

Aula 16 - Protocolos IP e DHCP

Diego Passos

Universidade Federal Fluminense

Redes de Computadores I

Material adaptado a partir dos slides
originais de J.F Kurose and K.W. Ross.

Revisão da Última Aula...

- **Roteadores: arquitetura.**

- Plano de controle: protocolos de roteamento.
- Plano de encaminhamento: portas, malha de comutação.

- **Portas de entrada:**

- Terminação do enlace físico.
- Camada de enlace.
- Decisões de comutação, **fila**.
- *Head-of-line Blocking*.

- **Malha de comutação:**

- Transporta pacotes de entradas para saída.
- **Memória, barramento, rede de interconexão.**
- Taxa de comutação.

- **Portas de saída:**

- **Fila**, atraso, perdas.

- **Buffers: tamanho.**

- Objetivo: absorver variações temporárias.
- *Buffer* excessivo → atrasos altos, mascara congestionamento.

- **Políticas de enfileiramento:**

- Descarte e escalonamento.
- Impacto em QoS, TCP.

- **Políticas de Escalonamento:**

- FIFO, *Priority Scheduling*, *Round-Robin*.
- Esfomeação vs. Justiça vs. Simplicidade.

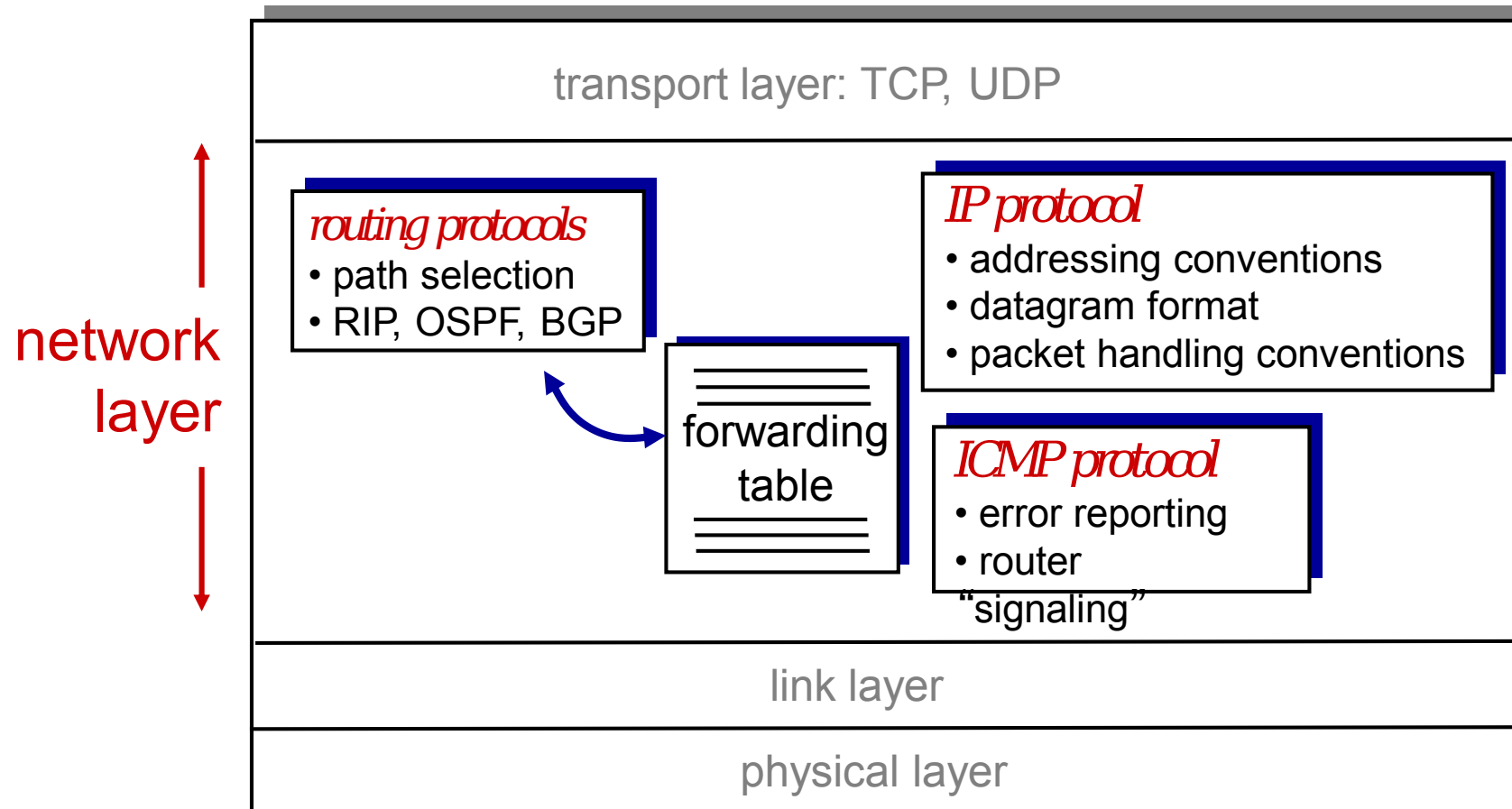
- **Políticas de Descarte:**

- *Drop-tail*, *Drop-head*, RED.
- Sincronização.
- Detecção adiantada de congestionamento.

Protocolo IP: Datagramas

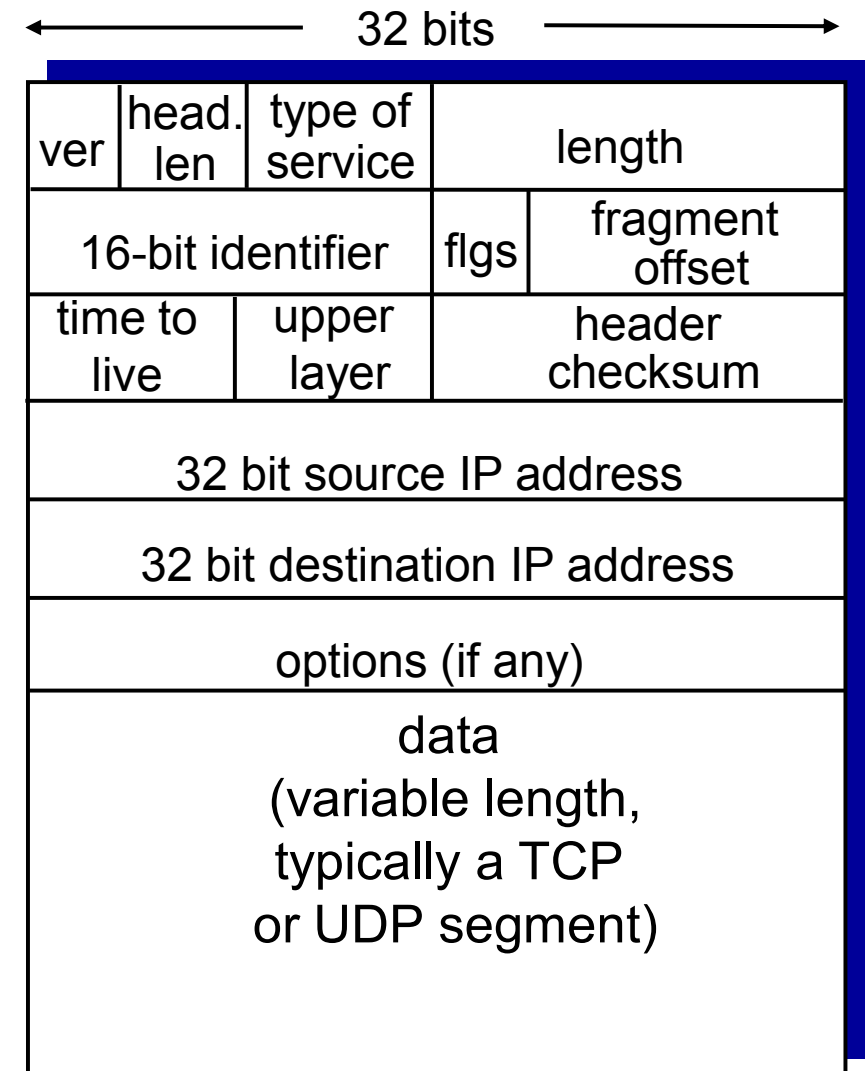
A Camada de Rede na Internet

- Funções da camada de rede de hosts e roteadores.



