



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

# **Comunicações por Computador**

## **Cap 5 - Protocolos TCP/IP**

**Universidade do Minho**  
**Grupo de Comunicações por Computador**  
**Departamento de Informática**

# Internetworking

## *Introdução*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Nenhuma das tecnologias existentes de rede local (LAN) é adequada para satisfazer **todos os requisitos de comunicações** das aplicações.
- Nenhuma dessas tecnologias é totalmente **escalável**:
  - Os endereços não têm estrutura, resultando em:
    - dificuldade de administração e encaminhamento
  - Não há mecanismos de encaminhamento nos protocolos
  - Os PDU têm comprimentos limitados;
  - Os métodos de acesso não suportam grandes distâncias

# Internetworking

## Introdução



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

### Questões:

*Será que para existir um serviço de rede único e global (universal) é necessário adoptar a mesma tecnologia de rede em todos os locais?*

*Ou será possível oferecer serviços de conectividade universal mesmo adoptando diferentes tecnologias locais?*

--> É possível a conectividade global entre redes com diferentes tecnologias locais introduzindo uma **camada protocolar superior** independente daqueles:

**A camada protocolar de rede**, também chamada de **interligação de redes** ou de *internetworking*

# Internetworking

## *Introdução*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

O *internetworking* baseia-se na utilização de funcionalidades específicas de rede (realizadas tanto em *hardware* como em *software*) que proporcionam um serviço global de interligação de redes locais (LAN) heterogéneas:

- *Software: protocolos de rede -internetworking*
- *Hardware: encaminhadores - routers*

## Funções principais de um *router*

### 1 Escolha do melhor caminho (*routing*)

- Consiste na construção da sua própria **tabela de encaminhamento** (*routing table*) que traduz o próximo salto do melhor caminho de um PDU para o seu destino
- A tabela pode ser populada **estática** ou **dinamicamente** através de protocolos de encaminhamento executados entre routers

### 2 Entrega (*forwarding*)

- Consiste na consulta da tabela de encaminhamento para decidir para onde enviar os PDU recebidos, i.e., o **próximo salto**: endereço de entrega/interface de saída

## Características de um *router*

- Opera ao nível da **camada** protocolar de rede
- Dispõe de múltiplos interfaces de rede
  - ex: interliga diferentes redes IP e assegura a sua interconectividade
  - cada interface tem uma identificação (endereço) de rede distinta

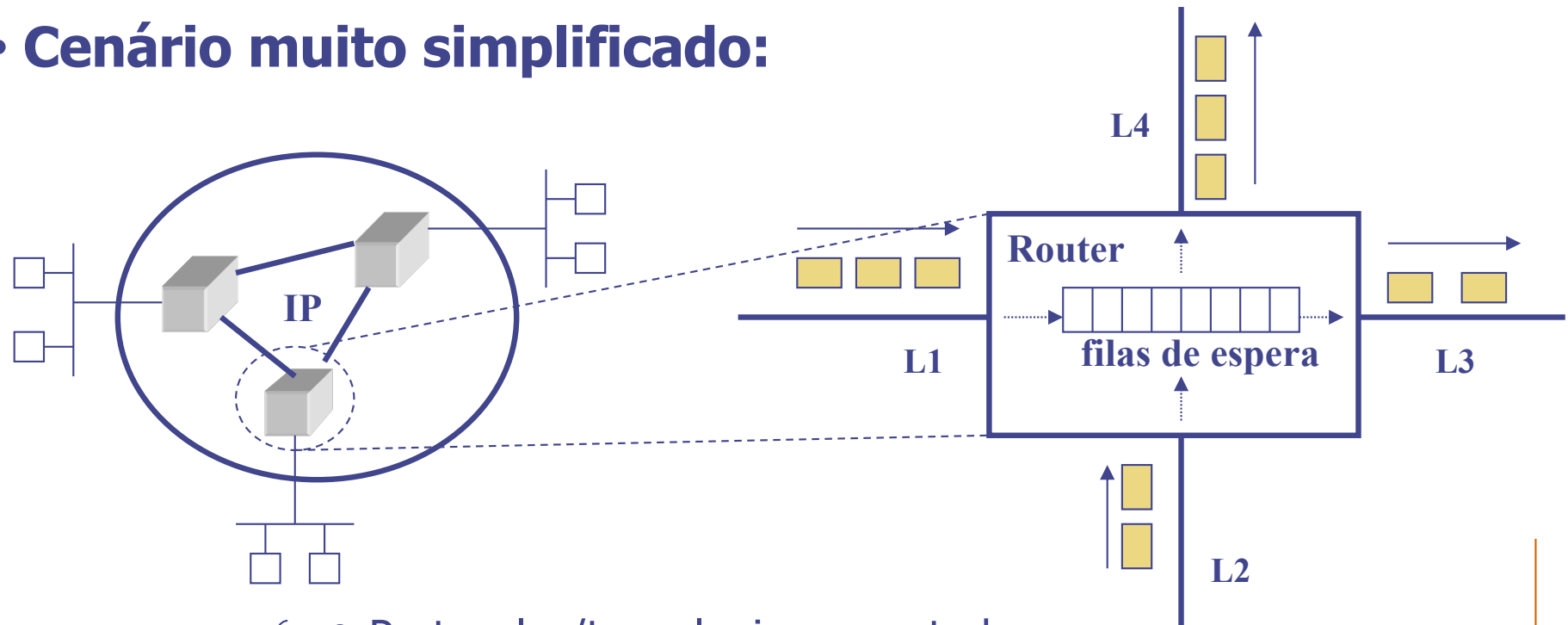
# Internetworking

## *Introdução*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

### • Cenário muito simplificado:



### Características:

- Protocolos/tecnologias suportadas
- Capacidade de processamento
- Memória, buffers internos
- Técnicas de gestão dos buffers
- etc ...

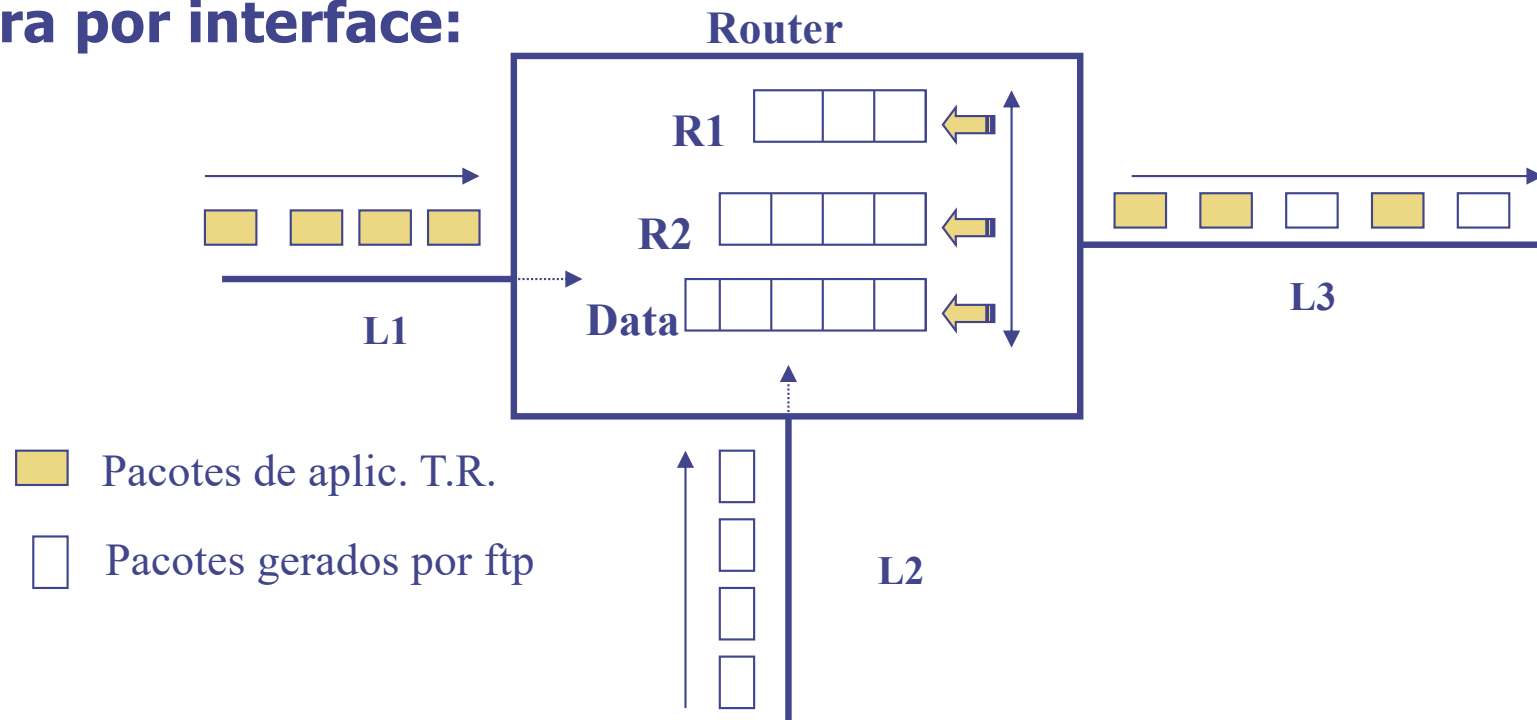
# Internetworking

## *Introdução*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- **Exemplo simplificado (router) com múltiplas filas de espera por interface:**



- Decidir como os pacotes são tratados internamente no equipamento
- Garantir que se processa x pacotes/tempo numa dada fila de espera
- etc ...



