

SSC - 237

Redes de Alto Desempenho

2009

## Nas aulas passadas recentes ...

- ❑ Audio
- ❑ Vídeo
- ❑ Características de passagem de streams de mídia continua
  - Banda
  - Atraso
  - Jitter
  - Taxa de erro
  - Rajadas devidas ao corte de redundâncias, pelos métodos de compressão
- ❑ ATM
  - Circuito ou pacote?
  - Alocação estatística
  - CAC - controle de acesso
  - Tipos de interfaces disponíveis (CBR, VBR, ABR, UBR)

Nesta aula...

# Mecanismos de Controle de QoS – *Quality of Service*

Conteúdo originalmente produzido por

Luciana A. F. Martimiano e

Paulo Sérgio Lopes de Souza

*os slides desta aula foram adaptados do material desenvolvido pelo*

*Prof. Dr. José Augusto Suruagy Monteiro, disponível em:*

*<http://www.nuperc.unifacs.br/suruagy/redes/index.html>*

QoS

# Tópicos importantes em QoS em redes

- ❑ princípios do fornecimento de QoS
  - classificação (ou marcação) de pacotes
  - isolamento e regulação de fluxos
  - otimização de uso dos recursos
  - Mecanismos para aceitar/rejeitar chamadas
- ❑ mecanismos de escalonamento
  - marcação
  - fifo, filas de prioridade, *round-robin*, fila justa ponderada
- ❑ mecanismos de policiamento
  - regulação
  - algoritmo do balde furado
  - algoritmo do balde de símbolos (ou permissões)

# Tópicos importantes em QoS na Internet

## ❑ serviços integrados

- reserva recursos por fluxo
- Necessita de um sistema de controle de conexão
  - RSVP (*R*esource *re*SerVation *P*rotocol)

## ❑ serviços diferenciados

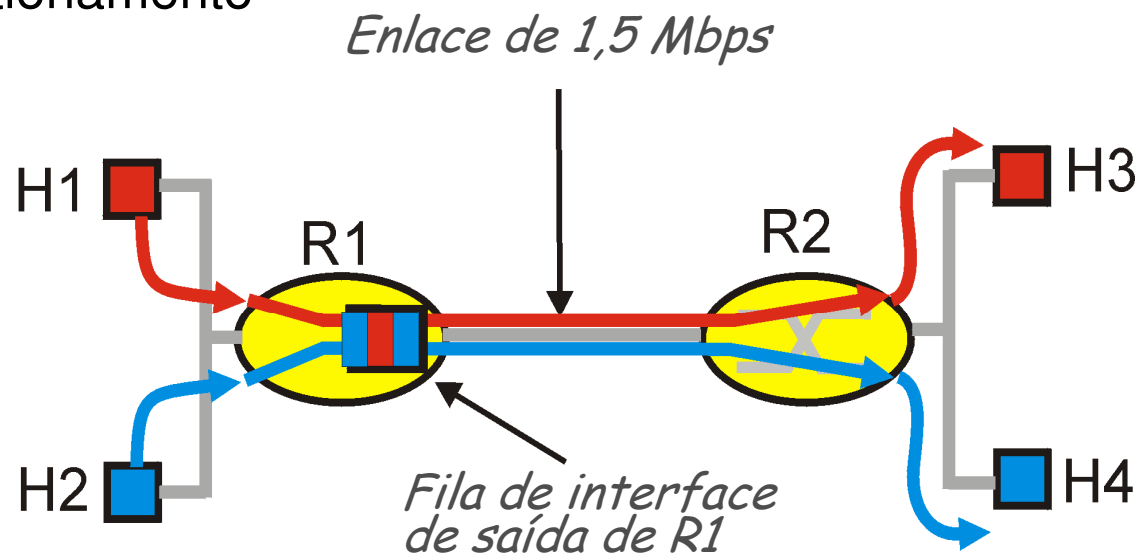
- não se preocupa com o fluxo, mas sim com as classes de serviços que enviam pacotes

# Provinha

- ❑ 3 videos de 500 MB, de fontes diferentes, devem ser distribuídos a 3 players conectados por uma rede que passa por 3 roteadores, que são responsáveis por vários outros fluxos e cuja capacidade total é 1Gbps. As resoluções dos vídeos são 180X360, 480X640 e 920X1440 - todos fluindo a 30fps e 14bpp. Mostre a diferença em qualidade e possíveis dificuldades de operação, se este sistema de distribuição usasse:
  - Integrated Services
  - Differentiated Services
- ❑ E...
  - Calcule o tempo total de apresentação dos vídeos
  - Qual a diferença, para a qualidade de apresentação dos fluxos, se houver ou não algum mecanismo de policiamento nos roteadores
  - Faça uma figura mostrando o sistema de transmissão

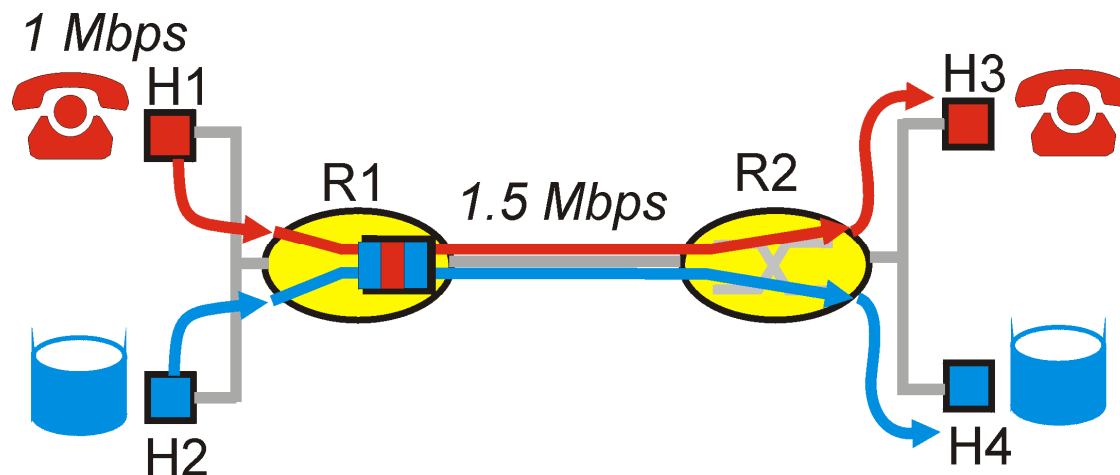
## Melhorando a QoS em redes IP

- ❑ grupos do IETF estão trabalhando para melhorar a QoS nas redes IP
  - objetivo: ir além do “melhor esforço”, fornecer algumas garantias à QoS
- ❑ trabalhos principais incluem:
  - serviços integrados e o protocolo RSVP (1995-1997)
  - serviços diferenciados (1999)
- ❑ ex.: considerar um modelo simples para estudos de compartilhamento e congestionamento



