

---

# Camada de Enlace de Dados - Apêndice

---

# Sumário

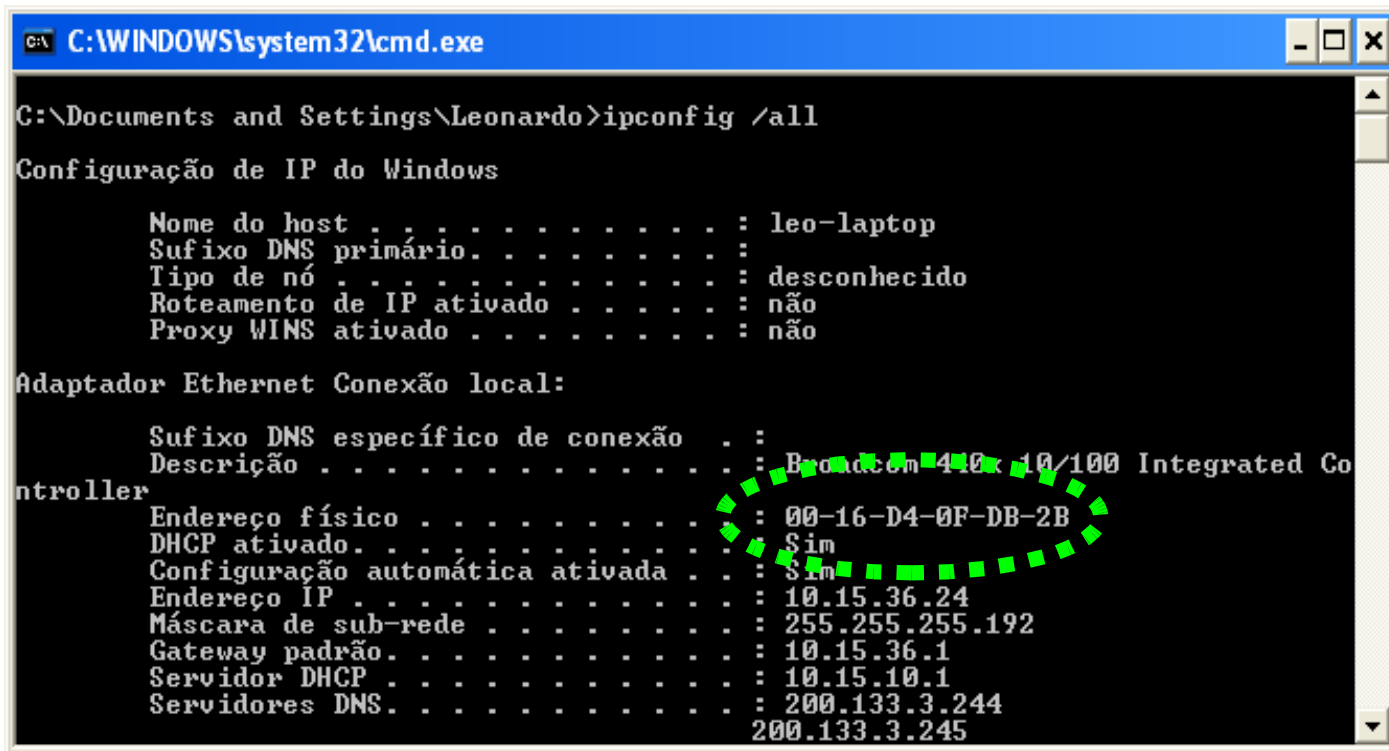
- Endereço MAC;
- ARP - Address Resolution Protocol;
- DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol;
- Ethernet
  - Estrutura do quadro Ethernet;
  - Tecnologias Ethernet;
- Interconexões
  - Hubs;
  - Comutadores;
  - Roteadores;

# Endereço MAC

- Adaptadores dos nós, ou seja hospedeiros e roteadores, têm **endereços de camada de enlace**.
- Um endereço da camada de enlace é também denominado um endereço de LAN, um endereço físico ou um **endereço MAC** (Media Access Control);
- Para a maior parte das LANs, o endereço MAC tem **6 bytes de comprimento**, o que dá  $2^{48}$  possíveis endereços MACs.

# Endereço MAC

- Esses endereços de 6 bytes são tipicamente expressos em notação hexadecimal, veja:



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Documents and Settings\Leonardo>ipconfig /all

Configuração de IP do Windows

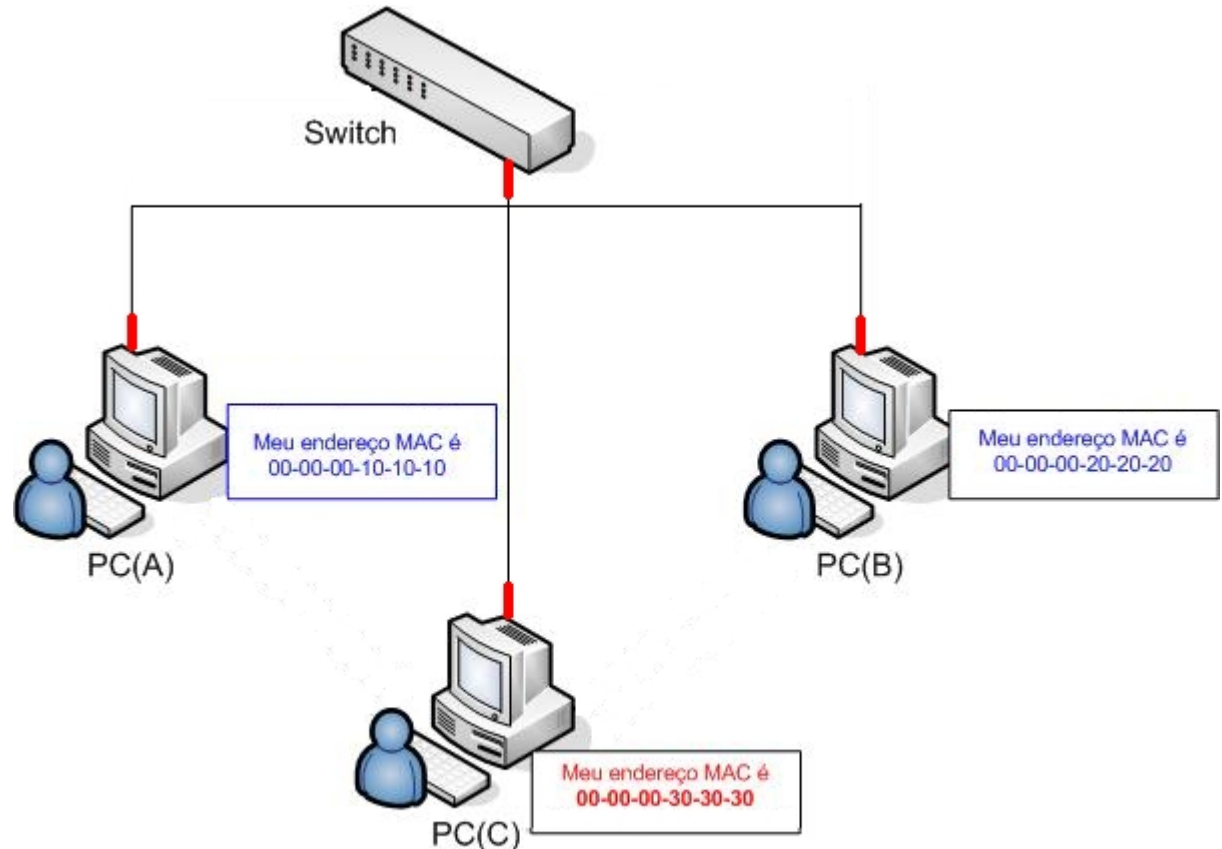
    Nome do host . . . . . : leo-laptop
    Sufixo DNS primário. . . . . :
    Tipo de nó . . . . . : desconhecido
    Roteamento de IP ativado . . . . . : não
    Proxy WINS ativado . . . . . : não

Adaptador Ethernet Conexão local:

    Sufixo DNS específico de conexão . . . . . :
    Descrição . . . . . : Broadcom 410x 10/100 Integrated Co
    ntroller
    Endereço físico . . . . . : 00-16-D4-0F-DB-2B
    DHCP ativado. . . . . : Sim
    Configuração automática ativada . . . . . : Sim
    Endereço IP . . . . . : 10.15.36.24
    Máscara de sub-rede . . . . . : 255.255.255.192
    Gateway padrão. . . . . : 10.15.36.1
    Servidor DHCP . . . . . : 10.15.10.1
    Servidores DNS. . . . . : 200.133.3.244
                             200.133.3.245
```

# Endereço MAC

- Cada adaptador conectado à LAN tem um endereço MAC exclusivo, veja:



# Endereço MAC

- Os endereços MACs são permanentes e únicos. A IEEE gerencia o espaço físico de endereços MAC:
  - Quando uma empresa quer fabricar adaptadores, compra, por uma taxa nominal, uma parcela do espaço de endereços que consiste em  $2^{24}$  endereços.
  - Veja a [lista completa de fabricantes](http://www.hardwareprofissional.com/complementos/Enderecos_MACs-Fabricantes.txt) e suas respectivas faixas de endereços MAC neste link:  
[http://www.hardwareprofissional.com/complementos/Enderecos\\_MACs-Fabricantes.txt](http://www.hardwareprofissional.com/complementos/Enderecos_MACs-Fabricantes.txt)

# Endereço MAC

- Principais fabricantes:

MAC (hex)	Fabricante
00-00-00	XEROX CORPORATION
00-00-0C	CISCO SYSTEMS, INC.
00-00-0E	FUJITSU LIMITED
00-00-15	DATAPoint CORPORATION
00-00-1A	ADVANCED MICRO DEVICES
00-00-1B	NOVELL INC.
02-60-8C	3Com
08-00-09	Hewlett-Packard

# Endereço MAC

- Mas até que ponto é importante para as redes de computadores os adaptadores terem um endereço físico?
  - **Vejamos a seguinte situação:** quando um adaptador quer enviar um quadro para algum adaptador destino, o adaptador remetente insere no quadro o endereço MAC do destino e envia o quadro para dentro da LAN.
  - Se a LAN utilizar broadcast (como as redes sem fio 802.11 e muitas LANs Ethernet), o quadro será recebido e processado por todos os outros adaptadores na LAN.
  - Somente o endereço MAC que coincidir com o MAC contido no quadro extrairá o datagrama. Os demais descartarão o quadro recebido;



# Endereço MAC

- Quando o adaptador remetente realmente deseja enviar uma mensagem a todos os outros adaptadores da LAN, ele insere um **endereço de broadcast MAC**;
- Para LANs que usam endereços de 6 bytes, o endereço de broadcast é uma cadeia de **48 bits 1 consecutivos** (isto é, FF-FF-FF-FF-FF-FF em notação hexadecimal);

# ARP - Address Resolution Protocol

- Como existem endereços de camada de rede e endereços de camada de enlace, é preciso fazer a tradução de um para o outro em vários momentos;
- Para a Internet, esta é uma tarefa do protocolo de resolução de endereços (Address Resolution Protocol - ARP)
  - [RFC 826];

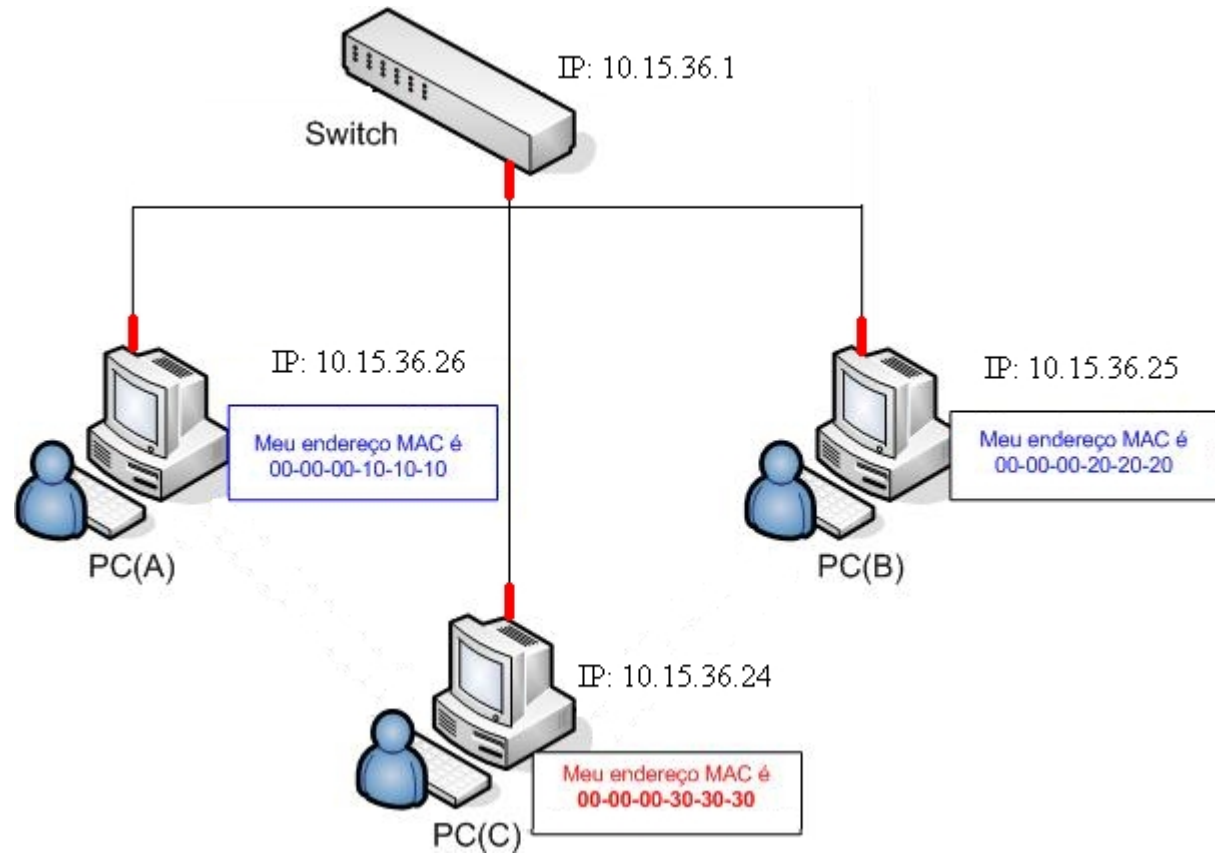
Network Working Group  
Request For Comments: 826

David C. Plummer  
(DCP@MIT-MC)  
November 1982

