



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Redes de Computadores

Pilha Protocolar TCP/IP: O nível de rede

Universidade do Minho
Grupo de Comunicações por Computador
Departamento de Informática

Internetworking

Introdução



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- As tecnologias existentes de rede local (LAN) não são adequadas 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 PDUs têm comprimentos limitados;
 - Os métodos de controlo 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 das mesmas:

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 construída **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

Internetworking

Introdução



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Características de um *router*

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

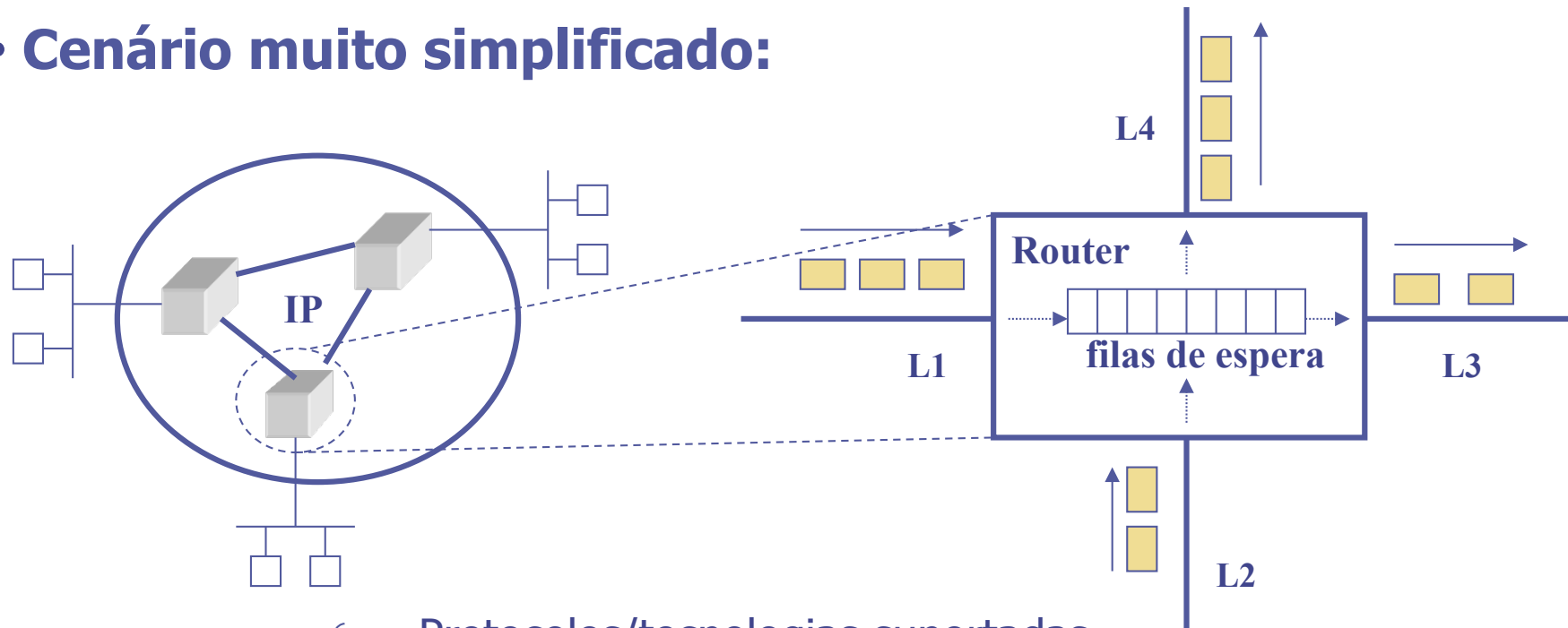
Internetworking

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 ...

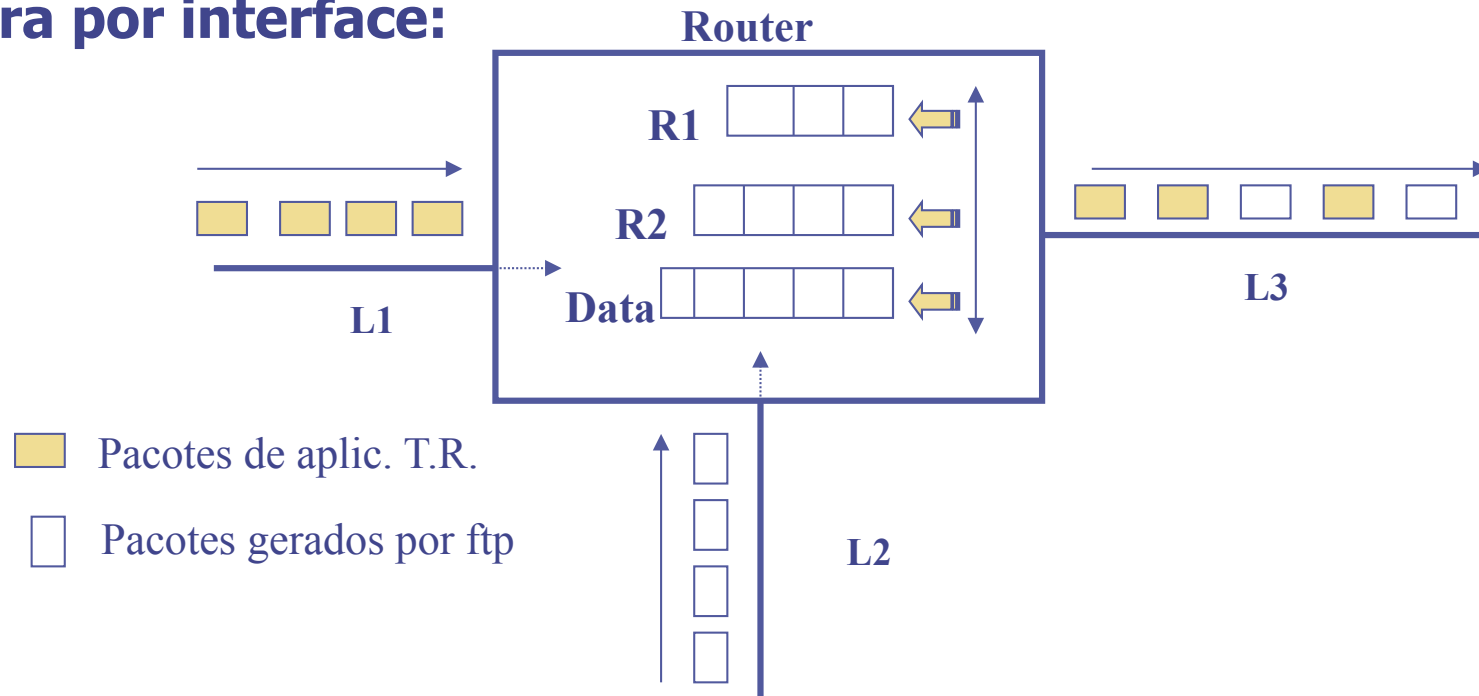
Internetworking

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 ...

Internetworking

Arquitectura TCP/IP



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Características da pilha TCP/IP

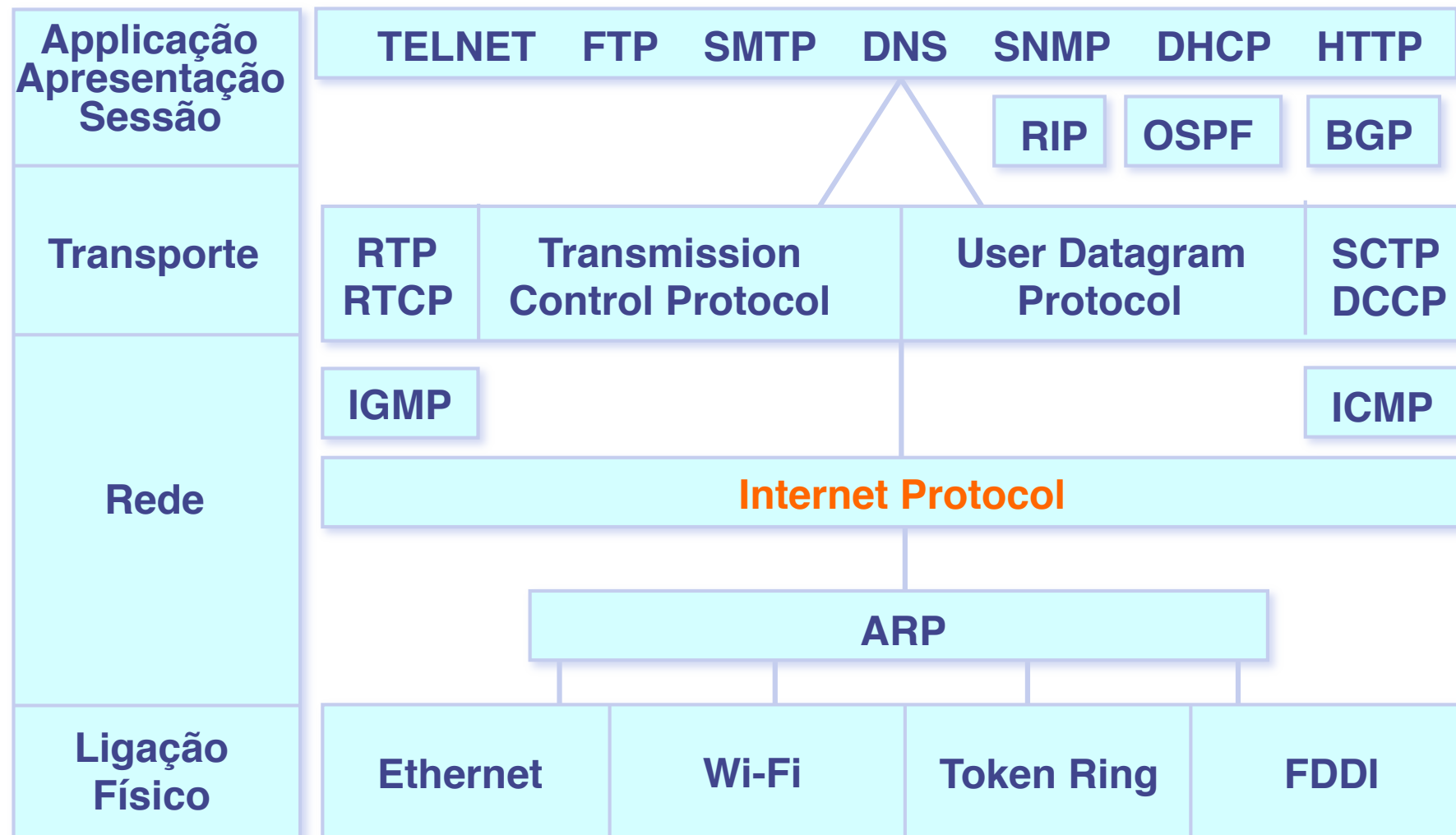
- Aberta
 - especificações publicadas e bem conhecidas
 - abertura completa ao desenvolvimento de código
- Portável
 - independência do sistema operativo e plataforma
 - quaisquer sistemas podem comunicar
- Estável e Robusta
 - normas testadas ao longo de cinco décadas e ainda em desenvolvimento e aperfeiçoamento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

