



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

# Comunicações por Computador

## Cap 4 - Redes Locais de Computadores

Universidade do Minho  
Grupo de Comunicações por Computador  
Departamento de Informática

# Redes Locais de Computadores

## *Tecnologias LAN*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Exemplos de tecnologias usadas em LANs:
  - Ethernet (IEEE 802.3), Fast Ethernet (IEEE 802.3u), Gigabit Ethernet (IEEE 802.3z), ...
  - Wireless LAN (IEEE 802.11 b/g/n/ac/...)

Token Ring (IEEE 802.5), Token Bus (IEEE 802.4)

Distributed Queue Dual Bus (DQDB) (IEEE 802.6)

Fiber Distributed Data Interface (norma ANSI)

Asynchronous Transfer Mode (ATM) (ITU-T)

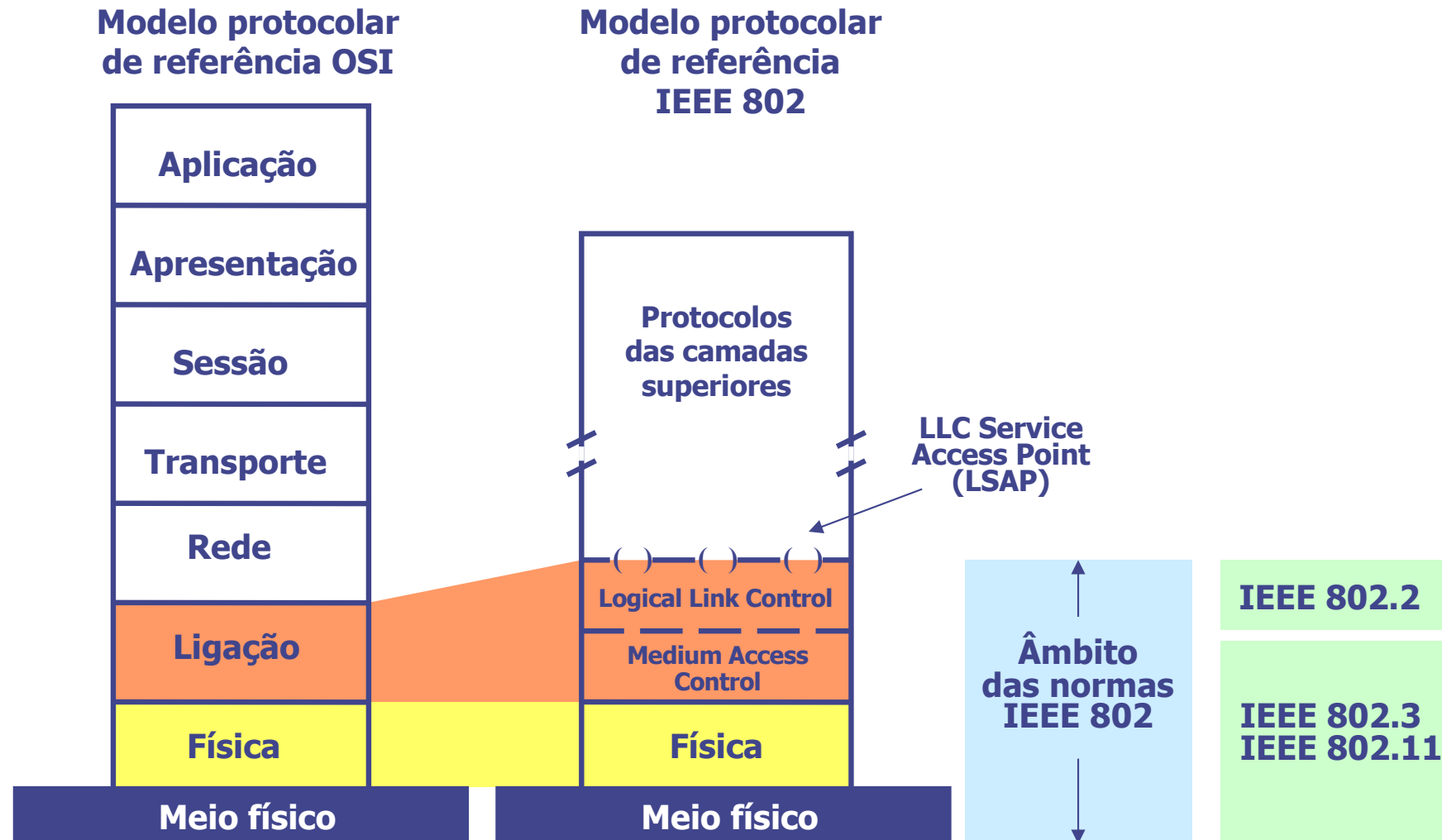
...

# Redes Locais de Computadores

*protocolos: nível de ligação de dados*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



# Redes Locais de Computadores

## *Protocolos: nível de ligação de dados*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- O nível de ligação é dividido em 2 sub-níveis
  - Logical Link Control (LLC) (IEEE 802.2)
    - endereço de nível lógico (LSAP - LLC Service Access Point)
    - pode suportar primitivas orientadas ou não à conexão
  - Medium Access Control (MAC)
    - varia com o tipo de LAN, i.e., cada LAN tem um sub-nível MAC próprio
    - determina quem acede ao meio

# Redes Locais de Computadores

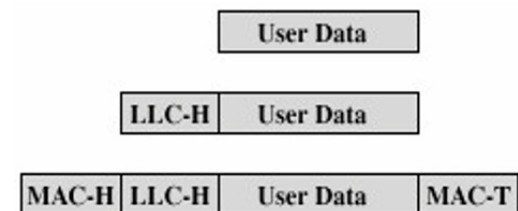
*protocolos: nível de ligação de dados*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Encapsulamento

- Um *LLC protocol data unit* (L-PDU) contém **informação de controlo e dados** que a entidade LLC transmissora envia à entidade LLC receptora
- Na transmissão,
  - o sub-nível MAC encapsula cada L-PDU, adicionando o seu próprio *header (cabeçalho)* e *trailer (terminação)*



