

Tecnologia de Redes

Protocolo Ethernet

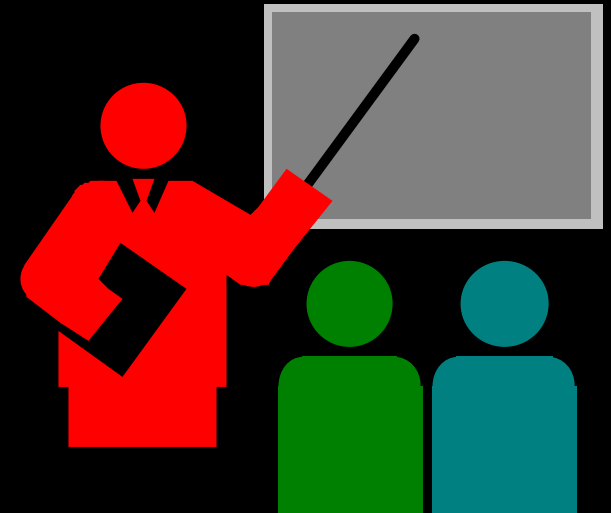
Volnys Borges Bernal
volnys@lsi.usp.br
<http://www.lsi.usp.br/~volnys>



Agenda

- ❑ **Protocolo Aloha**
- ❑ **Protocolo Ethernet**
- ❑ **Protocolo IEEE 802.x**

Protocollo Aloha

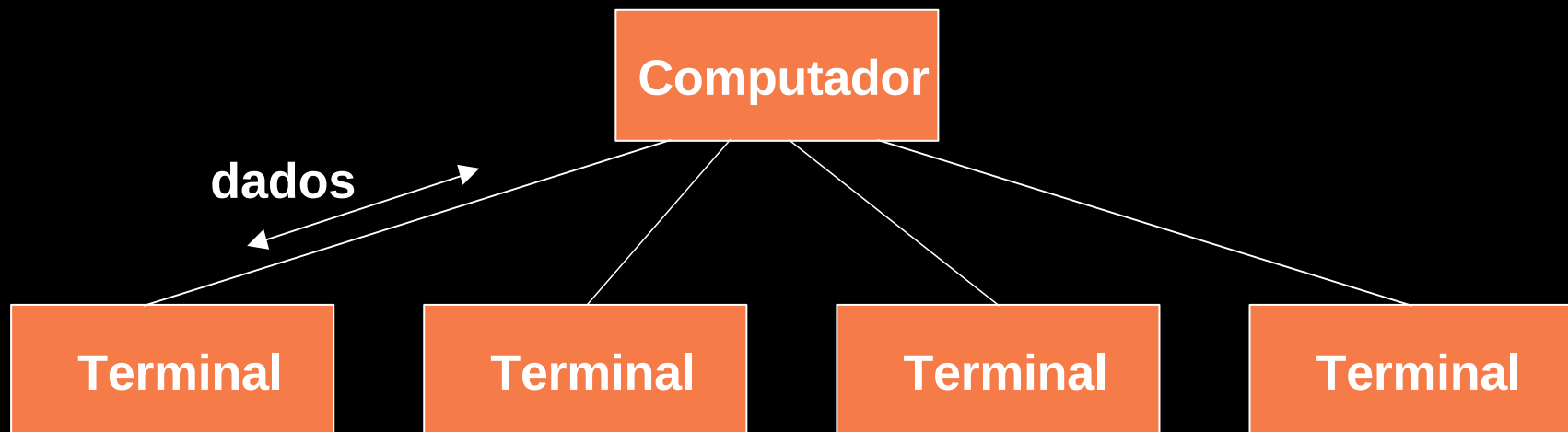


Protocolo Aloha

❑ **Protocolo de acesso ao meio desenvolvido para a “Rede Aloha”**

❑ **Rede Aloha**

- * **Rede de radiodifusão via satélite que começou a operar em 1970**
- * **Objetivo era interligar o computador do centro de computação da Universidade do Havaí aos terminais localizados na mesma ilha ou em outras ilhas**



Protocolo Aloha

❑ Funcionamento

* Existem somente dois canais de comunicação

⇒ um canal para transmissão do computador aos terminais

- ◆ transmissores:

- somente o computador central possui transmissor

- ◆ receptores

- cada terminal possui um receptor para este canal

⇒ um canal para transmissão dos terminais ao computador

- ◆ transmissores:

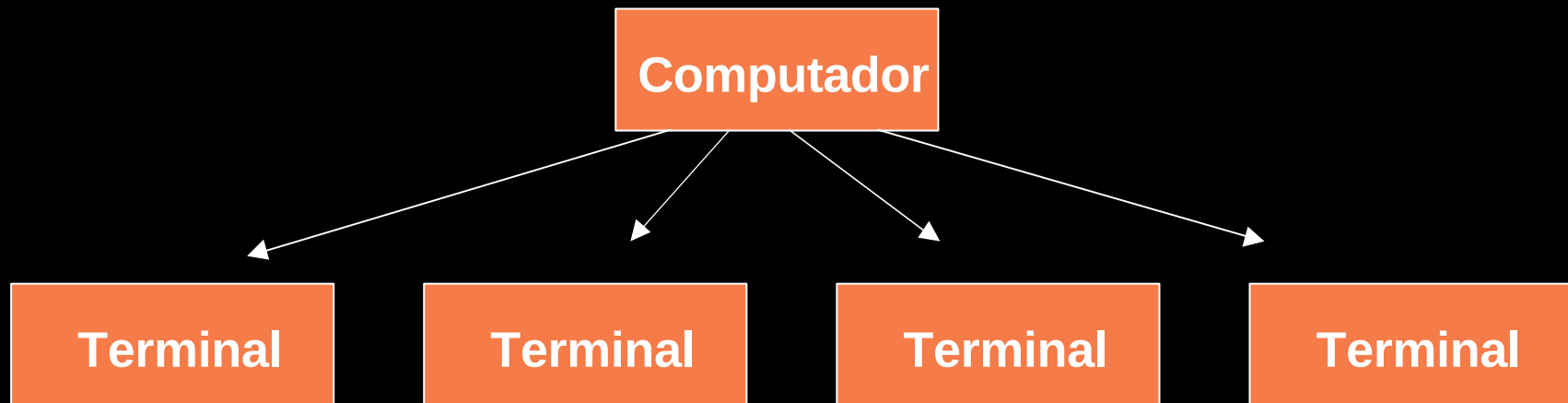
- cada terminal possui um dispositivo transmissor para este canal

- ◆ receptores

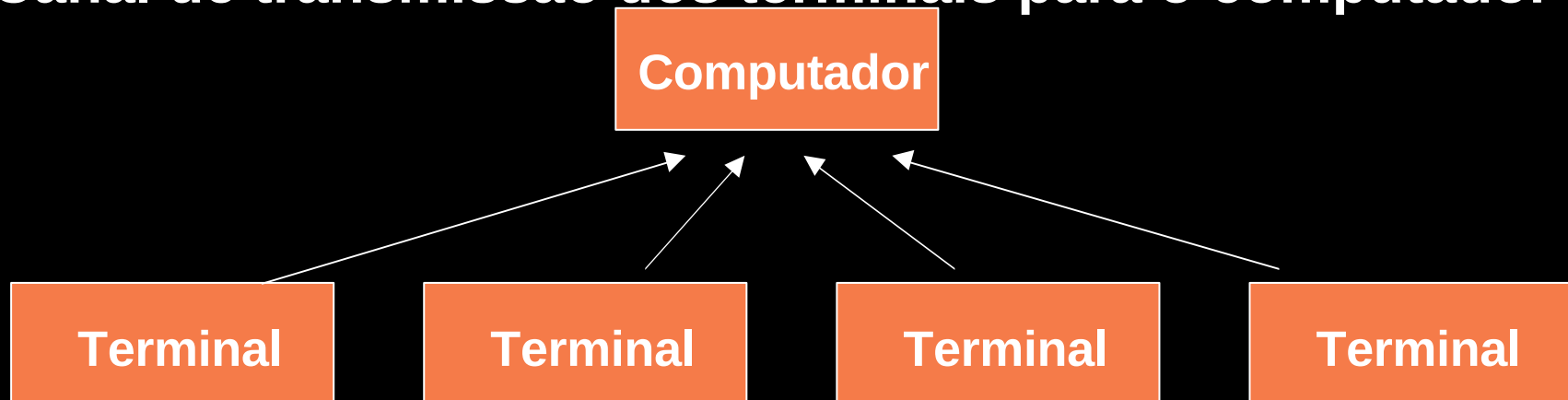
- somente o computador central possui um receptor

Protocolo Aloha

- ❑ Canal de transmissão do computador para os terminais



- ❑ Canal de transmissão dos terminais para o computador



Protocolo Aloha

❑ Topologia

- * Topologia física: estrela
- * Topologia lógica: barramento

❑ Problema:

- * Colisão:
 - ⇒ Dois ou mais terminais transmitindo ao mesmo tempo
- * **Necessário implementar um método de acesso ao meio**

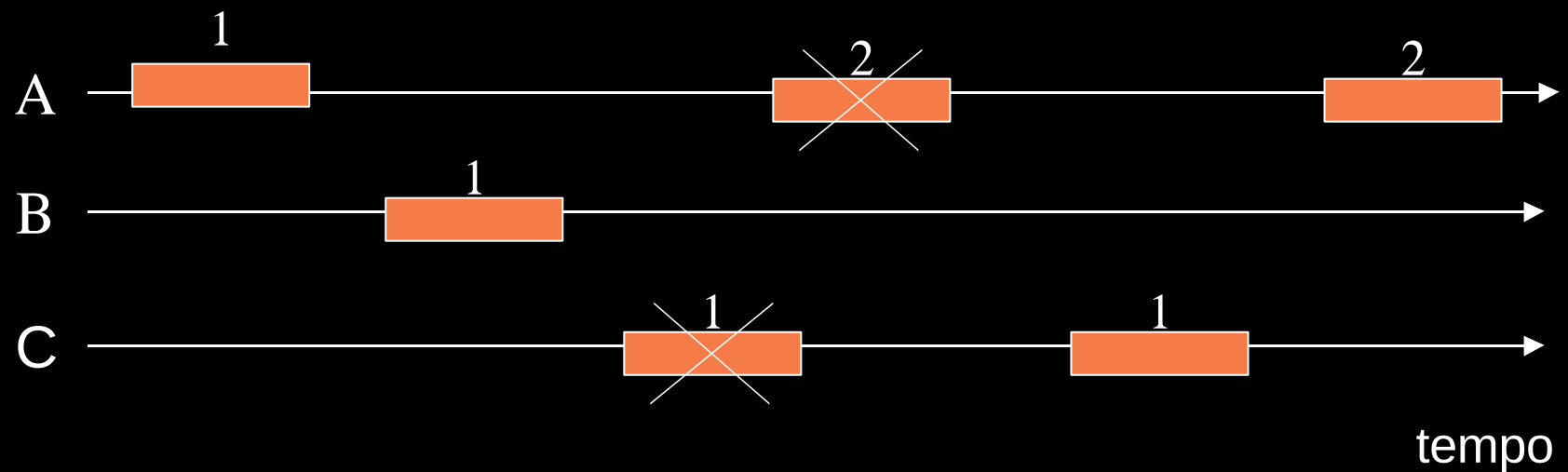
Protocolo Aloha

❑ Método de acesso ao meio

- ✱ Quando um terminal tem um quadro para transmitir ele o transmite, independente do canal estar sendo utilizado ou não
- ✱ Após a transmissão é disparado um relógio temporizador, com tempo aleatório
- ✱ Se após este período não chega uma mensagem de “reconhecimento de transmissão” não chegar após o intervalo, este é transmitido novamente
- ✱ O receptor no centro de computação é capaz de detectar quando ocorre uma colisão pela verificação do CRC (Código de Redundância Cíclica)

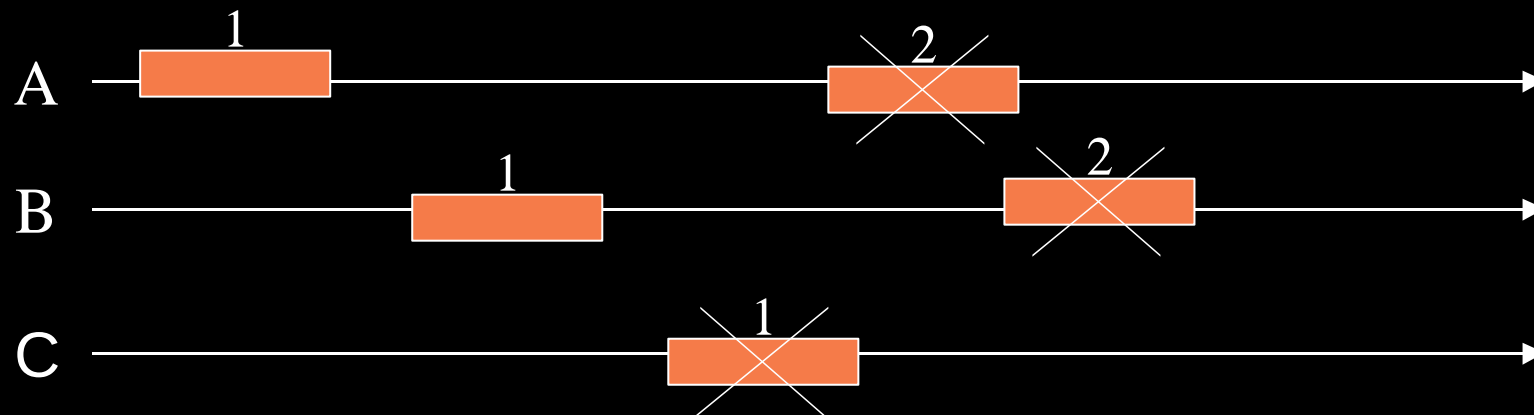
Protocolo Aloha

❑ Colisão e retransmissão



Protocolo Aloha

❑ Colisão no protocolo aloha

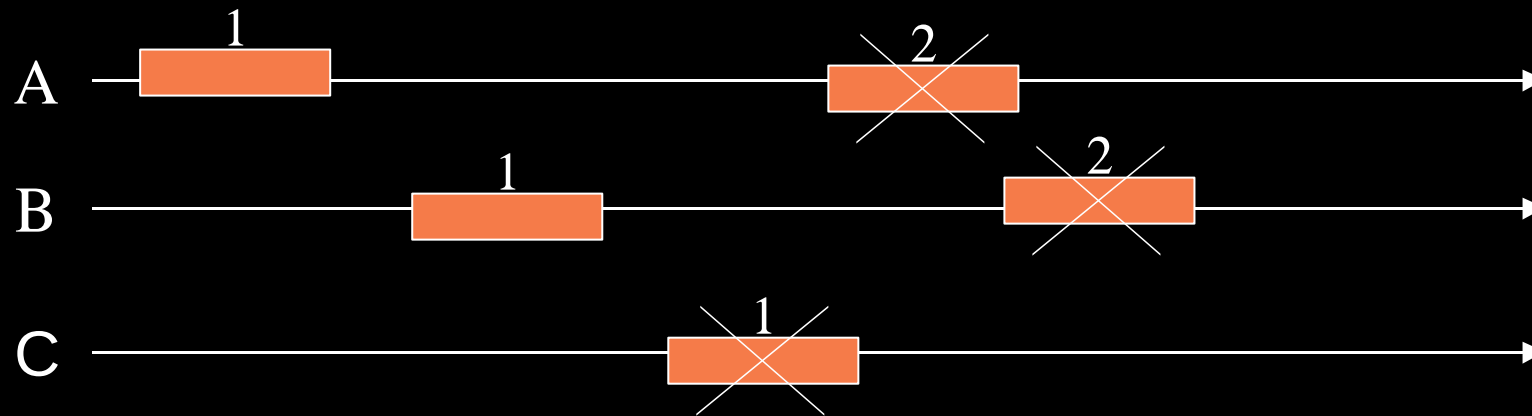


* Melhoria:

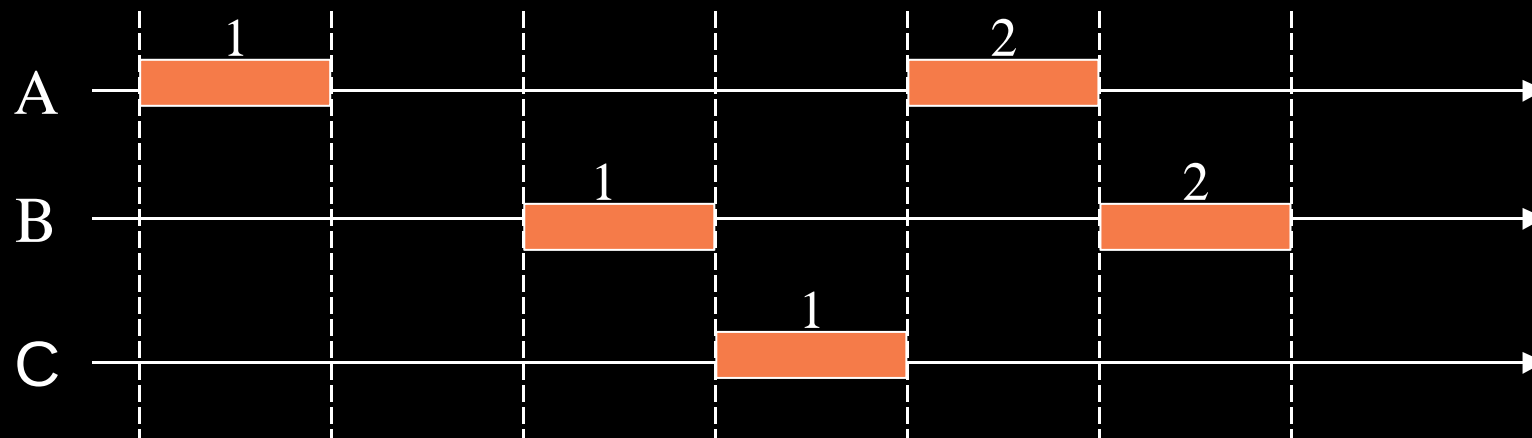
⇒ O ideal seria que os quadros em colisão se sobreponham o máximo possível

Protocolo Slotted-Aloha

❑ Aloha

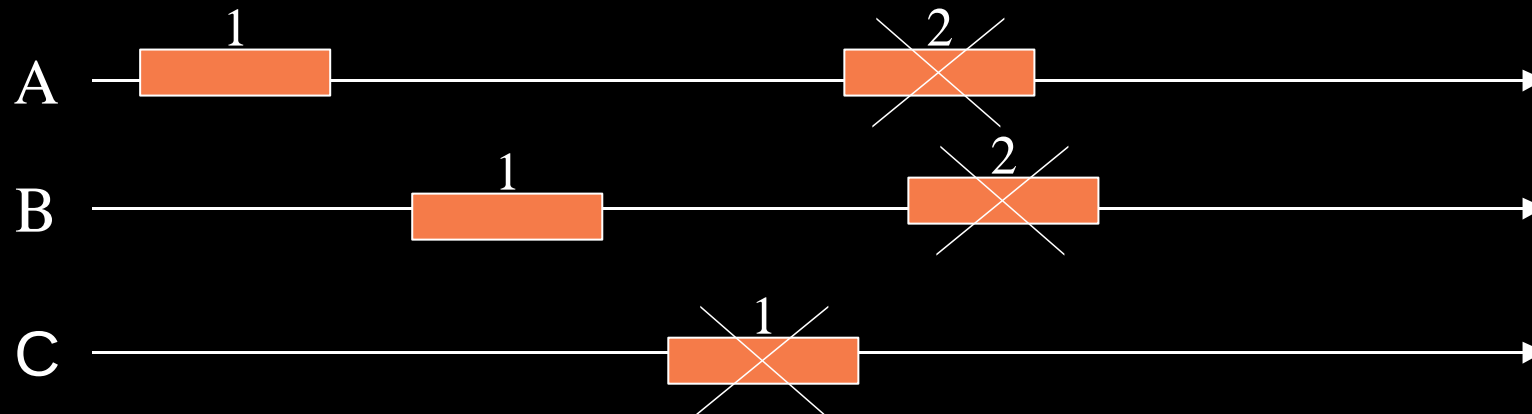


❑ Slotted-Aloha

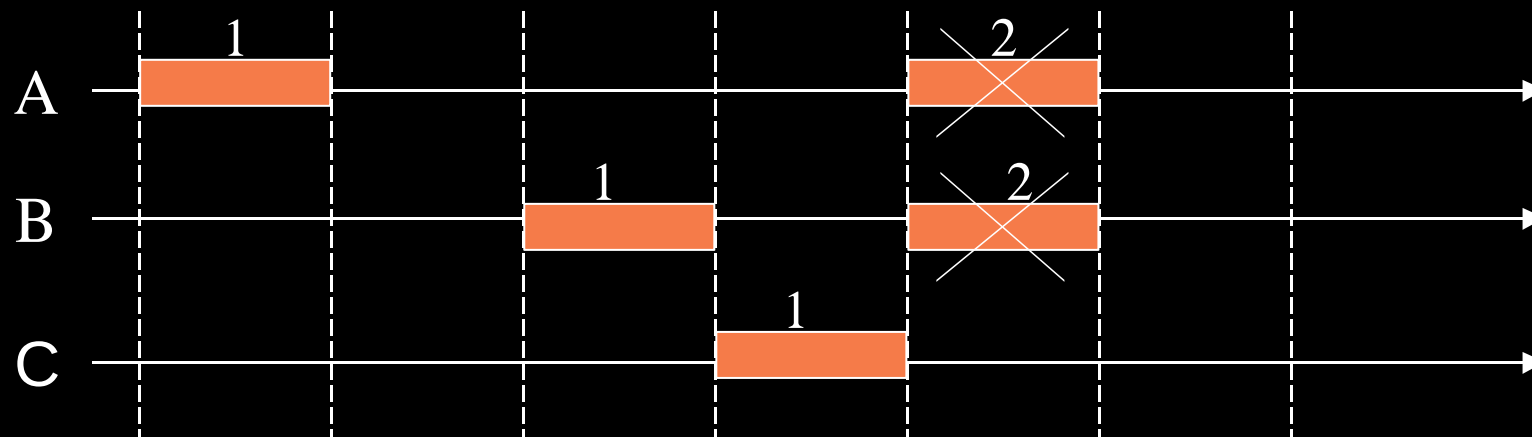


Protocolo Aloha

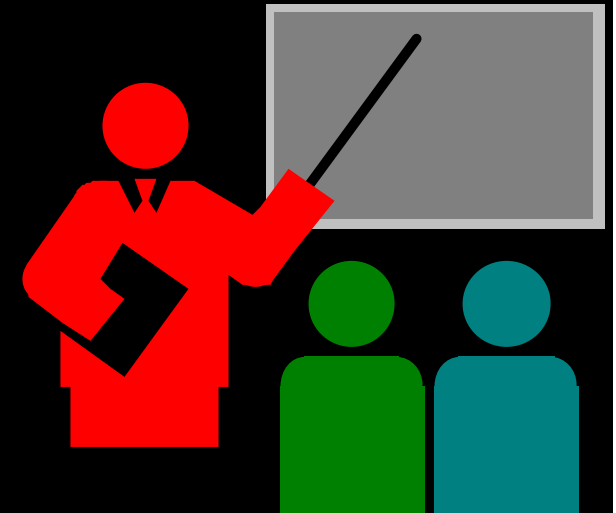
❑ Aloha



❑ Slotted-Aloha



Protocolo Ethernet



Ethernet

❑ Protocolo Ethernet

- ✱ **Protocolo padrão da Internet (pilha TCP/IP) para a camada intra-rede em redes locais**

- ✱ **Características**

 - ⇒ tipo de rede lógica: multiponto (barramento)

 - ⇒ protocolo de acesso ao meio: CSMA/CD

- ✱ **Objetivo:**

 - ⇒ Transferência de pacotes para máquinas que estão na mesma rede

- ✱ **O termo “Ethernet”**

 - ⇒ geralmente se refere ao padrão publicado em 1982 pela Digital e Xerox

 - ⇒ Existe um padrão similar definido pelo IEEE (será visto logo em seguida)

Ethernet

OSI

Aplicação

Aplicação

Apresentação

Sessão

Transporte

Rede

Enlace

Físico

meio físico

TCP/IP

Aplicação

Aplicação

Transporte

Rede

Intra-rede

meio físico

FTP, DNS,
Telnet, HTTP,
SMTP, POP,
IMAP, SNMP,

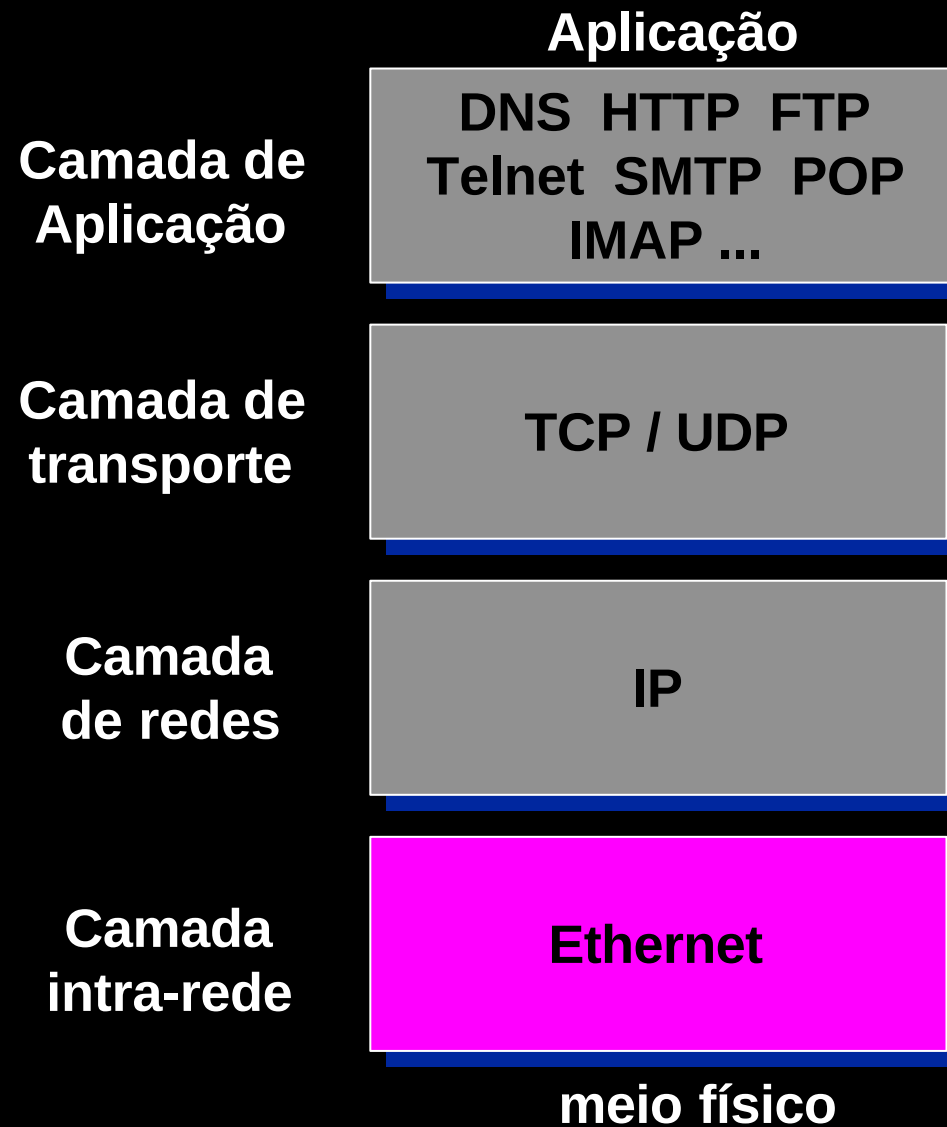
...

UDP, TCP

IP

Ethernet (barramento)
SLIP (ponto-a-ponto)
PPP (ponto-a-ponto)

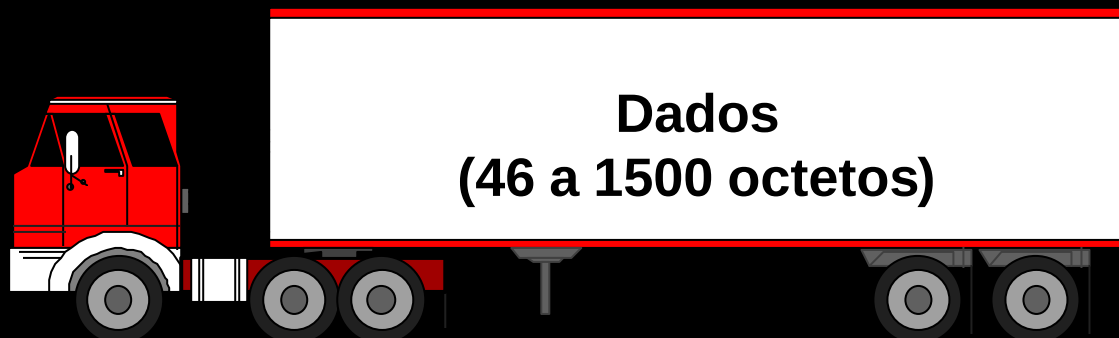
Ethernet



Ethernet

❑ Pacote Ethernet

- * O pacote Ethernet é responsável pela transmissão de dados entre máquinas de uma mesma rede local que se utiliza do protocolo Ethernet
- * Para um dado ser transmitido para outra máquina é necessário coloca-lo dentro de um pacote Ethernet
- * Pode-se fazer uma analogia entre o pacote Ethernet e um caminhão:
 - ⇒ Pacote ethernet: Caminhão
 - ⇒ Dado transportado: Container



Ethernet

❑ Endereço Ethernet

* Também chamado de

- ⇒ endereço físico
- ⇒ endereço de hardware
- ⇒ ou endereço MAC

* Composto por 6 bytes

- ⇒ Exemplo de endereço Ethernet: 00:C0:D2:A1:B8:32

* O endereço Ethernet vem definido com a placa de rede

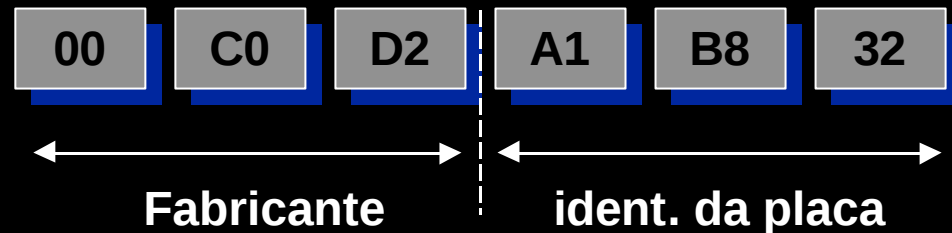
* Cada placa de rede possui um endereço físico distinto