Internetworking

O modelo TCP/IP: IP e outros protocolos



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática





Internet Protocol - IP

Introdução

- O objectivo primário do **Internet Protocol (IP)** é assegurar funções de *internetworking*
- No IP, **datagrama** é o termo normalmente utilizado para designar a unidade de dados de rede:

Datagrama: unidade de dados (pacote) que é encaminhada pela rede independentemente de outras que a precedam ou sucedam, não havendo garantia da sua entrega.

- O processo de entrega dos datagramas IP é baseado no endereço destino do datagrama e nas tabelas de routing presentes nos diversos *hosts (e.g. routers, end systems)*
- Versões: IPv4 (uso generalizado), IPv6 (migração progressiva)

Internet Protocol - IP

Paradigma de comunicação



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Função	Rede de <u>Datagramas</u>	Rede de <u>Circuitos Virtuais (VC)</u>
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	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



Internet Protocol - IP

Principais funções

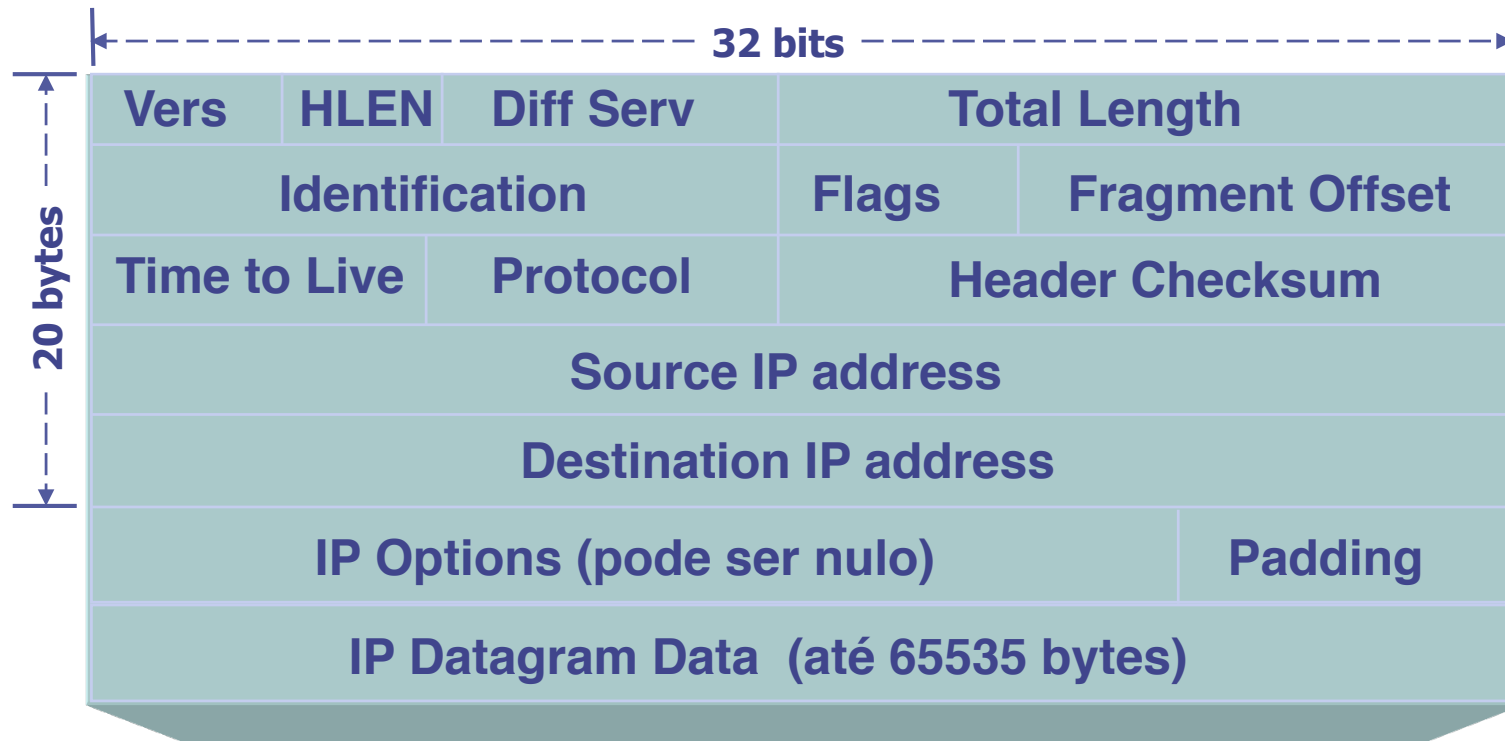
- O IP um protocolo de interligação não orientado à conexão
Paradigma protocolar: **melhor esforço (*best effort*)**:
--> o protocolo esforça-se por entregar os datagramas ao destino
mas não o garante (datagramas podem perder-se, e não são retransmitidos pelo nível de rede)
- Principais funções:
 - Define uma unidade elementar para **transferência de dados**:
o PDU ao nível IP é um datagrama IP.
 - Endereçamento, encaminhamento e fragmentação:
 - incorpora um esquema de **endereçamento universal**
 - inclui mecanismos para o **encaminhamento** de datagramas
 - a **fragmentação** de datagramas permite trânsito em qualquer LAN

Internet Protocol - IP

Formato de um datagrama IPv4



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática



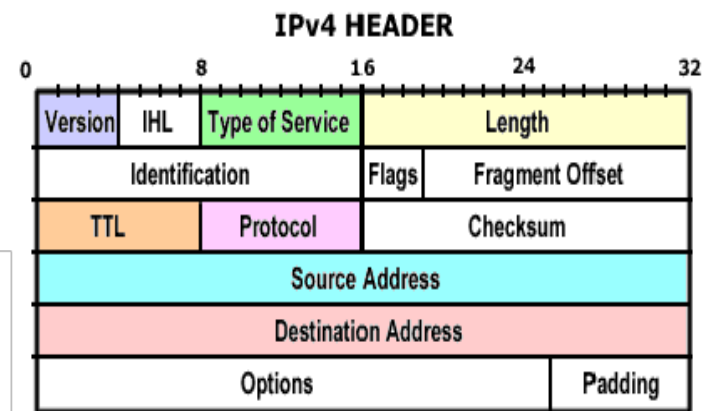
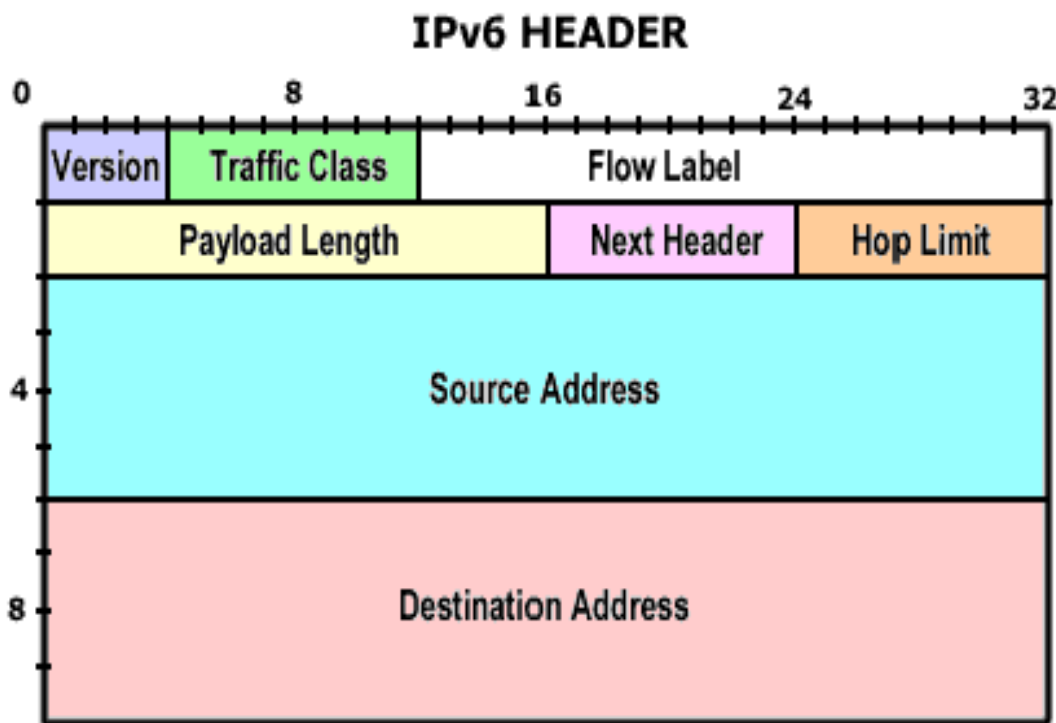
Ethernet Data Field

