

## **Redes de Computadores 2**

### **EEL 879**

## **Parte VI**

### **IPv6**

**Luís Henrique M. K. Costa**

`luish@gta.ufrj.br`

Universidade Federal do Rio de Janeiro - PEE/COPPE  
P.O. Box 68504 - CEP 21945-970 - Rio de Janeiro - RJ  
Brasil - <http://www.gta.ufrj.br>

## **Porque do IPv6?**

- **Esgotamento dos endereços IPv4**
  - IPv4: apenas 4,3 bilhões de endereços
- **Cabeçalho simplificado**
  - Processamento mais eficiente nos roteadores
- **Melhor suporte a opções**
- **Segurança**

## Requisitos do IPv6 (RFC 1752)

- Serviço de datagrama não confiável (~IPv4)
- Suporte unicast e multicast
- Endereçamento adequado para além de um futuro imediato
- Compatibilidade com o IPv4 (não renumerar redes)
- Suporte para autenticação e criptografia
- Não fazer suposições sobre a topologia física
- Não fazer nada que afete o desempenho dos roteadores
- Protocolo extensível e capaz de evoluir
- Suporte para estações móveis, redes e interconexão de redes
- Permitir interconexões de redes privadas em cima da infra da Internet

GTA/UFRJ

## Esgotamento dos Endereços IPv4

- **Fatores de pressão**
  - Número de redes
  - Dispositivos móveis
  - Internet das coisas
- **Fatores de alívio**
  - CIDR, melhor gerenciamento de endereços Classe A
  - *Network Address Translation* (NAT)
- **Outro aspecto: tamanho das tabelas**
  - IPv6 em si, não reduz
  - Alocação mais cuidadosa >> maior agregação

GTA/UFRJ

## IPv4 x IPv6: Endereços

### ○ IPv4 (1981)

- Tamanho: 32 bits
- Notação: 192.168.27.134  
(4 decimais separados por . )
- Baseado em classes

### ○ IPv6 (1999)

- Tamanho: 128 bits
- Notação: 3FFE:F200:234:AB00:123:4567:8901:FEFE  
(8 grupos de 4 hexadecimais, separados por : )
- Sem classes

GTA/UFRJ

## Quantidade de Endereços

### ○ IPv4

- $2^{32}$  endereços = 4.294.967.296 (~4,2 bilhões)

### ○ IPv6

- $2^{128}$  endereços =  $3.40282 \times 10^{38}$
- = 340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768.211.456

GTA/UFRJ

## Tipos de Comunicação no IPv6

- IPv4
  - Unicast
  - Multicast
  - Broadcast
- IPv6
  - Unicast
  - Multicast
  - Anycast

GTA/UFRJ

## Tamanho da Unidade de Transmissão

- MTU – Maximum Transfer Unit
  - Máxima quantidade de dados transportados em um quadro da camada 2
  - Exemplos
    - Ethernet (IEEE 802.3): MTU = 1500 Bytes (tamanho da carga útil)
- No IPv6, há uma MTU mínima que deve ser suportada pela camada 2
  - 1280 Bytes

GTA/UFRJ

## Tempo de Vida do Endereço IPv6

- Endereços IPv6 não são “dados, mas emprestados”
- Tempo de vida associado a cada endereço
  - Quando termina, o endereço torna-se inválido e pode ser reutilizado por outra interface
  - Tempo de vida padrão: 30 dias
  - Endereços local-ao-enlace possuem tempo de vida ilimitado
- Permite a renumeração dos endereços
  - Desejável que se faça de forma suave, para não quebrar conexões em andamento

GTA/UFRJ

## Tempo de Vida do Endereço IPv6

- Mecanismo de obsolescência
  - Vários endereços IPv6 podem ser associados a uma interface...
  - Escolha do endereço a utilizar: baseada no **estado** do endereço
- **Estados** do endereço com respeito ao tempo de vida
  - Preferível
    - Endereço pode ser utilizado sem restrições
  - Depreciado
    - Não deve ser usado como endereço fonte para novas comunicações
    - Mas pode ser endereço fonte em comunicações em andamento
  - Inválido
- Na atribuição de um endereço, são definidos o tempo de vida (validade) e o tempo de duração preferencial

GTA/UFRJ

## Endereços IPv6: Representação

**2033:0000:0123:00FD:000A:0000:0000:0C67**



Retirada de zeros no início de palavras



**2033:0:123:FD:A:0:0:C67**



Retirada de blocos "todos-zeros" (compressão)



**2033:0:123:FD:A::C67**

- Compressão pela omissão de zeros
  - Uma única vez: seria impossível saber quantas palavras em zero, senão

GTA/UFRJ

## Estrutura do Endereço IPv6

|                             |                            |
|-----------------------------|----------------------------|
| <b>8145:010C:0000:0000:</b> | <b>1100:1A06:8800:0001</b> |
| parte de rede               | parte de estação           |

- Parte de Rede
  - 64 bits MSB
  - Configurável (sub-campos)
- Parte de Estação
  - 64 bits LSB
  - Fixa
  - Calculada pela própria estação

GTA/UFRJ

## Estrutura do Endereço IPv6

8 MSB do endereço IPv6:

Format Prefix (FP)

- Definem o tipo de endereço

| Bits FP      | Uso                                | Número de endereços | Faixa     |
|--------------|------------------------------------|---------------------|-----------|
| 0000 0000    | Reservados                         | $2^{120}$           | 0000::/8  |
| 0000 0001    | Não atribuídos                     | $2^{120}$           | 0100::/8  |
| 0000 001     | NSAPs                              | $2^{121}$           | 0200::/7  |
| 0000 01      | Não atribuídos                     | $2^{122}$           | 0400::/6  |
| 0000 1       | Não atribuídos                     | $2^{123}$           | 0800::/5  |
| 0001         | Não atribuídos                     | $2^{124}$           | 1000::/4  |
| 001          | Endereços Unicast Globais          | $2^{125}$           | 2000::/3  |
| 01           | Não atribuídos                     | $2^{126}$           | 4000::/2  |
| 10           | Não atribuídos                     | $2^{126}$           | 8000::/2  |
| 110          | Não atribuídos                     | $2^{125}$           | C000::/3  |
| 1110         | Não atribuídos                     | $2^{124}$           | E0000::/4 |
| 1111 0       | Não atribuídos                     | $2^{123}$           | F0000::/5 |
| 1111 10      | Não atribuídos                     | $2^{122}$           | F800::/6  |
| 1111 110     | Não atribuídos                     | $2^{121}$           | FC00::/7  |
| 1111 1110 0  | Não atribuídos                     | $2^{119}$           | FE00::/9  |
| 1111 1110 10 | Endereços unicast locais ao enlace | $2^{118}$           | FE80::/10 |
| 1111 1110 11 | Endereços unicast locais ao site   | $2^{118}$           | FEC0::/10 |
| 1111 1111    | Endereços multicast                | $2^{120}$           | FF00::/8  |

## Tipos de Endereços IPv6

- Unicast Global
- Unicast Local ao Enlace
- Unicast Local ao Site
- Multicast
- NSAP (Network Service Access Point) (ISO)
  - (em desuso)
- IPX (Novell)
  - (em desuso)

## Endereço IPv6 Unicast Global

|                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 1                                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 2                         |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 3                         |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 0                    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0                                 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0                         | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0                         | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| FP=001               |   |   |   |   |   |   |   |   |   | Top Level Aggregation ID          |   |   |   |   |   |   |   |   |   | Reserved                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   | Next Level Aggregation ID |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   | Next Level Aggregation ID (cont.) |   |   |   |   |   |   |   |   |   | Site Level Aggregation ID |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Interface ID         |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Interface ID (cont.) |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

- Top Level Aggregation ID (13 bits)
- Reserved (8bits)
- Next Level Aggregation ID (24 bits)
- Site Level Aggregation ID (16 bits)
- Interface ID (64 LSB)

GTA/UFRJ

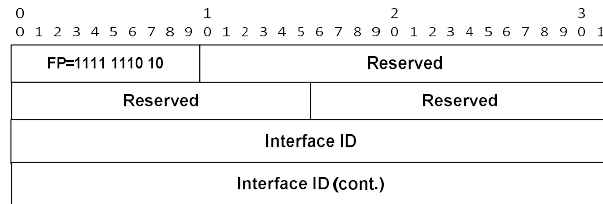
## Endereço IPv6 Unicast Global (cont.)

