

IPv6

**Mestrado Integrado em
Engenharia de Comunicações**

3º ano

1º semestre

2012/2013



Versões IP



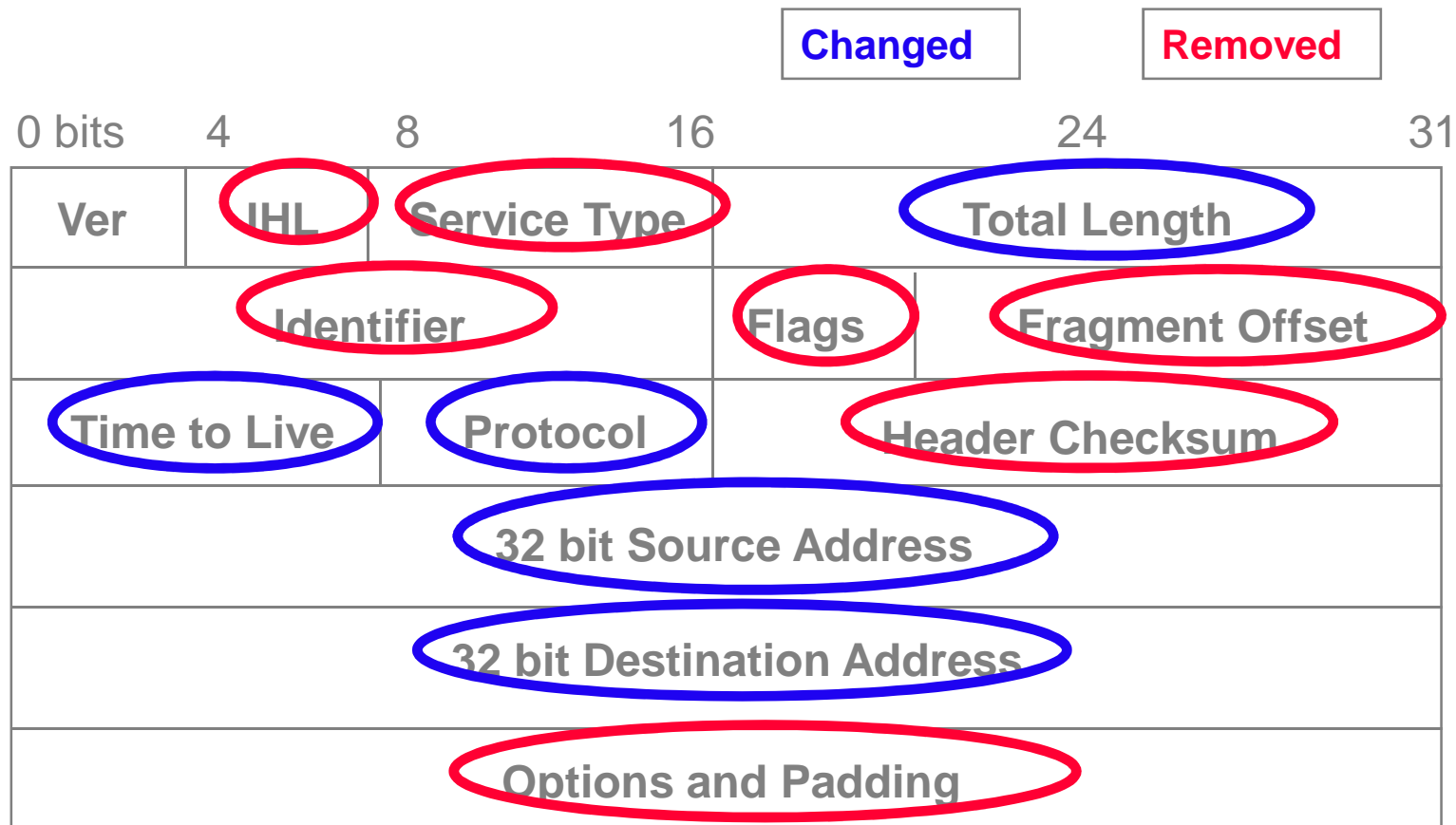
- **IP v 1-3 Definidas e substituídas**
- **IP v4 – Versão actual**
- **IP v5 – streaming protocol (não usado, diferentes objectivos)**
- **IP v6 – Desenhado para substituir o IPv4**
 - Durante o desenvolvimento designava-se por IPng (Next Generation)



- **Motivação inicial:** Espaço de endereços de 32 bits completamente alocado em 2010
- **Motivação Adicional:**
 - Formato do cabeçalho contribui para o aumento da velocidade de processamento e re-envio dos pacotes.
 - Alterações no formato do cabeçalho para facilitar a implementação de QoS
 - Um novo tipo de endereço: endereço “anycast”, que possibilita o envio de informação para um nó dentro de um grupo
- **Formato do datagrama**
 - Cabeçalho com tamanho fixo (40 bytes)
 - Não é permitida a fragmentação de pacotes (excepto na origem)

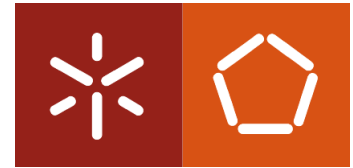
Cabeçalho IPv4

20 bytes + opções : 13 campos, incluindo 3 flag bits



Cabeçalho IPv6

40 bytes, 8 campos [RFC 2460]

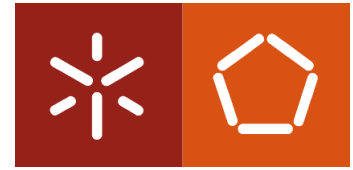


Novos Campos do IPv6



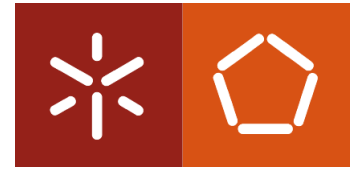
- **Version**
 - 4 bits
- **Priority/Class**
 - 8 bits
 - Espírito semelhante ao do TOS no IPv4
 - Permite atribuir diferentes prioridades a cada datagrama
- **Flow Label**
 - 20 bits
 - Identifica um fluxo individual de tráfego que requer o mesmo tratamento da rede.
 - Pode ser usado com o RSVP (protocolo de reserva de recursos)-

Campos que se mantêm



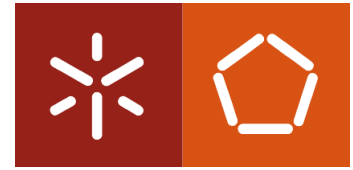
- **Payload length**
 - Substitui o total length; tamanho da “carga” + cabeçalhos opcionais;
- **Next Header**
 - Semelhante ao campo Protocol do IPv4 (usado para identificar o protocolo de Transporte) mas também protocolos de nível 3
 - As opções do IPv6 são também tratadas com este campo, identificando cabeçalhos adicionais...
- **Hop Limit**
 - Semelhante ao campo Time-To-Live do IPv4, mas agora definitivamente encarado como um número limite de saltos...