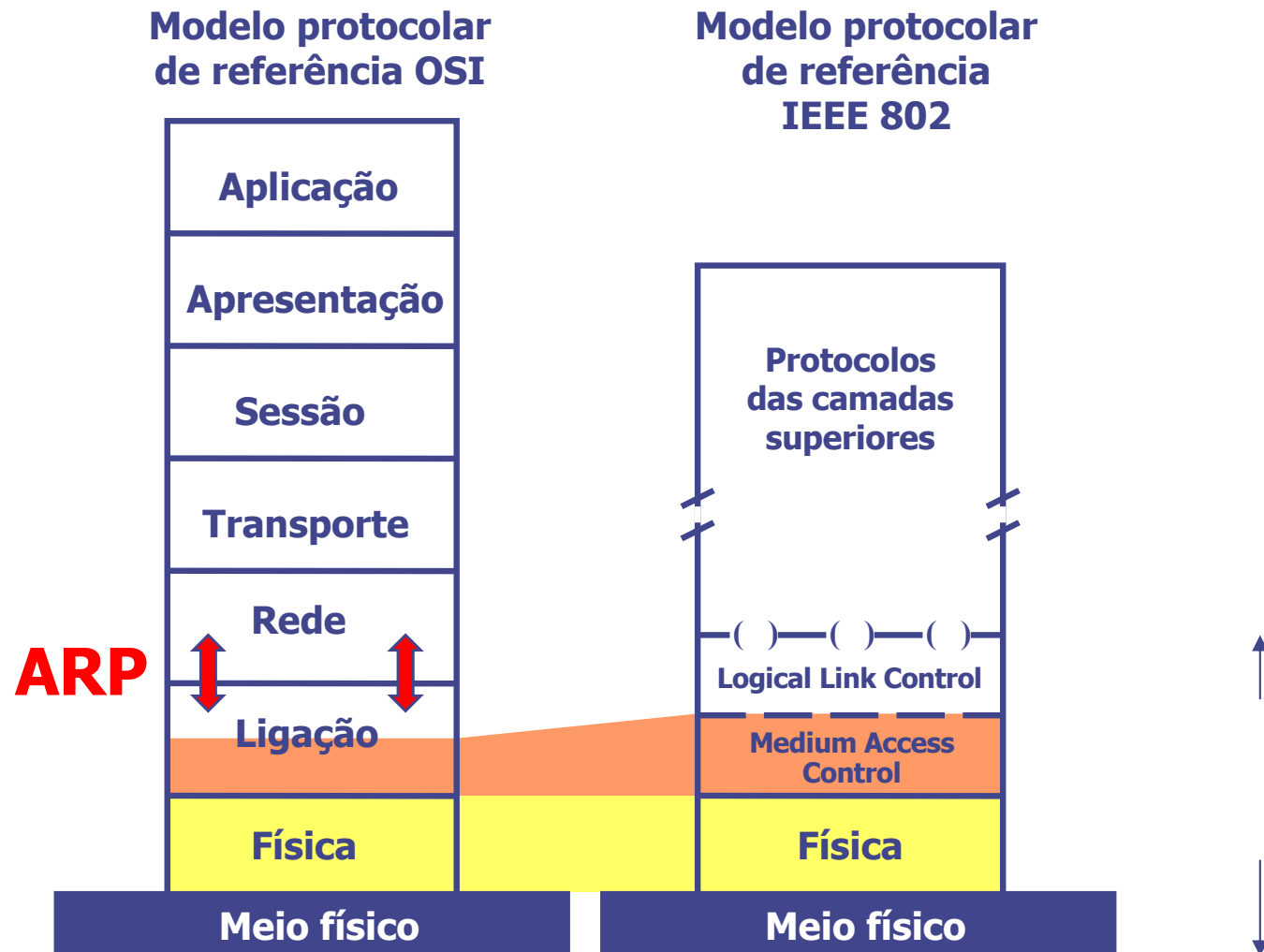
- Na recepção,
  - o sub-nível MAC remove o *header* e *trailer* de cada MAC-PDU e entrega o LPDU ao sub-nível superior.

# Redes Locais de Computadores

## *Resolução de endereços Rede/MAC*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



# TCP/IP

## ARP - *Protocolo de Resolução de Endereços*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

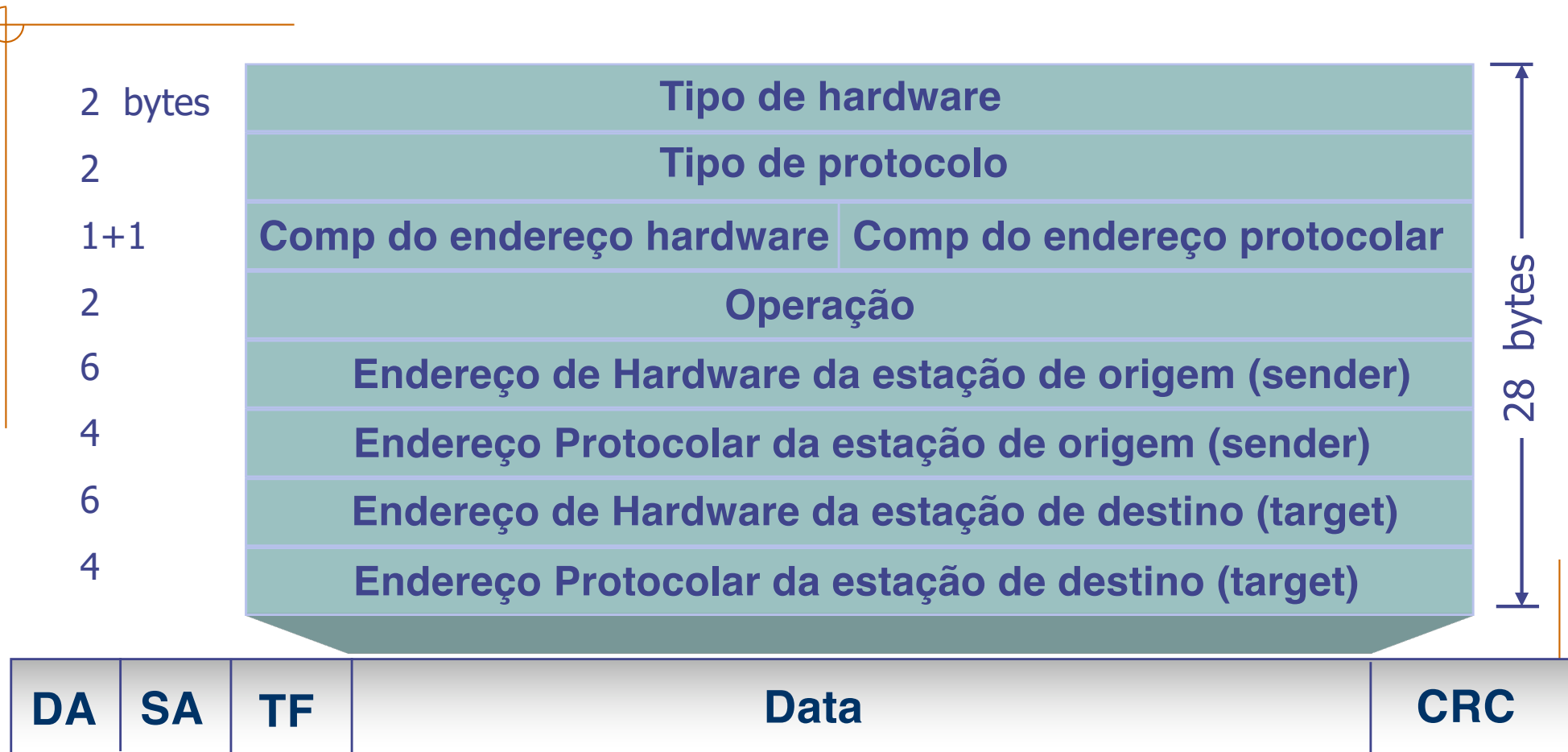
- ARP (Address Resolution Protocol) mapeia um endereço de rede (e.g., endereço IP) no endereço MAC (e.g., Ethernet) que lhe corresponde.
- RFC 826: *An Ethernet Address Resolution Protocol*
- Operação:
  - local à LAN
  - não usa encapsulamento IP
  - o EtherType ARP é: 0x0806
  - ARP-PDUs: *ARP Request* e *ARP Reply*

