Capítulo 5: Escalonamento da CPU

Sobre a apresentação (About the slides)

Os slides e figuras dessa apresentação foram criados por Silberschatz, Galvin e Gagne em 2005. Esse apresentação foi modificada por Cristiaino Costa (cac@unisinos.br). Basicamente, os slides originais foram traduzidos para o Português do Brasil.

É possível acessar os slides originais em http://www.os-book.com

Essa versão pode ser obtida em http://www.inf.unisinos.br/~cac

The slides and figures in this presentation are copyright Silberschatz, Galvin and Gagne, 2005. This presentation has been modified by Cristiano Costa (cac@unisinos.br). Basically it was translated to Brazilian Portuguese.

You can access the original slides at http://www.os-book.com

This version could be downloaded at http://www.inf.unisinos.br/~cac

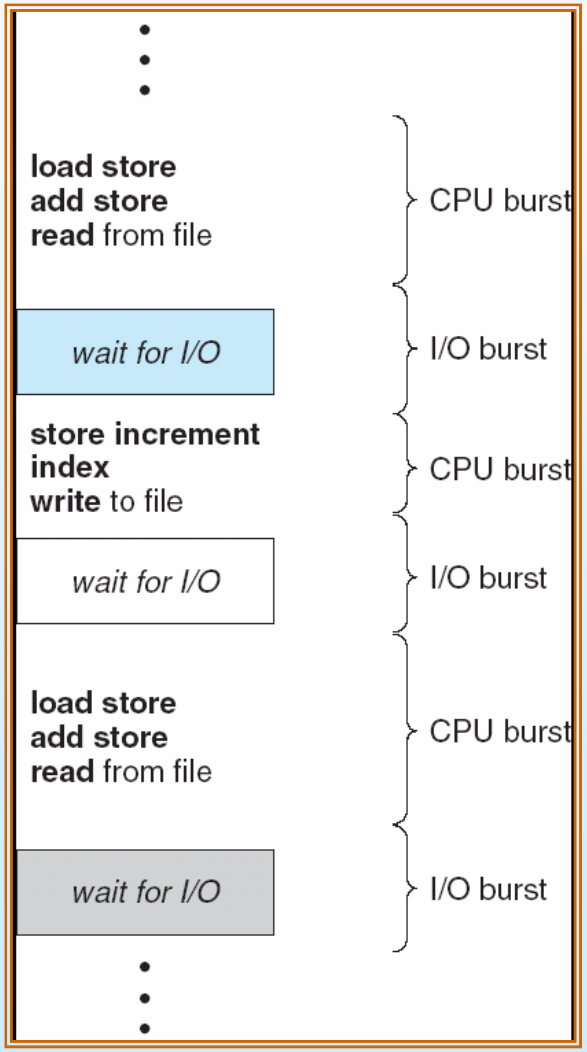
Capítulo 5: Escalonamento de CPU

- Conceitos Básicos
- Critérios de Escalonamento
- Algoritmos de Escalonamento
- Escalonamento de Vários Processadores
- Escalonamento de Tempo Real
- Escalonamento de Threads
- Exemplos de Sistemas Operacionais
- Escalonamento de Threads em Java
- Avaliação de Algoritmos

