

Curso: Ciência da Computação  
Disc: Redes de Computadores

Camada de Rede

prof. Wagner José

**Bibliografia básica:**

Kurose: capítulo 4, págs. 235 até 326

Tanenbaum págs. 365 até 389 e 458 até 483

Comer: capítulo 4, 6, 7, 8 e 9

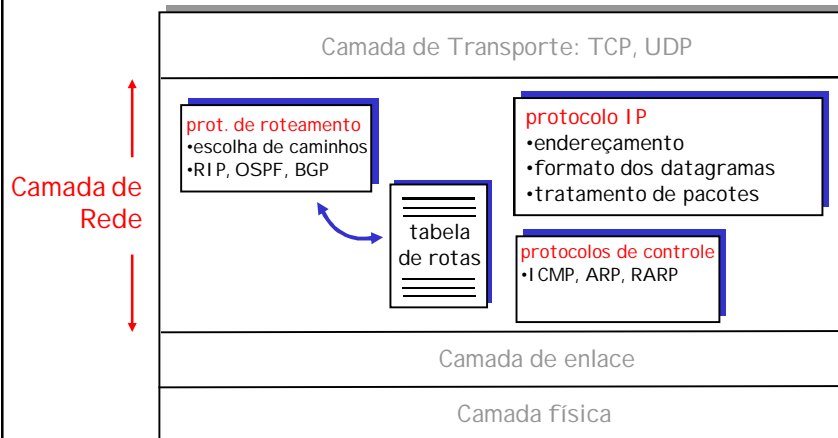
1

Camada de Rede

- A camada de rede tem o objetivo de fazer a transferência dos segmentos gerados na camada de transporte, da origem para o destino
- A camada de rede deve conhecer a topologia da sub-rede de comunicações e escolher os caminhos mais apropriados através dela

2

## Alguns protocolos da camada de Rede



3

## A Camada de Rede da Internet

- Como visto na figura anterior, a camada de Rede tem três componentes principais
  - O protocolo IP
  - Protocolos de roteamento → determina o caminho que um datagrama segue desde a origem até o destino.
  - Protocolos de controle → dispositivo para comunicação de erros em datagramas e para atender requisições de certas informações de camada de rede.

4

## A Camada de Rede da Internet

- O elemento que mantém a Internet unida é o protocolo IP (*Internet Protocol*)
  - Foi projetado tendo como objetivo a interconexão de redes
  - Fornece a melhor forma possível de transportar datagramas (nome dado a um pacote da camada de rede) da origem para o destino, independentemente das máquinas estarem na mesma rede ou de haver outras redes entre elas

5

## O Protocolo IP

- Entrega será feita com o “melhor esforço” (*best-effort*)
- No entanto, IP não garante que não haja:
  - Duplicação de pacotes
  - Entrega atrasada ou fora de ordem
  - Alteração de dados
  - Perda de pacotes
- Protocolos de outros níveis devem tratar desses problemas (p.ex o TCP da camada de transporte)

6

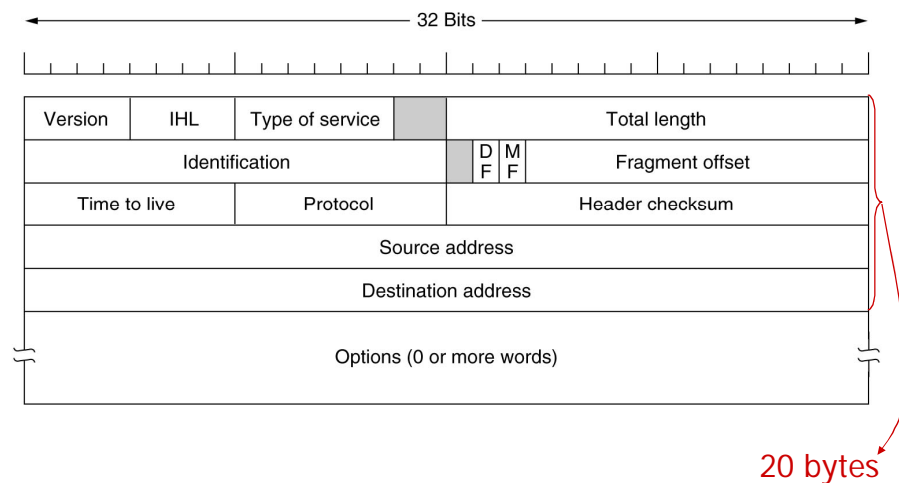
## O Protocolo IP

- IPv4 (versão corrente), ou simplesmente IP, permite um pacote de até 64 Kbytes
- O pacote IP consiste:
  - Cabeçalho
    - Fixa: 20 bytes
    - Opcional: tamanho variável
  - Carga útil

7

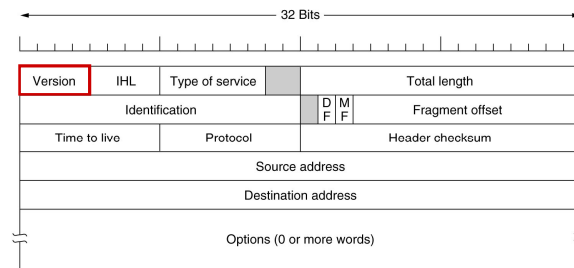
## O Protocolo IP

- O cabeçalho IPv4



## Formato do Pacote IP

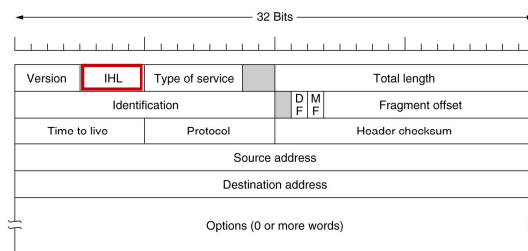
- Version (4 bits) → número de versão
  - Indica o número da versão corrente
  - Examinando este número, o roteador pode determinar como interpretar o restante do datagrama IP. Diferentes versões de IP usam diferentes formatos de datagramas.



9

## Formato do Pacote IP

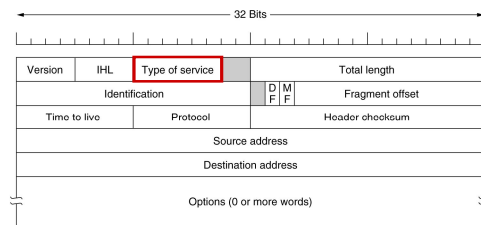
- IHL (4 bits) → Comprimento do cabeçalho
  - Como um datagrama IPv4 pode conter um número variável de opções, esses bits são necessários para determinar onde os dados realmente começam. A maior parte dos datagramas IP não contem opções; portanto, o datagrama IP típico tem um cabeçalho de 20 bytes



10

## Formato do Pacote IP

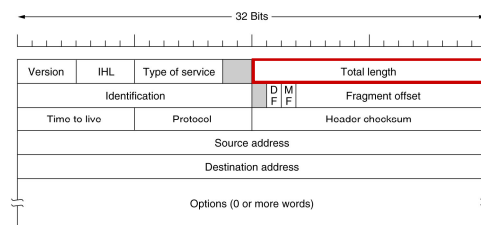
- Type of service (6 bits) → Tipo de serviço
  - Nota: no final dos anos 90, o IETF redefiniu o significado do campo para Serviços diferenciados (DiffServ)
  - Utilizado para diferenciar os tipos de datagramas (por exemplo, datagramas que requerem menor atraso ou maior vazão).
  - Especificar um nível de serviço em um datagrama não garante que os roteadores ao longo do caminho combinarão para honrar a requisição.