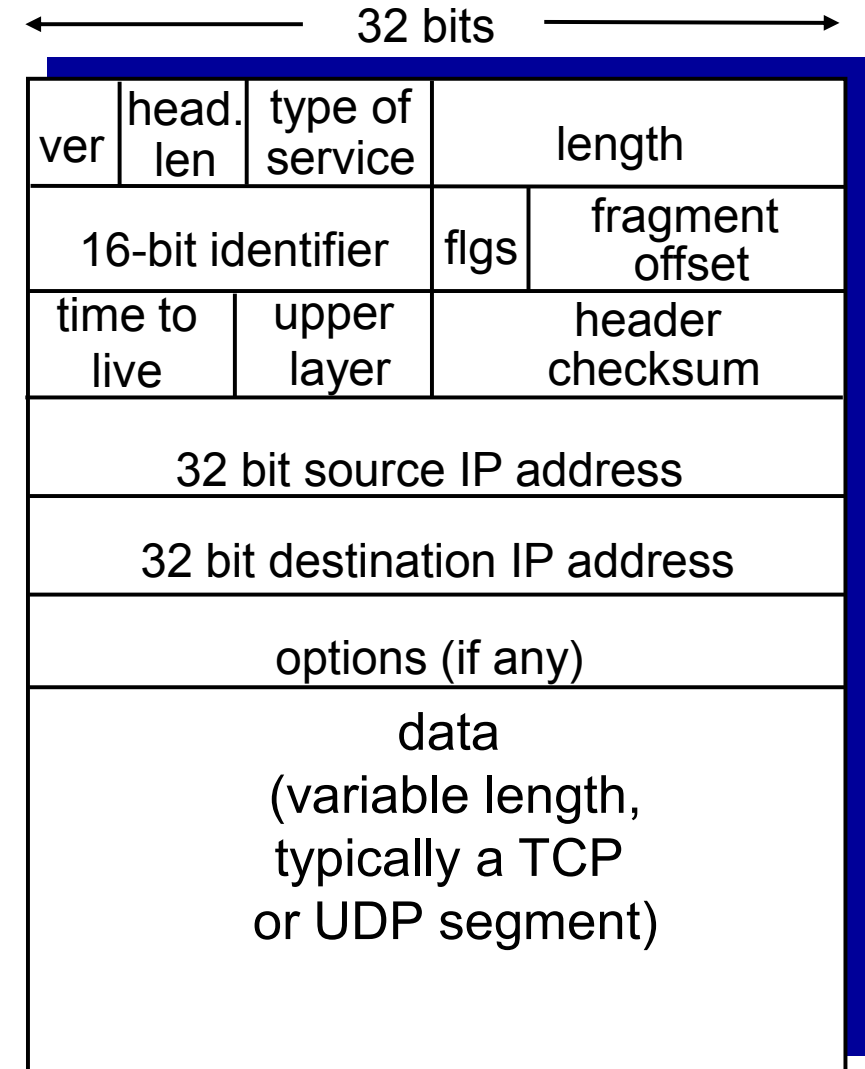
Formato do Datagrama (I)

- **version:** número de versão.
 - e.g., versão 4, versão 6.
- **header length:** comprimento do cabeçalho, em palavras de 4 bytes.
 - Cabeçalho tem tamanho variável.
 - Vide campo **options**.
- **type of service:** “classe” do dado encapsulado.
 - e.g., tráfego de tempo real, melhor esforço.
- **length:** tamanho total do datagrama.
 - Cabeçalho + carga útil.
 - Tamanho máximo: 65535 bytes.
- **identifier, flags, fragment offset:** usados para fragmentação.
 - Mais em breve.



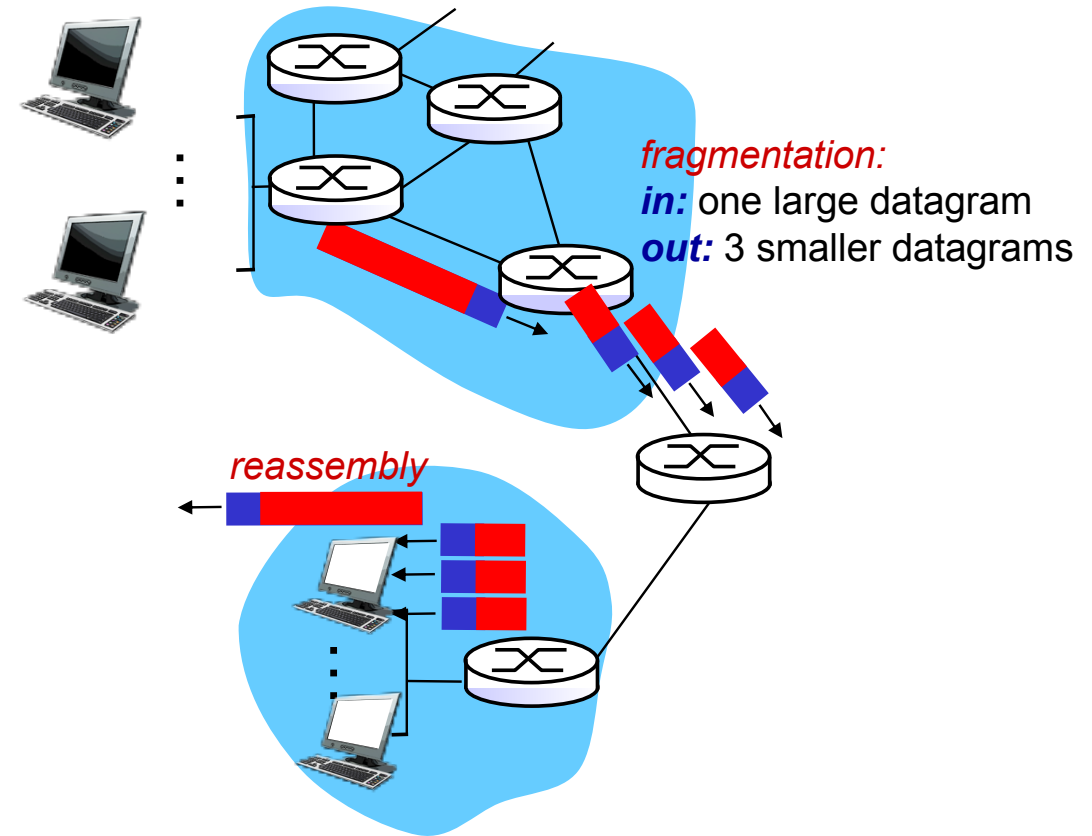
Formato do Datagrama (II)

- **time to live:** número máximo de saltos que datagrama pode percorrer.
 - Decrementado a cada roteador.
 - Usado, por exemplo, em caso de *loops* de roteamento.
- **upper layer:** indica protocolo responsável pela carga útil.
 - *e.g.*, TCP, UDP, IP.
- **header checksum:** verificação de integridade **apenas do cabeçalho**.
- **endereços de origem e destino:** 32 bits cada.
- **options:** opções de tratamento do datagrama.
 - *e.g.*, *timestamp*, gravar rota, especificação de caminho.



IP: Fragmentação, Remontagem de Datagramas (I)


- Enlaces de rede têm um MTU (*Maximum Transmission Unit*).
 - Maior quadro que pode ser transmitido pelo enlace.
 - Tecnologias diferentes têm MTUs diferentes.
- Datagramas IP grandes são divididos (“fragmentados”) na rede.
 - Um datagrama quebrado em vários datagramas.
 - “Remontados” **apenas no destinatário final**.
 - Bits do cabeçalho IP são usados para identificar e ordenar fragmentos de um mesmo datagrama original.



