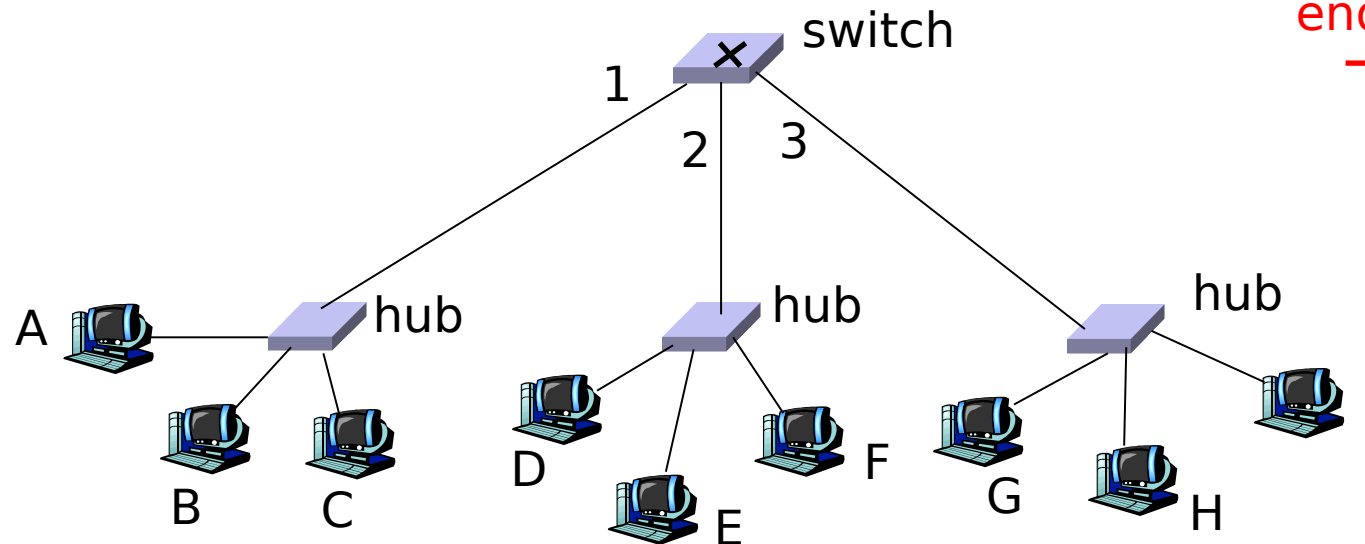
# Filtragem e Encaminhamento

- Quando um switch recebe um quadro:
  - indexa tabela de comutação usando endereço MAC destino;
  - se entrada for encontrada, então:
    - se destino encontra-se no segmento que quadro chegou, então descarta o quadro;
    - senão, encaminha o quadro na interface indicada.
  - caso entrada não seja encontrada, encaminha para demais interfaces.