# TCP/IP

## ARP - PDU



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



DA - Destination Address    SA - Source Address    TF - Type Field



# TCP/IP

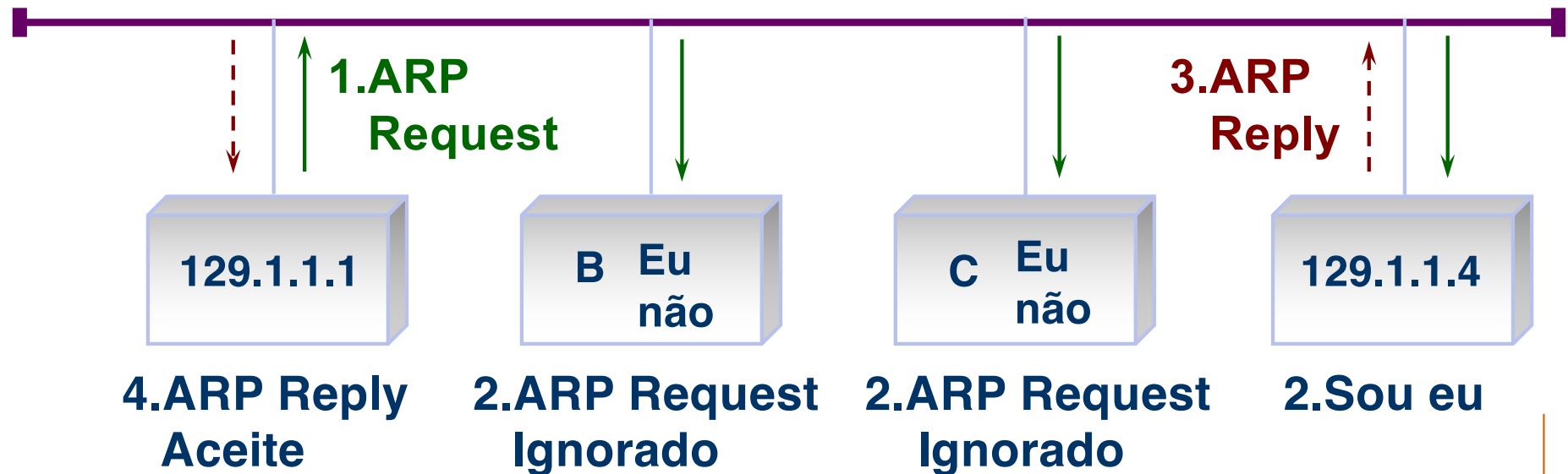
## ARP - Operação



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

1. Quem tem o endereço MAC da estação 129.1.1.4?

3. Aqui está o meu Endereço MAC



[Naugle98]

- *ARP Request* é enviado em **broadcast**
- *ARP Reply* é enviado em **unicast** à estação requerente, que mantém temporariamente a resolução na **cache de ARP**

# TCP/IP

## ARP - Operação



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

### Exemplo de cache ARP

**ROUTER > show ip arp**

Protocol	Address	Age (minutes)	Hardware Addr	Type	Interface
Internet	193.136.20.67	27	00a0.c98d.6ffc	ARPA	FastEthernet0/1
Internet	193.136.20.105	236	00a0.c98d.78a0	ARPA	FastEthernet0/1
Internet	193.136.20.7	10	00a0.c98f.4229	ARPA	FastEthernet0/1
Internet	193.136.20.3	6	004f.4907.285a	ARPA	FastEthernet0/1
Internet	192.168.88.65	-	0005.9bf0.74e0	ARPA	FastEthernet0/0
Internet	192.168.88.66	107	0005.3246.8dc1	ARPA	FastEthernet0/0
Internet	193.136.20.254	0	000a.8a97.7480	ARPA	FastEthernet0/1