* Endereços adotados pelos fabricantes é organizado pela IANA

- ⇒ IANA - Internet Assigned Numbers Authority

- ⇒ <http://www.iana.org>

- ◆ selecione *link* “Protocol Numbers and Assignment Services”
- ◆ selecione *link* “Ethernet Numbers”
- ◆ É apresentada uma lista parcial (a segunda) dos fabricantes



Ethernet

❑ Para mostrar o endereço Ethernet no Windows

ipconfig -all

```
Host Name           : angra.site.com.br
DNS Servers         : 10.0.161.200
                   : 192.168.10.13
Node Type           : Hybrid
NetBIOS Scope IP    :
IP Routing Enabled  : No
WINS Proxy Enabled  : No
NetBIOS Resolution Uses DNS: Yes
```

0 Ethernet Adapter:

```
Description          : DEC DC21140 PCI Fast Eth Adapter
Physical Address      : 00-60-67-30-D3-0D
DHCP Enable           : No
IP Address            : 10.0.161.50
Subnet Mask           : 255.255.254.0
Default Gateway       : 10.0.161.254
Primary WINS Server   : 10.0.161.185
Secondary WINS Server : 10.0.161.186
```

Ethernet

❑ Para mostrar o endereço Ethernet no UNIX

```
/sbin/ifconfig -a
```

```
lo      Link encap:Local Loopback
        inet:127.0.0.1 Mask:255.0.0.0
        UP LOOPBACK RUNNING MULTICAST  MTU:3924  Metric:1
        RXpackets:3205 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
        Txpackets:3205 errors:0 drppped:0 oversuns:0 carrier:0
        collisions:0 txqueuelen:0

eth0    Link encap: Ethernet HWaddr 00:80:AD:1A:93:87
        inet:10.0.161.59 Bcast:10.0.161.255 Mask:255.255.254.0
        UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
        RXpackets:5823 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:259
        Txpackets:4606 errors:0 drppped:0 oversuns:0 carrier:0
        collisions:381 txqueuelen:100
        Interrupt:10    Base Address:0x340
```

Exercício

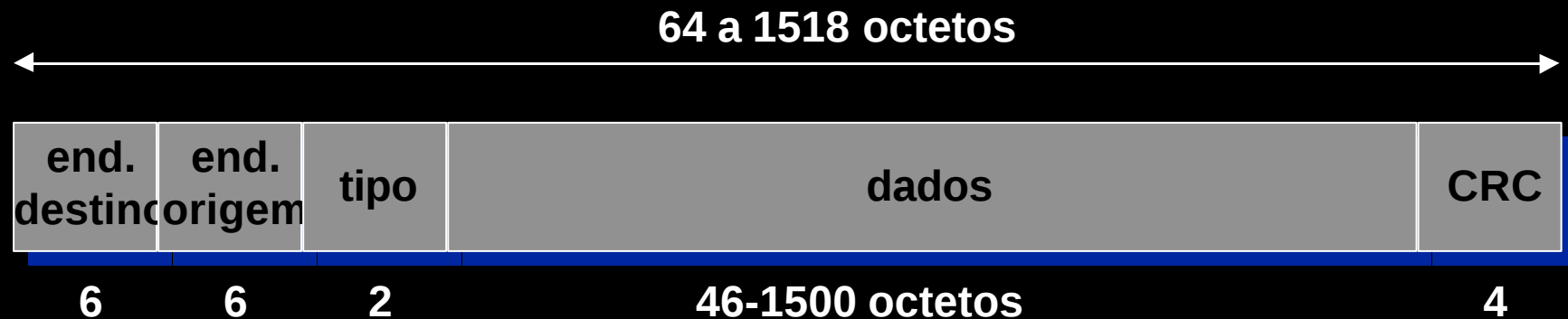
(1) A respeito de endereços ethernet, responda:

- (a) Descubra o endereço Ethernet de sua máquina**
- (b) Qual é o número do fabricante representado neste endereço Ethernet?**
- (c) A partir deste número, descubra o fabricante (utilize uma lista de números de fabricantes)**
- (d) Converta o endereço ethernet para o valor binário**
- (e) Qual o valor do oitavo bit do endereço Ethernet de seu computador?**

Ethernet

❑ Pacote Ethernet

- * **Endereço Destino** : endereço Ethernet do destinatário
- * **Endereço Origem** : endereço Ethernet do emissor
- * **Tipo** : tipo de dado sendo transmitido
- * **Dados** : container de dados
- * **CRC** : Código de Redundância Cíclica



Ethernet

❑ Pacote Ethernet

* Campo “Tipo”

⇒ Define o tipo da informação que o pacote ethernet está transportando

⇒ Alguns valores mais utilizados:

- ◆ IP v4 : 0800
- ◆ ARP : 0806
- ◆ RARP : 8035

⇒ Uma lista parcial dos valores possíveis está em:

- ◆ <http://www.iana.org>

→ *link* “Protocol Numbers and Assignment Services”

→ *link* “Ethernet Numbers”

→ A primeira lista apresentada no documento é uma lista parcial dos possíveis valores deste campo

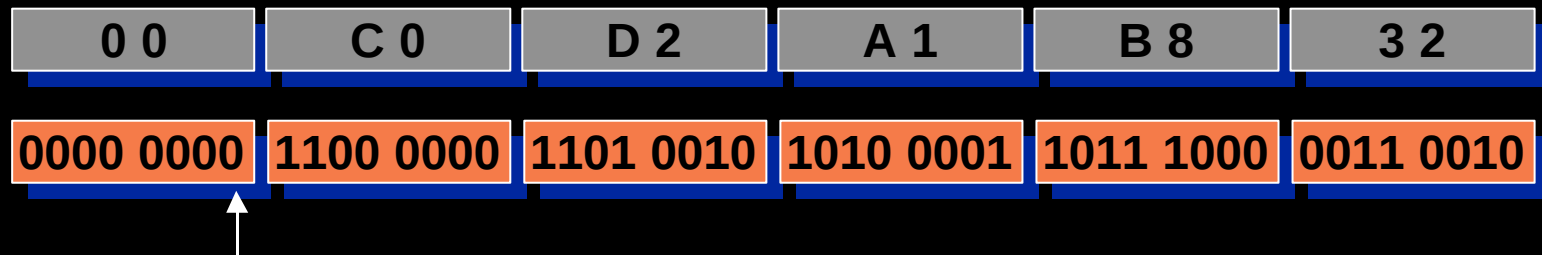
Ethernet

❑ Transmissão UNICAST

✱ **Endereço Destino: Endereço Ethernet da máquina destino**

⇒ Neste caso, oitavo bit do endereço ethernet destino sempre terá valor 0 (o oitavo bit é o primeiro bit a ser transmitido no fio!).

⇒ Exemplo:



❑ Transmissão Broadcast

✱ **Endereço Destino: FF-FF-FF-FF-FF-FF**

❑ Transmissão Multicast

✱ **Endereço Destino: endereço multicast (um endereço ethernet com o oitavo bit do endereço ethernet destino = 1)**

Ethernet

❑ MTU

- * *Maximum Transmission Unit*
- * Unidade máxima de transmissão

❑ Fragmentação

- * Quando o pacote a ser transmitido é maior do que o MTU o pacote deve ser fragmentado (dividido em várias partes)

Exercício

(1) Sejam dois computadores (A e B) ligados a uma mesma rede local que utiliza o protocolo Ethernet

Computador A:

Nome: terra

Endereço IP: 10.0.0.1

Endereço Ethernet: 00:C0:24:A5:43:8B

Computador B:

Nome: marte

Endereço IP: 10.0.0.2

Endereço Ethernet: 00:C0:24:A5:48:55

Mostre como seria o formato do pacote Ethernet resultante de uma transmissão unicast de A para B. Suponha que o pacote Ethernet esteja carregando um pacote IP com 125 octetos.

Exercício

(2) Seja um computador A ligado a uma rede local que utiliza o protocolo Ethernet

Computador A:

Nome: terra

Endereço IP: 10.0.0.1

Endereço Ethernet: 00:C0:24:A5:43:8B

Mostre como seria o formato do pacote Ethernet resultante de uma transmissão broadcast por A. Suponha que o pacote Ethernet esteja carregando um pacote ARP com 28 octetos.

(3) Em um pacote Ethernet qual deve ser o valor do campo tipo se estiver sendo transportado um pacote IPv6 (IP versão 6)?

(4) Qual o valor do parâmetro MTU associado à interface Ethernet de sua máquina?

Ethernet

❑ Método de acesso ao meio utilizado no Ethernet:

* CSMA/CD

⇒ *Carrier Sense, Multiple Access with Collision Detection*

⇒ *Carrier Sense*

- ◆ Antes de transmitir é verificado se o meio está disponível

⇒ *Multiple Access*

- ◆ Vários equipamentos podem transmitir no mesmo meio (rede multiponto: barramento)

⇒ *Collision Detection*

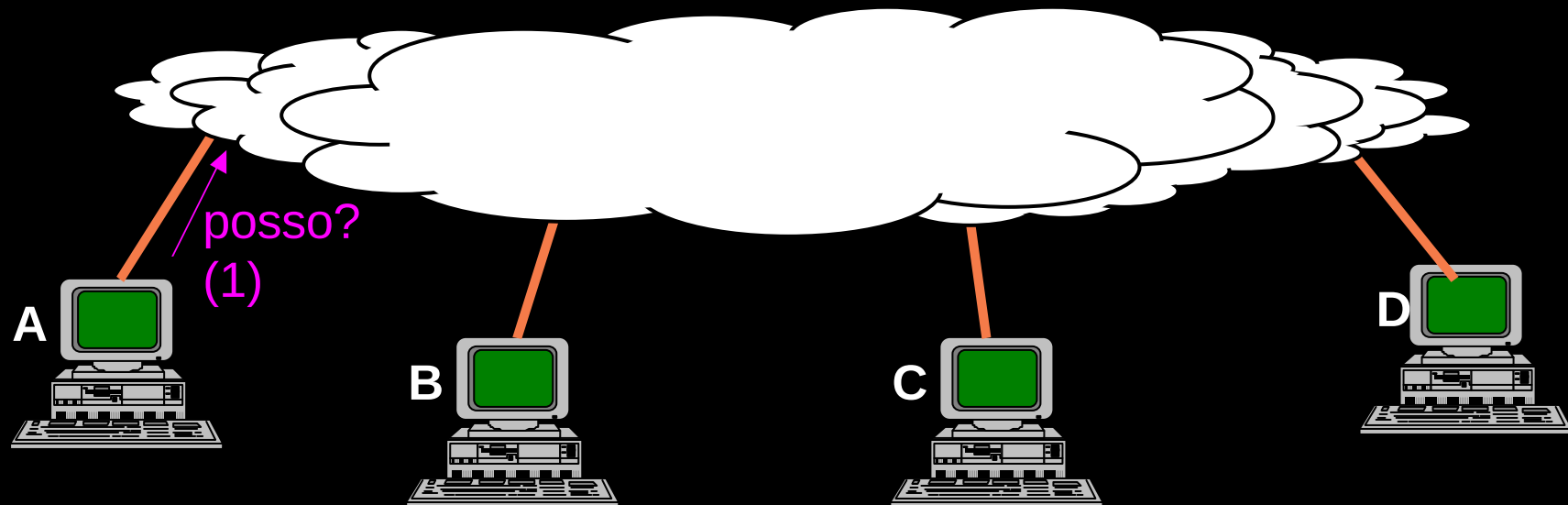
- ◆ Durante a transmissão do pacote é verificado se ocorreu uma colisão

Ethernet

❑ Funcionamento do CSMA/CD

* (1) O equipamento A deseja transmitir um pacote

- ⇒ Se o meio estiver ocupado (existe algum pacote sendo transmitido), aguarda
- ⇒ Se o meio está disponível (não existe nenhum pacote sendo transmitido), transmite o pacote

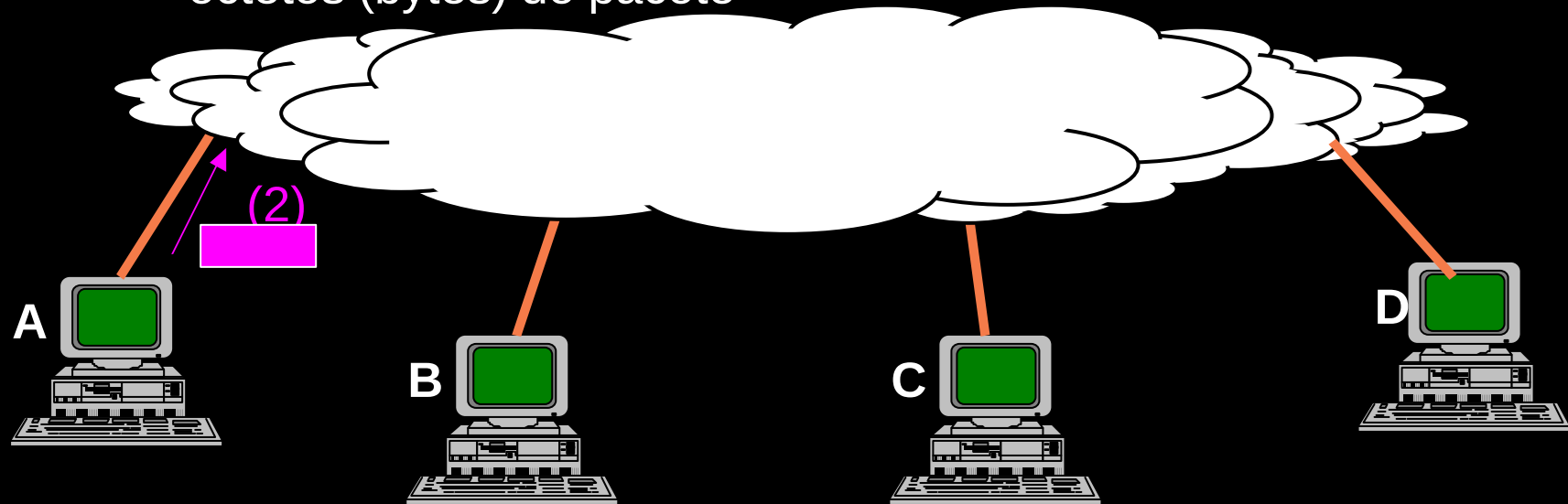


Ethernet

❑ Funcionamento do CSMA/CD

* (2) Durante a transmissão do pacote, verifica se não ocorreu colisão

- ⇒ A colisão ocorre quando dois ou mais equipamentos transmitem pacotes ao mesmo tempo, misturando o sinal
- ⇒ O padrão define que a colisão, quando existir, deve obrigatoriamente ocorrer durante a transmissão dos primeiros 64 octetos (bytes) do pacote