- Topologia Pública
  - Top Level Aggregation ID (13 bits)
    - Identificadores para grandes operadores de rede, tipicamente, provedores da DFZ (*default-free zone*)
  - Reserved (8bits)
    - Reserva, permite aumentar o número de TLAs ou de NLAs
  - Next Level Aggregation ID (24 bits)
    - Identificador do site (ou domínio)
- Topologia do Site
  - Site Level Aggregation ID (16 bits)
    - Endereço de sub-rede
    - Permite a hierarquização do site
  - Interface ID (64 bits)
    - Endereço da Interface

GTA/UFRJ



## Endereço IPv6 Unicast Local ao Enlace



- Não-roteável
  - Comunicação entre máquinas no mesmo enlace apenas
- Faixa
  - FE80::/10
- Equivalente IPv4
  - 169.254.0.0/16

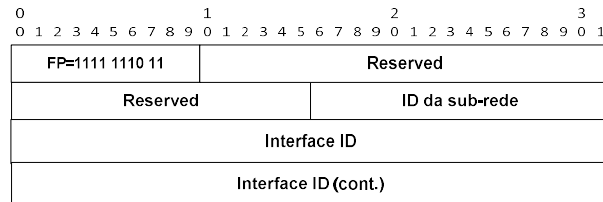
GTA/UFRJ

## Endereço IPv6 Unicast Local ao Enlace (cont.)

- Utilização do endereço *local-ao-enlace*
  - Protocolo de configuração de endereço global (subst. do ARP)
  - Protocolo de descoberta de vizinhos (*neighbor discovery*)
  - Protocolo de descoberta de roteadores (*router discovery*)
- Devem ser únicos no enlace
  - Garantia: Protocolo de detecção de endereço duplicado
- Podem repetir em enlace ou redes diferentes
- Normalmente não são usados em aplicações clássicas
  - Alcance limitado ao enlace

GTA/UFRJ

## Endereço IPv6 Unicast Local ao Site



- Escopo
  - Rede de um site, roteadores de borda devem filtrá-los
- Faixa
  - FEC0::/10
- Equivalente IPv4
  - 10.0.0.0/8

GTA/UFRJ

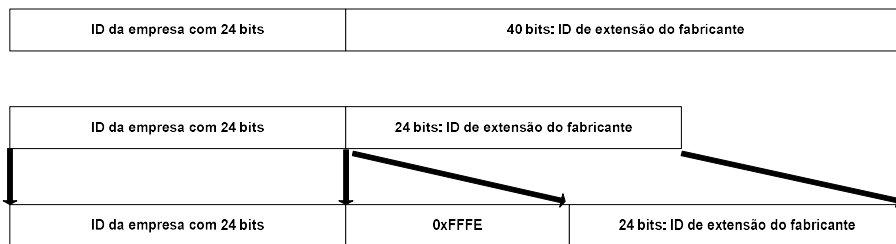
## Endereço IPv6 Unicast Local ao Site (cont.)

- Utilização
  - Rede de um site que ainda não está conectado à Internet
- Dificuldades de utilização
  - Definição exata de um site
  - Plano de endereçamento SLA ID é o mesmo para os endereços globais?
  - Como definir se um parceiro está no mesmo site
  - Que endereço o servidor DNS deve informar
- Vantagem
  - Não há a necessidade de renumeração quando se troca o provedor de acesso à Internet

GTA/UFRJ

## Endereços IPv6 Unicast: Interface ID

- Endereços MAC
  - 48 bits (IEEE 802) ou 64 bits (IEEE EUI-64)
- Interface ID no IPv6: 64 bits



GTA/UFRJ

## Endereços Unicast IPv6 Especiais

- Endereço indeterminado
  - 0:0:0:0:0:0:0:0 (ou ::)
  - Utilizado unicamente durante inicialização da máquina
- Endereço de loopback
  - 0:0:0:0:0:0:0:1 (ou ::1)

GTA/UFRJ

## Endereços Unicast IPv6 Especiais

### ○ Endereços “IPv4-mapped IPv6”

- 80 '0's + FFFF + endereço IPv4 (32 bits)
  - Exemplos
    - ::FFFF:129.144.52.38 (forma IPv6-IPv4 decimal)
    - ::FFFF:8190:3426 (forma IPv6-comprimida)

### ○ Utilização

- Dupla pilha:
  - Máquina IPv6 pode conversar com máquinas IPv6 ou IPv4
  - Na transmissão:
    - Se endereço de destino IPv4 mapeado em IPv6, pacote emitido na pilha IPv4
  - Na recepção:
    - Um pacote IPv4 recebido na pilha IPv4 é apresentado à aplicação na forma de um pacote IPv6 com endereço de destino IPv4 mapeado em IPv6

GTA/UFRJ

## Endereços Unicast IPv6 Especiais

### ○ Endereços “Compatíveis IPv4”

- 96 '0's + endereço IPv4 (32 bits)
  - Exemplos
    - ::129.144.52.38 (forma IPv6-IPv4 decimal)
    - ::8190:3426 (forma IPv6-comprimida)

### ○ Utilização

- Túnel IPv6/IPv4 automático
  - Pacote transmitido a ::a.b.c.d é encapsulado em um pacote IPv4
  - No destino, o pacote IPv6 é desencapsulado e entregue à aplicação
- Uso generalizado é desaconselhável
  - Equivale a gerenciar uma rede IPv4, com endereços acrescidos de 96 '0's...
- Melhor opção: tunelamento na Entrada/Saída do Site

GTA/UFRJ

## Endereço IPv6 Multicast

|                     |                     |                     |                         |
|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|
| 0                   | 1                   | 2                   | 3                       |
| 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 | 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 | 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 | 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 |
| FP=1111 1111        | Res.                | T                   | Escopo                  |
| ID do Grupo (cont.) |                     |                     |                         |
| ID do Grupo (cont.) |                     |                     |                         |
| ID do Grupo (cont.) |                     |                     |                         |

- Flags: Reserved (3 bits) + T (1 bit)
  - T = 0: endereço permanente
  - T = 1: endereço temporário
- Escopo (4 bits)
  - Alcance do tráfego
- ID do Grupo (112 bits)

GTA/UFRJ

## Endereço IPv6 Multicast

- Faixa
  - FF00::/8
- Exemplos
  - FF02::1
    - "All-nodes": equivalente ao broadcast IPv4
  - FF02::2
    - "All-routers": equivalente ao grupo IPv4 224.0.0.2

GTA/UFRJ

## Endereço IPv6 Multicast: Escopo

- Interface-local (0x1)
- Link-local (0x2)
- Subnet-local (0x3)
- Admin-local (0x4)
- Site-local (0x5)
- Organization-local (0x8)
- Global (0xE)
- Reservado (0xF)
  
