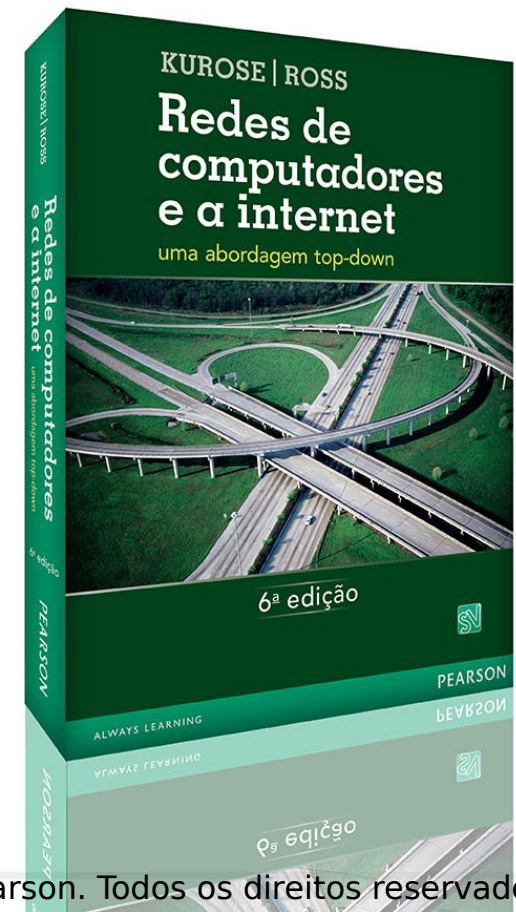


IPv6

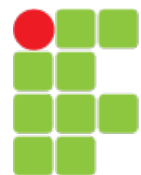
Referências extras:

- nic.br – Slides IPv6
- Jen Linkova aka Furry: IPv6 – What, Why, How
- Arliones Hoeller e Mario de Noronha Neto - 6LoWPAN

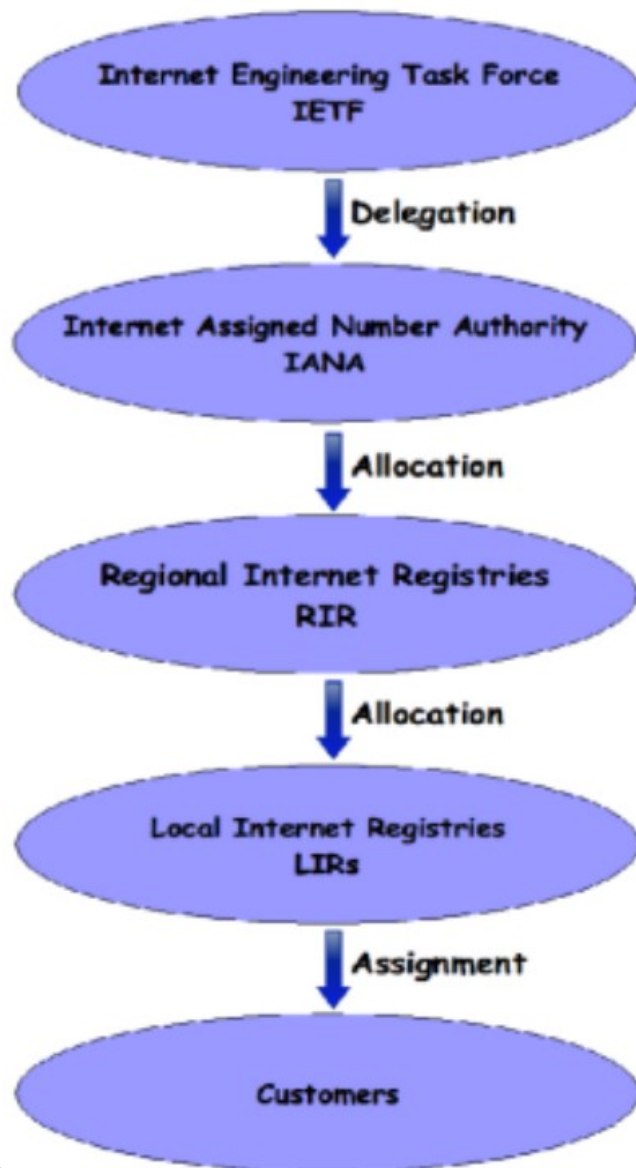


IPv6 - Resumo

- 1998 - Definido pela RFC 2460
 - 128 bits para endereçamento.
 - Cabeçalho base simplificado.
 - Cabeçalhos de extensão.
 - Identificação de fluxo de dados (QoS).
 - Mecanismos de IPSec incorporados ao protocolo.
 - Realiza a fragmentação e remontagem dos pacotes apenas na origem e no destino.
 - Não requer o uso de NAT, permitindo conexões fim-a-fim.
 - Mecanismos que facilitam a configuração de redes.
 - ...



Distribuição de endereços IPv4



- Números de 32 bits.
- 4 294 967 296 endereços
- IPv4 está se exaurindo
- Reservas de IPv4 na América Latina e Caribe acabou, 19/8/2020.
<http://ipv6.br/>

Soluções

Soluções paliativas:

- 1992 - IETF cria o grupo ROAD (*ROuting and ADdressing*).
 - CIDR (RFC 4632)
 - Fim do uso de classes = blocos de tamanho apropriado.
 - Endereço de rede = prefixo/comprimento.
 - Agregação das rotas = reduz o tamanho da tabela de rotas.
 - DHCP
 - Alocações dinâmicas de endereços.
 - NAT + RFC 1918
 - Permite conectar toda uma rede de computadores usando apenas um endereço válido na Internet, porém com várias restrições.

Cabeçalho IPv6

Versão (Version)	Tamanho do Cabeçalho (IHL)	Tipo de Serviço (ToS)	Tamanho Total (Total Length)	
Identificação (Identification)			Flags	Deslocamento do Fragmento (Fragment Offset)
Tempo de Vida (TTL)	Protocolo (Protocol)	Soma de verificação do Cabeçalho (Checksum)		
Endereço de Origem (Source Address)				
Endereço de Destino (Destination Address)				
Opções + Complemento (Options + Padding)				

Versão (Version)	Classe de Tráfego (Traffic Class)	Identificador de Fluxo (Flow Label)	
Tamanho dos Dados (Payload Length)		Próximo Cabeçalho (Next Header)	Limite de Encaminhamento (Hop Limit)
Endereço de Origem (Source Address)			
Endereço de Destino (Destination Address)			

- Seis campos do cabeçalho IPv4 foram removidos.