```
An Ethernet Address Resolution Protocol
-- or --
Converting Network Protocol Addresses
to 48.bit Ethernet Address
for Transmission on
Ethernet Hardware
```

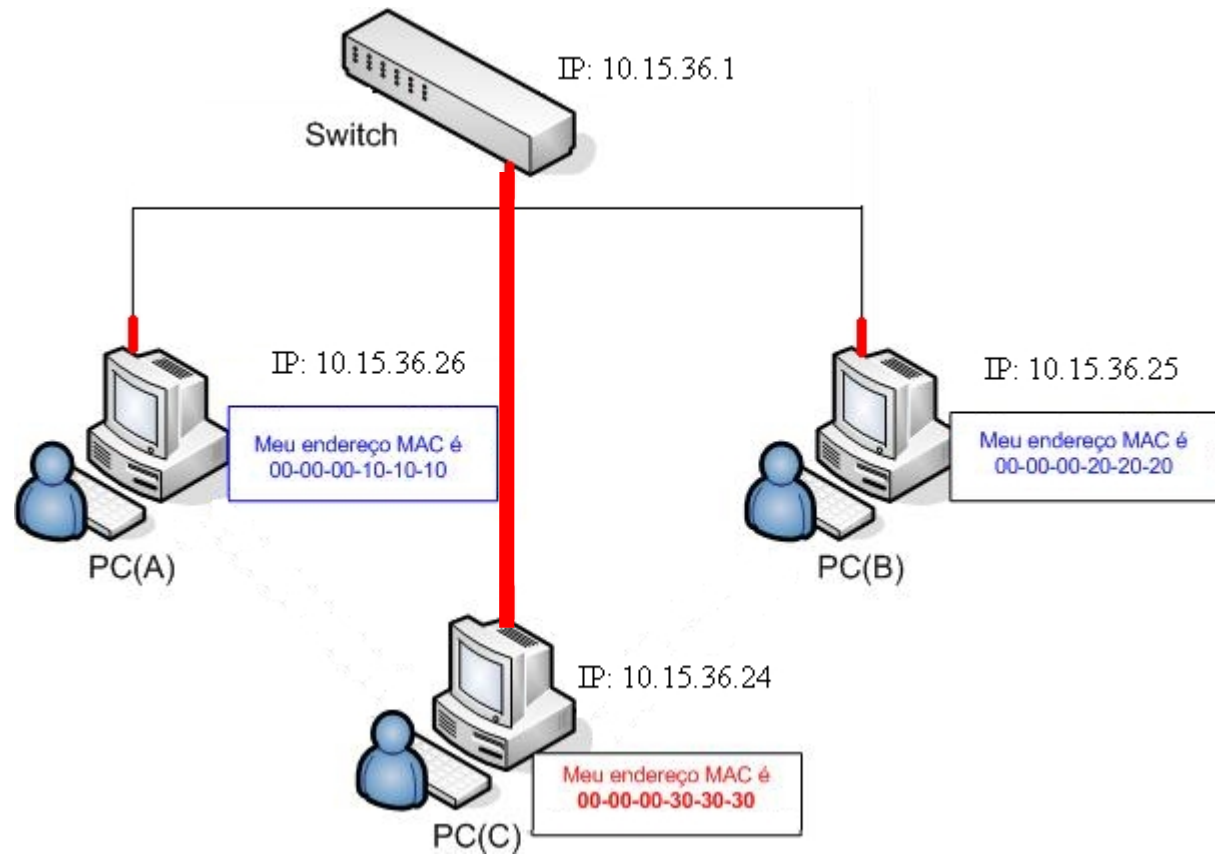
# ARP - Address Resolution Protocol

- Para compreender a necessidade do protocolo considere a figura abaixo:



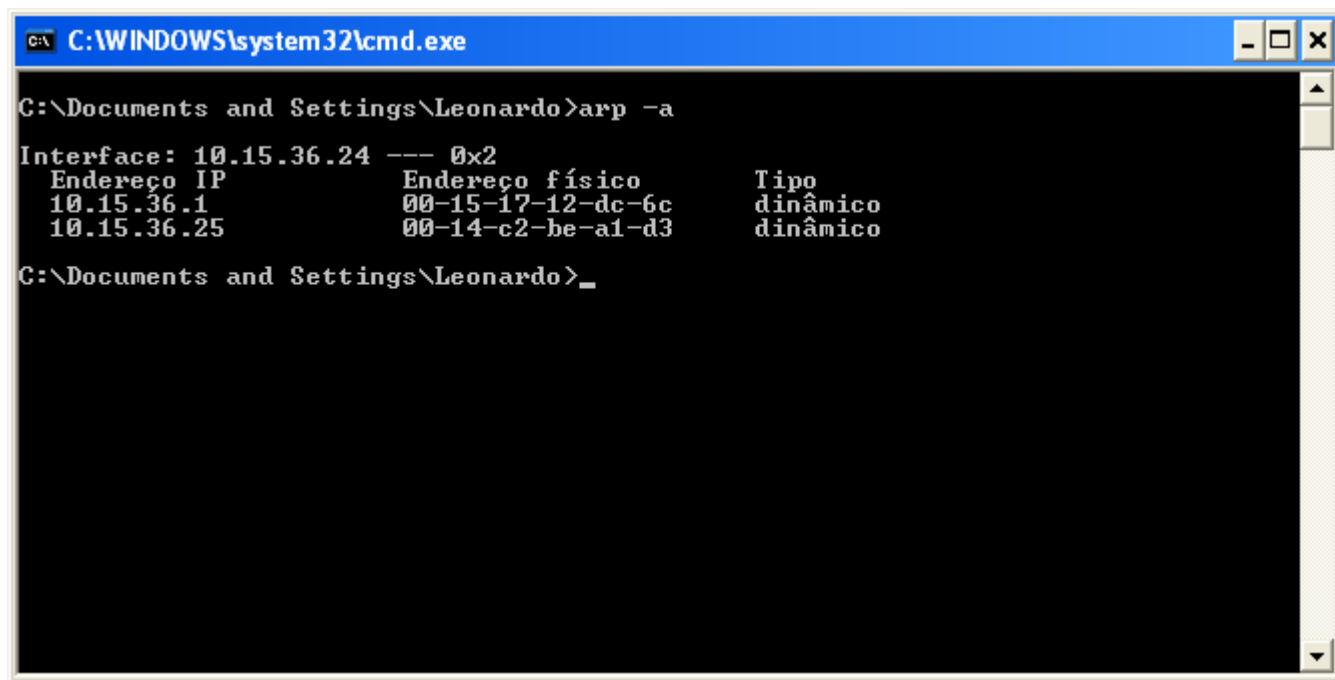
# ARP - Address Resolution Protocol

- Suponha que o nó com endereço IP 10.15.36.24 queira mandar um datagrama IP para o nó 10.15.36.25;
- Para enviar um datagrama, o nó da fonte deve dar a seu adaptador não somente o datagrama IP, mas também o endereço MAC do destino;



# ARP - Address Resolution Protocol

- Um **módulo ARP** (tabela ARP) no nó remetente toma como entrada qualquer endereço IP na mesma LAN e retorna o endereço MAC correspondente.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe

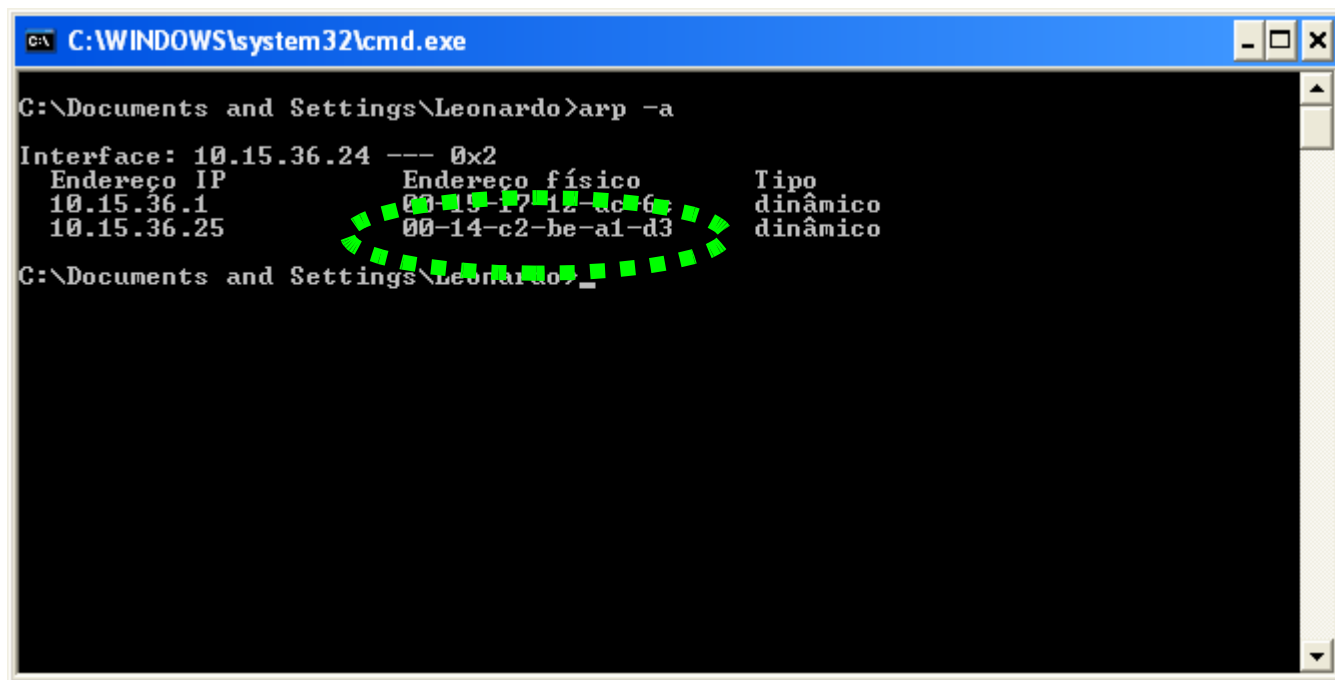
C:\Documents and Settings\Leonardo>arp -a

Interface: 10.15.36.24 --- 0x2
Endereço IP      Endereço físico      Tipo
10.15.36.1       00-15-17-12-dc-6c   dinâmico
10.15.36.25      00-14-c2-be-a1-d3   dinâmico

C:\Documents and Settings\Leonardo>_
```

# ARP - Address Resolution Protocol

- Nesse caso, o nó remetente fornece a seu módulo ARP o endereço IP 10.15.36.25 e o módulo ARP retorna o endereço MAC correspondente, 00-14-c2-be-a1-d3;