# Exemplo de comutação

Suponha que C envia um quadro para D



endereço	interface
A	1
B	1
E	2
G	3

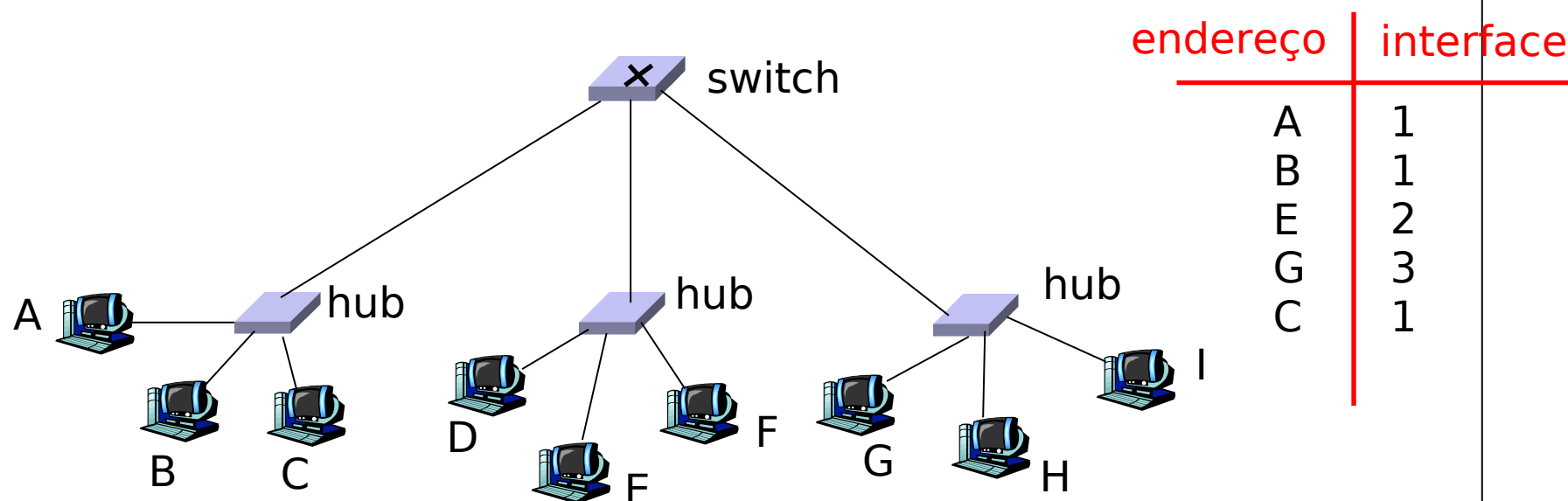
- Switch recebe o quadro de C
  - Anota na tabela que C está na interface 1
  - Como D não está na tabela, o switch encaminha o quadro para as interfaces 2 e 3
- Quadro recebido por D





## Exemplo de comutação (cont.)

Suponha que D responde com um quadro para C.

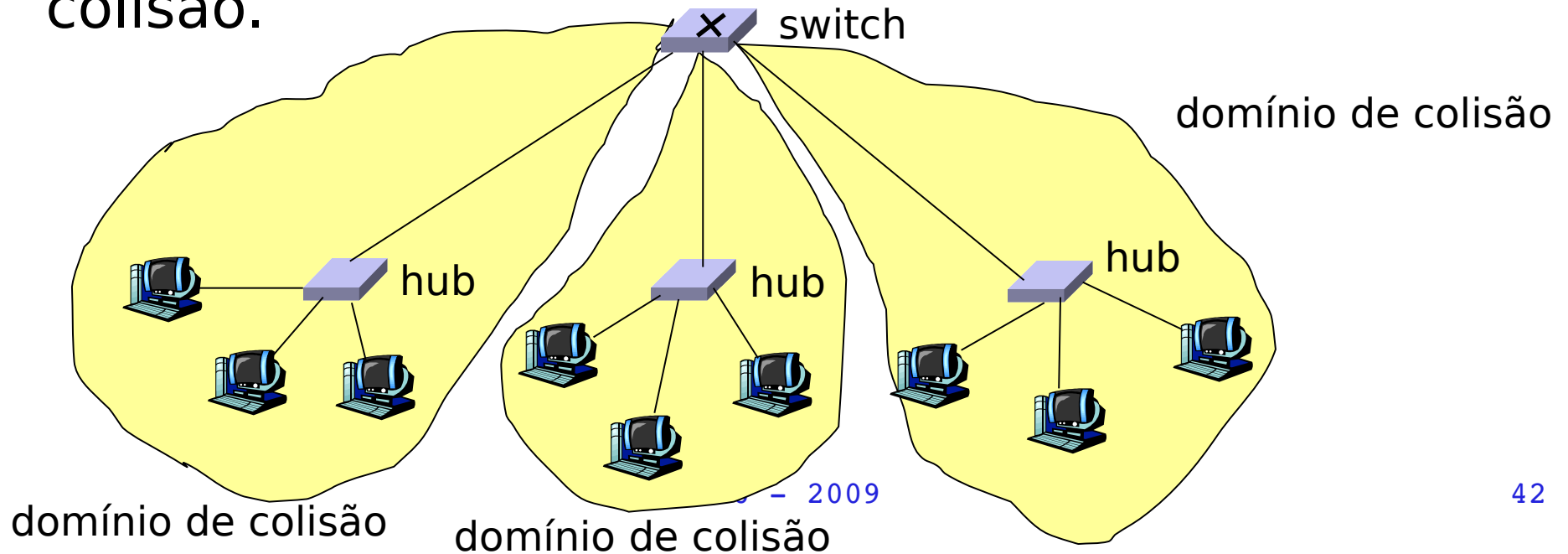


- Switch recebe quadro de D
  - Anota na tabela que D está na interface 2
  - Como C está na tabela, o switch encaminha o quadro apenas para a interface 1
- Quadro recebido por C