Internet Protocol - IP

Formato do datagrama IPv6



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática



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



Internet Protocol - IP

Tópicos gerais sobre IPv6

IPv6 - define novo formato de pacotes com introdução de novas funcionalidades na camada IP

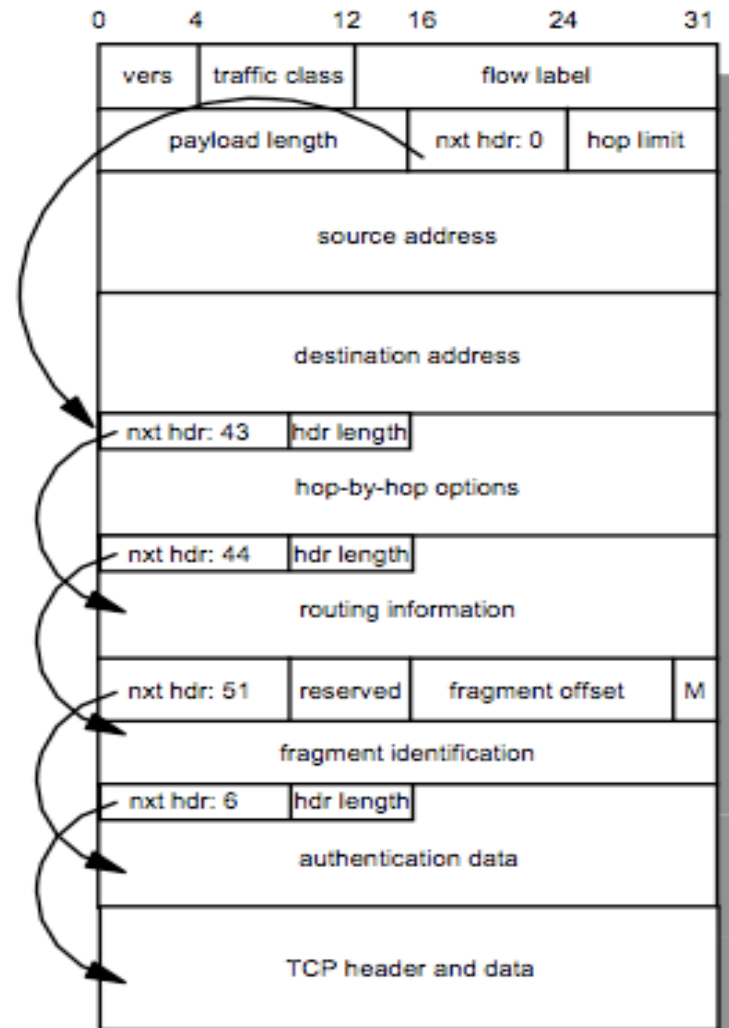
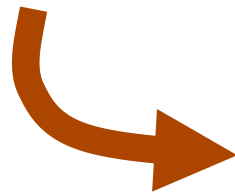
- novos formatos de endereços
- espaço de endereçamento alargado e hierárquico
- diminuição do *overhead* de processamento
- melhor desempenho dos elementos de rede
- introdução de novas *opções IP* (usando *next header*)
- introdução de mecanismos de segurança a nível da camada de rede
- mecanismos para auto-configuração das interfaces

Internet Protocol - IP

Formato do datagrama IPv6

Uso do campo **next header** para implementar opções específicas:

Exemplo de pacote IPv6 incluindo múltiplos headers





Internet Protocol - IP

Fragmentação

- Um datagrama cujo comprimento exceda o MTU definido para a LAN/MAN, 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 na rede tal como qualquer outro datagrama IP
- **MTU** (*Maximum Transfer Unit*): número máximo de bytes aceites no campo de dados da trama (payload)
- A fragmentação não depende dos routers, mas sim das características das LAN/MAN ligadas às suas interfaces
- O processo de fragmentação pode ser recorrente ao longo do caminho entre uma origem e um destino IP.

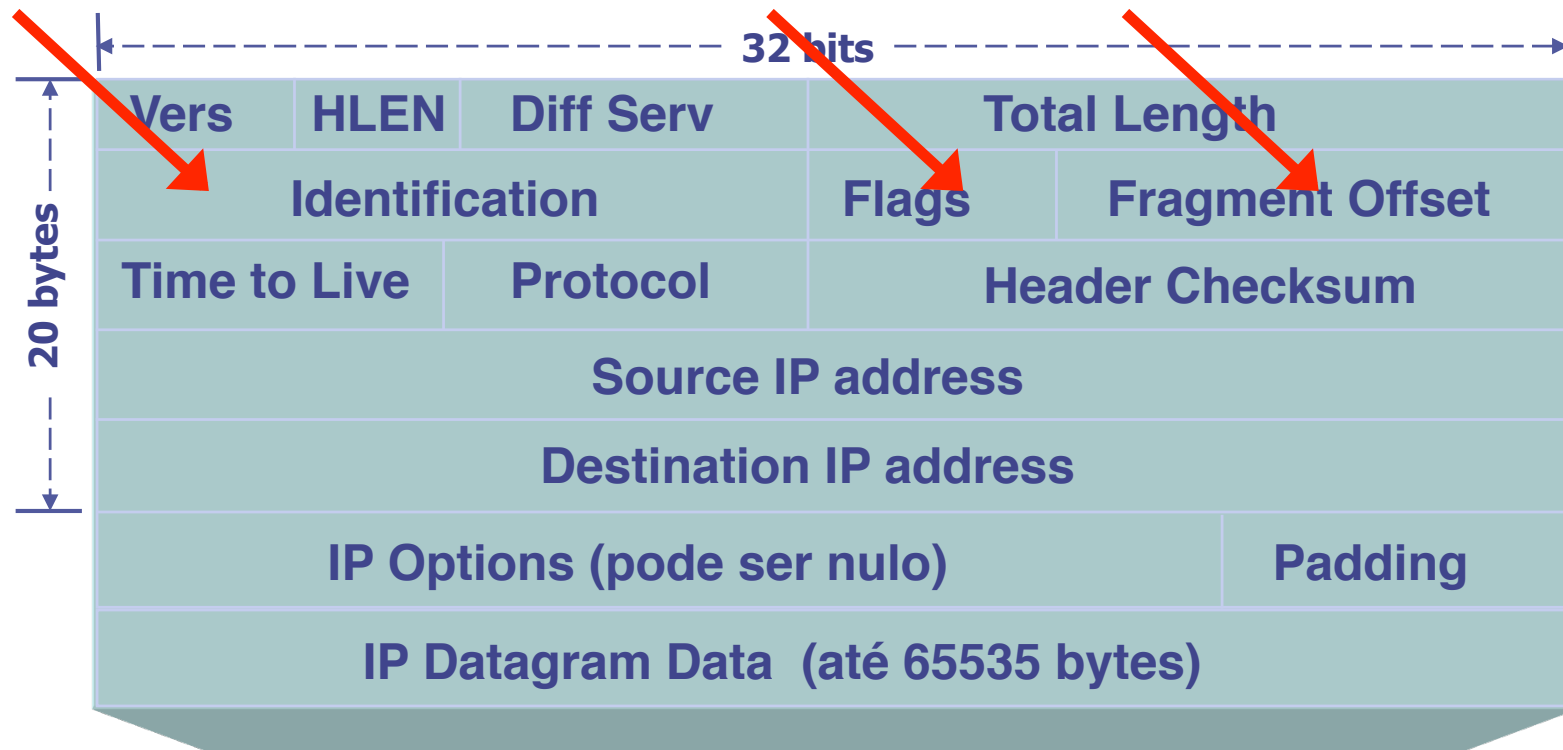
Internet Protocol - IP

Fragmentação



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Campos manipulados na fragmentação IPv4:



Internet Protocol - IP

Fragmentação



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Campos manipulados na fragmentação IPv4:

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

Em IPv6, por defeito, não está prevista fragmentação!