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

# Ethernet

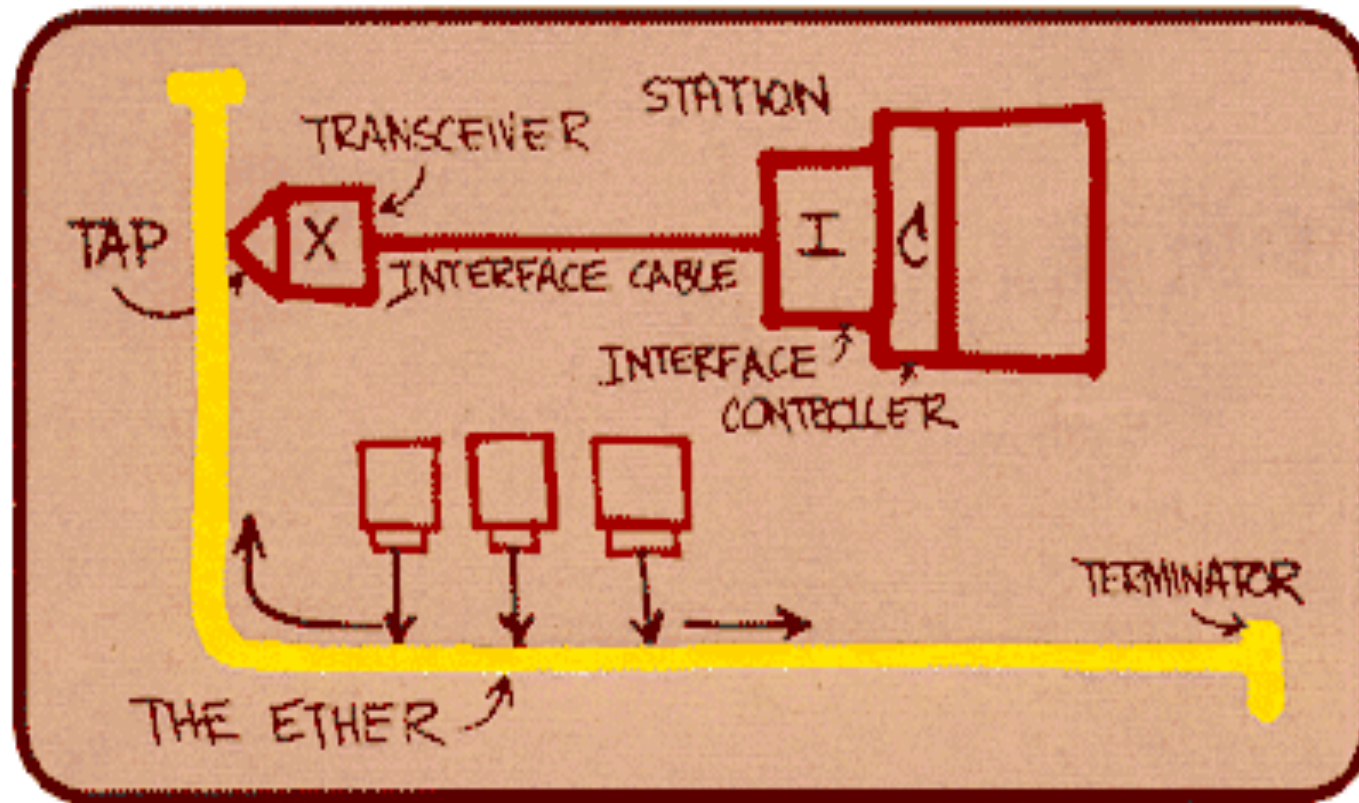
## IEEE802.3

# Redes Locais de Computadores

## Ethernet



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



Desenho original da Rede Ethernet - *Bob Metcalfe 1976*

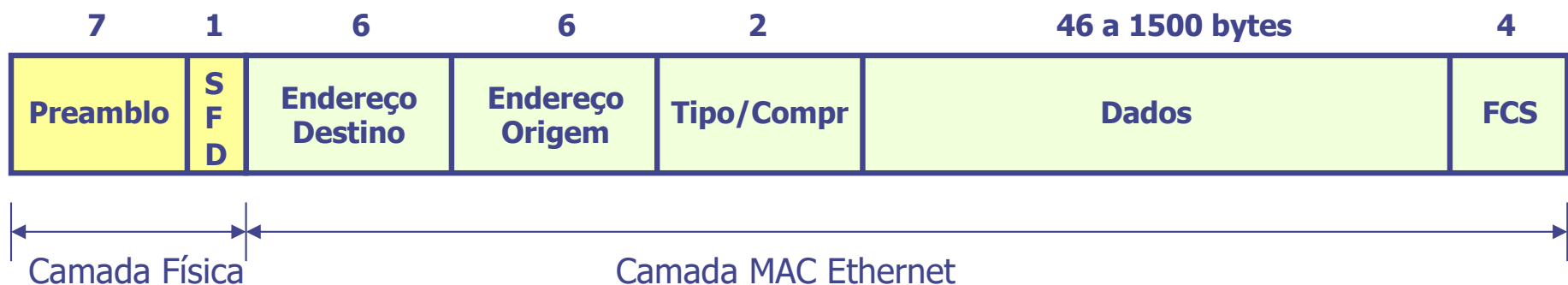
# Redes Locais de Computadores

## *Ethernet: Definição da trama (MAC)*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- características genéricas:
  - Preamble: 7 octetos [1010..10] para sincronismo de bit
  - Start of Frame Delimiter: 1 oct [10101011] padrão sincronismo de trama
  - Endereços de Destino e de Origem: 6 octetos (endereço ethernet)
  - Tipo/Compr: 2 octetos, definem o protocolo nos Dados
  - Dados: 46 a 1500 octetos, contém o PDU do protocolo encapsulado
  - FCS: 4 octetos, Frame Check Sequence para control de erros
- Endereços: endereço da estação emissora e receptora / broadcast



# Redes Locais de Computadores

## *Ethernet: Definição da trama (MAC)*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



- Campo Tipo/Comprimento
  - se valor  $\leq 0x05DC$  (1500)
    - é interpretado como **comprimento** do campo de dados e
    - o campo de dados contém a camada de ligação **LLC** e
    - trama é designada **IEEE 802.3 Ethernet**
  - se valor  $> 0x0600$  (1536)
    - é interpretado como **ethertype** (tipo de protocolo)
    - valor identifica o protocolo contido no campo de dados
    - trama é designada **Ethernet II** (RFC 894)

# Redes Locais de Computadores

## *Ethernet: trama Ethernet II*

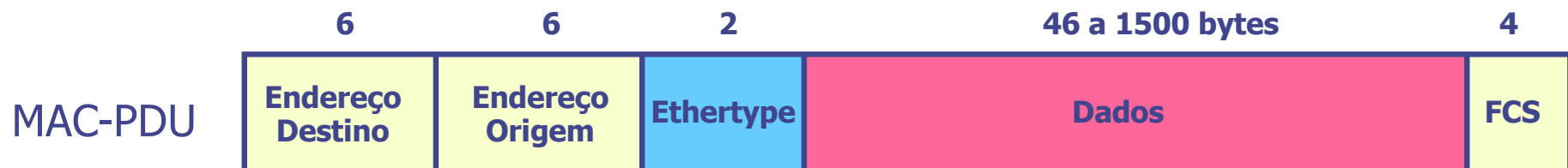


Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- encapsula o protocolo definido pelo valor do campo Ethertype
- valores geridos pela XEROX (detém direitos do ethernet).

Exemplos:

→ 0x0800	Internet IP (IPv4)
→ 0x0806	ARP (Address Resolution Protocol)
0x6000-6009	DEC (Digital Equipment Corporation)
0x6010-6014	3Com Corporation
0x8014	SGI network games
→ 0x8035	RARP (Reverse ARP)
0x880B	PPP (Point to Point Protocol)
→ 0x86DD	Internet IP (IPv6)
0x876B	TCP/IP Compression (RFC 1144)
0x876D	Secure Data (RFC 1701)



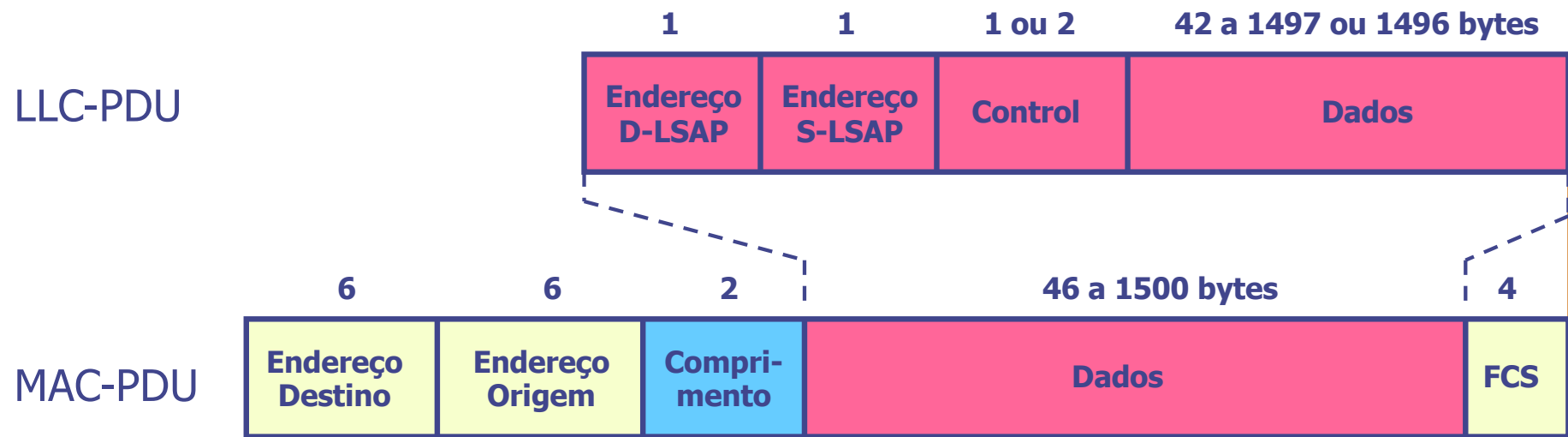
# Redes Locais de Computadores

## *Ethernet: trama IEEE 802.3 e LLC-PDU*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- encapsula a sub-camada de ligação LLC (Logical Link Control)
- os endereços designam-se:
  - D-LSAP (Destination-Logical Service Access Point)
  - S-LSAP (Source-Logical Service Access Point)



LCC-CC



# Redes Locais de Computadores

## Ethernet



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- características genéricas:
  - trama máxima: 1518 octetos; trama mínima: 64 octetos
  - MTU: maximum transfer unit é 1500 octetos
  - entrega segundo o paradigma do ***melhor-esforço***
  - método de acesso ao meio: **CSMA/CD** (carrier sense multiple access/collision detection) -> LAN partilhada