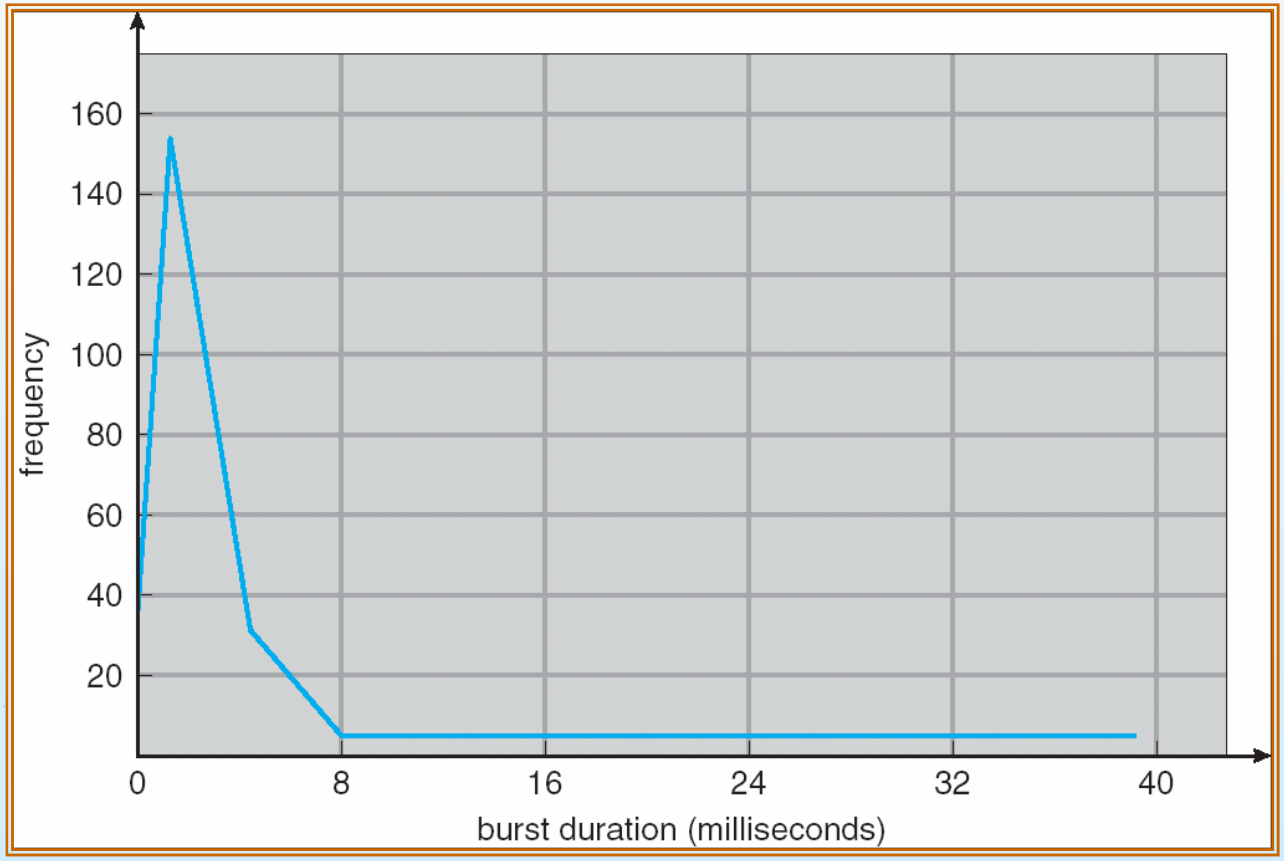
Conceitos Básicos

- Máxima utilização da CPU é obtida com multiprogramação
- Fase de uso da CPU e de E/S – Execução de processos consiste de uma fase de execução da CPU e espera por E/S
- Distribuição das fases de uso da CPU

Alternando fases de uso da CPU e E/S



Histograma de duração de fases de uso da CPU



Escalonador da CPU

- Seleciona dentre os processos na memória em estado pronto, e aloca a CPU para um deles.
- Decisões de escalonamento da CPU ocorrem quando um processo:
  1. Muda do estado *executando* para *esperando*.
  2. Muda do estado *executando* para *pronto*.
  3. Muda do estado *esperando* para *pronto*.
  4. Termina.
- Escalonamento nas condições 1 e 4 *é não-preemptivo*.
- Todas as outras alocações são *preemptivas.*

Despachante

- O despachante (*dispatcher*) é o módulo que fornece o controle da CPU ao processo selecionado pelo escalonador da CPU. Essa função envolve:
  - Troca de contexto
  - Mudança para o modo usuário
  - Desvio para o endereço adequado no programa do usuário, para reiniciar o programa
- *Latência de Despacho* – tempo gasto pelo despachante para interromper a execução de um processo e iniciar a execução de outro.

Critérios de Alocação

- Utilização da CPU – manter a CPU ocupada a maior parte possível do tempo
- Produtividade (*Throughput*) – número de processos que completam sua execução por unidade de tempo
- Tempo de Processamento (*Turnaround)* – quantidade de tempo necessária para executar um determinado processo
- Tempo de Espera– quantidade de tempo que um processo esteve esperando na fila de processos prontos
- Tempo de Resposta – intervalo de tempo entre o envio de uma requisição e a produção da primeira resposta, **não** a saída (para ambientes tempo compartilhado)

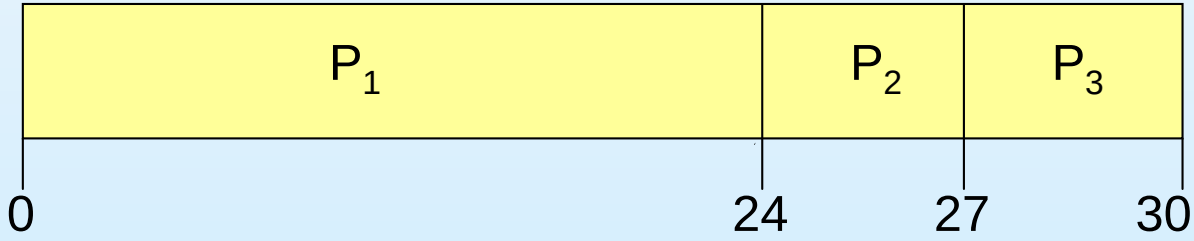
Critérios de Otimização

- Maximizar utilização da CPU
- Maximizar produtividade
- Minimizar o tempo de processamento
- Minimizar o tempo de espera
- Minimizar o tempo de resposta