Outras diferenças entre o IPv6 e o IPv4



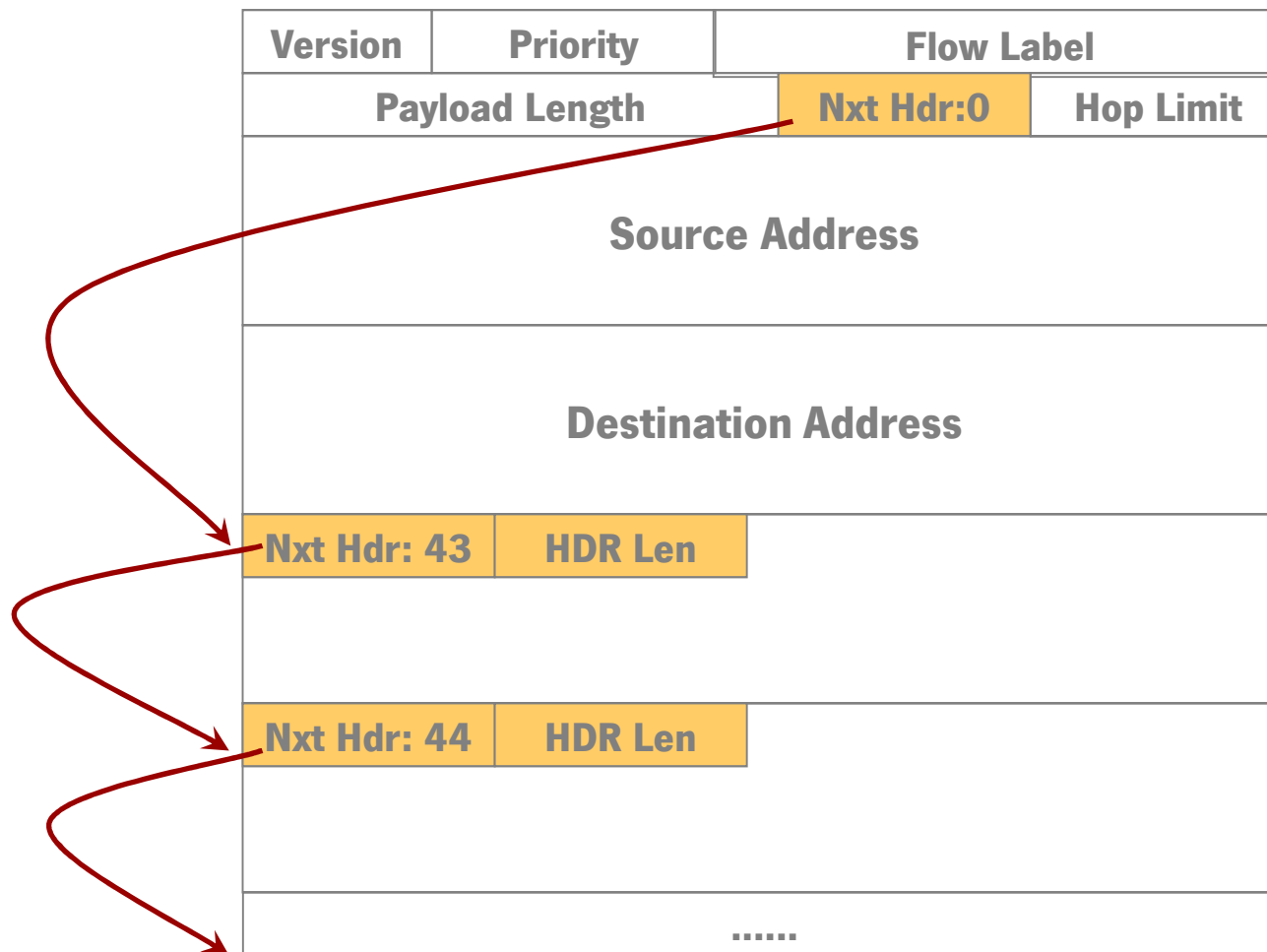
- ***Checksum:*** retirado inteiramente para reduzir o tempo de processamento em cada nó
 - Podemos prescindir de um checksum IP? E os erros de transmissão? E as modificações propositadas e mal intencionadas?
- ***Opções:*** são permitidas mas fora do cabeçalho
- ***ICMPv6:*** uma nova versão do protocolo ICMP
 - Novos tipos de mensagens, por exemplo. “Packet Too Big”
 - multicast group management functions
 - Procura agrupar as funções que existiam no ICMPv4 (informação e erro) com as de resolução de endereços (ARP no IPv4) e a gestão de grupos multicast (IGMP no IPv4); é também usado no processo de auto-configuração *stateless*;