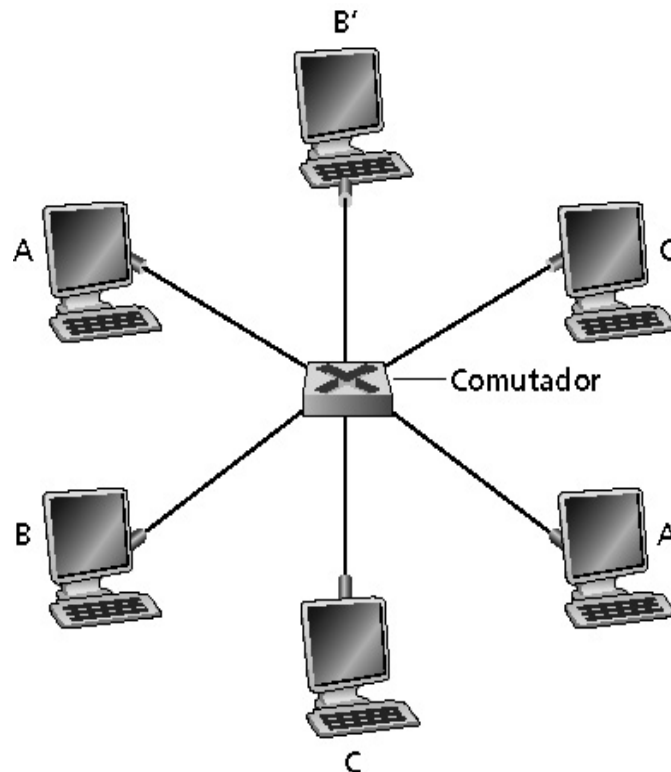
# Domínios de colisão

- ∇ A instalação do switch quebra as sub-redes em segmentos de LAN.
- ∇ Switch filtra pacotes:
  - quadros do mesmo segmento geralmente não são encaminhados para outros segmento.
  - segmentos se tornam separados em domínios de colisão.