Primeiro a Chegar, Primeiro a ser Servido (FCFS*)

Processo	Tempo de Rajada
P_1	24
P_2	3
P_3	3

- Suponha que os processos chegam na ordem: P_1 , P_2 , P_3
  O diagrama de Gantt para a alocação é::



- Tempo de espera para P_1 = 0; P_2 = 24; P_3 = 27
- Tempo de espera médio: (0 + 24 + 27)/3 = 17

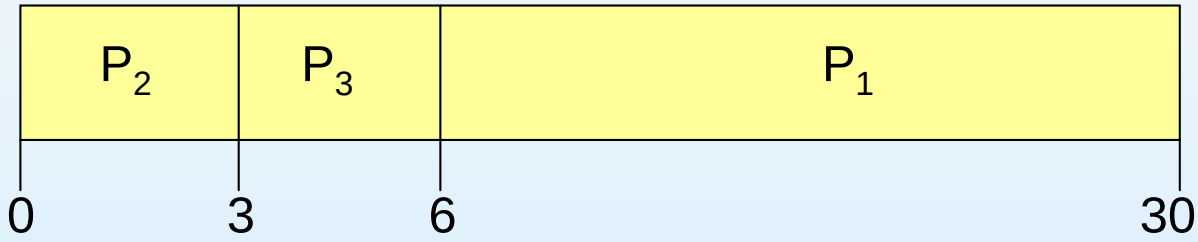
*FCFS - *First Come, First Served*

Escalonamento FCFS (Cont.)

Suponha que os processos cheguem na ordem

$$P_2 , P_3 , P_1$$

- O diagrama de Gantt para a alocação é:



- Tempo de espera para $P_1 = 6; P_2 = 0, P_3 = 3$
- Tempo de espera médio : (6 + 0 + 3)/3 = 3
- Bem melhor que o casso anterior.
- *Efeito Comboio:* processos curtos após processos longos

Escalonamento Menor Job Primeiro (SJR*)

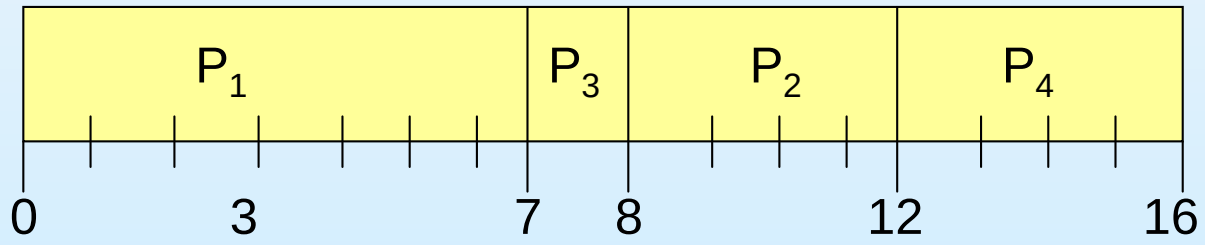
- Associado com cada processo a duração da sua próxima fase de uso da CPU. Uso dessas durações para escalonar o processo com o menor tempo.
- Dois esquemas:
  - Não-preemptivo – uma vez que a CPU é alocada para um processo ela não pode ser preemptada até completar sua fase de uso da CPU.
  - Preemptivo – Se um novo processo chegar com fase de uso da CPU menor do que o tempo restante do processos correntemente em execução, preempta. Este esquema é conhecido como Menor Tempo Restante para ExecuçÃo Primeiro (SRTF - *Shortest-Remaining-Time-First*).
- SJF é ótimo– permite o menor tempo médio de espera para um dado conjunto de processos.

*SJR - *Shortest-Job-First*

Exemplo de SJF Não-Preemptivo

Processo	Tempo de Chegada	Tempo de Rajada
P_1	0.0	7
P_2	2.0	4
P_3	4.0	1
P_4	5.0	4

- SJF (não-preemptivo)

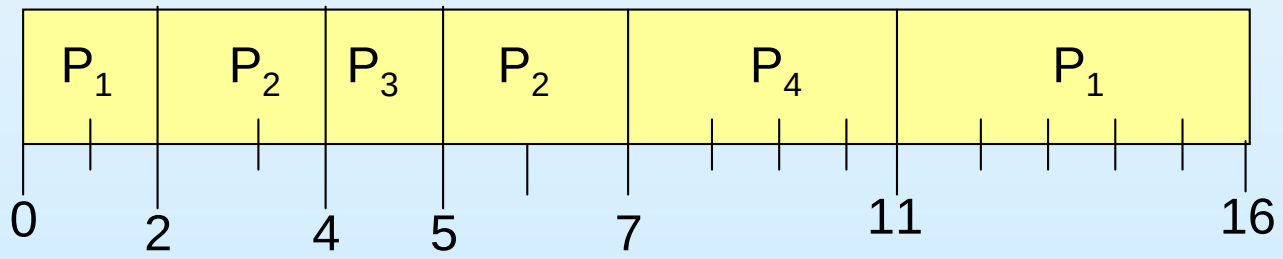


- Tempo de Espera Médio = (0 + 6 + 3 + 7)/4 = 4

Exemplo de SJF Preemptivo

Processo	Tempo de Chegada	Tempo de Rajada
P_1	0.0	7
P_2	2.0	4
P_3	4.0	1
P_4	5.0	4