# Redes de Computadores

## Introdução



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- As WAN são redes ponto-a-ponto, *store-and-forward*
  - o número de circuitos, **c**, necessários para a interligação total de N estações, seria:

$$c = \frac{N(N-1)}{2}$$

- para reduzir as interligações utilizam-se comutadores de tráfego interligados por um (menor) número de circuitos ponto-a-ponto de alta capacidade multiplexando tráfego
- os circuitos de acesso à WAN são ponto-a-ponto e podem usar diferentes protocolos de acesso

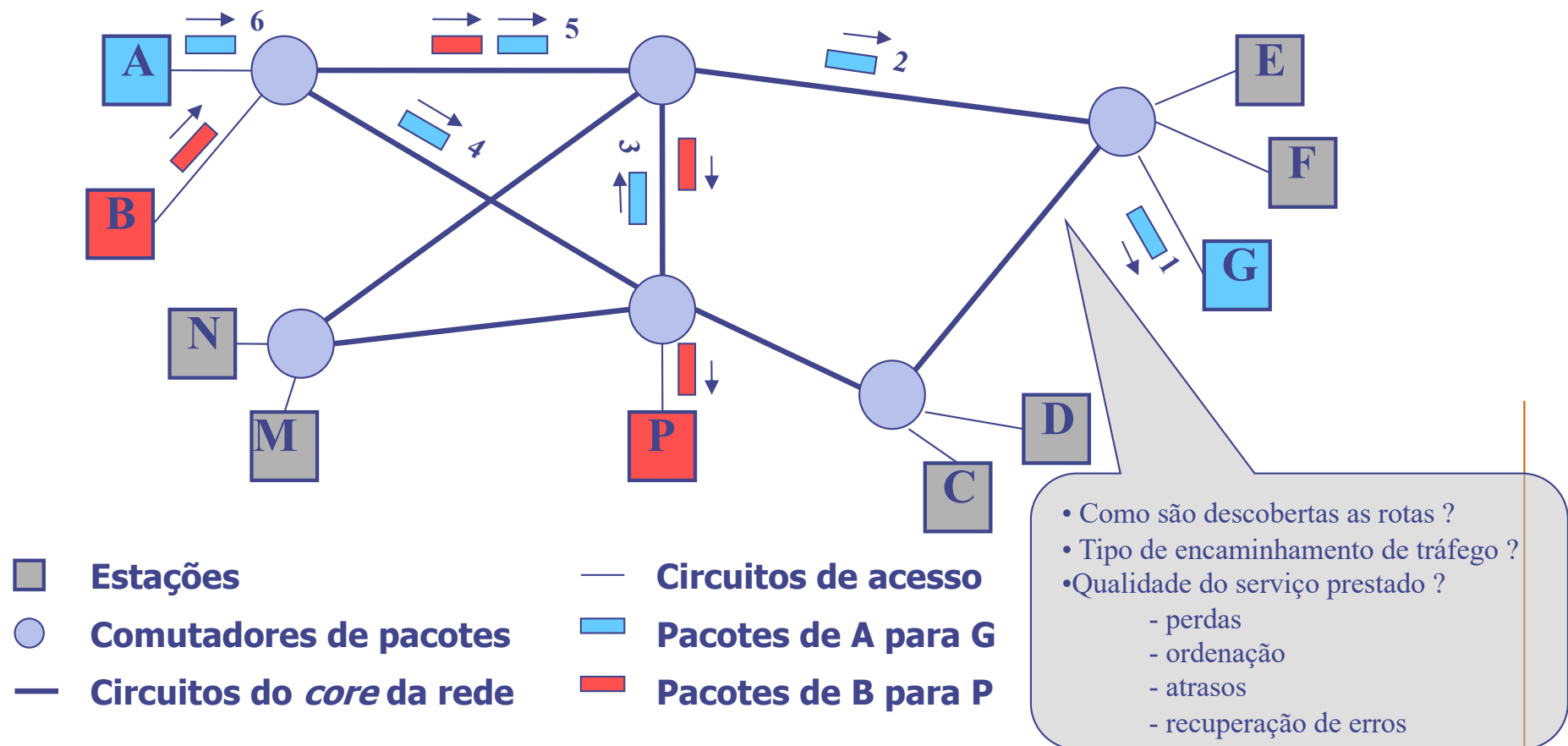
# Redes de Computadores

## Introdução



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

rede de comutação de pacotes  
(*store-and-forward packet switching network*)



# Redes de Computadores

## Introdução



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Rede *store-and-forward* de datagramas:
  - datagramas da mesma associação seguem rotas independentes (são comutados independentemente)
  - datagramas podem chegar fora da ordem de partida
    - Exemplo: associação entre estações A e G  
ordem de chegada dos datagramas: 1,2,3,5,4,6
- Rede *store-and-forward* de circuitos virtuais:
  - datagramas seguem a mesma rota
  - datagramas chegam sempre pela ordem de partida
    - Exemplo: associação entre estações B e P por circuito virtual

# Redes de Computadores

## Introdução



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

Ex. Redes  
IP

Ex. Redes  
MPLS, ATM

Função	Redes de Datagramas	Redes de Circuitos Virtuais (VC)
Estabelecimento prévio da conexão (ou circuito)	Não é necessário	É necessário
Endereçamento	Endereço de origem e destino em cada PDU	PDUs contêm o identificador do circuito
Routing / Forwarding	PDUs são encaminhados de forma independente entre si	A rota é estabelecida inicialmente e todos os PDUs utilizam essa rota
Informação de estado	não é necessária (para best-effort)	necessária por VC
Falha de um elemento de rede	não é normalmente problemática	todos os VC são terminados
Controlo de tráfego e Controlo de congestão	difícil	fácil, se os recursos atribuídos são suficientes

# Internetworking

## *Introdução*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- O protocolo de *internetworking* mais utilizado é o **Internet Protocol (IP)**, da pilha protocolar TCP/IP
- No IP o datagrama é o termo normalmente utilizado para designar a unidade de dados da rede:

**Datagrama:** unidade de dados que é encaminhada independentemente (de outras que a precedam ou sucedam) pela rede, sem garantia de entrega [usualmente designado por pacote]

- processo de entrega dos datagramas IP é normalmente baseado no endereço destino do datagrama e nas tabelas de routing presentes nos diversos *routers* e *hosts*

## Características

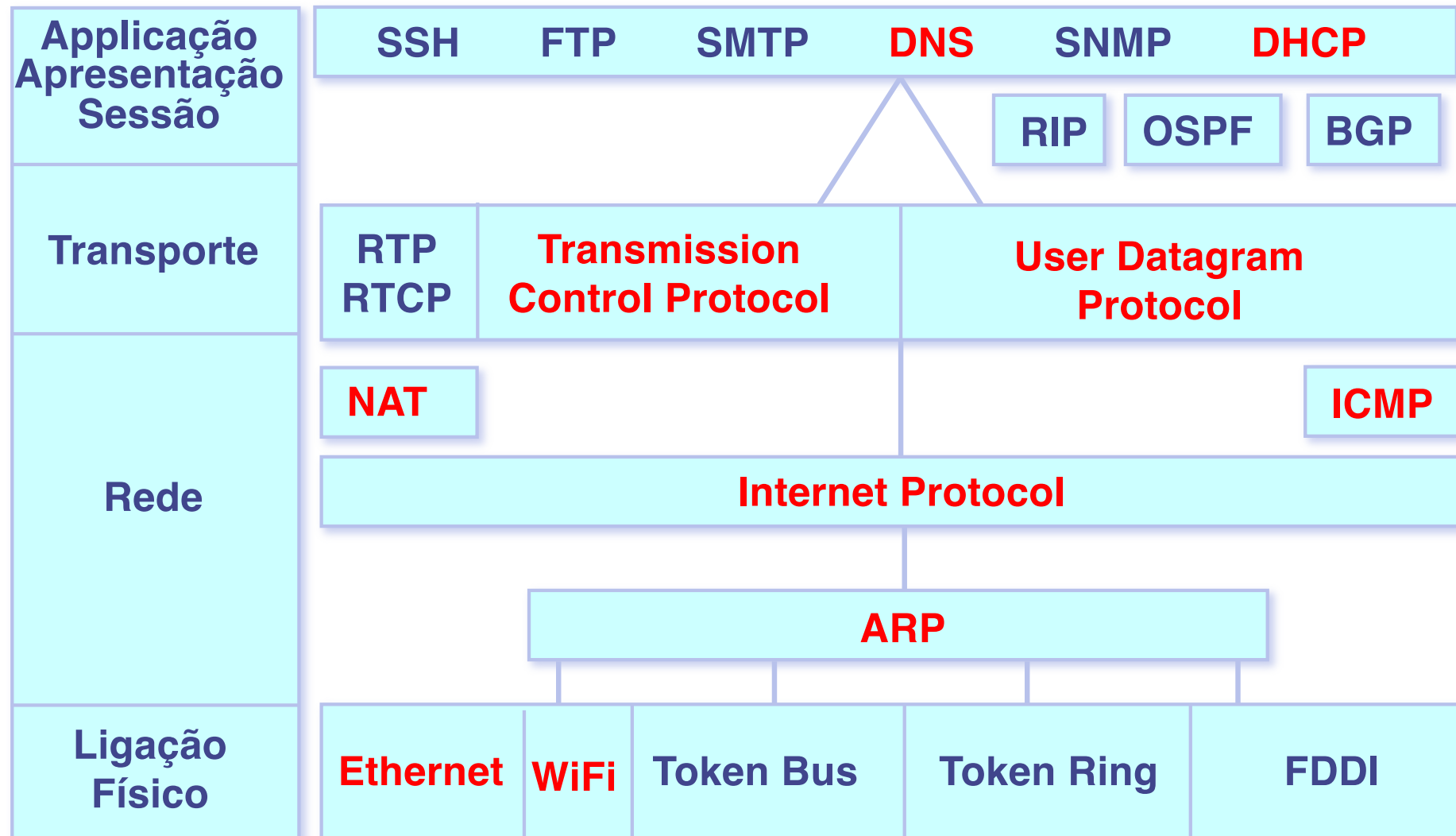
- Aberta
  - especificações publicadas e bem conhecidas
  - abertura completa ao desenvolvimento de código
- Portável
  - independência do sistema operativo e plataforma
  - quaisquer sistemas podem comunicar
- Estável e Robusta
  - normas testadas ao longo de quatro décadas e fixas
  - mas ainda em desenvolvimento e aperfeiçoamento
- Suporte global
  - incluída na globalidade dos sistemas de computação

