

# IPv6

---

## 1. Introdução

Projetado para ser o sucessor do IPv4, o IPv6 tem um maior espaço de endereços de 128 bits, fornecendo 340 undecilhões de endereços. No entanto, IPv6 é mais do que apenas endereços maiores. A redução do espaço de endereços IPv4 tem sido o principal fator para migrar para o IPv6. À medida que África, Ásia e outras áreas do mundo ficam mais conectadas à Internet, não haverá endereços IPv4 suficientes para acomodar esse crescimento.

Os endereços IPv6 não diferenciam maiúsculas e minúsculas e podem ser escritos tanto em minúsculas como em maiúsculas. Os endereços IPv6 têm 128 bits e são escritos como uma sequência de valores hexadecimais. Cada 4 bits são representados por um único dígito hexadecimal, totalizando 32 valores hexadecimais.

O formato preferencial para escrever um endereço IPv6 é x: x: x: x: x: x: x: x, com cada “x” consistindo de quatro valores hexadecimais. No IPv6, um hexteto é o termo não oficial usado para se referir a um segmento de 16 bits ou quatro valores hexadecimais. Cada “x” equivale a um único hexteto, 16 bits ou quatro dígitos hexadecimais.

x = 0000 até ffff

A primeira regra para ajudar a reduzir a notação de endereços IPv6 é omitir os 0s (zeros) à esquerda de qualquer sessão de 16 bits ou hexteto. Essa regra se aplica somente aos 0s à esquerda, e não aos 0s à direita. Aqui estão quatro exemplos de maneiras de omitir zeros à esquerda.

01AB pode ser representado como 1AB

09f0 pode ser representado como 9f0

0a00 pode ser representado como 00

00ab pode ser representado como ab

A segunda regra para ajudar a reduzir a notação de endereços IPv6 é que o uso de dois-pontos duplo (::) que pode substituir uma única sequência contígua de um ou mais segmentos de 16 bits (hextetos) compostos exclusivamente por 0s. Por exemplo, 2001:db8:cafe: 1:0:0:0:1 (0s iniciais omitidos) poderia ser representado como 2001:db8:cafe:1::1. O dois-pontos duplos (::) é usado no lugar dos três hextetos all-0 (0:0:0).

Os dois-pontos em dobro (::) só podem ser usados uma vez em um endereço, caso contrário, haveria mais de um endereço resultante possível. Se um endereço tiver mais de uma cadeia contínua de todos os hextetos 0, a prática recomendada é usar dois pontos duplos (::) na cadeia mais longa. Se as strings forem iguais, a primeira string deve usar dois pontos duplos (::).

Aqui está um exemplo do uso incorreto de dois pontos: 2001:db8::abcd::1234.

Para converter números decimais em valores hexadecimais siga as etapas abaixo.

- Converta o número decimal para strings binárias de 8 bits
- Divida as cadeias binárias em grupos de quatro a partir da posição mais à direita
- Converta cada quatro números binários em seu dígito hexadecimal equivalente

O exemplo abaixo fornece as etapas para converter 168 em hexadecimal.

- 168 em binário é 10101000
- 1010100 em dois grupos de quatro dígitos binários é 1010 e 1000
- 1010 em hexadecimal é A e 1000 em hexadecimal é 8

Após a conversão, temos A8

Para converter números hexadecimais em valores decimais, siga as etapas abaixo.

- Converter o número hexadecimal em cadeias binárias de 4 bits
- Criar agrupamento binário de 8 bits a partir da posição mais à esquerda
- Converta cada agrupamento binário de 8 bits em seu dígito decimal equivalente

O exemplo abaixo fornece as etapas para converter D2 em decimal.