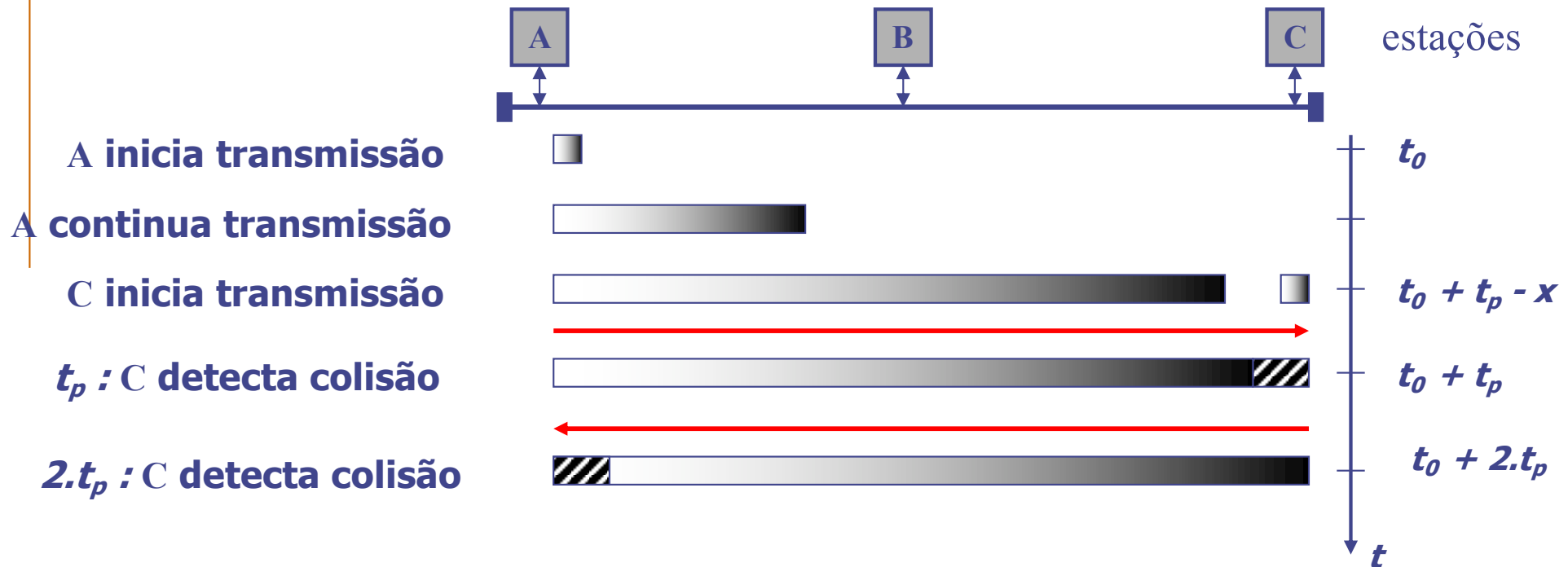
# Redes Locais de Computadores

## Ethernet: acesso ao meio e colisões



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

Ethernet: o acesso múltiplo é contencioso e há detecção de colisões



 Trama  
 Colisão

$t_p = d/v$  = tempo de propagação fim a fim no meio de Tx  
 $d$  = comprimento do meio de Tx  
 $v$  = velocidade de propagação no meio

# Redes Locais de Computadores

## *Ethernet: Controlo de acesso ao meio*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Detecção de colisão
  - baseada no tempo de ida-e-volta (*round trip*) de uma trama
  - é necessário garantir um tamanho mínimo de trama que assegure a detecção de colisão no pior caso possível
  - *Jamming*: Para garantir que outras estações se apercebam da ocorrência de colisão, a que detecta deve forçar uma transmissão de alguns bits antes de parar de transmitir, i.e. **reforçar a colisão** para garantir que ela é detectada por todos os intervenientes.
- No ethernet a trama de *jam* é designada de *jam signal*

# Redes Locais de Computadores

## *Ethernet: Controlo de acesso ao meio: CSMA/CD*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

### ***Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection (CSMA/CD)***

acesso ao meio:

se meio está activo

*(detecção de portadora)*

então acesso ao meio

*(aguarda até meio estar livre)*

senão transmite(trama) || detecta *(tx e lança processo de detecção)*

se detecta = colisão

*(detecção de colisão)*

então transmite(jam);

*(aborta transmissão, reforça colisão)*

K:=K+1;

*(conta as colisões)*

espera(K);

*(espera tempo aleatório, backoff)*

acesso ao meio

*(tenta novamente o acesso)*

senão K:=0

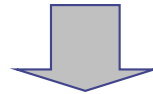
# Redes Locais de Computadores

## *Ethernet: Controlo de acesso ao meio*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Após transmissão de uma trama mais do que uma estação pode estar à espera de uma oportunidade de transmissão .....
- **Consequência:** Se houver mais do que uma estação a aguardar o fim de uma transmissão, quando tal suceder, a colisão é certa. Para reduzir colisões:



Após uma colisão, as estações envolvidas esperam (retraem) um tempo aleatório  $n \times t_p$  (que, com alguma probabilidade será diferente para cada uma) antes de acederem novamente ao meio para retransmitir.

# Redes Locais de Computadores

## *Ethernet: Controlo de acesso ao meio*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Algoritmo de retracção exponencial binária truncada (*truncated binary exponential backoff algorithm*):

### espera(K)

- retorna um tempo de atraso  $n \times t_p$  em que  $n$  é um inteiro aleatório uniformemente distribuído no intervalo  $[0, 2^K - 1]$  e  $K$  é o número de colisões anteriores
- Valor máximo  $K_{\max}$ 
  - = 16 (16 colisões consecutivas)

# Redes Locais de Computadores

## *Ethernet*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Características genéricas:
  - ritmo de transmissão: 10 Mbps, 100 Mbps ...
  - meio de transmissão: UTP, cabo coaxial, fibra
  - 10BASE-5; 10BASE-2; 10BASE-T; 10BASE-F
  - 100BASE-TX; 100BASE-FX; ...
- Gerações mais recentes:
  - 1Gbps (1000BASE-...)
  - 10Gbps (10GBASE-...)
  - Auto-negociação
  - Jumbo frames

# Redes Locais de Computadores

## *Ethernet: características físicas gerais*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

Parâmetro	10BASE5	10BASE2	10BASE-F	10BASE-T
Seg.Máximo	500m	185m	400-2000m	100m
Topologia	barramento	barramento	estrela	estrela
Meio	coax grosso	coax fino	MMF	UTP
Conector	NICBD15	BNC	ST ou SC	RJ-45
Diâmetro	10mm	5mm	Ordem dos $\mu\text{m}$	5
...	...	...	...	...



# Redes Locais de Computadores

## *Fast Ethernet*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

### Fast Ethernet (IEEE 802.3u)

Parâmetro	100BASE -TX	100BASE -FX	100BASE -T4
Distância	100m	100m	100m
Topologia	estrela	estrela	estrela
Meio	UTP5/STP	MMF/SMF	UTP3/4/5
Nº Pares	2	2 fibras	4
Full Duplex	Sim	Sim	Não

# Redes Locais de Computadores

## *Gigabit Ethernet*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

### **Gigabit Ethernet (IEEE 802.3z)**

Name	Cable	Max. segment	Advantages
1000Base-SX	Fiber optics	550 m	Multimode fiber (50, 62.5 microns)
1000Base-LX	Fiber optics	5000 m	Single (10 $\mu$ ) or multimode (50, 62.5 $\mu$ )
1000Base-CX	2 Pairs of STP	25 m	Shielded twisted pair
1000Base-T	4 Pairs of UTP	100 m	Standard category 5 UTP

# Redes Locais de Computadores

*LAN / WAN*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- LAN:
  - Acesso e partilha de recursos locais:
    - servidores, equipamentos especializados, etc
  - Comunicação para cooperação entre processos
    - computação distribuída
- Acesso a redes alargadas ou internet
  - interface partilhada para ligação a redes externas



# Redes Locais de Computadores

## *Topologias LAN*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Topologias LAN mais frequentes:
  - barramento, anel, estrela e árvore
  - usam meios de transmissão variados:  
UTP, cabo coaxial, fibra óptica, ...
  - podem usar repetidores para extensão do meio de transmissão e seu isolamento físico/eléctrico
  - utilização de equipamento específico para redução de colisões e melhorar desempenho (*bridge, switch*)