Opções do IPv6



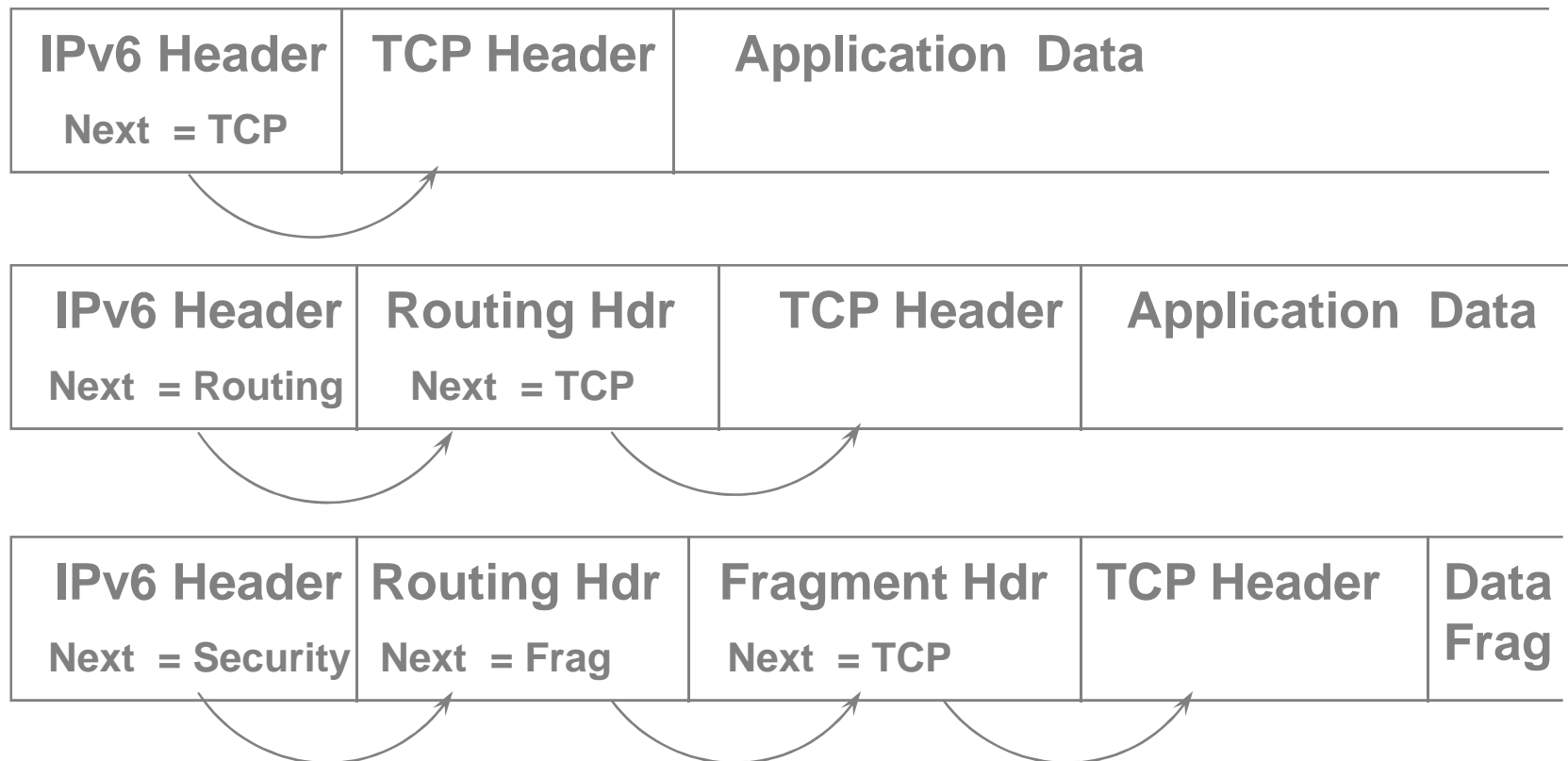
- **Extensões ao cabeçalho (a ordem é importante):**
 - 0 - hop-by-hop Option Header
 - 43 - Routing Header
 - 44 - Fragmentation Header
 - 51 - Authentication Header
 - 50 - Encapsulation Security Payload Header
 - 59 - No Next Header
 - 60 - Destination Options Header
 - 135 – Mobility Header
 - Camadas superiores: 6 – TCP, 17 – UDP, 58 – ICMPv6
- **Ordem definida de modo a facilitar o processamento:**
 - Primeiro os que são para tratar salto a salto... depois os outros

Extensões ao cabeçalho IPv6

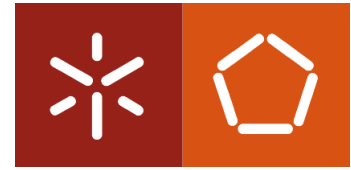


Fonte: Prof.a Ana Benso <http://www.inf.pucrs.br/~benso/>

Extensões ao cabeçalho IPv6

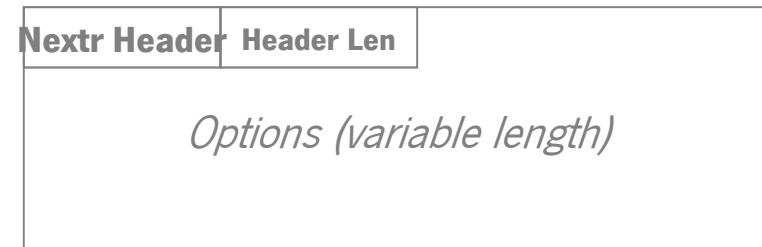


Opções do IPv6 – Hop-by-Hop



- **Extensões: Hop-by-Hop Option Header**

- Next header
- Header extension length
- Options



- ***Pad1, PadN***

- Serve para fazer o *shift* de um (Pad1) ou mais (PadN) bytes no cabeçalho, forçando um alinhamento que facilite o processamento

- ***Jumbo payload***

- Pacotes com tamanho superior ao payload do IP (16 bits $\rightarrow 2^{16} = 65,535$ bytes)
- Jumbo: 32 bits $\rightarrow 2^{32} = 4\,294,967,296$ bytes (o campo payload IP é colocado a 0)

- ***Router alert***

- Avisa o router que os pacotes lhe interessam, chamando a sua atenção para eles; os que não incluem esta opção são simplesmente reenviados;
- Inclui suporte para reserva de recursos (RSVP)

Opções do IPv6 – Encaminhamento



- **Extensões: Routing Header**

- Permite encaminhamento determinado pelo origem, tal como opção no IPv4;
- Cabeçalho inclui lista de routers intermédios a serem visitados no percurso;
- ***Strict source routing*** (o caminho é explicitado na totalidade)
- ***Loose source routing*** (podem ser visitados mais routers que os explicitados no caminho recomendado pela origem)

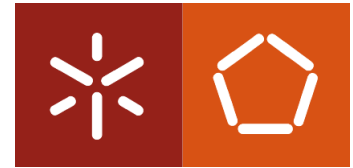
Nxt Hdr: 43	HDR Len	Type: 0	Addrs left: n
Reserved	Strict/Loose Bit Mask		
Address [0]			
Address [1]			
.....			