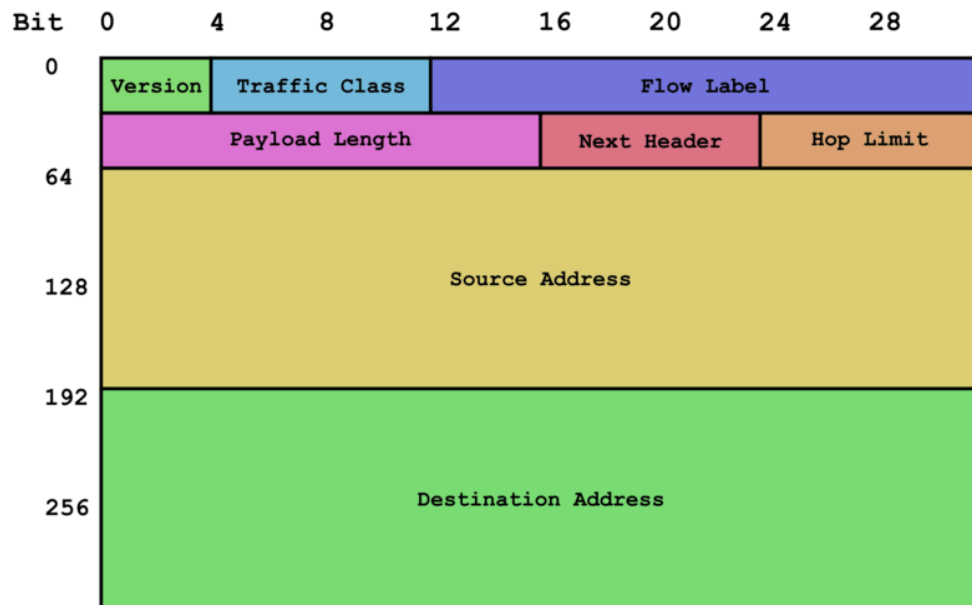
- D2 em cadeias binárias de 4 bits é 1101 e 0010
- 1101 e 0010 fica 11010010 em um agrupamento de 8 bits
- 11010010 em binário é equivalente a 210 em decimal

O IPv6 supera as limitações do IPv4 e possui recursos que atendem às demandas atuais e previsíveis de rede. As melhorias que o IPv6 fornece incluem o seguinte.

- **Espaço de endereçamento aumentado:** Os endereços IPv6 são baseados no endereçamento hierárquico de 128 bits, em oposição ao IPv4, de 32 bits.
- **Manipulação aprimorada de pacotes:** O cabeçalho IPv6 foi simplificado com menos campos.
- **Elimina a necessidade de NAT:** O NAT para endereços públicos e privados em IPv6 não é necessário, evitando alguns problemas induzidos por NAT, enfrentados por aplicativos que exigem conectividade de ponta a ponta.

O espaço de endereço IPv6 fornece 340.282.366.920.938.463.374.607.431.768.211.456 de endereços (340 undecilhões).

## 2. Campos do cabeçalho IPv6



Os campos no cabeçalho do pacote IPv6 incluem o seguinte.

## 2.1 Versão

Este campo contém um valor binário de 4 bits definido como 0110 que identifica isso como um pacote IPv6.

## 2.2 Classe de tráfego

Este campo de 8 bits é equivalente ao campo DS do IPv4.

## 2.3 Etiqueta de fluxo

Este campo de 20 bits sugere que todos os pacotes com a mesma etiqueta de fluxo recebem o mesmo tipo de manipulação pelos roteadores.

## 2.4 Comprimento de carga útil

Este campo de 16 bits indica o comprimento da parte dos dados ou da carga útil do pacote IPv6. Isso não inclui o comprimento do cabeçalho IPv6, que é um cabeçalho fixo de 40 bytes.

## 2.5 Próximo cabeçalho

Este campo de 8 bits é equivalente ao campo “protocolo” em IPv4. Ele exibe o tipo de carga de dados que o pacote está carregando, permitindo que a camada de rede transfira os dados para o protocolo apropriado das camadas superiores.