11

## Formato do Pacote IP

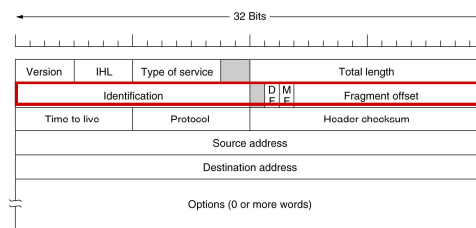
- Total Length (16 bits) → Comprimento do Datagrama
  - Tamanho, em bytes, de todo o pacote: cabeçalho + dados
  - Considerando o tamanho de 16 bits, o Valor máximo teórico do datagrama IP é de 65535 bytes. **Na prática, os datagramas raramente são maiores do que 1500 bytes.**



12

## Formato do Pacote IP

- Identificador (16 bits), Flags (Bit DF, Bit MF) e deslocamento de fragmentação (13 bits)
  - Usados na fragmentação e remontagem de pacotes IP



13

## Formato do Pacote IP

- Fragmentação:
  - Nem todos os protocolos da camada de enlace podem carregar pacotes do mesmo tamanho
  - Exemplo: Ethernet não pode carregar mais do que 1500 bytes de carga útil
  - Os pacotes para muitos enlaces de longa distância não podem carregar mais do que 576 bytes
  - A quantidade máxima de dados que um pacote da camada de enlace pode carregar é chamada de **unidade máxima de transferência (MTU)**

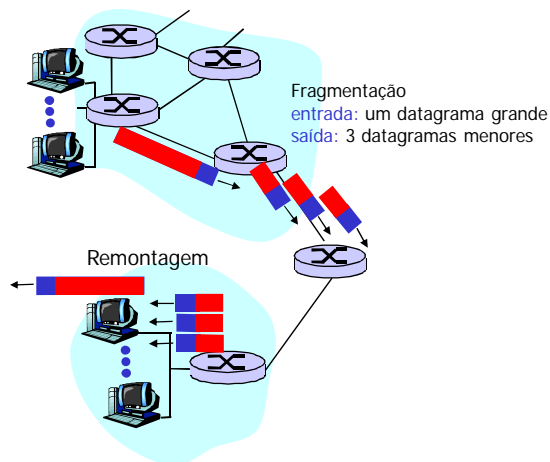
14

## Fragmentação de Pacotes IP

- Datagramas IP grandes devem ser divididos dentro da rede (fragmentados)
  - Um datagrama dá origem a vários datagramas (fragmentos)
  - “Remontagem” ocorre apenas no destino final
  - O cabeçalho IP é usado para identificar e ordenar datagramas relacionados
  - Se um ou mais fragmentos não chegarem ao destino, o datagrama será descartado e não será passado à camada de transporte

15

## Fragmentação de Pacotes IP



16



## Fragmentação de Pacotes IP

- Quando um datagrama é criado, o hospedeiro remetente marca o datagrama com um número de identificação
- O hospedeiro remetente incrementa o número de identificação para cada datagrama que envia

17

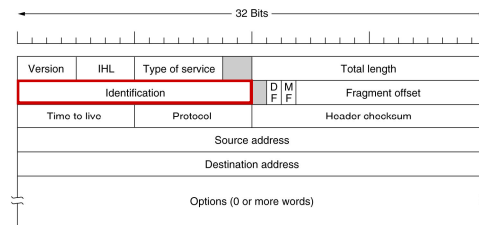
## Fragmentação de Pacotes IP

- Normalmente, a aplicação que utiliza TCP/IP não se importa com a fragmentação, pois tanto a fragmentação quanto a remontagem são procedimentos automáticos, que ocorrem em um nível baixo no Sistema Operacional, invisível aos usuários finais. Porém, para testar o software de internet ou depurar problemas operacionais, pode ser importante testar os tamanhos dos datagramas para os quais ocorre a fragmentação.

18

## Formato do Pacote IP

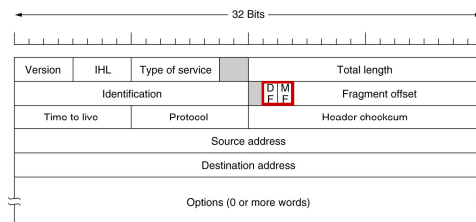
- Identification (16 bits) → Identificação
  - Identifica o datagrama ou o fragmento de um datagrama
  - Usado pelo destinatário para remontagem
  - Todos os fragmentos de um datagrama contêm o mesmo valor de Identificação



19

## Formato do Pacote IP

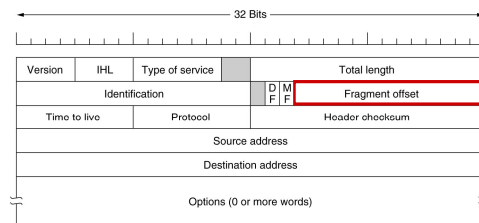
- Bit DF (*don't fragment*):
  - Indica que o pacote não deve ser fragmentado
- Bit MF (*more fragments*):
  - Todos os fragmentos de um datagrama, exceto o último, marcam este bit



20

## Formato do Pacote IP

- Fragment Offset (13 bits) → Deslocamento de Fragmentação
  - Indica onde o fragmento se encaixa dentro do datagrama
  - A carga útil de cada fragmento, exceto o último, deve ser múltiplo de 8 (esta especificação é utilizada para economizar espaço no cabeçalho)



21

## Fragmentação de Pacotes IP – Exemplo

- Segmento de 3.980 bytes em uma rede com MTU de 1500 bytes

T. length	ID	MF	offset
=4000	=x	=0	=0

Um grande datagrama se torna vários datagramas menores

T. length	ID	MF	offset
=1500	=x	=1	=0
T. length	ID	MF	offset
=1500	=x	=1	=185
T. length	ID	MF	offset
=1040	=x	=0	=370

Significa que o byte deve ser inserido a partir do byte 1480 →  $185 \times 8$

22

## Fragmentação de Pacotes IP

- A fragmentação e a remontagem colocam uma carga adicional sobre os roteadores e sobre os hosts, responsáveis pela fragmentação e remontagem.
  - É desejável que se minimize a quantidade de fragmentação
  - Limita-se os segmentos TCP e UDP a tamanhos relativamente pequenos de modo que a fragmentação dos datagramas seja pouco provável
  - Todos os protocolos suportados pelo IP têm MTU de, no mínimo, 576 bytes

23

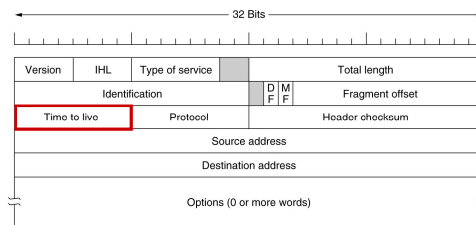
## Momento Reflexão

- Considere um datagrama original transportando 1.400 bytes de dados (carga útil). Considere, também, que a MTU da rede seja de 620 bytes (considere os cabeçalhos de 20 bytes)
  - Pede-se: as informações presentes nos campos **MF** e **fragment Offset** para cada um dos datagramas fragmentados.

