# ARTIGO Nº 7

# Transmissão Unicast em Redes IP

## 1 – OBJETIVO

O objetivo do presente artigo é estabelecer uma base conceitual de redes IP e de suas características gerais, e, a partir dessa base, apresentar as formas pelas quais os quadros unicast (com endereços de destino unicast) são transmitidos nessas redes.

Em comparação com as redes Bridged Ethernet, fica evidenciado um quadro plenamente favorável às redes IP nesse tipo de transmissão, por utilizarem protocolos de roteamento unicast, que são os protocolos OSPF e IS-IS, que possibilitam a transmissão direcionada de datagramas IP unicast para as respectivas estações finais de destino.

Essa é certamente uma das razões primordiais para a enorme e inquestionável aceitação atual da arquitetura TCP/IP em âmbito mundial.

As redes Bridged Ethernet não possuem mecanismos de roteamento para o direcionamento de quadros unicast, sendo esses quadros transmitidos em broadcasting na rede, ou seja, por inundação da rede.

Vamos nos aprofundar nesse tema neste artigo, abordando as formas de transmissão de quadros unicast em redes IP.

## 2 – INTRODUÇÂO

As redes IP e as redes Bridged Ethernet representam hoje as únicas opções de rede comutada modo pacote sem conexão. As redes desse tipo são também referidas como CLNs (*connectionless networks*), em oposição às redes comutadas modo pacote orientadas a conexão, que são denominadas CONs (*connection-oriented networks*).

As redes modo circuito são inerentemente orientadas a conexão, mas a denominação CONs não é comumente a elas aplicável.

O único exemplo de CONs hoje amplamente utilizado são as redes MPLS.

Antes de entrarmos no tema central deste artigo, faremos uma breve análise comparativa entre as CONs e as CLNs.

As CONs são redes apropriadas para configurações onde o desempenho prepondera sobre a necessidade de ampla conectividade e sobre os custos mais reduzidos, que caracterizam as CLNs.

As CONs possibilitam, por exemplo, engenharia de tráfego, eficientes mecanismos de OAM (*Operation, Administration and Maintenance*) e processos eficazes de comutação automática de proteção e de restauração. Essas funções não se aplicam tão eficazmente nas CLNs.

Em contrapartida, a alta conectividade das CLNs se evidencia quando se considera o atendimento de aplicações ponto a multiponto e, principalmente, de aplicações multiponto a multiponto, onde o uso de CONs é praticamente inviável.

Adicionalmente, os custos menos elevados e a maior simplicidade operacional apontam as CLNs como a solução indicada para diversas configurações de rede, particularmente no âmbito privativo.

Existe espaço para aplicações utilizando tanto redes IP quanto redes Bridged Ethernet. Dado o seu desempenho superior, as redes IP são as indicadas para redes de maiores extensões, como nos exemplos de grandes intranets e, inevitavelmente, da Internet pública.

Utilizaremos a denominação "rede" para as redes que se localizam entre as estações finais, ou seja, redes de âmbito fim a fim. Existem redes IP, redes Bridged Ethernet, redes ATM, LANs Ethernet, redes SDH, etc., de forma isolada ou em composição.

As redes entre os switches (de camada 2 ou de camada 3) de uma rede, e entre esses switches e as estações finais, são referidas como redes intermediárias. As redes intermediárias podem ser constituidas com as mesmas tecnologias e características que as redes fim a fim.

No modelo de redes IP, as redes IP fim a fim são também referidas como inter-redes IP e as redes intermediárias como sub-redes IP.

## 3 – REDES IP

A Figura 1 exibe a arquitetura TCP/IP em detalhes, onde se verifica que o protocolo IP representa o plano de dados da camada de rede dessa arquitetura.