## 2.6 Limite de salto

Este campo de 8 bits substitui o campo TTL IPv4. Esse valor é subtraído de um por cada roteador que encaminha o pacote. Quando o contador atinge 0, o pacote é descartado. Isso indica que o pacote não atingiu seu destino porque o limite de salto foi excedido. IPv6 não inclui uma soma de verificação do cabeçalho IPv6, porque esta função é executada nas

camadas inferiores e superiores. Isso significa que a soma de verificação não precisa ser recalculada por cada roteador quando diminui o campo “limite de saltos”, o que melhora o desempenho da rede.

### 3. Endereço IPv6 origem

Este campo de 128 bits identifica o endereço IPv6 do host de envio.

#### 3.1 Endereço IPv6 destino

Este campo de 128 bits identifica o endereço IPv6 do host de recebimento.

Um pacote IPv6 pode conter também cabeçalhos de extensão (EH) que fornecem informações de camada de rede. Ao contrário de IPv4, os roteadores não fragmentam os pacotes IPv6 roteados.

A IETF criou vários protocolos e ferramentas para ajudar os administradores de rede a migrarem as redes para IPv6. As técnicas de migração podem ser divididas em três categorias.

- **Pilha dupla:** Permite que IPv4 e IPv6 coexistam no mesmo segmento de rede. Os dispositivos de pilha dupla executam os protocolos IPv4 e IPv6 simultaneamente. Conhecido como IPv6 nativo, isso significa que a rede do cliente tem uma conexão IPv6 com seu ISP e é capaz de acessar o conteúdo encontrado na Internet através de IPv6.
- **Tunelamento:** É um método de transporte de pacote IPv6 através de uma rede IPv4 onde o pacote IPv6 é encapsulado dentro de um pacote IPv4, de forma semelhante a outros tipos de dados.
- **Conversão:** NAT64 (*Network Address Translation 64*) permite que os dispositivos habilitados para IPv6 se comuniquem com os dispositivos habilitados para IPv4 usando uma técnica de conversão semelhante à NAT IPv4. Um pacote IPv6 é traduzido para um pacote IPv4 e um pacote IPv4 é traduzido para um pacote IPv6.

### 4. Unicast IPv6

Um endereço IPv6 unicast identifica exclusivamente uma interface em um dispositivo habilitado para IPv6.

Um endereço IPv6 unicast identifica exclusivamente uma interface em um dispositivo habilitado para IPv6. Um pacote enviado a um endereço unicast é recebido pela interface à qual foi atribuído esse endereço. O endereço IPv6 origem deve ser um endereço unicast. O endereço IPv6 destino pode ser um endereço unicast ou multicast.

#### 4.1 Endereço unicast global IPv6 (GUA)

Semelhante a um endereço IPv4 público. São endereços de Internet roteáveis e globalmente exclusivos. GUAs podem ser configurados estaticamente ou dinamicamente distribuídos. A GUA tem três partes.

## 4.2 Prefix global de roteamento

Este é o prefixo (parte de rede) do endereço que é atribuído pelo provedor (como um ISP) a um cliente ou um site. O prefixo de roteamento global geralmente varia dependendo das políticas do ISP. Dois-pontos duplo (::) antes do comprimento de prefixo /48 significa que o restante do endereço contém apenas 0s. O tamanho do prefixo de roteamento global determina o tamanho da ID da sub-rede.

## 5. ID da sub-rede

Este campo é a área entre o Prefixo de roteamento global e o ID da interface. Ao contrário do IPv4, onde você deve pedir bits emprestados da parte do host para criar sub-redes, o IPv6 foi projetado tendo em mente a sub-rede. A ID da sub-rede é usada por uma empresa para identificar sub-redes localmente. Quanto maior a ID da sub-rede, mais sub-redes disponíveis.

### 5.1 ID da interface

A ID da interface IPv6 equivale à parte de host de um endereço IPv4. O termo ID da interface é usado porque um único host pode ter várias interfaces, cada uma com um ou mais endereços IPv6. A figura mostra um exemplo da estrutura de um GUA IPv6. É altamente recomendável que as sub-redes /64 sejam usadas na maioria dos casos. Um ID de interface de 64 bits permite 18 quintilhões de dispositivos ou hosts por sub-rede.