# TCP/IP

## *O modelo e os protocolos: camadas*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



# TCP/IP

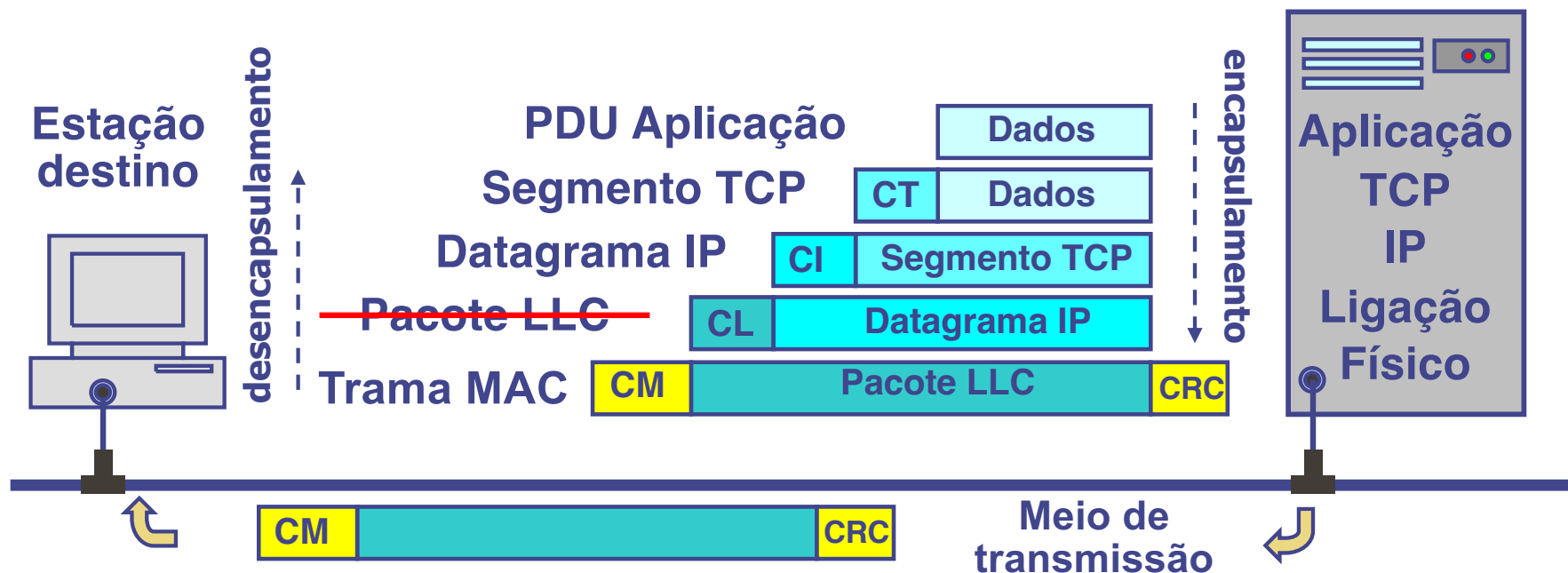
## *Encapsulamento protocolar*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

A hierarquia protocolar por camadas traduz-se no encapsulamento dos PDU:

- Na origem, o PDU da camada N+1 é inserido no campo de dados do PDU da camada N
- No destino, o PDU da camada N é recuperado do campo de dados do PDU da camada N-1





# TCP/IP

## Encapsulamento protocolar



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

### Exemplo: aplicação FTP

#### ----- MAC HEADER -----

Frame size is 67 (0x0043) bytes  
Destination = station 0050FC5CE9AB, pc4  
Source = station 0050FC5CE9B0, pc2  
Ethertype = 0800 (IPv4)

#### ----- IP HEADER -----

Version = 4, Header length = 20 bytes  
Diff Serv Field = 0xC0 (DSCP 0x30: Class Selector 6; ECN: 0x00)  
1 1 0 0 0 0 . . = DSCP: Class Selector 6 (0x30)  
. . . . . 0 . = ECN-Capable Transport (ECT): 0  
. . . . . 0 = ECN-CE: 0  
Total length = 53 bytes  
Identification = 5974  
Flags = 0x4  
. 1 . . . . . = don't fragment  
. . 0 . . . . . = last fragment  
Fragment offset = 0 bytes  
Time to live = 60  
Protocol = 6 (TCP)  
Header checksum = AFA0 (correct)  
Source address = [192.168.89.12], pc2.labcom.uminho.pt  
Destination address = [192.168.89.14], pc4.labcom.uminho.pt  
No options

#### ----- TCP HEADER -----

Source port = 1062  
Destination port = 21 (FTP)  
Sequence number = 532928015  
Acknowledgment number = 549440112  
Data offset = 20 bytes  
Flags = 0x18  
. . 0 . . . . . = (No urgent pointer)  
. . . 1 . . . . = Acknowledgment  
. . . . 1 . . . = Push  
. . . . . 0 . . = (No reset)  
. . . . . 0 . = (No SYN)  
. . . . . 0 . = (No FIN)  
Window = 33580  
Checksum = CE68 (correct)  
No TCP options  
[13 byte(s) of data]

#### ----- FTP data -----

PASS Visita<0DOA>

# TCP/IP

## IP - *Internet Protocol*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- É um protocolo de interligação de redes
  - paradigma protocolar do **melhor esforço** (*best effort*):  
--> o protocolo esforça-se por entregar os datagramas ao destino **mas não o garante** (datagramas podem perder-se)
- Versões: IPv4 (em uso generalizado), IPv6
- **Principais funções:**
  - **Endereçamento e encaminhamento**
    - incorpora um esquema de **endereçamento universal**
  - fornece a unidade elementar de **transferência de dados:**
    - o PDU do IP é um datagrama IP
    - inclui mecanismos para o seu **encaminhamento**
  - **fragmentação** de datagramas: transito em qualquer LAN

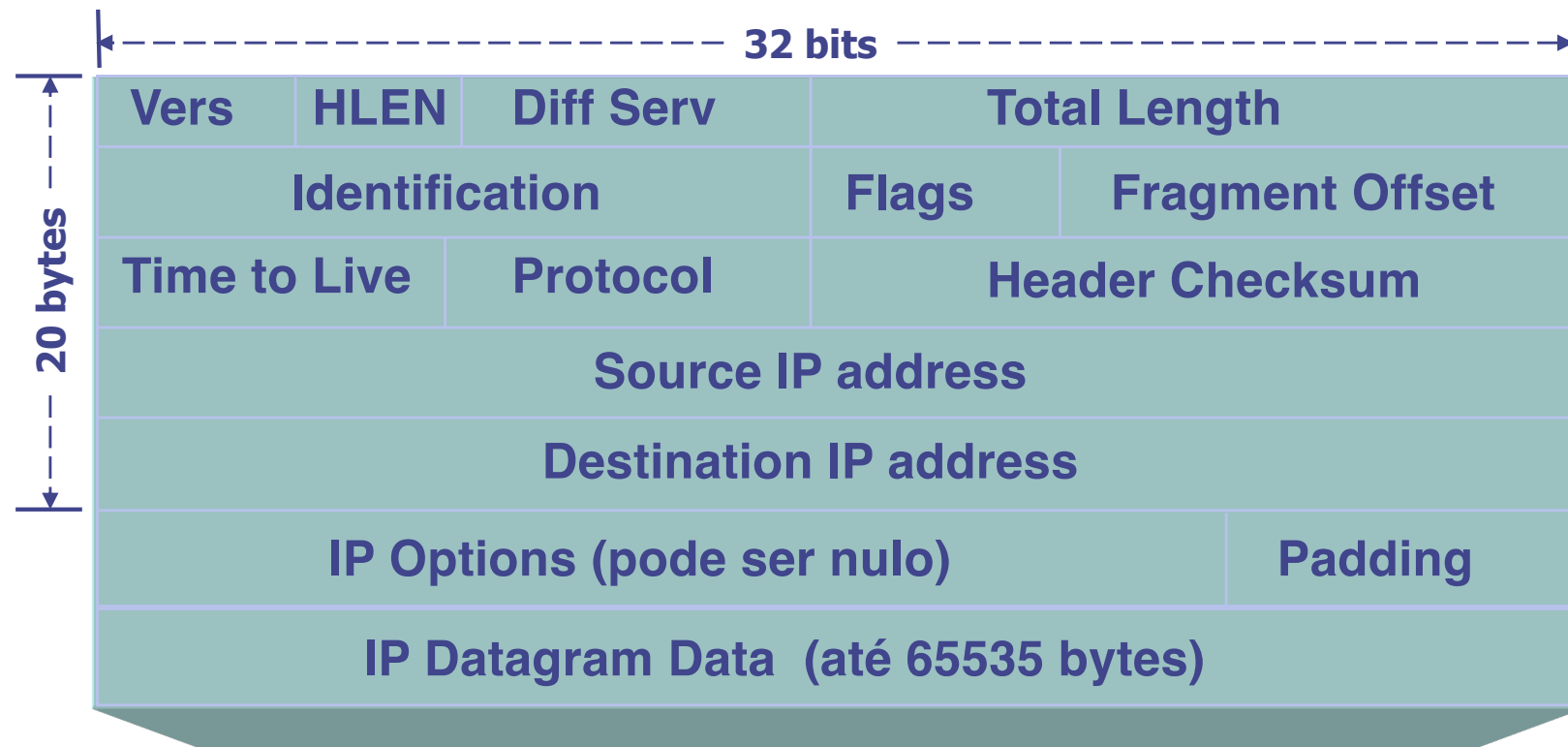
# TCP/IP

## IP - *Internet Protocol*

## Formato do datagrama IPv4



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



**Ethernet Data Field**



- IPv6 - define novo formato de pacotes com introdução de novas funcionalidades na camada IP
  - novos formatos de endereços (128-bit)
  - diminuição do overhead de processamento
  - melhor desempenho dos elementos de rede
  - introdução de novas *options IP*
  - introdução de mecanismos de segurança a nível da camada de rede
  - outras...