IP: Fragmentação, Remontagem de Datagramas (II)

- Exemplo:
 - Datagrama de 4000 bytes.
 - MTU = 1500 bytes.
- **Cuidado!** O campo *offset* da fragmentação **é contado em unidade de 8 bytes**.
- **Além disso:** MTU considera o tamanho do datagrama inteiro, **incluindo cabeçalho**.

	length	ID	fragflag	offset	
	=4000	=x	=0	=0	



	length	ID	fragflag	offset	
	=1500	=x	=1	=0	

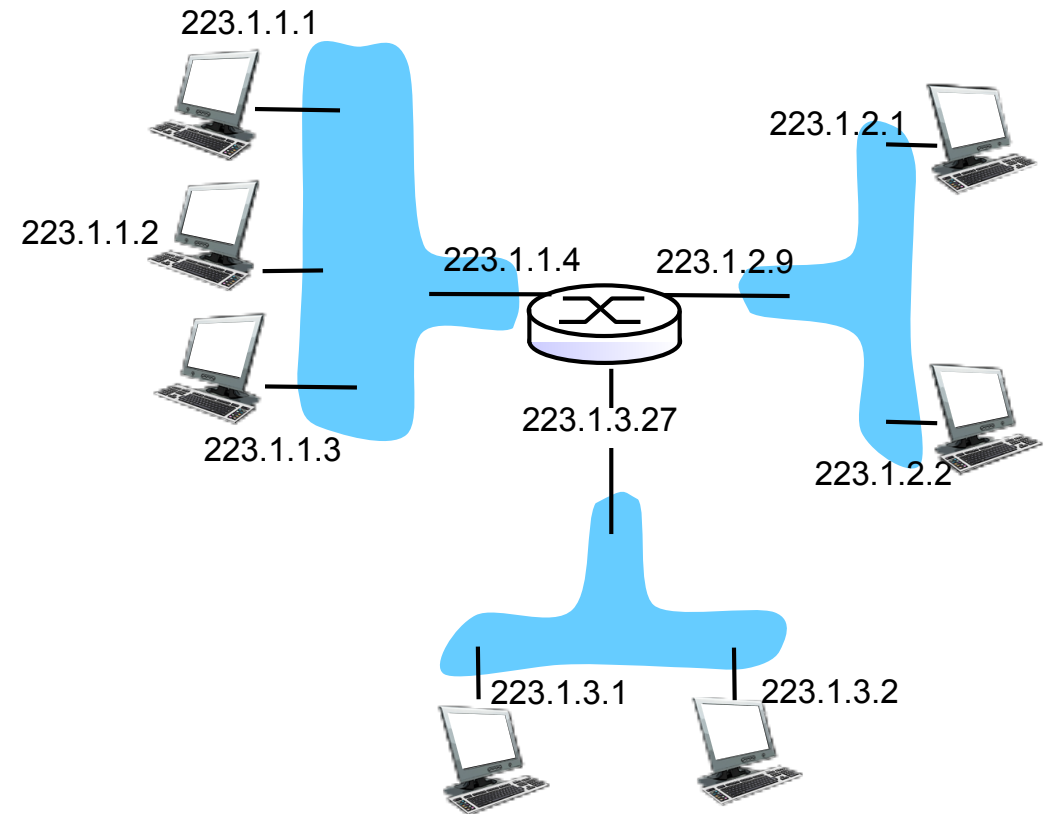
	length	ID	fragflag	offset	
	=1500	=x	=1	=185	

	length	ID	fragflag	offset	
	=1040	=x	=0	=370	

IP: Endereçamento (IPv4)

Endereçamento IP: Introdução (I)

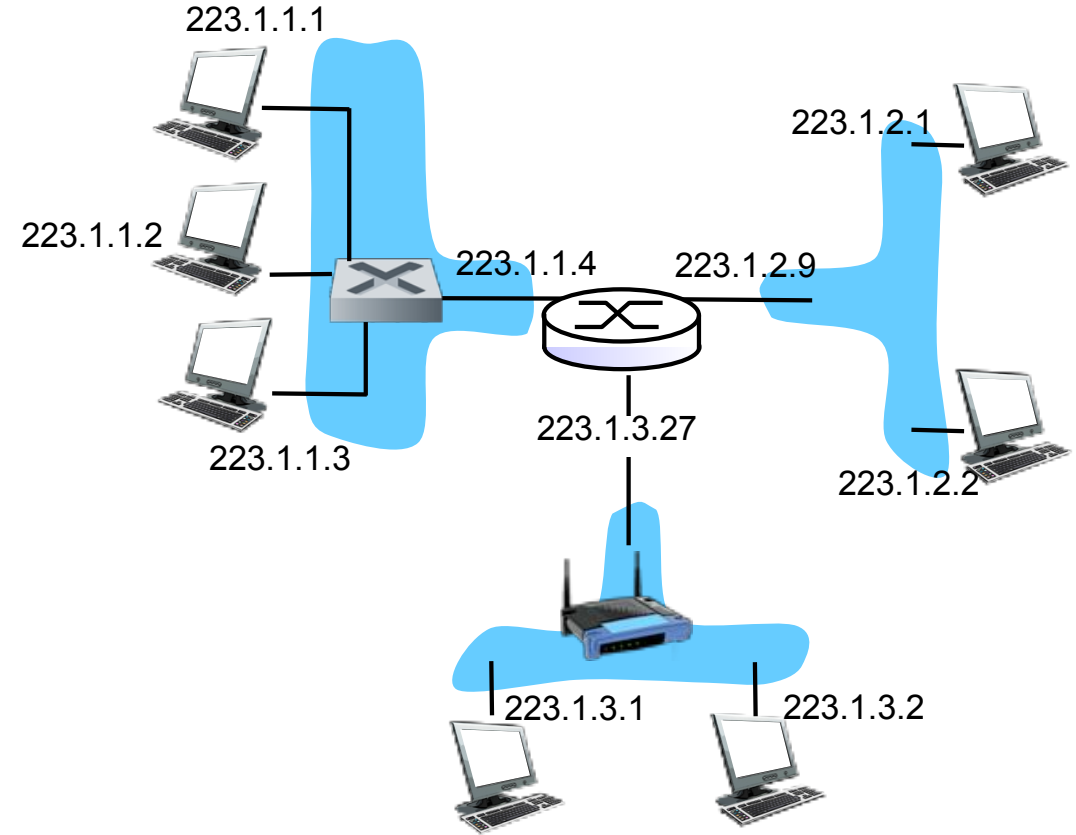
- **Endereço IP:** identificador de 32 bits para **interfaces** de *hosts*, roteadores.
- **Interface:** conexão entre *host*/roteador e enlace físico.
 - Roteadores tipicamente possuem múltiplas interfaces.
 - Host tipicamente possui uma ou duas interfaces (*e.g.*, Ethernet cabeada e IEEE 802.11 sem fio).
- **Endereços IP associados a cada interface.**



$$223.1.1.1 = \underbrace{11011111}_{223} \underbrace{00000001}_1 \underbrace{00000001}_1 \underbrace{00000001}_1$$

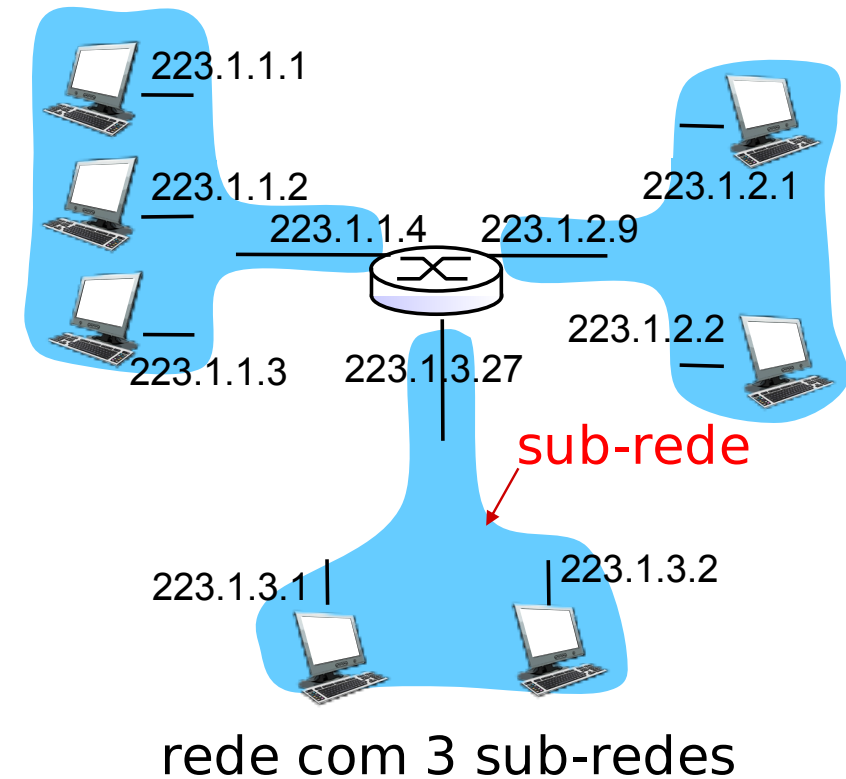
Endereçamento IP: Introdução (II)