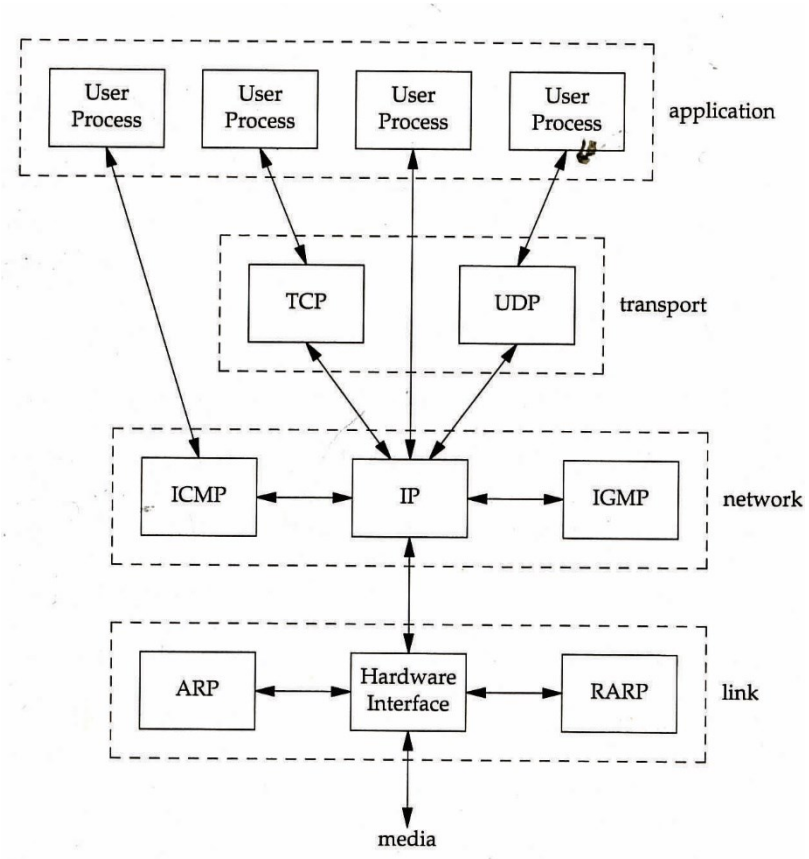


**Figura 1 – Arquitetura TCP/IP.**

Como se observa nessa figura, os protocolos ICMP (*Internet Control Message Protocol*) e IGMP (*Internet Group Management Protocol)* são também da camada de rede, porém situados no plano de controle.

A Figura 2 exibe o envelopamento sucessivo dos quadros básicos do plano de dados das camadas do TCP/IP, a partir das informações do aplicativo do usuário (*user data*).

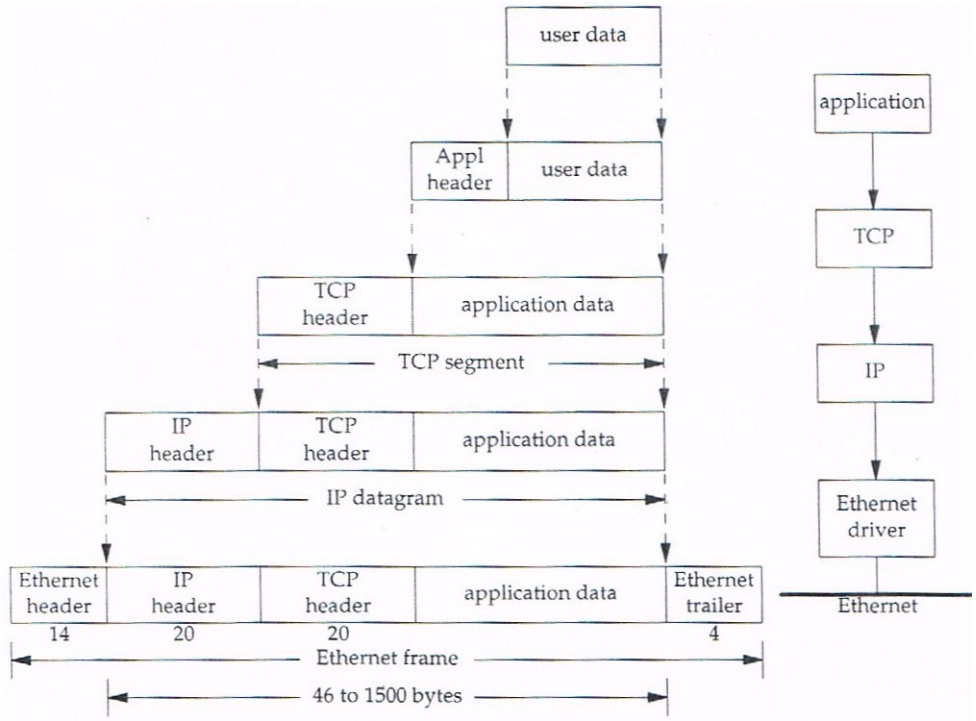



**Figura 2 – Envelopamento dos quadros de dados no TCP/IP.**

Nessa figura, supõe-se que o TCP/IP tem como base uma rede Ethernet.

Redes IP são redes que utilizam roteadores IP em seu interior.

Observa-se que o papel do protocolo IP como plano de dados da arquitetura TCP/IP não dependente da existência de rede IP, ou seja, de utilização de roteadores IP. Em caso de interconexão direta das estações finais por outros tipos de rede, como redes MPLS e redes Bridged Ethernet, por exemplo, onde não são utilizados roteadores IP, o protocolo IP é utilizado de forma fim a fim, operando apenas nas estações finais.

Uma rede IP é constituida basicamente pelos seguintes componentes:

- Roteadores IP;
- Sub-redes IP;
- Estações finais.

As sub-redes IP são redes de camada física, como por exemplo redes SDH e OTN, ou redes de camada 2, como por exemplo redes MPLS, LANs Ethernet, redes Bridged Ethernet e redes Carrier Ethernet. As sub-redes podem ser constituidas por uma única rede ou por múltiplas redes interconectadas.