# Switches: acesso dedicado

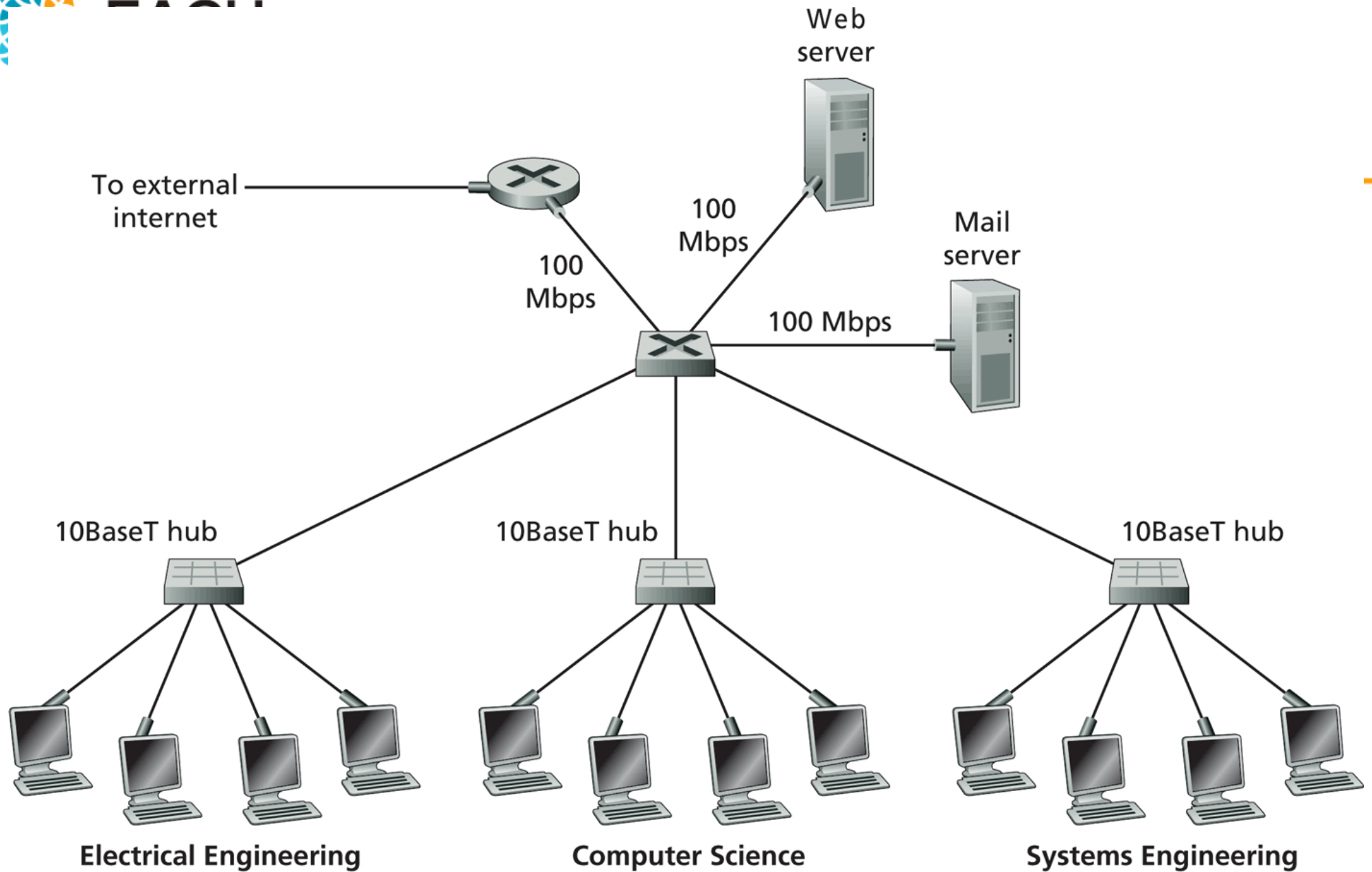
- ▽ Switch com muitas interfaces.
- ▽ Hospedeiros possuem conexão direta ao switch.
- ▽ Sem colisões; full-duplex.





# Comutação acelerada

- ∇ Comutação “normal”: *store-and-forward* (armazenar e repassar).
- ∇ ***Cut-through switching***:
  - quadro encaminhado da porta de entrada até a de saída sem ter de sido completamente recebido;
  - se a porta de saída estiver ocupada, não funciona;
  - redução na latência não é significativa (atraso máximo é  $L/R$ )  $\rightarrow 0,12\text{ms}$  para 100Mbps.