- **Pergunta:** como as interfaces se conectam?
- **Resposta:** tópico dos capítulos 5 e 6.
 - Redes II.
- Interfaces cabeadas Ethernet se conectam através de *switches* Ethernet.
- Interfaces Wi-Fi se conectam através de estações base Wi-Fi.
- **Por enquanto:** não é preciso se preocupar com a interconexão de interfaces.



Sub-redes (I)

- **Endereço IP: duas partes.**
 - Porção da **sub-rede**: bits mais significativos (i.e., mais à esquerda).
 - Porção do *host*: bits menos significativos (i.e., mais à direita).
- **O que é uma sub-rede?**
 - Interfaces de dispositivos com a mesma porção da sub-rede nos seus endereços IP.
 - Podem se alcançar diretamente, **sem o intermédio de um roteador**.

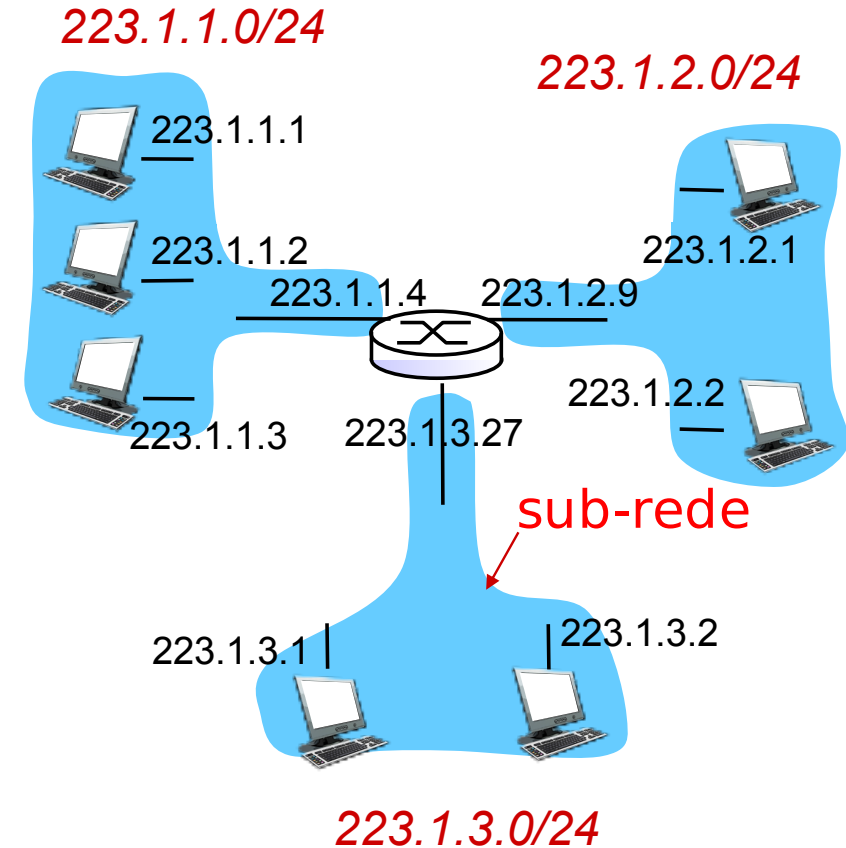


Sub-redes (II)

- **Receita:**

- Para determinar as sub-redes, desconecte as interfaces de seu *host* ou roteador, criando ilhas de redes isoladas.
- Cada rede isolada é uma **sub-rede**.

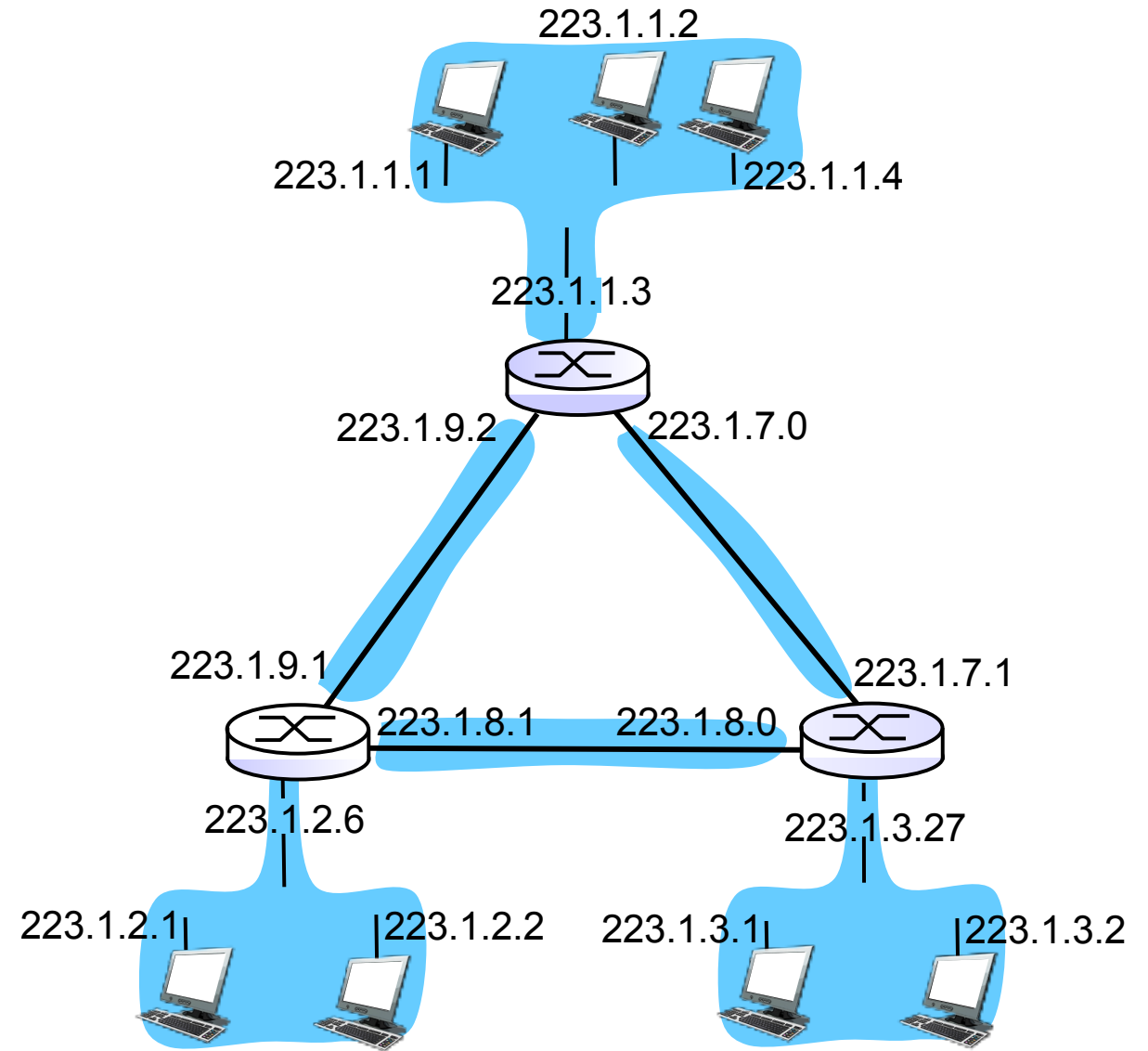
- **Corolário:** roteadores interconectam sub-redes.



máscara de sub-rede: /24

Sub-redes (III)

- Quantas sub-redes?