24

## Formato do Pacote IP

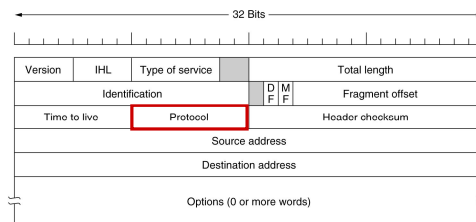
- Time To Live (8 bits) → Tempo de vida
  - Contador usado para limitar a vida útil dos pacotes. Usado para garantir que datagramas não fiquem circulando para sempre na rede.
  - Esse campo é decrementado de uma unidade cada vez que o datagrama é processado por um roteador. Se o campo TTL chegar a 0, o datagrama deve ser descartado.



25

## Formato do Pacote IP

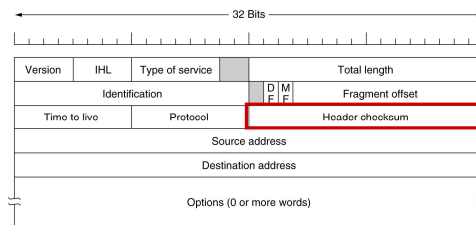
- Protocolo (8 bits):
  - Indica o protocolo de nível superior para o qual deve-se passar o pacote



26

## Formato do Pacote IP

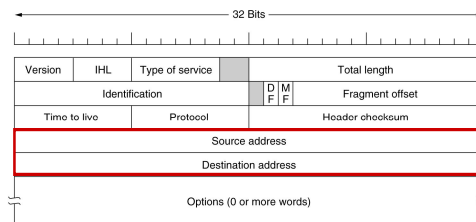
- Header Checksum (16 bits) → Soma de verificação do cabeçalho
  - Total de verificação do cabeçalho
  - Deve ser calculado novamente em cada roteador porque o campo Time To Live sempre se altera



27

## Formato do Pacote IP

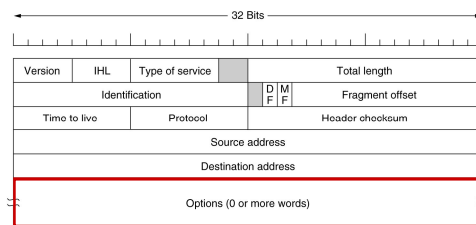
- Source Address (32 bits) e Destination Address (32 bits)
  - Endereços IP dos hosts de origem e destino



28

## Formato do Pacote IP

- Options:
  - Forma de incluir informações não presentes na versão. A intenção é que as opções de cabeçalho sejam usadas raramente.



29

## Momento Reflexão

Marque V ou F e justifique

- ☐ A carga útil do datagrama é de 84 bytes
- ☐ O protocolo da camada superior (transporte) é o TCP
- ☐ Este pacote será descartado caso ele passe por mais de 9 roteadores
- ☐ O campo Fragment offset permite garantir que este datagrama não foi fragmentado

```
Version: 4
Header length: 20 bytes
D Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP)
Total Length: 84
Identification: 0x32d8 (13016)
D Flags: 0x00
Fragment offset: 0
Time to live: 9
Protocol: ICMP (0x01)
D Header checksum: 0x2524 [correct]
Source: 192.168.1.102 (192.168.1.102)
Destination: 128.59.23.100 (128.59.23.100)
```

30

## Endereços IPv4

- Na Internet, cada host e cada roteador tem um endereço IP
- Um endereço IP identifica uma interface de rede (se um host tiver duas interfaces de redes, ele precisará de dois endereços IP)
- É um número binário único de 32 bits (teoricamente 4.294.967.296 endereços)
- Usados nos campos *Source Address* e *Destination Address* do cabeçalho do datagrama
- Auxilia no roteamento

31

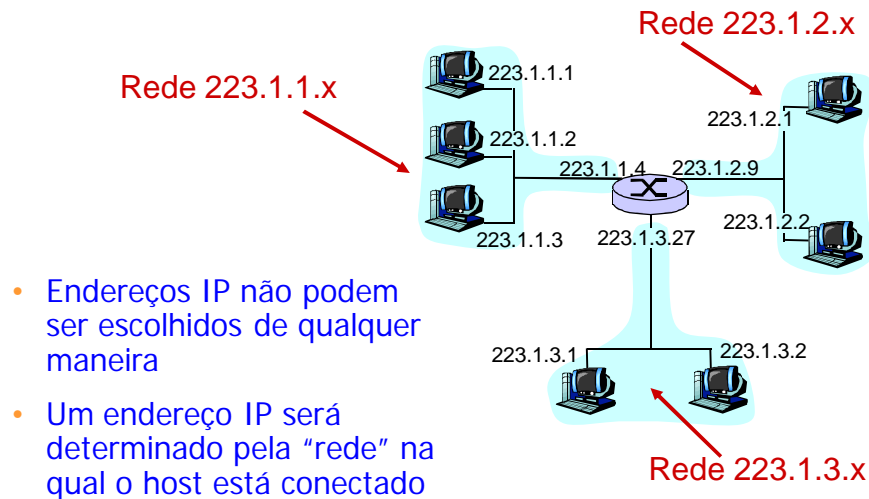
## Notação decimal com ponto

- Quando comunicado aos humanos, os endereços IP são escritos como quatro inteiros decimais separados por pontos decimais.
- Assim, o endereço de 32 bits  
10000000 00001010 00000010 00011110  
é escrito como  
128.10.2.30

32



## Endereços IP



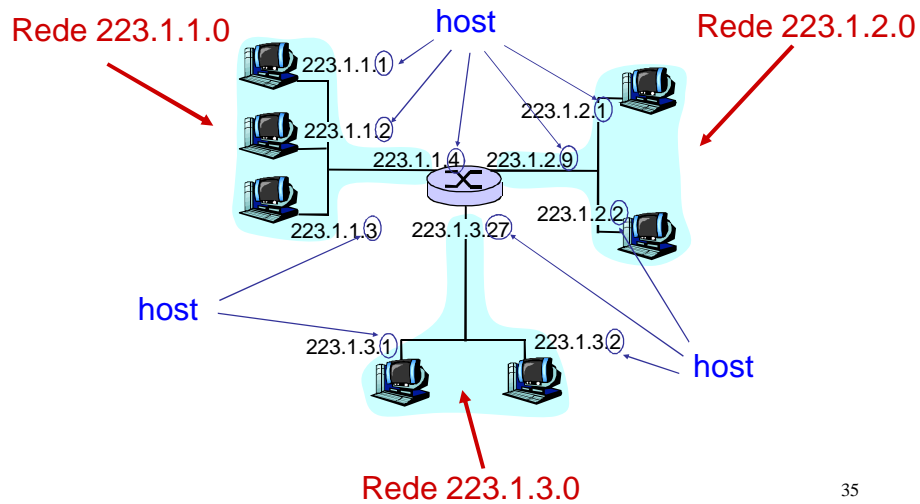
33

## Endereços IP

- O endereço IP é dividido em duas partes:
  - Prefixo:
    - Identifica a rede física na qual o computador se encontra (número de rede)
    - Controlado globalmente
  - Sufixo:
    - Identifica o host na rede
    - Controlado localmente