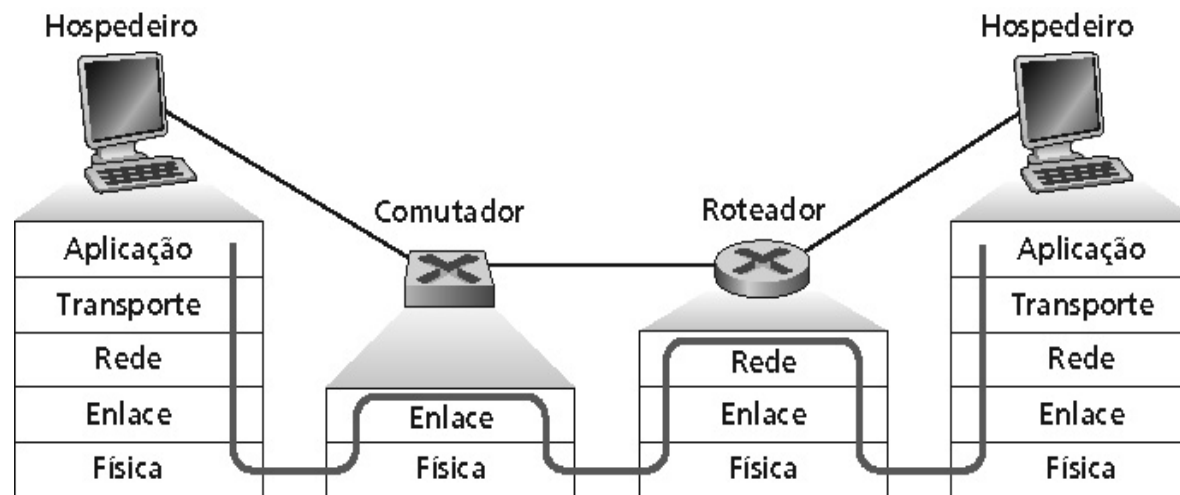


**Figure 5.29** ♦ An institutional network using a combination of hubs, Ethernet switches, and a router



# Comutadores versus Roteadores

- ▽ Ambos são dispositivos *store-and-forward*:
  - roteadores: dispositivos de camada de rede;
  - switches: dispositivos da camada de enlace.
- ▽ Roteadores mantêm tabelas de roteamento, e implementam algoritmos de roteamento.
- ▽ Switches mantêm tabelas de comutação, implementam filtragem, algoritmos de aprendizagem.





## Resumindo ...

	Hubs	Switches	Roteadores
Isolamento de tráfego	não	sim	sim
<i>plug-and-play</i>	sim	sim	não
Roteamento ótimo	não	não	sim
Comutação Acelerada	sim	sim	não



**EACH**

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

# 5.7 - Controle de Enlace de Dados Ponto-a-Ponto

---



# Controle de Enlace de Dados Ponto-a-Ponto

- ou DLC (Data Link Control).
- Um transmissor, um receptor, um enlace: mais fácil do que enlace de broadcast:
  - sem controle de acesso ao meio (MAC);
  - não necessita de endereçamento MAC explícito;
  - ex.: dialup link, linha ISDN, enlace SDH.
- Protocolos mais populares:
  - PPP (point-to-point protocol);
  - HDLC: High level data link control.



# Requisitos de Projeto para o PPP

- Estabelecidos pela RFC 1547.
- Enquadramento de pacote:  
encapsulamento do datagrama da  
camada de rede no quadro.
  - Capacidade de separar os protocolos na  
recepção.
- Transparência: deve transportar qualquer  
padrão de bit no campo de dados.
- Múltiplos protocolos de camada de rede.
- Múltiplos tipos de enlace.



# Requisitos de Projeto para o PPP (cont.)

- Detecção de erros (mas não correção).
- Gerenciamento da conexão: detecta e informa falhas do enlace para a camada de rede.
- Negociação de endereço da camada de rede: os pontos terminais do enlace podem aprender e configurar o endereço de rede dos outros.
- Simplicidade!
  - mais de 50 RFCs definem o PPP...



# PPP: Funcionalidades não obrigatórias

- ▽ Correção de erros.
- ▽ Controle de fluxo.
- ▽ Sequenciamento (aceita entregas fora de ordem).
- ▽ Enlaces multiponto.
- ▽ **Recuperação de erros, controle de fluxo, reordenação dos dados são todos relegados para as camadas mais altas!**



# Formato do Quadro PPP

- ▽ **Flag:** delimitador (enquadramento).
- ▽ **Endereço:** não tem função.
- ▽ **Controle:** não tem função.
- ▽ **Protocolo:** indica o protocolo da camada superior ao qual o conteúdo do quadro deve ser entregue (ex.: PPP-LCP, IP, IPCP etc.)
- ▽ **Informação:** dados da camada superior.
- ▽ **CRC:** CRC de 16 bits de 2 ou 4 bytes.