Quantos Bits Identificam a Sub-rede?

- Recapitulando: endereço IP é dividido em duas partes.
 - Porção da sub-rede (bits mais significativos).
 - Porção do *host* (bits menos significativos).
- **Pergunta:** quantos bits em cada porção?
 - Um endereço IP tem 32 bits **no total**.
 - Mas como eles são divididos nas duas porções?
 - Note que **nem toda sub-rede precisa ser do mesmo tamanho**.
- Duas alternativas:
 - Endereçamento baseado em classes (usado originalmente).
 - CIDR (usado atualmente).

Endereçamento Baseado em Classes

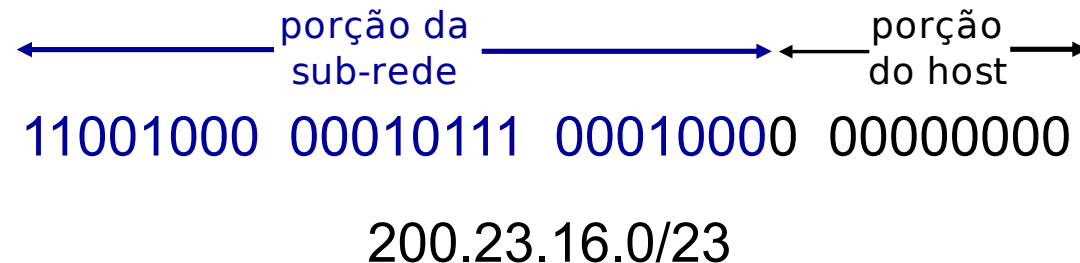
- Ideia básica: definimos sub-redes com propósitos diferentes.
 - **Classe A:** redes “grandes”.
 - Porção da sub-rede com 8 bits, sempre iniciados por 0.
 - $2^{24} = 16777216$ endereços.
 - **Classe B:** redes “médias”.
 - Porção da sub-rede com 16 bits, sempre iniciados por 10.
 - $2^{16} = 65536$ endereços.
 - **Classe C:** redes “pequenas”.
 - Porção da sub-rede com 24 bits, sempre iniciados por 110.
 - $2^8 = 256$ endereços.
 - **Classes D (Multicast) e E (Reservado):** outros usos.
 - Endereços iniciados por 1110 e 1111, respectivamente.
- Exemplos:
 - 10.151.0.1 é de classe A (começa por 0), porção da sub-rede é 00001010.
 - 200.20.15.156 é de classe C (começa por 110), porção da sub-rede é 11001000 00010100 00001111.

Endereçamento Baseado em Classes: Problemas

- Três tamanhos não são suficientes.
 - Pouca granularidade.
- Grande sub-utilização do espaço de endereçamento.
- Por exemplo: suponha que a UFF precise conectar 1000 dispositivos em uma sub-rede.
 - Sub-rede de classe C é muito pequena: apenas 256 endereços.
 - Solução: atribuir uma sub-rede de classe B.
 - Resultado: $65536 - 1000 = 64536$ endereços ociosos.
 - Mas **alocados**!

CIDR

- **CIDR: Classless InterDomain Routing.**
 - Porção de sub-rede de tamanho arbitrário.
 - Formato de endereço: **a.b.c.d/x**, onde x é o # de bits na porção da sub-rede.



- Convenciona-se que o endereço IP com todos os bits da porção do *host* iguais a zero seja denominado o “**endereço da rede**”.
- Se porção do *host* só contém 1's, trata-se do **endereço de broadcast**.
- Porção da sub-rede é comumente chamada de **prefixo**.
- O x, portanto, é o **tamanho do prefixo**.

CIDR: Máscara de Sub-rede

- Notação alternativa:
 - Número de 32 bits tal que um *and* bit-a-bit entre o endereço de um *host* e a máscara resulte no endereço da rede.
 - Exemplo:
 - Host tem endereço 200.20.10.89.
 - Máscara de sub-rede é 255.255.255.224.
 - Endereço da rede: 200.20.10.64.

	200.20.10.89	=	11001000	00010100	00001010	01011001
\wedge	255.255.255.224	=	11111111	11111111	11111111	11100000
=	200.20.10.64	=	11001000	00010100	00001010	01000000

- Na prática, máscaras são uma sequência de 1's seguida de uma sequência de 0's.
 - Tamanho da sequência de 1's é o tamanho do prefixo na notação CIDR.

CIRD e Tamanhos de Sub-Redes

- O CIDR permite sub-redes de tamanhos arbitrários?
 - **Não, ainda há restrições de granularidade.**
- Exemplos:
 - Prefixo de 27 bits – $2^5 = 32$ endereços.
 - Prefixo de 26 bits – $2^6 = 64$ endereços.
 - Prefixo de 25 bits – $2^7 = 128$ endereços.
 - Prefixo de 24 bits – $2^8 = 256$ endereços.
 - ...
- Mas há bem mais **opções**.

DHCP

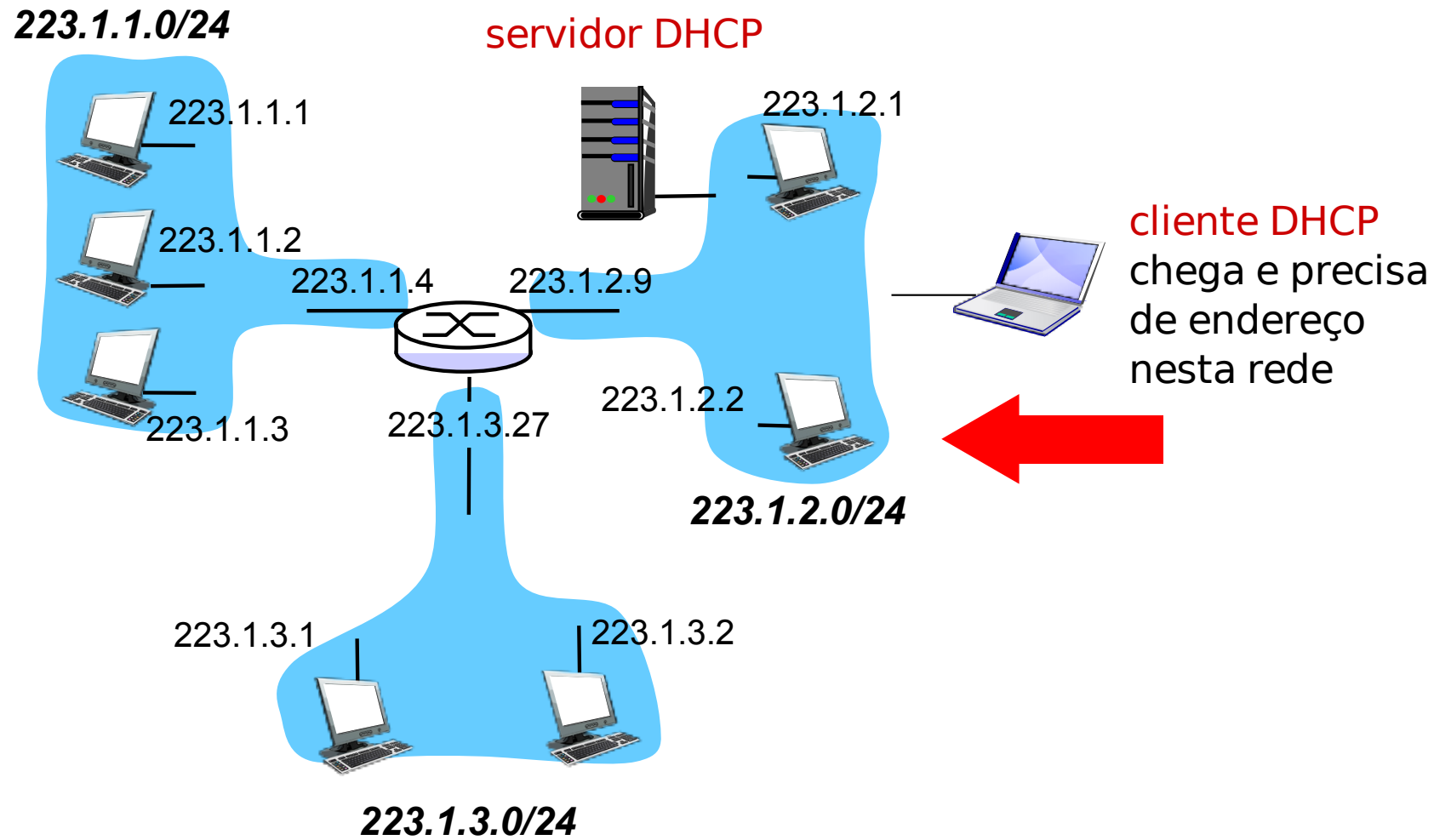
Endereços IP: Como Conseguir Um?