# TCP/IP

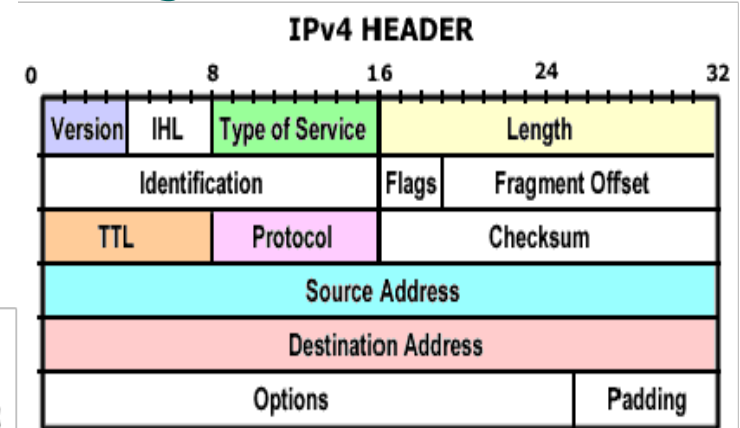
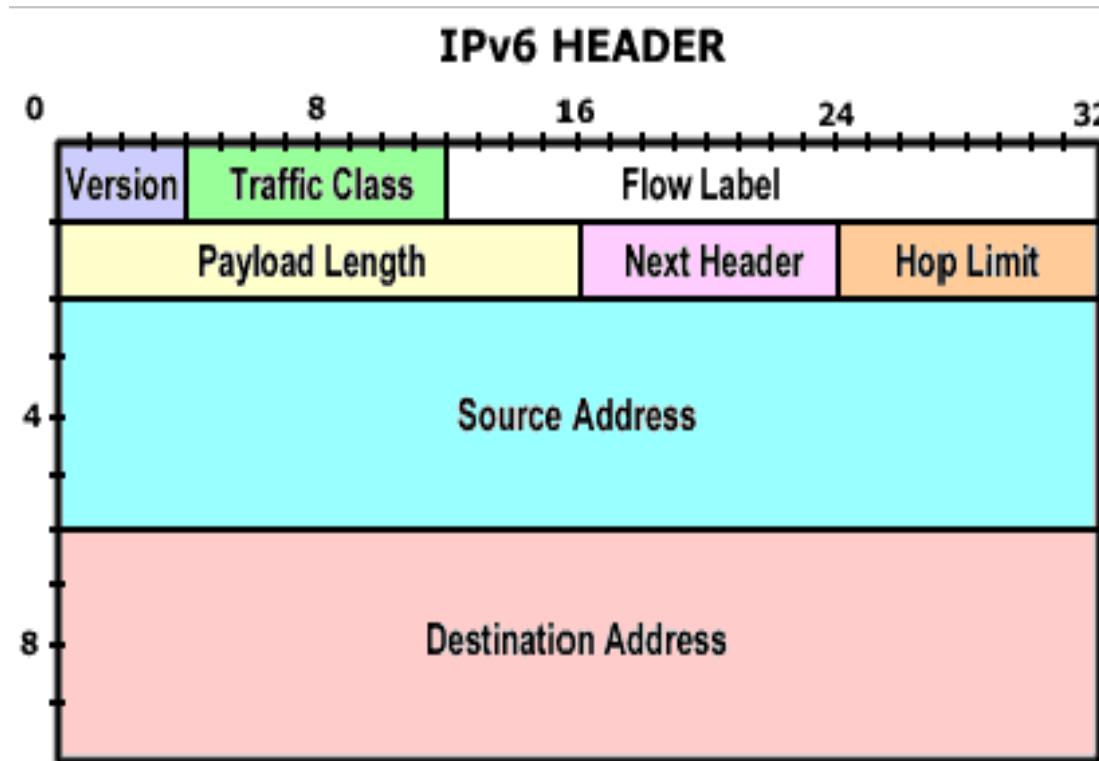
## IP - *Internet Protocol*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

## Formato do datagrama IPv6

- Campos do datagrama IPv6:



**Alteração do formato e  
composição do pacote IPv4**

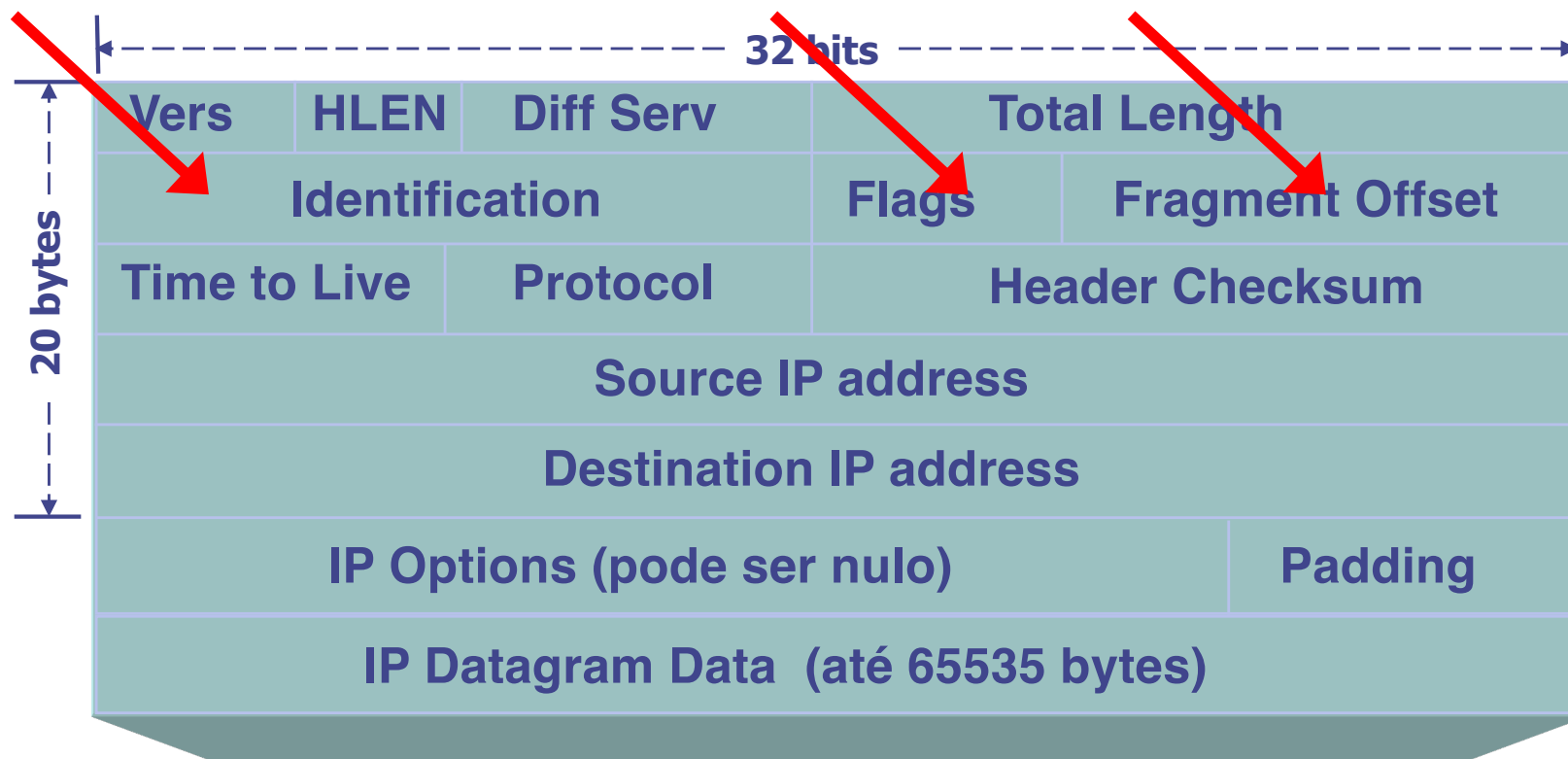
### Fragmentação

- Um datagrama cujo comprimento exceda o MTU definido para a LAN, é dividido em datagramas mais curtos, chamados **fragmentos**, que serão reagrupados no destino de modo a reconstituírem o datagrama original
  - Os fragmentos são datagramas IP e são encaminhados como tal como qualquer outro datagrama IP
- **MTU** (*Maximum Transfer Unit*): número máximo de bytes aceites no campo de dados da trama da LAN
- A fragmentação não depende dos routers, mas sim das características das LAN ligadas aos seus interfaces

### Fragmentação

Vantagens/Desvantagens ?

- Campos manipulados na fragmentação:



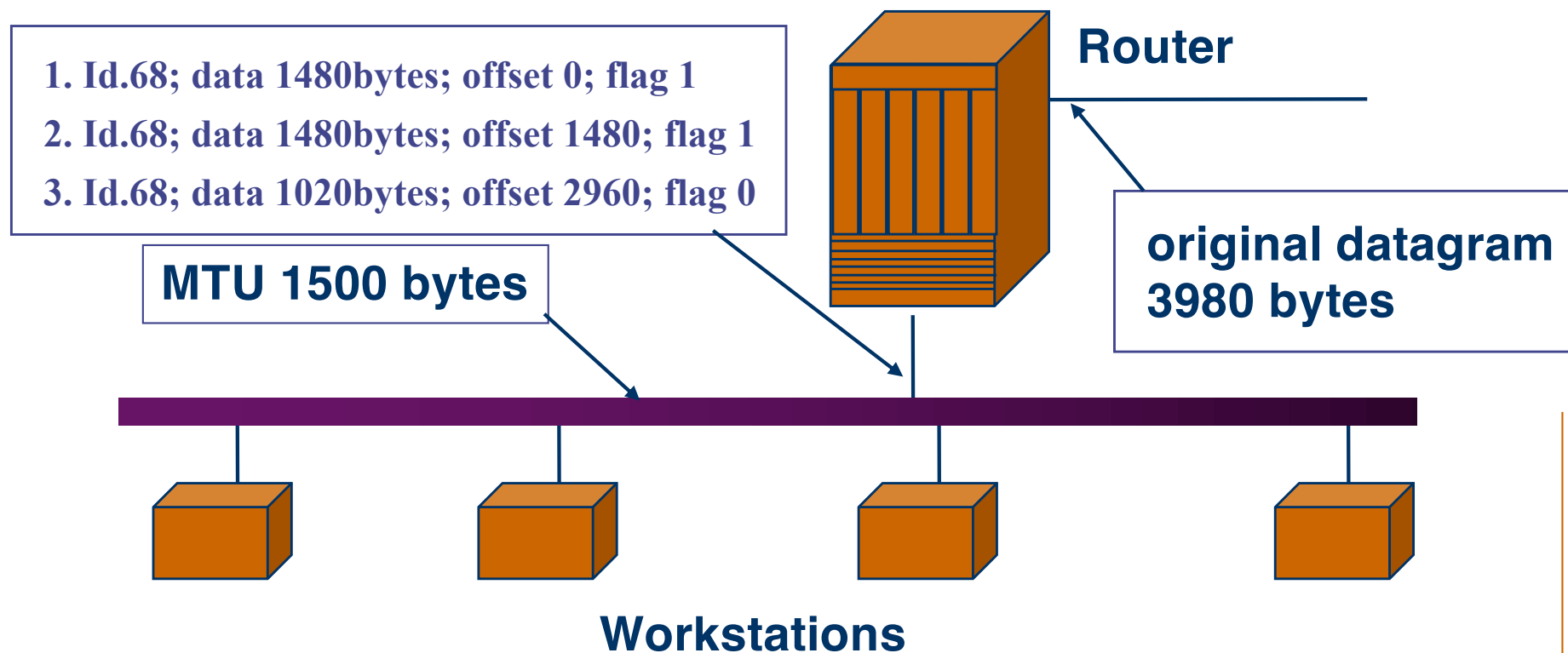


- Campos manipulados na fragmentação:
  - *identification* - identifica fragmentos pertencentes ao mesmo datagrama original
  - *more fragments* - flag que determina se o fragmento é o último
  - *may fragment* - identificação da possibilidade ou não do datagrama ser fragmentado pela rede
  - *fragment offset* - offset dos dados do fragmento relativamente ao datagrama original