- Substitui a limitação do escopo através do campo TTL no IPv4

GTA/UFRJ

## Endereço IPv6 Multicast: Escopo Observações

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>○ Configuração física/não relacionada com multicast<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Interface-local (0x1)<ul style="list-style-type: none"><li>▪ (local ao nó)</li></ul></li><li>➤ Link-local (0x2)<ul style="list-style-type: none"><li>▪ (local a um enlace)</li></ul></li><li>➤ Subnet-local (0x3)<ul style="list-style-type: none"><li>▪ (local a uma sub-rede)</li></ul></li></ul></li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>○ Configuração administrativa<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Admin-local (0x4)<ul style="list-style-type: none"><li>▪ (menor conf. admin.)</li></ul></li><li>➤ Site-local (0x5)<ul style="list-style-type: none"><li>▪ (local a um site, conf. admin.)</li></ul></li><li>➤ Organization-local (0x8)<ul style="list-style-type: none"><li>▪ (~múltiplos sites da mesma organização)</li></ul></li><li>➤ Global (0xE)<ul style="list-style-type: none"><li>▪ (não tem limites)</li></ul></li><li>➤ Reservado (0xF)</li></ul></li></ul> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

GTA/UFRJ

## Endereço IPv6 Multicast: Escopo

### ○ Exemplos

- FF02::101 : todos os servidores NTP (*Network Time Protocol*) no mesmo enlace que o emissor
- FF05::101 : todos os servidores NTP no mesmo site que o emissor
- FF0E::101 : todos os servidores NTP na Internet

GTA/UFRJ

## Endereços Multicast Especiais IPv6

### ○ All-nodes multicast groups

- Interface-local all-nodes group (FF01::1)
- Link-local all-nodes group (FF02::1)

### ○ All-routers multicast groups

- Interface-local all-routers group (FF01::2)
- Link-local all-routers group (FF02::2)
- Site-local all-routers group (FF05::2)

### ○ Solicited-node multicast group

GTA/UFRJ

## Endereços Multicast Nó-Solicitado

### ○ Formação

- Prefixo FF02::1:FF00/104 + 24 LSB do endereço unicast ou anycast do nó

### ○ Utilização

- A máquina constrói endereços multicast nó solicitado a partir de seus endereços unicast e/ou anycast
- Outra máquina que conheça o endereço IPv6 da máquina, mas não seu endereço MAC, pode utilizar o endereço nó solicitado para se comunicar (~ARP do IPv4)

### ○ Utilidade

- Protocolo de detecção de endereços duplicados e de descoberta de vizinhos
- Mais eficiente que 255.255.255.255 no IPv4

GTA/UFRJ

## Exemplo de Formação do Endereço Multicast Nó-Solicitado

Endereço alvo (notação comprimida):

fe80::3ab:ff:fe54:5a9f

Endereço alvo (últimos 24 bits)

fe80:0000:0000:0000:03ab:00ff:fe**54:5a9f**

Prefixo Solicited-node Multicast Address (notação comprimida)

ff02::1:ff00:0/104

Prefixo Solicited-node Multicast Address (primeiros 104 bits)

**ff02:0000:0000:0000:0000:0001:ff**00:0000/104

Resultado:

ff02:0000:0000:0000:0000:0001:ff54:5a9f

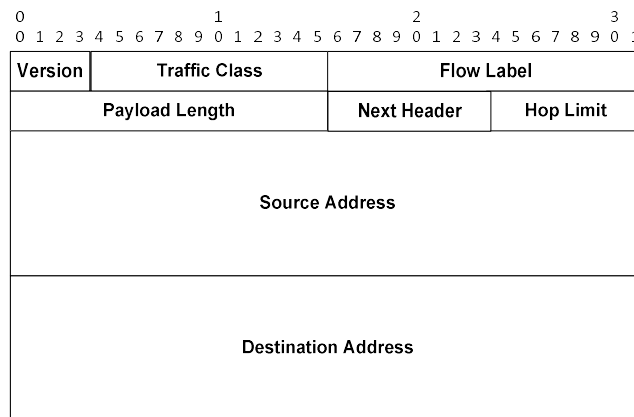
Resultado (notação comprimida):

ff02::1:ff54:5a9f

GTA/UFRJ



## IPv6 - O Cabeçalho



- Todos os campos são fixos

GTA/UFRJ

## Cabeçalho IPv4 x IPv6

- Campos **eliminados** em relação ao IPv4
  - IHL (4bits)
    - Cabeçalho IPv6 tem tamanho fixo
  - Identification, Flags e Fragment Offset (16, 8 e 8 bits)
    - No IPv6, o roteador não faz fragmentação
  - Header Checksum (4bits)
    - O IPv6 não faz controle de erros, deixado para outras camadas
- Campos **acrescidos** em relação ao IPv4
  - Flow Label (16 bits)
    - Identificação de fluxo

GTA/UFRJ

## Cabeçalho IPv4 x IPv6

### ○ Campos **modificados** em relação ao IPv4

- ToS >> Traffic Class
- Total Length >> Payload Length
  - Tamanho da carga útil, sem o cabeçalho do IPv6 (40 bytes)
- TTL >> Hop Limit
- Protocol >> Next Header
  - Indica o tipo de protocolo transportado, **ou**
  - Campo opcional (substitui as Opções do IP)

GTA/UFRJ

## Campos do Cabeçalho IP

- Versão (4bits)
  - Versão atual = 6
- Traffic Class (8 bits)
  - Differentiated Services, como no IPv4 (RFC 2474)

GTA/UFRJ

## Campos do Cabeçalho IP

- Flow Label (16 bits)
  - Número único escolhido pela fonte
  - Utilidade
    - Qualidade de Serviço (QoS): uso pelo RSVP (*ReSource reserVation Protocol*)
    - Tratamento específico do fluxo: escolha de uma rota
- Identificação de fluxo no IPv4
  - Fluxo geralmente identificado por uma tupla
    - (@-orig; @-dest; #porta orig; #porta dest; protocolo)
- No IPv6: maior eficiência
  - Um campo específico
  - Se utilizada confidencialidade, até o número de porta de pode estar escondido

GTA/UFRJ

## Campos do Cabeçalho IP

- Payload Length (16 bits)
  - Tamanho da carga útil, sem considerar o tamanho do cabeçalho
  - Se houver cabeçalhos de extensão, são contados no Payload Length
  - Para pacotes de tamanho maior que 65.535 bytes
    - Payload Length = 0
    - Opção "jumbograma" é utilizada
- Next Header (8 bits)
  - Protocolo de nível superior (ICMP, UDP, TCP, ...)
  - Ou identificação do próximo cabeçalho de extensão

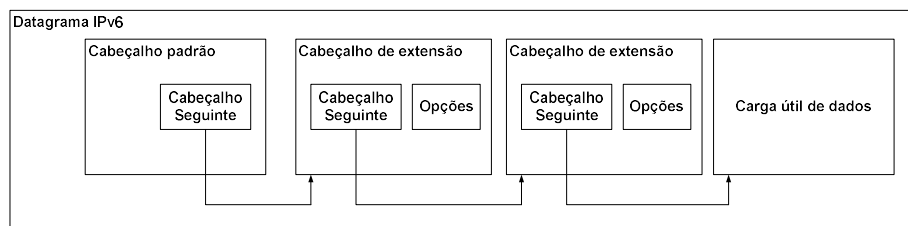
GTA/UFRJ

## Campos do Cabeçalho IP

- Hop Limit (8 bits)
  - Número de saltos
    - Deixa de significar tempo em segundos, como inicialmente proposto no IPv4
- Source Address e Destination Address (128 bits cada)
  - Endereços IP de Origem e de Destino do pacote

GTA/UFRJ

## Cabeçalhos de Extensão



- Tratamento de opções no IPv6
  - Apenas as extensões “hop-by-hop” são tratadas por todos os roteadores
  - Todas as outras são tratadas apenas no destino em questão
  - Maior eficiência que no IPv4, onde pacotes com opções sempre seguem pelo *slow-path* dos roteadores