- **Pergunta:** como um *host* obtém seu endereço IP?
- Algumas possibilidades:
 - Configurado de maneira **estática** pelo administrador do sistema em um arquivo.
 - Windows: painel de controle → Redes → Configuração → TCP/IP → Propriedades.
 - UNIX: `/etc/rc.config`.
 - **DHCP:** Dynamic Host Configuration Protocol.
 - Obtém configuração dinamicamente diretamente de um servidor.
 - “plug-and-play”.

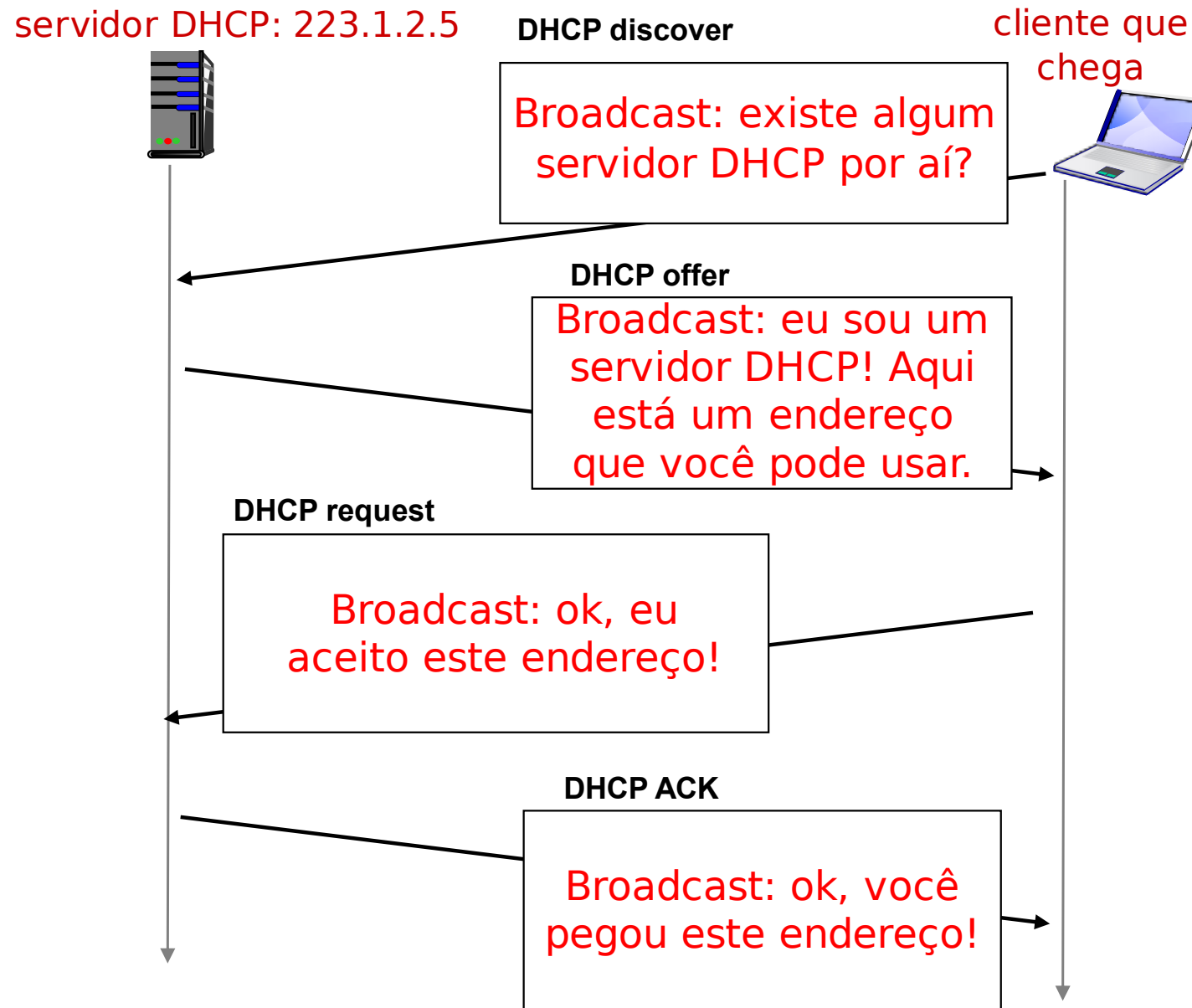
DHCP: *Dynamic Host Configuration Protocol*

- **Objetivo:** permitir que *host* dinamicamente obtenha seu endereço IP de um servidor da rede quando se conecta a ela.
 - Endereços atribuídos pelo servidor em esquema de “empréstimo” (*lease*).
 - Dispositivo pode renovar sua *lease* durante o uso.
 - Permite reutilização de endereços (dispositivos só possuem endereço enquanto conectados à rede/ligados).
 - Dá suporte a usuários móveis que querem se conectar a rede (mais detalhes em Redes II).
- **Visão geral do DHCP:**
 - Host envia mensagem do tipo “**DHCP discover**” em **broadcast** [opcional].
 - Servidor DHCP responde com um “**DHCP offer**”[opcional].
 - Host requisita endereço IP com mensagem “**DHCP request**”.
 - Servidor DHCP envia endereço com mensagem “**DHCP ack**”.