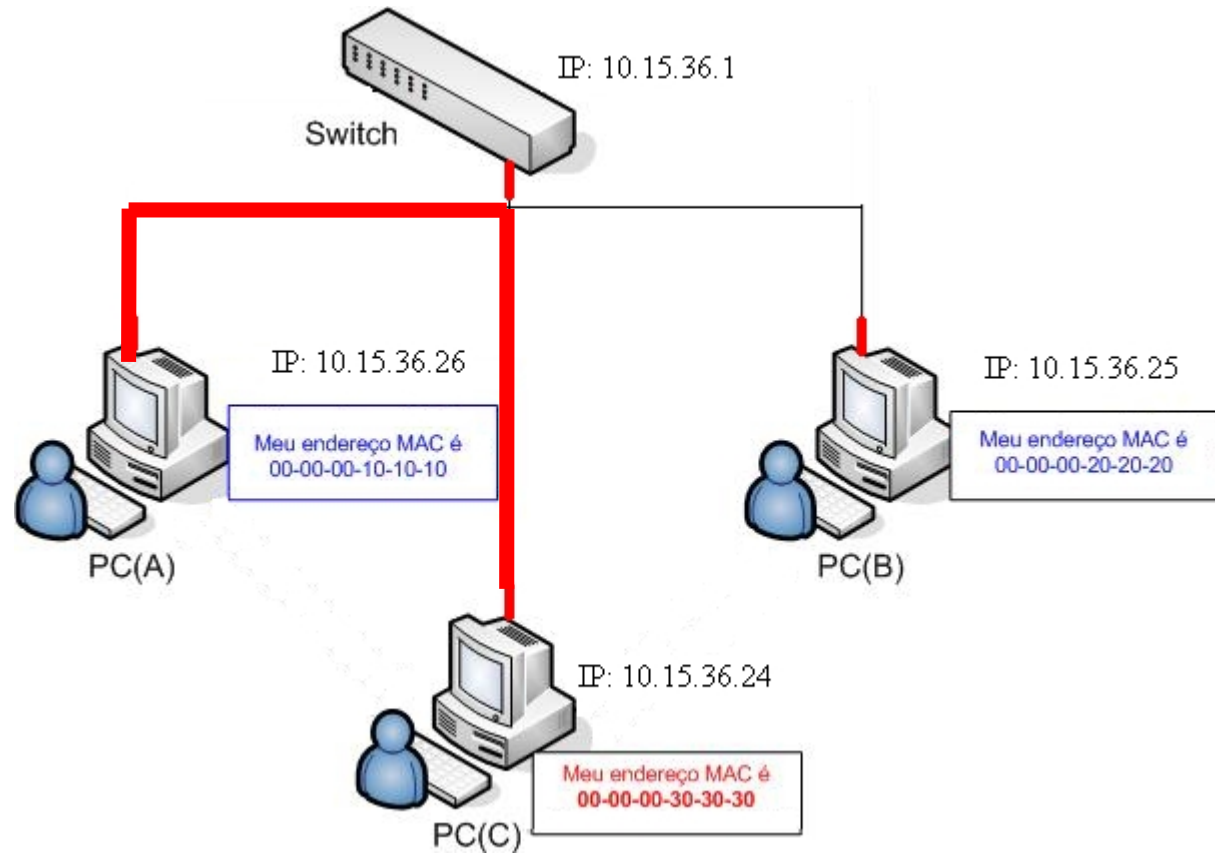
```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Documents and Settings\Leonardo>arp -a
Interface: 10.15.36.24 --- 0x2
Endereço IP      Endereço físico      Tipo
10.15.36.1       00-15-17-12-ac-6    dinâmico
10.15.36.25      00-14-c2-be-a1-d3   dinâmico
C:\Documents and Settings\Leonardo>
```

# ARP - Address Resolution Protocol

- Detalhamento do módulo ARP:
  - Cada nó tem em sua RAM uma tabela ARP que contém mapeamentos de endereços IP para endereços MAC;
  - A tabela também contém um valor de tempo de vida (TTL) que indica quando cada mapeamento será apagado da tabela;
- Então, o que o módulo ARP faz quando o IP de destino não está relacionado na tabela ARP? O IP 10.15.36.26, por exemplo?
  - Primeiro: o nó remetente monta um pacote especial denominado ARP Query (Ver RFC 826) e passa ao nó adaptador.

# ARP - Address Resolution Protocol

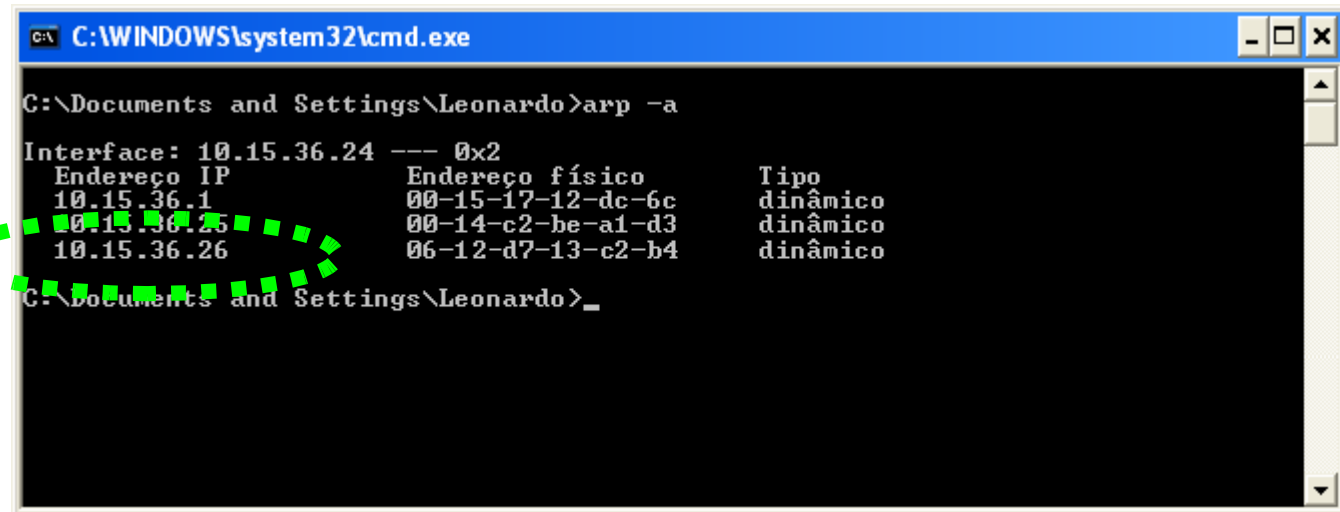
- Porém, somente o único nó que combina seu endereço IP com o endereço IP de destino do pacote ARP devolve um pacote ARP de resposta ao nó que fez a consulta;
- O nó que fez a consulta pode, então, atualizar sua tabela ARP e enviar o datagrama