GTA/UFRJ

## Cabeçalho de Extensão: Considerações

- Comprimento: múltiplo de 8 bytes
- Início: campo Next Header (1 byte)
  - (“Cabeçalho Seguinte”)
- Se extensão de tamanho variável
  - Próximo byte: comprimento da extensão, em palavras de 8 bytes, sem contar a primeira palavra
    - (Uma extensão de 16 bytes possui comprimento “1”)

GTA/UFRJ

## Cabeçalho de Extensão: Considerações

- Ordem recomendada (RFC 2460)
  - Salto-a-salto (sempre deve ser a primeira extensão)
  - Destino (será também tratada pelos roteadores impostos pelo roteamento pela fonte)
  - Roteamento pela fonte
  - Fragmentação
  - Autenticação
  - Destino (será tratada apenas pelo equipamento destino final)

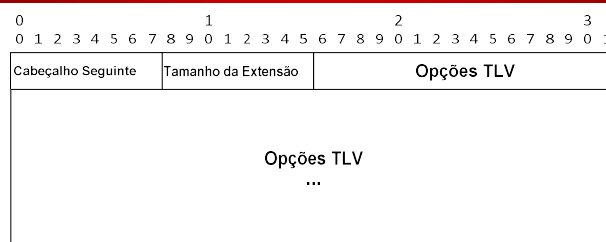
GTA/UFRJ

## Valores de “Cabeçalho Seguinte”

| Valor | Extensão                         | Valor | Protocolo |
|-------|----------------------------------|-------|-----------|
| 0     | Opções salto-a-salto             | 6     | TCP       |
| 43    | Roteamento pela fonte            | 17    | UDP       |
| 44    | Fragmentação                     | 41    | IPv6      |
| 50    | Encapsulamento seguro de payload | 58    | ICMPv6    |
| 51    | Autenticação                     |       |           |
| 59    | Fim de cabeçalho sem payload     |       |           |
| 60    | Opções de destino                |       |           |

GTA/UFRJ

## Opções no Cabeçalho de Extensão



- Cabeçalho seguinte: indica o próximo cabeçalho de extensão
- Tamanho da extensão: inteiro em unidades de 8 bytes
- Opções TLV
  - Extensão salto-a-salto (Tipo 0)
    - Opções que são aplicadas a cada salto do caminho
  - Extensão de destino (Tipo 60)
    - Opções que são aplicadas apenas no destino, ou no próximo salto, no caso de roteamento pela origem

GTA/UFRJ

## Opções Salto-a-salto: Considerações

- São Opções TLV
- Codificação do Tipo da Opção
  - 2 MSB: tratamento de uma opção desconhecida pelo roteador
    - 00: o roteador ignora a opção
    - 01: o roteador descarta o pacote
    - 10: o roteador descarta o pacote e retorna uma mensagem ICMPv6 de "inalcançabilidade"
    - 11: o roteador descarta o pacote e retorna uma mensagem ICMPv6 de "inalcançabilidade" se o destino não for multicast
  - Próximo bit
    - =1: o roteador pode modificar o conteúdo do campo de opções
    - =0: o roteador não pode modificar o conteúdo do campo de opções

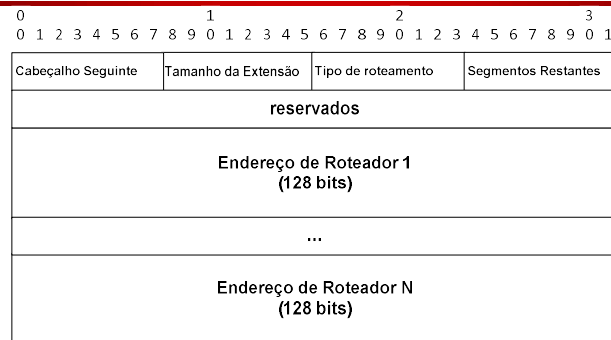
GTA/UFRJ

## Tipos de Opções Salto-a-salto

- Pad1 (tipo 0): introduz um byte de enchimento
- PadN (tipo 1): introduz dois ou mais bytes de enchimento (de acordo com campo tamanho da extensão)
- Jumbograma (tipo 194 ou 0xC2):
  - Permite pacotes maiores que 65535 bytes
  - Usada geralmente em conexões de alta velocidade entre duas máquinas
  - Neste caso, o tamanho da carga útil no cabeçalho principal vale zero
  - Obs: inicia com "11": o roteador informa à fonte se não suportar o jumbograma
- Router Alert (tipo 5)
  - Solicitação ao roteador de examinar o pacote
  - Normalmente, a tarefa do roteador é encaminhar o pacote o mais rápido possível
  - Utilização
    - Protocolo de reserva de recursos RSVP
    - Protocolo de gerenciamento de grupo MLD

GTA/UFRJ

## Extensão de Roteamento pela Fonte



### ○ Cabeçalho de Extensão tipo 43

- Tipo = 0: roteamento pela fonte, semelhante ao *loose source routing* do IPv4
  - (A utilização do *strict source routing* tornou-se rara)
- Conteúdo
  - Número de segmentos (saltos) restantes até o destino
  - Lista dos próximos roteadores até o destino

GTA/UFRJ

## Extensão de Fragmentação



### ○ Fragmentação: ineficiente no IPv4

- Mecanismos de descoberta de MTU servem para evitá-la
- Porém, algumas aplicações supõem que a rede realiza a fragmentação, eliminá-la no IPv6 significaria reescrever as aplicações

### ○ IPv6: fragmentação realizada no emissor

### ○ Cabeçalho de Extensão tipo 44

- Algoritmo semelhante ao IPv4
- Conteúdo:
  - Lugar do fragmento (13 bits) – posição em número de palavras de 8 bytes
  - Bit M – “More fragments”, como no IPv4

GTA/UFRJ



## Cabeçalhos de Extensão de Segurança

- Authentication Header (AH)
  - Autenticação da Fonte
- Encapsulation Security Payload (ESP)
  - Criptografia dos Dados

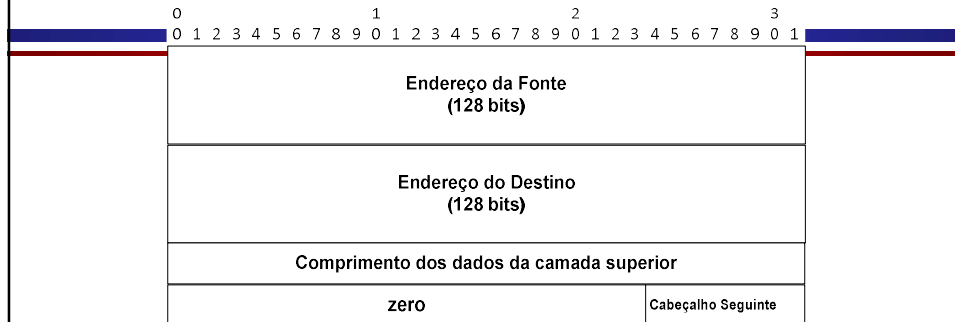
GTA/UFRJ

## Checksum no Nível de Transporte

- IPv4: checksum protege o cabeçalho IP
  - IPv6: checksum eliminado do cabeçalho
- IPv6
  - Todos os protocolos acima do IPv6 devem considerar no checksum os dados do cabeçalho IPv6
    - TCP: modificação do cálculo, que era obrigatório
    - UDP: modificação do cálculo e torná-lo obrigatório
  - Criação de um pseudo-cabeçalho, que não é transmitido
  - Checksum: mesmo cálculo do IPv4
    - Soma em complemento a 1 das palavras de 16 bits