Um dos fatores primordiais para a enorme aceitação das redes IP é certamente a capacidade de roteamento direcionado de datagramas IP unicast (datagramas com endereços IP de destino unicast), capacidade essa inexistente em redes Bridged Ethernet.

O roteamento direcionado de tráfego unicast em redes IP decorre certamente da concepção deliberada do IETF com esse propósito. Para isso, os endereços IP são hierarquizados em endereços de sub-rede (mais precisamente de prefixos de endereços IP) e em endereços de estação final, o que viabiliza o roteamento direcionado de datagramas IP unicast.

A alternativa ao roteamento direcionado é a inundação da rede pelo quadro, como ocorre em redes Bridged Ethernet. Para avaliar as graves consequências dessa alternativa, basta imaginarmos a desastrosa inundação da gigantesca rede Internet Pública quando da transmissão de datagramas unicast caso não se utilizasse redes IP.

## 4 – ENDEREÇOS IP

É no endereçamento em redes IP que reside a possibilidade de roteamento unicast nessas redes.

Por essa razão, vamos tratar essa questão com maior ênfase neste ítem, particularmente em redes IPv4.

### 4.1 – Endereçamento no IPv4

Vamos aqui abordar os seguintes aspectos de endereçamento em redes IPv4:

- Classes e intervalos de endereços IPv4;
- Máscaras de sub-redes;
- Exemplo de criação de sub-redes**.**

#### 4.1.1 – Classes e Intervalos de Endereços IPv4

Os endereços IPv4, com 32 bits (4 octetos), podem pertencer a cinco diferentes classes, apresentadas na Figura 3.

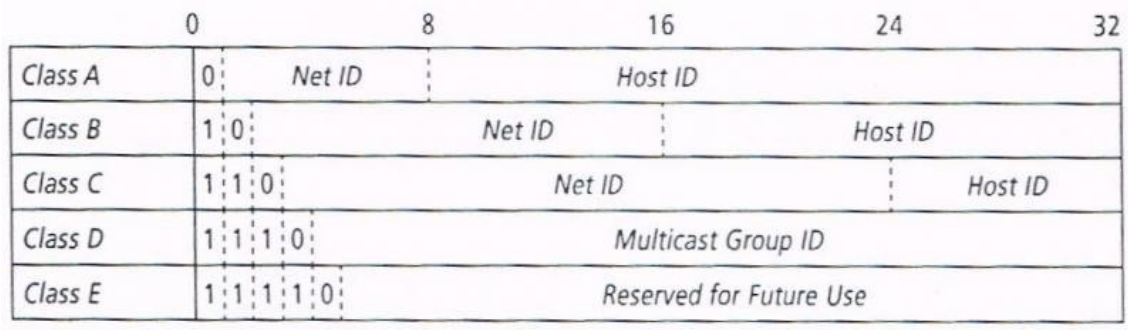



**Figura 3 – Classes de endereços IPv4.**

Como se verifica nessa figura, o endereço IPv4 consiste em um prefixo de endereço IPv4, que é o *net ID*, e de um sufixo, que é o *host ID*. Em uma rede IPv4 não dividida em sub-redes, o *net ID* representa o endereço dessa rede, enquanto os *host IDs* são os endereços das estações finais (hosts) pertencentes a essa rede.

Caso a rede seja simplesmente dividida em sub-redes IPv4, a cada uma dessas sub-redes é atribuido um valor de *net ID,* que representa o identificador IPv4 da sub-rede (que nesse caso representa também o prefixo de endereços IPv4 na sub-rede).

Os valores de host-ID representam os sufixos de endereços IPv4 no caso.

Os valores de *net ID* são obtidos pelas administrações junto ao *InterNIC*, enquanto os valores de *host ID* são atribuidos pela própria administração.

A essas classes correspondem intervalos de endereços IPv4, conforme a Figura 4.

| | Intervalo |
|---|---|
| Classe A | 0.0.0.0 a 127.255.255.255 |
| Classe B | 128.0.0.0 a 191.255.255.255 |
| Classe C | 192.0.0.0 a 223.255.255.255 |
| Classe D | 224.0.0.0 a 239.255.255.255 |
| Classe E | 240.0.0.0 a 247.255.255.255 |

**Figura 4 - Intervalos para classes de endereços IPv4.**

Os endereços IPv4 nessa figura estão representados na notação *dotted-decimal (*decimal com pontos*)*, onde cada octeto é representado em números decimais.

Podem ser utilizadas também outras notações para representar os endereços IPv4, como a notação *dotted-binary* e a notação *dotted-hexadecimal.*

A Figura 5 exibe um exemplo de um endereço IPv4 representado na notação *dotted-decimal* (parte superior) e na notação *dotted-binary* (parte inferior).