# Princípios para a garantia da QoS

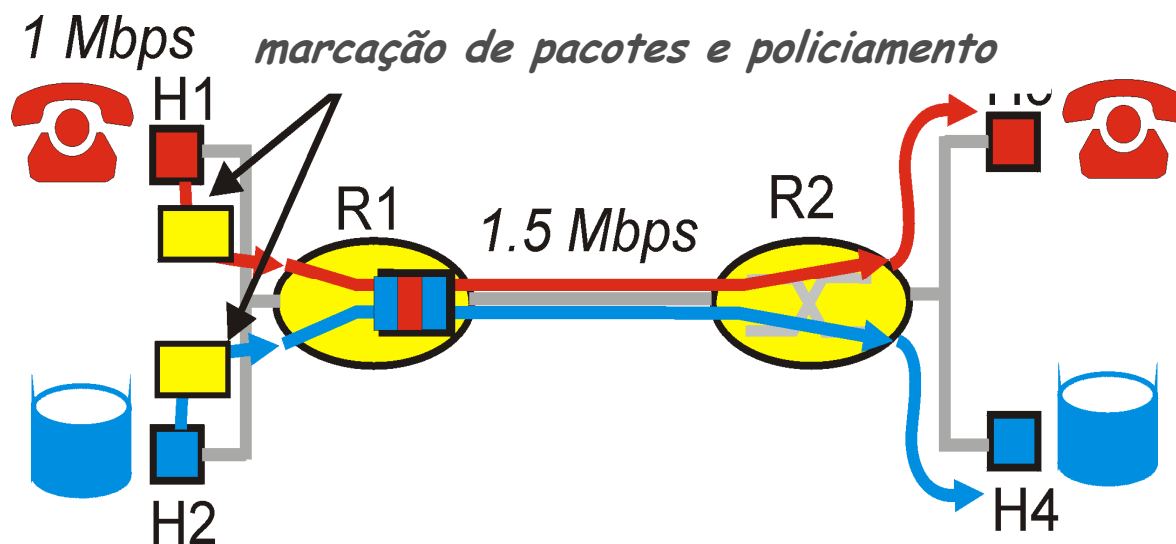
- ❑ considere uma aplicação de telefonia a 1Mbps e outra de FTP compartilhando um enlace de 1,5 Mbps
  - Rajadas da aplicação de FTP (como acontecem???) podem congestionar o roteador e causar perda de pacotes de áudio
  - Portanto, gostaríamos de dar prioridade ao tráfego de áudio sobre o de FTP
- ❑ **PRINCÍPIO 1:** É preciso marcar (portanto, classificar - escalonar) os pacotes para que o roteador faça uma distinção entre as classes diferentes; e uma nova política no roteador para tratar os pacotes de forma diferenciada: uma questão política





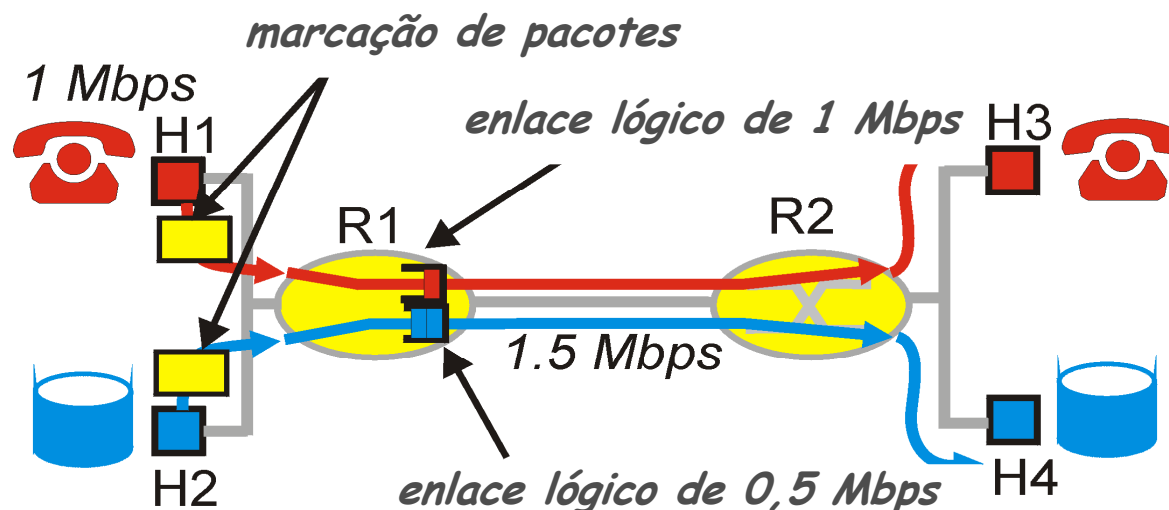
## Princípios para a garantia da QoS (cont.)

- ❑ aplicações podem *se comportar mal*
  - áudio envia pacotes a uma taxa maior do que os 1Mbps acordados
- ❑ **PRINCÍPIO 2: fornecer proteção (isolamento) de uma classe sobre as demais**
- ❑ requer **mecanismos de policiamento** para garantir que as fontes realmente aderem aos requisitos de largura de banda contratados
  - Classificação (escalonamento) e policiamento devem ser feitos na borda da rede



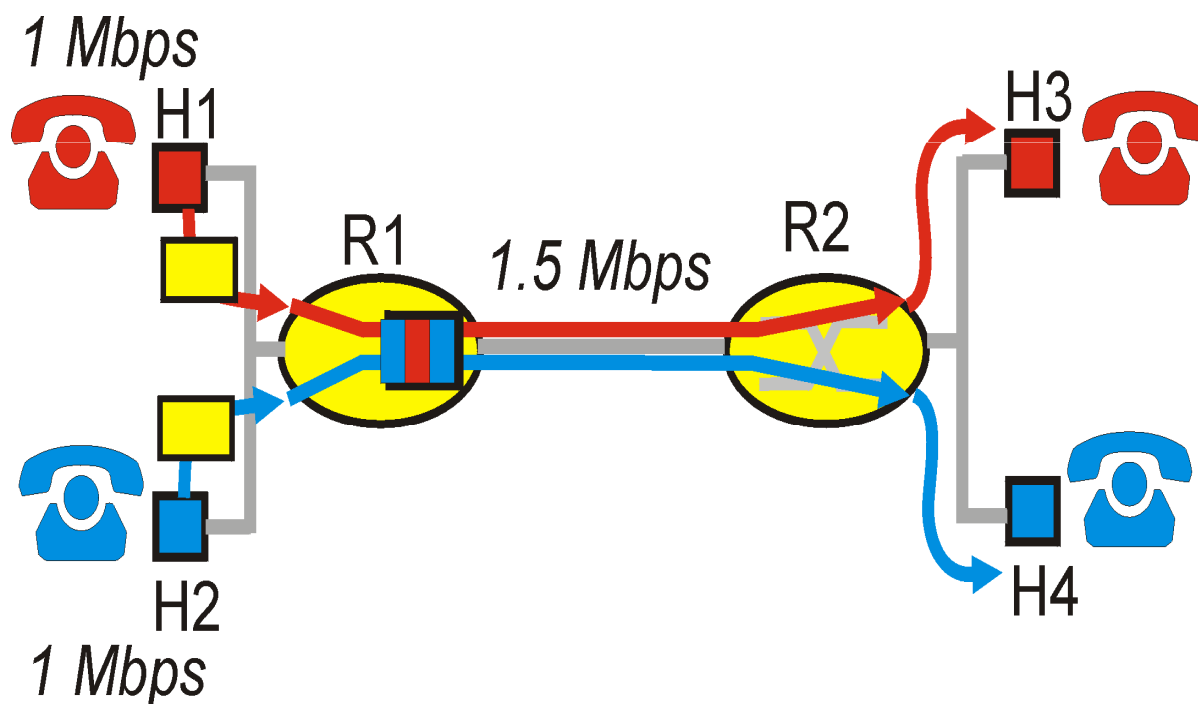
## Princípios para a garantia da QoS (cont.)

- alternativa à classificação e policiamento: alocar uma dada porção da largura de banda para cada fluxo das aplicações
- pode levar ao uso ineficiente da banda se um destes fluxos não utilizar o que lhe foi alocado
  - ex.: fluxo de áudio pode não usar os 1Mbps e o FTP não poderá usar a banda acima de 0,5Mbps (lembre-se das provinhas passadas)
- **PRINCÍPIO 3:** ao mesmo tempo em que se fornece isolamento, é desejável que os recursos sejam utilizados de forma eficiente



## Princípios para a garantia da QoS (cont.)

- ❑ não é possível atender a um tráfego superior à capacidade do enlace
- ❑ **PRINCÍPIO 4:** é preciso um “processo de admissão de chamadas”; o fluxo da aplicação declara as suas necessidades, a rede pode bloquear a chamada se não puder atendê-las