# ARP - Address Resolution Protocol

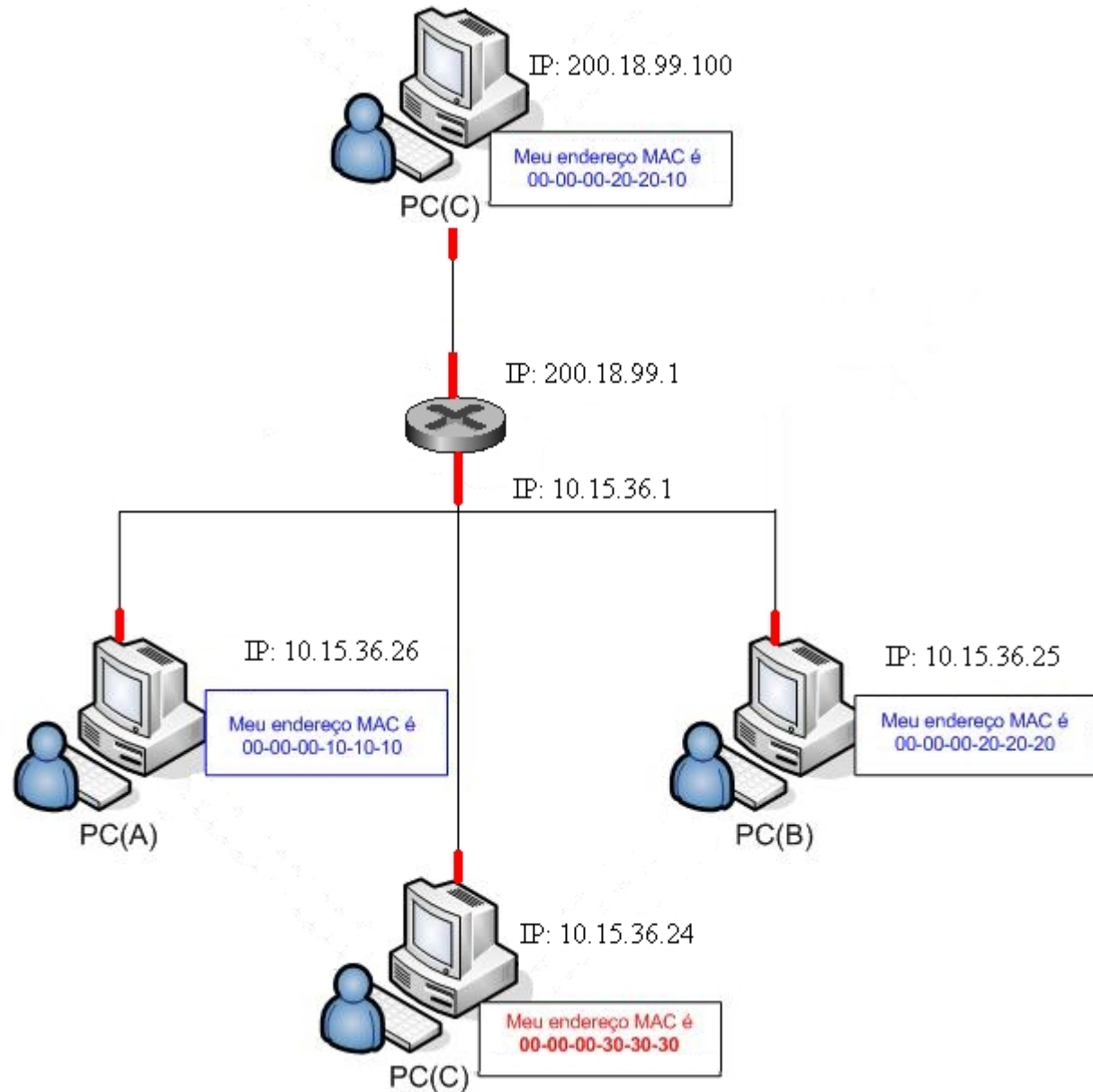
- ❑ **Questões interessantes sobre o protocolo ARP:** (i) porque a resposta ARP é enviada dentro de um quadro comum, uma vez que a consulta é enviada dentro de um quadro broadcast?, (ii) A tabela ARP deve ser configurada pelo administrador da rede? E (iii) É interessante deixar um TTL muito grande para os registros na tabela ARP?
- ❑ Ao lado a tabela ARP atualizada após a consulta ARP.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Documents and Settings\Leonardo>arp -a
Interface: 10.15.36.24 --- 0x2
Endereço IP          Endereço físico      Tipo
10.15.36.1           00-15-17-12-dc-6c   dinâmico
10.15.36.25          00-14-c2-be-a1-d3   dinâmico
10.15.36.26          06-12-d7-13-c2-b4   dinâmico
C:\Documents and Settings\Leonardo>
```

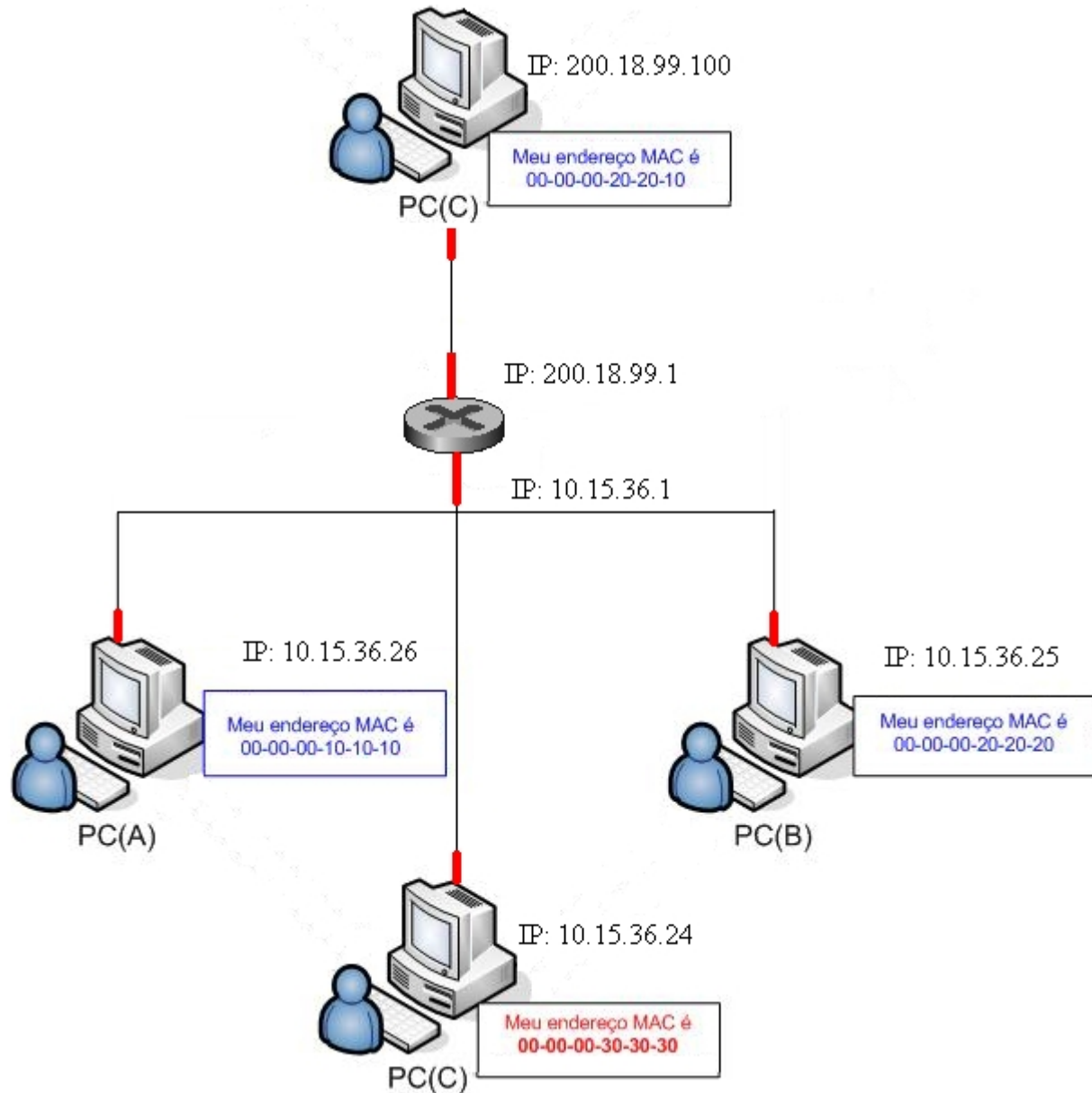
# ARP

- Está entendendo até o ARP? Então responda o que acontece quando um nó de uma sub-rede quer enviar um datagrama para um nó que está fora da sub-rede?



# ARP

- Para cada interface de roteador também há um módulo ARP (dentro do roteador) e um adaptador (endereço MAC);



# DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol

- O DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol configura dinamicamente endereços IP a hospedeiros;
- Para um hospedeiro que acabou de chegar na sub-rede, o protocolo DHCP executa quatro etapas:
  - **Descoberta de servidor DHCP:** O cliente DHCP cria um datagrama IP contendo sua mensagem de descoberta DHCP juntamente com o endereço de **broadcast IP** de destino de 255.255.255.255 e um endereço de fonte desse hospedeiro 0.0.0.0. O cliente DHCP passa o datagrama IP para seu adaptador que inclui o endereço de **broadcast MAC** (FF-FF-FF-FF-FF-FF)

# DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol

- **Oferta de servidor DHCP:** Um servidor DHCP responde ao cliente com uma mensagem de oferta DHCP. Cada mensagem de oferta de servidor contém o ID de transação, o endereço IP proposto para o cliente, a máscara de rede e um tempo de aluguel de endereço IP;
- **Requisição DHCP:** O cliente que acabou de chegar escolherá entre uma ou mais ofertas de servidor e responderá a essa oferta selecionada com uma mensagem de requisição DHCP, ecoando os parâmetros de configuração;