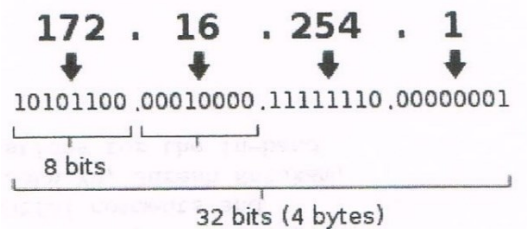



**Figura 5 - Notações dotted-decimal e dotted-binary.**

### 4.1.2 – Máscaras de Sub-Redes

A forma inicial de constituição dos endereços IPv4, consistindo apenas em *net IDs* e de *host IDs*, tornou-se progressivamente problemática, na medida em que aumentava a demanda por *net IDs* e escasseava consequentemente a sua disponibilidade no *InterNIC.*

Para atenuar esse problema enquanto a introdução do IPv6 não se consolida, foi definida uma forma de extensão da identificação das redes por meio do uso de alguns bits destinados à identificação de hosts (*host IDs*) com esse propósito.

Dessa forma, a própria administração é capaz de criar um número variado de sub-redes pela subdivisão da rede. O número de sub-redes que podem ser criadas com uma rede é função do número de bits subtraídos do host ID.

Um conjunto de bits subtraídos do host ID é referido como um *subnet ID.* O prefixo de endereços IPv4 de uma sub-rede passa a ser constituido pelo *net ID* e pelo *subnet ID*. O comprimento do prefixo é então igual à soma dos números de bits do *net ID* e do *sub-net ID.*

O formato dos endereços IPv4 em uma sub-rede assim criada encontra-se ilustrado na figura 6, tomando-se a classe B como exemplo.

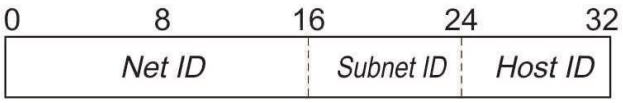



**Figura 6 – Formato da classe B com subnet ID com um octeto.**

Nesse exemplo, o prefixo de endereços é constituido por 24 bits.

Para representar os formatos dos endereços de sub-rede em qualquer hipótese, foram definidas as máscaras de sub-rede. Existem diferentes notações para as máscaras de sub-rede.

Uma importante notação para representação de máscaras consiste em atribuir aos bits do prefixo da sub-rede o valor 1, e aos bits que restaram para o *host ID* o valor 0.

Assim, para o exemplo da classe B sem subdivisão, a máscara de sub-rede tem o seguinte formato:

11111111.11111111.00000000.00000000

É mais comum representar-se essa formatação pela notação *dotted – decimal* de endereços IPv4. Assim, esse exemplo seria representado na forma 255.255.0.0. Como se observa, a presença do valor 255 (8 bits iguais a 1) em um octeto de uma máscara indica que o respectivo octeto se destina à identificação da rede ou da sub-rede.

Se, no exemplo anterior, passarmos a adotar o terceiro octeto a contar da esquerda também como identificador de sub-rede, a máscara de sub-rede passa a ter o formato 255. 255.255.0.

Como a máscara de sub-rede para a classe C sem subdivisão em sub-redes é também 255.255.255.0, concluímos que essa forma de representação de máscaras, embora indique o comprimento do prefixo de sub-rede (igual a 24 bits nos dois casos), não indica a classe de endereços utilizada.

As extensões para a constituição de sub-redes não ocorrem necessariamente por valores múltiplos de números de octetos. Por exemplo, vamos considerar para a classe C a máscara de sub-rede 255.255.255.224. Como o número 224 é 11100000 em codificação binária, essa máscara de sub-rede permite a constituição de 8 sub-redes, utilizando os 3 bits mais significativos para suas identificações, restando 5 bits para *host* IDs.

Uma outra forma de representar as máscaras de sub-rede ocorre pelo acréscimo do comprimento do prefixo de endereço IPv4 no final do endereço IPv4 considerado, precedido por uma barra / indicando esse comprimento. Essa forma é referida como notação CIDR (*Classless Interdomain Routing*) ou notação de barra.

Por exemplo, consideremos o endereço IPv4 192.168.0.240 com a máscara de sub-rede IPv4 255.255.255.224.

Com a notação CIDR, ao invés de referirmo-nos à rede do exemplo anterior como sendo a rede 192.168.0.240 com a máscara 255.255.255.224, basta a referência 192.168.0.240/27, o que possui o mesmo significado.

A notação CIDR pode ser utilizada também no caso em que os comprimentos de prefixo de sub-rede são múltiplos de 8, como nos exemplos 140.25.13.4/16 e 140.25.13.4/24. Embora os endereços sejam os mesmos nesses exemplos, as notações CIDR distintas indicam duas condições de terminal totalmente diferentes.