Cabeçalho IPv6

Versão (Version)	Tamanho do Cabeçalho (IHL)	Tipo de Serviço (ToS)		Tamanho Total (Total Length)	
Identificação (Identification)			Flags	Deslocamento do Fragmento (Fragment Offset)	
Tempo de Vida (TTL)		Protocolo (Protocol)		Soma de verificação do Cabeçalho (Checksum)	
Endereço de Origem (Source Address)					
Endereço de Destino (Destination Address)					
Opções + Complemento (Options + Padding)					

Versão (Version)	1 Classe de Tráfego (Traffic Class)	Identificador de Fluxo (Flow Label)	
2 Tamanho dos Dados (Payload Length)		3 Próximo Cabeçalho (Next Header)	4 Limite de Encaminhamento (Hop Limit)
Endereço de Origem (Source Address)			
Endereço de Destino (Destination Address)			

- Seis campos do cabeçalho IPv4 foram removidos.
- Quatro campos tiveram seus nomes alterados e seus posicionamentos modificados.

Cabeçalho IPv6

Versão (Version)	Tamanho do Cabeçalho (IHL)	Tipo de Serviço (ToS)	Tamanho Total (Total Length)	
Identificação (Identification)			Flags	Deslocamento do Fragmento (Fragment Offset)
Tempo de Vida (TTL)	Protocolo (Protocol)		Soma de verificação do Cabeçalho (Checksum)	
Endereço de Origem (Source Address)				
Endereço de Destino (Destination Address)				
Opções + Complemento (Options + Padding)				

Versão (Version)	Classe de Tráfego (Traffic Class)	Identificador de Fluxo (Flow Label)	
Tamanho dos Dados (Payload Length)		Próximo Cabeçalho (Next Header)	Limite de Encaminhamento (Hop Limit)
Endereço de Origem (Source Address)			
Endereço de Destino (Destination Address)			

- Seis campos do cabeçalho IPv4 foram removidos.
- Quatro campos tiveram seus nomes alterados e seus posicionamentos modificados.
- O campo Identificador de Fluxo foi acrescentado.

Cabeçalho IPv6

Versão (Version)	Tamanho do Cabeçalho (IHL)	Tipo de Serviço (ToS)	Tamanho Total (Total Length)	
Identificação (Identification)			Flags	Deslocamento do Fragmento (Fragment Offset)
Tempo de Vida (TTL)	Protocolo (Protocol)		Soma de verificação do Cabeçalho (Checksum)	
Endereço de Origem (Source Address)				
Endereço de Destino (Destination Address)				
Opções + Complemento (Options + Padding)				

Versão (Version)	Classe de Tráfego (Traffic Class)	Identificador de Fluxo (Flow Label)	
Tamanho dos Dados (Payload Length)		Próximo Cabeçalho (Next Header)	Limite de Encaminhamento (Hop Limit)
Endereço de Origem (Source Address)			
Endereço de Destino (Destination Address)			

- Seis campos do cabeçalho IPv4 foram removidos.
- Quatro campos tiveram seus nomes alterados e seus posicionamentos modificados.
- O campo Identificador de Fluxo foi acrescentado.
- Três campos foram mantidos.

Endereçamento

- Um endereço IPv4 é formado por 32 bits.

$$2^{32} = 4.294.967.296$$

- Um endereço IPv6 é formado por 128 bits.

$$2^{128} = \mathbf{340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768.211.456}$$

~ 56 octilhões ($5,6 \times 10^{28}$) de endereços IP por ser humano.

~ 79 octilhões ($7,9 \times 10^{28}$) de vezes a quantidade de endereços IPv4.

Endereçamento

A representação dos endereços IPv6, divide o endereço em oito grupos de 16 bits, separando-os por “:”, escritos com dígitos hexadecimais.

2001:0DB8:AD1F:25E2:CADE:CAFE:F0CA:84C1



2 Bytes

Na representação de um endereço IPv6 é permitido:

- Utilizar caracteres maiúsculos ou minúsculos;
- Omitir os zeros à esquerda
- Representar os zeros contínuos por “::”.

Exemplo:

2001:0DB8:0000:0000:130F:0000:0000:140B

2001:db8:0:0:130f::140b

Formato inválido: **2001:db8::130f::140b** (gera ambiguidade)

IPv6 Address Format

X:X:X:X:X:X:X:X

where X = 0000 ... FFFF (hex)

- 2001:0DB8:0000:0000:0008:8000:0000:417A
- 2001:DB8:0:0:8:8000:0:417A
- 2001:DB8::8:8000:0:417A
- 2001:DB8:0:0:8:8000::417A

Endereçamento

Existem no IPv6 três tipos de endereços definidos:

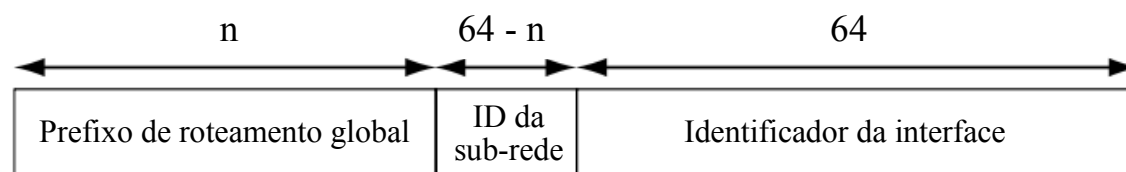
- **Unicast** → Identificação Individual
- **Anycast** → Identificação Seletiva
- **Multicast** → Identificação em Grupo

Não existe mais **Broadcast**.

Endereçamento

Unicast

- *Global Unicast*

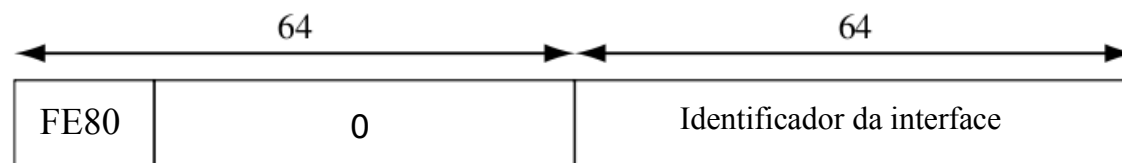


- **2000::/3**
- Globalmente roteável (similar aos endereços públicos IPv4);
- 13% do total de endereços possíveis;
- $2^{(45)} = 35.184.372.088.832$ redes /48 distintas.