34

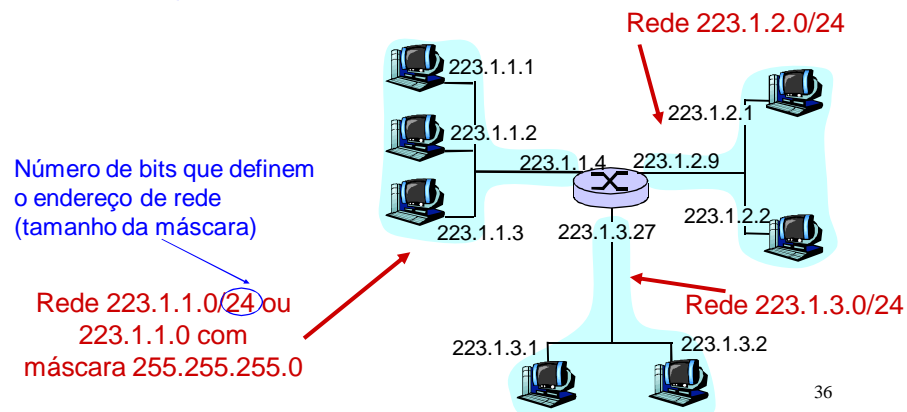
## Endereços IP



35

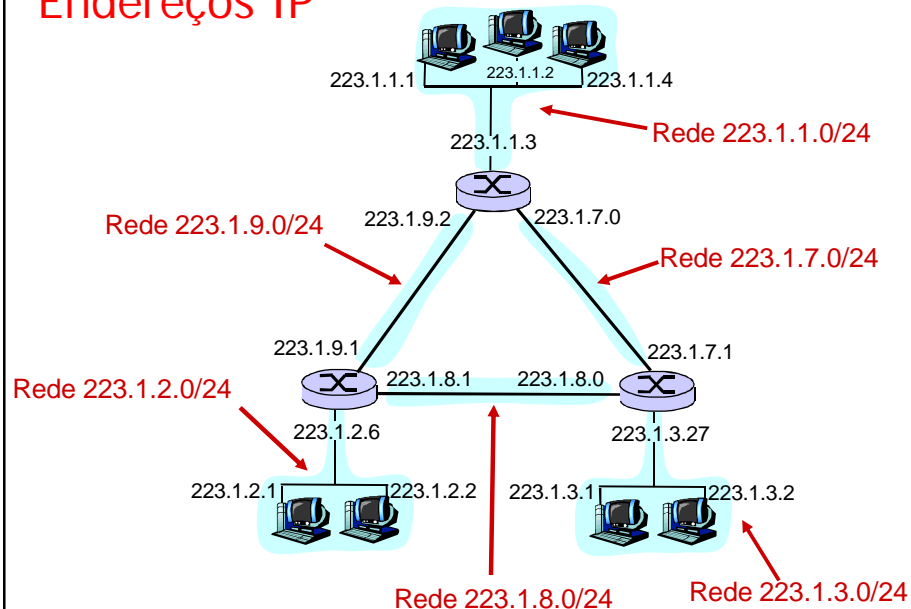
## Endereços IP

- Máscara da rede:
  - Mostra a divisão entre endereço de rede e endereço de host



36

## Endereços IP



## Endereçamento de Classe Completo Classfull

(ou classful como encontrado na maioria dos casos)

- A arquitetura de endereçamento original da Internet define classes de endereços

<div><div></div><div>32 Bits</div><div></div></div>				
Class	<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>			

## Endereçamento de Classe Completo

- Espaço de Endereçamento:

Classe	Primeiros bits	Núm. de redes	Número de hosts	Máscara padrão
A	0	126	16.777.214	255.0.0.0
B	10	16.382	65.534	255.255.0.0
C	110	2.097.150	254	255.255.255.0
D	1110	Utilizado para tráfego Multicast		
E	1111	Reservado para uso futuro		

39

## Endereçamento de Classe Completo

- Endereço 0.0.0.0 é usado pelos hosts quando eles estão sendo inicializados
- Endereços IP que têm 0 como número de rede se referem à rede atual

40

## Endereçamento de Classe Completo

- Difusão:
  - Endereço com todos os dígitos 1 permite a difusão na rede local
  - Endereços com um número de rede apropriado e com todos os dígitos do host 1 permite difusão em LAN distantes
- Endereços da forma 127.x.y.z são reservados para teste de *loopback*
  - Pacotes enviados para esse endereço não são transmitidos, eles são processados localmente e tratados como pacotes de entrada
  - Desperdício de 16.777.216 endereços IP

41

## Resumo de endereços IP Especiais

0 0	Endereço de origem inicial
0 0    ...    0 0    Host	Um host nesta rede
1 1	Broadcast na rede local
Network    1 1 1 1    ...    1 1 1 1	Broadcast em uma rede distante
127    (Anything)	Loopback

42

## Prefixos de endereços IP Reservados

- O IETF reservou diversos prefixos de endereço e recomenda usá-los nas redes privadas, para evitar conflitos com os endereços usados na Internet global. (Nota: caso não se trabalhe em todos os hosts com endereços válidos na rede global \$\$\$)
- Os prefixos reservados nunca serão atribuídos a redes na Internet.
- Coletivamente os prefixos são conhecidos como endereços privados ou não-roteáveis. Se um datagrama enviado a um desses endereços por acidente alcançar a Internet, haverá um erro.

43

## Prefixos de endereços CIDR Reservados para redes privadas

Prefixo	Endereço mais baixo	Endereço mais alto
10.0.0.0/8	10.0.0.0	10.255.255.255
172.16.0.0/12	172.16.0.0	172.31.255.255
192.168.0.0/16	192.168.0.0	192.168.255.255
169.254.0.0/16	169.254.0.0	169.254.255.255

- *O último bloco de endereços é incomum porque é usado por sistemas que auto-configuram endereços IP*

44

## Momento Reflexão

1. Considere que sua empresa possua 300 computadores e você tenha adquirido o seguinte endereço de rede IP: 130.211.0.0/16

Pergunta-se:

- a) A que classe este endereço pertence?
- b) Qual o endereço da máscara para esta rede?
- c) Quantos endereços IPs sobrarão?
- d) Seria possível, para esta rede, utilizar um endereço classe C? Sim, Não e por quê?