Internet Protocol - IP

Fragmentação

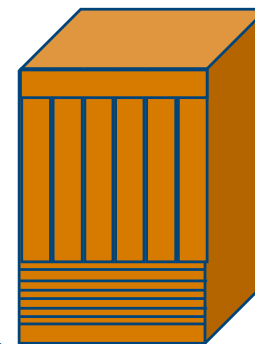


Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Exemplo de Fragmentação:

1. Id.68; data 1480bytes; offset 0; flag 1
2. Id.68; data 1480bytes; offset 1480; flag 1
3. Id.68; data 1020bytes; offset 2960; flag 0

MTU 1500 bytes



Router

**original datagram
3980 bytes**



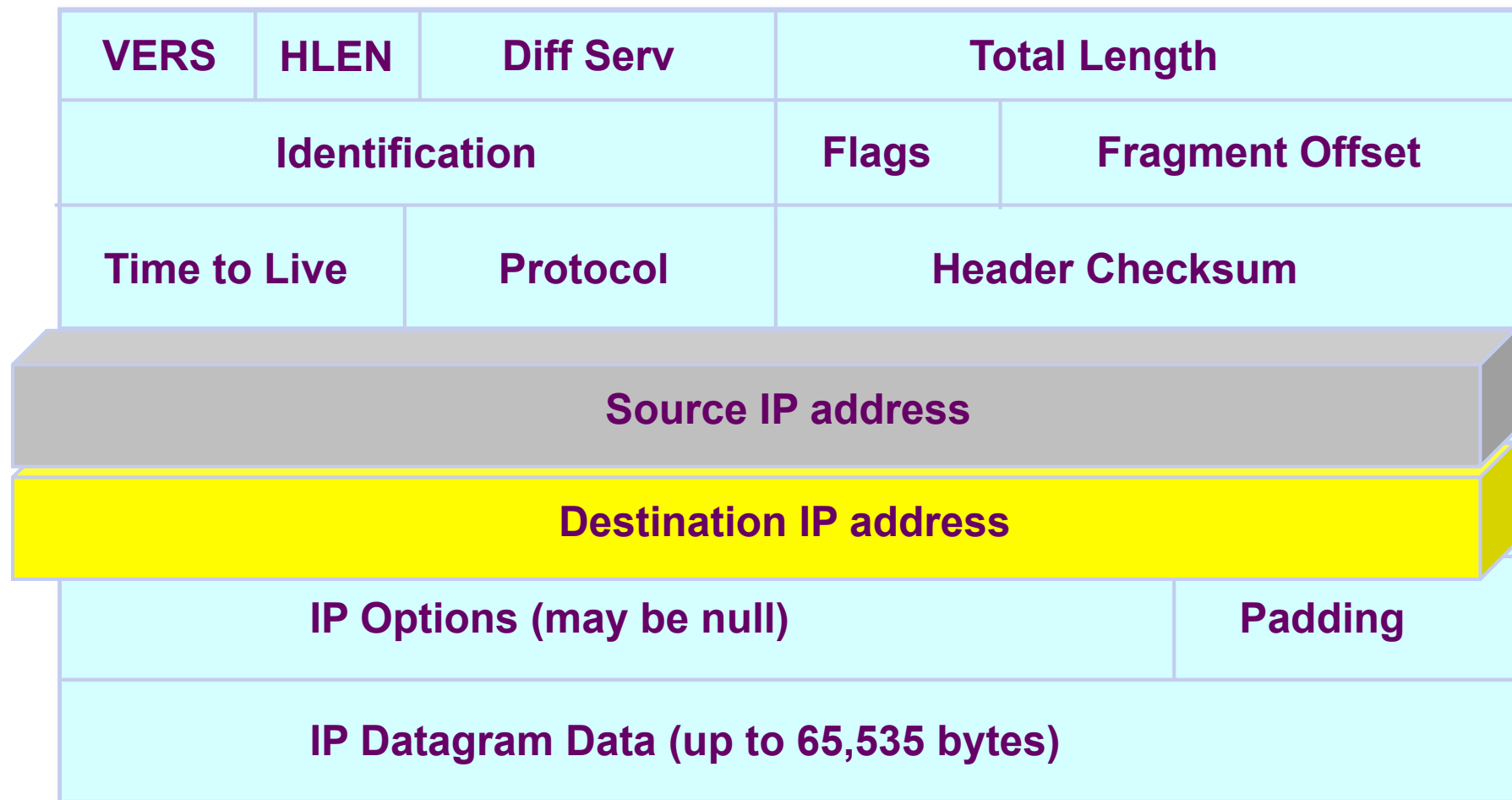
Workstations

Internet Protocol - IP

Endereçamento



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática





Internet Protocol - IP

Endereçamento

IPv4: 32-bit *unsigned binary value*

xxxxxxxx.xxxxxxxxx.xxxxxxxxx.xxxxxxxxx (/n)

(em notação decimal - *dot decimal notation*)

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

Internet Protocol - IP

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; é utilizada 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

Internet Protocol - IP

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	
-------	---	--

Internet Protocol - IP

Endereçamento



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Endereços IPv4 por classes

Classe	A	B	C	D
(1º byte) redes	(1-126) * 126	(128-191) 16.382	(192-223) 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 ou 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)

Classe D - endereço IP para difusão em grupo limitada a hosts IP a ele associados

Internet Protocol - IP

Endereçamento



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Endereços reservados:

- os primeiros 4 bits não podem ser 1 (classe E)
- 127.x.x.x é o endereço reservado para *loopback*
- bits de host a 0s ou 1s (qualquer host, todos os hosts)
- bits de rede / subrede a 0s ou 1s (qualquer rede, todas as redes)

Endereços privados: atribuídos para internets privadas (sem conectividade IP global, não devem ser visíveis nem são encaminhados na Internet) (ver 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

Host com várias interfaces é designado de *multihomed*

Internet Protocol - IP

Endereçamento: restrições



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

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 169.254.0.0/16 (RFC 3927)
- 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

Internet Protocol - IP

Endereçamento



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Máscara de endereço

Padrão que conjugado com o endereço IP devolve a parte do endereço de rede (ou sub-rede)

No endereçamento **por classes** as máscaras são:

- 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*.



Internet Protocol - IP

Endereçamento

Endereçamento sem classes e *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**
- o subnetting é definido no espaço host ID inicial
- <rede id><subrede id><host id>

8 bits para subnetting:
Nº subredes: 2^8-2 , Nº hosts: 2^8-2

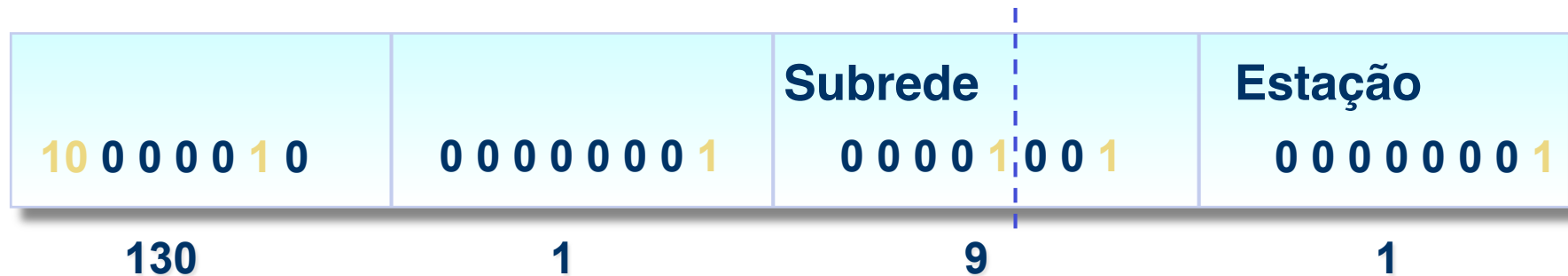
<u>Rede</u>	<u>Estação</u>	<u>Máscara de subrede</u>	<u>Rede</u>	<u>Subrede</u>	<u>Estação</u>
130.1	5.1	255.255.255.0	130.1	5	1
interpretação original por classe		interpretação sem classe (CIDR)			

Internet Protocol - IP

Endereçamento

Considere-se o endereço IP **130.1.9.1/21**

- é o endereço da estação **257** da sub-rede **130.1.8.0**



(máscara com 21 bits)

O endereço Lógico é:

{ Rede: 130.1.0.0
Subnet: 8
Host: 257

11111111.11111111.11110000.00000000

Máscara de Subnet 255.255.248.0

5 bits para subnetting:

Nº subredes: $2^5 - 2$, Nº hosts: $2^{11} - 2$



Internet Protocol - IP

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

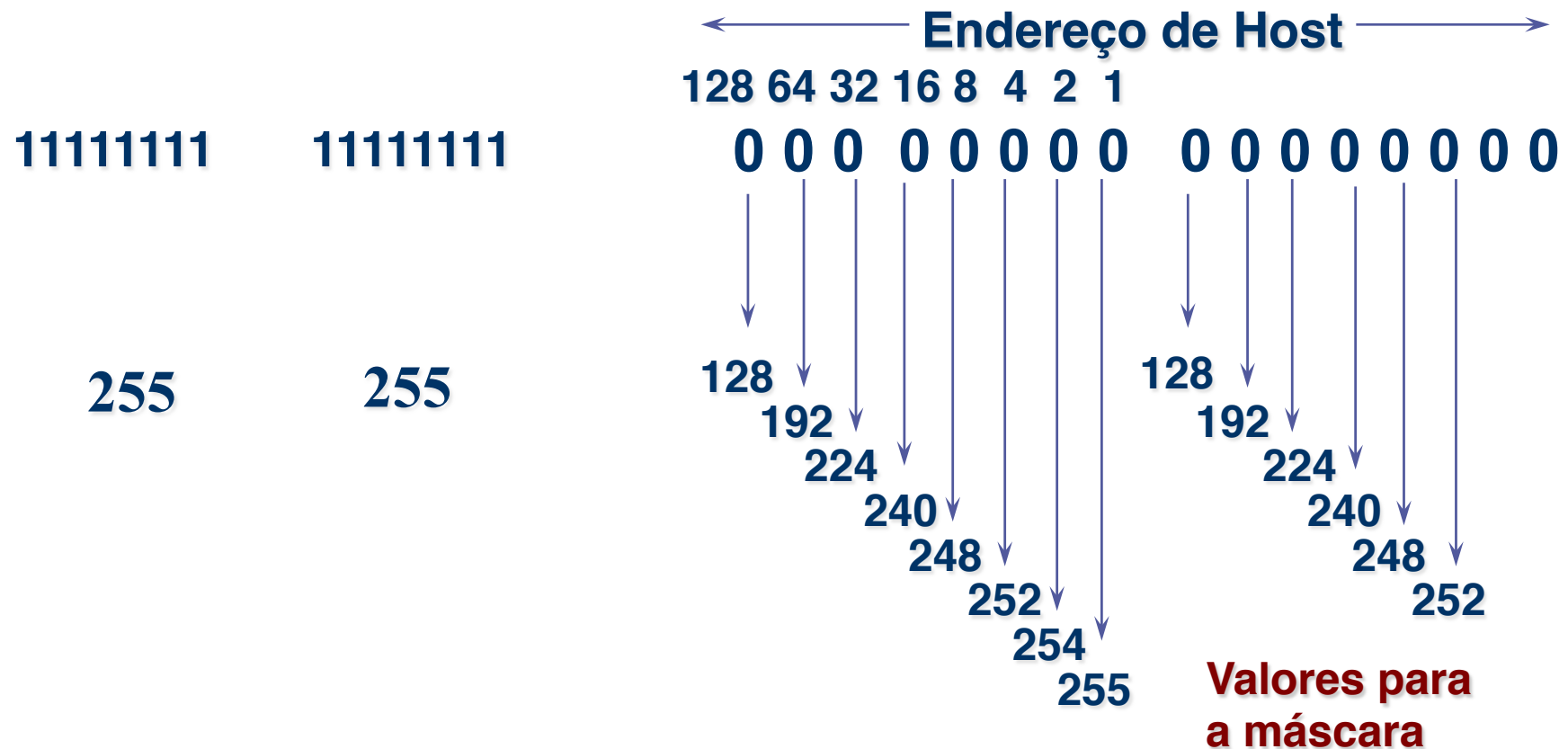
Máscara: 255.255.254.0



Internet Protocol - IP

Endereçamento

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



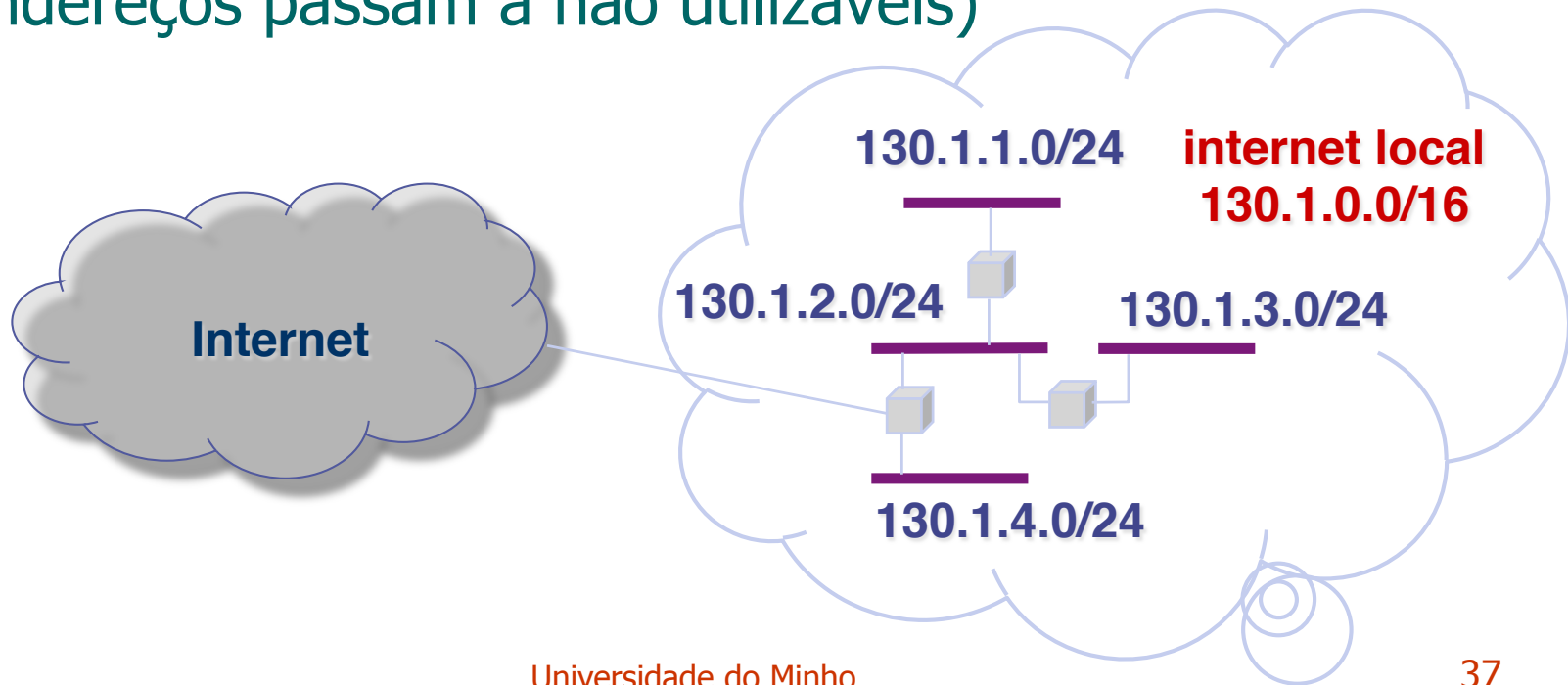


Internet Protocol - IP

Endereçamento

Sub-redes (*Subnetting*)

- permite melhor organização e gestão dos endereços
- permite introduzir mais níveis hierárquicos para routing
- contudo reduz espaço de endereçamento (vários endereços passam a não utilizáveis)