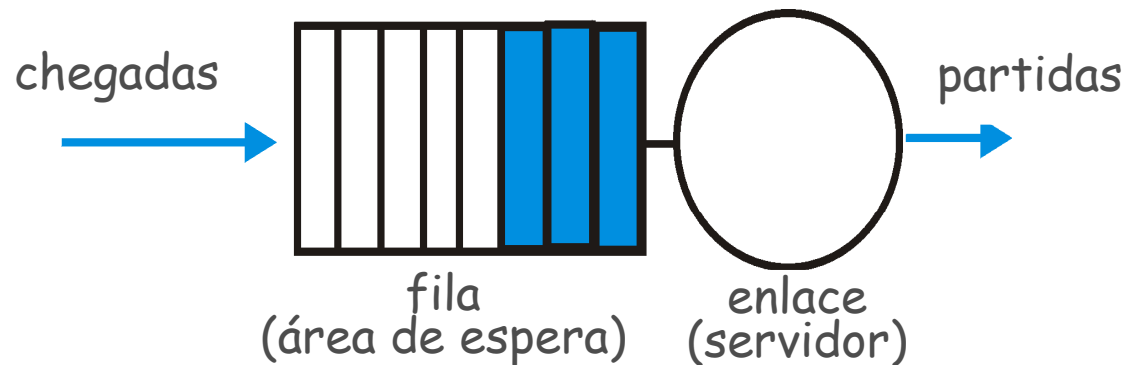
## Requisitos da QoS

- ❑ necessidades de cada fluxo podem ser caracterizadas por 4 parâmetros:
  - confiabilidade, atraso, variação de atraso (*jitter*) e largura de banda
- ❑ esses parâmetros definem a QoS que o fluxo exige

Application	Reliability	Delay	Jitter	Bandwidth
E-mail	High	Low	Low	Low
File transfer	High	Low	Low	Medium
Web access	High	Medium	Low	Medium
Remote login	High	Medium	Medium	Low
Audio on demand	Low	Low	High	Medium
Video on demand	Low	Low	High	High
Telephony	Low	High	High	Low
Videoconferencing	Low	High	High	High

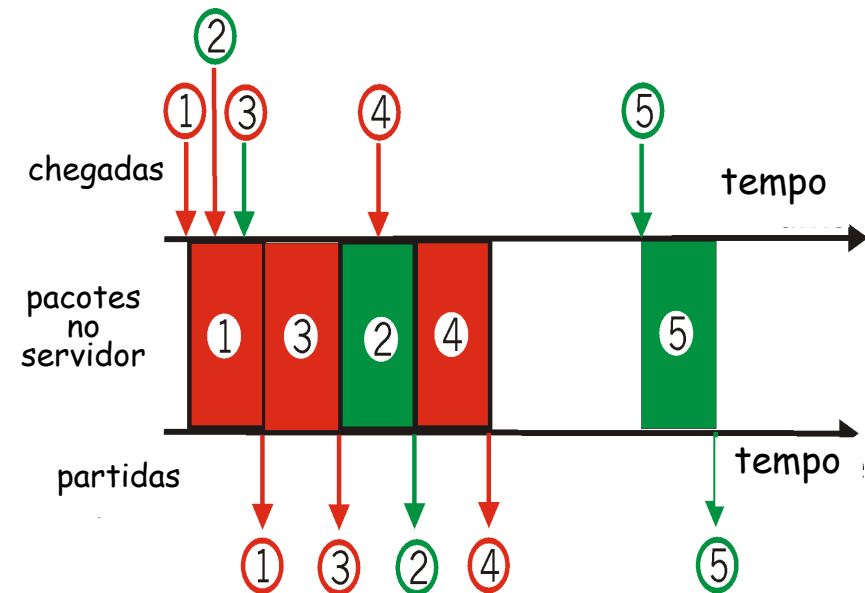
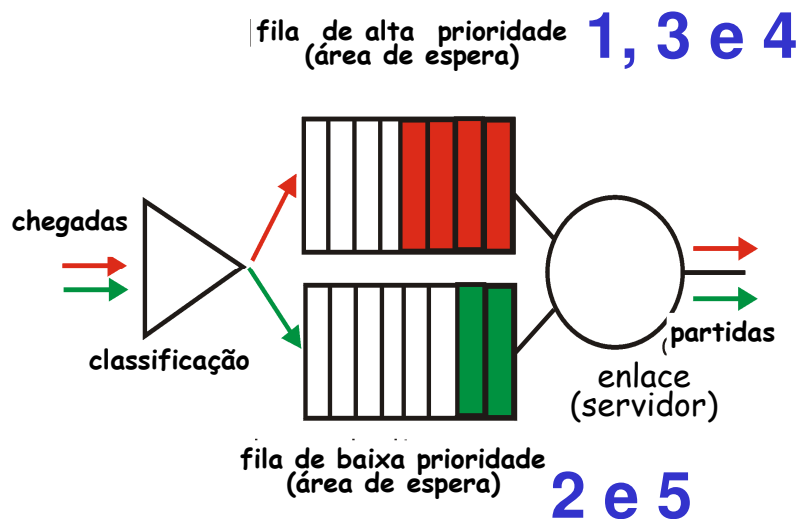
# Mecanismos de escalonamento e policiamento

- ❑ **escalonamento**: a escolha do próximo pacote para transmissão em um canal pode ser feita através de diversas políticas diferentes
  - também conhecido como **programação de pacotes**
- ❑ a mais simples **FIFO**: na ordem de chegada à fila
  - pacotes que chegarem e encontrarem o *buffer* cheio podem ser descartados;
  - pode haver também uma **política de descarte**
    - determina qual pacote será descartado (o que chegou ou outro da fila?)



# Políticas de escalonamento

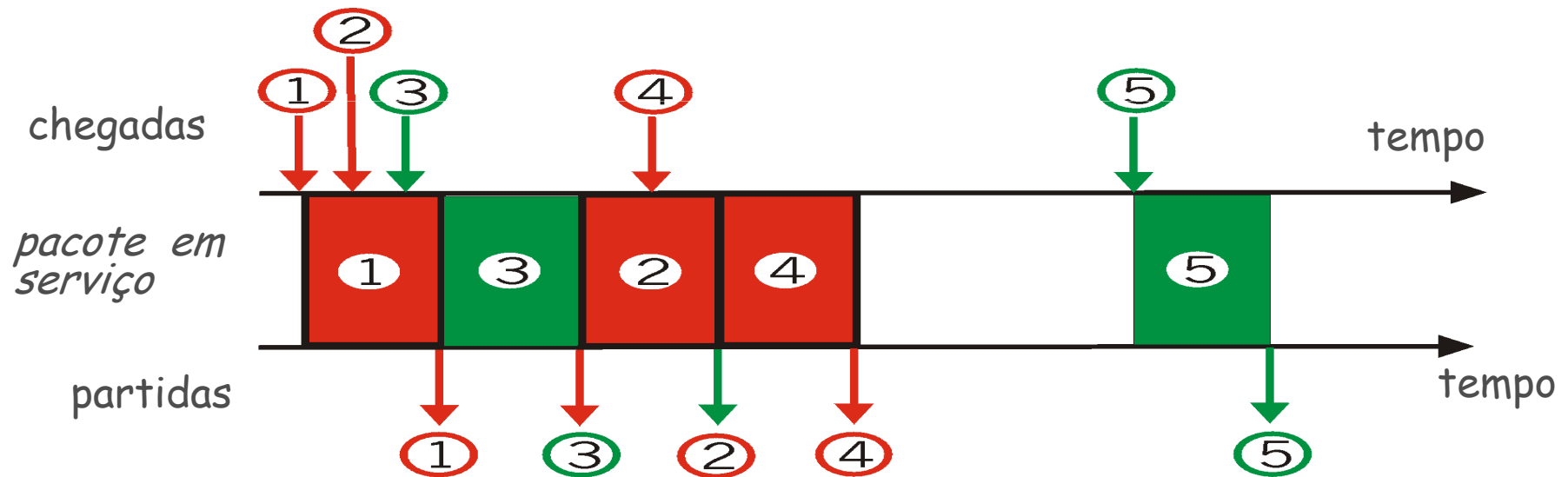
- ❑ **filas de prioridades** ou enfileiramento com prioridades:
  - classes têm prioridades diferentes que podem depender de uma marcação implícita ou outras informações do cabeçalho
    - ex: endereço origem ou destino, número da porta TCP, etc.
- ❑ transmite um pacote da classe de mais alta prioridade cuja fila não esteja vazia
- ❑ versões com e **sem preempção**