- **DHCP ACK:** O servidor responde à mensagem de requisição DHCP com uma mensagem DHCP ACK, confirmando os parâmetros requisitados.

# DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol

## ■ Vantagem:

- O administrador do sistema não precisa configurar manualmente seu endereço IP.

## ■ O DHCP teria alguma **desvantagem** aparente?

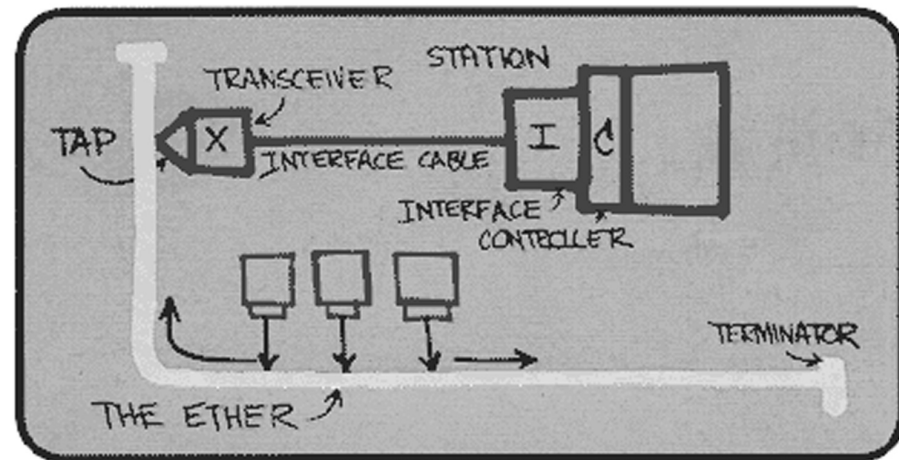
- Mobilidade: Não é possível manter uma conexão com uma aplicação remota enquanto um nó móvel passa de uma sub-rede à outra;
- Solução: Renovação do IP e Extensão do IP móvel.

## ■ Detalhes adicionais:

- <http://www.ietf.org/html.charters/dhc-charter.html>

# Ethernet

- Simplesmente a **tecnologia de rede local "dominante"**:
  - Podemos dizer que a Ethernet é para a rede local o que a Internet tem sido para a rede global;
- Apresenta vantagens que explicam seu sucesso, como:
  - Baixo Custo: R\$ 20 por 100Mbps
  - Mais simples e mais barata que LANs com token (FDDI, por exemplo) e ATM.
  - Velocidade crescente: 10 MBps - 10 Gbps



# Ethernet

- Exceto em uma ocasional instalação herdada, quase todas as instalações utilizam uma topologia em estrela:

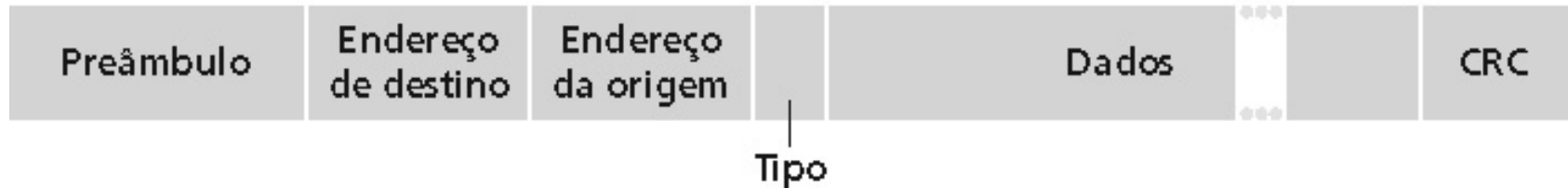


- No centro da topologia em estrela está um hub ou comutador.



# Estrutura do quadro Ethernet

- Vejamos os campos de um quadro Ethernet:



- Preâmbulo (8bytes)
  - 7 bytes com padrão 10101010 seguido por um byte com padrão 10101011
  - Usado para sincronizar as taxas de relógio do transmissor e do receptor.
  - Após o 1's consecutivos, o destino sabe que os próximos 6 bytes são o endereço de destino;

# Estrutura do quadro Ethernet

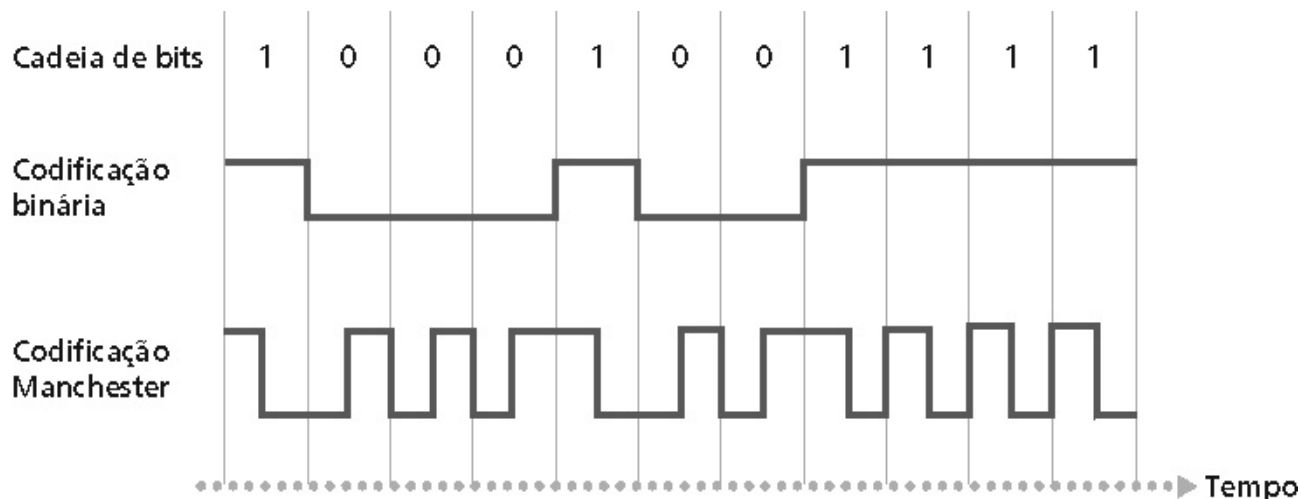
- Endereço de destino (6 bytes):
  - Se o adaptador recebe um quadro com endereço de destino coincidente ou com endereço de broadcast, ele passa o conteúdo do campo de dados para a camada de rede;
- Endereço de origem (6 bytes):
  - Contém o endereço MAC do adaptador que transmite o quadro para a LAN;
- Tipo (2 bytes):
  - Indica o protocolo da camada superior; geralmente é o protocolo IP, mas outros podem ser suportados (Novell IPX e Apple Talk);

# Estrutura do quadro Ethernet

- CRC (4 bytes):