Endereçamento

Unicast

- *Link local*

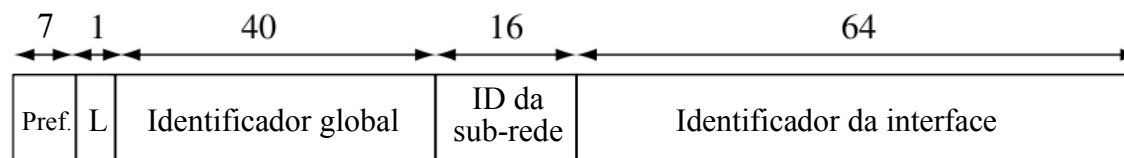


- **FE80::/64**
- Deve ser utilizado apenas localmente;
- Atribuído automaticamente (autoconfiguração *stateless*);

Endereçamento

Unicast

- *Unique local*



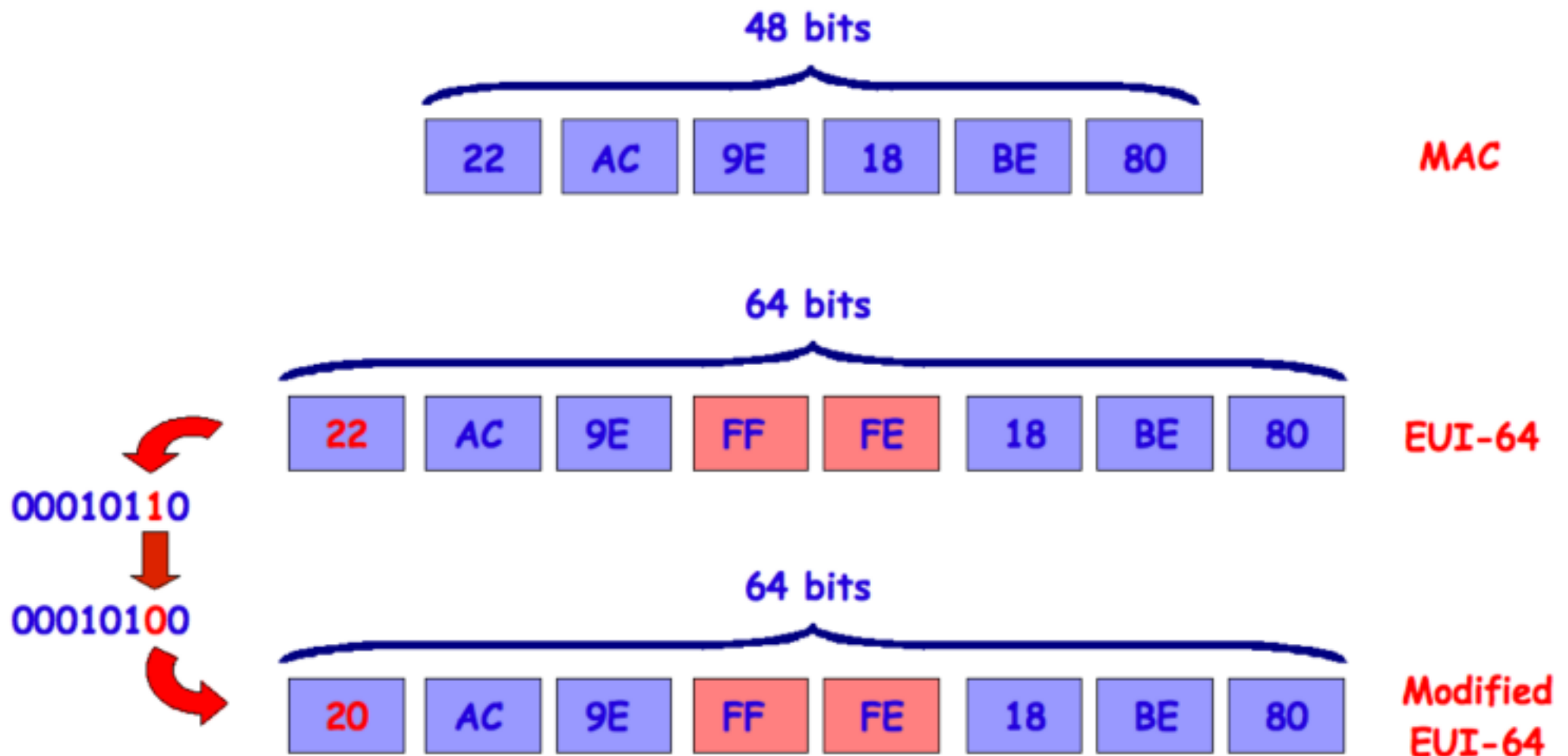
- **FC00::/7**
- Prefixo globalmente único (com alta probabilidade de ser único);
- Utilizado apenas na comunicação dentro de um enlace ou entre um conjunto limitado de enlaces;
- Não é esperado que seja roteado na Internet.

Endereçamento

Unicast

- Identificador da Interface (IID)
 - Devem ser únicos dentro do mesmo prefixo de sub-rede.
 - O mesmo IID pode ser usado em múltiplas interfaces de um único nó, desde que estejam associadas a sub-redes diferentes.
 - Normalmente utiliza-se um IID de 64 bits, que pode ser obtido:
 - Manualmente
 - Autoconfiguração *stateless*
 - DHCPv6 (*stateful*)
 - A partir de uma chave pública (CGA)
 - IID pode ser temporário e gerado randomicamente.
 - Normalmente é baseado no endereço MAC (Formato EUI-64).