## Políticas de escalonamento (cont.)

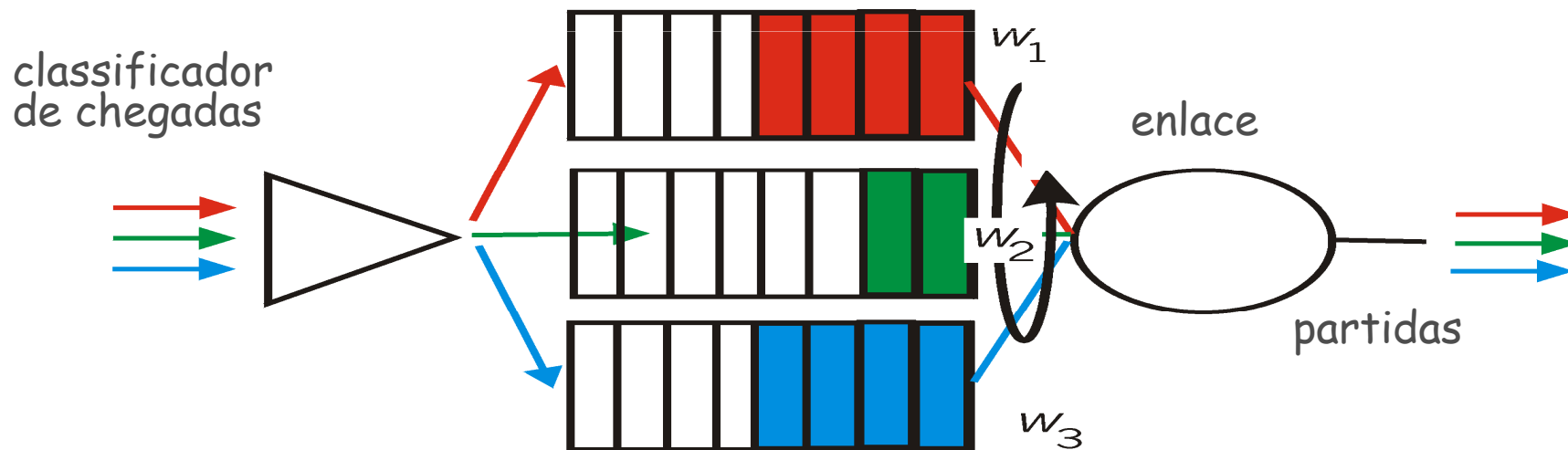
### □ *round robin* (circular):

- varre as filas das classes transmitindo um pacote de cada classe cuja fila não estiver vazia



## Políticas de escalonamento (cont.)

- ❑ *Weighted Fair Queuing – WFQ* (ou **fila justa ponderada**):
  - fila circular generalizada
  - tenta-se fornecer para cada classe um tempo de serviço diferenciado dentro de um dado período de tempo



Garantia de banda para uma classe  $i$ :  $w_i / (\sum w_j)$

Taxa de transmissão =  $R * (w_i / (\sum w_j))$



# Mecanismos de policiamento (regulação)

## ❑ três critérios:

### ○ **taxa média** (longo prazo)

- 100 pacotes por segundo ou 6000 pacotes por minuto?
- comprimento do intervalo é crucial

### ○ **taxa de pico:**

- 6000 pacotes. por minuto em média e 1500 pacotes por segundo no pico

### ○ **comprimento do surto (tamanho da rajada):**

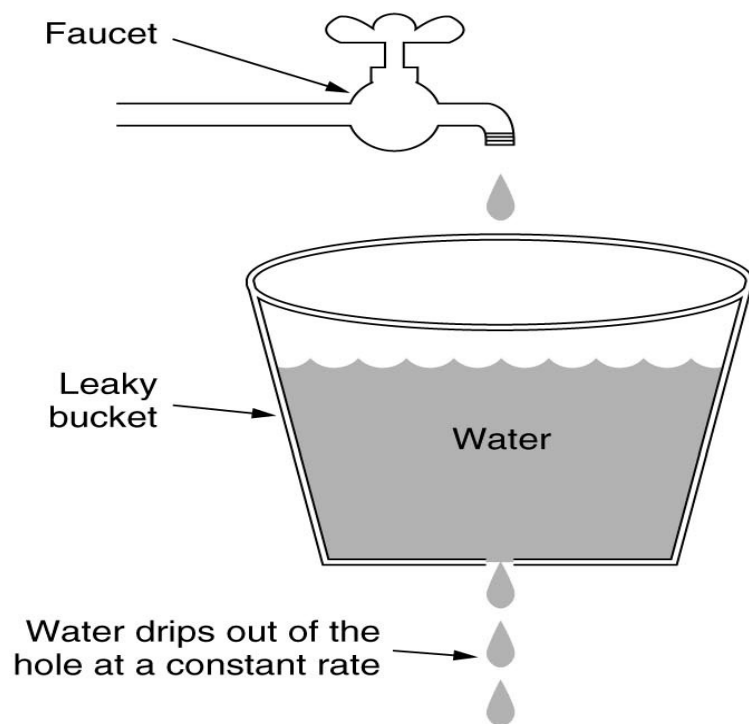
- número máximo de pacotes enviados consecutivamente (período curto de tempo)

## ❑ dois algoritmos para regular fluxo:

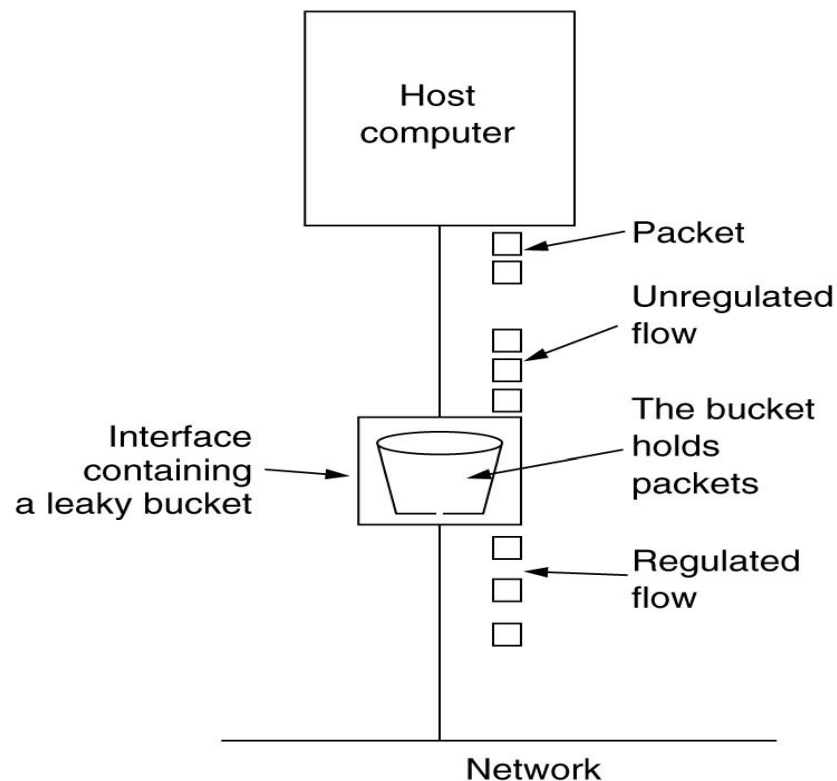
### ○ algoritmo do balde furado (*leaky bucket*)

### ○ algoritmo do balde de símbolos ou de permissões (*token bucket*)

# Mecanismos de policiamento: balde furado



(a)



(b)