## Fragmentação

- Exemplo de Fragmentação



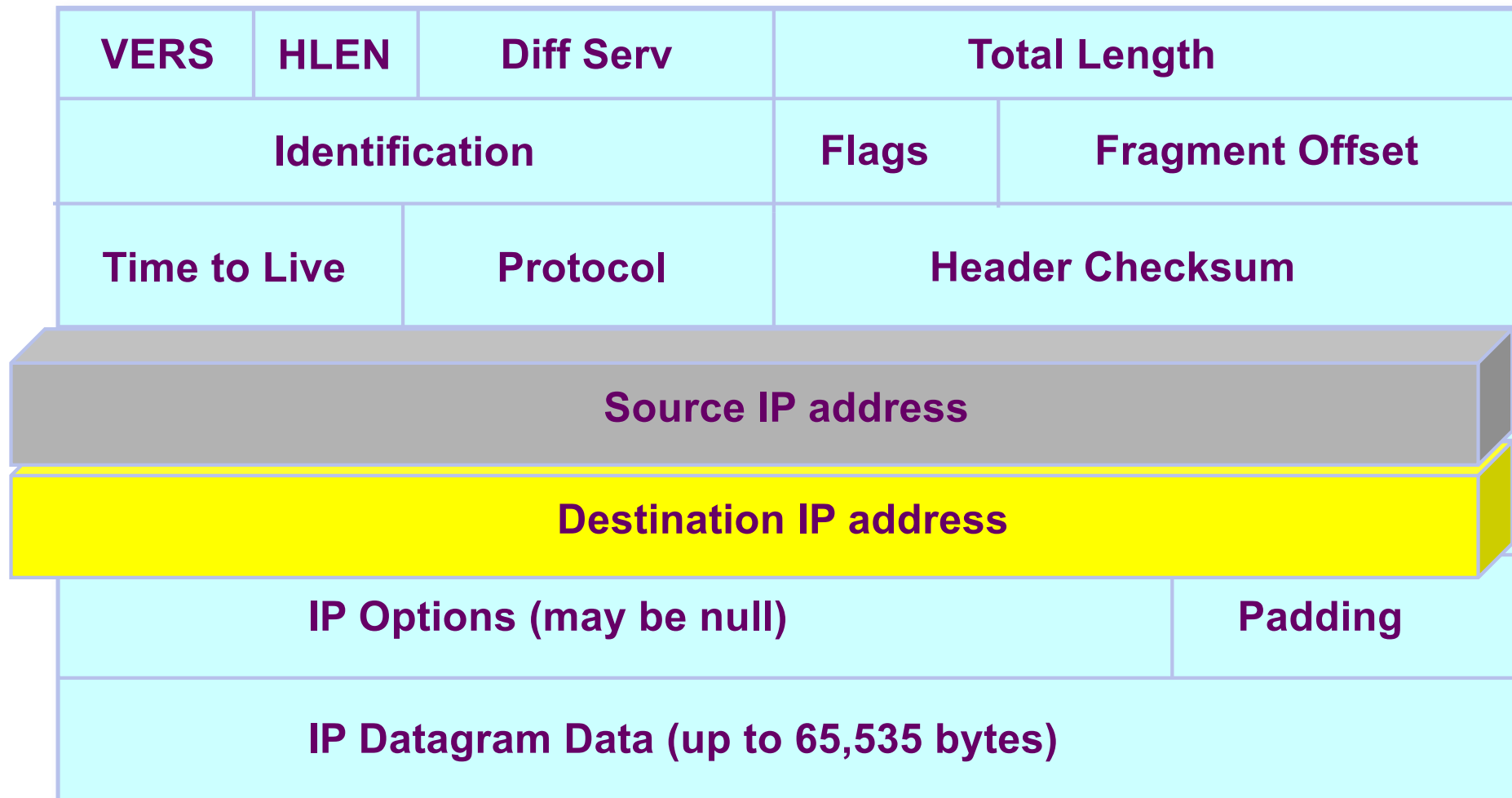
# TCP/IP

## IP - *Internet Protocol*

### Endereçamento



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



- Endereçamento por classes (**ou *Classful***)
  - esquema original, baseado na RFC 791
  - usa os primeiros bits como identificadores de classe
- Endereçamento sem classes (**ou *Classless***)
  - não considera os bits de classe, utilizando uma máscara de 32 bits para determinar o endereço de rede
  - permite routing mais eficiente por agregação de rotas, designado CIDR (*Classless Internet Domain Routing*)
  - tabelas de encaminhamento mais pequenas
    - as rotas são agregadas por grupos de endereços adjacentes
  - usado pelas tabelas de routing de ISPs

# TCP/IP

## IP - *Internet Protocol*

## Endereçamento



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

O endereço IP é um endereço da camada de rede

- IPv4: 32 bits

XXXXXXXX.XXXXXXXXXX.XXXXXXXXXX.XXXXXXXXXX

(em notação decimal - *dot decimal notation*)

- uma parte identifica a rede (ou subrede) e a outra identifica o interface da estação (*host*) nessa rede
- na *internet*, cada *endereço de rede* tem de ser único
- distribuídos por 5 classes (A a E)
- atribuídos pela IANA (*Internet Assigned Number Authority*)

# TCP/IP

## IP - *Internet Protocol*

## Endereçamento por classe



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

Identificador da classe	Parte do Endereço de Rede	Parte do Endereço de Estação
-------------------------	---------------------------	------------------------------

### Classe A

0	7 bits de end. de rede	24 bits de endereço de estação
---	------------------------	--------------------------------

### Classe B

10	14 bits de endereço de rede	16 bits de endereço de estação
----	-----------------------------	--------------------------------

### Classe C

110	21 bits de endereço de rede	8 bits end. de estação
-----	-----------------------------	------------------------

### Classe D

1110	Endereços Multicast no intervalo 224.0.0.0 - 239.255.255.255	
------	--	--

### Classe E

11110	Classe E – Reservado para utilização futura	
-------	---	--

### Endereços IPv4 por classes

Classe	A	B	C	D
<b>(1° byte)</b> redes	<b>(1-126) *</b> 126	<b>(128-191)</b> 16.382	<b>(192-223)</b> 2.097.150	Grupo multicast (224.0.0.0 - 239.255.255.255 )
hosts/rede	$(2^{24}-2)$ 16.777.214	$(2^{16}-2)$ 65.534	$(2^8-2)$ 254	
reservado	host a 0s ou 1s	host a 0s ou 1s	host a 0s o u 1s	

\* 127. - loopback

Ex: Classe A - 120.10.10.1 (rede 120.0.0.0; host 10.10.1)

Classe B - 130.100.80.1 (rede 130.100.0.0; host 80.1)

Classe C - 192.136.9.1 (rede 192.136.9.0; host 1)

### Restrições a Endereços IP

- Endereços reservados:
  - os primeiros 4 bits não podem ser 1
  - 127.x.x.x é o endereço reservado para *loopback*
  - bits de host a 0s ou 1s são reservados (a rede ou broadcast)
  - bits de subnet a 0s ou 1s reservados (regra obsoleta)
- Endereços privados: atribuídos para internets privadas (sem conectividade global, não devem ser visíveis nem são encaminhados na internet exterior), RFC1918:
  - bloco 192.168.0.0 - 192.168.255.255
  - bloco 172.16.0.0 - 172.31.255.255
  - bloco 10.0.0.0 - 10.255.255.255

- Endereços para configuração dinâmica do Link-Local:
  - Está reservado o bloco 169.254 /16 para comunicação entre estações ligadas ao mesmo meio físico nas seguintes condições:
  - Quando um interface não foi configurado com um endereço IP, nem manualmente nem por uma fonte na rede (ex: DHCP) a estação pode configurar automaticamente o interface com um endereço IPv4 de prefixo 169.254 /16
  - Algoritmo:
    1. Gera um endereço aleatório uniformemente distribuído no intervalo [169.254.1.0 , 169.254.254.255]
    2. Envia ARP-request com endereço de destino igual ao gerado (probe)
    3. Se houver ARP-reply então repete 1. porque há colisão de endereço
    4. Senão anuncia endereço gerado através de um ARP-announcement



### Máscara de endereço

Máscara: padrão que conjugado com o endereço IP, devolve a parte do endereço de rede (ou sub-rede)

- No endereçamento **por classes** as máscaras são (default mask):
  - Classe A: 11111111.00000000.00000000.00000000  
notação decimal: 255.0.0.0 notação CIDR: /8
  - Classe B: 11111111.11111111.00000000.00000000  
notação decimal: 255.255.0.0 notação CIDR: /16
  - Classe C: 11111111.11111111.11111111.00000000  
notação decimal: 255.255.255.0 notação CIDR: /24
- No endereçamento **sem classes** as máscaras têm qualquer outro valor permitindo a criação de *subnets* (subredes) da classe original ou *supernets*.