Extended Unique Identifier EUI-64



Therefore: ::1 – globally assigned EUI-64, but locally assigned MEUI-64

Endereçamento

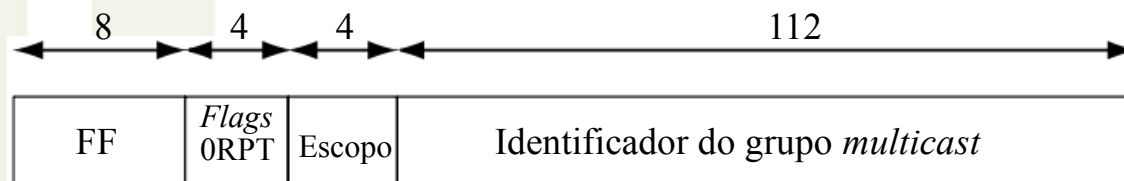
Anycast

- Identifica um grupo de interfaces
 - Entrega o pacote apenas para a interface mais perto da origem.
- Atribuídos a partir de endereços *unicast* (são sintaticamente iguais).
- Possíveis utilizações:
 - Descobrir serviços na rede (DNS, *proxy* HTTP, etc.);
 - Balanceamento de carga;
 - Localizar roteadores que forneçam acesso a uma determinada sub-rede;
 - Utilizado em redes com suporte a mobilidade IPv6, para localizar os Agentes de Origem...
- *Subnet-Router*

Endereçamento

Multicast

- Identifica um grupo de interfaces.
- O suporte a *multicast* é obrigatório em todos os nós IPv6.
- O endereço *multicast* deriva do bloco **FF00::/8**.
- O prefixo **FF** é seguido de quatro bits utilizados como *flags* e mais quatro bits que definem o escopo do endereço *multicast*. Os 112 bits restantes são utilizados para identificar o grupo *multicast*.



Endereçamento

Multicast

Endereço	Escopo	Descrição
FF01::1 FF01::2	Interface Interface	Todas as interfaces (<i>all-nodes</i>) Todos os roteadores (<i>all-routers</i>)
FF02::1 FF02::2 FF02::5 FF02::6 FF02::9 FF02::D FF02::1:2 FF02::1:FFXX:XXXX	Enlace Enlace Enlace Enlace Enlace Enlace Enlace Enlace	Todos os nós (<i>all-nodes</i>) Todos os roteadores (<i>all-routers</i>) Roteadores OSFP Roteadores OSPF designados Roteadores RIP Roteadores PIM Agentes DHCP <i>Solicited-node</i>
FF05::2 FF05::1:3 FF05::1:4	Site Site Site	Todos os roteadores (<i>all-routers</i>) Servidores DHCP em um site Agentes DHCP em um site
FF0X::101	Variado	NTP (<i>Network Time Protocol</i>)

Endereçamento

- Do mesmo modo que no IPv4, os endereços IPv6 são atribuídos a interfaces físicas e não aos nós.
- Com o IPv6 é possível atribuir a uma única interface múltiplos endereços, independentemente do seu tipo.
 - Com isso, um nó pode ser identificado através de qualquer endereço de sua interfaces.
 - Loopback **::1**
 - Link Local **FE80:....**
 - Unique local **FD07:...**
 - Global **2001:....**
- A RFC 3484 determina o algoritmo para seleção dos endereços de origem e destino.

Políticas de alocação e designação

- Cada RIR recebe da IANA um bloco /12
- O bloco 2800::/12 corresponde ao espaço reservado para o LACNIC – o NIC.br trabalha com um /16 que faz parte deste /12
- A alocação mínima para ISPs é um bloco /32
- Alocações maiores podem ser feitas mediante apresentação de justificativa de utilização
- **ATENÇÃO!** Diferente do IPv4, com IPv6 a utilização é medida em relação ao número de designações de blocos de endereços para usuários finais, e não em relação ao número de endereços designados aos usuários finais

```
ipv6calc --showinfo -i -m 2804:1454:1004:200:2247:47ff:fe7d:7c24/64
```

ICMPv6

- Definido na RFC 4443
- Mesmas funções do ICMPv4 (mas não são compatíveis):
 - Informar características da rede
 - Realizar diagnósticos
 - Relatar erros no processamento de pacotes
- Assume as funcionalidades de outros protocolos:
 - ARP/RARP
 - IGMP
- Identificado pelo valor 58 no campo Próximo Cabeçalho
- Deve ser implementado em todos os nós

ICMPv6

- É precedido pelos cabeçalhos de extensão, se houver, e pelo cabeçalho base do IPv6

IPv6
cadeia de cab. de extensão
ICMPv6

- Protocolo chave da arquitetura IPv6
- Essencial em funcionalidades do IPv6:
 - Gerenciamento de grupos *multicast*;
 - Descoberta de Vizinhança (*Neighbor Discovery*);
 - Mobilidade IPv6;
 - Descoberta do *Path* MTU.

ICMPv6

- Possui duas classes de mensagens:
 - Mensagens de Erro
 - *Destination Unreachable*
 - *Packet Too Big*
 - *Time Exceeded*
 - *Parameter Problem*
 - Mensagens de Informação
 - *Echo Request e Echo Reply*
 - *Multicast Listener Query*
 - *Multicast Listener Report*
 - *Multicast Listener Done*
 - *Router Solicitation e Router Advertisement*
 - *Neighbor Solicitation e Neighbor Advertisement*
 - *Redirect...*

Descoberta de Vizinhos

- *Neighbor Discovery* – definido na RFC 4861
- Assume as funções de protocolos ARP, *ICMP Router Discovery* e *ICMP Redirect*, do IPv4
- Adiciona novos métodos não existentes na versão anterior do protocolo IP
- Torna mais dinâmico alguns processos de configuração de rede:
 - determinar o endereço MAC dos nós da rede
 - encontrar roteadores vizinhos
 - determinar prefixos e outras informações de configuração da rede
 - detectar endereços duplicados
 - determinar a acessibilidades dos roteadores
 - redirecionamento de pacotes
 - autoconfiguração de endereços

Descoberta de Vizinhaça

- Utiliza 5 tipos de mensagens ICMPv6:
 - *Router Solicitation* (RS) – ICMPv6 Tipo 133
 - *Router Advertisement* (RA) – ICMPv6 Tipo 134
 - *Neighbor Solicitation* (NS) – ICMPv6 Tipo 135
 - *Neighbor Advertisement* (NA) – ICMPv6 Tipo 136
 - *Redirect* – ICMPv6 Tipo 137
- São configuradas com o valor 255 no campo Limite de Encaminhamento.
- Podem conter, ou não, opções:
 - *Source link-layer address*
 - *Target link-layer address*
 - *Prefix information*
 - *Redirected header*
 - MTU

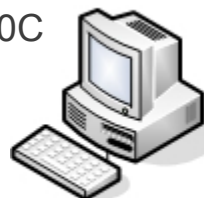
Descoberta de Vizinhança

- **Descoberta de Endereços da Camada de Enlace**

- Determina o endereço MAC dos vizinhos do mesmo enlace.
- Substitui o protocolo ARP.
- Utiliza o endereço *multicast solicited-node* em vez de *broadcast*.
 - O *host* envia uma mensagem NS informando seu endereço MAC e solicita o endereço MAC do vizinho.