  - verificado no receptor; se um erro é detectado, o quadro é simplesmente descartado;
- Campo de Dados (46 a 1500 bytes):
  - A unidade máxima de transferência (MTU) da Ethernet é 1500 bytes. Isso significa que, se o datagrama IP exceder 1500 bytes, o hospedeiro terá que fragmentar o datagrama;
  - Se um datagrama tiver menos do que 46 bytes, o campo terá que ser "recheado" (stuffing) de modo a completar os 46 bytes;

# Codificação Manchester

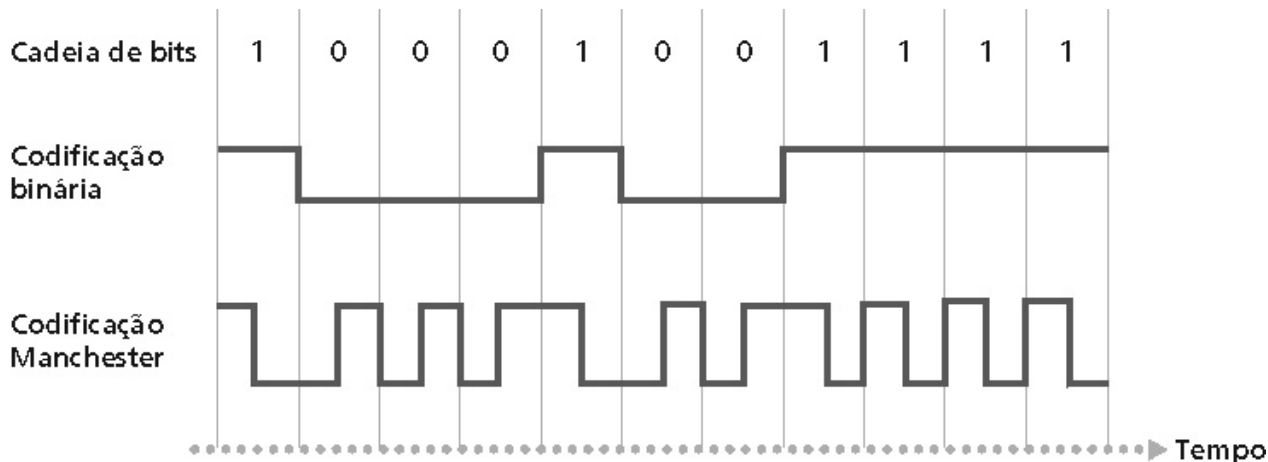
- A Ethernet usa transmissão em banda-base, isto é, um adaptador envia um sinal digital diretamente ao canal:
  - A placa não desloca o sinal para outra banda de frequência como é feito nos sistemas ADSL e de modem a cabo;
  - Muitas tecnologias Ethernet também usam a codificação Manchester:



# Codificação Manchester

## ■ Considerações:

- Cada bit contém uma transição; um 1 tem a transição de cima para baixo, ao passo que um 0 tem uma transição de baixo para cima;
- A razão para o uso da codificação Manchester é que os relógios nos adaptadores remetentes e receptores não estão perfeitamente sincronizados;



# Tecnologias Ethernet

- Em 2004, as tecnologias Ethernet mais comuns eram a 10BaseT e a 100BaseT:
  - usam pares de fios trançados de cobre em topologia estrela;
  - velocidades de transmissão de 10 Mbps e 100Mbps, respectivamente;
- Essas tecnologias Ethernet estão padronizadas pelos grupos de trabalho IEEE 802.3, por isso, quase sempre denominada LAN 802.3
  - Conhecidas também de "fast Ethernet";

# Tecnologias Ethernet

- A figura abaixo ilustra as tecnologias 10BaseT e 100BaseT:



- T significa "Twisted Pair" (Par de fios trançados de cobre)
- Na extremidade da conexão, há um conector RJ-45
- O comprimento máximo da conexão entre os adaptadores e o hub é 100 metros

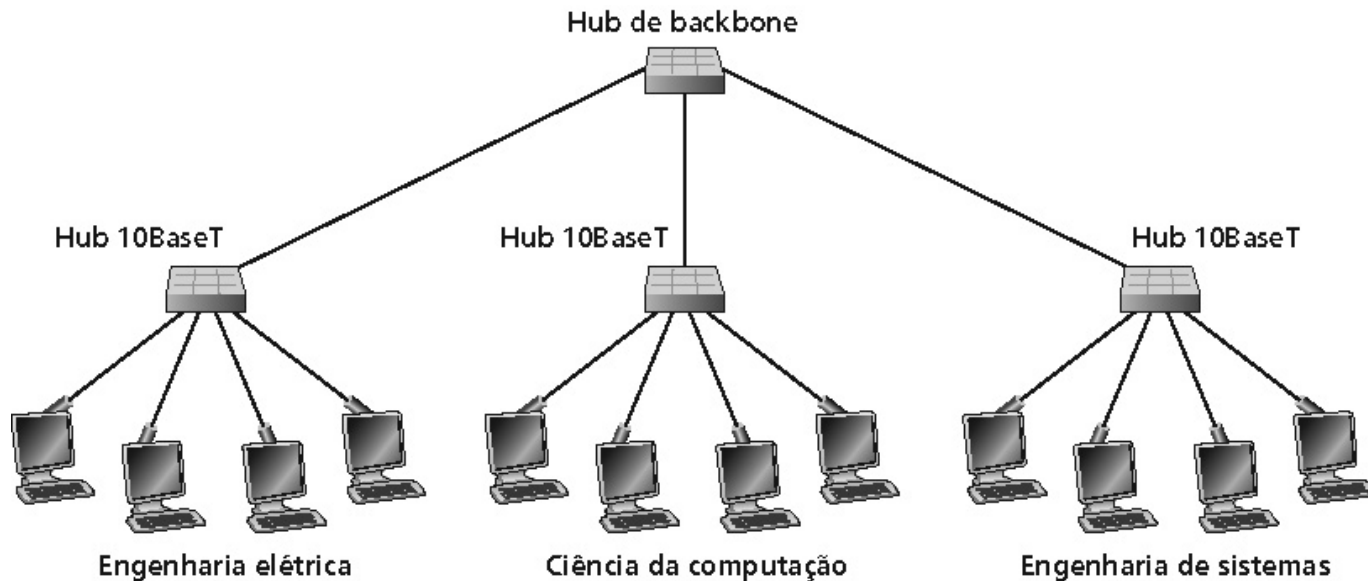
# Tecnologias Ethernet

- A rede Gigabit Ethernet é uma extensão dos muito bem sucedidos padrões 10 Mbps e 100 Mbps;
  - A Gigabit apresenta o padrão de funcionamento descrito no IEEE 802.3z
- Considerações:
  - Usa o formato padrão do quadro Ethernet e é compatível com as tecnologias 10BaseT e 100BaseT;
  - Permite enlaces ponto-a-ponto (comutadores), bem como canais broadcast compartilhados (hubs);
  - Utiliza CSMA/CD