A título de ilustração, a Figura 7 apresenta um quadro comparativo entre os valores para as notações de barra (CIDR), binária e de ponto decimal (*dotted-decimal*) de todas as máscaras de sub-rede de /8 a /30.

| Notação de barra | Notação binária | Notação de ponto decimal |
|---|---|---|
| /8 | 11111111 00000000 00000000 00000000 | 255.0.0.0 |
| /9 | 11111111 10000000 00000000 00000000 | 255.128.0.0 |
| /10 | 11111111 11000000 00000000 00000000 | 255.192.0.0 |
| /11 | 11111111 11100000 00000000 00000000 | 255.224.0.0 |
| /12 | 11111111 11110000 00000000 00000000 | 255.240.0.0 |
| /13 | 11111111 11111000 00000000 00000000 | 255.248.0.0 |
| /14 | 11111111 11111100 00000000 00000000 | 255.252.0.0 |
| /15 | 11111111 11111110 00000000 00000000 | 255.254.0.0 |
| /16 | 11111111 11111111 00000000 00000000 | 255.255.0.0 |
| /17 | 11111111 11111111 10000000 00000000 | 255.255.128.0 |
| /18 | 11111111 11111111 11000000 00000000 | 255.255.192.0 |
| /19 | 11111111 11111111 11100000 00000000 | 255.255.224.0 |
| /20 | 11111111 11111111 11110000 00000000 | 255.255.240.0 |
| /21 | 11111111 11111111 11111000 00000000 | 255.255.248.0 |
| /22 | 11111111 11111111 11111100 00000000 | 255.255.252.0 |
| /23 | 11111111 11111111 11111110 00000000 | 255.255.254.0 |
| /24 | 11111111 11111111 11111111 00000000 | 255.255.255.0 |
| /25 | 11111111 11111111 11111111 10000000 | 255.255.255.128 |
| /26 | 11111111 11111111 11111111 11000000 | 255.255.255.192 |
| /27 | 11111111 11111111 11111111 11100000 | 255.255.255.224 |
| /28 | 11111111 11111111 11111111 11110000 | 255.255.255.240 |
| /29 | 11111111 11111111 11111111 11111000 | 255.255.255.248 |
| /30 | 11111111 11111111 11111111 11111100 | 255.255.255.252 |

**Figura 7 - Valores para diferentes notações das máscaras de sub-rede.**

É possível a criação de sub-redes por meio da subdivisão sucessiva de outras sub-redes a partir da rede (sub-rede) representada por um valor de *net ID* recebido do *InterNIC* por uma instituição.

Essa medida justifica-se pela escassez de net IDs e pela necessidade de se adequar o número e a distribuição de hosts (estações finais) nas sub-redes resultantes da subdivisão.

### 4.1.3 – Exemplo de Criação de Sub-Redes

Vamos supor que uma instituição disponha do *net ID* de classe C 192.168.0, com o qual decidiu criar 6 sub-redes, com a condição de que cada uma dessas sub-redes atenda a até 25 hosts.

Se não houvesse criação de sub-redes, seria possível o atendimento de 254 hosts. Seriam 256 ($2^8$), mas como seria necessária a utilização especial de dois endereços, o primeiro da sequência reservado como endereço de rede e o último como endereço de difusão ou broadcast, restariam 254 endereços para hosts.

A primeira tentativa consistiria na adoção uma máscara de sub-rede /25. Nesse caso, contudo, o número de sub-redes seria igual a 2 ($2^1$), o que não atende à proposição.

Caso a máscara de sub-rede fosse /26, seria também insuficiente, pois seriam criadas apenas 4 ($2^2$) sub-redes.

Se utilizarmos a máscara de sub-rede /27, seriam criadas 8 sub-redes ($2^3$), que, sendo 8 imediatamente superior a 6, atende eficientemente a hipótese desejada em termos de número de sub-redes. Vejamos agora a questão do atendimento ao número de hosts.

Com a máscara /27, restam 5 bits para a identificação de hosts em cada sub-rede, do que resulta a possibilidade de até 30 hosts por sub-rede criada.

Como são 5 bits, o número máximo de hosts seria igual a 32 ($2^5$), mas como são reservados 2 bits para uso especial em cada sub-rede, o valor fica reduzido para 30 hosts por sub-rede.

Como o valor 30 é superior ao limite definido de até 25 hosts por sub-rede, as condições impostas foram atendidas.

A Figura 8 mostra como ficam as 8 sub-redes resultantes da subdivisão da rede 192.168.0/27.

| Endereço de sub-rede | Endereços disponíveis | Endereço de difusão |
|---|---|---|
| 192.168.0.0 | 192.168.0.1 até 192.168.0.30 | 192.168.0.31 |
| 192.168.0.32 | 192.168.0.33 até 192.168.0.62 | 192.168.0.63 |
| 192.168.0.64 | 192.168.0.65 até 192.168.0.94 | 192.168.0.95 |
| 192.168.0.96 | 192.168.0.97 até 192.168.0.126 | 192.168.0.127 |
| 192.168.0.128 | 192.168.0.129 até 192.168.0.158 | 192.168.0.159 |
| 192.168.0.160 | 192.168.0.161 até 192.168.0.190 | 192.168.0.191 |
| 192.168.0.192 | 192.168.0.193 até 192.168.0.222 | 192.168.0.223 |
| 192.168.0.224 | 192.168.0.225 até 192.168.0.254 | 192.168.0.255 |

**Figura 8 - Resultado da subdivisão da rede 192.168.0.0/27.**

Como se observa nessa figura, o primeiro endereço de cada sub-rede identifica a sub-rede. Assim, por exemplo, a segunda sub-rede de cima para baixo é identificada pelo endereço 192.168.0.32/27, cujo endereço de host é 00000.