Se há espaço, pacote é enfileirado para envio  
Senão, pacote é descartado

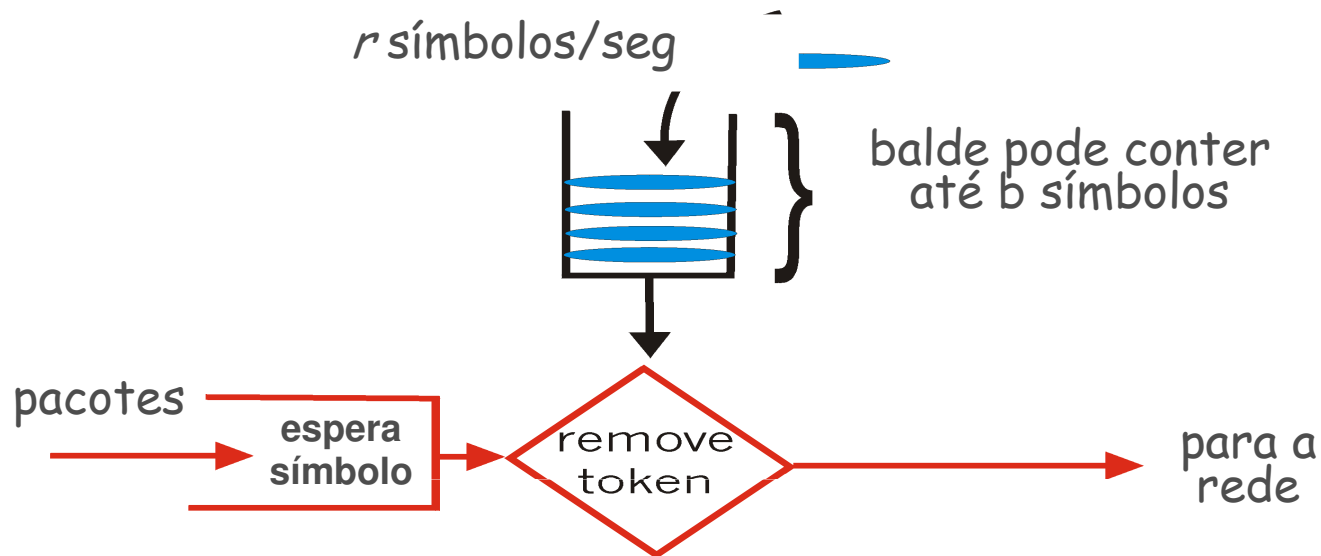
## Mecanismos de policiamento: balde furado

- ❑ sistema de enfileiramento de um servidor com tempo de serviço constante
  - computador gera um fluxo irregular de pacotes que entram no balde
  - taxa de saída do balde é constante (suaviza rajadas / reduz congestionamentos)
  - entrada e saída podem considerar pacotes ou bytes
    - que são transmitidos a cada **clock tick**
- ❑ algumas desvantagens:
  - taxa de saída é inflexível
    - não pode aumentar quando ocorrem rajadas
  - pode ocorrer a perda de pacotes/bytes quando o balde enche
  - descarta pacotes/bytes quando cheio

## Mecanismos de policiamento: balde de símbolos

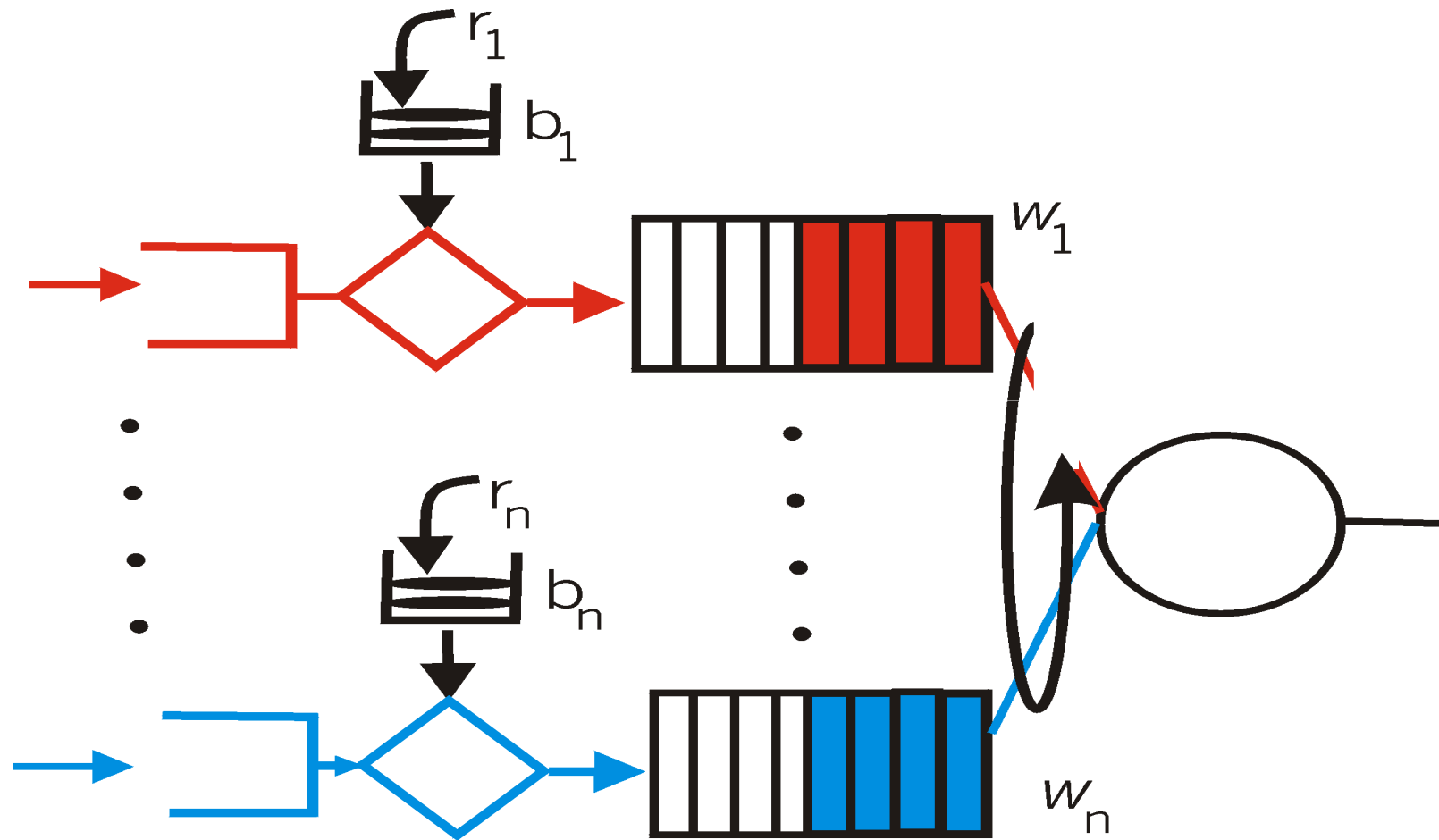
- ❑ também chamado de balde de permissões (*token bucket*)
  - balde contém símbolos gerados a uma taxa de  $r$  por segundo
  - fornece um meio para limitar a entrada para um dado comprimento do surto e taxa média de pacotes
  - tipo de modelagem do tráfego diferente do balde furado
    - permite um certo volume no fluxo de saída e respostas mais rápidas nas rajadas
    - descarta capacidade de transmissão quando cheio → **descarta símbolos (ou permissões de envio)**

## Mecanismos de policiamento: balde de símbolos



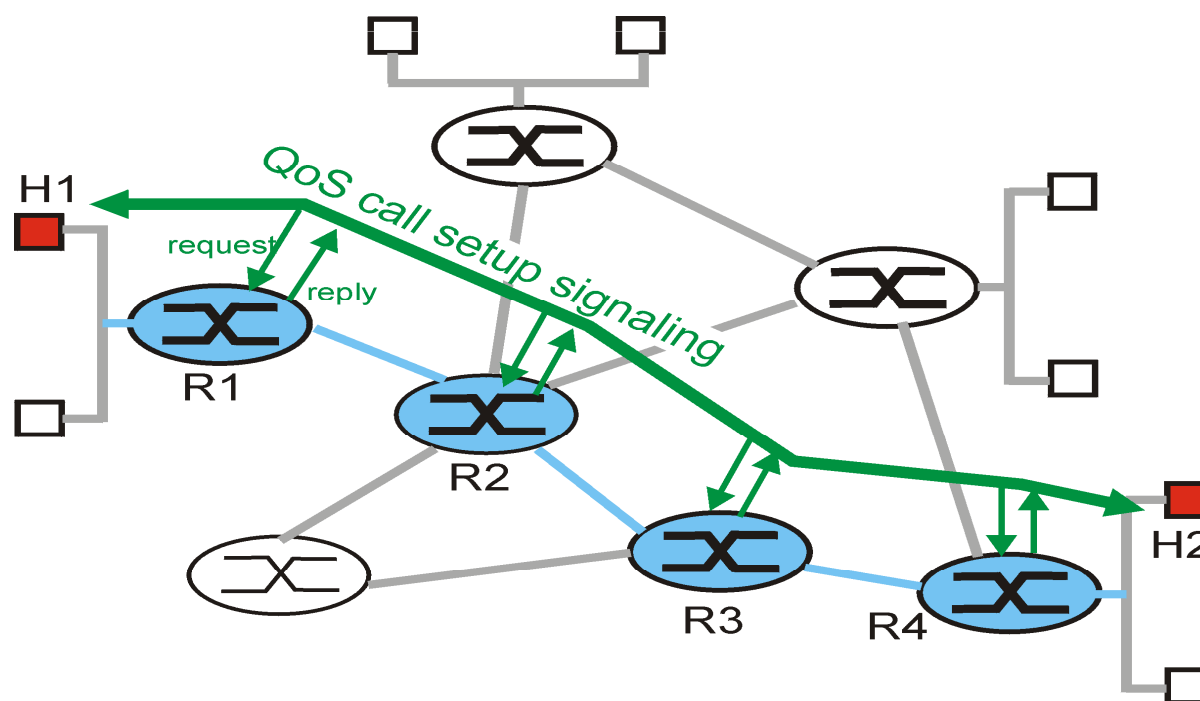
- em um intervalo de tempo  $t$ , o número de pacotes que são admitidos é menor ou igual a  $(r t + b)$ .
- balde de símbolos e WFQ podem ser combinados