2001:db8::faca:cafe:1234
MAC AB-CD-C9-21-58-0C

A



B

2001:db8::ca5a:f0ca:5678
MAC AB-CD-C0-12-85-C0



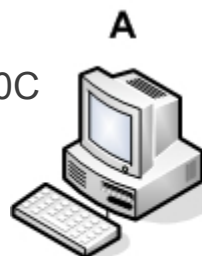
ICMPv6 Type 135 (Neighbor Solicitation)
Origem – 2001:db8::faca:cafe:1234
Destino – FF02::1:FFCA:5678 (33-33-FF-CA-56-78)
Who is 2001:db8::ca5a:f0ca:5678?

Descoberta de Vizinhança

• *Descoberta de Endereços da Camada de Enlace*

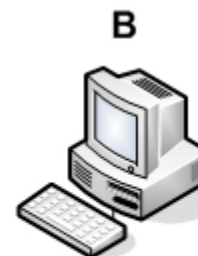
- Determina o endereço MAC dos vizinhos do mesmo enlace.
- Substitui o protocolo ARP.
- Utiliza o endereço *multicast solicited-node* em vez de *broadcast*.
 - O *host* envia uma mensagem NS informando seu endereço MAC e solicita o endereço MAC do vizinho.
 - O vizinho responde enviando uma mensagem NA informando seu endereço MAC.

2001:db8::faca:cafe:1234
MAC AB-CD-C9-21-58-0C



A

2001:db8::ca5a:f0ca:5678
MAC AB-CD-C0-12-85-C0



B

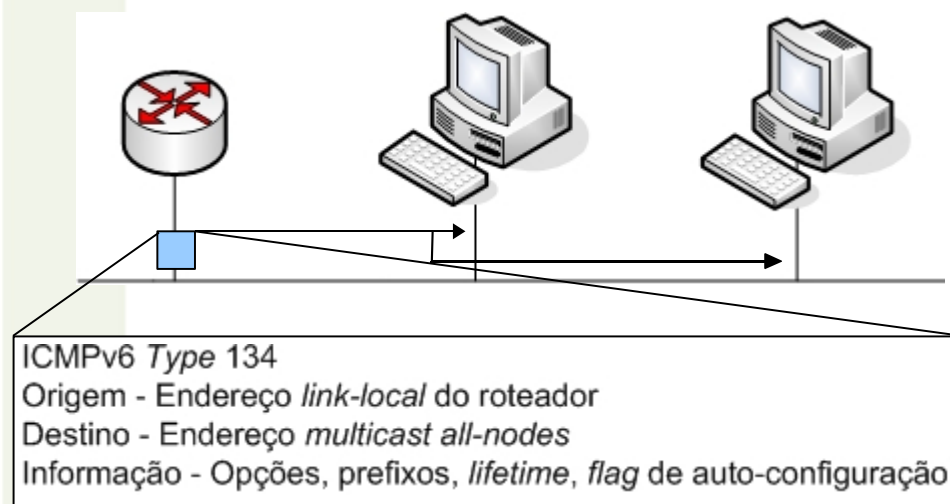


ICMPv6 Type 136 (*Neighbor Advertisement*)
Origem – 2001:db8::ca5a:f0ca:5678
Destino – 2001:db8::faca:cafe:1234 (AB-CD-C9-21-58-0C)
Use AB-CD-C0-12-85-C0

Descoberta de Vizinhança

- **Descoberta de Roteadores e Prefixos**

- Localizar roteadores vizinhos dentro do mesmo enlace.
- Determina prefixos e parâmetros relacionados à autoconfiguração de endereço.
- No IPv4, esta função é realizada pelas mensagens *ARP Request*.
- Roteadores enviam mensagens RA para o endereço *multicast all-nodes*.



Descoberta de Vizinhança

- ***Detecção de Endereços Duplicados***

- Verifica a unicidade dos endereços de um nó dentro do enlace.
- Deve ser realizado antes de se atribuir qualquer endereço *unicast* a uma interface.
- Consiste no envio de uma mensagem NS pelo *host*, com o campo *target address* preenchido com seu próprio endereço. Caso alguma mensagem NA seja recebida como resposta, isso indicará que o endereço já está sendo utilizado.

Descoberta de Vizinhaça

- **Autoconfiguração de Endereços Stateless**

- Mecanismo que permite a atribuição de endereços *unicast* aos nós...
 - sem a necessidade de configurações manuais.
 - sem servidores adicionais.
 - apenas com configurações mínimas dos roteadores.
- Gera endereços IP a partir de informações enviadas pelos roteadores e de dados locais como o endereço MAC.
- Gera um endereço para cada prefixo informado nas mensagens RA
- Se não houver roteadores presentes na rede, é gerado apenas um endereço *link local*.
- Roteadores utilizam apenas para gerar endereços *link-local*.

Descoberta de Vizinhaça

- **Autoconfiguração de Endereços Stateless**

- Um endereço *link-local* é gerado.
 - Prefixo **FE80::/64** + identificador da interface.
- Endereço adicionado aos grupos *multicast solicited-node* e *all-node*.
- Verifica-se a unicidade do endereço.
 - Se já estiver sendo utilizado, o processo é interrompido, exigindo uma configuração manual.
 - Se for considerado único e válido, ele será atribuído à interface.
- *Host* envia uma mensagem RS para o grupo *multicast all-routers*.
- Todos os roteadores do enlace respondem com mensagem RA.
- Estados dos endereços:
 - Endereço de Tentativa;
 - Endereço Preferencial;
 - Endereço Depreciado;
 - Endereço Válido;
 - Endereço Inválido.

DHCPv6

- ***Autoconfiguração de Endereços Stateful***

- Usado pelo sistema quando nenhum roteador é encontrado.
- Usado pelo sistema quando indicado nas mensagens RA.
- Fornece:
 - Endereços IPv6
 - Outros parâmetros (servidores DNS, NTP...)
- Clientes utilizam um endereço *link-local* para transmitir ou receber mensagens DHCP.
- Servidores utilizam endereços *multicast* para receber mensagens dos clientes (**FF02::1:2** ou **FF05::1:3**).
- Clientes enviam mensagens a servidores fora de seu enlace utilizando um *Relay* DHCP.