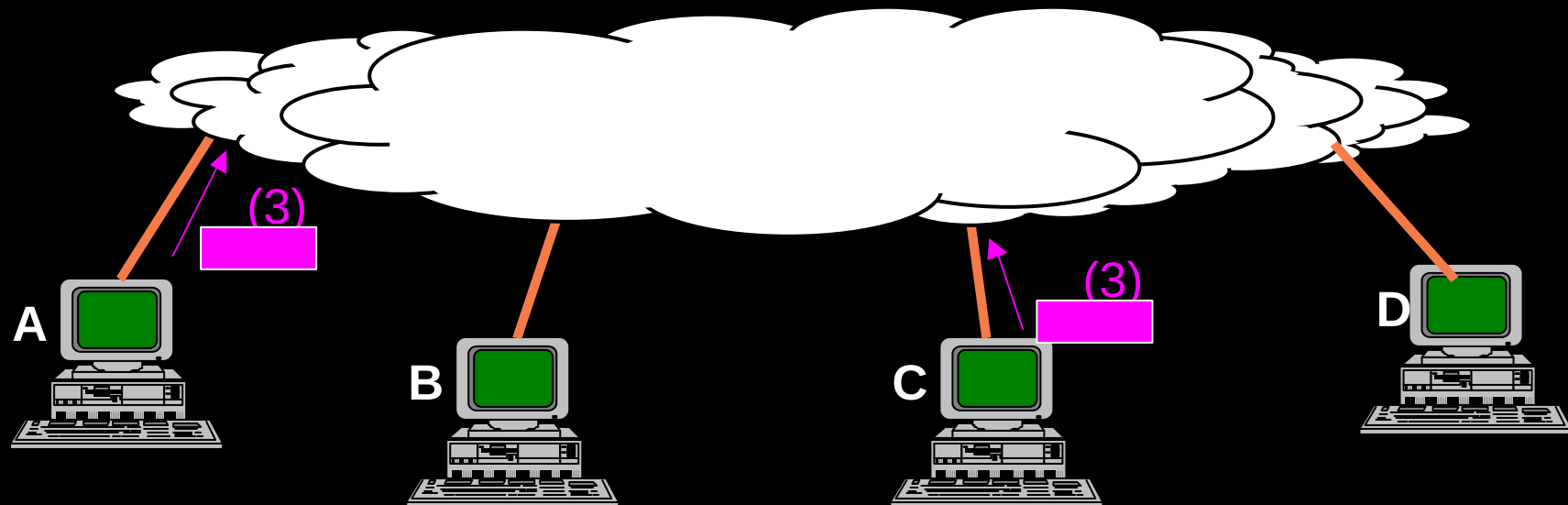


Ethernet

❑ Funcionamento do CSMA/CD

* (3) Se ocorrer uma colisão

- ⇒ o equipamento para imediatamente a transmissão do pacote e transmite um sinal especial (jam) indicando a ocorrência de colisão
- ⇒ aguarda um tempo aleatório
- ⇒ se o meio estiver disponível, tenta novamente transmitir



Ethernet

❑ Colisão

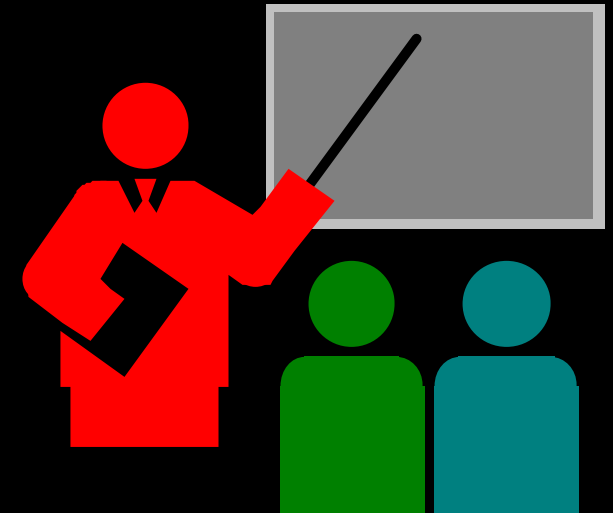
* Detecção

- ⇒ A colisão é detectada pela própria placa de rede através da comparação do sinal transmitido com o sinal recebido
- ⇒ Se este sinal for diferente, a placa supõe que tenha ocorrido uma colisão
- ⇒ Quando detectada uma colisão, a placa envia um sinal especial (jam) indicando às outras máquinas que ocorreu uma colisão

* Ocorrência

- ⇒ Nas redes Ethernet sempre ocorrem colisões
- ⇒ Porém, um numero excessivo de colisões pode indicar que o meio (barramento) possui:
 - ◆ quantidade muito grande de equipamentos interconectados
 - ◆ equipamentos com taxa de comunicação muito alta
 - ◆ ambas as anteriores

Protocolo IEEE 802.x

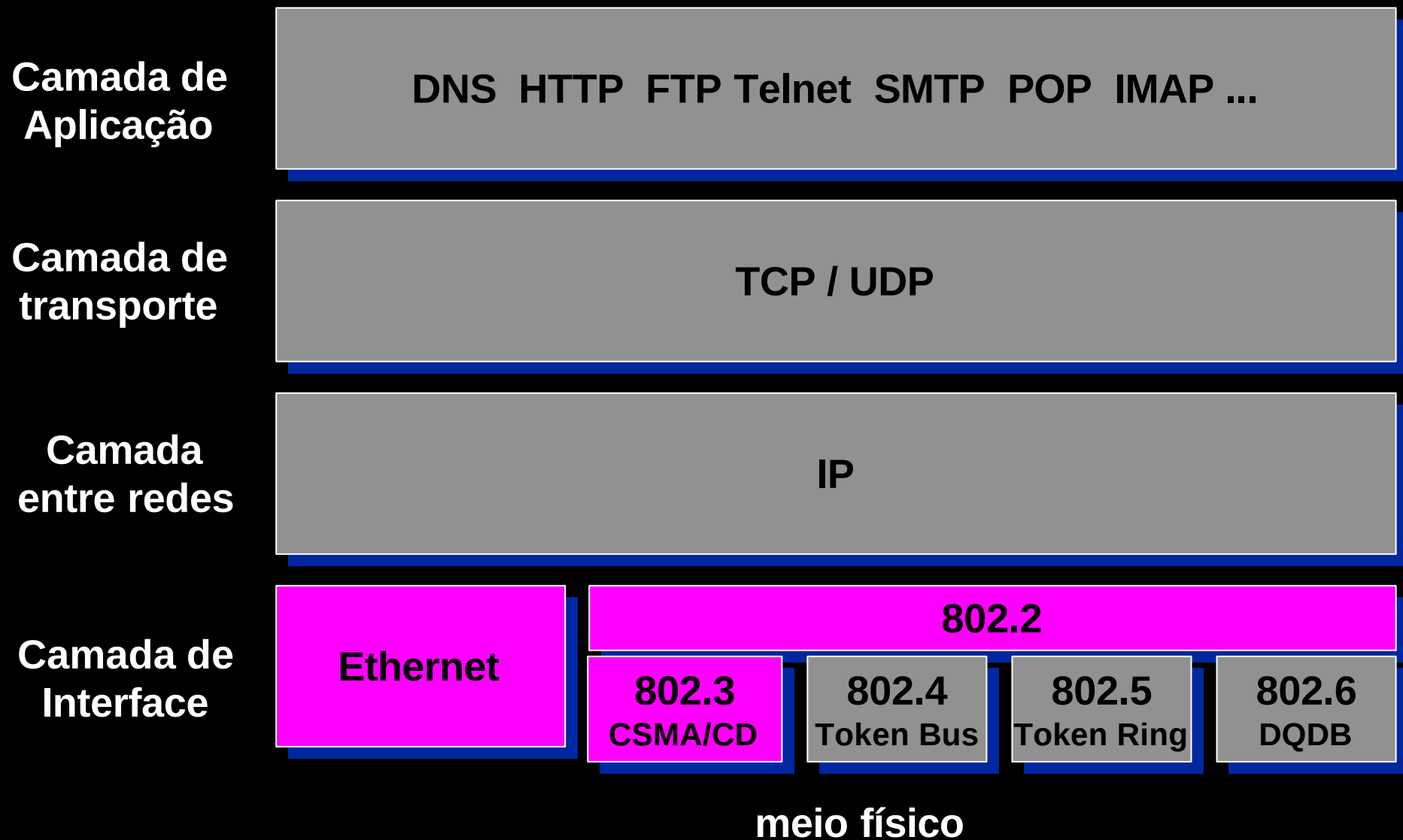


Protocolo IEEE 802.x

❑ Padrão 802

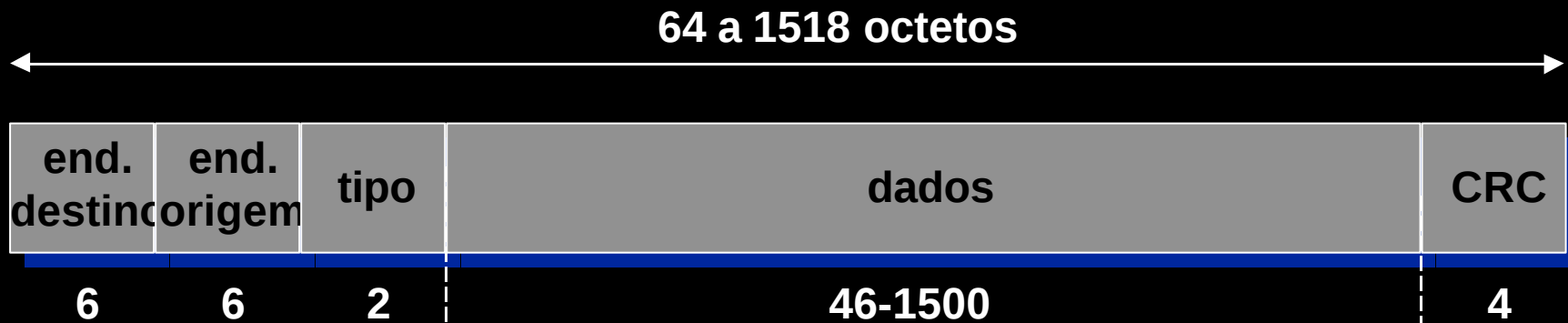
- * Alguns anos após a definição do Ethernet o IEEE (Instituto dos Engenheiros Eletrônicos e Eletricistas) definiu o padrão IEEE 802.2, semelhante ao padrão Ethernet
- * O IEEE 802 divide a camada inter-redes em tres sub-camadas:
 - ⇒ LLC - Logical Link Control
 - ⇒ MAC - Medium Access Control
 - ⇒ Físico
- * Assim, é possível utilizar outros métodos de acesso ao meio, não necessariamente CSMA/CD:
 - ⇒ 802.2 + 802.3 - CSMA/CD
 - ⇒ 802.2 + 802.4 - token bus
 - ⇒ 802.2 + 802.5 - token ring
 - ⇒ 802.2.+ 802.6 - DQDB
- * Ethernet: semelhante ao Protocolo IEEE 802.2 + IEEE 802.3

Ethernet & IEEE 802.x

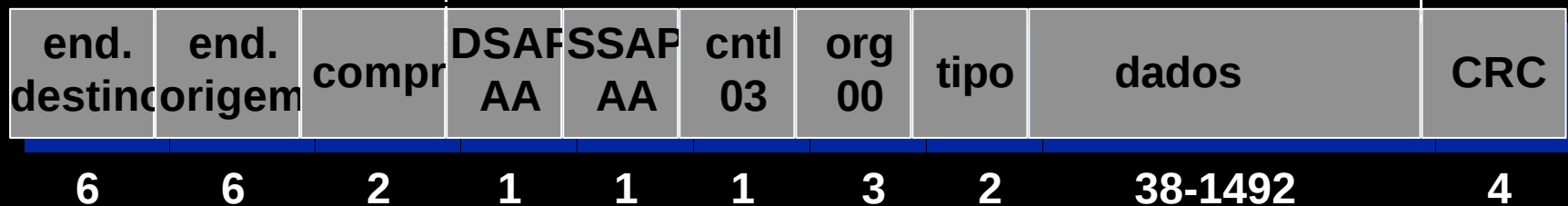


Ethernet & 802.x

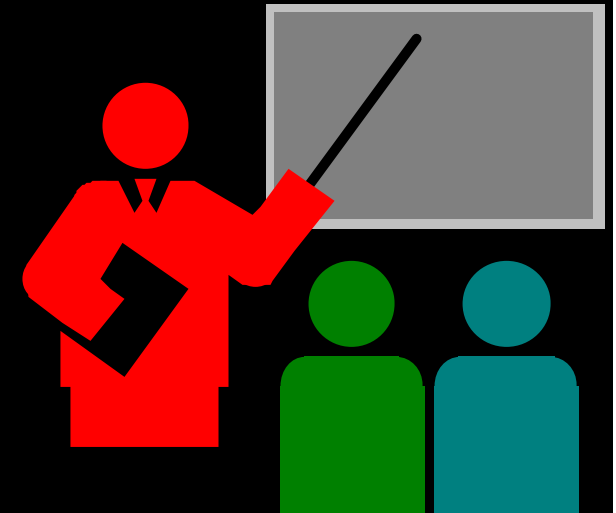
❑ Pacote Ethernet



❑ Pacote IEEE 802.2 + 802.3



Ethernet e IEEE 802.3: Subcamada Física e Meio Físico



Subcamada Física e Meio Físico

❑ Protocolo Ethernet e IEEE 802.3

* Suporta as seguintes subcamadas físicas:

⇒ 10Base5

⇒ 10Base2

⇒ 10BaseT

⇒ 10BaseF

* Restrições: em relação ao comprimento do cabo

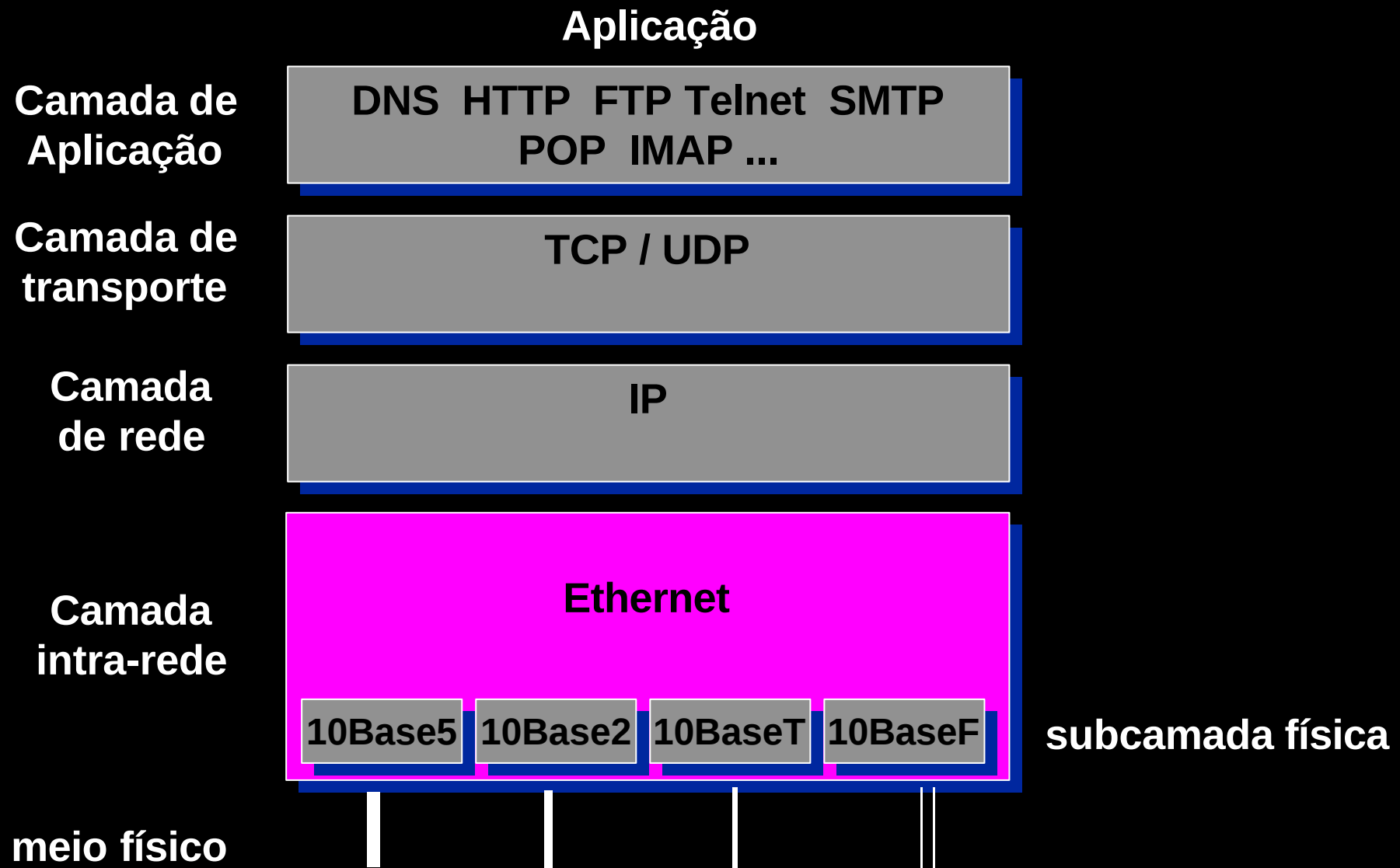
⇒ 10Base5 - 500 m

⇒ 10Base2 - 185 m

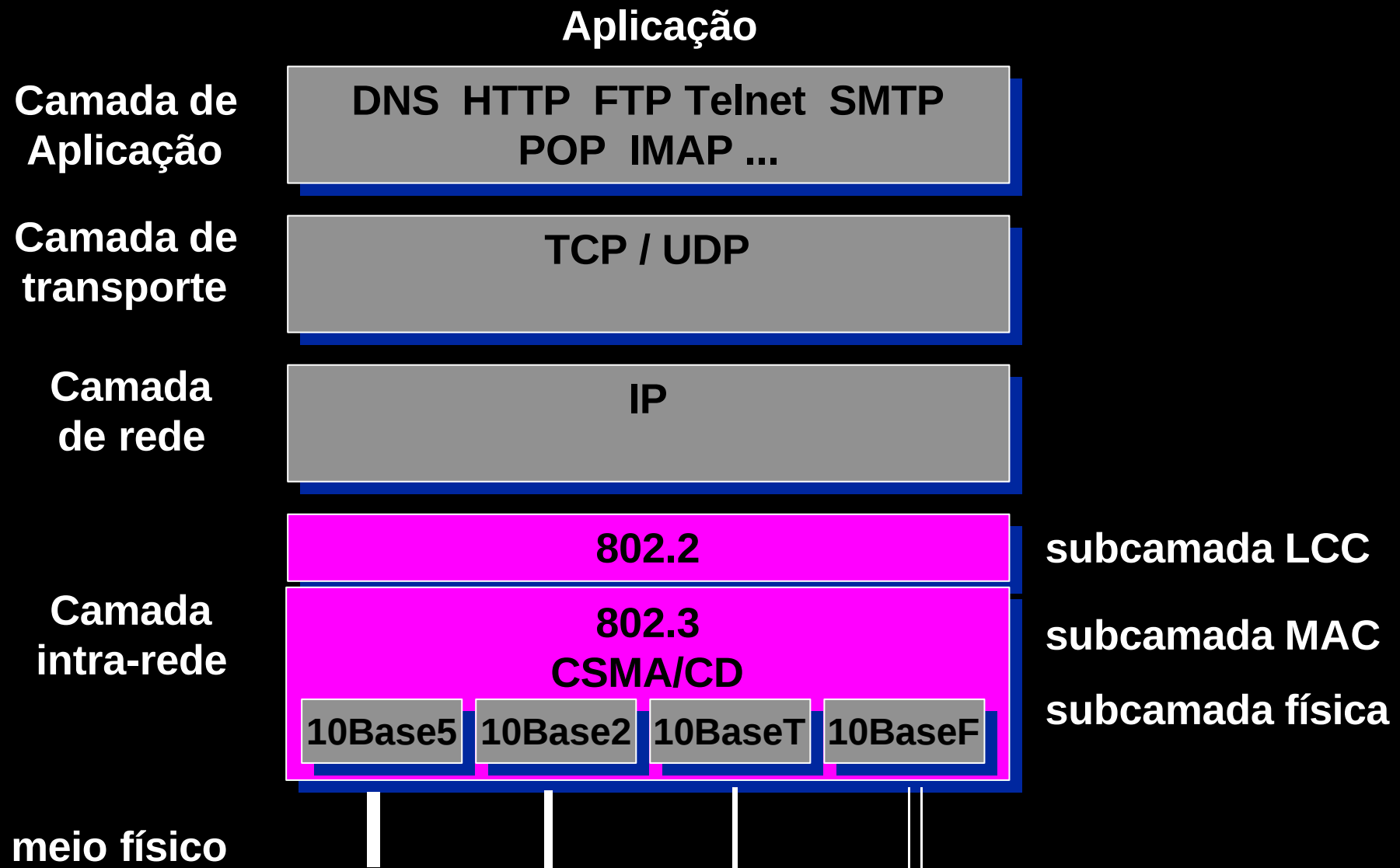
⇒ 10BaseT - 100 m

⇒ 10BaseF - 2000 m

Subcamada Física e Meio Físico



Subcamada Física e Meio Físico



Subcamada Física e Meio Físico

❑ Comprimento máximo do segmento

* Depende de:

⇒ tempo de propagação do cabo

- ◆ tempo que o sinal leva para se propagar no cabo
- ◆ depende do meio físico utilizado (coaxial, UTP, fibra)

⇒ tamanho mínimo do pacote Ethernet (64 bytes)

⇒ velocidade de transferência (Ethernet = 10Mbps)

* Comprimento máximo do cabo:

⇒ $T_t \geq 2 T_p$

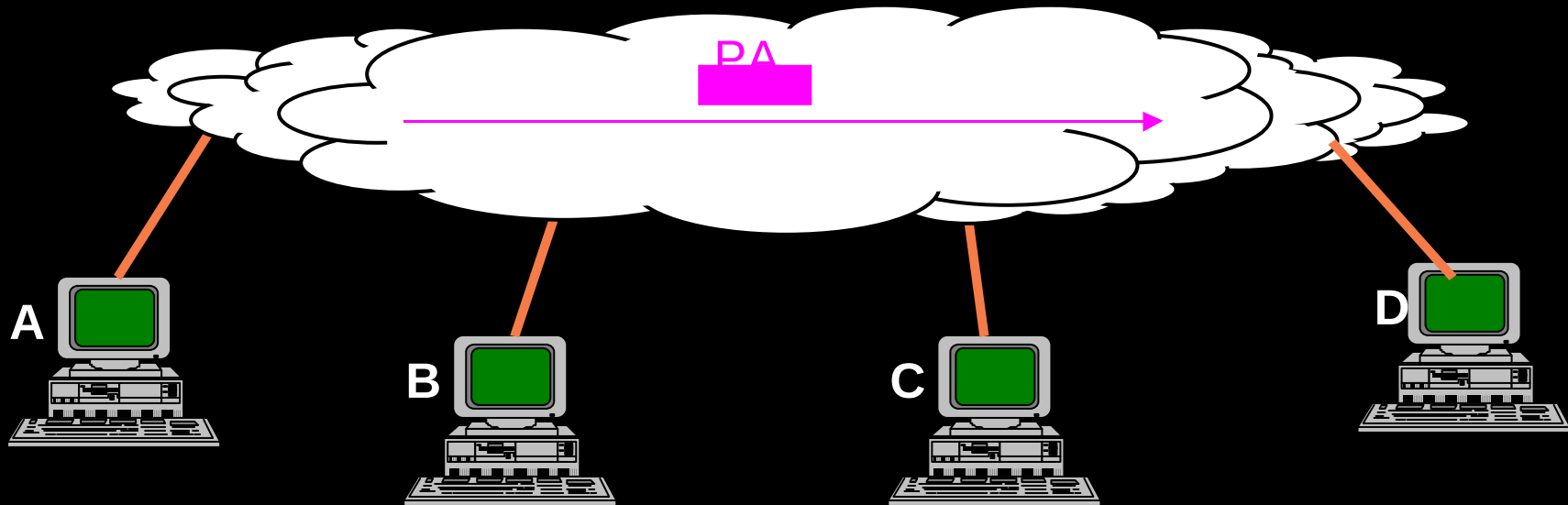
- ◆ T_t - Tempo de transmissão do menor pacote (64 bytes)
- ◆ T_p - Tempo de propagação do sinal entre dois pontos mais distantes (comprimento máximo) de um mesmo segmento de repetição

Subcamada Física e Meio físico

❑ Definição do comprimento máximo do segmento

* No pior caso ...

- ⇒ O equipamento A transmite o pacote PA
- ⇒ Imediatamente antes do pacote PA chegar ao equipamento D, o equipamento D transmite o pacote PD
- ⇒ O equipamento D irá detectar a colisão assim que o pacote PA chegar a D ($1 \times T_p$)



Subcamada Física e Meio Físico

❑ Definição do comprimento máximo do segmento (cont.)

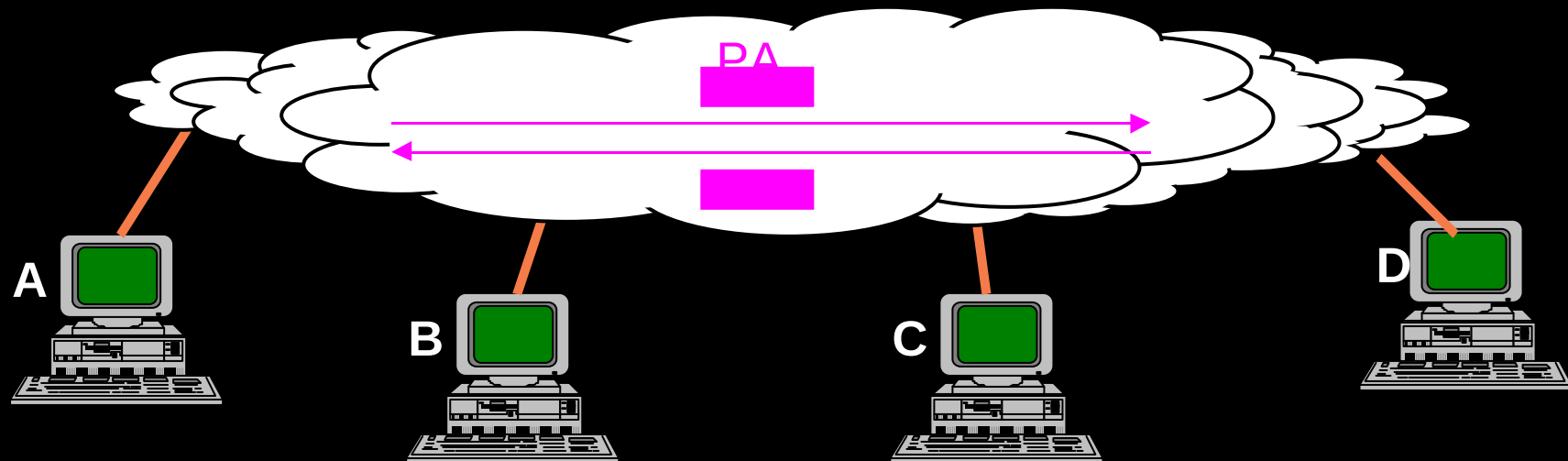
⇒ O equipamento A irá detectar a colisão somente quando o pacote PD chegar a A ($\sim 2 \times T_p$)

⇒ A colisão deve ocorrer antes de ser transmitido o último octeto (byte) do pacote PA, ou seja:

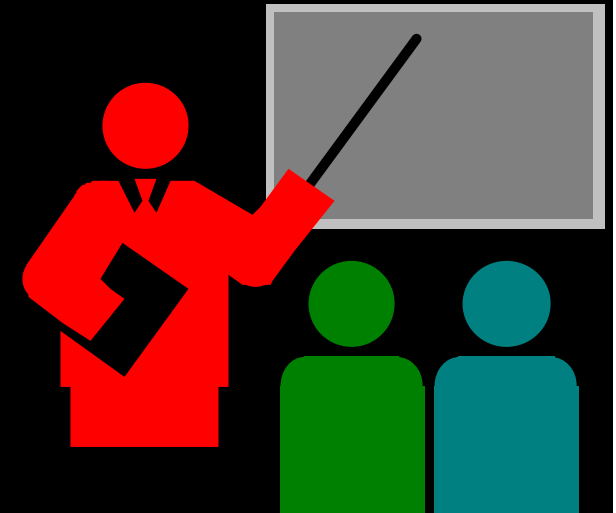
♦ $T_t \geq 2 T_p$

→ T_p - Tempo de propagação do sinal entre A e D

→ T_t - Tempo de transmissão do menor pacote (64 octetos)



Equipamentos para Ethernet



Equipamentos Ethernet

❑ Equipamentos

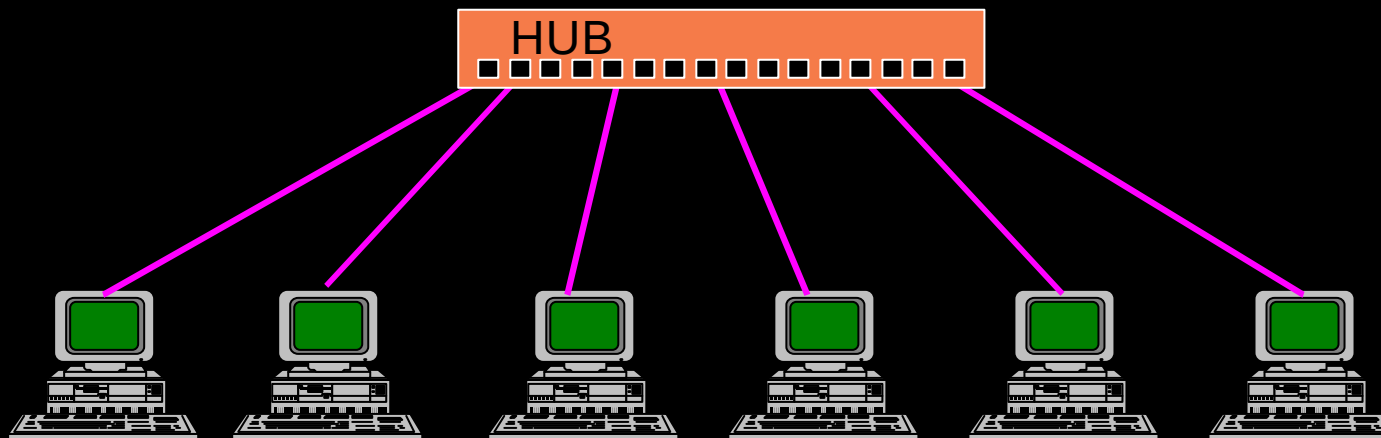
- * Repetidor
- * HUB
- * Bridge
- * Switch