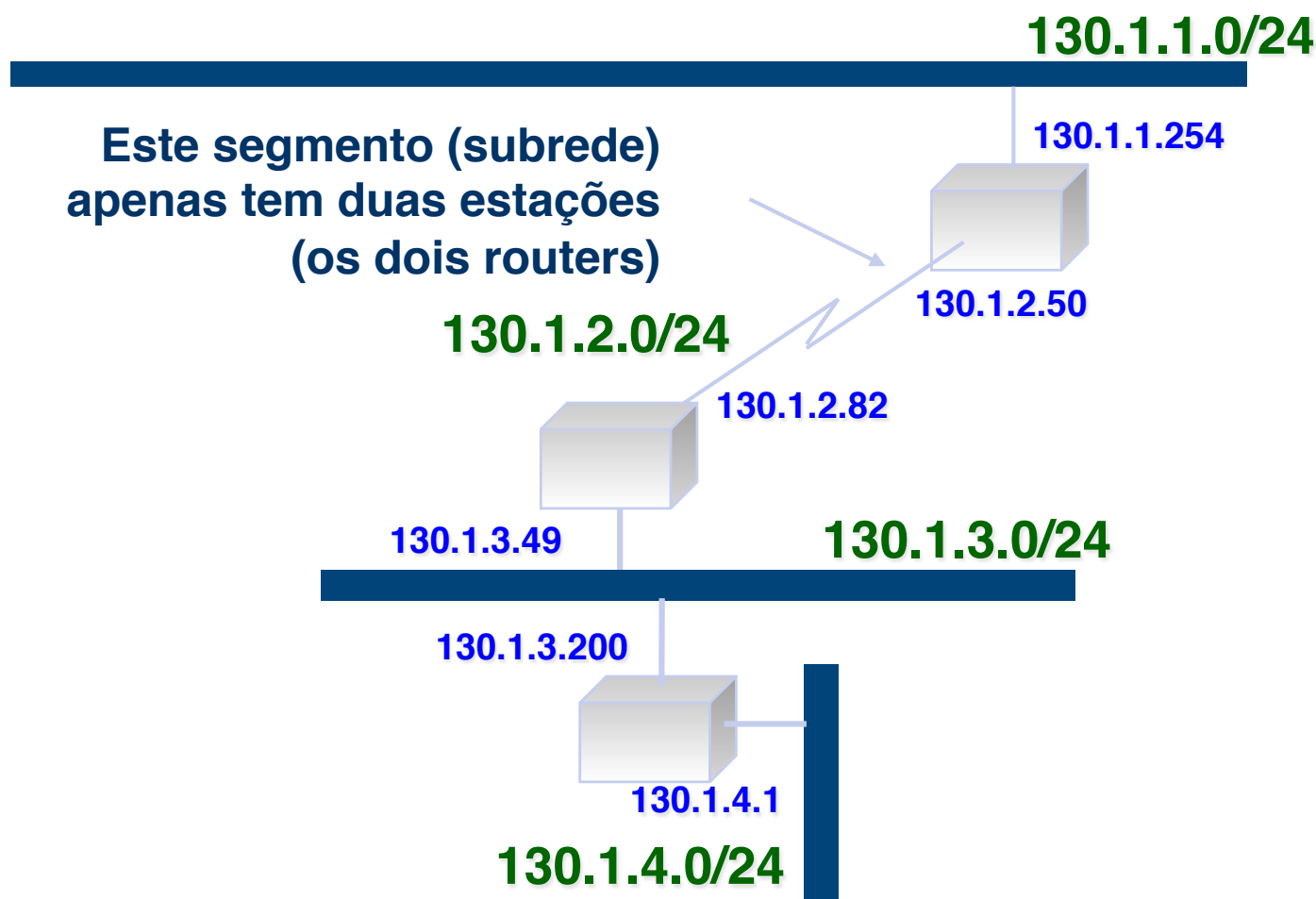


Internet Protocol - IP

Exemplo



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática



Internet Protocol - IP

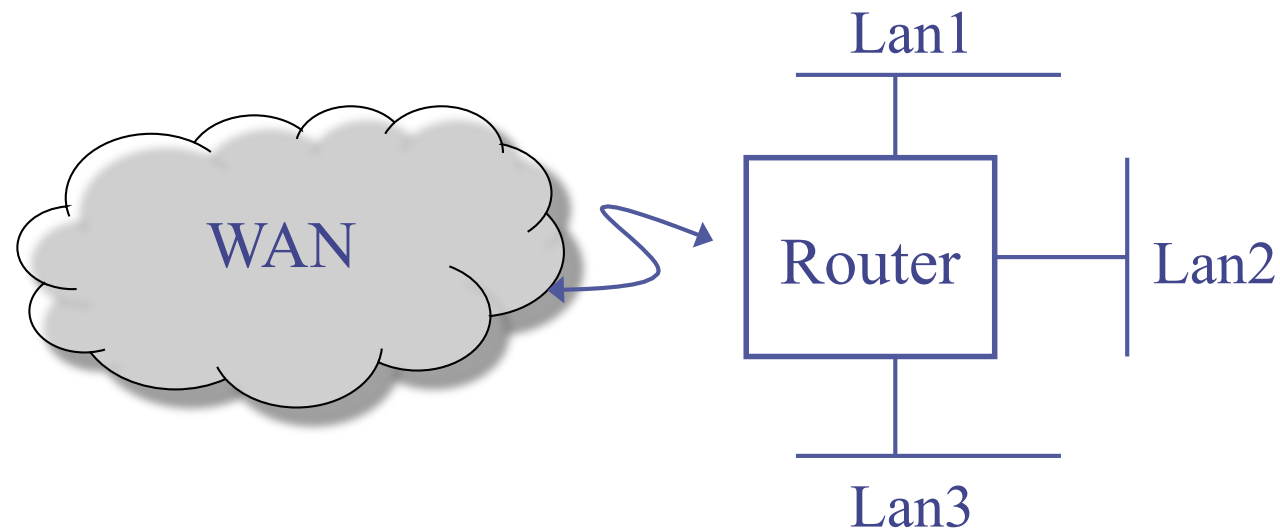
Endereçamento



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Exercício:

- Definir um esquema de subnetting a partir do endereço privado 192.168.1.0/24 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**



Internet Protocol - IP

Endereçamento

Múltiplas (sub)redes no mesmo interface

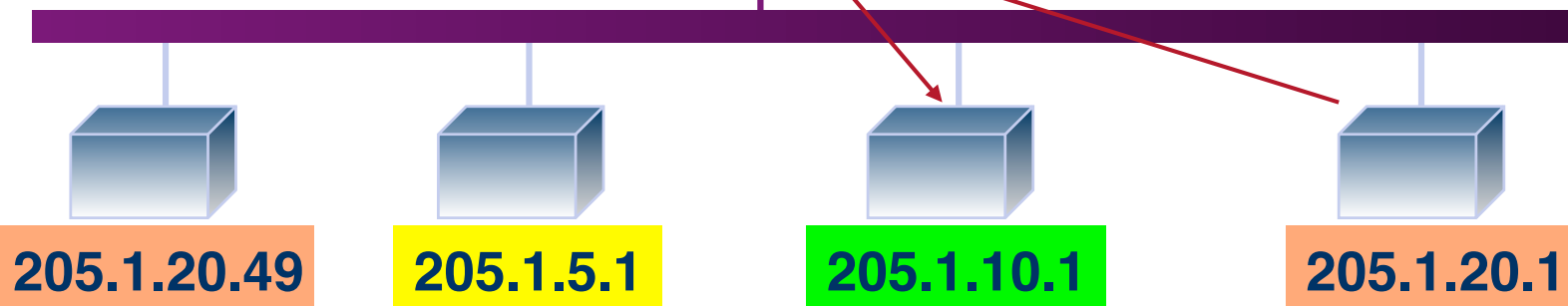
Tabela de encaminhamento
do router para este interface

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

intf0



Estações

Internet Protocol - IP

Encaminhamento



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

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

Internet Protocol - IP

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	netmask	flags	use	interface
default	192.110.1.254	0.0.0.0	UG	102410	tu0
192.110.1.0	192.110.1.240	255.255.255.0	UH	234576	tu0
.....
192.168.1.0	192.110.1.253	255.255.255.0	UG	124586	tu0

Leitura da última linha:

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

Qual a topologia de rede que se pode inferir da tabela?

Internet Protocol - IP

Encaminhamento



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

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 por defeito (**0.0.0.0/0**) ajusta-se a todos os **X**

Internet Protocol - IP

Supernetting



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

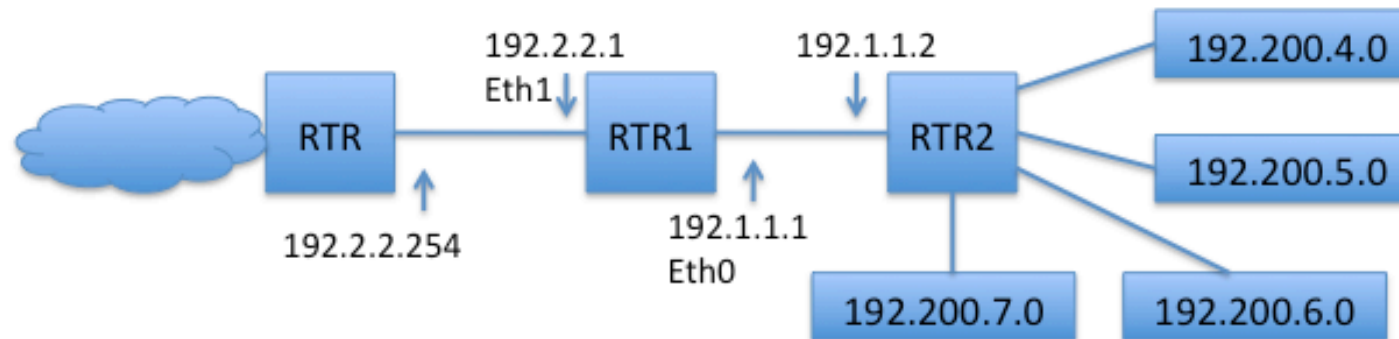


Tabela de encaminhamento de RTR1 - sem Supernetting

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

192.200.4(0000 0100).0 192.1.1.2 255.255.252 (11111100).0 Eth0

Internet Protocol - IP

Encaminhamento



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

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



Internet Protocol - IP

Encaminhamento

- **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 gráfo e calculam o melhor caminho para um dado destino

Internet Protocol - IP

Encaminhamento



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- 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*)
 - e.g. Routing Information Protocol (RIP), IGRP
 - Estado das ligações (*Link State*)
 - e.g. Open Shortest Path First (OSPF)

Internet Protocol - IP

Exemplo: internet do laboratório



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Esquema ...

```
ROUTER-LAB> show ip route
```

```
C 192.168.89.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
  192.168.88.0/24 is subnetted, 3 subnets
C   192.168.88.64/26 is directly connected, FastEthernet0/0
C   192.168.88.128/26 is directly connected, Serial2/0
C   192.168.88.192/26 is directly connected, Serial2/1
C 192.168.91.0/24 is directly connected, FastEthernet2/0
C 192.168.90.0/24 is directly connected, FastEthernet2/1
B 193.136.20.0/24 via 192.168.88.65
S* 0.0.0.0/0 via 192.168.88.65
```