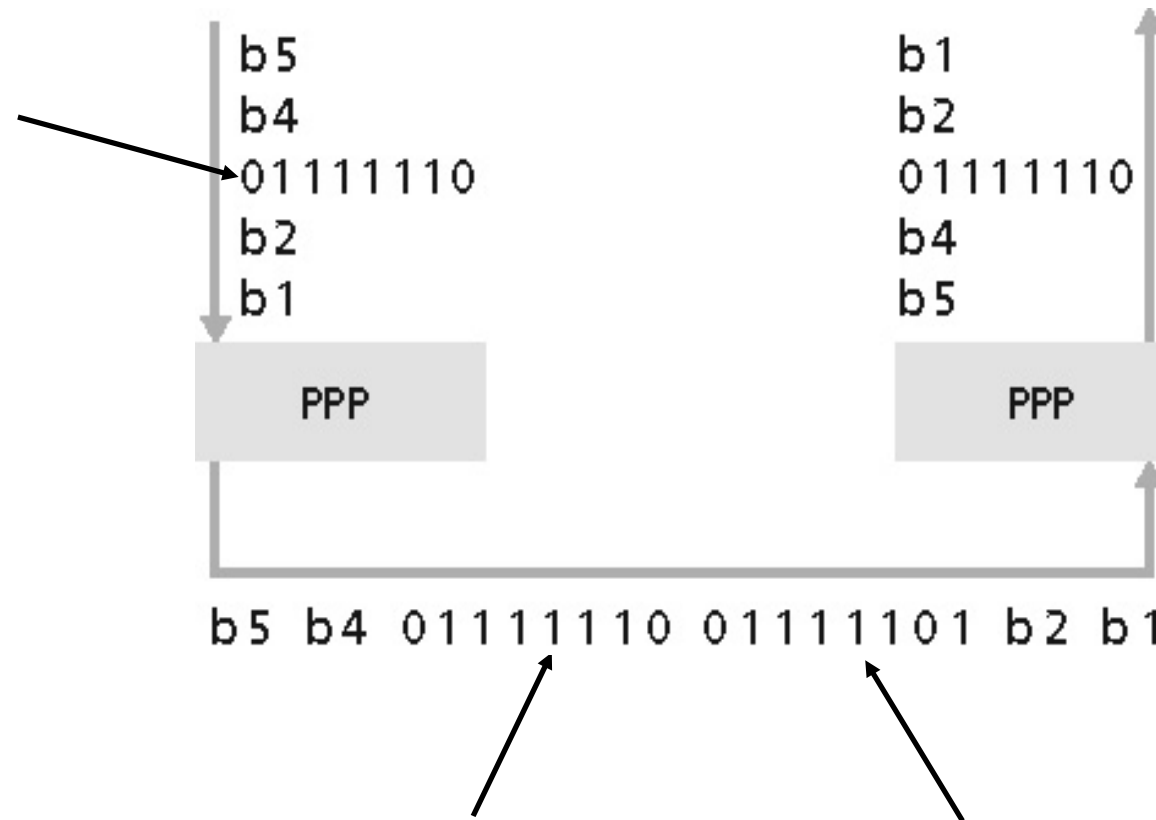
# Byte Stuffing

- ∇ Requisito de **transparência**:
  - campo de dados pode incluir o padrão igual ao flag `<01111110>`.
  - como identificar se é dado ou é flag?
- ∇ **Transmissor**:
  - acrescenta byte `<01111101>` (escape) antes do byte `<01111110>` nos *dados*.
- ∇ **Receptor**:
  - único byte `01111110`: então é um flag;
  - byte `01111101` seguido de `01111110`: descarta o primeiro e continua a recepção de dados.



## Byte Stuffing

byte com o  
padrão do flag  
nos dados a  
enviar



byte com o padrão de escape  
acrescentado nos dados transmitidos  
seguido por um byte com padrão de  
flag