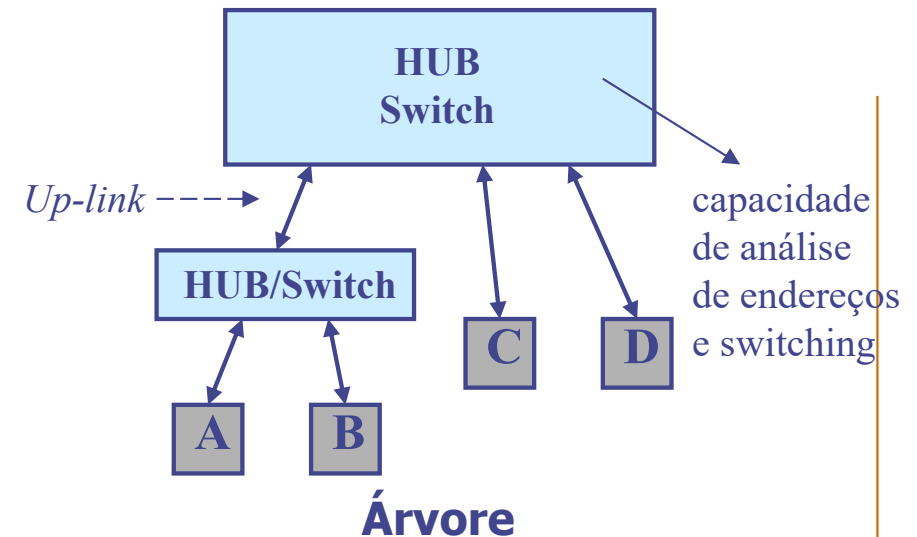
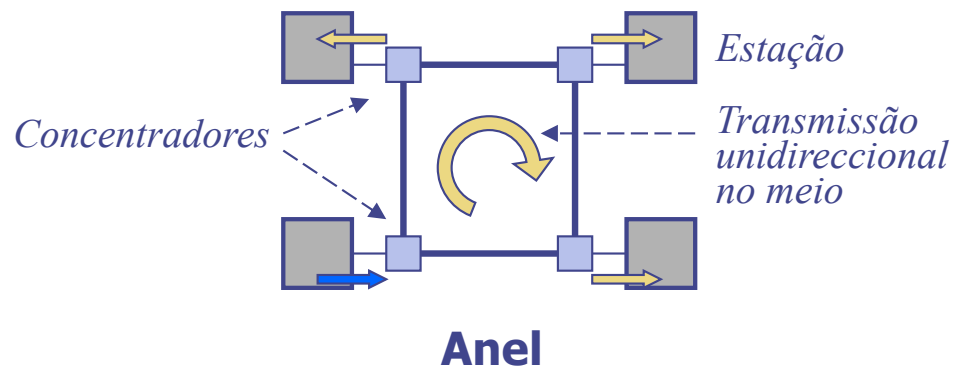
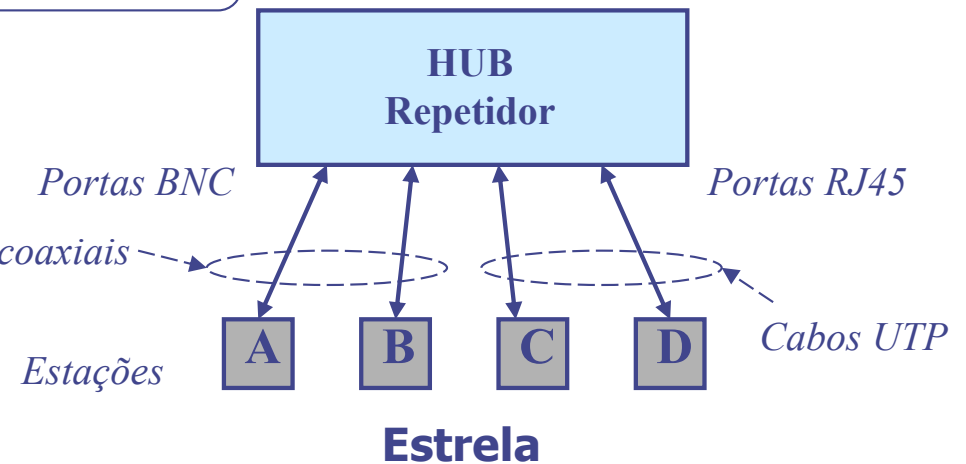
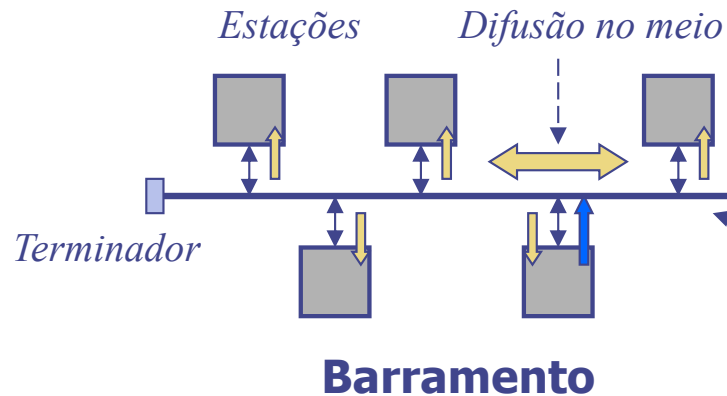
# Redes Locais de Computadores

## Topologias LAN



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

Vantagens ?  
Desvantagens ?



# Redes Locais de Computadores

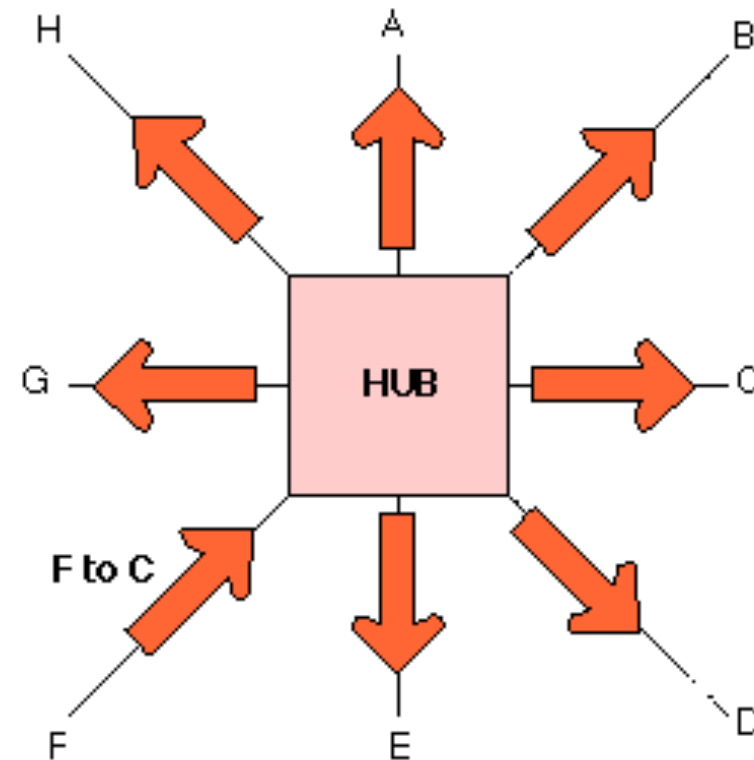
## *Equipamentos de Interligação: Repetidor ou HUB*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Repetidor