Repetidor

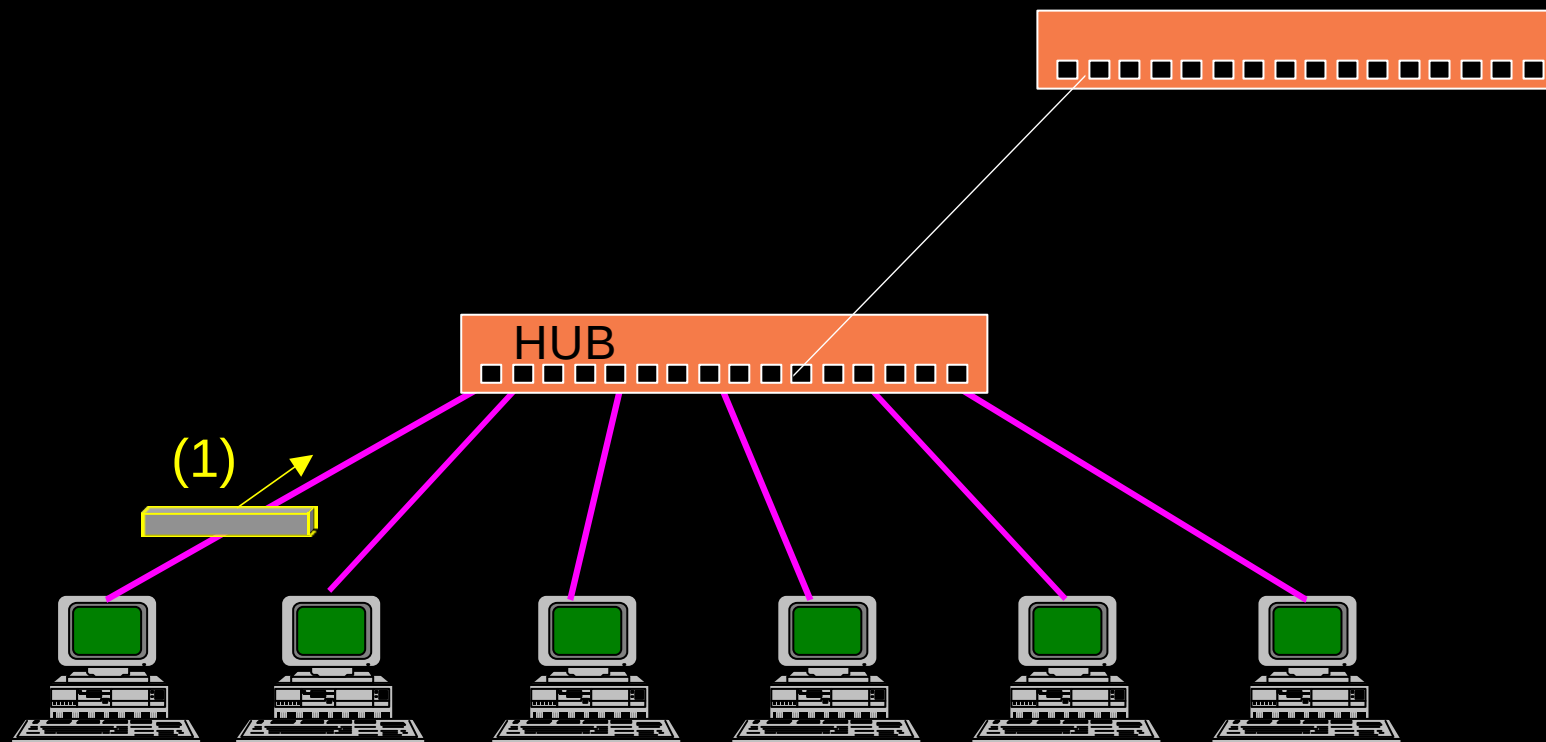
- ❑ **Todo sinal recebido por uma porta é repetido nas outras portas**
- ❑ **Restrições**
 - * Estas restrições são estabelecidas devido ao problema da colisão ter que ser detectada antes da transmissão do octeto 64
 - * Restrições quanto ao número de repetidores em cascata:
 - ⇒ Utilizando somente cabo coaxial (10Base2 ou 10Base5)
 - ◆ Máximo de 4 repetidores entre dois nós
 - Sendo que 2 segmentos não pode ser povoado!

HUB

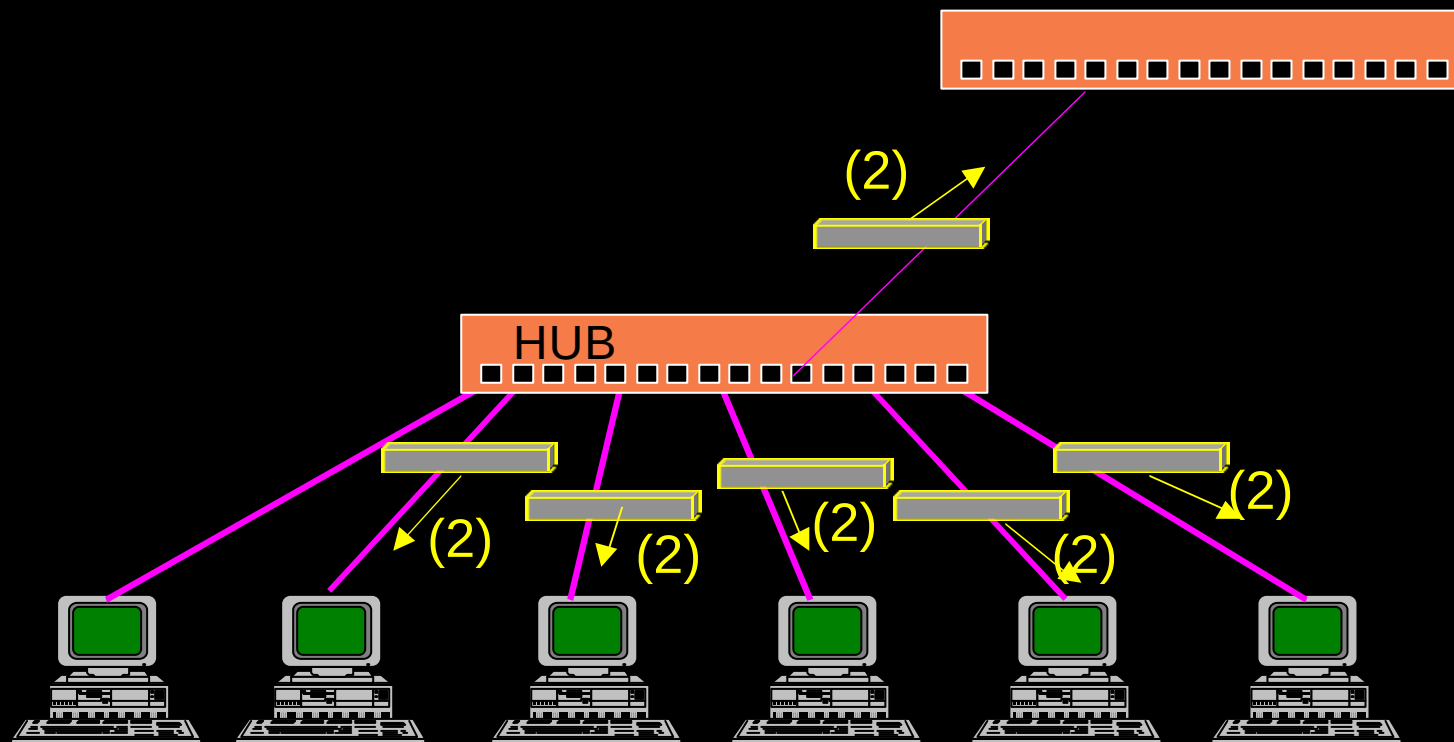
- ❑ O HUB é um repetidor para topologia física tipo estrela
 - * Para ser utilizado com cabeamento estruturado
 - * Utilizado junto aos concentradores de fiação (patch pannel)
- ❑ Funcionamento:
 - * Todo sinal recebido por uma porta é repetido nas outras portas



HUB



HUB



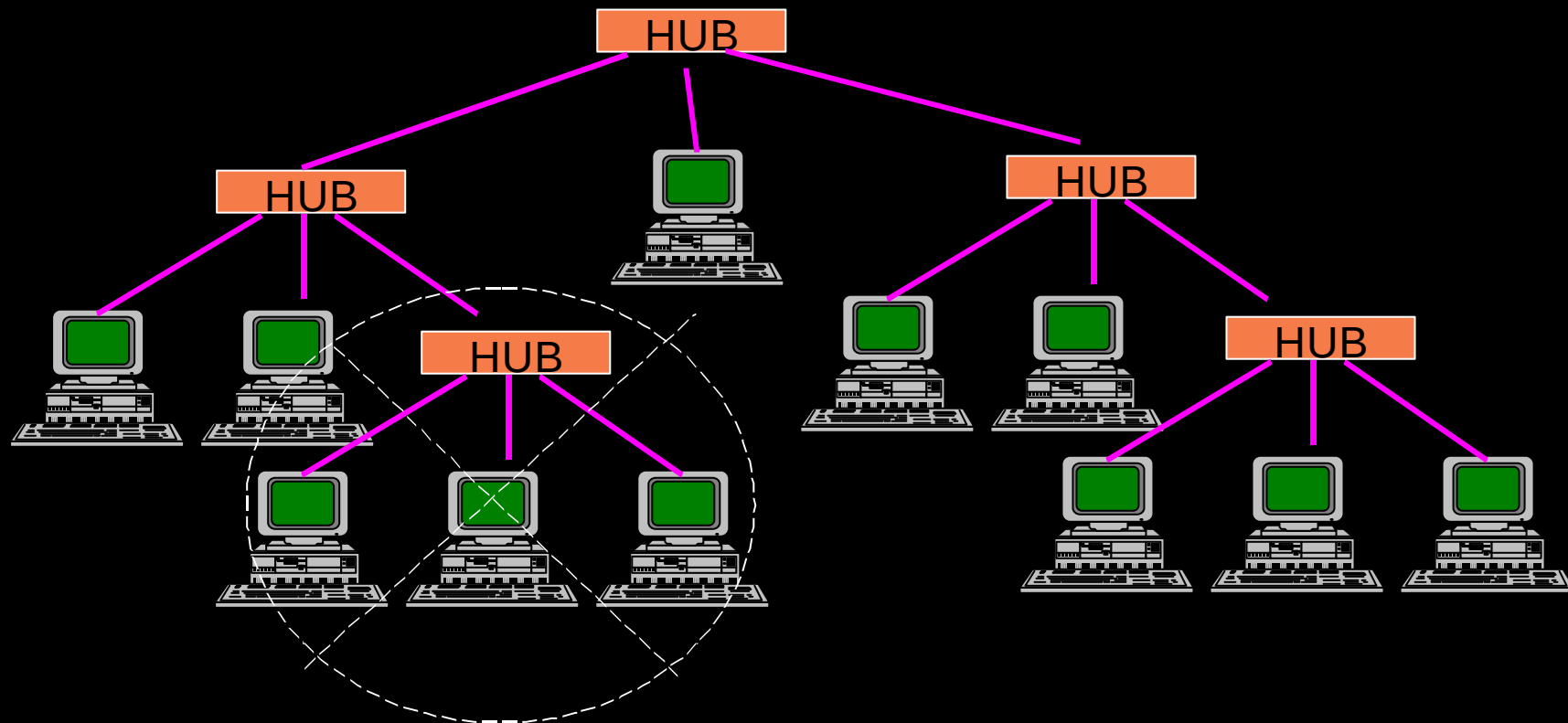
HUB

❑ Restrições

- ✱ Estas restrições são estabelecidas devido ao problema da colisão ter que ser detectada antes da transmissão do octeto 64
- ✱ Restrições quanto ao número de HUBs em cascata:
 - ⇒ Máximo de 4 HUBs entre dois nós quaisquer
- ✱ Em sistemas híbridos (UTP e coaxial):
 - ⇒ Máximo de 4 repetidores (ou HUBs) entre dois nós quaisquer
 - ⇒ Número máximo de 3 segmentos de cabo coaxial em um caminho