**O QUE FAZER?????**

45

## Conceitos de sub-redes e classless

46

## Motivação para flexibilização de endereçamento IP

- A prática de organizar o espaço de endereços por classes faz com que milhões deles sejam desperdiçados
  - Organização em classes:
    - Classe A: 128 redes de 16.777.216 hosts
    - Classe B: 16.384 redes de 65.536 hosts
    - Classe C: 2.097.152 redes de 256 hosts
  - Um endereço classe B é grande demais para a maioria das organizações e um classe C é pequeno demais
  - Mais da metade de todas as redes da classe B tem menos de 50 hosts

47

## Sub-redes

- Todos os hosts de uma rede devem ter o mesmo endereço de rede
- Inicialmente:
  - Um único endereço da classe A, B ou C se refere a uma única rede
- À medida que mais e mais organizações se conectavam à rede:
  - Foi necessário permitir que uma rede fosse dividida em diversas partes para uso interno, mas externamente continuasse a funcionar como uma única rede

48



## Sub-redes

- Uma rede pode ser dividida em diversas partes
- As partes da rede são chamadas sub-redes
  - Alguns bits são retirados do número do host para criar um número de sub-rede
  - Número de bits em uma rede Classe B:

	Sem Sub-rede	Com Sub-rede
Fixo	2	2
Rede	14	14
Sub-rede	0	X
Host	16	16-X

49

## Sub-redes

- Exemplo de uma Universidade
  - Classe B
  - 35 departamentos
  - 64 redes Ethernet, cada uma com o máximo de 1022 hosts (0 e -1 não estão disponíveis)

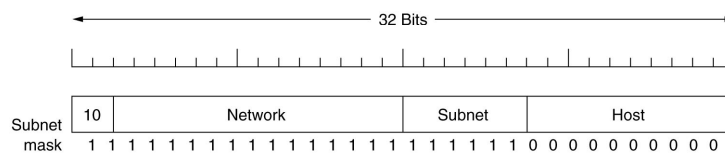
bits	2	14	16
	10	Rede	Host

bits	2	14	6	10
	10	Rede	Sub-rede	Host

50

## Sub-redes

- Uma **máscara** (*netmask*) indica a divisão entre o número de rede + sub-rede e o host
- Exemplo:



- Máscara: 255.255.252.0 ou /22

51

## Sub-redes

- Exemplo: rede 130.50.0.0 e máscara de sub-rede 255.255.252.0 ou /22
  - Sub-rede 0: 130.50.0.1 a 130.50.3.254
    - 10000010 00110010 000000 | 00 00000001 a
    - 10000010 00110010 000000 | 11 11111110
  - Sub-rede 1: 130.50.4.1 a 130.50.7.254
    - 10000010 00110010 000001 | 00 00000001 a
    - 10000010 00110010 000001 | 11 11111110
  - Sub-rede 2: 130.50.8.1 a 130.50.11.254
    - 10000010 00110010 000010 | 00 00000001 a
    - 10000010 00110010 000010 | 11 11111110
  - Sub-rede 3: 130.50.12.1 a 130.50.15.254
    - 10000010 00110010 000011 | 00 00000001 a
    - 10000010 00110010 000011 | 11 11111110

52

## Sub-redes

- Fora da rede, a divisão em sub-redes não é visível
- A alocação de uma nova sub-rede não exige a mudança de quaisquer bancos de dados externos

53

## Momento Reflexão - Exercício 1

- Dividir a seguinte rede classe C:  
192.45.32.0/255.255.255.0. São necessárias  
pelos menos 10 sub-redes. Pede-se:
  - Quantos bits serão necessários para fazer a divisão e obter pelo menos 10 sub-redes?
  - Quantos números IP (hosts) estarão disponíveis em cada sub-rede?
  - Qual a nova máscara de sub-rede?
  - Listar a faixa de endereços de cada sub-rede.

54

## Momento Reflexão - Exercício 2

- Dividir a seguinte rede classe B:  
150.100.0.0/255.255.0.0. São necessárias,  
pelo menos, 20 sub-redes. Pede-se:
  - Quantos bits serão necessários para fazer a divisão e obter pelo menos 20 sub-redes?
  - Quantos números IP (hosts) estarão disponíveis em cada sub-rede?
  - Qual a nova máscara de sub-rede?
  - Listar a faixa de endereços de cada sub-rede.

55

## Estendendo o conceito de sub-rede

- Endereçamento sem classes: CIDR  
(*Classless Interdomain Routing*)
  - Alocar os endereços IP restantes em blocos de tamanho variável, sem levar em consideração as classes
  - Elimina o conceito tradicional de redes classes A, B e C (daí o nome classless).

56

## Estendendo o conceito de sub-rede → CIDR

- O endereçamento classless trata os endereços IP como inteiros quaisquer e permite que um administrador de rede particione endereços em blocos contíguos, nos quais o número de endereços em um bloco é uma potência de dois.
- Um modo de pensar nos endereços classless é como se cada cliente de um ISP obtivesse uma sub-rede do bloco CIDR do ISP.

57

## Estendendo o conceito de sub-rede → CIDR

**Exemplo 1** → Se um cliente requer 800 endereços de hosts, em vez de lhe ser atribuído um endereço Classe B (e portanto desperdiçar ~64700 endereços) ou quatro Classes C's individuais (e introduzir 4 novas rotas nas tabelas de roteamento da Internet global), poderia lhe ser atribuído um bloco de endereços /22 (que corresponde a 1024 endereços IP ou 4 redes /24 contíguas).

Bloco do ISP: 11001110.00000000.01000000.00000000 206.0.64.0/18  
 Bloco de cliente: 11001110.00000000.01000100.00000000 206.0.68.0/22  
 Classe C #0: 11001110.00000000.01000100.00000000 206.0.68.0/24  
 Classe C #1: 11001110.00000000.01000101.00000000 206.0.69.0/24  
 Classe C #2: 11001110.00000000.01000110.00000000 206.0.70.0/24  
 Classe C #3: 11001110.00000000.01000111.00000000 206.0.71.0/24

58

## Como os pacotes IP são processados em um roteador?

59

## Roteamento de Pacotes IP

- Cada roteador mantém uma tabela de roteamento
  - A tabela é inicializada quando o roteador é ligado e deve ser atualizada se a topologia muda ou há uma falha de hardware
  - Cada entrada da tabela especifica um destino e o próximo roteador a ser usado para alcançar esse destino
  - Cada roteador só precisa manter entradas para as outras redes e para os hosts locais

60

## Roteamento de Pacotes IP

- Quando um pacote IP é recebido, procura-se pela entrada cujo endereço case com o AND entre a sua máscara e o endereço de destino do pacote IP
  - Se o destino for de uma rede distante, o pacote será encaminhado para o próximo roteador da interface fornecida na tabela
  - Se o destino for um host local, o pacote será enviado diretamente
  - Se a rede do destino não estiver presente na tabela, o pacote será enviado para um roteador predefinido que tenha tabelas maiores (*default gateway*)

61

## Roteamento de Pacotes IP

- Endereço de destino x *Next-hop*
  - Endereço de destino indica para quem deve ser entregue o pacote
  - Endereço de *Next-hop* indica para que roteador o pacote deve ser enviado
  - *Next-hop* não aparece no pacote