## Mecanismos de policiamento: balde de símbolos



## Serviços integrados (IntServ)

- uma arquitetura para fornecer garantias de QoS em redes IP para sessões individuais de aplicações
- depende da reserva de recursos e os roteadores devem manter informação de estado (Circuito Virtual??), manter registros dos recursos alocados e responder aos pedidos de estabelecimento de conexões



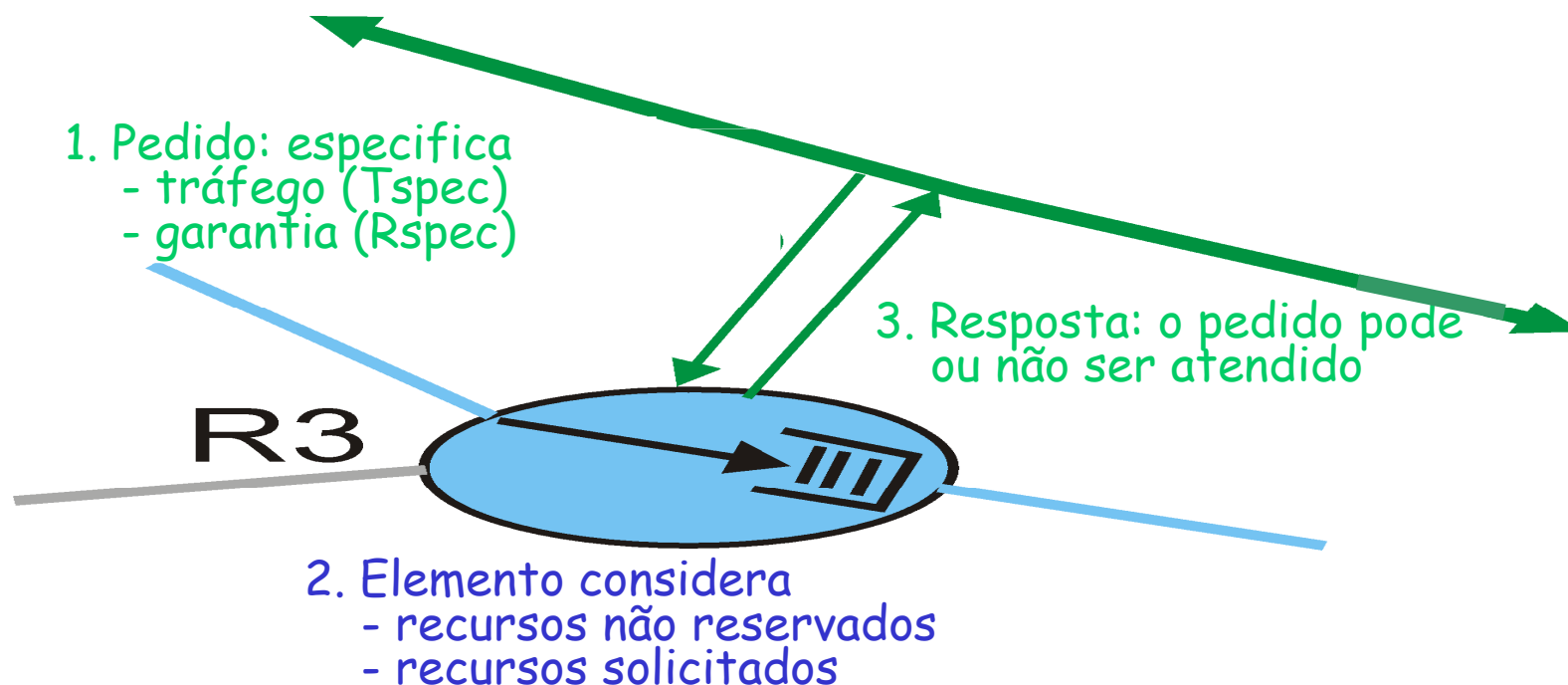
## Serviços integrados: admissão de chamadas

- ❑ sessão deve declarar antes os seus requisitos de QoS e caracterizar o tráfego que irá enviar através da rede
  - **R-spec**: define o parâmetro que está sendo requisitado/reservado
    - Ex: garantir uma taxa  **$R$**  de transmissão para os pacotes
  - **T-spec**: define as características do tráfego
    - dadas por um balde de símbolos e seus parâmetros:
      - **$r$**  (taxa de entrada de símbolos) e  **$b$**  (nº. máximo de símbolos no balde)
  - é preciso um protocolo de sinalização para levar as R-spec e T-spec aos roteadores envolvidos com a reserva de recursos
    - modo específico da **R-spec** e da **T-spec** varia de acordo com o serviço requisitado
  - RSVP é um um protocolo de sinalização
    - nos roteadores onde for necessária a reserva



## Serviços integrados: admissão de chamadas

- ❑ roteadores poderão aceitar as chamadas
  - baseados nas suas **R-spec** e **T-spec**
  - baseados na alocação de recursos atual nos roteadores para outras chamadas



## Classes de serviços integrados

### ❑ **classe com QoS garantida:**

- limites estritos de atraso de enfileiramento no roteador
- projetado para aplicações pesadas de tempo-real altamente sensíveis à média esperada e à variância

### ❑ **classe com carga controlada:**

- QoS muito próxima da QoS fornecida por um roteador com carga leve;
- projetado para aplicações de tempo-real correntes da rede IP que tenham um bom desempenho em uma rede sem carga
- não fornece garantias quantitativas do serviço
- aplicações multimídia