Esse endereço de sub-rede precede imediatamente o primeiro endereço disponível nessa sub-rede (192.168.0.33/27).

O endereço broadcasting da sub-rede 192.160.0.32 é 192.160.0.63, cujo endereço de host é 11111.

Após a elaboração da figura equivalente à Figura para uma determinada rede, torna-se fácil identificar a sub-rede à qual pertence um endereço de host.

Assim, por exemplo, verifica-se facilmente que o endereço 192.168.0.35/27 pertence à sub-rede 192.168.0.32/27.

Na hipótese da não existência de tabela equivalente à da Figura anterior, aplica-se um método simples para identificar a sub-rede a que pertence um endereço IPv4

com uma determinada máscara de sub-rede, como por exemplo o endereço 172.16.28.15/20.

Esse método consiste na aplicação de uma operação lógica “and” para o bit 1 entre os bits do endereço e os bits da máscara de sub-rede representada na forma binária, do que resulta o endereço da sub-rede.

A operação “and” para um dado bit considera o resultado igual ao valor desse bit se esse valor estiver presente em todos os bits da sequência (ou seja, se estiver presente em um bit “e” nos demais bits da sequência).

Vamos aplicar esse método em nosso exemplo:

172.16.28.15/20: 10101100.00010000.00010001.00011110

255.255.240.0: 11111111.11111111.11110000.00000000

172.16.16.0/20: 10101100.00010000.00010000.00000000

Verifica-se então que o endereço de sub-rede do endereço 172.16.28.15/20 é 172.16.16.0/20.

**4.2 – Endereçamento no IPv6**

O IETF emitiu a RFC 2460 (*Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification*), objetivando a especificação do IPv6.

A grande motivação para a criação do IPv6, também referido como *IP Next Generation* (*IPng*), foi o avassalador crescimento das redes IPv4, particularmente da rede Internet Pública.

Esse crescimento ocasionou a progressiva necessidade de endereços de rede e de estações finais, necessidade essa que ultrapassou a capacidade de geração de endereços no IPv4, limitados à disponibilidade de apenas 32 bits.

Os endereços IPv6 são constituidos por 128 bits, que objetivam a identificação de interfaces e de conjuntos de interfaces de roteadores, e não de roteadores. Uma Interface representa o ponto de conexão de um nó (roteador IP) a um link.

A arquitetura para endereçamento no IPv6 foi definida na RFC 4291 (*IP Version 6 Addressing Architecture*), que constitui a base para este subitem.

O ponto fundamental de nosso interesse no IPv6, assim como no IPv4, neste artigo, é a estruturação hierarquizada dos respectivos endereços unicast em prefixos de endereços e em endereços de estação final (que são endereços de host no IPv4 e identificadores de interface de host no IPv6).

É essa estruturação a razão da possibilidade de roteamento unicast direcionado em redes IP, roteamento esse que se realiza pela consideração dos prefixos de endereços IP unicast como rotas.

### 4.2.1 – Tipos de Endereços IPv6

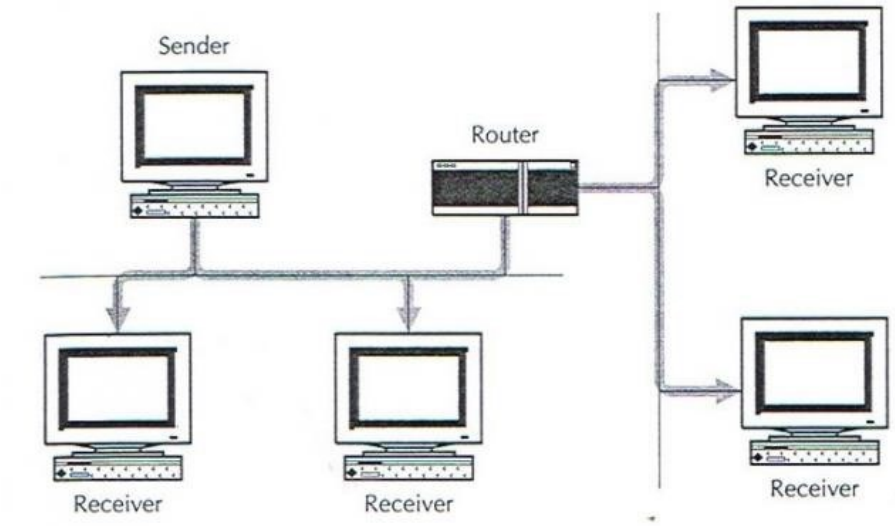
Foram definidos três tipos de endereços IPv6:

- Endereços unicast;
- Endereços anycast;
- Endereços multicast.