- opera ao nível físico (OSI), equipamento passivo
- não interpreta as tramas
- monitorização contínua de sinais e sua regeneração
- repete tudo o que “ouve”
- permite cobrir maiores distâncias
- permite maior flexibilidade no desenho da rede
- usado LANs, MANs, WANs



**Ex. HUB Ethernet**

# Redes Locais de Computadores

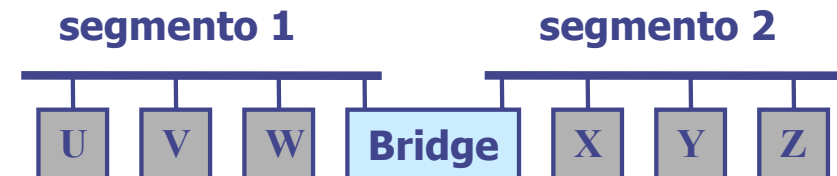
## *Equipamentos de Interligação: Bridge*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- **Bridge**

- opera ao nível da ligação lógica (OSI)
- ligação por interface de rede; tem endereço físico
- interpreta o formato das tramas; faz aprendizagem
- permite isolar tráfego
- divide o domínio colisão
- configuração transparente
- em configuração múltipla, evita ciclos infinitos (Algoritmo Spanning Tree)



Acção	ListaSeg1	ListaSeg2
boot	-	-
U-V	U	-
V-U	U,V	-
Z-all	U,V	Z
Y-V	U,V	Z,Y
Y-X	U,V	Z,Y
X-W	U,V	Z,Y,X
W-Z	U,V,W	Z,Y,X

Processo de Aprendizagem  
em **bridging transparente**

# Redes Locais de Computadores

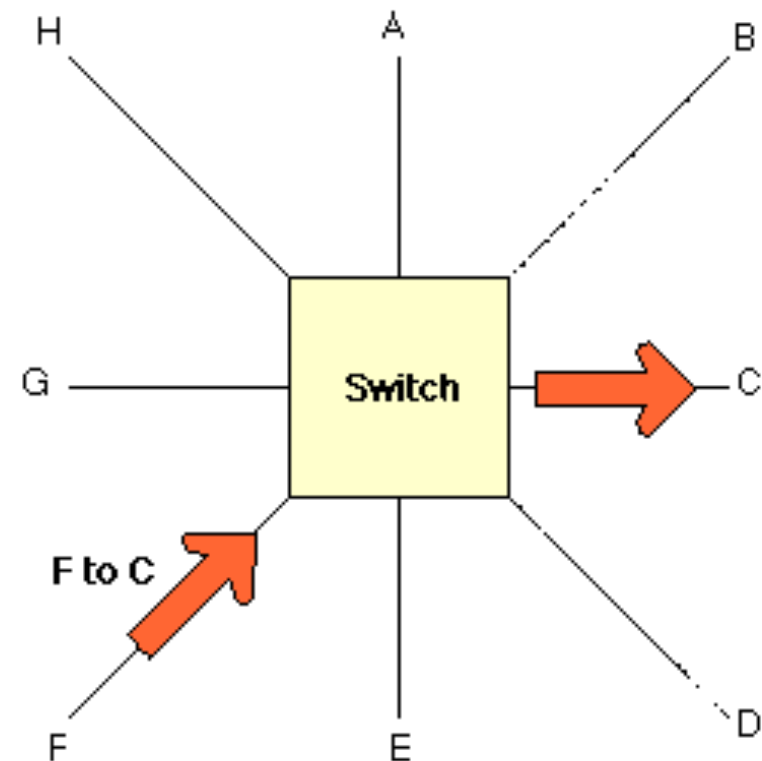
## *Equipamentos de Interligação: Switch*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Switch

- mais de 2 interfaces
- capacidade aprendizagem como as *bridges*
- permite paralelismo
- requer *buffering* adequado
- reduz carga na rede
- aumenta desempenho
- pode validar endereços MAC
- cria LANs virtuais
- usado em LAN, MAN e WAN