- **Extensões: Fragment Header**

- A fragmentação só é admitida no sistema origem!
- Não ocorre fragmentação nos routers intermédios
- O sistema origem deve executar procedimentos de descoberta do percurso para encontrar o MTU (Maximum transfer unit) mínimo do percurso e fragmentar os pacotes de acordo com esse MTU
- O MTU mínimo por defeito é 1280 octetos
- Campos:
 - Next Header(8bits), reserved(8bits), Fragment Offset(13bits),
Reserved(2bit), More Flag(1bit), Identification(32bits)

Opções do IPv6 – Fragmentação



**Cabeçalho
IPv6
Básico**

**Cabeçalho
Fragmentação**

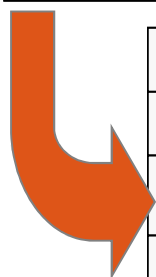
Version	Priority	Flow Label			
Payload Length		Nxt Hdr		Hop Limit	
Source Address					
Destination Address					
Nxt Hdr	Reserved	Fragment Offset		0	MF
Fragment Identification					
.....					

Opções do IPv6 – Fragmentação



6	4	flow	
Len: 2902		Nxt: 6	hops
Src address			
Dst address			
Payload (2902 bytes)			

O campo *fragment offset* mede blocos de 8 bytes!



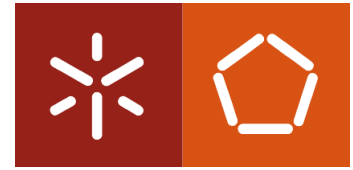
6	4	flow	
Len: 1456		Nxt: 44	hops
Src address			
Dst address			
Nxt: 6	R	0	1
Id: 0x12345678			
Payload (1448 bytes)			

6	4	flow	
Len: 1456		Nxt: 44	hops
Src address			
Dst address			
Nxt: 6	R	181	1
Id: 0x12345678			
Payload (1448 bytes)			

6	4	flow	
Len: 1456		Nxt: 44	hops
Src address			
Dst address			
Nxt: 6	R	362	0
Id: 0x12345678			
Payload (6 bytes)			

Fonte: Prof.a Ana Benso <http://www.inf.pucrs.br/~benso/> (adapt.)

IPv6: melhor desempenho



- **Tamanho fixo do cabeçalho**
 - Parsing mais rápido
- **Cabeçalho com menor número de campos e sem checksum**
 - Permite um processamento mais rápido dos pacotes
 - Controlo de Erros poderá ser efectuado pelas camadas superiores
- **Processamento Eficiente das Opções**
 - Os diferentes campos só são processados se a opção estiver presente
 - A maior parte das opções só são processadas no nó destino
- **Não há fragmentação no interior da rede**

Endereços IPv6



- **Unicast**
 - Global
 - Link-local
 - Site-local/local unicast
 - Compatíveis (IPv4, IPX, NSAP)
- **Multicast (um para muitos)**
- **Anycast (de um para o mais próximo de muitos)**

Endereços IPv6



- **128 bits = 6.65×10^{23} endereços de rede para cada m² da superfície da Terra.**
- **Formato = 8 partes de 16 bits que pode ser abreviado**

1) formato normal

FEDC:BA98:7654:3210:FEDC:BA98:7654:3210

2) Os zeros à esquerda não são necessários

1080:0:0:0:8:800:200C:417A

3) 16 bits consecutivos em zero são abreviados com ::

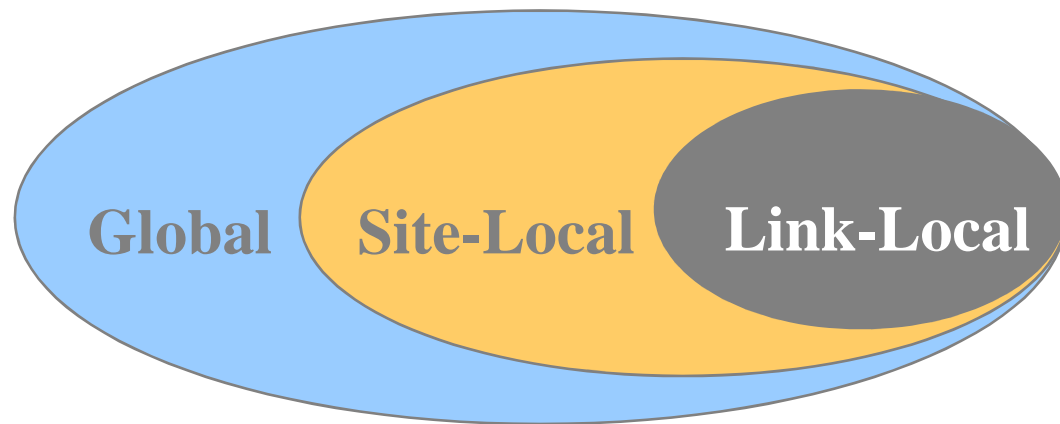
Seguindo esta regra, uma única sequência de vários blocos de 16 a zero pode ser abreviada:

1080::8:800:200C:417A

IPv6 – Modelo de Endereçamento



- **Os endereços são atribuídos às interfaces de rede**
 - À semelhança do que acontece no IPv4
- **Uma interface pode ter múltiplos endereços**
- **Os endereços têm um âmbito**
 - Link Local
 - Site Local
 - Global



- **Os endereços têm um tempo de vida**



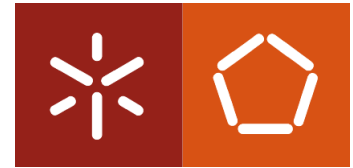
- **Endereços Flexíveis**

- Constituídos por duas partes de tamanho variável: o prefixo e a identificação da interface
- Exemplo de representação de prefixos:
 - 2000::/3 provider-based unicast address
 - 2A00::/12 atribuído pelo RIPE NCC
 - 2A01:0200::/24 fornecedor de serviço 0x102
 - 2A01:0203:0400::/40 tipo de assinante 0x0304
 - 2A01:0203:0405::/48 assinante 0x05
 - 2A01:0203:0405:0607::/64 sub-rede 0x0607



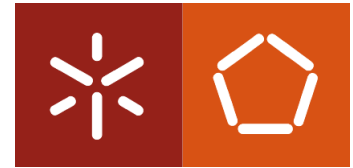
- **Para evitar uma explosão nas tabelas de encaminhamento é usado endereçamento hierárquico**
 - Os bits mais significativos representam o nível mais alto da hierarquia.
 - Exemplo:
 - 3 bits = formato do prefixo
 - 9 bits = identificação da autoridade de registo
 - 12 bits = identificador do fornecedor de serviço
 - 16 bits = tipo de assinante
 - 8 bits = identificador do assinante
 - 16 bits = identificador da subrede
 - bits restantes definem um sistema particular na subrede