Codes: C - connected, S - static, B - BGP, * - candidate default

Internet Protocol - IP

Exemplo: internet do laboratório



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Esquema ...

```
ROUTER-EXT> show ip route
```

```
B 192.168.89.0/24 via 192.168.88.66
  192.168.88.0/24 is subnetted, 3 subnets
C   192.168.88.64/26 is directly connected, FastEthernet0/0
C   192.168.88.128/26 is directly connected, Serial0/0
C   192.168.88.192/26 is directly connected, Serial0/1
B 192.168.91.0/24 via 192.168.88.66
B 192.168.90.0/24 via 192.168.88.66
C 193.136.20.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
S* 0.0.0.0/0 193.136.20.254
```

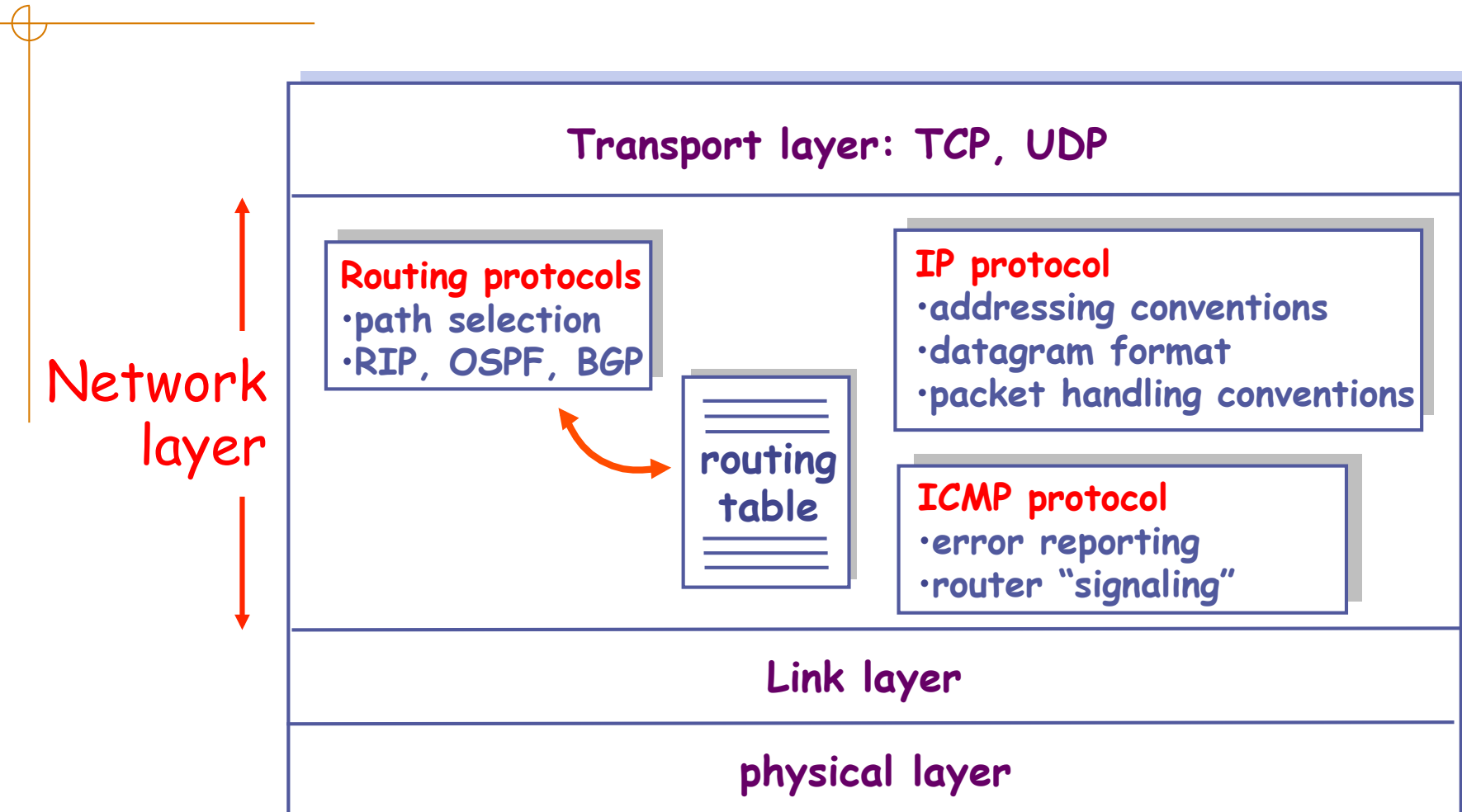
Codes: C - connected, S - static, B - BGP, * - candidate default

Internet Protocol - IP

Camada de Rede em Hosts e Routers



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática



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

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* (redirecionamento 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*
-