***Uma sub-rede /64 ou prefixo (Prefixo de roteamento global + ID da sub-rede)*** deixa 64 bits para o ID da interface. Isso é recomendado para permitir que dispositivos habilitados para SLAAC criem seu próprio ID de interface de 64 bits. Também torna o desenvolvimento de um plano de endereçamento IPv6 simples e eficaz.

Ao contrário do IPv4, no IPv6 todos os endereços de host apenas com 0s ou apenas com 1s podem ser atribuídos a um dispositivo. O endereço todos-1s pode ser usado porque os endereços de broadcast não são usados dentro do IPv6. O endereço apenas de 0s também pode ser usado, mas é reservado como endereço anycast de roteadores de sub-redes e só deve ser atribuído a roteadores.

Os roteadores IPv6 enviam mensagens ICMPv6 de RA a cada 200 segundos para todos os dispositivos habilitados para IPv6 na rede. Uma mensagem de RA também é enviada em resposta a um host que envie uma mensagem ICMPv6 de RS (Solicitação de Roteador).

A mensagem ICMPv6 de RA é uma sugestão para um dispositivo sobre como obter um endereço IPv6 unicast global. A decisão final é do sistema operacional do dispositivo. A mensagem ICMPv6 de RA inclui.

- **Prefixo de rede e comprimento de prefixo:** Informa ao dispositivo a que a rede ele pertence
- **Endereço do gateway padrão:** É um endereço LLA IPv6 de origem da mensagem de RA

- **Endereços DNS e nome de domínio:** Endereços de servidores DNS e um nome de domínio

## 6. SLAAC

SLAAC é um método que permite que um dispositivo crie seu próprio GUA sem os serviços do DHCPv6. Com SLAAC, os dispositivos dependem das mensagens ICMPv6 de RA (Anúncio de Roteador) do roteador local para obter as informações necessárias.

SLAAC é stateless, o que significa que não existe servidor central alocando endereços unicast globais e mantendo uma lista de dispositivos e seus endereços. Com SLAAC, o dispositivo cliente usa as informações da mensagem de RA para criar seu próprio endereço unicast global.

As duas partes do endereços são criadas da seguinte forma

- **Prefixo:** Isso é anunciado na mensagem RA
- **ID da interface:** Isso usa o processo EUI-64 ou gera um número aleatório de 64 bits, dependendo do sistema operacional do dispositivo

Uma interface de roteador pode ser configurada para enviar um anúncio de roteador usando SLAAC e DHCPv6 sem estado. Com esse método, a mensagem RA sugere que os dispositivos usem o seguinte

- O SLAAC para criar seu próprio IPv6 GUA
- O LLA do roteador, que é o endereço IPv6 de origem RA, como o endereço de gateway padrão

Existem 3 métodos para mensagens RA:

### 6.1 SLAAC - método 1

Eu tenho tudo o que você precisa, incluindo um prefixo, comprimento do prefixo e endereço de gateway padrão.

### 6.2 SLAAC com um servidor DHCPv6 sem estado - método 2

Aqui estão as minhas informações, mas você precisa obter outras informações, como endereços DNS, de um servidor DHCPv6 sem estado.

Uma interface de roteador pode ser configurada para enviar um RA usando apenas DHCPv6 com estado. O DHCPv6 stateful é semelhante ao DHCP para IPv4. Um dispositivo pode receber automaticamente suas informações de endereçamento, incluindo uma GUA, tamanho do prefixo e os endereços dos servidores DNS de um servidor DHCPv6 com monitoração de estado.

A mensagem RA sugere que os dispositivos usem o seguinte.

- O LLA do roteador, que é o endereço IPv6 de origem RA, como o endereço de gateway padrão
- Um servidor DHCPv6 stateful para obter o endereço unicast global, o endereço do servidor DNS, o nome do domínio e todas as demais informações.