GTA/UFRJ

## Checksum no Nível de Transporte



- Campos do pseudo-cabeçalho
  - Endereço da Fonte (128 bits) e Endereço do Destino (128 bits)
  - Comprimento dos dados da camada superior (32 bits)
    - Ex. Cabeçalho TCP + Dados
    - Comporta o valor do comprimento da opção jumbograma, se utilizada
  - Campo Cabeçalho Seguinte
    - Não contém necessariamente o mesmo valor do campo do pacote que será transmitido, e já que extensões não são consideradas no cálculo do checksum

GTA/UFRJ

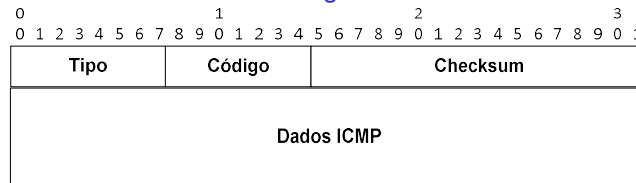
## ICMPv6

- *Internet Control Message Protocol* (ICMP)
- Funções semelhantes ao ICMP do IPv4
  - Detecção de erros
    - Ex.: destino inalcançável, tempo expirado
  - Teste e diagnóstico
    - Ex.: ping
  - Configuração automática de equipamentos
    - Ex.: redirecionamento ICMP, descoberta de roteador
- Novas funções
  - Gerenciamento de grupos multicast
    - Integra o MLD (*Multicast Listener Discovery*) (IGMP no IPv4)
  - Função do ARP no IPv4

GTA/UFRJ

# ICMPv6

## ○ Formato Geral de uma Mensagem ICMPv6



- Campo Tipo (8 bits)
  - Tipos < 127: mensagens de erro
  - Outros: mensagens de informação
    - Ex. Mensagens do protocolo de descoberta de vizinhos
- Campo Código (8 bits)
  - Causa da mensagem ICMP
- Campo Checksum (16 bits)
  - Calculado com o pseudo-cabeçalho IPv6

GTA/UFRJ

# ICMPv6

## ○ Conteúdo do Campo Dados ICMP

- Nas mensagens de erro
  - Contém (**parte da**) Carga útil do datagrama que gerou o erro
  - Comprimento da mensagem ICMPv6 é limitado a 1280 bytes para evitar ter que realizar a descoberta de MTU
    - (como consequência, o conteúdo do pacote pode ser truncado)
- Nas outras mensagens
  - Campos dependentes do protocolo

GTA/UFRJ

## Tipos de Mensagens ICMPv6: Gerenciamento de Erros

| Tipo | Código | Significado                                              |
|------|--------|----------------------------------------------------------|
| 1    |        | Destino inalcançável:                                    |
|      | 0      | - não há rota para o destino                             |
|      | 1      | - comunicação com o destino impedida administrativamente |
|      | 2      | - destino fora do alcance do endereço fonte              |
|      | 3      | - endereço inacessível                                   |
|      | 4      | - número de porta inacessível                            |
| 2    |        | Pacote grande demais                                     |
| 3    |        | Tempo expirado:                                          |
|      | 0      | - atingido limite do número de saltos                    |
|      | 1      | - tempo de remontagem expirado                           |
| 4    |        | Erro de parâmetro:                                       |
|      | 0      | - algum campo de cabeçalho incorreto                     |
|      | 1      | - campo de próximo cabeçalho (next header) desconhecido  |
|      | 2      | - opção não reconhecida                                  |

## Tipos de Mensagens ICMPv6: Informação e Multicast

### ○ Informação

| Tipo | Código | Significado   |
|------|--------|---------------|
| 128  |        | Echo Request  |
| 129  |        | Echo Response |

### ○ Gerenciamento de grupos multicast (MLD)

| Tipo | Código | Significado                             |
|------|--------|-----------------------------------------|
| 130  |        | Consulta sobre grupos multicast (Query) |
| 131  |        | Relatório de grupos multicast (Report)  |
| 132  |        | Fim de interesse no grupo               |

GTA/UFRJ

## Tipos de Mensagens ICMPv6: Descoberta de Vizinhos

| Tipo | Código | Significado                          |
|------|--------|--------------------------------------|
| 133  |        | Solicitação de roteador              |
| 134  |        | Anúncio de roteador                  |
| 135  |        | Solicitação de vizinho               |
| 136  |        | Anúncio de vizinho                   |
| 137  |        | Redirecionamento ( <i>redirect</i> ) |

GTA/UFRJ

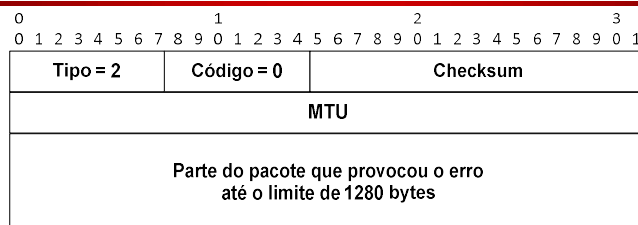
## ICMPv6: Destino Inalcançável

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 1 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 2 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 3 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

- Mensagem Tipo 1 emitida quando
  - o roteador não possui rota para o destino (Código 0)
  - a mensagem foi filtrada por um firewall (Código 1)
  - endereço inacessível, p. ex. a tentativa de rotear um endereço de tipo local ao enlace (*link-local*) (Código 3)
  - não há aplicação associada à porta de destino (Código 4)

GTA/UFRJ

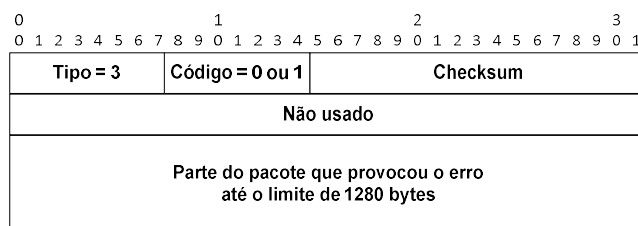
## ICMPv6: Pacote Grande Demais



- Mensagem emitida quando o pacote é maior que a MTU do próximo enlace
  - utilizada no procedimento de descoberta de MTU
- Campo MTU: unidade de transferência máxima que o roteador pode aceitar
  - Este campo não existia no IPv4, facilita a descoberta de MTU
- Campo Dados
  - Parte do pacote que provocou o erro, limitando a msg. ICMPv6 a 1280 B

GTA/UFRJ

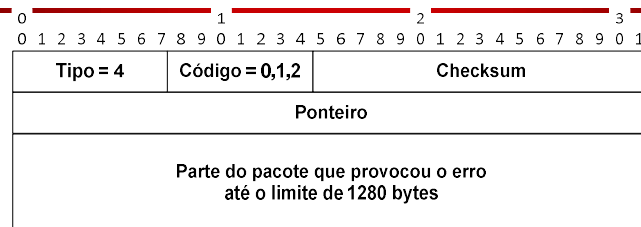
## ICMPv6: Tempo Estourado



- A mensagem indica que o datagrama foi descartado pelo roteador
  - porque o campo número de saltos (*hop limit*) chegou a zero (Código = 0)
  - ou porque um fragmento se perdeu e o tempo máximo de remontagem foi ultrapassado (Código = 1)
- Mensagem utilizada pelo programa **traceroute**, como no IPv4

GTA/UFRJ

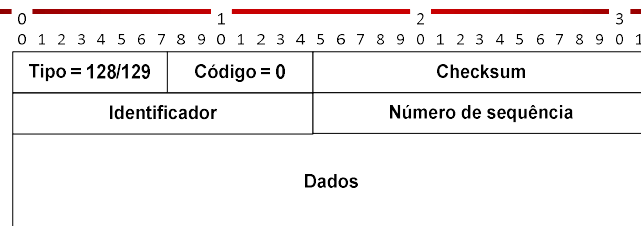
## ICMPv6: Erro de Parâmetro



- A mensagem indica erro no cabeçalho ou nos cabeçalhos de extensão do datagrama
- Causa do erro (campo Código)
  - erro de sintaxe no cabeçalho (Código 0)
  - número de próximo cabeçalho (next header) desconhecido (Código 1)
  - uma opção do cabeçalho de extensão desconhecida (e os 2 primeiros bits da opção definem o envio de uma mensagem ICMPv6) (Código 2)
- Ponteiro
  - Indica o byte do datagrama onde ocorreu o erro