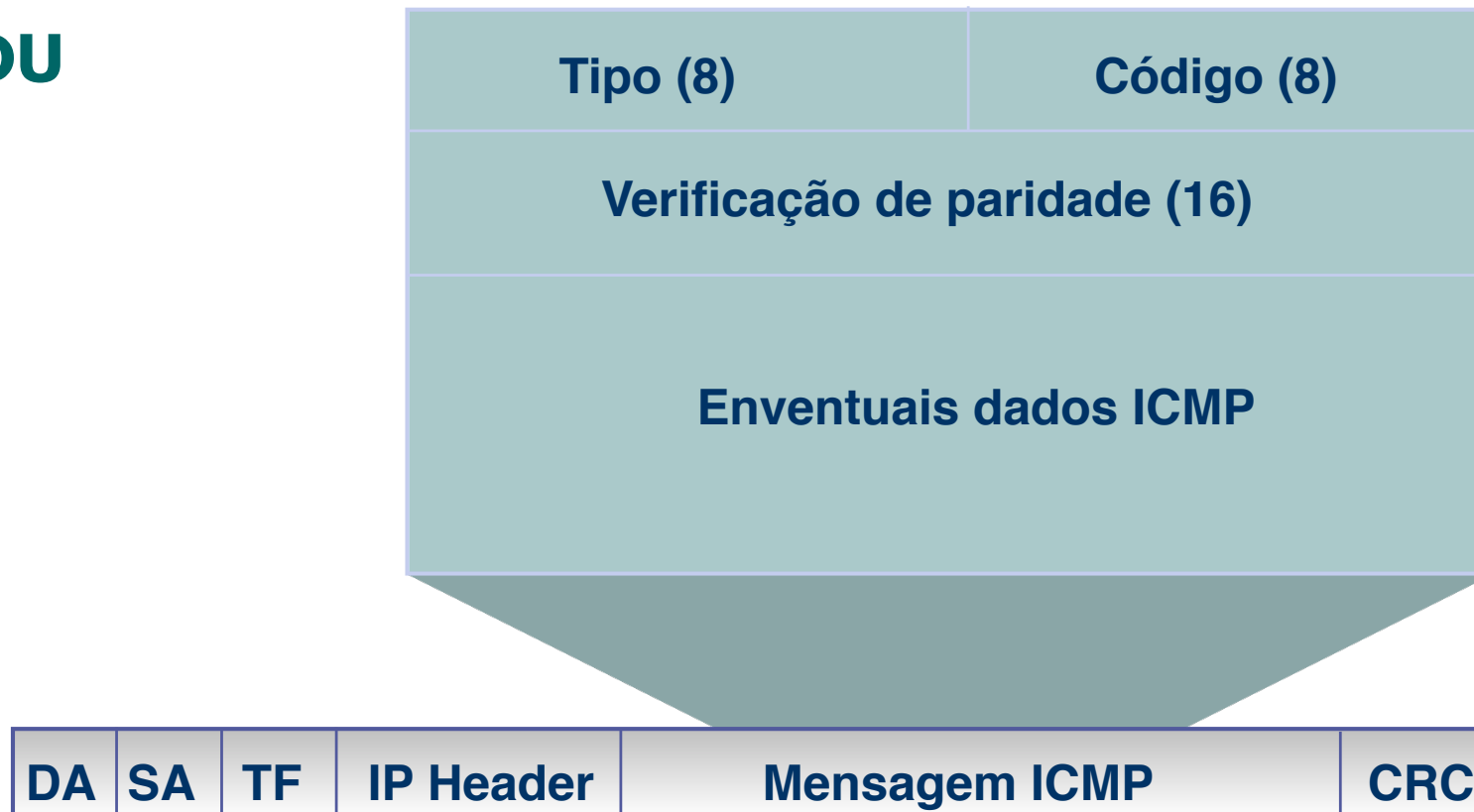
ICMP

Internet Control Message Protocol



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

PDU



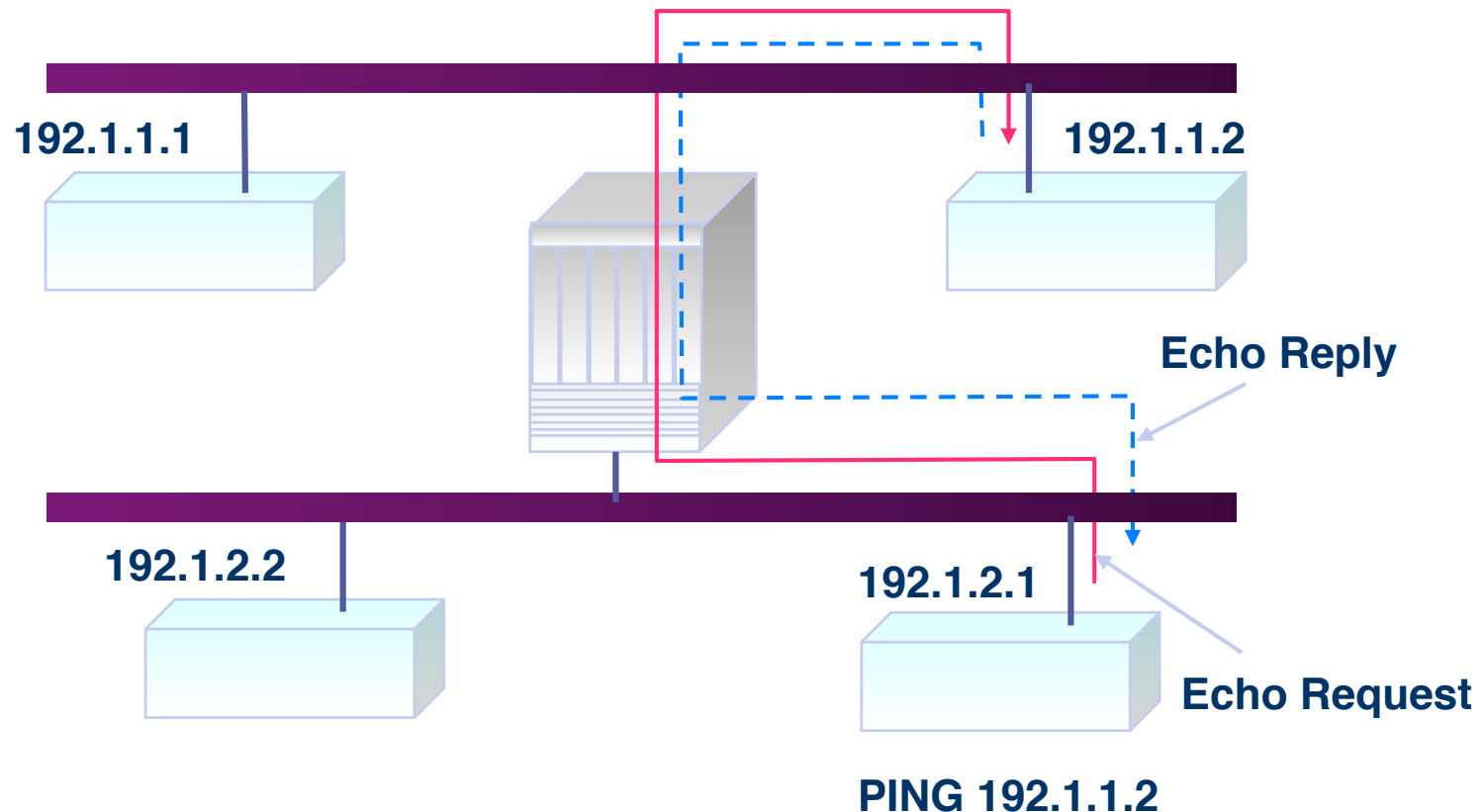
ICMP

Internet Control Message Protocol



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Ping



ARP

Protocolo de Resolução de Endereços (IP)



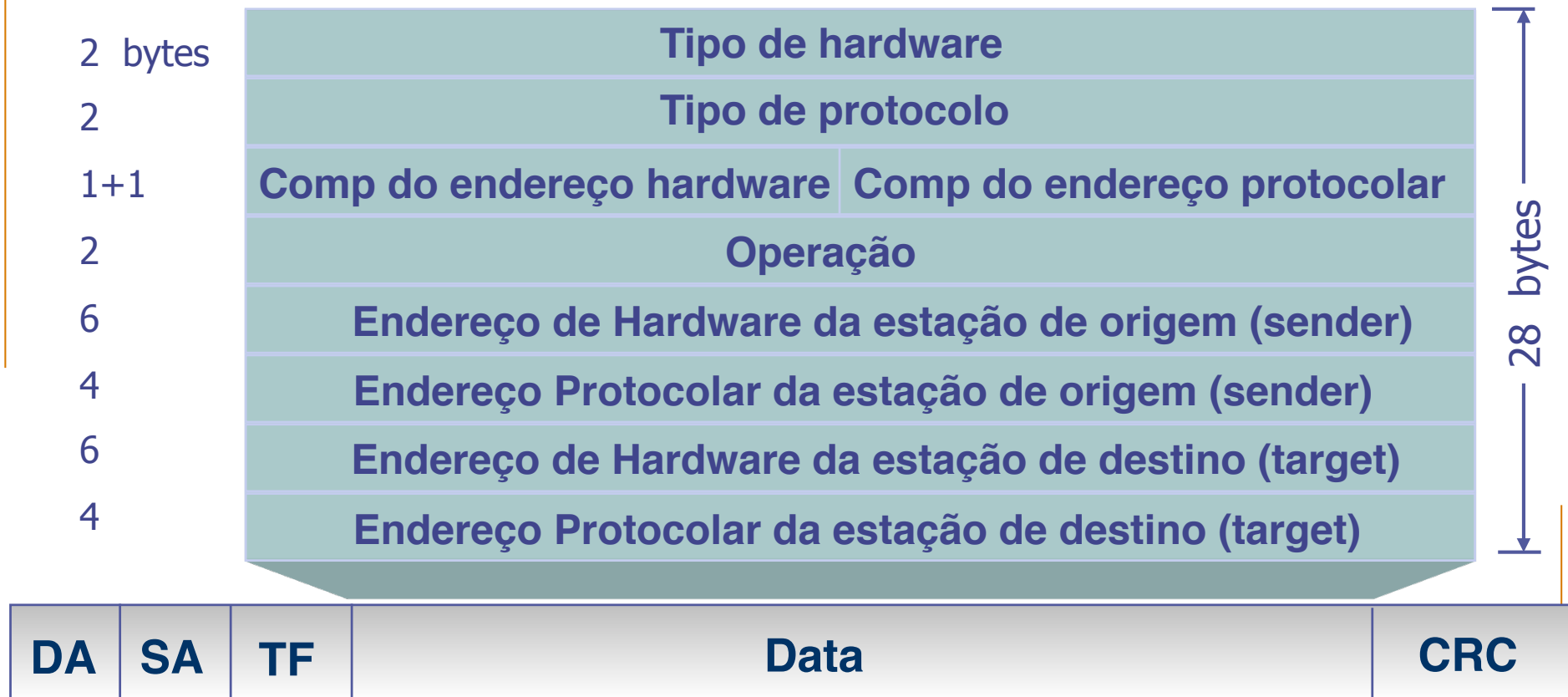
Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- ARP (Address Resolution Protocol) mapeia um endereço de rede no endereço MAC (48 bytes) 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*

ARP PDU



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática



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

ARP

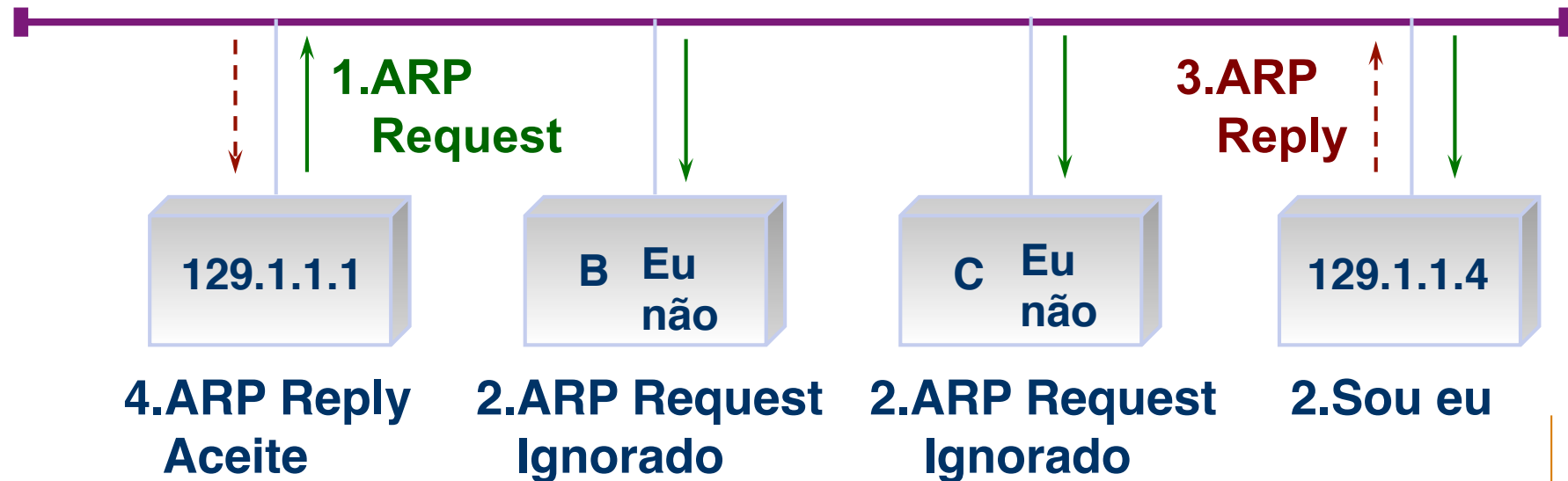
Operação



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**

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

TCP/IP

Protocolos de Transporte: UDP e TCP



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