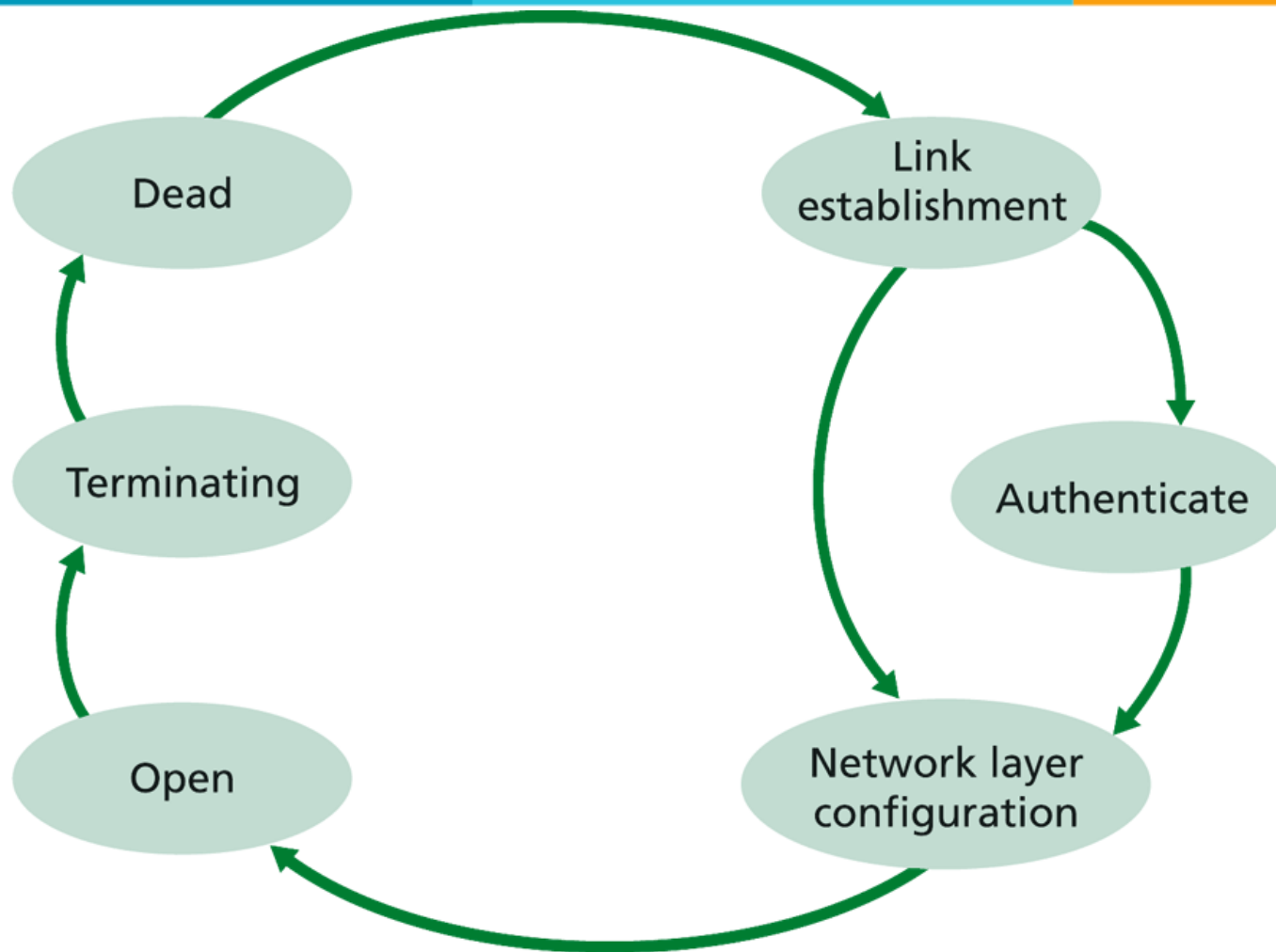
# LCP – Protocolo de Controle de Enlace

- ❑ Antes de trocar dados da camada de rede, é preciso:
  - configurar o enlace PPP:
    - tamanho máximo do quadro, autenticação e omissão de campos de endereço e controle;
  - configurar as informações da camada de rede:
    - Para o IP: transportar mensagens do protocolo de controle IP (IPCP) (campo de protocolo: 8021) para configurar/aprender os endereços IP.





# LCP – Protocolo de Controle de Enlace



**Figure 5.36** ♦ PPP link-control protocol states



## Perguntas???

- 13/Nov: Lab sobre Ethernet/ARP
- 16/Nov: Redes sem fio
- 20/Nov: Feriado
- 23/Nov: Prova 2 (Cap 4, 5 e 6).