### Endereçamento sem classes - *subnetting*

- Considere-se o endereço IP 130.1.5.1
  - é o endereço da estação **5.1** da rede **130.1.0.0** (classe B)  
considerando máscara por defeito (default mask): 255.255.0.0 ou /16
- Considere-se o endereço IP **130.1.5.1/24**
  - é o endereço da estação **1** da sub-rede **130.1.5.0**

(máscara com múltiplo de 8 bits)

8 bits para subnetting:

Nº subredes –  $2^8 - 2$

Nº hosts –  $2^8 - 2$

Rede	Estação	Máscara de subrede	Rede	Subrede	Estação
130.1	5.1	255.255.255.0	130.1	5	1
interpretação original por classe		interpretação sem classe (CIDR)			

# TCP/IP

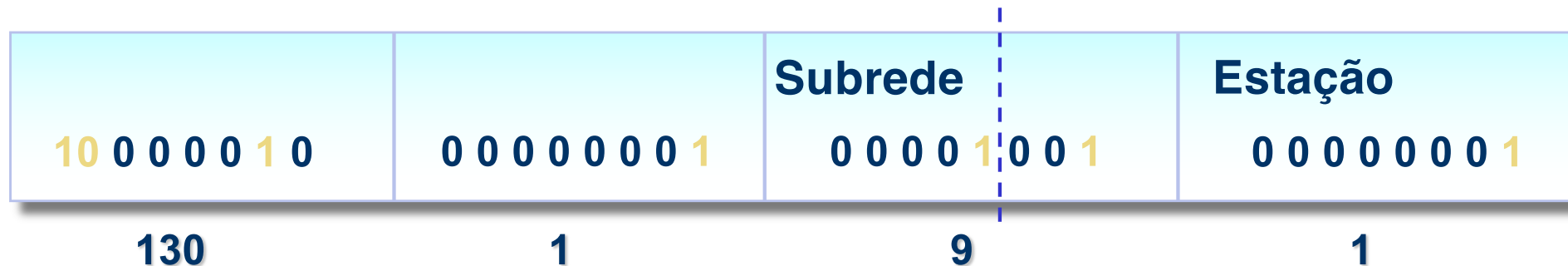
## IP - *Internet Protocol*

## Endereçamento



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Considere-se o endereço IP **130.1.9.1/21**
  - é o endereço da estação **257** da sub-rede **130.1.8.0**



O endereço Lógico

é:

(máscara com 21 bits)

Rede: 130.1.0.0

Subnet: 8

Host: 257

11111111.11111111.11111000.00000000

Máscara de Subnet 255.255.248.0

5 bits para subnetting:

Nº subredes –  $2^5$  (-2)

Nº hosts –  $2^{11}-2$

# TCP/IP

## IP - *Internet Protocol*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

## Endereçamento

Endereço de subnet classe B - 150.5.129.1 / 23

ID de Rede: 150.5.0.0; subnet 128

Subnet: 7 bits

1 0 1 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 1 0 1	1 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0 0 1
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

ID da Rede 150.5

ID da Subnet 128

ID da estação 257

Endereço 1 0 1 0 0 0 0 0    0 0 0 0 0 1 0 1    1 0 0 0 0 0 0 1    0 0 0 0 0 0 0 1

Máscara 1 1 1 1 1 1 1 1    1 1 1 1 1 1 1 1    1 1 1 1 1 1 1 0    0 0 0 0 0 0 0 0

1 0 1 0 0 0 0 0    0 0 0 0 0 1 0 1    1 0 0 0 0 0 0 0    0 0 0 0 0 0 0 0

Máscara: 255.255.254.0

# TCP/IP

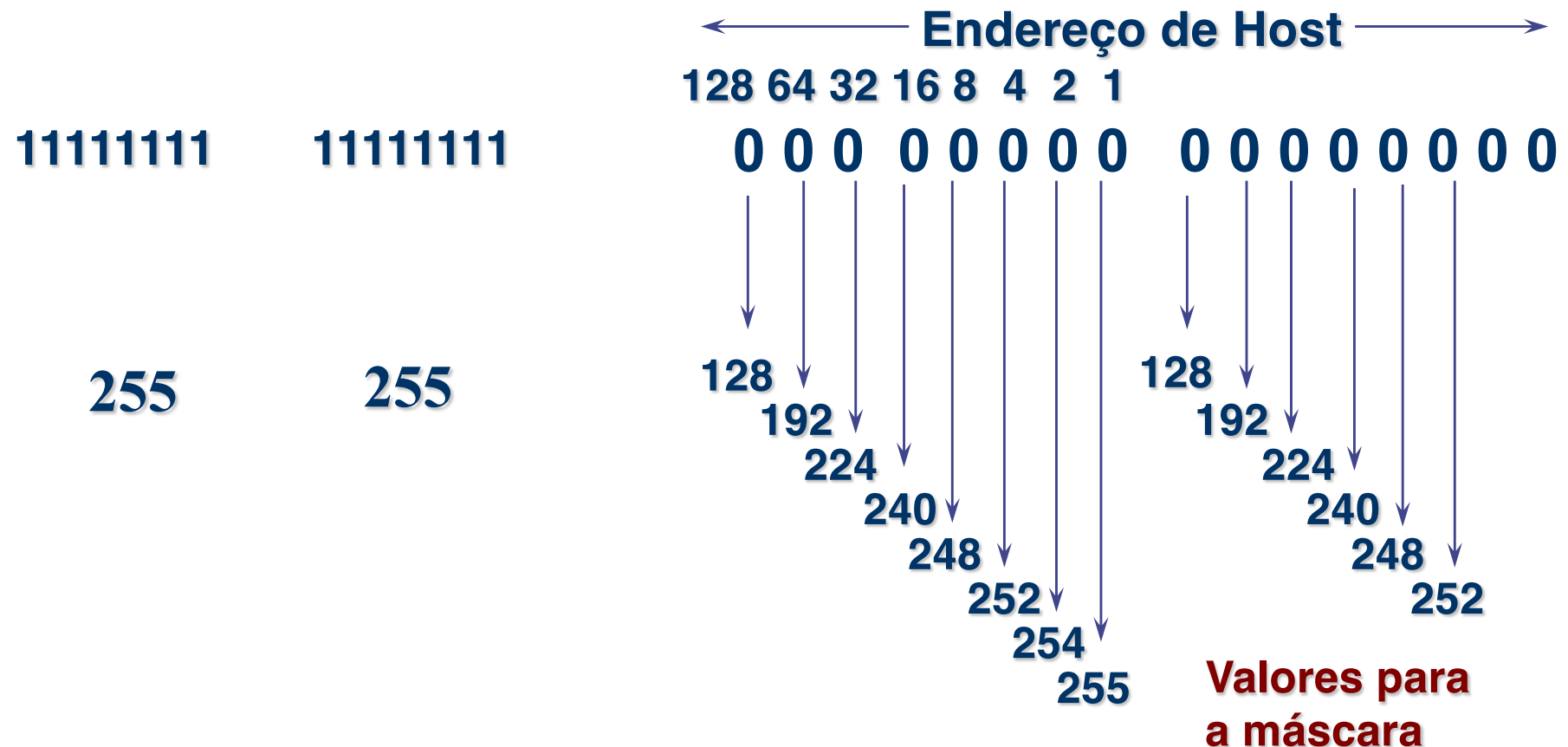
## IP - *Internet Protocol*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

## Endereçamento

### Exemplo de máscaras de rede + subrede em endereços de Classe B



# TCP/IP

## IP - *Internet Protocol*

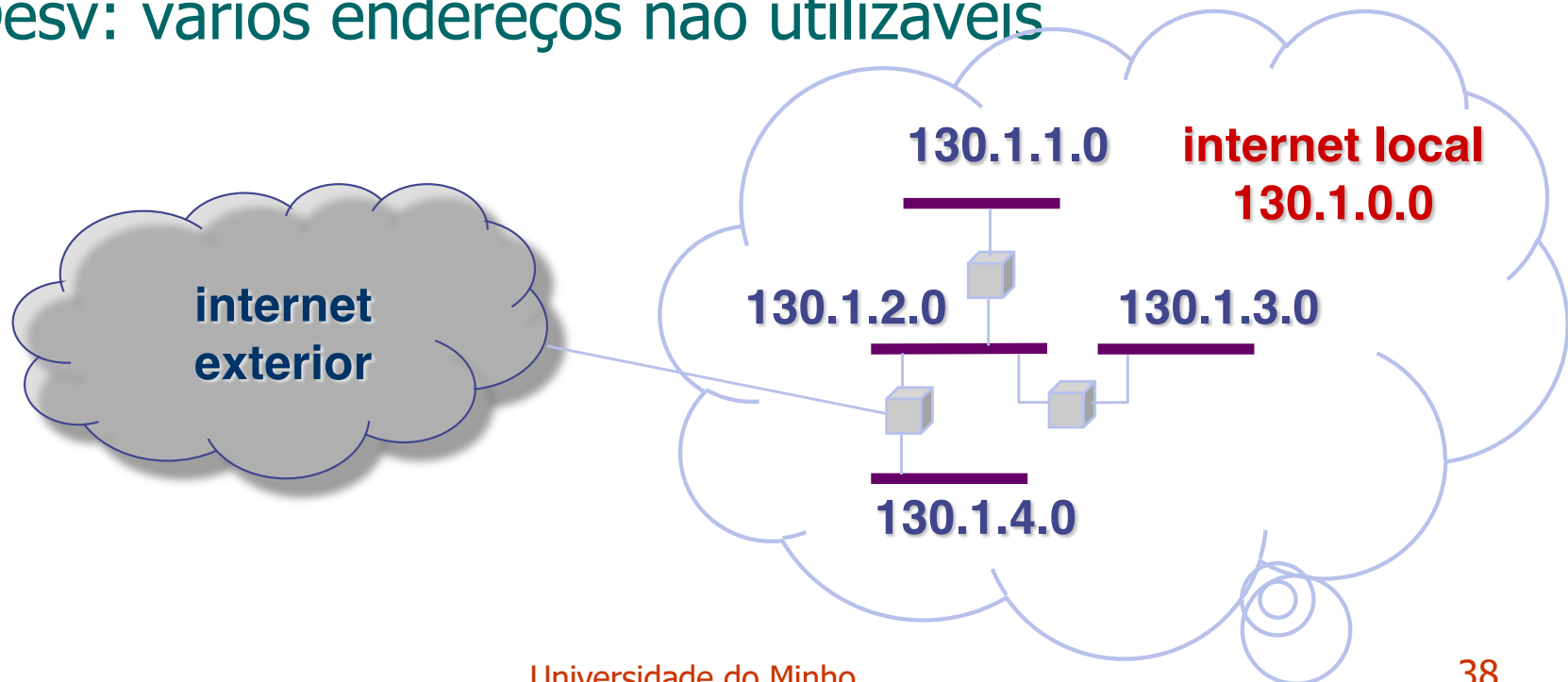


Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

## Endereçamento

### Sub-redes (*Subnetting*)

- permite melhor aproveitamento, organização e gestão do espaço de endereços
- introduz outro nível hierárquico para routing
- Desv: vários endereços não utilizáveis