  - Permite operações full-duplex a 1.000 Mbps;



# Interconexões

- O modo mais simples de interconectar LANs é utilizar Hubs;



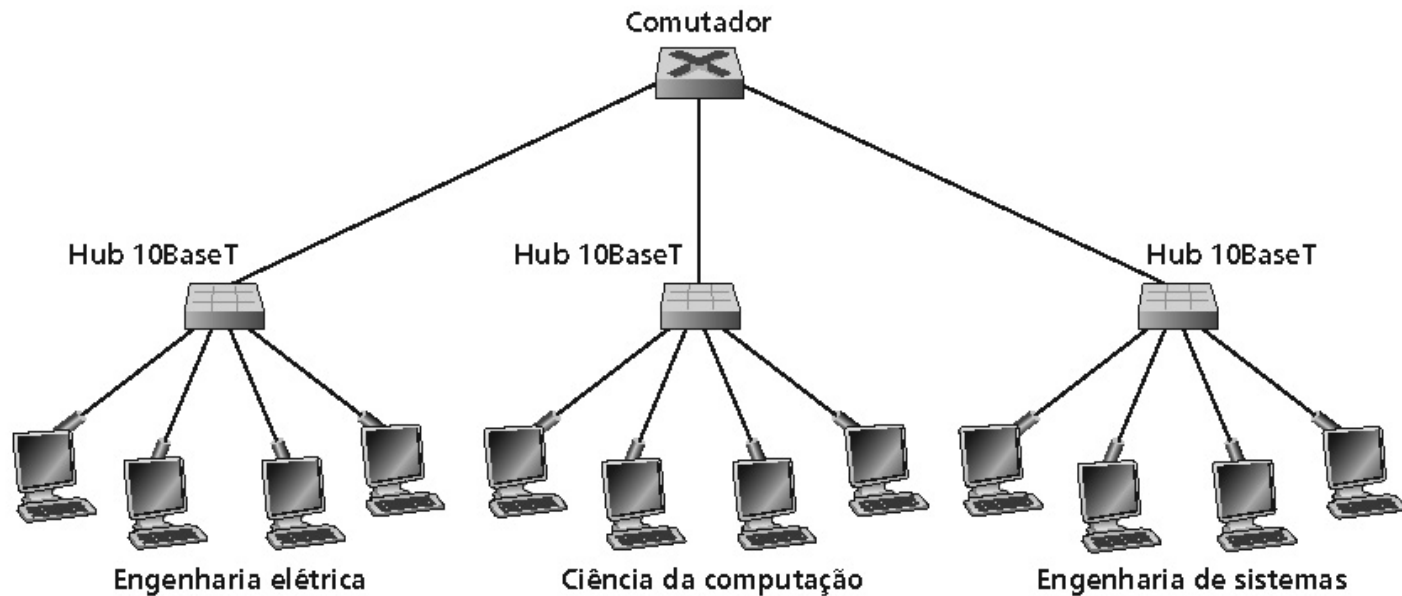
- Desvantagens: Amplia o domínio de colisão e não permite interconectar 10BaseT e 100BaseT

# Interconexões

- Em contraste com os Hubs que são dispositivos de camada física, comutadores de camada de enlace (**Comutadores ou simplesmente, switches**) agem sobre quadros Ethernet;
- Quando um quadro chega à interface de um comutador, ele examina o endereço de destino do quadro e tenta repassá-lo para a interface que leva a esse destino;
- Quando um quadro está para ser encaminhado no segmento, usa CSMA/CD para acessar o segmento

# Interconexões

- Permite a separação de sub-redes, veja:

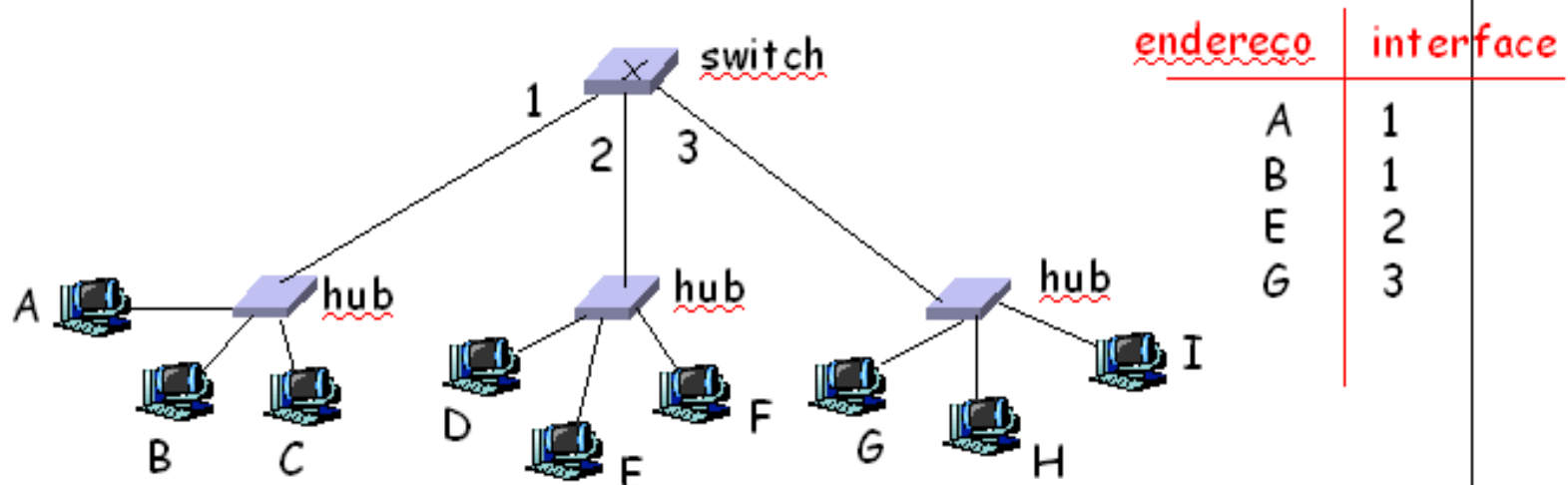


Legenda:  Link-layer switch

- Como determinar qual segmento de LAN encaminhar o quadro?

# Interconexões

Suponha que C envia um quadro para D



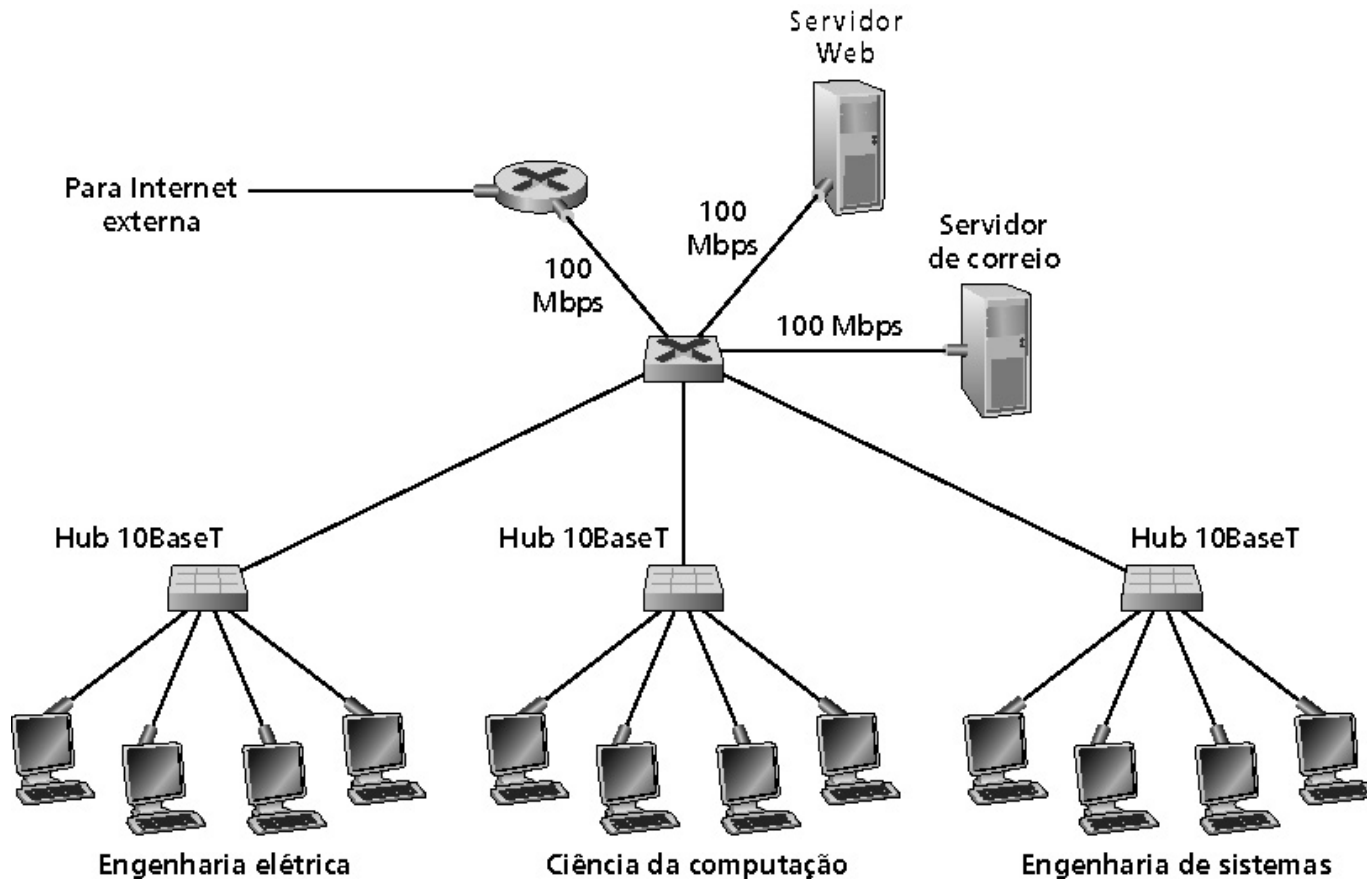
- Switch recebe o quadro de C
  - Anota na tabela que C está na interface 1
  - Como D não está na tabela, o switch encaminha o quadro para as interfaces 2 e 3
- Quadro recebido por D

# Interconexões

- Vejamos alguns conceitos:
  - **Filtragem:** Capacidade de um comutador determinar se um quadro deve ser repassado para alguma interface ou se deve apenas ser descartado;
  - **Repasse:** capacidade de determinar as interfaces para as quais um quadro deve ser dirigido e então dirigir o quadro;
  - Filtragem e repasse por comutadores são feitos com uma **tabela de comutação**;
  - A tabela de comutação contém registros para alguns nós da LAN, mas não necessariamente para todos;

# Interconexões

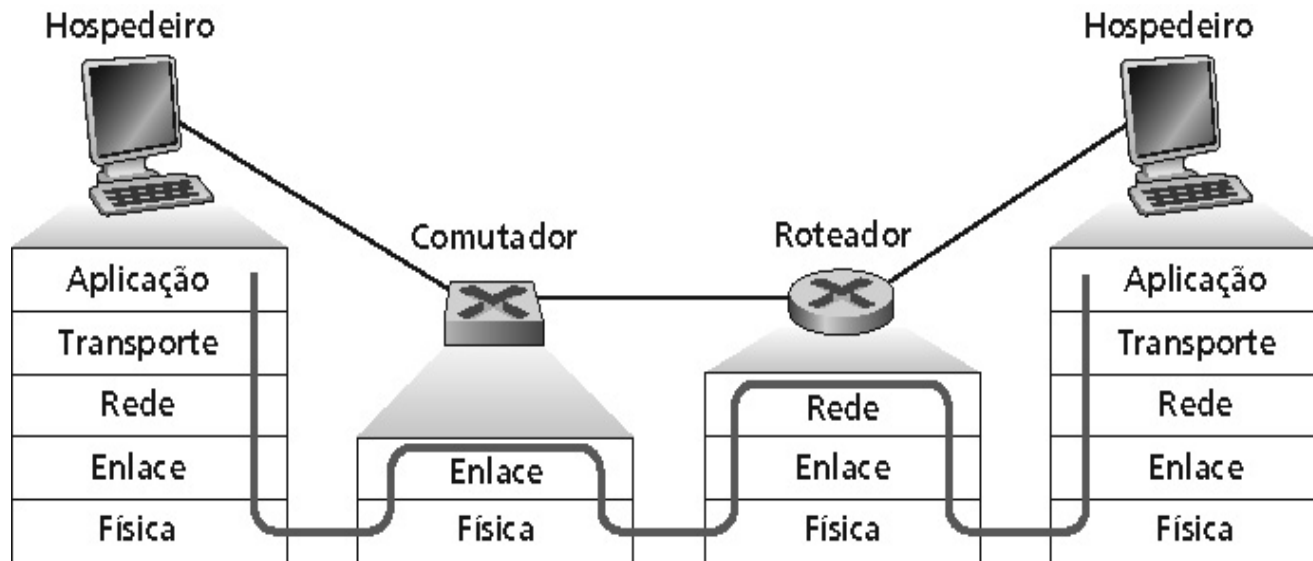
- Combinação entre Hubs, comutadores e um roteador:



# Interconexões

## ■ Portanto:

- Roteadores mantêm tabelas de roteamento, implementam algoritmos de roteamento
- Switches mantêm tabelas de switch, implementam filtragem, algoritmos de aprendizagem



# Bibliografia

- KUROSE, J.F e ROSS, K.W.: *Computer Networking third edition a top-down approach featuring the Internet*, 3 ed, São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2006.
- TANENBAUM, A.S.: *Redes de Computadores*, Elsevier, Rio de Janeiro: 2003.