Um endereço unicast IPv6 é atribuido a uma interface física, a qual recebe com exclusividade os datagramas com esse endereço.

Um endereço multicast é um identificador de um conjunto de interfaces físicas (tipicamente pertencentes a diferentes roteadores), sendo que um datagrama com esse endereço é entregue a todas as interfaces identificadas por esse endereço.

Não se utiliza endereços broadcast no IPv6, sendo a sua função desempenhada



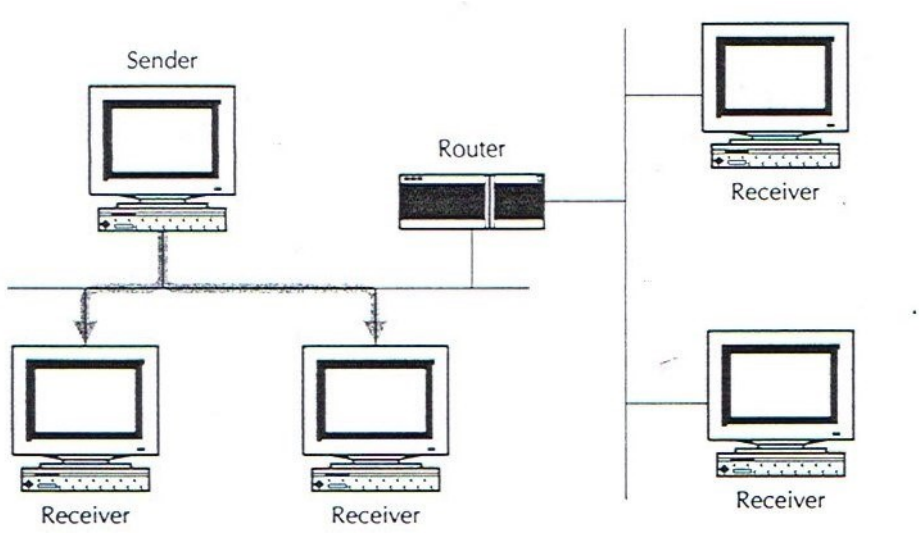

pelos endereços multicast.

A Figura 9 ilustra o funcionamento da transmissão de quadros multicast no IPv6.

**Figura 9 – Transmissão de datagrama multicast no IPv6 (livro IPng and TCP/IP Protocols, John Wiley and Sons, Inc.).**

Um endereço anycast IPv6, que representa uma novidade com relação ao IPv4, é um identificador de um conjunto de interfaces físicas (tipicamente pertencentes a

diferentes roteadores), sendo suficiente que um datagrama com esse endereço seja recebido por qualquer uma das interfaces identificadas por esse endereço.




A Figura 10 exibe a transmissão de um datagrama IPv6 com endereço de destino anycast.

**Figura 10 - Transmissão de datagrama anycast no IPv6 (livro IPng and the TCP/IP Protocols, Wiley & Sons, Inc.).**

Nessa figura, pelo menos uma das interfaces físicas dos receptores do lado esquerdo é parte integrante do endereço anycast de destino e recebeu o datagrama enviado. Por essa razão, o roteador interrompeu a transmissão.

### 4.2.2 – Representação de Endereços IPv6

A notação básica para a representação de endereços IPv6 consiste em sua divisão em oito partes com dois octetos, representando essas divisões de forma alfa-numérica, como no seguinte exemplo:

2001:0DB8:0000:0000:0008:0800:200C:4174, que pode ser resumido como:

2001:DB8:0:0:8:800:200C:4174

Foi definida uma representação simplificada, baseada na compressão de uma sequência de zeros. Uma sequência de zeros é representada pela utilização do símbolo **::,** sendo que essa representação só pode ocorrer uma única vez em um endereço. Assim, no exemplo acima teríamos a representação abaixo:

2001:DB8**::**200C:4174

Os endereços IPv6 são estruturados em duas partes:

- *Subnet prefix* (*n bits*);

- *Interface* ID (128-*n bits*).

### 4.2.3 – Representação de prefixos de endereços IPv6

Vamos considerar o seguinte exemplo de endereço IPv6 unicast:

2001:DB6:0:CD31**::**CDEF

Se considerarmos a utilização de um prefixo de endereço IPv6 (*subnet prefix)* de 60 bits, esse endereço passa a ser representado da seguinte forma:

2001:DB6:0:CD31**::**CDEF/60.

O prefixo de endereço IPv6, nesse caso, recebe a seguinte representação:

2001:DB6:0:CD31**::**/60.

Observa-se que dígito 1 final de CD31 encontra-se representado, embora não seja parte do prefixo de endereço IPv6. De fato, a contagem de 60 bits encerra-se no dígito 3.

## 5 -ROTEAMENTO NO IP

Vamos considerar separadamente o roteamento no IPv4 e o roteamento no IPv6.