GTA/UFRJ

## ICMPv6: Echo Request e Response



- Utilizadas no programa ping, funcionamento semelhante ao do IPv4
- Campo Identificador
  - Serve para distinguir diversas instâncias do ping sobre a mesma máquina
- Campo Número de Sequência
  - associa uma resposta a um pedido
  - permite medir o tempo de ida e volta e detectar perdas
- Campo Dados
  - permite estatísticas com diferentes tamanhos de datagrama

GTA/UFRJ

## Gestão de Grupos Multicast

- MLDv1
  - Operação idêntica ao IGMPv2 do IPv4
- MLDv2
  - Operação idêntica ao IGMPv3 do IPv4

GTA/UFRJ

## ICMPv6: Configuração Automática e Controle

- Protocolo de Descoberta de Vizinhos (ND - *Neighbor Discovery*)
  - Permite a uma estação se comunicar com outros equipamentos na mesma rede física
  - Utiliza 5 tipos de mensagem ICMPv6
  - Campo número de saltos deve ser 255
    - As mensagens não devem ser roteadas: se o valor recebido < 255, datagrama rejeitado
- Funções do *Neighbor Discovery*
  - Resolução de endereços: substitui o ARP do IPv4
  - Detecção de inalcançabilidade de vizinhos
  - Configuração
  - Redirecionamento

GTA/UFRJ



## ND: Funções de Configuração

- **Descoberta de Roteadores**
  - Permite aos equipamentos descobrir os roteadores no enlace físico
- **Descoberta de prefixos**
  - Permite conhecer o(s) prefixo(s) utilizados na rede
  - Prefixos podem ser utilizados para construir o(s) endereço(s) dos equipamentos (auto-configuração)
- **Detecção de endereços duplicados**
  - Há riscos de erros, dada a configuração automática
- **Descoberta de parâmetros**
  - Permite conhecer parâmetros do enlace físico, ex.:
    - Tamanho da MTU
    - Número máximo de saltos (valor inicial recomendado do Hop Limit)
    - Se a configuração automática com estado (DHCP) está disponível

GTA/UFRJ

## Dados das Mensagens de Descoberta de Vizinhos

- **Maior parte das mensagens da Descoberta de Vizinhos utiliza opções comuns**
  - Endereço físico da fonte
  - Endereço físico do alvo
  - Informação de prefixo
  - Cabeçalho redirecionado
  - MTU
- **Formato**
  - Tipo
  - Comprimento (em palavras de 64 bits)
  - Dados

GTA/UFRJ

## Dados das Mensagens ND: Endereço Físico da Fonte/do Alvo

|                                                                      |             |                 |   |
|----------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|---|
| 0<br>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 | 1           | 2               | 3 |
| Tipo = 1/2                                                           | Comprimento | Endereço físico |   |
| Endereço físico (cont.)                                              |             |                 |   |

- Campo Comprimento
  - Tamanho da opção em palavras de 64 bits
    - Ex. Endereço MAC de 48 bits (6 bytes) – Comprimento = 1
    - Há desperdício de espaço, mas força-se alinhamento em 64 bits
- Tipo 1: endereço físico da fonte
- Tipo 2: endereço físico do alvo

GTA/UFRJ

## Dados das Mensagens ND: Informação de Prefixo

|                                                                      |            |                   |                |
|----------------------------------------------------------------------|------------|-------------------|----------------|
| 0<br>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 | 1          | 2                 | 3              |
| Tipo = 3                                                             | Compr. = 4 | Compr. do prefixo | L A Reservado1 |
| Tempo de Vida Válido                                                 |            |                   |                |
| Tempo de Vida Preferível                                             |            |                   |                |
| Reservado                                                            |            |                   |                |
| Prefixo<br>(128 bits)                                                |            |                   |                |

- Campo Comprimento do Prefixo
  - Número de bits significativos do prefixo anunciado

GTA/UFRJ

## Dados das Mensagens ND: Informação de Prefixo

- Bit L = 1
  - Indica que todos os equipamentos que compartilham o prefixo estão no mesmo enlace físico
    - (O IPv6 permite que eles não estejam; neste caso os datagramas devem ser enviados por padrão ao roteador)
- Bit A = 1
  - Indica que o prefixo anunciado pode ser utilizado para construir o endereço do equipamento (auto-configuração)
- Campo Duração de Validade
  - Tempo durante o qual o prefixo é válido
- Campo Duração Preferível
  - Tempo durante o qual um endereço construído a partir deste prefixo estará *preferível*

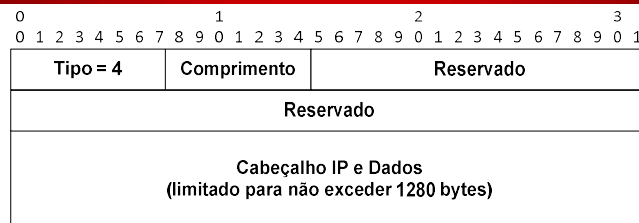
GTA/UFRJ

## Dados das Mensagens ND: Informação de Prefixo

- Obs.
  - Para os dois campos de Duração, o valor `0xffffffff` representa “duração infinita”
- Campo Reservado2
  - Permite o alinhamento em palavras de 64 bits
- Campo Prefixo
  - O prefixo anunciado
  - Tamanho fixo de 128 bits para manter o alinhamento

GTA/UFRJ

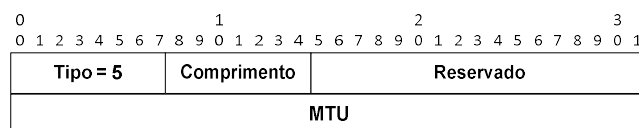
## Dados das Mensagens ND: Cabeçalho Redirecionado



- Opção utilizada na Mensagem de Redirecionamento
  - Campo Cabeçalho IP e Dados
    - Parte do Pacote que provocou a mensagem de redirecionamento (limitada de forma à mensagem < 1280 bytes)
  - Campos Reservado
    - Alinhamento em palavras de 64 bits

GTA/UFRJ

## Dados das Mensagens ND: MTU



- Campo MTU
  - Tamanho máximo dos dados que podem ser transmitidos sobre o enlace físico
- Campo Reservado
  - Alinhamento em palavras de 64 bits
- Comprimento = 1

GTA/UFRJ

## Funções do Protocolo de Descoberta de Vizinhos (ND)

- Descoberta de Roteadores
  - Mensagens *Router Solicitation* e *Router Announcement*
- Descoberta de Vizinhos
  - Mensagens *Neighbor Solicitation* e *Neighbor Announcement*
- Redirecionamento

GTA/UFRJ

## Mensagem de Solicitação de Roteador

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 1 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 2 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 3 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |

- Emitida por um equipamento durante inicialização
  - Obtenção rápida de informações sobre o roteador
- Enviada a **ff02::2** (multicast “todos os roteadores no enlace”)
- Campo Opções contém o endereço físico do equipamento fonte

GTA/UFRJ

## Mensagem de Anúncio de Roteador

|                                                                                   |  |  |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |  |  |                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|------------|--|--|--|--|--|--|--|---------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 1                                                                                 |  |  |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |  |  | 2                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tipo = 134                                                                        |  |  |  |  |  |  |  | Código = 0 |  |  |  |  |  |  |  | Cchecksum                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Máx. de saltos                                                                    |  |  |  |  |  |  |  | MO-----    |  |  |  |  |  |  |  | Tempo de Vida do Roteador |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tempo Alcançável                                                                  |  |  |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |  |  |                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Temporizador de Retransmissão                                                     |  |  |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |  |  |                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Opções<br>(Endereço físico da fonte,<br>Informação sobre o(s) prefixo(s),<br>MTU) |  |  |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |  |  |                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