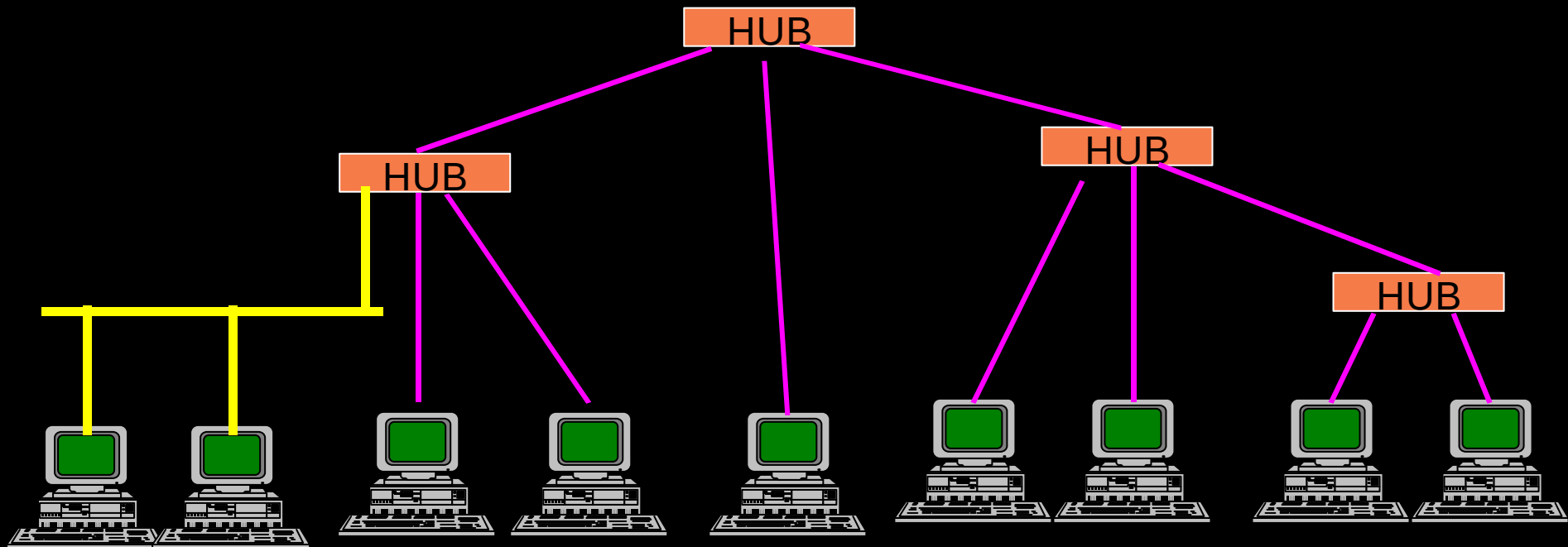
HUB

❑ Exemplo



HUB

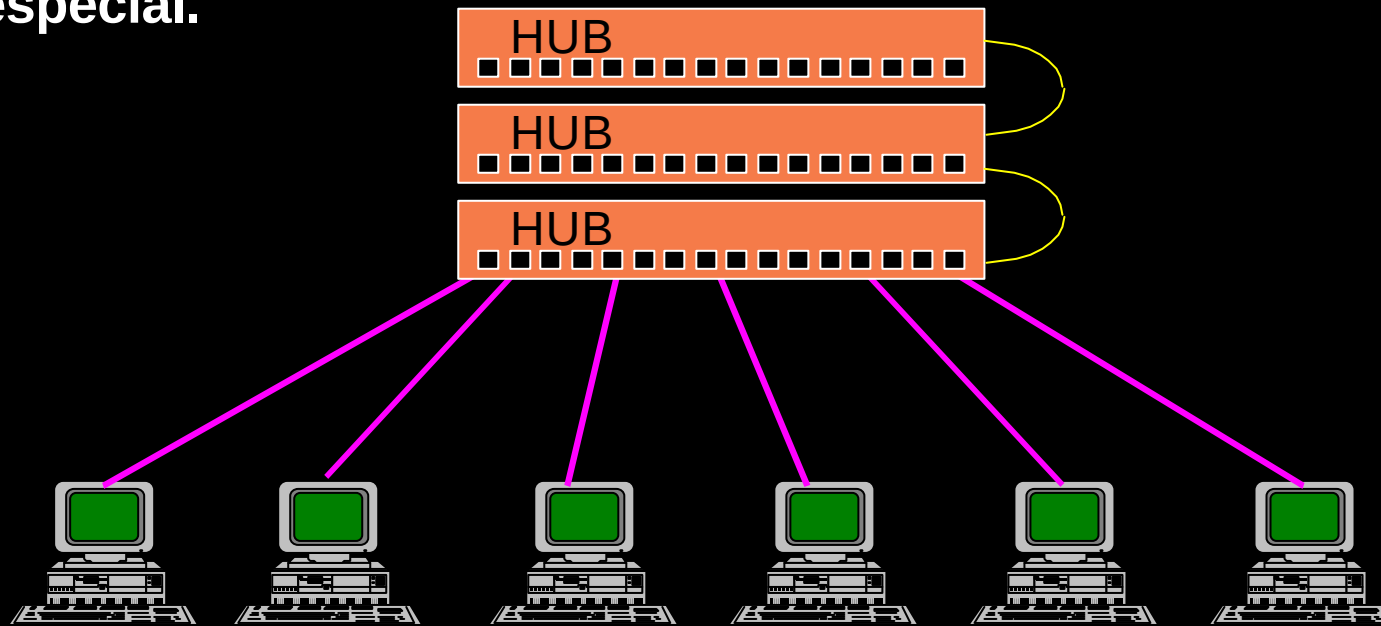
❑ Exemplo



HUB

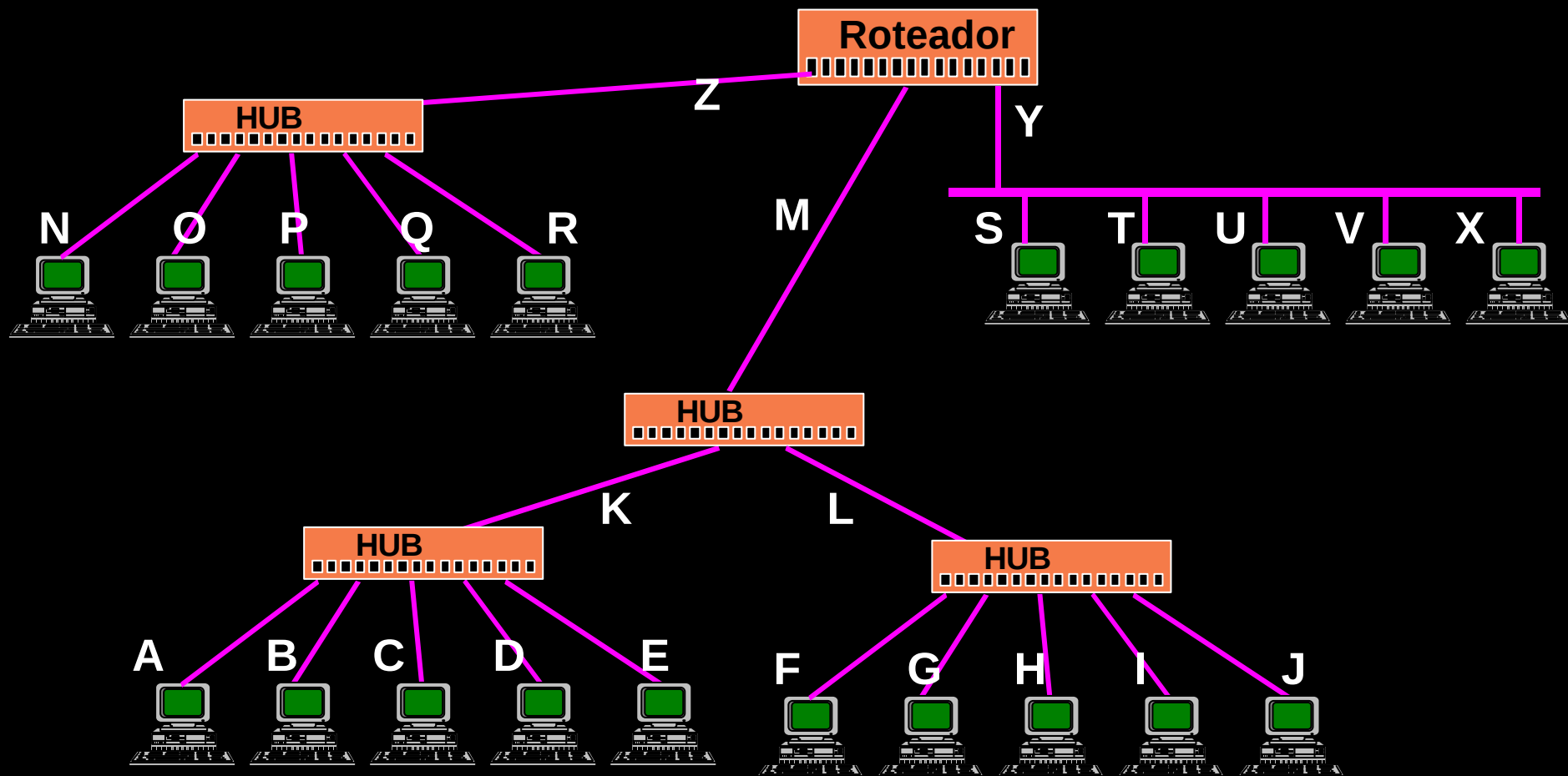
❑ Empilhamento

- * Muitos HUBs permitem o empilhamento (stack)
- * Forma de interligação de HUB na qual o conjunto é considerado como um único HUB para efeito de restrições de cascadeamento
- * O empilhamento é realizado através de uma interface e cabo especial.



Exercícios

(1) Seja a seguinte configuração de rede:

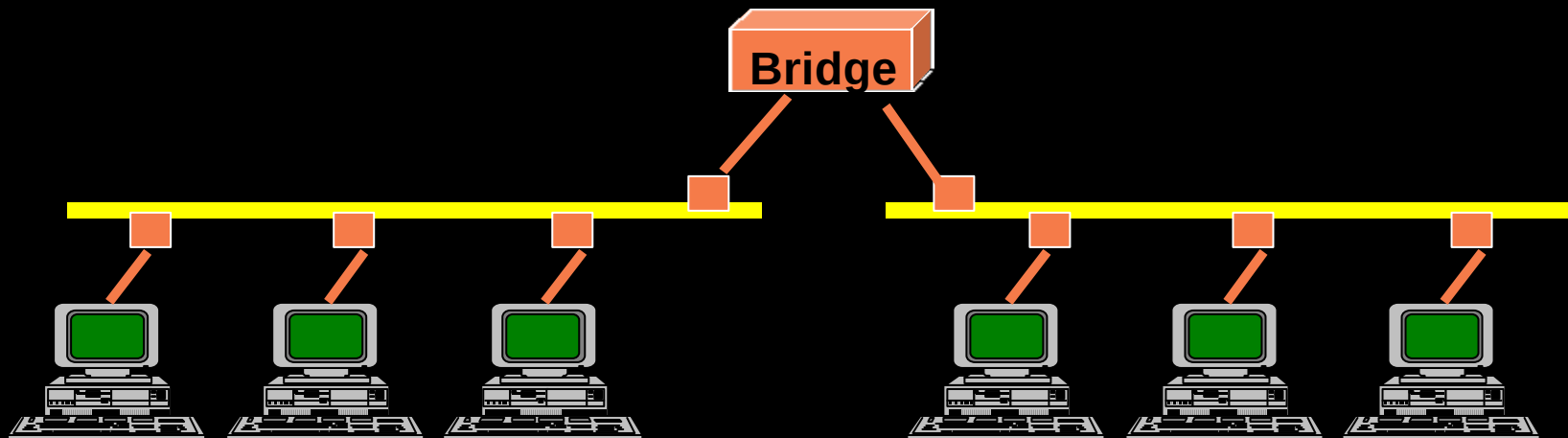


Exercícios

- (a) Quantos domínios de broadcast (ou redes locais) estão definidos nesta configuração?
- (b) Suponha que a máquina A transmita um pacote ethernet unicast para B. Este pacote ethernet irá chegar a quais interfaces de rede?
- (c) Suponha que a máquina A transmita um pacote ethernet broadcast. Este pacote ethernet irá chegar a quais interfaces de rede?
- (d) Suponha que a máquina A transmita um pacote ethernet unicast para S. Este pacote ethernet irá chegar a quais interfaces de rede?
- (e) Suponha que a máquina A transmita um pacote ethernet broadcast para P. Este pacote ethernet irá chegar a quais interfaces de rede?

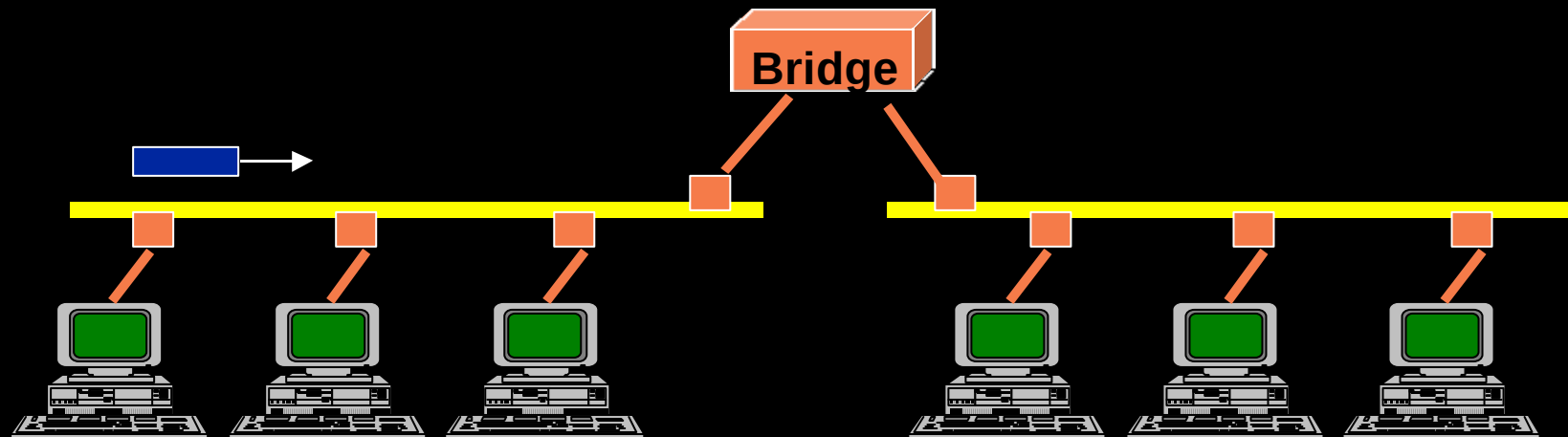
Bridge

- ❑ “Ponte” entre redes
- ❑ Permite “juntar” duas redes locais (dois barramentos) formando uma única rede



Bridge

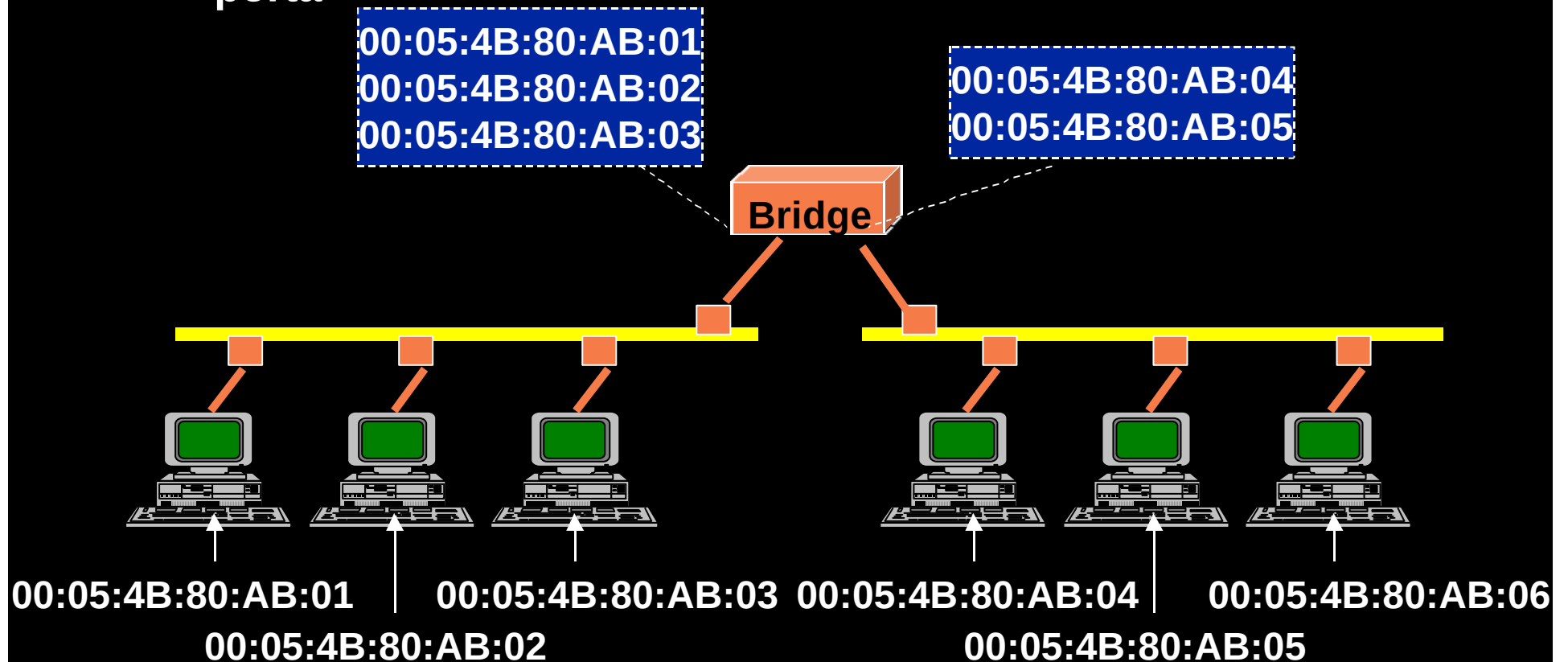
- ❑ A bridge, ao invés do repetidor que sempre propaga um pacote para todas as interfaces, irá somente propagar um pacote para uma determinada interface quando for estritamente necessário.
- ❑ Existem algumas restrições relativas à utilização de múltiplas bridges em uma rede como o de não permitir ciclos. Caso existam “ciclos” é necessário utilizar um protocolo complementar chamado “spanning tree”.



Bridge

❑ Funcionamento

- * Para cada porta é mantido uma tabela (tabela de bridging) com os endereços Ethernet das interfaces que estão a partir desta porta



Bridge

❑ Funcionamento

✱ A “Tabela de Bridging” é construída dinamicamente:

- ⇒ Quando um pacote Ethernet é recebido por uma das portas, é obtido o endereço ethernet de origem do pacote (máquina que o enviou).
- ⇒ É verificado se este endereço já existe na tabela de bridging desta porta
- ⇒ Se não existir, este é inserido

✱ Cada entrada possui um tempo limitado de vida.