62

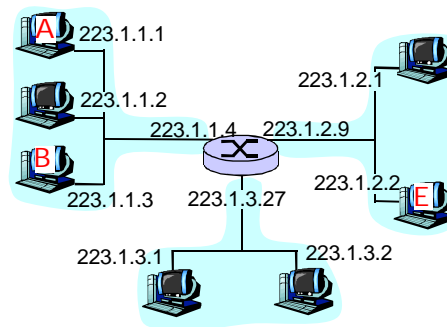
## Roteamento de Pacotes IP – Exemplo

- A deseja enviar uma mensagem para B

datagrama IP:

outros campos	endereço IP origem	endereço IP destino	dados
---------------	--------------------	---------------------	-------

- Os endereços do datagrama não mudam ao viajar da fonte ao destino



63

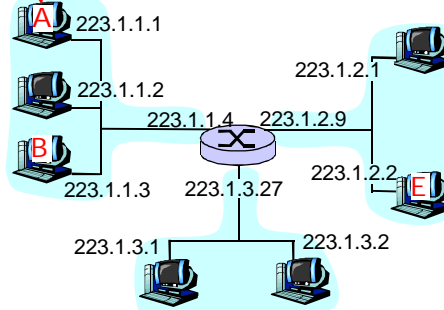
## Roteamento de Pacotes IP – Exemplo

outros campos	223.1.1.1	223.1.1.3	dados
---------------	-----------	-----------	-------

- Começando em A, levar datagrama IP para B:
  - 223.1.1.3 AND 255.255.255.0 casa com 223.1.1.0
  - B está na mesma rede de A
  - Camada de enlace envia datagrama diretamente para B em um quadro da camada de enlace

Tabela de roteamento em A

Rede destino	próx. roteador	Núm. saltos
223.1.1.0/24		1
223.1.2.0/24	223.1.1.4	2
223.1.3.0/24	223.1.1.4	2



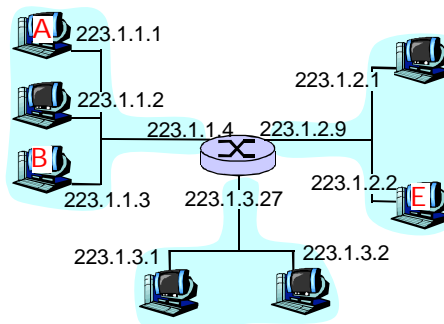
64



## Roteamento de Pacotes IP – Exemplo

- A deseja enviar uma mensagem para E

outros	223.1.1.1	223.1.2.2	dados
campos			



65

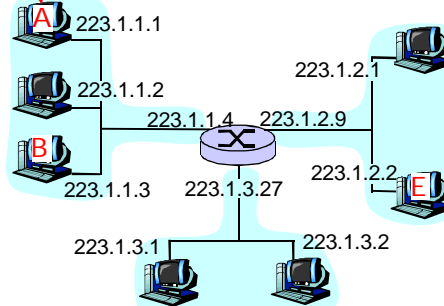
## Roteamento de Pacotes IP – Exemplo

Tabela de roteamento em A

Rede destino	próx. roteador	Núm. saltos
223.1.1.0/24		1
223.1.2.0/24	223.1.1.4	2
223.1.3.0/24	223.1.1.4	2

outros	223.1.1.1	223.1.2.2	dados
campos			

- Começando em A:
  - 223.1.2.2 AND 255.255.255.0 casa com 223.1.2.0
  - Próximo roteador para E é 223.1.1.4
  - Datagrama chega em 223.1.1.4

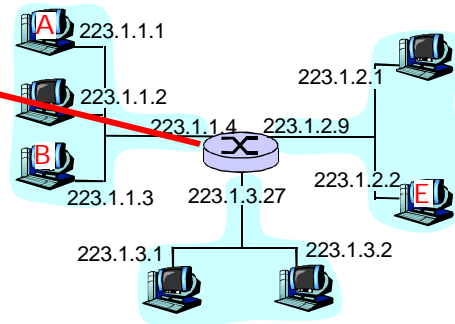


66

## Roteamento de Pacotes IP – Exemplo

Tabela de roteamento no roteador

Rede destino	Próx. roteador	Núm. saltos	Endereço Interface
223.1.1.0/24	-	1	223.1.1.4
223.1.2.0/24	-	1	223.1.2.9
223.1.3.0/24	-	1	223.1.3.27



- No roteador
  - 223.1.2.2 AND 255.255.255.0 casa com 223.1.2.0
  - Está na mesma rede da interface 223.1.2.9 do roteador
    - Roteador e E estão diretamente ligados
  - Envia o datagrama para 223.1.2.2 através da interface 223.1.2.9

67

## Exemplo de tabela de roteamento no host

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Documents and Settings\user>route print