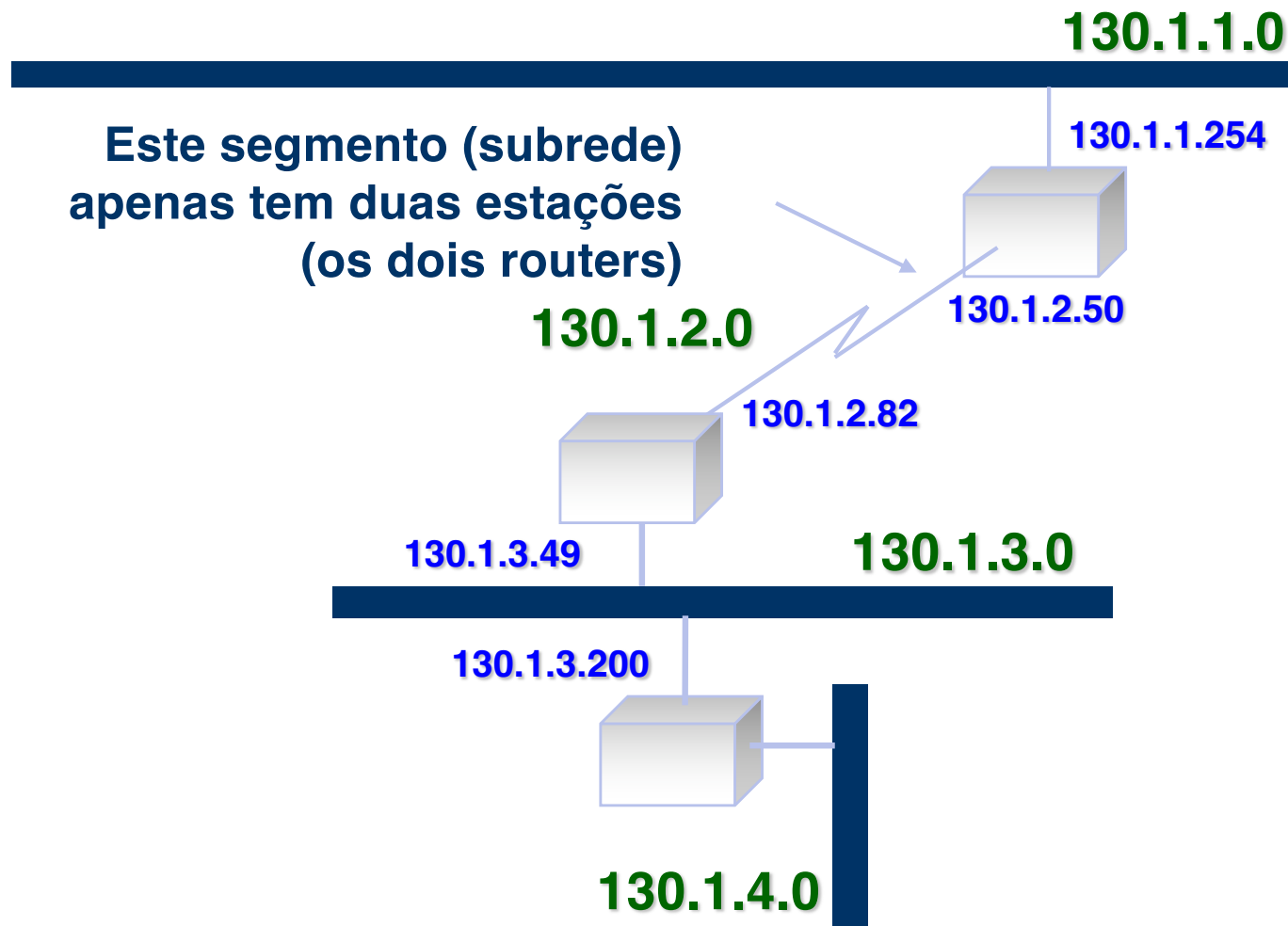
# TCP/IP

## IP - *Internet Protocol*

## *Exemplo*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



# TCP/IP

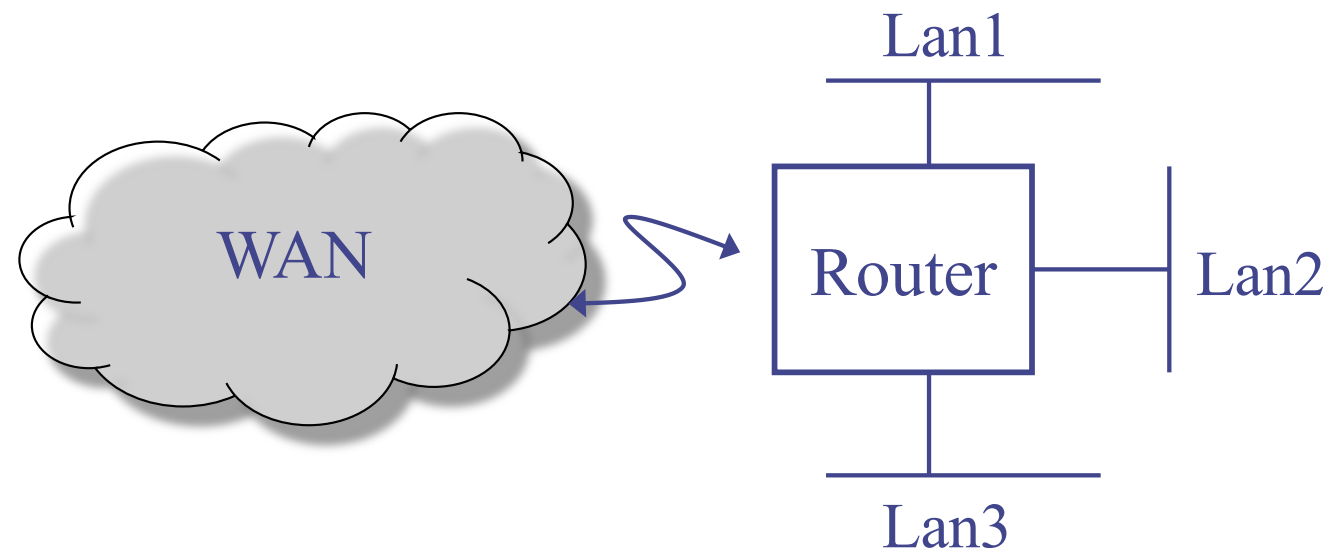
## IP - *Internet Protocol*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

### Endereçamento

- Exercício:
  - Definir um esquema de subnetting a partir do endereço privado de Classe C 192.168.1.x para permitir a existência de 3 subredes IP (com número mínimo de bits para a subnet mask). Indicar **endereços de rede, subrede, hosts, máscaras de rede, subrede .....**





# Supernetting (após slide 49)



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Armática

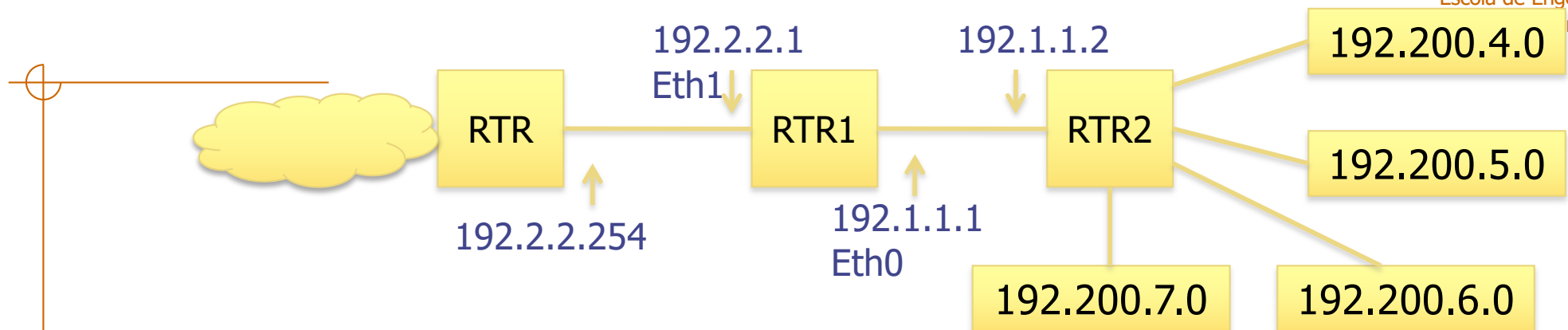


Tabela de encaminhamento de RTR1 - sem Supernetting

Destino	Próximo Nó	Máscara	Interface
192.2.2.0	192.2.2.1	255.255.255.0	Eth1
192.1.1.0	192.1.1.1	255.255.255.0	Eth0
192.200.4 (0000 0100).0	192.1.1.2	255.255.255.0	Eth0
192.200.5 (0000 0101).0	192.1.1.2	255.255.255.0	Eth0
192.200.6 (0000 0110).0	192.1.1.2	255.255.255.0	Eth0
192.200.7 (0000 0111).0	192.1.1.2	255.255.255.0	Eth0
Default	192.2.2.254	0.0.0.0	Eth1