Bridge

❑ Para um pacote unicast:

* Quando chega um pacote Unicast em uma porta:

- ⇒ É consultada a tabela de bridging da porta para verificar se a máquina destino se encontra a partir desta mesma porta.
- ⇒ Se estiver na tabela da mesma porta, descarta o pacote
- ⇒ Senão, consulta as tabelas de bridging das outras portas
- ⇒ Se achar uma porta cuja tabela de bridging tenha o endereço Ethernet do destinatário, transmite o pacote por esta porta
- ⇒ Se não achar em nenhuma porta, transmite para todas as portas

Bridge

- ❑ **Para um pacote Broadcast:**
 - * Quando chega um pacote broadcast em uma porta
 - ⇒ Transmite para todas as portas

Switch

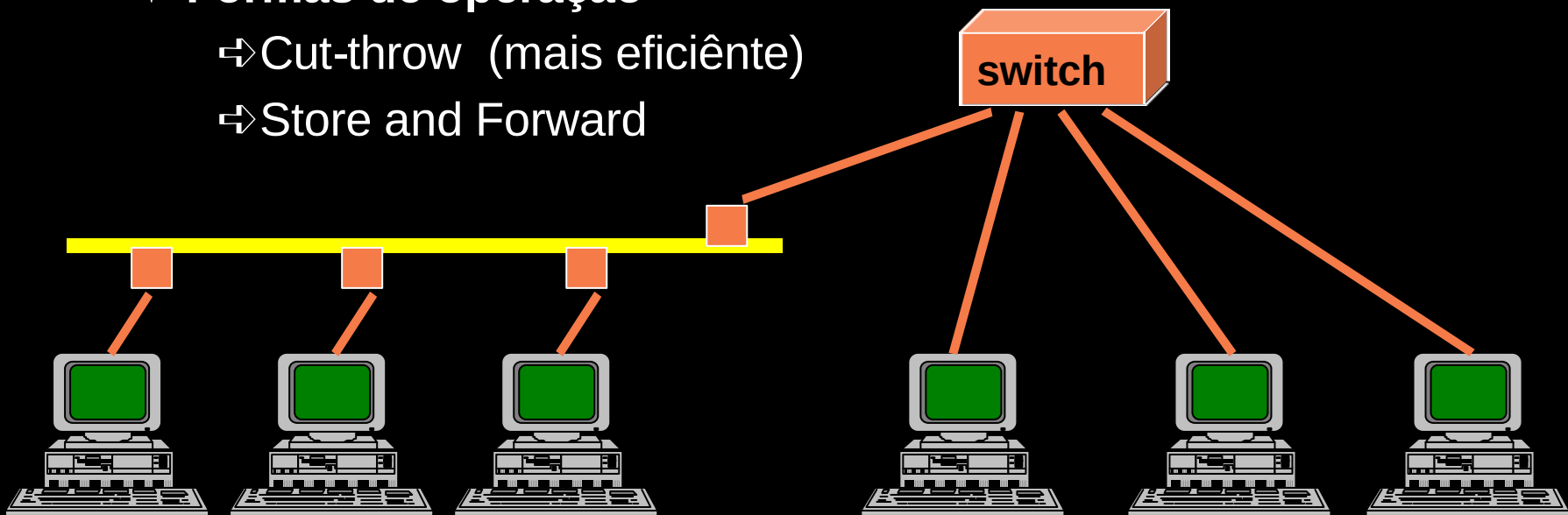
❑ Switch

* Evolução da Bridge:

- ⇒ várias portas
- ⇒ várias transmissões entre portas simultaneamente
- ⇒ utilização de buffers (para enfileirar um pacotes quando a porta de destino está ocupada)

* Formas de operação

- ⇒ Cut-throw (mais eficiente)
- ⇒ Store and Forward



Switch

❑ Switch

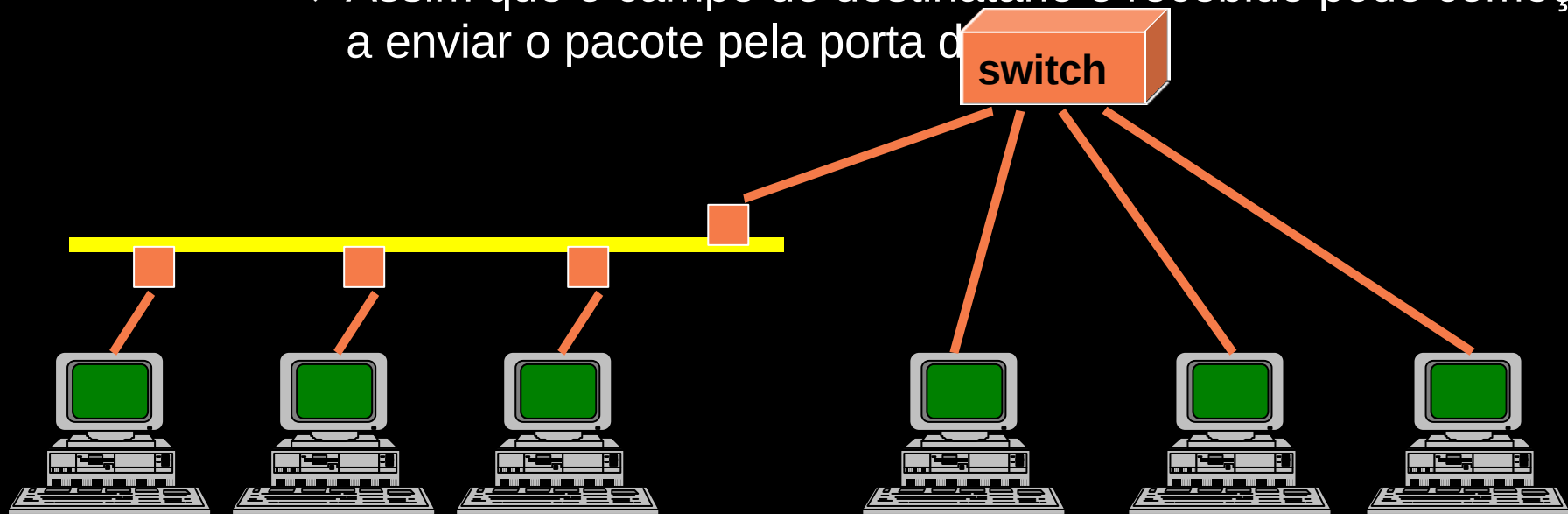
* Formas de operação

⇒ Store and Forward

- ◆ Armazena o pacote inteiro (store) para então enviá-lo pela porta destino

⇒ Cut-throw (mais eficiente)

- ◆ Assim que o campo de destinatário é recebido pode começar a enviar o pacote pela porta de destino



Bridge e Switch: Modos de operação

❑ Modos de operação de Bridge / Switch

* Transparent Bridge

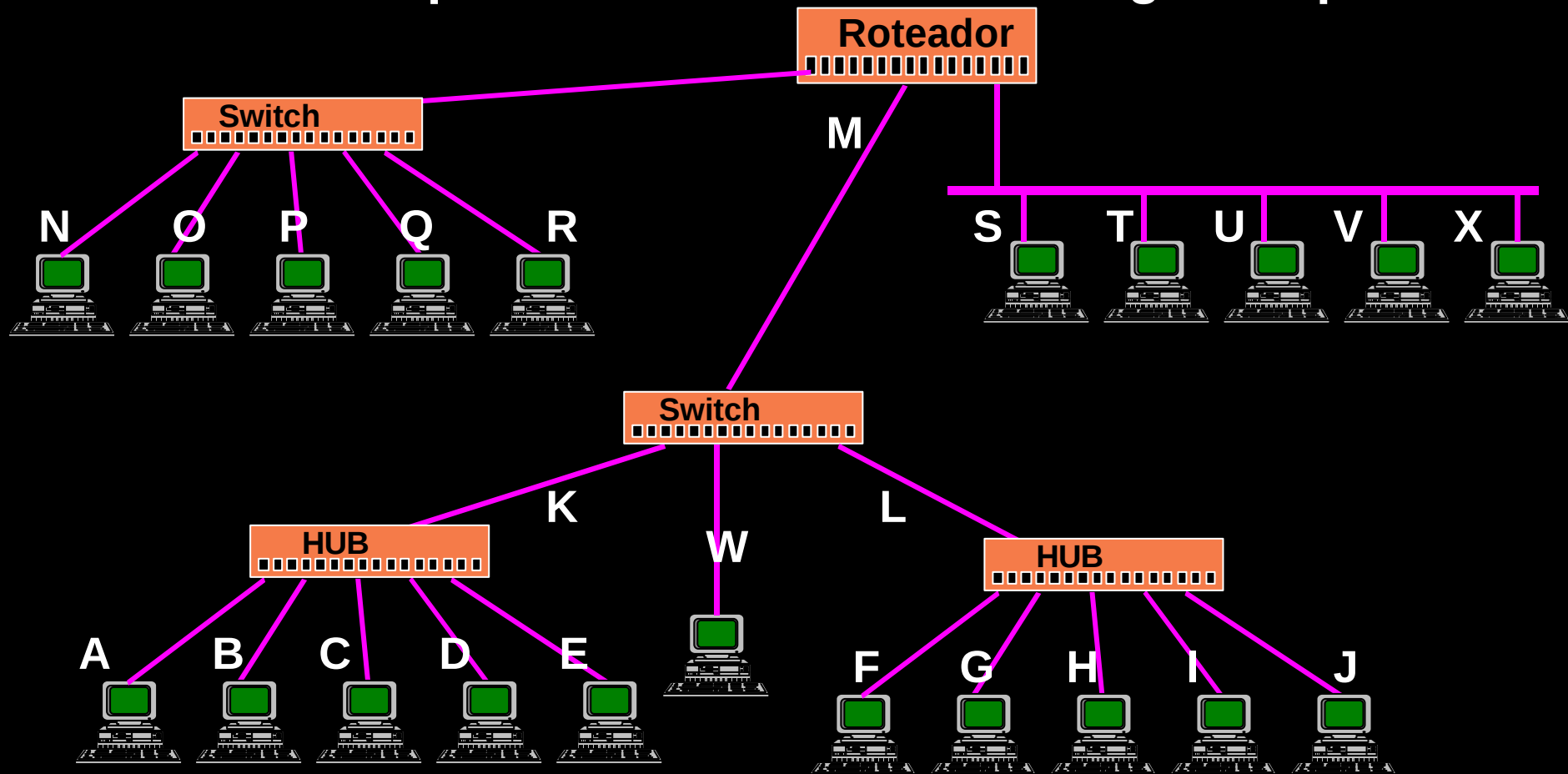
- ⇒ Descobre automaticamente os equipamentos que estão abaixo de cada porta de bridge
- ⇒ Para cada porta mantém uma tabela com endereços ethernet dos equipamentos que estão abaixo da porta
- ⇒ Descoberta: Quando o primeiro pacote proveniente do equipamento é recebido por uma porta é verificado o endereço ethernet de origem

* Spanning Tree

- ⇒ Protocolo que permite tratar conexões cíclicas, transformando em uma árvore

Exercícios

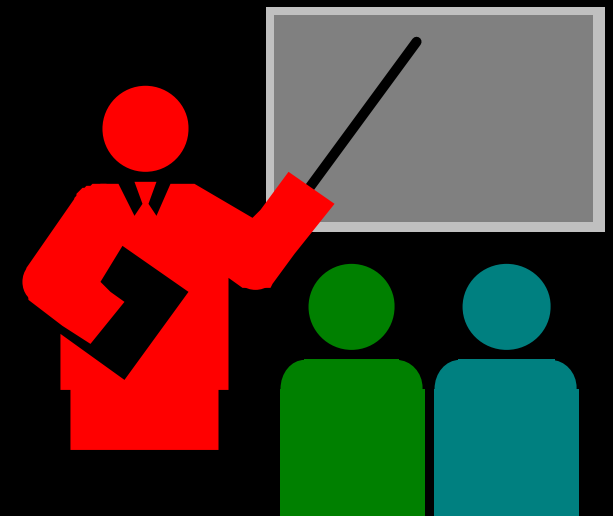
(2) Seja a seguinte configuração de rede e suponha que os switches possuam sua tabela de bridge completas.



Exercícios

- (a) Suponha que a máquina A transmita um pacote ethernet unicast para B. Este pacote ethernet irá chegar a quais interfaces de rede?
- (b) Suponha que a máquina A transmita um pacote ethernet broadcast. Este pacote ethernet irá chegar a quais interfaces de rede?
- (c) Suponha que a máquina A transmita um pacote ethernet unicast para W. Este pacote ethernet irá chegar a quais interfaces de rede?
- (d) Suponha que a máquina A transmita um pacote ethernet unicast para F. Este pacote ethernet irá chegar a quais interfaces de rede?

Interface Loopback



Interface Loopback

- ❑ Interface “virtual”
- ❑ Utilizada quando é necessário contactar via protocolos de rede o próprio host

Exercícios

(1) Projete uma rede para uma empresa onde existem 2 prédios (A e B) separados por 400 m. Cada prédio possui 3 andares (A1,A2,A3, B1,B2,B3). Os computadores estão distribuídos da seguinte maneira:

$$A3 = 20$$

$$B3 = 5$$

$$A2 = 16$$

$$B2 = 28$$

$$A1 = 30$$

$$B1 = 40 \text{ (5 destes são servidores)}$$

A medida de cada andar é 20 m x 50 m.

Uma linha LP externa chega ao andar B1.

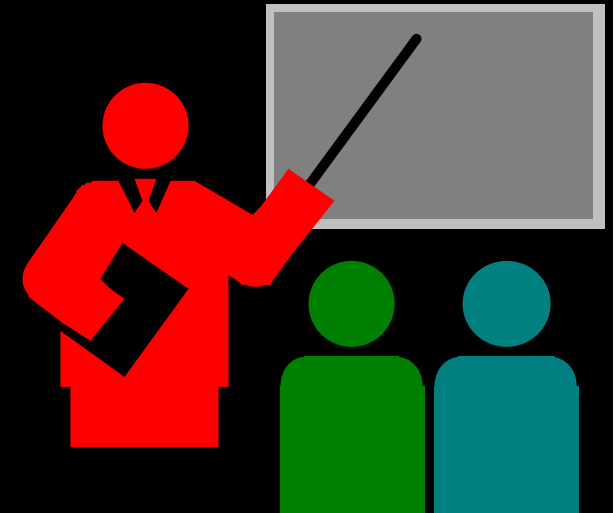
a) Seguindo a recomendação de cabeamento estruturado defina a tecnologia de cabeamento utilizada, a localização dos centros de distribuição e a localização da sala central de distribuição.

b) Projete a rede utilizando somente HUBs de 24 portas

Exercícios

- (2) Nesta configuração, quantas máquinas podem transmitir ao mesmo tempo na rede local? Explique!**
- (3) Projete a rede anterior utilizando HUBs de 24 portas e 1 switch de 12 portas.**
- (4) No seu projeto é possível conectar os servidores diretamente ao switch?**
- (5) Nesta configuração, quantas máquinas podem transmitir ao mesmo tempo na rede local? Explique!**
- (6) Projete a rede anterior utilizando HUBs de 24 portas e 2 switches de 12 portas**

Bibliografia deste módulo



Bibliografia deste módulo

❏ Livros

* TCP/IP Illustrated Volume 1: The Protocols

⇒ STEVENS, W. RICHARD.

⇒ Addison-Wesley. 1994.

* Computer Networks

⇒ TANENBAUM, ANDREW S.

⇒ 3rd edition. Prentice Hall 1996.

* Redes de Computadores: das LANs MANs e WANs às Redes ATM

⇒ SOARES, LUIZ F. G.

⇒ Editora Campus. 1995