Cenário de Cliente-Servidor DHCP



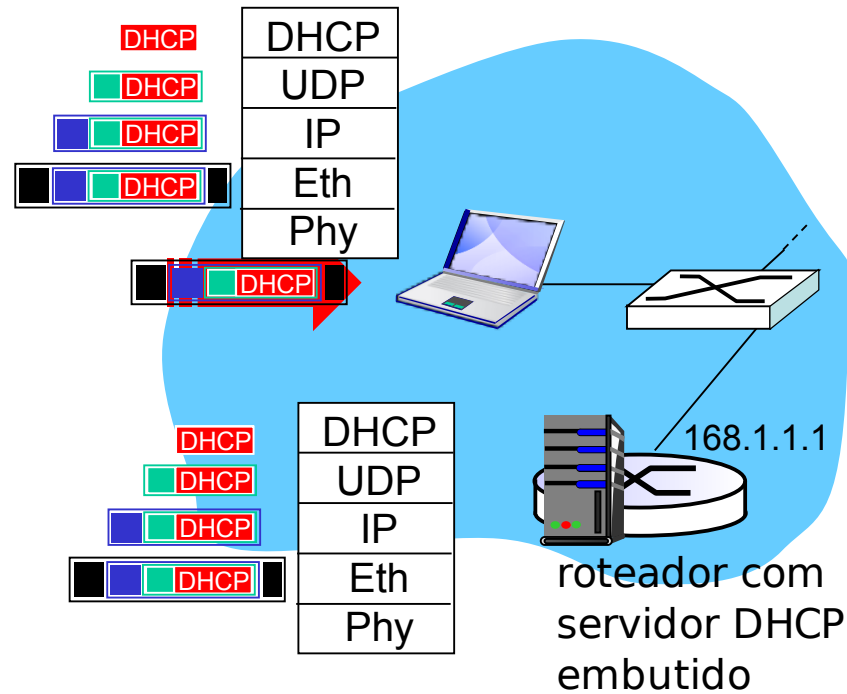
DHCP: Interação Típica



DHCP: Mais que Apenas Endereços IP

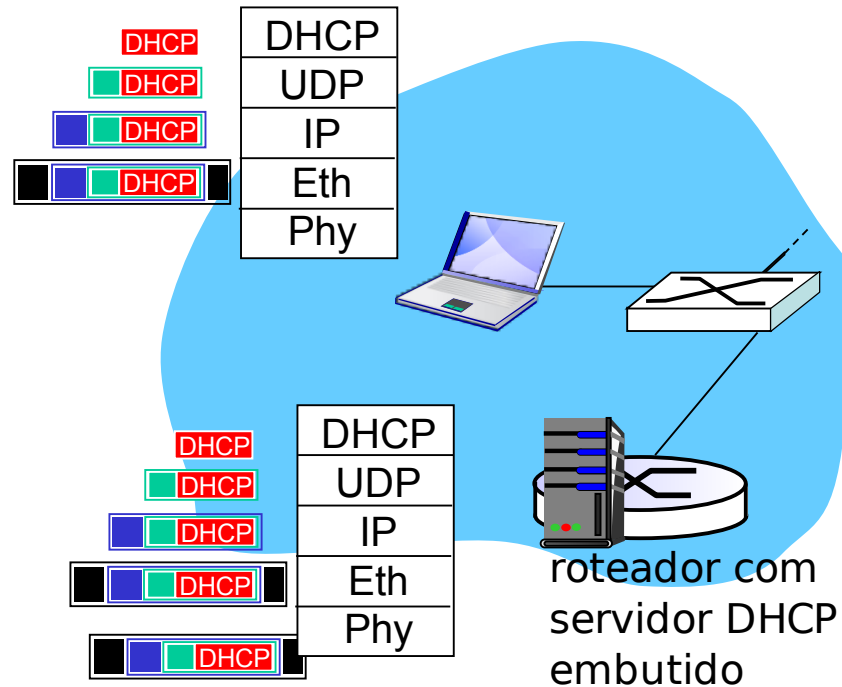
- DHCP pode retornar mais que apenas um endereço IP adequado para aquela sub-rede.
 - Endereço IP do **roteador de primeiro salto**.
 - Também chamado de **gateway padrão**.
 - Nome e endereço IP do servidor DNS local.
 - Máscara de sub-rede.
 - ...

DHCP: Exemplo (I)



- Laptop se conecta à rede e precisa do seu endereço IP, endereço do roteador de primeiro salto, endereço do servidor DNS: utilizar DHCP.
- Requisição DHCP encapsulada em UDP, encapsulado em IP, encapsulado em 802.3 (Ethernet).
- Quadro Ethernet enviado em *broadcast* na rede local, recebido (em particular) no roteador rodando o servidor DHCP.
- Ethernet demultiplexado para IP, demultiplexado para UDP, demultiplexado para DHCP.

DHCP: Exemplo (II)



- Servidor DHCP formula um DHCP Ack contendo o endereço IP do cliente, endereço do roteador de primeiro salto, nome e endereço do servidor de DNS.
- Mensagem é encapsulada e enviada para o cliente.
- Cliente passa a saber seu endereço IP, endereço do servidor DNS, endereço IP do roteador de primeiro salto.

DHCP: Saída de Captura do Wireshark

Message type: **Boot Request (1)**

Hardware type: Ethernet

Hardware address length: 6

Hops: 0

Transaction ID: 0x6b3a11b7

Seconds elapsed: 0

Bootp flags: 0x0000 (Unicast)

Client IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)

Your (client) IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)

Next server IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)

Relay agent IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)

Client MAC address: Wistron_23:68:8a (00:16:d3:23:68:8a)

Server host name not given

Boot file name not given

Magic cookie: (OK)

Option: (t=53,l=1) **DHCP Message Type = DHCP Request**

Option: (61) Client identifier

Length: 7; Value: 010016D323688A;

Hardware type: Ethernet

Client MAC address: Wistron_23:68:8a (00:16:d3:23:68:8a)

Option: (t=50,l=4) Requested IP Address = 192.168.1.101

Option: (t=12,l=5) Host Name = "nomad"

Option: (55) Parameter Request List

Length: 11; Value: 010F03062C2E2F1F21F92B

1 = Subnet Mask; 15 = Domain Name

3 = Router; 6 = Domain Name Server

44 = NetBIOS over TCP/IP Name Server

.....

request

Message type: **Boot Reply (2)**

Hardware type: Ethernet

Hardware address length: 6

Hops: 0

Transaction ID: 0x6b3a11b7

Seconds elapsed: 0

Bootp flags: 0x0000 (Unicast)

Client IP address: 192.168.1.101 (192.168.1.101)

Your (client) IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)

Next server IP address: 192.168.1.1 (192.168.1.1)

Relay agent IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)

Client MAC address: Wistron_23:68:8a (00:16:d3:23:68:8a)

Server host name not given

Boot file name not given

Magic cookie: (OK)

Option: (t=53,l=1) DHCP Message Type = DHCP ACK

Option: (t=54,l=4) Server Identifier = 192.168.1.1

Option: (t=1,l=4) Subnet Mask = 255.255.255.0

Option: (t=3,l=4) Router = 192.168.1.1

Option: (6) Domain Name Server

Length: 12; Value: 445747E2445749F244574092;

IP Address: 68.87.71.226;

IP Address: 68.87.73.242;

IP Address: 68.87.64.146

Option: (t=15,l=20) Domain Name = "hsd1.ma.comcast.net."

reply

Endereçamento Hierárquico

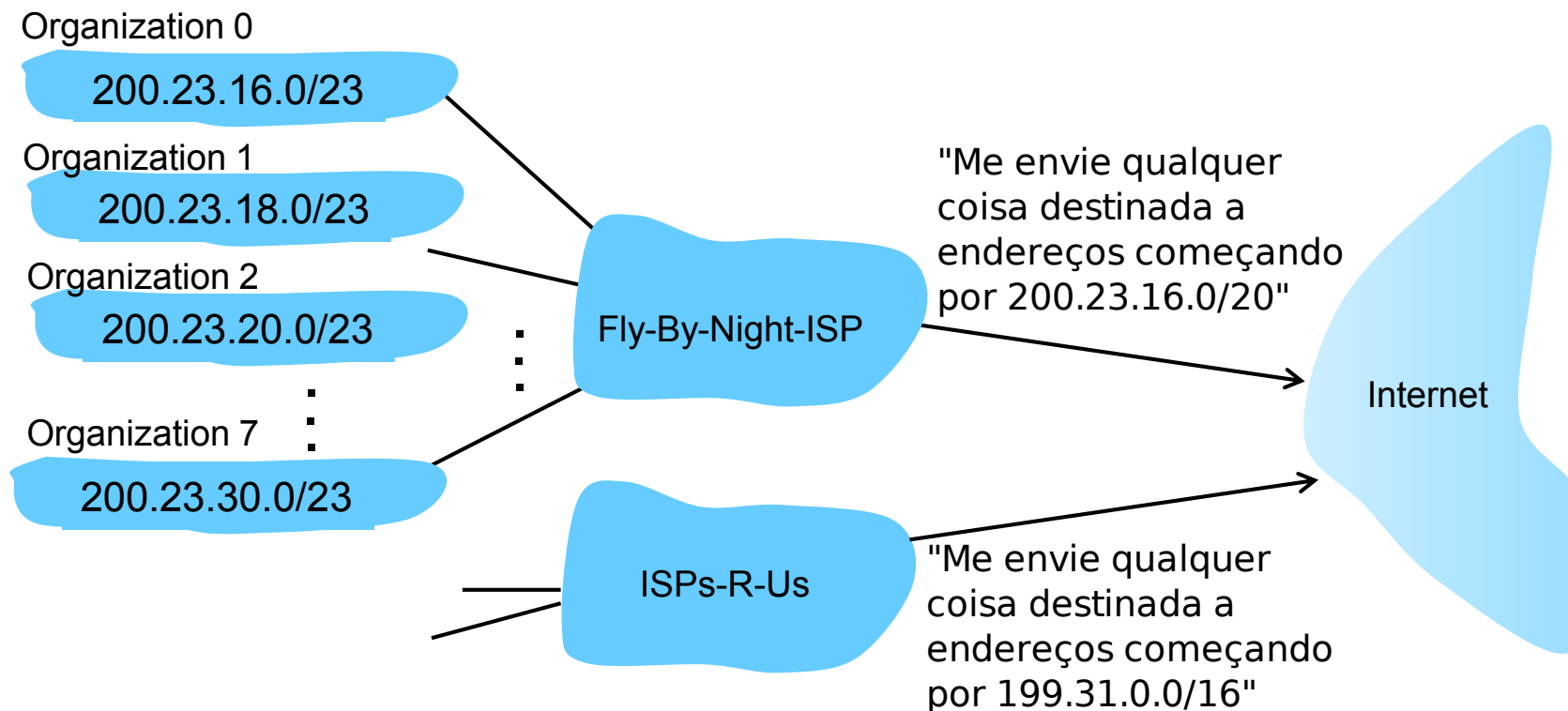
Endereçamento IP: Como Obter Um?