- Enviada pelo roteador, periodicamente, ou em resposta a uma mensagem de solicitação de roteador
  - Endereço fonte: endereço link-local do roteador
  - Endereço destino: do equipamento que solicitou, ou **ff02::01**
- Campo Máx. de Saltos (*Current Hop Limit*)
  - Valor padrão sugerido para o campo Hop Limit dos datagramas enviados na rede

GTA/UFRJ

## Mensagem de Anúncio de Roteador

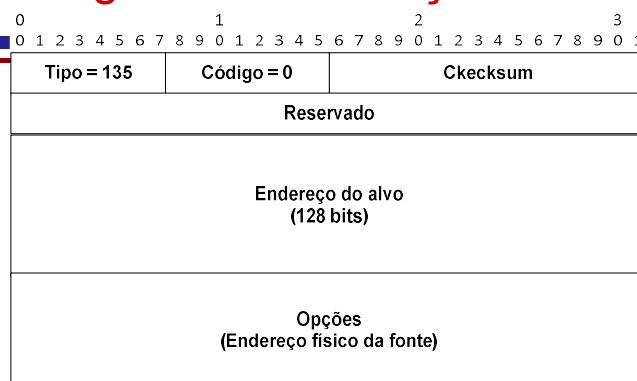
- Bit M ("Managed address configuration")=1: o endereço do equipamento deve ser obtido através do protocolo de configuração DHCP
- Bit O ("Other configuration") = 1: o protocolo de configuração DHCP fornece outras informações além do endereço (ex. DNS)
- Bit H ("Home agent")=1: o roteador pode ser utilizado como home agent por um nó móvel
- Tempo de vida do roteador
  - Tempo (em segundos) durante o qual o roteador serve como roteador default
  - Máximo: 18h12m, mas não é limite estrito, já que a mensagem é periódica
- Campo Tempo Alcançável (*Reachable Time*)
  - Tempo em ms de validade de informações guardadas no cache
  - Ex.: tabela de endereços IPv6 x endereços físicos
    - ao final do tempo, procedimento de detecção de inacessibilidade inicia

## Mensagem de Anúncio de Roteador

- Campo Temporizador de Retransmissão (*Retransmission Timer*)
  - Período (em ms) entre transmissões não solicitadas de anúncios
  - Permite detectar se o roteador ficou inacessível
- Campo Opções pode conter
  - endereço físico da fonte
  - MTU
  - informação sobre um ou mais prefixos

GTA/UFRJ

## Mensagem de Solicitação de Vizinho



- Obtenção de informações sobre um equipamento vizinho
  - enviada explicitamente ao vizinho
  - ou a um endereço de difusão (corresponde ao ARP Request no IPv4)
- Endereço de Origem
  - Endereço link-local, global, ou não especificado

GTA/UFRJ

## Mensagem de Solicitação de Vizinho

- Endereço de Destino
  - Endereço Multicast Nó-Solicitado correspondente ao endereço procurado
  - ou endereço do equipamento (caso de detecção de inacessibilidade – NUD (*neighbor unreachable detection*))
- Campo Reservado
  - Alinhamento em palavras de 64 bits
- Campo Endereço do Alvo
  - Endereço IPv6 do equipamento procurado
- Campo Opções
  - Endereço físico da fonte
    - deve ser incluído em solicitações multicast
    - pode ser incluído em solicitações unicast
    - não deve ser incluído em solicitações com endereço de origem não especificado

GTA/UFRJ

## Mensagem de Anúncio de Vizinho

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 1 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 2 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 3 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |

- Enviada em resposta a uma solicitação
  - ou enviada espontaneamente em caso de mudança de endereço físico
  - ou de “status de roteador”
- Corresponde ao ARP Response do IPv4 no caso de determinação do endereço físico

GTA/UFRJ



## Mensagem de Anúncio de Vizinho

- Bit R (Router flag) = 1: o emissor é um roteador
  - O bit R permite detectar um roteador que se torna um equipamento "normal"
- Bit S (Solicited flag) = 1: o anúncio foi enviado em resposta a uma solicitação
- Bit O (Override) = 1: o anúncio deve apagar informações anteriores dos caches dos equipamentos, em especial a tabela de endereços físicos
- Campo Endereço do Alvo
  - Se S=1, contém o Endereço do Alvo da mensagem de solicitação à qual este anúncio corresponde
  - Se S=0, contém o endereço IPv6 link-local do equipamento emissor
- Campo Opção
  - Contém o endereço físico do emissor da mensagem

GTA/UFRJ

## Configuração Automática

- Objetivo: Conexão à rede local sem intervenção humana
  - Instalação automática de rotas
    - ICMPv6 Router Solicitation/Announcement
  - Auto-configuração de endereços
- Obtenção de um endereço quando
  - A máquina se conecta à rede pela primeira vez
  - Renumeração da rede, após uma mudança de provedor de rede
- Processo
  - Criação de um endereço link-local
  - Verificação da unicidade do endereço link-local
  - Determinação do endereço unicast global

GTA/UFRJ

## Configuração Automática

- 2 formas de **determinação do endereço unicast global**:
  - **Autoconfiguração sem estado** (*stateless autoconfiguration*)
    - Útil quando não é necessária gestão administrativa dos endereços atribuídos
  - **Autoconfiguração com estado** (*stateful autoconfiguration*)
    - Útil quando é necessário controle estrito dos endereços atribuídos
    - Realizada pelo protocolo DHCPv6
- **Anúncios de Roteador indicam o método utilizado**
  - Bit M=0: autoconfiguração sem estado do endereço
  - Bit M=1: o endereço deve ser solicitado a um servidor DHCPv6
  - Bit O=1: além do endereço, informações adicionais disponibilizadas pelo servidor DHCPv6

GTA/UFRJ

## Etapas do Procedimento de Autoconfiguração do Endereço

1. Criação do endereço link-local
  - (Comunicação com outras máquinas no enlace é possível)
2. Recebimento de uma mensagem de anúncio de roteador
  - Determinação do método de obtenção do endereço unicast global
3. Autoconfiguração sem estado
- ou**
3. Autoconfiguração com estado (DHCPv6)

(Obs.: Se não houver roteador, autoconfiguração com estado)

GTA/UFRJ

## Duplicate Address Detection (DAD)

- Endereço em estado *provisório* enquanto DAD em execução
- Passos do Algoritmo de Detecção de Endereço Duplicado
  - Entrada no grupo multicast nó-solicitado correspondente
  - Envio de uma mensagem de Solicitação de Vizinho
    - Campo Endereço Alvo: endereço provisório
    - Endereço fonte: endereço IPv6 não especificado (: : /128)
  - Espera por resposta durante 1 segundo (tempo padrão sugerido)
  - Casos possíveis de acordo com a resposta:
    - Mensagem de anúncio de vizinho é recebida:
      - o endereço provisório já era considerado válido por outra máquina e não pode ser utilizado
    - Mensagem de solicitação de vizinho/DAD é recebida:
      - outro nó pretendia usar o mesmo endereço; ele não será utilizado por nenhum dos dois
    - Nenhuma resposta recebida:
      - o endereço passa de *provisório* a *válido*

## Criação do Endereço Link-local

- Endereço link-local = prefixo + identificador da interface
- Prefixo link-local
  - **FE80 : : /64**
- Identificador
  - EUI-64
- Endereço provisório > DAD > Endereço válido