### 5.1 – Roteamento no IPv4

O roteamento no IPv4 (e no IPv6) realiza-se por meio de dois tipos de protocolo, que são os protocolos do tipo IGP (*Interior Gateway Protocol*) e do tipo EGP (*Exterior Gateway Protocol*).

As redes IP são divididas em ASs (*Autonomous Systems*), que constituem domínios autônomos de roteamento. Os protocolos IGP operam no interior de cada AS, enquanto os protocolos EGP são protocolos inter-ASs.

Para maior capilarização do processo de roteamento em redes IP, com a consequente redução do tráfego de roteamento, os ASs podem ser subdivididos em Áreas de Roteamento.

Os protocolos de roteamento IP do tipo IGP hoje utilizados no IPv4 são o OSPF (*Open Shortest Path First*) versão 2 e o IS-IS (*Intermediate Systems-to-Intermediate Systems*) para IPv4, sendo que o OSPF predomina sobre o IS-IS. Esses protocolos foram especificados, respectivamente, na RFC 2328 e na RFC 1195.

Em termos de EGP, predomina hoje o protocolo BGP-4 (*Border Gateway Protocol version 4).*

As rotas em um AS são diretamente distribuídas nesse AS por meio do protocolo IGP, e nos demais ASs pela intermediação do protocolo EGP.

O aspecto que realçamos, e que efetivamente viabiliza o roteamento unidirecional direcionado em redes IP, é o fato de que as rotas consideradas em redes IP são os prefixos de endereços IP, que são efetivamente os endereços das sub-redes, e não os endereços das estações finais.

Em primeiro lugar, o número de estações finais é sem dúvidas bem superior ao número de sub-redes. Assim, o número de rotas transportados nos datagramas de roteamento com base em prefixos de endereços é significativamente inferior ao que haveria caso as rotas fossem os endereços das estações finais.

Por outro lado, em consequência das alterações que continuamente ocorrem na rede, as tabelas de roteamento são atualizadas periodicamente, mediante a realização de novas rodadas dos algoritmos de roteamento.

Os períodos de atualização devem ter valores de compromisso, nem muito pequenos para inviabilizar o processo devido à elevada carga de overhead de roteamento que representaria, nem muito grandes para que o número de alterações durante um período não seja demasiadamente elevado.

Sendo o número de endereços de estação final elevado, e considerando-se a maior probabilidade da ocorrência de mutações em nível de estação final, a adoção de endereços de estações finais como rotas demandaria uma frequência inviável de rodadas para atualização das tabelas de roteamento.

Em conclusão, rotas baseadas em prefixos de endereço IP não sobrecarregam tanto o tráfego de roteamento unicast e possibilitam a adoção de períodos adequados de atualização das tabelas de roteamento, viabilizando assim o roteamento direcionado de datagramas IP unicast.

Não abordaremos o roteamento multicast neste artigo, mas registramos que as redes IPv4 suportam mecanismos e protocolos mais elaborados que as redes Bridged Ethernet para esse tipo de roteamento.

Em termos de broadcasting, as redes IP operam de forma mais eficiente que as opções tradicionais baseadas em *spanning trees* utilizadas em redes Bridged Ethernet, uma vez que as redes IP utilizam caminhos mais curtos para o broadcasting.

O IEEE e o IETF vêm buscando, contudo, novas alternativas de redes Bridged Ethernet que eliminam a necessidade de uso de spanning trees em redes Bridged Ethernet.

### 5.2 – Roteamento no IPv6

Do mesmo modo que no IPv4, o roteamento IGP no IPv6 utiliza o protocolo OSPF ou o protocolo IS-IS.

A versão do OSPF para o IPv6, referida como OSPF para IPv6 ou como OSPFv3, foi especificada na RFC 5340 (*OSPF for IPv6*), enquanto a versão do IS-IS para IPv6, referida como IS-IS para IPv6, foi especificada na RFC 5308 (*Routing IPv6 with IS-IS*).

As RFCs acima citadas definem as alterações das RFC 2328 e RFC 1195, respectivamente, para o roteamento em redes IPv6 com base no OSPF e no IS-IS.

No caso do OSPF, por exemplo, a RFC 5340 estabelece o conceito de link, como sendo uma facilidade ou um meio de comunicação pelo qual os roteadores podem se

comunicar na camada de enlace de dados. As interfaces físicas dos roteadores conectam-se aos links.

As alterações no processo de roteamento para o IPv6 não afetam o fato de que os endereços IP permanecem constituidos por prefixos de endereços e endereços de hosts/interfaces, sendo o roteamento baseado nos prefixos como rotas.

Esse fato vem ao encontro da tese defendida neste artigo, que é evidenciar a possibilidade de roteamento unicast em redes IP. Esse tipo de roteamento é inviável em redes Bridged Ethernet, o que representa um dos motivos fundamentais para o uso do IP em redes sem conexão de grande porte.