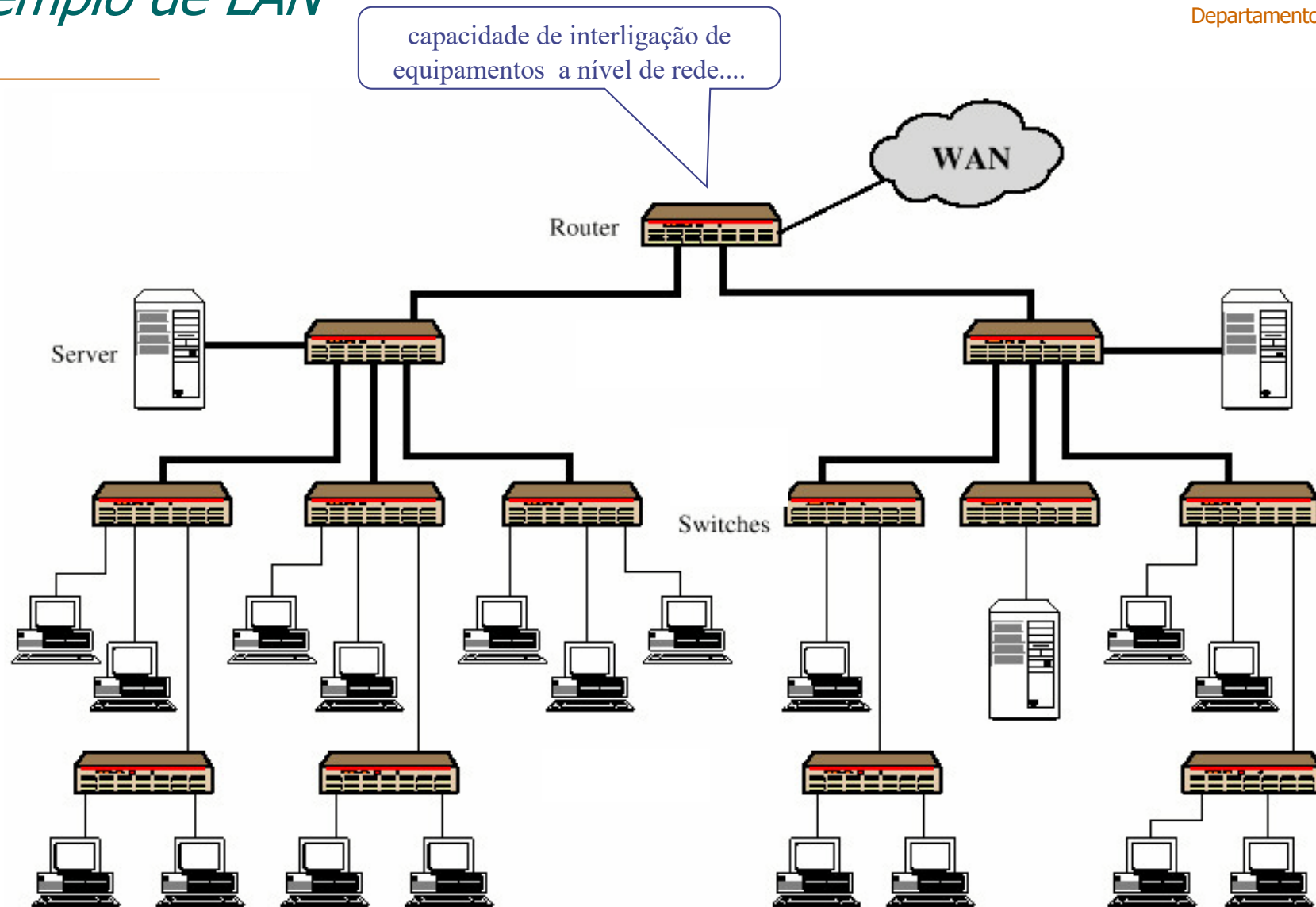


# Redes Locais de Computadores

## *Exemplo de LAN*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



# Redes Locais de Computadores

## *Tecnologias LAN*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- LAN de Acesso Partilhado (*shared* LAN)
  - as estações disputam a largura de banda existente
  - a transmissão no meio é difundida por todas as estações
  - por **definição**, uma LAN é um **domínio de entrega directa de tramas** entre estações, designado por **domínio de colisão**.
  - as estações recebem a trama com um atraso mínimo
  - o **método de acesso** partilhado varia com a topologia:
    - acesso contencioso: barramento e estrela com hub-repetidor
    - acesso ordenado: anel e barramento com testemunho (*token*)
  - o desempenho de uma LAN varia com o tipo de aplicações e com o número de estações interligadas

# Redes Locais de Computadores

## *Tecnologias LAN*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- LAN Comutada (*switched* LAN)
  - mais comum
  - é introduzido um comutador para criar e isolar sub-domínios de colisão dentro de um domínio de entrega directa
  - o comutador de LAN filtra a difusão em função dos endereços da estação de destino das tramas (função *bridging*)
  - Vantagens :
    - maior largura de banda agregada por redução das colisões
    - consequentemente, melhor desempenho

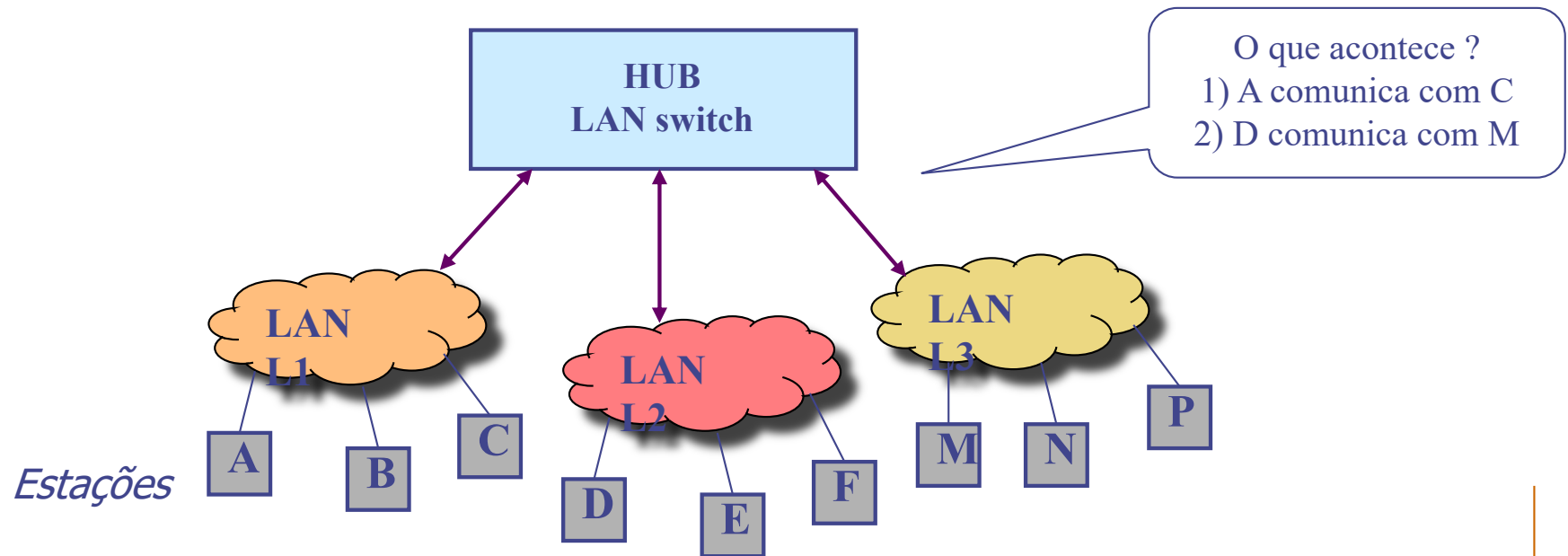
# Redes Locais de Computadores

## Tecnologias LAN



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

### LAN Comutada (*switched* LAN)



3 domínios de colisão: LAN L1, LAN L2 e LAN L3

1 domínio de entrega directa: a LAN comutada

9 estações na mesma LAN comutada

1 porta do comutador ligada a cada LAN  $L_i$

# Redes Locais de Computadores

## *Tecnologias LAN*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- **LAN Virtual Comutada (*switched VLAN*)**
  - as estações ligam directamente ao comutador
  - certos comutadores tem a capacidade de associar conjuntos de portas em diferentes sub-dominios de colisão constituindo LANs virtuais
  - as LAN virtuais não existem externamente ao comutador mas são construídas internamente por configuração do comutador
  - o princípio de funcionamento é idêntico ao da LAN Comutada
  - as estações ligam-se ao comutador normalmente em ponto-a-ponto *full-duplex*

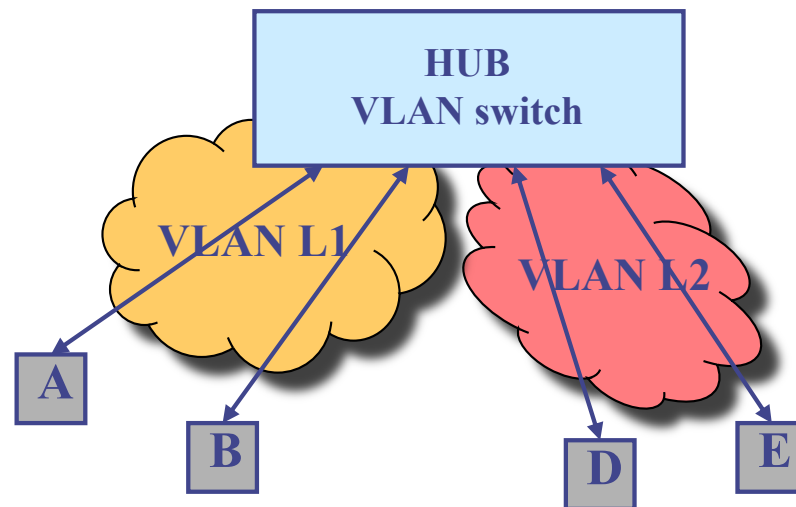
# Redes Locais de Computadores

## *Tecnologias LAN*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

### LAN Virtual Comutada (*switched* VLAN)



2 domínios de colisão: VLAN L1 e VLAN L2

1 domínio de entrega directa: a VLAN comutada

4 estações na mesma LAN comutada

1 porta do computador ligada a cada estação

portas do computador associadas por configuração formando LANs virtuais

# Ponto da situação e revisão de conceitos fundamentais



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- **Cap. 1** - Transmissão e Comunicação de Dados
- **Cap. 2** - Elementos de Protocolos - Controlo da Ligação de Dados
- **Cap. 3 e 4** – Redes Locais Cabladas e Wireless
- **Cap. 5** - Protocolos TCP/IP