Endereços Especiais



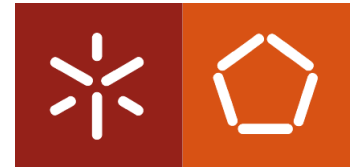
0::/8	0000 0000	reserved
100::/8	0000 0001	unassigned
2000::/3	001	provider based unicast
FE80::/10	1111 1110 10	Local link address
FEC0::/10	1111 1110 11	Site local address
FF00::/8	1111 1111	Multicast address
Loopback	0::1	

Endereços Especiais



- **Previstos dois tipos especiais de endereços IPv6 para suportar a transição de IPv4 para IPv6**
 - a diferença é subtil mas importante pois permite distinguir interlocutores IPv4 nativos e compatíveis com IPv6 (*dual-stack*)
- **IPv4 - compatível**
 - pode ser convertido de e para o formato IPv4
 - formados adicionando-se 96 bits em zero ao endereço de 32 bits
 - Exemplo: IPv4 = 1.2.3.4 IPv6 = ::0102:0304 (ou ::1.2.3.4)
 - Dois nós IPv6 podem comunicar directamente através de uma rede IPv4
 - Permitem túneis automáticos...
- **IPv4 - mapeado**
 - indicam sistemas que não suportam IPv6
 - usado para que sistemas IPv6 comuniquem com sistemas que só usam IPv4.
 - Adiciona-se 80 bits em zero, 16 bits em um aos 32 originais
 - Exemplo: IPv4 = 4.3.2.1 IPv6 = ::FFFF:0403:0201 (ou ::FFFF:4.3.2.1)

Exercício



- **Identifique e classifique todos os endereços IPv4 e IPv6 que foram atribuídos à interface:**

ifconfig -a ee1:

```
flags=c63<UP,BROADCAST,NOTRAILERS,RUNNING,MULTICAST,SIMPLEX>
```

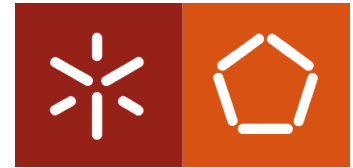
```
net 172.16.17.240 netmask fffffff0 broadcast 172.16.17.255 ipmtu 1500
```

```
inet6 fe80::202:a5ff:6a:1672/64
```

```
inet6 3ffe:31ff:0:1:202:a5ff:6a:1672/64
```

```
inet6 2001:690:2280:20:202:a5ff:6a:1672/64
```

Exercício



- **Indique, justificando, quais dos seguintes endereços IPv6 estão sintacticamente incorrectos:**

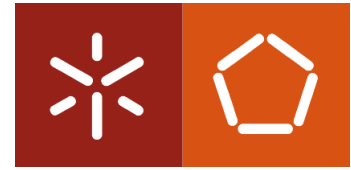
1. 2001:AE90::0055::5678
2. ::193.137.66.222
3. 2001::AAAA:BBBB:CCCC:DEF
4. FE80::1234
5. 2001:0690:1234:0004:0055:0666:1234:5678
6. 2001:690:1::1:2
7. 2001::E690:F1:1:2
8. FE80::0034:66FE:AA94

Atribuição dos Endereços em IPv6



- **Auto-configuração (plug-and-play).**
 - O primeiro endereço a ser obtido é o endereço de local link.
 - Tem um formato genérico do tipo FE80:0:0:0:xxxx:xxxx:xxxx:xxxx;
 - A parte da identificação da interface é obtida com base no seu endereço de nível 2
 - Este endereço permite uma comunicação imediata com todos os sistemas existentes na rede local
 - A partir daí e através de mensagens ICMPv6 trocadas entre o sistema terminal e o encaminhador da rede local são obtidos os outros endereços.
 - O encaminhador anuncia o prefixo que é concatenado com o endereço de nível 2 de forma a obter-se um endereço global único.
 - Outra alternativa passa pela utilização do DHCP (autoconfiguração *statefull*)

Atribuição dos Endereços em IPv6



- **Passos da auto-configuração *stateless*:**

1. Construir um endereço único de âmbito **Link-Local** para o interface:
 - Os primeiros 10 bits são “1111 1110 10”; seguem-se 54 zeros;
 - Os últimos 64 bits são inventados ou deduzidos do MAC Address, inserindo FF-FE no meio do endereço MAC;
Mac: 39-A7-94-07-CB-D0 Parte local: 3BA7:94FF:FE07:CBD0
O 7º bit do 1º byte é também mudado para 1 (bit universal/local)
2. Testar se o endereço é único:
 - Enviar uma mensagem ICMPv6 **Neighbor-Discovery** com endereço origem :: e destino o endereço criado, para verificar se obtém resposta;
Se o endereço estiver atribuído recebe **Neighbor-Advertisement**;
3. Assumir o endereço **Link-Local**, caso o teste passe;

Atribuição dos Endereços em IPv6

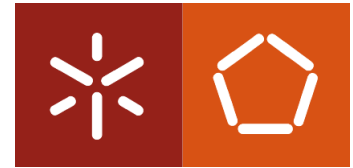


- **Passos da auto-configuração *stateless*:**
 4. Contactar o router local com mensagem ICMPv6 **Router-Discovery**:
 - Os router anunciam-se periodicamente com **Router-Advertisement**, mas essas mensagens podem ser solicitadas com pedido explícito **Router-Discovery**
 5. Seguir as recomendações do router local:
 - Endereço do servidor DHCPv6 a contactar para prosseguir configuração *statefull*
 - Envio de um conjunto de prefixos a juntar à parte local do endereço formando novos endereços IPv6
 6. Configuração de endereços de âmbito **Site-Local** e **Global** com base nos endereços fornecidos