DHCPv6

- ***Autoconfiguração de Endereços Stateful***

- Permite um controle maior na atribuição de endereços aos *host*.
- Os mecanismos de autoconfiguração de endereços *stateful* e *stateless* podem ser utilizados simultaneamente.
 - Por exemplo: utilizar autoconfiguração *stateless* para atribuir os endereços e DHCPv6 para informar o endereço do servidor DNS.
- DHCPv6 e DHCPv4 são independentes. Redes com Pilha Dupla precisam de serviços DHCP separados.

Jumbograms

- IPv6 permite o envio de pacotes que possuam entre 65.536 e 4.294.967.295 Bytes de comprimento.
- Um *jumbograms* é identificado utilizando:
 - O campo Tamanho dos Dados com valor 0 (zero).
 - O campo Próximo Cabeçalho indicando o cabeçalho *Hop-by-Hop*.
- O cabeçalho de extensão *Hop-by-Hop* trará o tamanho do pacote.
- Devem ser realizadas alterações também nos cabeçalhos TCP e UDP, ambos limitados a 16 bits para indicar o tamanho máximo dos pacotes.

QoS

- O protocolo IP trata todos os pacotes da mesma forma, sem nenhuma preferência.
- Algumas aplicações necessitam que seus pacotes sejam transportados com a garantia de que haja o mínimo de atraso, latência ou perda de pacotes.
 - VoIP
 - Videoconferência
 - Jogos online
 - Entre outros...
- Utiliza-se o conceito de QoS (*Quality of Service*), ou em português, Qualidade de Serviço.
- Arquiteturas principais: *Differentiated Services* (DiffServ) e *Integrated Services* (IntServ).
 - Ambas utilizam políticas de tráfego e podem ser combinadas para permitir QoS em LANs ou WANs.

QoS

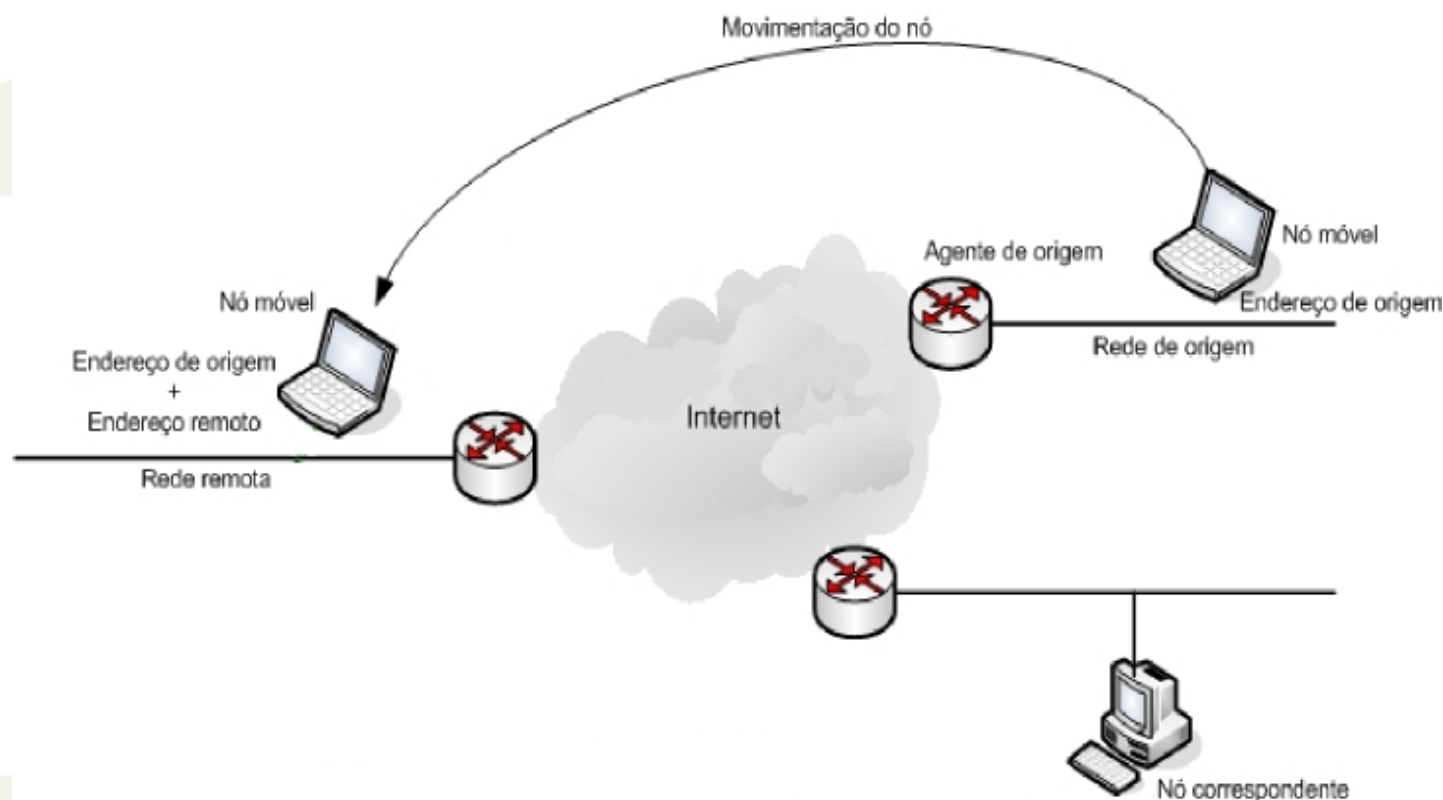
- DiffServ: trabalha por meio de classes, agregando e priorizando pacotes com requisitos QoS similares.
 - IPv4 – campo Tipo de Serviço (ToS).
 - IPv6 – campo Classe de Tráfego:
 - Mesma definição do campo ToS do IPv4.
 - Pode ser definido na origem ou por roteadores.
 - Pode ser redefinido por roteadores ao longo do caminho.
 - Em pacotes que não necessitam de QoS o campo Classe de Tráfego apresenta o valor 0 (zero).
- *DiffServ* não exige identificação ou gerencia dos fluxos.
- Muito utilizado devido a sua facilidade de implantação.