Um servidor DHCPv6 stateful aloca e mantém uma lista dos dispositivos que recebem endereços IPv6. O DHCP para IPv4 é stateful. O endereço de gateway padrão só pode ser obtido dinamicamente a partir da mensagem RA. O servidor DHCPv6 stateless ou stateful não fornece o endereço de gateway padrão.

Quando a mensagem de RA é SLAAC ou SLAAC com DHCPv6 stateless, o cliente deve gerar sua própria ID da interface. O cliente conhece a parte de prefixo do endereço da mensagem de RA, mas deve criar sua própria ID da interface. A ID da interface pode ser criada por meio do processo EUI-64 ou de um número de 64 bits gerado aleatoriamente.

O roteador envia a mensagem do RA. O PC usa o prefixo na mensagem RA e usa EUI-64 ou um número de 64 bits aleatório para gerar um ID de interface.

A IEEE definiu o identificador exclusivo estendido (EUI) ou processo EUI-64 modificado. Esse processo usa o endereço MAC Ethernet de 48 bits de um cliente e insere outros 16 bits no meio do endereço MAC de 48 bits para criar uma ID da interface de 64 bits.

Uma ID da interface EUI-64 é representada em binário e composta por três partes:

- Um Identificador Organizacional Exclusivo (OUI) de 24 bits do endereço MAC do cliente, mas o sétimo bit é invertido. Isso significa que, se o sétimo bit for 0, ele se tornará 1, e vice-versa.
- Um valor de 16 bits fffe (hexadecimal) inserido
- Identificador de dispositivo de 24 bits do endereço MAC cliente

O processo EUI-64 acontece da seguinte forma, seguindo as etapas abaixo.

- **Etapas 1:** Divida o endereço MAC entre a OUI e o identificador do dispositivo
- **Etapas 2:** Insira o valor hexadecimal fffe, que em binário é: 1111 1111 1111 1110.
- **Etapas 3:** Converta os 2 primeiros valores hexadecimais da OUI em binários e inverta o bit U/L (bit 7).

Para o IPv6 fc99:4775:cee0, o resultado gerado é um ID de interface de fe99:47ff:fe75:cee0

A vantagem do EUI-64 é o endereço MAC Ethernet que pode ser usado para determinar a ID da interface. Ele também permite que os administradores de rede rastreiem facilmente um endereço IPv6 para um dispositivo final usando o endereço MAC exclusivo.

### 6.3 DHCPv6 com estado (sem SLAAC) - método 3

Posso te dar o seu endereço de gateway padrão. Você precisa pedir a um servidor DHCPv6 com estado para todas as suas outras informações.

## 7. Endereço Local Link Address IPv6 (LLA)

Isso é necessário para cada dispositivo habilitado para IPv6. Os LLAs são usados para se comunicar com outros dispositivos no mesmo link local. No IPv6, o termo link se refere a uma sub-rede. Limitados a um único link, sua exclusividade só deve ser confirmada nesse link, porque eles não são roteáveis além do link. Em outras palavras, os roteadores não encaminham pacotes com um endereço de link local origem ou destino.

Se um LLA não estiver configurado manualmente em uma interface, o dispositivo criará automaticamente um próprio, sem se comunicar com um servidor DHCP. Os hosts habilitados para LLA IPv6 criarão um endereço IPv6 mesmo que não tenha sido atribuído um endereço IPv6 unicast global ao dispositivo. Isso permite que dispositivos habilitados para IPv6 se comuniquem com outros dispositivos semelhantes na mesma sub-rede. Isso inclui a comunicação com o gateway padrão (roteador).

Os LLAs IPv6 estão no intervalo fe80::/10. O /10 indica que os primeiros 10 bits são 1111 1110 10xx xxxx. O primeiro hexeto tem um intervalo de 1111 1110 1000 000000 000000 0000 (fe80) a 1111 1110 1011 111111 111111 1111 (febf).