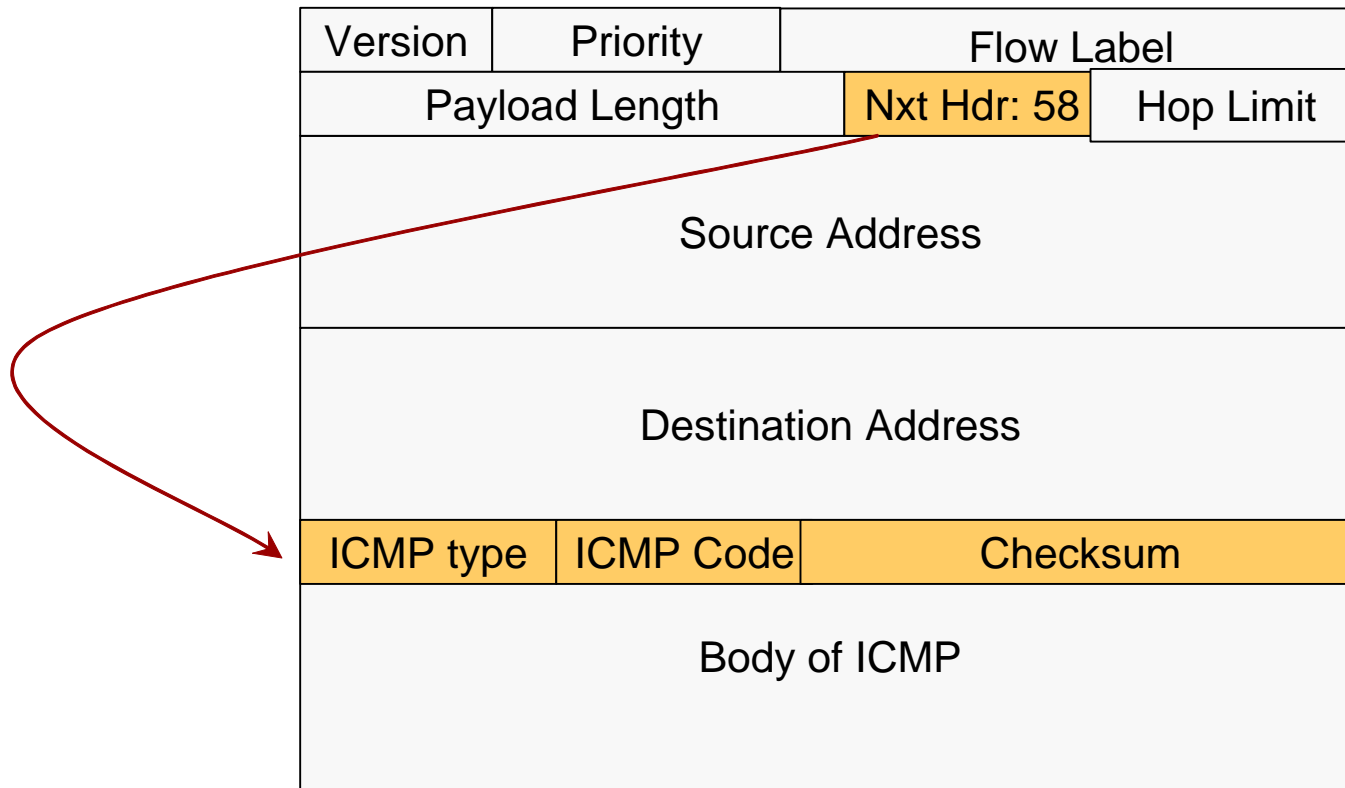


- **À semelhança do que acontecia no IPv4, também o IPv6 necessita de um protocolo de controlo: o ICMP**
- **Semelhanças entre ICMPv4 e ICMPv6:**
 - Usado para diagnósticos e mensagens de erro
 - Usado para descobrir o MTU fim a fim de um caminho
 - Funciona sobre o IP (encapsulado no IP)
 - Muito limitado em termos de segurança
- **Novas funções do ICMPv6 que não existem no ICMPv4:**
 - Atribuição de endereços aos interfaces (auto-configuração)
 - Resolução de endereços ($IP \leftrightarrow \text{Layer 2}$, funções ARP no IPv4)
 - Gestão de grupos multicast (equivalente ao IGMP no IPv4)
 - Suporte para a mobilidade dos nós IPv6

ICMPv6

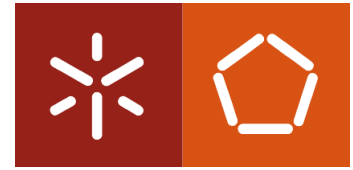


- **Formato geral:**





- **Tipos:**
 - Destination Unreachable (1)
 - Packet too Big (2)
 - Time Exceeded (3)
 - Parameter Problem (4)
 - Echo Request/Reply (128/129)
 - Group Membership Request/Report (130/131)
 - Router Solicitation/advertisement (133/134)
 - Neighbor Solicitation/Advertisement (135/136)
 - Redirect (137)
- **O campo “code” depende do tipo e serve para introduzir um segundo nível de granularidade:**
 - Exemplo para “Destination Unreachable”:
Code 0 – No route, Code 1 – administratively prohibited, ...



- **Checksum**

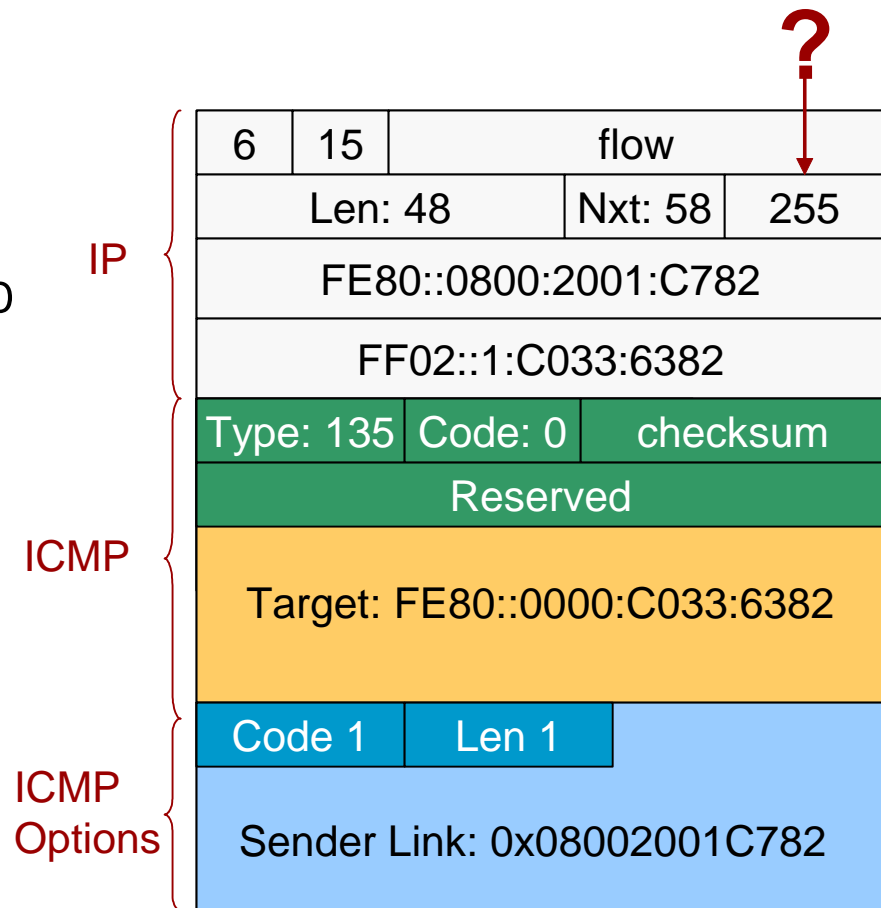
- Utiliza um pseudo-cabeçalho que não é de facto transmitido, mas apenas usado temporariamente para cálculo do checksum:
 - IP Source Address
 - IP Destination Address
 - Payload Length
 - Um campo de zeros
 - Next Header
 - Header ICMP