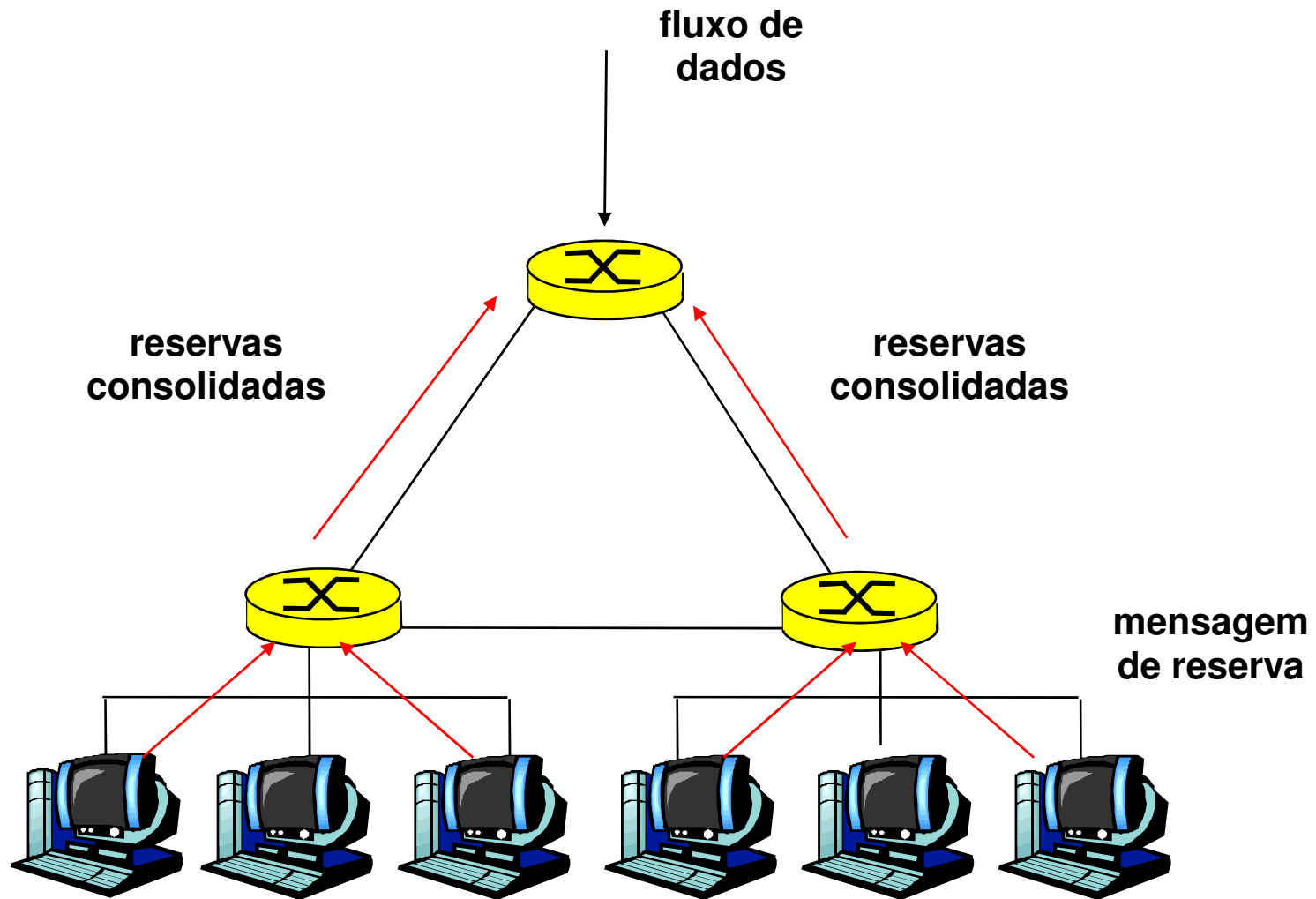
## Serviços integrados: RSVP

- ❑ RSVP – *Resource reSerVation Protocol*
- ❑ é um protocolo de sinalização
  - permite que aplicações façam reserva de recursos na internet
  - largura de banda, espaço de buffer e ciclos de CPU
  - (deve estar) presente nos receptores, remetentes e roteadores
- ❑ duas características principais:
  - reservas de recursos em árvores multicast
  - orientado ao receptor
    - receptor do fluxo inicia e mantém a reserva de recursos para a sessão

## Serviços integrados: RSVP

- ❑ o que o RSVP não faz?
  - não especifica como a rede fornece largura de banda reservada aos fluxos
    - provavelmente isso é feito pelos mecanismos de escalonamento
  - não é um protocolo de roteamento
    - mas depende de um para determinar as rotas

# Serviços integrados: RSVP



## Serviços diferenciados (DiffServ)

### □ **IntServ:**

- fluxos individuais e duas classes específicas de serviços

### □ **DiffServ:** resolve dificuldades com o IntServ e o RSVP (sobrecarga);

- **escalabilidade:** a manutenção de estados pelos roteadores em redes de alta velocidade é difícil devido ao grande número de fluxos
- **modelos de serviço flexíveis:**
  - mais classes de serviço qualitativas;
  - distinção relativa entre serviços (Platina, Ouro, Prata, e ...)
- **sinalização mais simples:** (que a do RSVP) muitas aplicações e usuários podem querer especificar uma noção de serviço apenas de forma mais qualitativa

## Serviços diferenciados

### □ abordagem:

- apenas funções simples no núcleo da rede
  - funções mais complexas nos roteadores que estão nas extremidades (ou *hosts*)
- não define classes de serviços
  - fornece componentes funcionais com os quais as classes de serviço podem ser construídas
- SLA (*Service Level Agreement*): acordos de nível de serviço

# Serviços diferenciados: funções de borda e no núcleo

## ❑ funções de borda

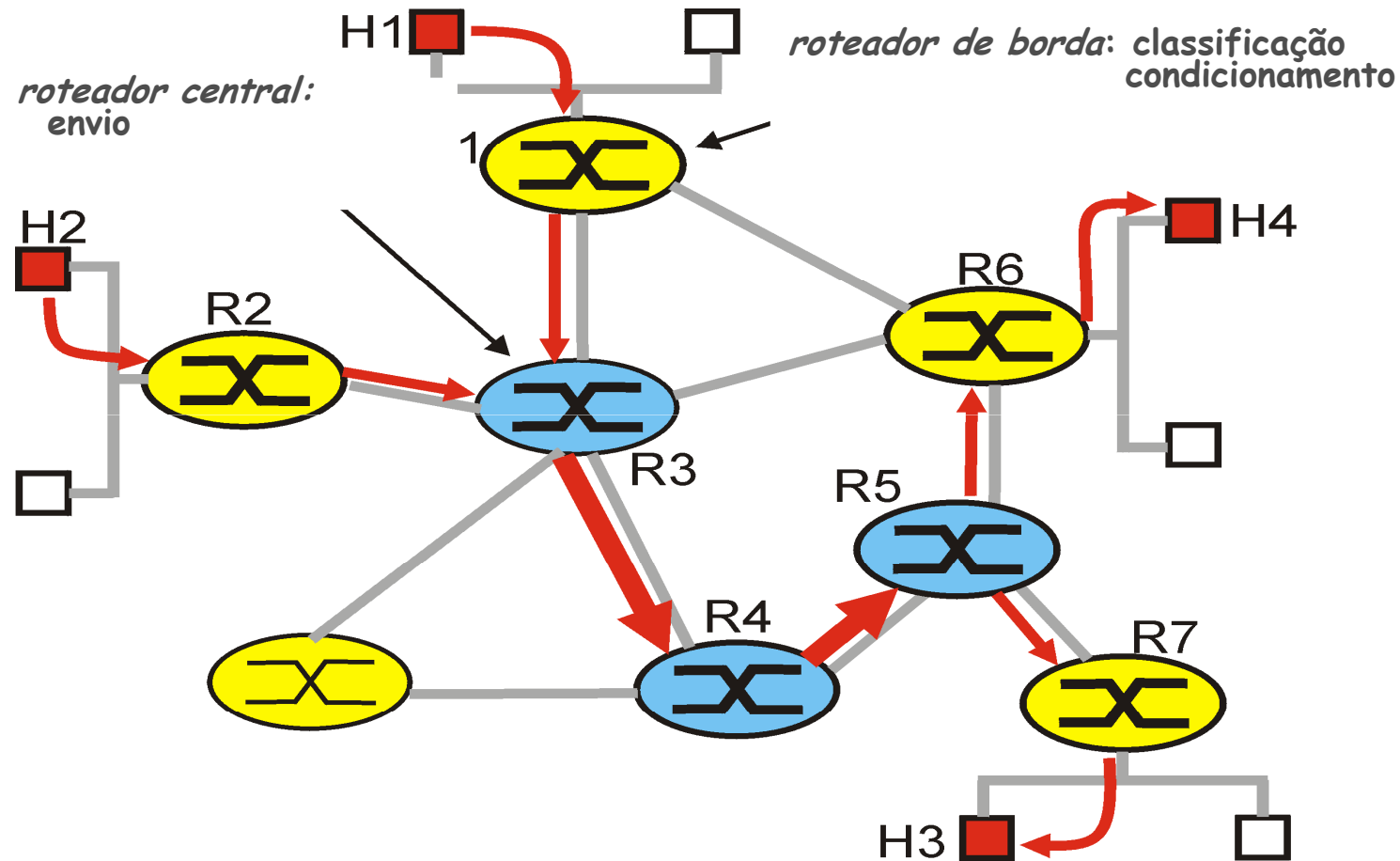
- em um *host* habilitado para DS (*differentiated service*) ou no 1º roteador habilitado para DS
- **classificação**: bordas marcam os pacotes de acordo com as regras de classificação definidas por:
  - um administrador (manualmente) ou um protocolo
- **condicionamento do tráfego**: borda pode enviar o pacote diretamente à rede, atrasá-lo e depois retransmiti-lo, ou então descartá-lo

## ❑ funções no núcleo: **envio**

- de acordo com o PHB (*Per-Hop-Behaviour*) especificado para a classe particular de pacote;
- **baseia-se estritamente na marcação dos pacotes**
- define as políticas e prioridades aplicadas aos pacotes nos saltos no roteadores no núcleo da rede



## Serviços diferenciados: funções de borda e no núcleo



Não é necessário manter nenhuma informação de estado nos roteadores!