Há duas maneiras pelas quais um dispositivo pode obter um LLA.

- **Estaticamente:** Isso significa que o dispositivo foi configurado manualmente
- **Dinamicamente:** Isso significa que o dispositivo cria seu próprio ID de interface usando valores gerados aleatoriamente ou usando o método de Identificador Único Extendido (EUI), que usa o endereço MAC do cliente juntamente com bits adicionais.

Os principais endereços IPv6 estão listados abaixo:

- **Endereço loopback IPv6:** O endereço de loopback para IPv6 é ::1/128
- **Endereço não especificado:** O valor de endereço não especificado é ::
- **Endereço local exclusivo IPv6 (fc00::/7 até fdff::/7):** Os endereços locais exclusivos podem eventualmente ser usados para endereçar dispositivos que não devem ser acessíveis de fora, como servidores internos e impressoras.

## 8. Multicast IPv6

Um endereço IPv6 multicast é usado para enviar um único pacote IPv6 para vários destinos. Os endereços multicast podem ser apenas endereços de destino e não endereços de origem. Há dois tipos de endereços IPv6 multicast, endereços conhecidos de multicast e endereços do nó solicitado.

Endereços comuns de multicast IPv6 são atribuídos são endereços multicast reservados para grupos predefinidos de dispositivos. Um endereço multicast atribuído é um único endereço usado para acessar um grupo de dispositivos que executam um serviço ou um protocolo



comum. Os endereços multicast atribuídos são usados no contexto com protocolos específicos, como o DHCPv6.

Os dois grupos comuns multicast atribuídos ao IPv6 são.

- **ff02:: - Grupo multicast de todos os nós:** Este é um grupo multicast ao qual todos os dispositivos habilitados para IPv6 se juntam. Um pacote enviado para esse grupo é recebido e processado por todas as interfaces IPv6 no link ou rede. Isso tem o mesmo efeito que um endereço de broadcast em IPv4. Um roteador IPv6 envia mensagens RA ICMPv6 ao grupo multicast de todos os nós.
- **ff02::2 - Grupo multicast de todos os roteadores:** Este é um grupo multicast ao qual todos os roteadores IPv6 se juntam. Um roteador torna-se membro deste grupo quando é habilitado como um roteador IPv6 com o comando de configuração global `ipv6 unicast-routing`. Um pacote enviado para esse grupo é recebido e processado por todos os roteadores IPv6 no link ou rede.

## 9. Anycast IPv6

Um endereço IPv6 anycast é qualquer endereço IPv6 unicast que possa ser atribuído a vários dispositivos. Um pacote enviado a um endereço de anycast é roteado para o dispositivo mais próximo que tenha esse endereço.

Ao contrário do IPv4, o IPv6 não possui um endereço de broadcast. No entanto, há um endereço multicast para todos os nós IPv6 que fornece basicamente o mesmo resultado.

O IPv6 não usa a notação decimal com pontos da máscara de sub-rede. Como o IPv4, o comprimento do prefixo é representado na notação de barra e é usado para indicar a parte da rede de um endereço IPv6. O comprimento do prefixo pode variar de 0 a 128 e é recomendado para LANs e a maioria dos outros tipos de redes é /64. É altamente recomendável usar um ID de interface de 64 bits para a maioria das redes. Isso ocorre porque a configuração automática de endereço sem estado (SLAAC) usa 64 bits para o ID de interface. Também facilita a criação e o gerenciamento de sub-redes.

**Exemplo:** 2001:db8:a::/64 é o mesmo que

2001:0db8:000a:0000 (prefixo) 0000:0000:0000:0000 (ID da interface)

Os roteadores IPv6 enviam mensagens ICMPv6 de RA a cada 200 segundos para todos os dispositivos habilitados para IPv6 na rede. Uma mensagem de RA também é enviada em resposta a um host que envie uma mensagem ICMPv6 de RS (Solicitação de Roteador).