- **Pergunta:** como **a rede** obtém seus endereços?
 - i.e., seu prefixo.
- **Resposta:** é alocada uma porção do espaço de endereços do seu ISP.
 - Uma **sub-rede menor**, contida na sub-rede do ISP, é alocada.
- Exemplo:

Bloco do ISP	11001000 00010111 00010000 00000000	200.23.16.0/20
Organização 1	11001000 00010111 00010000 00000000	200.23.16.0/23
Organização 2	11001000 00010111 00010010 00000000	200.23.18.0/23
Organização 3	11001000 00010111 00010100 00000000	200.23.20.0/23
...
Organização 7	11001000 00010111 00011110 00000000	200.23.30.0/23

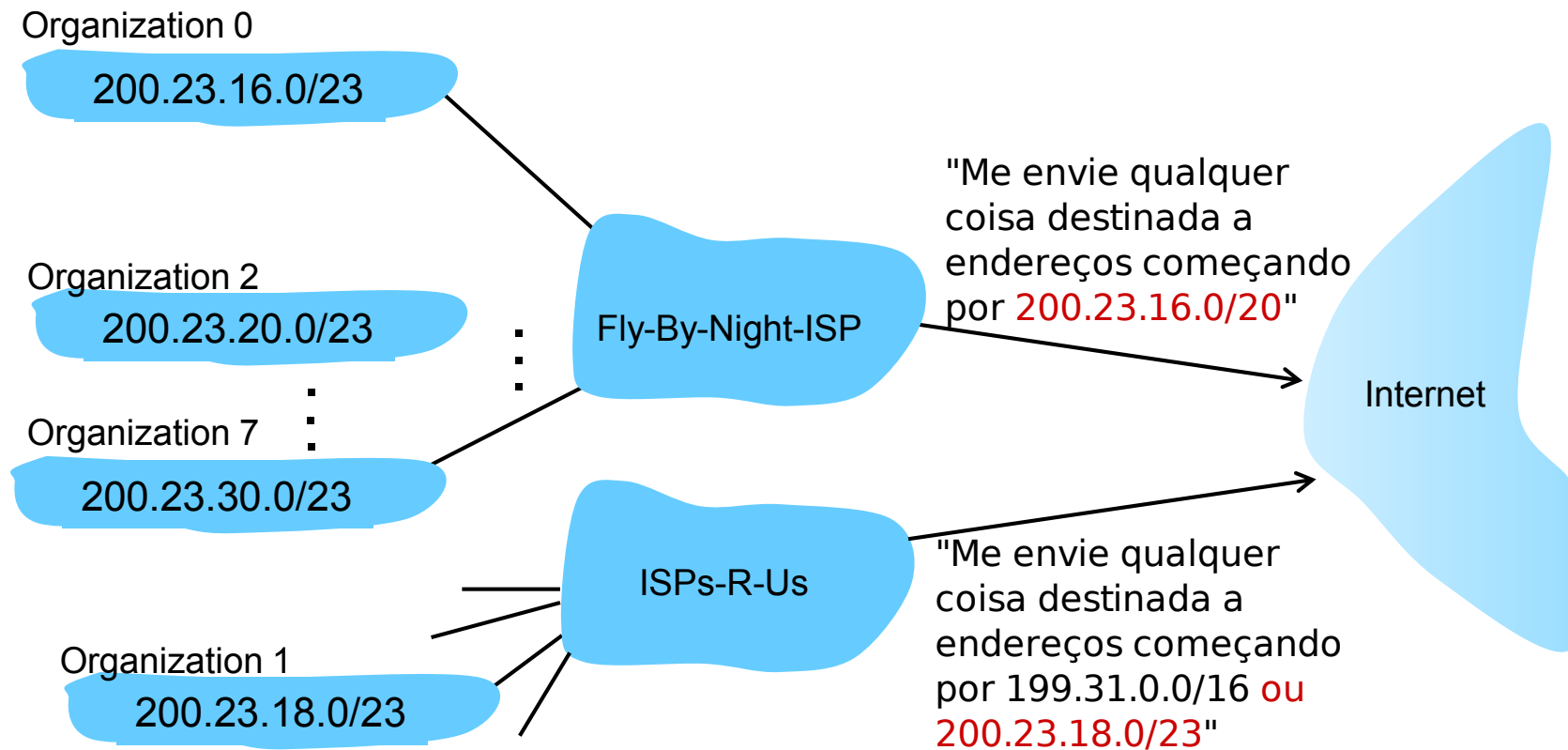
Endereçamento Hierárquico: Agregação de Rotas (I)

- Endereçamento hierárquico permite o anúncio eficiente de informações de roteamento.



Endereçamento Hierárquico: Agregação de Rotas (II)

- Suponha que a organização 1 mude de ISP, mas queira manter seus endereços.
- Agora, o ISPs-R-Us tem rota **mais específica** para organização 1.
- Endereçamento hierárquico + casamento por prefixo mais longo.



Endereçamento IP: Última Palavra...

- **Pergunta:** como um ISP obtém um bloco de endereços?
- **Resposta:** ICANN: Internet Corporation for Assigned Names and Numbers.
 - <http://www.icann.org/>
 - Aloca endereços.
 - Gerencia DNS.
 - Atribui nomes de domínios, resolve disputas.

Resumo da Aula...

- **Protocolos da Camada de Rede:**

- Vários contribuem.
- Protocolos de roteamento.
- IP.
- ICMP.

- **Protocolo IP:**

- Define convenções.
- Formato de datagrama.
- Endereçamento.

- **Datagrama IP:**

- Checksum apenas do cabeçalho.
- Campo de opções, tamanho variável.
- TTL (*time-to-live*).

- **Fragmentação:**

- Quebrar datagramas grandes.
- Adequa a limitações de cada enlace.
- **Remontados apenas no destinatário.**

- **Endereçamento IP:**

- 32 bits.
- **Associados a interfaces.**
- **Prefixo identifica a sub-rede.**
- CIDR, máscara de sub-rede.

- **DHCP:**

- Protocolo de auto-configuração.
- Atribuição dinâmica de endereços IP.
- **Roteador de primeiro salto.**
- E mais configurações.
- Cliente-servidor.
- Roda sobre UDP.
- Mensagens em **broadcast**.

- **Endereçamento hierárquico:**

- Sub-redes são divididas.
- Novas sub-redes menores.
- Simplifica anúncio de rotas.

Próxima Aula...

- Discutiremos dois protocolos e uma técnica muito popular:
 - NAT: permite que vários dispositivos compartilhem um mesmo endereço IP.
 - ICMP: protocolo de gerência/sinalização associado ao IP.
 - IPv6: próxima (ou atual) versão do protocolo IP.