QoS

- IntServ: baseia-se na reserva de recursos por fluxo. Normalmente é associado ao protocolo RSVP (*Resource ReSerVation Protocol*).
- IPv6 - campo Identificador de Fluxo é preenchido pela origem com valores aleatórios entre 00001 e FFFFF para identificar o fluxo que necessita de QoS.
 - Pacotes que não pertencem a um fluxo devem marcá-lo com zeros.
 - Os *hosts* e roteadores que não têm suporte às funções do campo Identificador de Fluxo devem preencher este campo com zeros quando enviarem um pacote, não alterá-lo ao encaminharem um pacote, ou ignorá-lo quando receberem um pacote.
- Pacotes de um mesmo fluxo devem possuir o mesmo endereço de origem e destino, e o mesmo valor no campo Identificador de Fluxo.
- RSVP utiliza alguns elementos do protocolo IPv6, como o campo Identificador de Fluxo e o cabeçalho de extensão *Hop-by-Hop*.

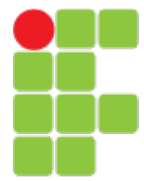
Mobilidade IPv6

- Permite que um dispositivo móvel se desloque de uma rede para outra sem necessidade de alterar seu endereço IP de origem, tornando a movimentação entre redes invisível para os protocolos das camadas superiores.

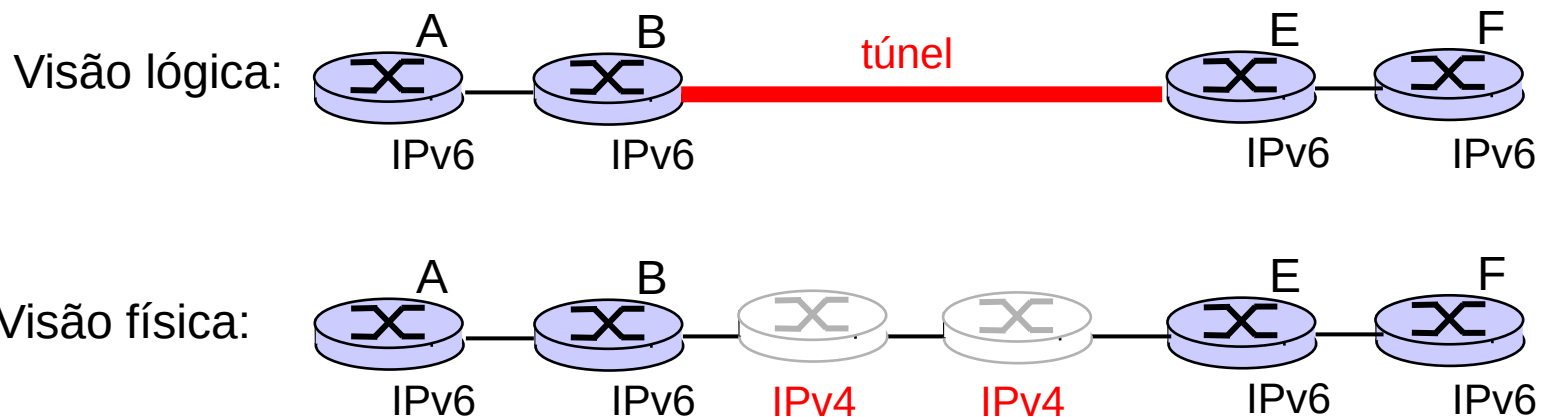


Transição de IPv4 para IPv6

- Nem todos os roteadores podem ser atualizados simultaneamente
 - sem “dia de conversão”
 - como a rede operará com roteadores IPv4 e IPv6 misturados?
- *Pilha dupla*: IPv4 e IPv6 convivendo na mesma interface
- *Implantação de túnel*: IPv6 transportado como carga útil no datagrama IPv4 entre roteadores IPv4
- <http://ipv6.br/>



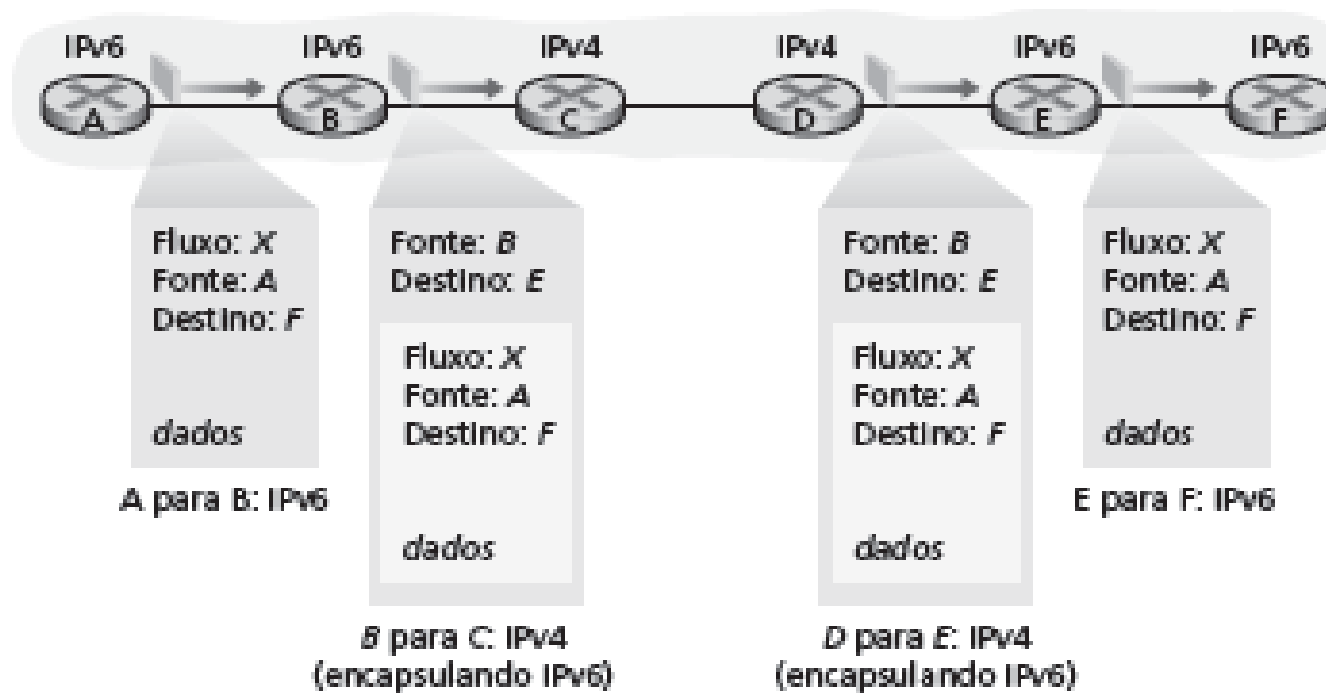
Implantação de túnel



Visão lógica:

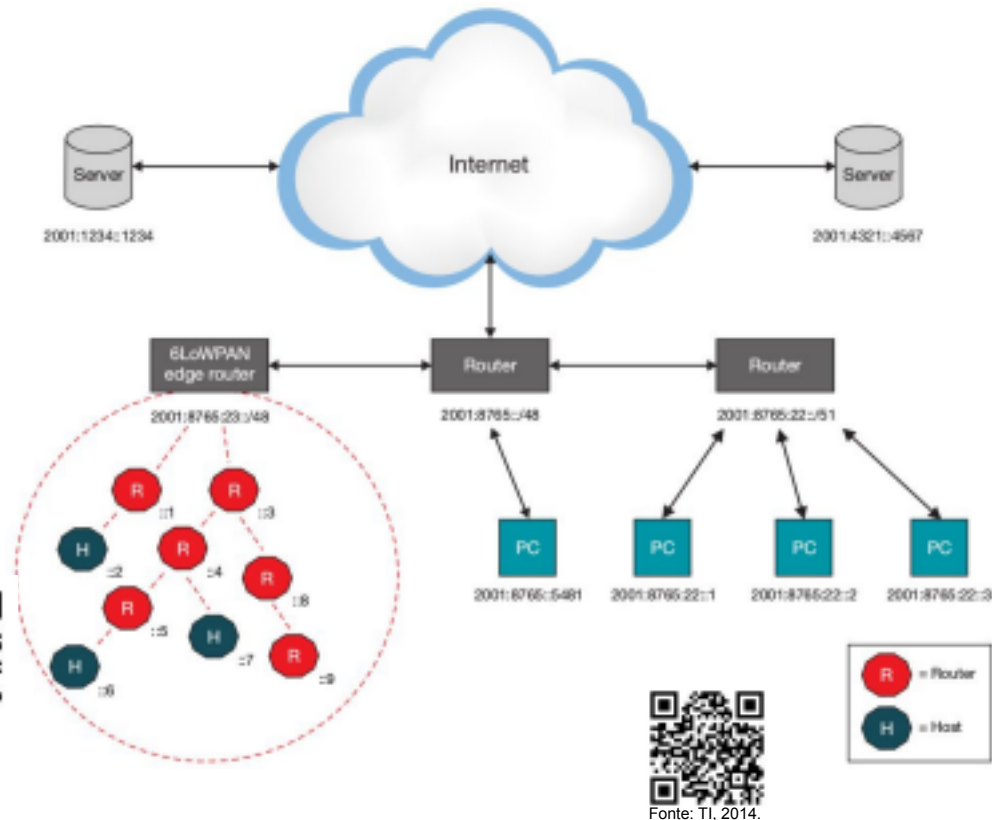


Visão física:



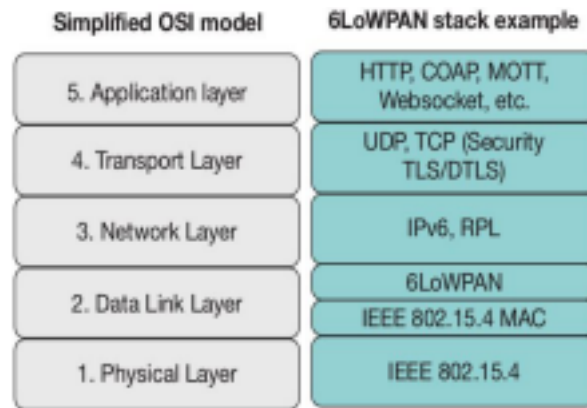
6LoWPAN

- IPv6 over Low power WPAN
 - IPv6 - 128 bits
 - Sobre IEEE 802.15.4
 - IP500
 - IPSO Alliance
- IPv6 em plataformas restritas
 - Baixo uso de memória
 - Baixa demanda de CPU
 - Baixo consumo de energia
- Fique de olho em
 - Thread
 - OpenThread



6LoWPAN cont.

- Protocol Data Unit (PDU)
 - Ethernet: 1500 bytes
 - IEEE 802.15.4: 127 bytes
- Cabeçalhos
 - IPv6: 40 bytes
 - UDP: 8 bytes
 - TCP: 20 bytes
- Camada de adaptação
 - Compressão de cabeçalhos
 - Endereços IPv6 usam MAC
 - Compressão de TCP não faz parte da norma!
 - Fragmentação/remontagem
 - Stateless autoconf



Fonte: TI, 2014.

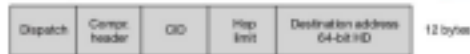
IPv6 header

Ver	Traffic class	Flow label	Payload length	Next header	Hop limit	Source address 64-bit prefix, 64-bit IID	Destination address 64-bit prefix, 64-bit IID	40 bytes
-----	---------------	------------	----------------	-------------	-----------	---	--	----------

1. Compressed header, FE80::CAFE:00FF:FE00:0100 → FE80::CAFE:00FF:FE00:0200



2. Compressed header, 2001::DEC4:E3A1:FE24:9600 → 2001::4455:84C6:39BB:A2DD



3. Compressed header, 2001::DEC4:E3A1:FE24:9600 → 2001::4455:84C6:39BB:A2DD



IPv6 & DNS

New Resource Record introduced: AAAA

```
furry:~ furry$ dig www.kame.net aaaa
```

```
www.kame.net.      IN      AAAA      2001:200::8002:203:47ff:fea5:3085
```

Reverse Delegation:

- the pseudo-domain ipv6.arpa
- Each label is a *nibble* (4 bits, one hex number)

Example:

PTR RR for an IPv6 address **2001:db8::20:219f:bd8c:17af**

f.a.7.1.c.8.d.b.f.9.2.1.0.2.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.8.b.d.0.1.0.0.2.ipv6.arpa. PTR

Don't forget to use \$ORIGIN to simplify your DNS zone file!