=====
Lista de interfaces
0x1 ..... MS TCP Loopback interface
0x2 ...00 19 7d f6 d7 58 ..... Atheros AR5006X Wireless Network Adapter - Mini
0x3 ...00 16 36 fc 6a 2d ..... Realtek RTL8139 Family PCI Fast Ethernet NIC
0x4 ..... Miniporta do agendador de pacotes
=====
Rotas ativas:
Endereço de rede      Máscara      Ender. gateway      Interface      Custo
0.0.0.0               0.0.0.0       192.168.0.1         192.168.0.115  25
127.0.0.0             255.0.0.0     127.0.0.1           127.0.0.1      1
192.168.0.0           255.255.255.0 192.168.0.115       192.168.0.115  25
192.168.0.115         255.255.255.255 127.0.0.1           127.0.0.1      25
192.168.0.255         255.255.255.255 192.168.0.115       192.168.0.115  25
224.0.0.0             240.0.0.0     192.168.0.115       192.168.0.115  25
255.255.255.255       255.255.255.255 192.168.0.115       10000          1
255.255.255.255       255.255.255.255 192.168.0.115       192.168.0.115  1
Gateway padrão:      192.168.0.1
=====
Rotas persistentes:
Nenhuma
```

## Momento Reflexão

Um roteador tem as seguintes entradas em sua tabela de roteamento:

Endereço/máscara	Próximo hop
135.46.56.0/22	Interface 0
135.46.60.0/22	Interface 1
192.53.40.0/23	Roteador 1
padrão	Roteador 2

Para cada um dos endereços IP a seguir, o que o roteador fará se chegar um pacote com esse endereço?

- a) 135.46.63.10                      b) 135.46.57.14
- c) 135.46.52.2                      d) 192.53.40.7
- e) 192.53.56.7

69

## Agregação de Endereços IP

- Em roteadores distantes, endereços associados à mesma linha de saída são agregados
- Agregação é muito utilizada em toda a Internet para reduzir o tamanho das tabelas de roteamento

70

## Agregação de Endereços IP

Universidade	1º endereço	Último endereço	Escrito como
Cambridge	194.24.0.0	194.24.7.255	194.24.0.0/21
Edinburgh	194.24.8.0	194.24.11.255	194.24.8.0/22
Oxford	194.24.16.0	194.24.31.255	194.24.16.0/20

	Endereço	Máscara
Cam.	11000010 00011000 00000000 00000000	11111111 11111111 11111000 00000000
Edi.	11000010 00011000 00001000 00000000	11111111 11111111 11111100 00000000
Oxf.	11000010 00011000 00010000 00000000	11111111 11111111 11110000 00000000

- Estas três entradas podem ser agrupadas em 194.24.0.0/19:
  - Endereço: 11000010 00011000 00000000 00000000
  - Máscara: 11111111 11111111 11110000 00000000

71

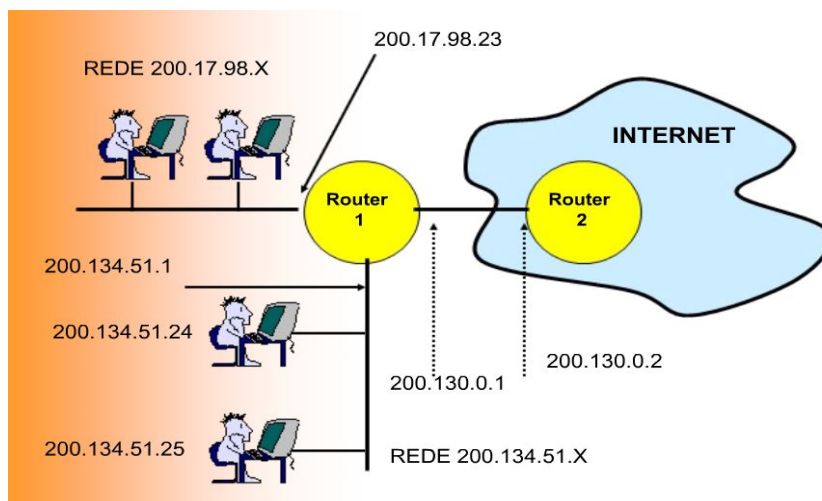
## Momento Reflexão

Um roteador acabou de receber estes novos endereços IP: 57.6.96.0/21, 57.6.104.0/21, 57.6.112.0/21 e 57.6.120.0/21. Se todos usarem a mesma linha de saída, eles poderão ser agregados? Em caso afirmativo, a quê? Em caso negativo, por que não?

72

Pede-se: As tabelas de roteamento do  
(1) host 200.134.51.24 e (2) Router 1

Fonte: <http://www.wiziq.com>



Pede-se: As tabelas de roteamento do  
(1) host 200.134.51.24 e (2) Router 1

Formato

Rede de destino	Gateway	Interface

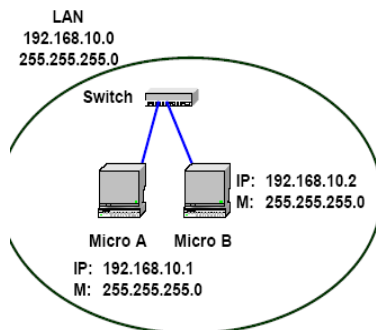
## NAT

- O IP está ficando sem endereços válidos
- Solução:
  - NAT: *Network Address Translation*
  - Atribuir a cada empresa um único endereço IP (ou, no máximo, um número pequeno deles) para tráfego na Internet
  - Dentro da empresa, todo computador obtém um endereço IP exclusivo, usado para roteamento interno
  - Quando um pacote sai da empresa e vai para o ISP, ocorre uma conversão de endereço

75

## NAT

Os IP's da rede são reservados, inválidos ou não roteáveis