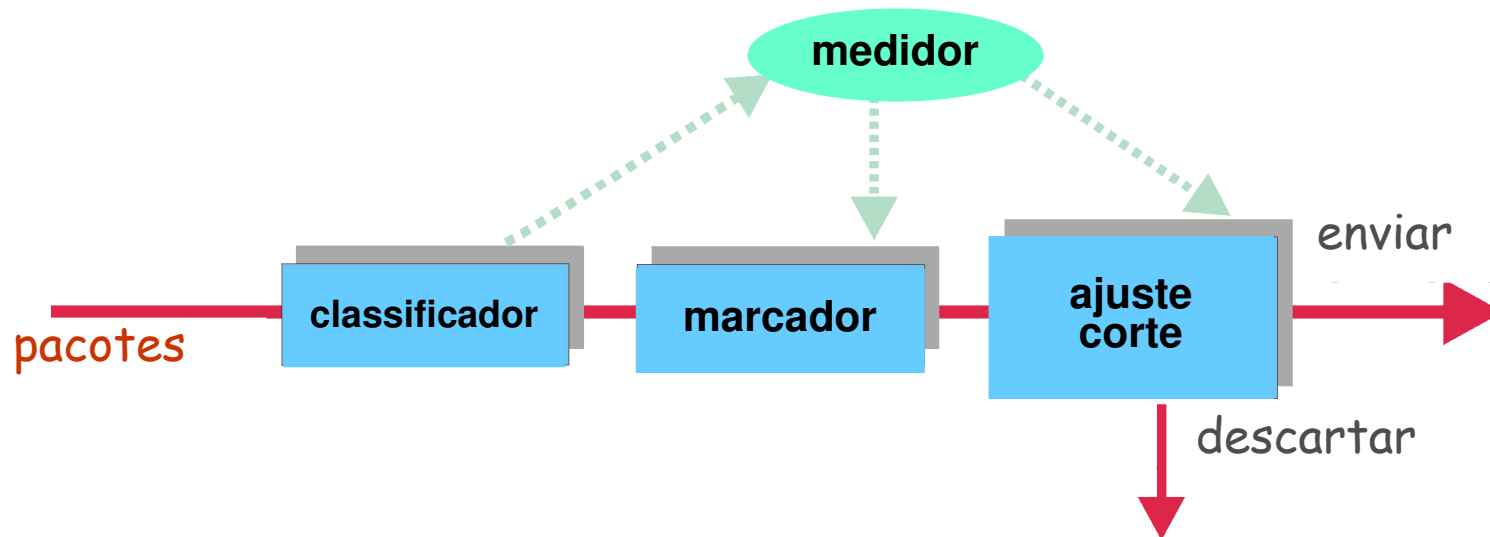
## Serviços diferenciados: classificação e condicionamento

- ❑ pacote é marcado no campo
  - tipo de serviço (ToS) no IPv4, 8 bits
  - classe de tráfego (CoT) no IPv6, 8 bits
- ❑ 6 bits para fornecer a codificação dos Serviços Diferenciados e determinar a PHB que o pacote receberá
  - DSCP – *Differentiated Service Code Point*
  - 64 ( $2^6$ ) tipos de serviços
- ❑ 2 bits não estão sendo usados
  - CU – *Currently Unused*



## Serviços diferenciados: classificação e condicionamento

- ❑ pode ser desejável limitar a taxa de tráfego para alguma classe
  - usuário declara o seu perfil de tráfego
    - ex: taxa e comprimento das rajadas
  - tráfego é medido e moldado, se não estiver de acordo com o perfil acertado



## Serviços diferenciados: encaminhamento (PHB)

- ❑ função do núcleo da rede: presente nos roteadores
  - PHB resulta num comportamento de desempenho do envio diferente dependendo da classe (é observável e mensurável)
  - PHB não especifica quais os mecanismos devem ser utilizados para garantir o comportamento de desempenho requisitado
  - exemplos:
    - classe A recebe x% da taxa de transmissão do enlace de saída dentro de intervalos de tempo de comprimento especificado
    - pacotes da classe A deixam os *buffers* antes dos pacotes da classe B

## Serviços diferenciados: encaminhamento (PHB)

### □ Tipos de PHBs:

#### ○ EF (*Expedited Forwarding* - **Encaminhamento Expresso**)

- taxa de partida dos pacotes de uma classe é maior ou igual a uma taxa especificada
- baixo atraso, perda e *jitter* →  **rígido controle de admissão**
- enlace lógico com uma taxa mínima garantida
  - implica em isolamento de tráfego
  - garantia vigora independentemente da intensidade do tráfego
- Para voz, vídeo e aplicações em tempo real

## Serviços diferenciados: encaminhamento (PHB)

### □ PHBs propostos:

- **AF (*Assured Forwarding* - Encaminhamento Assegurado)**
  - é mais complexo
  - controle de congestionamento
- define 4 níveis de prioridade de tráfego (Ouro, Prata, Bronze e *Best Effort*).
  - a cada nível é garantida uma quantidade mínima de largura de banda e armazenamento
  - para cada nível de prioridade são definidos 3 preferências de descarte de pacotes

## QoS em redes – resumo (1)

Internet pode evoluir para oferecer QoS garantida às aplicações

### princípios do fornecimento de QoS

classificação de pacotes, isolamento e regulação, alto índice de uso dos recursos e aceitar/rejeitar chamadas

quatro parâmetros que juntos definem a QoS que o fluxo exige:

confiabilidade, retardo, flutuação e largura de banda

mecanismos de escalonamento (ou marcação)

fifo, filas de prioridade, *round-robin* e fila justa ponderada (WFQ)

mecanismos de policiamento (regulação)

algoritmo do balde furado e algoritmo do balde de símbolos (ou permissões)

## QoS em redes – resumo (2)

### **serviços integrados:**

- duas classes de serviço

  - classe de serviço com QoS garantida

  - classe de serviço de carga controlada

- exigem um protocolo de sinalização: RSVP

- desvantagem: escalabilidade por precisar manter o estado por fluxo

### **serviços diferenciados:**

- não mantém o estado por salto

- classifica os pacotes apenas em classes agregadas

- requer poucas mudanças nos protocolos e nas infra-estruturas atuais



## Leitura mínima recomendada

Kurose, Ross

Redes de Computadores e a Internet: uma nova abordagem

Cap. 07 – seções 7.6 a 7.9

Tanenbaum

Redes de Computadores, 4a. ed.

Cap. 05 – seção 5.4

# Provinha

- ❑ 3 videos de 500 MB, de fontes diferentes, devem ser distribuídos a 3 players conectados por uma rede que passa por 3 roteadores, que são responsáveis por vários outros fluxos e cuja capacidade total é 1Gbps. As resoluções dos vídeos são 180X360, 480X640 e 920X1440 - todos fluindo a 30fps e 14bpp. Mostre a diferença em qualidade e possíveis dificuldades de operação, se este sistema de distribuição usasse:
  - Integrated Services
  - Differentiated Services
  
- ❑ E...
  - Calcule o tempo total de apresentação dos vídeos
  - Qual a diferença, para a qualidade de apresentação dos fluxos, se houver ou não algum mecanismo de policiamento nos roteadores
  - Faça uma figura mostrando o sistema de transmissão