Apenas interfaces de RTR1

Com Supernetting

Máscara default

192.200.4(0000 0100).0

192.1.1.2

255.255.252 (11111100).0

Eth0

# TCP/IP

## IP - *Internet Protocol*

## Endereçamento



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

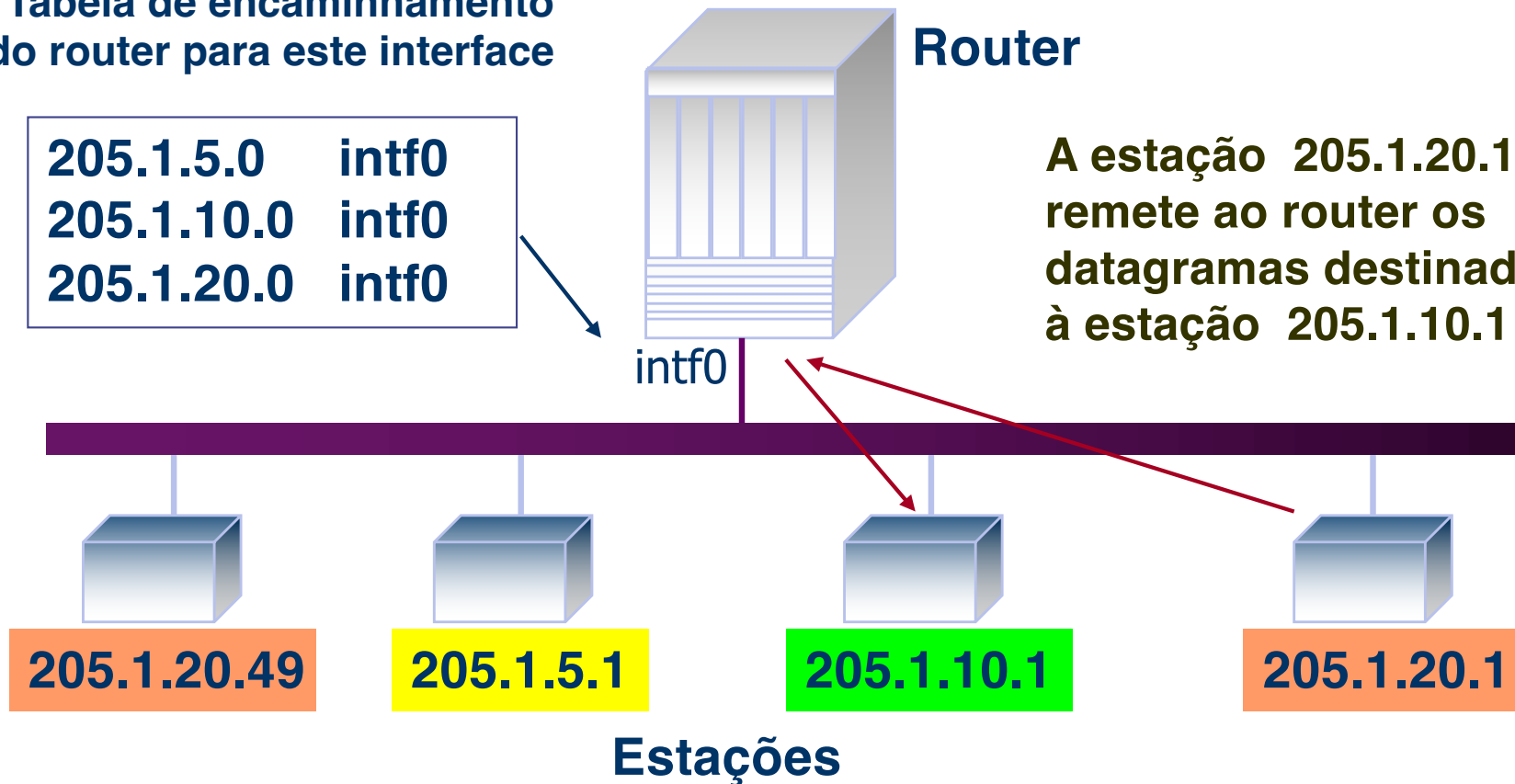
### Múltiplas (sub)redes no mesmo interface

Tabela de encaminhamento  
do router para este interface

205.1.5.0	intf0
205.1.10.0	intf0
205.1.20.0	intf0

Router

A estação 205.1.20.1  
remete ao router os  
datagramas destinados  
à estação 205.1.10.1



- Tanto os routers como as estações, possuem uma **tabela de encaminhamento**
- As entradas na tabela são (pelo menos):
  - 1ª coluna: Endereço da Rede de destino (mais máscara)
  - 2ª coluna: Endereço IP da interface de entrega (next hop)
  - N coluna: Identificador da interface de saída da máquina local
  - colunas opcionais: flags, tráfego no interface, etc
- A entrega (forwarding), ou salto (hop) seguinte dum datagrama IP é decidida em função do endereço IP de destino do datagrama

# TCP/IP

## IP - *Internet Protocol*

## Encaminhamento



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

Exemplo: tabela de encaminhamento da estação 192.110.1.240

> netstat -nr

destination	next hop	flags	mascara	use	interface
192.110.1.0	192.110.1.240	UH	255.255.255.0	234576	tu0
.....	.....	.....	.....	.....	.....
192.168.1.0	192.110.1.253	UG	255.255.255.0	124586	tu0
default	192.110.1.254	UG	0.0.0.0	102410	tu0

Leitura (e.g.):

Um datagrama destinado à rede 192.168.1.0 será entregue na interface de endereço 192.110.1.253 saindo pela interface local tu0

Esquema ?

### Entrega (forwarding)

- É facilitada pelo endereçamento hierárquico
- O endereço IP é: **a.b.c.d/m = X.Y** (rede.estação)
  - 1) usar **máscara** para extrair o endereço de rede **X**
  - 2) procurar entrada que melhor se ajuste a **X**  
se **X** é local, entregar no interface **X.Y** (entrega directa)  
senão usar **X** para determinar o próximo salto (next hop);
  - 3) A entrada **0.0.0.0/0** ajusta-se a todos os **X**

### Encaminhamento (routing):

#### a) **Estático** - baseado em rotas pré-definidas

- as rotas permanecem fixas
- reduz o tráfego na rede
- esquema simples mas pouco flexível

#### b) **Dinâmico** - rotas actualizadas ao longo do tempo

- os routers trocam informação de routing entre si
- esta actualização dinâmica de rotas é obtida através de protocolos específicos de encaminhamento (routing):
  - RIP, OSPF, BGP, etc
- grande flexibilidade e adaptação (automática) a falhas ou mudanças na configuração de rede
- o tráfego de actualização pode causar sobrecarga na rede

# TCP/IP

## IP - *Internet Protocol*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

## Encaminhamento

- Computação dinâmica das rotas:
  - centralizada - cada router, conhecendo a topologia da área, determina o melhor caminho para os possíveis destinos dessa área
  - distribuída - cada router envia informação de encaminhamento que conhece aos routers seus vizinhos (redes a que dá acesso)
- Princípio utilizado
  - Vector Distância (*Vector Distance*)
  - Estado das ligações (*Link State*)
  - Outros ....

- **caminho de defeito** é a rota a seguir caso não exista uma entrada específica na tabela para a rede de destino
  - é um caso particular de encaminhamento estático
  - a rota por defeito tem prioridade inferior à das outras rotas
  - é identificado pelo termo **default** ou pela rede **0.0.0.0**
  - permite reduzir a tabela de encaminhamento
- Os protocolos de encaminhamento modelam a rede como um grafo e calculam o melhor caminho para um dado destino



# TCP/IP

## ICMP - *Internet Control Message Protocol*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

### Funções do Internet Control Message Protocol

- reporta situações anómalas ocorridas no tratamento de datagramas IP
- usa encapsulamento IP
- em datagramas fragmentados, reage apenas ao primeiro fragmento
- não torna o IP fiável, apenas assinala erros
- o IP usa obrigatoriamente o ICMP

# TCP/IP

## ICMP - *Internet Control Message Protocol*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

### Mensagens ICMP

- *echo request, echo reply*
- *destination unreachable* (estação, rede, porta,...)
- *redirect* (redireccionamento por um melhor caminho)
- *TTL exceeded of datagram lifetime* (TTL atingiu 0)
- *timestamp and reply* (responde c/ estampilha temporal)
- *parameter unintelligible*
- *address mask request and reply*
- *router advertisement and solicitation*
- *information request and reply*
- ....

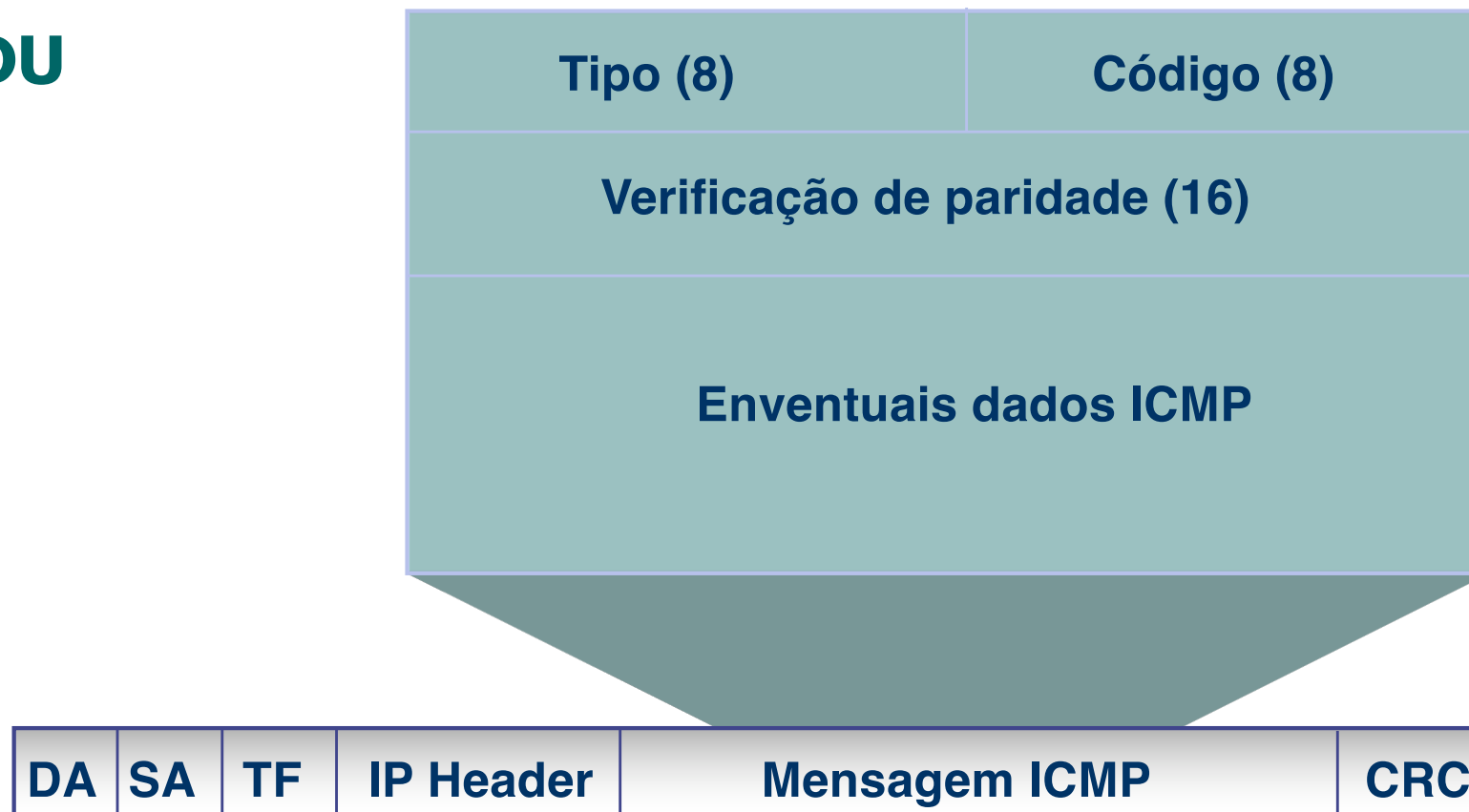
# TCP/IP

## ICMP - *Internet Control Message Protocol*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

**PDU**



# TCP/IP

## ICMP - *Internet Control Message Protocol*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

### Ping