ICMPv6



- **Exemplo de resolução de endereços:**

- Host/Router envia pedido ICMP “*Neighbor Discovery*”
- Hop Limit Máximo 255
Se menor não executa resolução
- Endereços
Multicast
→ FF02::1:C033:6382
→ Prefixo: FF02::1:0:0
→ Sufixo: últimos 32 bits endereço IP destino

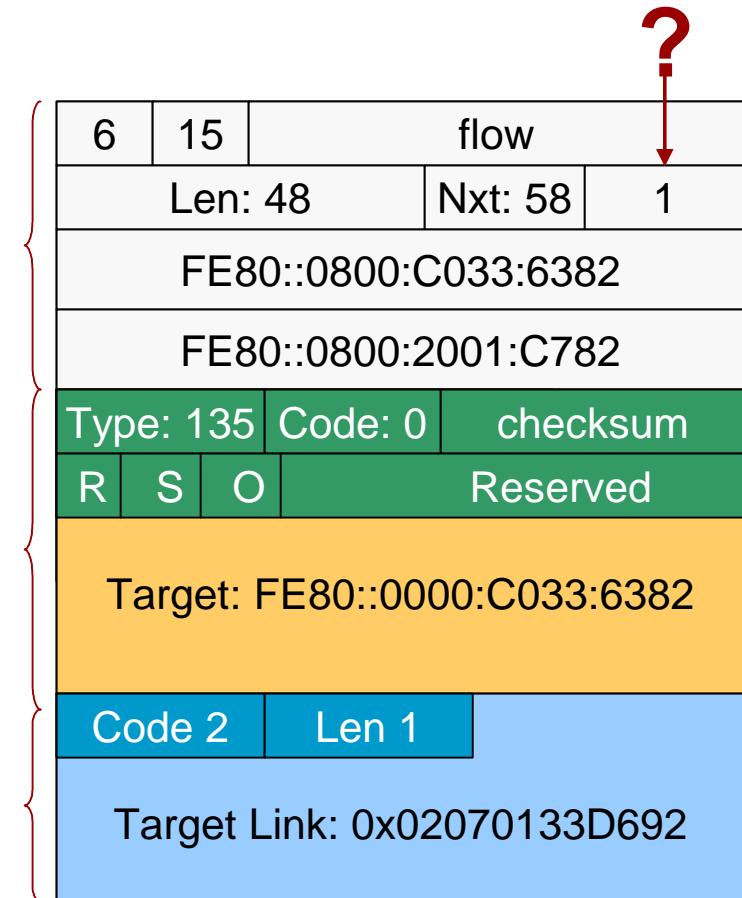


ICMPv6



- **Exemplo de resolução de endereços (continuação):**

- Vizinho responde ao pedido com ICMP “Neighbor Reply”
- R = 1
Originador é um router
- S = 1
Resposta a um pedido
- O = 1
Deve fazer “Overwrite” imediato na cache...