## Autoconfiguração Sem Estado

- Geração do endereço de uma estação feita a partir de informações locais e de informações fornecidas por um roteador
  - Autoconfiguração funciona para estações, não para roteadores
- Endereço global = prefixo + identificador da interface
- Prefixo
  - Opção “Informação sobre Prefixo” das mensagens de Anúncio de Roteador
- DAD não é necessária, já que foi realizada para a escolha do endereço link-local

GTA/UFRJ

## Propriedades de Segurança

- Confidencialidade dos dados
- Confidencialidade do fluxo de dados
- Autenticação da origem dos dados
- Autenticação mútua de duas entidades
- Integridade dos dados
- Prevenção contra ataques de repetição
- Não repúdio

GTA/UFRJ

## Principais Formas de Ataque no IP

- IP sniffing
  - “Escuta” do tráfego em trânsito em uma rede
- IP spoofing
  - Falsificação do endereço IP da origem ou do destino
    - “Usurpação” da identidade de outra pessoa
- IP flooding
  - Envio de uma grande quantidade de pacotes, de forma que o tratamento destes pacotes exaure os recursos da máquina sob ataque

GTA/UFRJ

## Principais Formas de Defesa no IP

- IP sniffing
  - Confidencialidade
- IP spoofing
  - Autenticação/integridade
  - Confidencialidade
  - Detecção de repetição
- IP flooding
  - Limitação das comunicações com/a determinadas estações

GTA/UFRJ

## Extensões de Segurança no IPv6

- *Authentication Header (AH)*
  - Autenticação
  - Integridade
  - Detecção de ataques de repetição (opcional)
  - Não repúdio (a depender do método de autenticação)
- *Encapsulation Security Payload (ESP)*
  - Confidencialidade
  - Integridade
  - Autenticação
  - Detecção de ataques de repetição
  - Confidencialidade (parcial) do fluxo

GTA/UFRJ

## Modos de Proteção do IPSec

- **Modo Transporte**
  - Protege a carga útil do pacote, e alguns campos do seu cabeçalho
- **Modo Túnel**
  - Protege a comunicação dentro de um túnel IP
  - Ou seja, protege todos os campos do pacote IP original e alguns campos do novo pacote IP que encapsula o pacote original

GTA/UFRJ

# A Associação de Segurança

## ○ Definição

- Tipo de extensão de segurança do IPv6
- Serviços e parâmetros de segurança
  - Algoritmo de autenticação e chaves
  - Algoritmo de criptografia e chaves, método de criptografia, ...
  - Tempo de vida da associação de segurança
  - Modo do protocolo IPSec (túnel ou transporte)

## ○ Identificada por um índice de parâmetros de segurança

- *Security Parameters Index (SPI)*

GTA/UFRJ

# Autenticação

## ○ Extensão AH (*Authentication Header*)

## ○ Modo Transporte

- Integridade
  - Dados do transporte e campos (cabeçalho e extensões) imutáveis do pacote IP
- Posicionamento da extensão no pacote:

|                |                 |                 |                  |    |                  |       |
|----------------|-----------------|-----------------|------------------|----|------------------|-------|
| Cabeçalho IPv6 | Ext. Hop-by-hop | Ext. Roteamento | Ext. Destino (*) | AH | Ext. Destino (*) | Dados |
|----------------|-----------------|-----------------|------------------|----|------------------|-------|

GTA/UFRJ

# Autenticação

- Extensão AH (*Authentication Header*)
- Modo Túnel
  - Integridade
    - Todo o pacote IP original
    - Campos imutáveis do novo pacote IP que encapsula o original
  - Posicionamento da extensão no pacote:

|                                  |    |                                      |       |
|----------------------------------|----|--------------------------------------|-------|
| Cabeçalho IPv6 + novas extensões | AH | Cabeçalho IPv6 + extensões originais | Dados |
|----------------------------------|----|--------------------------------------|-------|

GTA/UFRJ

## Conteúdo da Extensão AH

|                                                                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <div>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9</div>                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  | <div>1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0</div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  | <div>2 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0</div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  | <div>3 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0</div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Cab. Seguinte                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Compr. Extensão                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Reservado                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Security Parameters Index                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Número de Sequência                                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Dados de Autenticação<br>(número variável de palavras de 32 bits) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

- Comprimento da Extensão em palavras de 32 bits
- SPI identifica a associação de segurança
- Número de sequência
  - Opcional: deve ser preenchido pela origem, mas o destinatário não é obrigado a verificar
- Dados de autenticação
  - Número variável de palavras de 32 bits

GTA/UFRJ

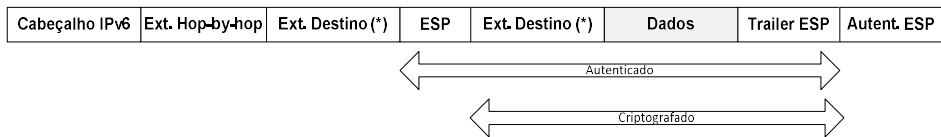


# Confidencialidade

## ○ Extensão ESP (*Encapsulating Security Payload*)

### ○ Modo Transporte

- Proteção criptográfica
  - Dados, do trailer ESP, e extensão destino (dependendo da sua posição no pacote)
- Autenticação/integridade
  - Garante toda o conteúdo da extensão ESP, exceto o campo de dados de autenticação ESP
- Posicionamento da extensão no pacote:



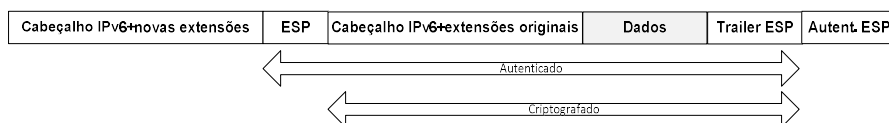
GTA/UFRJ

# Confidencialidade

## ○ Extensão ESP (*Encapsulating Security Payload*)

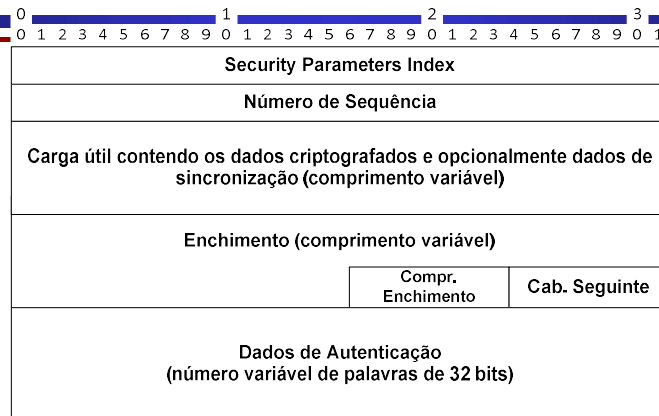
### ○ Modo Túnel

- Proteção criptográfica
  - Sobre todo o pacote IP original
- Autenticação/integridade
  - Garante toda o conteúdo da extensão ESP, exceto o campo de dados de autenticação ESP
- Posicionamento da extensão no pacote:



GTA/UFRJ

## Conteúdo da Extensão ESP



- SPI identifica a associação de segurança
- Número de sequência

GTA/UFRJ

## Conteúdo da Extensão ESP

- Carga útil (dados criptografados) pode conter:
  - Cabeçalho IP + Extensões + Dados do transporte
    - (pacote IP completo)
  - Extensão de destino + Dados do transporte
  - Dados do transporte
  - Dados de sincronização dependendo do algoritmo criptográfico
- Enchimento, Comprimento do Enchimento
  - Bits de enchimento se devido ao alinhamento dos dados de criptografia
- Cabeçalho seguinte
  - Indica tipo de dados contidos no primeiro campo da carga útil
- Dados de autenticação
  - Opcional, depende da associação de segurança

GTA/UFRJ