Como prover acesso à Internet para esta rede?

76

## NAT

- Para tornar o NAT possível, deve-se utilizar os intervalos de endereços IP declarados como privados: (já visto no slide 47)
  - 10.0.0.0 a 10.255.255.255/8 (16.777.216 hosts)
  - 172.16.0.0 a 172.31.255.255/12 (1.048.576 hosts)
  - 192.168.0.0 a 192.168.255.255/16 (65.536 hosts)
- As empresas podem utilizar esta faixa de endereços internamente

77

## Funcionamento do NAT

- Dentro das instalações da empresa, toda máquina tem um endereço exclusivo da forma *10.x.y.z*
- Quando um pacote deixa as instalações da empresa, ele passa por uma caixa NAT que converte o endereço interno (exemplo 10.0.0.1) no endereço IP verdadeiro da empresa (exemplo 198.60.42.12)
- Quando a resposta volta, ela é endereçada ao IP verdadeiro (198.60.42.12), como a caixa NAT sabe por qual endereço deve substituir o endereço da resposta?

78

## Funcionamento do NAT

- Utilizam o campo de porta do UDP ou do TCP
- Sempre que um pacote de saída entra na caixa NAT, o endereço de origem *10.x.y.z* é substituído pelo endereço IP verdadeiro da empresa
- O campo **porta de origem** do TCP ou UDP é substituído por um índice para a tabela de conversão de entradas da caixa NAT
- Essa entrada de tabela contém a porta de origem e o endereço IP original

79

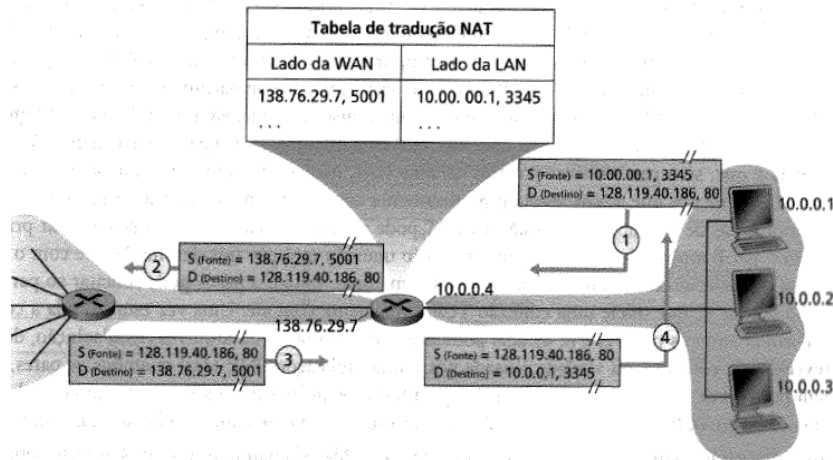
## Funcionamento do NAT

- Quando um pacote chega ao NAT vindo do ISP (provedor), o campo **porta de destino** do cabeçalho do TCP é extraído e usado como índice para a tabela de mapeamento da caixa NAT
- A partir da entrada localizada, o endereço IP interno e o campo **porta de origem** do TCP ou UDP original são extraídos e inseridos no pacote como endereço IP e **porta de destino**

80

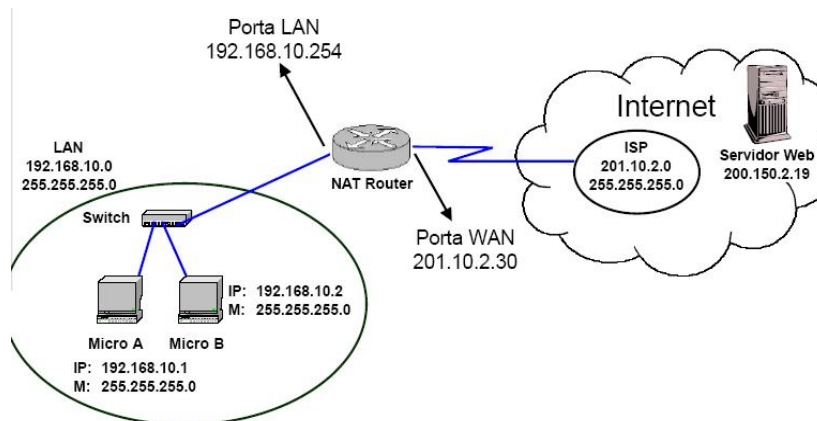


## Exemplo - 1 de acesso à Internet – NAT (Kurose)



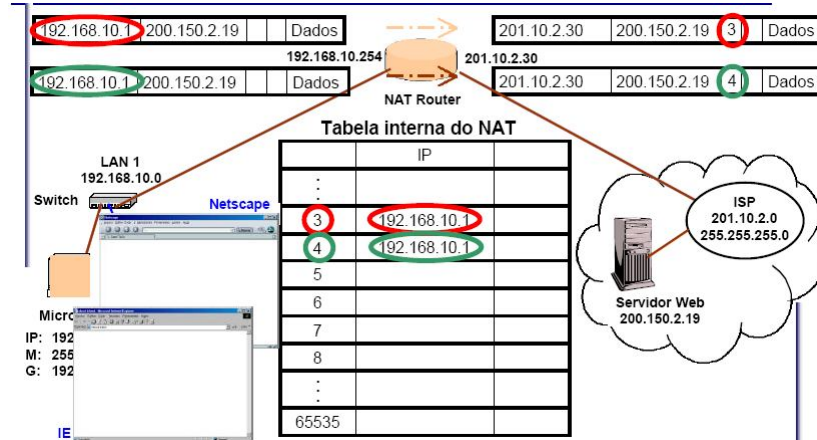
81

## Exemplo 2 - de acesso à Internet - NAT



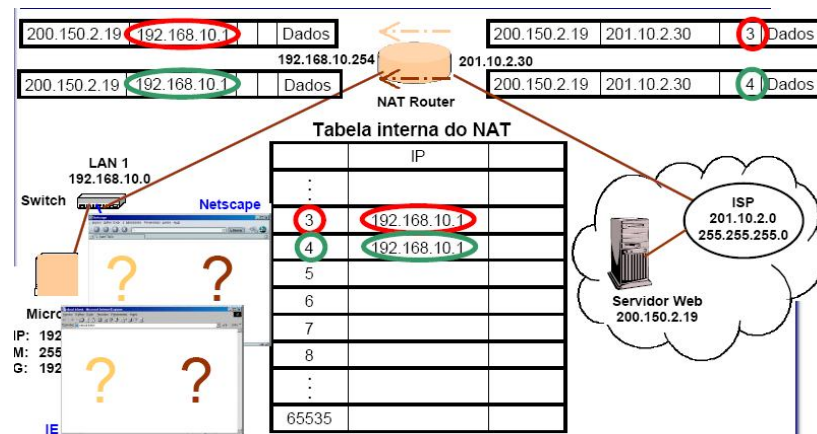
82

## A envia dois pacotes para servidor Web



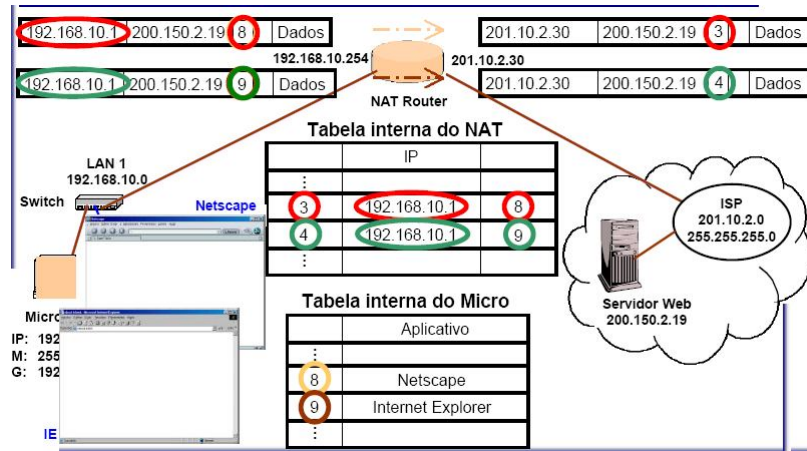
83

## Servidor Web responde para A



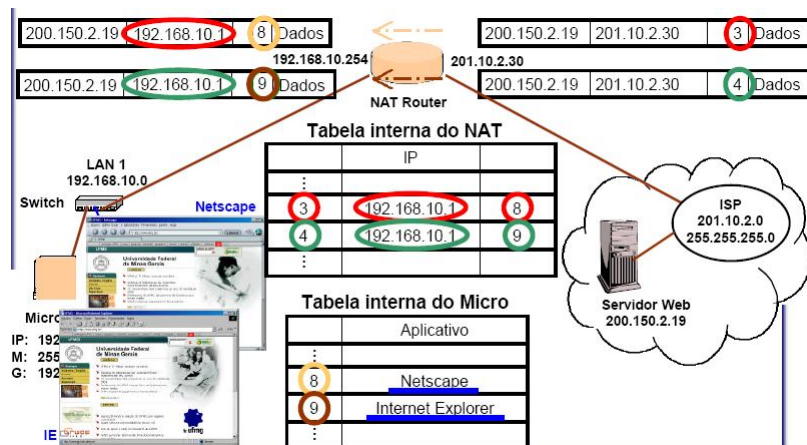
84

## A envia dois pacotes para servidor Web



85

## Servidor Web envia duas respostas para A



86

# NAT

- Algumas desvantagens
  - A NAT viola o modelo arquitetônico do IP que estabelece que todo endereço IP identifica de forma exclusiva uma única máquina em todo o mundo
  - Ela viola a regra mais fundamental da distribuição de protocolos em camadas: a camada  $k$  não pode fazer quaisquer suposições sobre o que a camada  $k+1$  inseriu no campo de carga útil
  - Os processos na Internet não são obrigados a usar o TCP ou o UDP

87

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\Users\MagnerJose>tracert www.google.com.br

Rastreando a rota para www.l.google.com [74.125.234.49]
com no máximo 30 saltos:

 1    3 ms    1 ms    1 ms    10.1.1.2
 2    *      *      *      Esgotado o tempo limite do pedido.
 3   35 ms   33 ms   33 ms   200.149.113.141
 4   64 ms   46 ms   63 ms   200.223.46.39
 5   46 ms   47 ms   46 ms   pos1-0-0-ptt-sp-roth-01.telemar.net.br [200.223.
254.170]
 6   49 ms   40 ms   45 ms   72.14.197.21
 7   79 ms   48 ms   50 ms   209.85.243.204
 8   47 ms   44 ms   46 ms   209.85.251.99
 9   45 ms   45 ms   49 ms   74.125.234.49

Rastreamento concluído.
C:\Users\MagnerJose>_

```

88