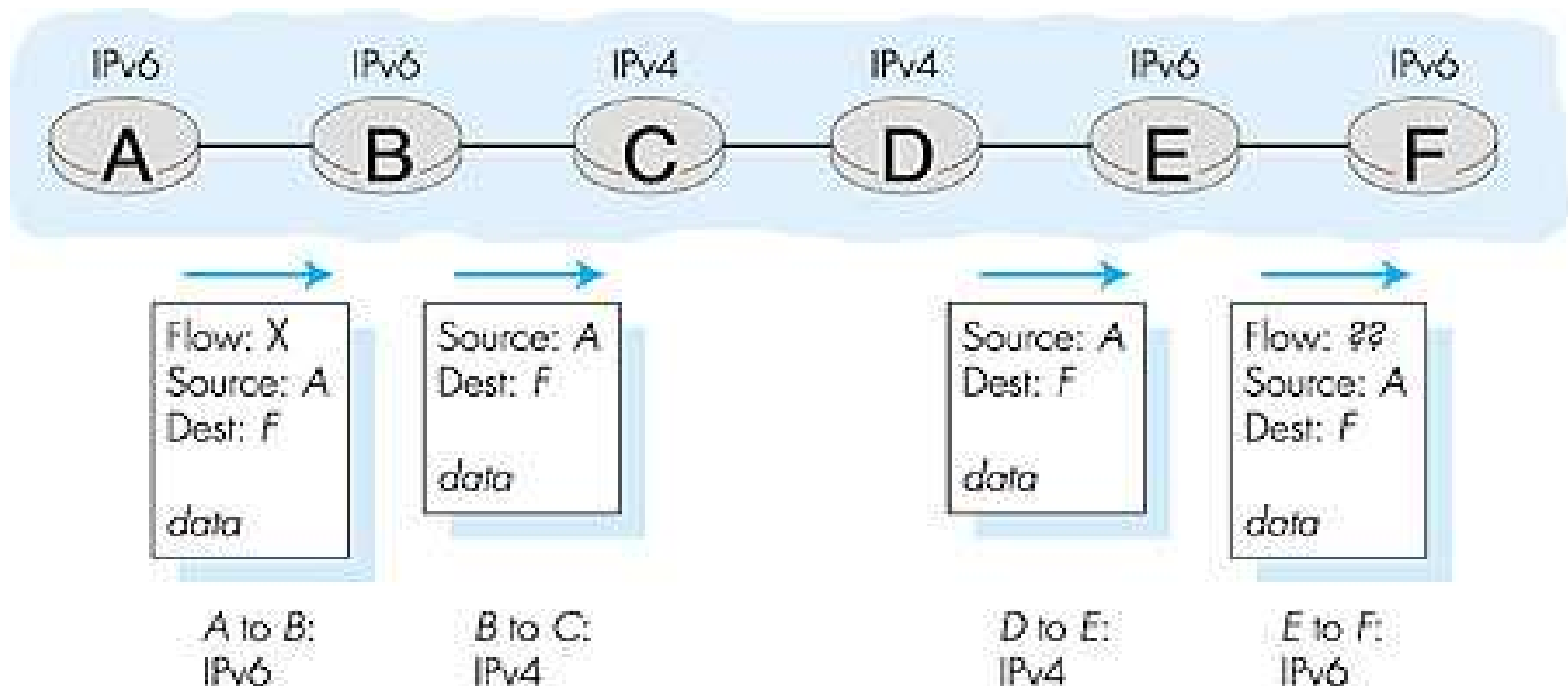


Transição do IPv4 para o IPv6



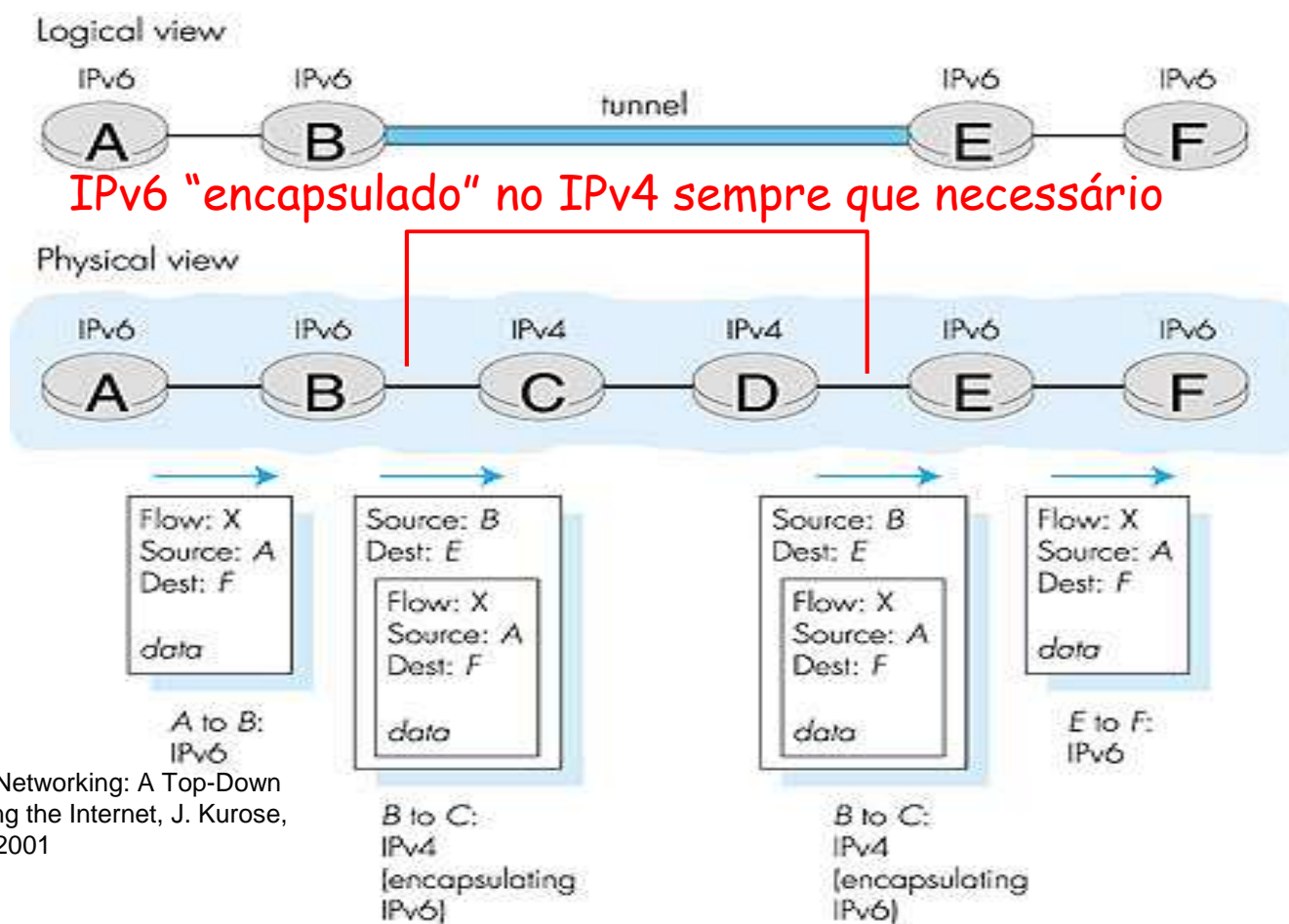
- **Nem todos os encaminhadores podem ser actualizados simultaneamente**
 - sem “flag days”
 - De que forma será possível ter a rede a funcionar simultaneamente com encaminhadores IPv6 e IPv4?
- **Duas abordagens possíveis**
 - *Stack Dupla*: alguns encaminhadores implementam as duas stacks e podem converter o formato IPv4 em IPv6 e vice-versa
 - *Túneis*: Entre encaminhadores IPv4, o datagrama IPv6 é transportado na parte dos dados do datagrama IPv4

Stack Dupla



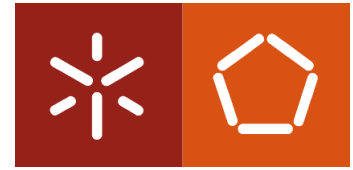
Fonte: Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet, J. Kurose, Addison-Wesley, 2001

Túneis



Fonte: Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet, J. Kurose, Addison-Wesley, 2001

Vantagens do IPv6



- **Maior Espaço de Endereçamento**
- **Um datagrama mais eficiente e extensível**
- **Encaminhamento eficiente através da agregação de rotas**
- **Auto-configuração**
- **Segurança**