- SJF (preemptivo)



- Tempo de Espera Médio = (9 + 1 + 0 +2)/4 = 3

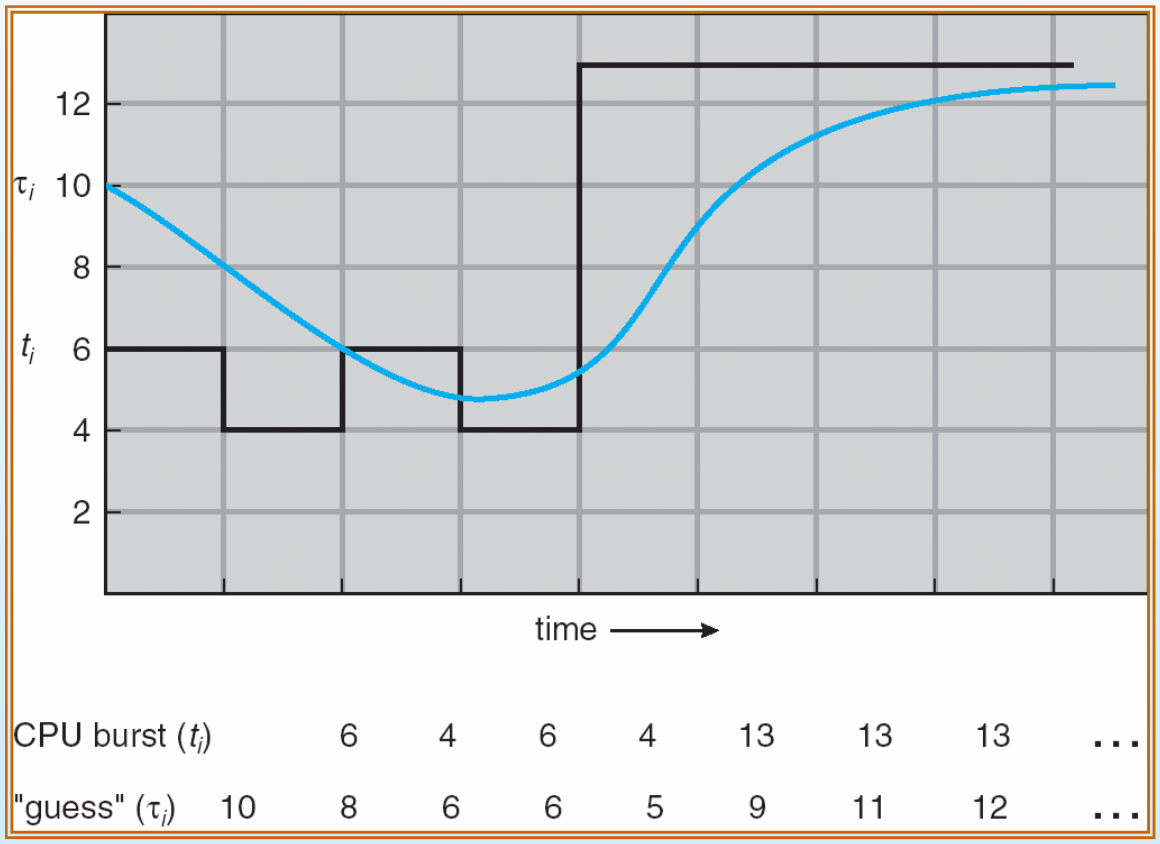
Determinando a duração da próxima fase de uso da CPU

- Pode somente determinar a duração.
- Pode ser calculada com a duração de uso da CPU na fase anterior, usando médias exponenciais.

1. t_n = duração real da enésima fase de uso da CPU
2. τ_{n+1} = valor previsto para próxima fase de uso da CPU
3. $\alpha, 0 \le \alpha \le 1$
4. Define:

$$\tau_{n=1} = \alpha\, t_n + (1-\alpha)\tau_n .$$

Previsão da Duração da Próxima Fase de Uso da CPU



CPU burst (t_i)	6	4	6	4	13	13	13	...
"guess" (τ_i)	10	8	6	6	5	9	11	12	...

Exemplos de média exponencial

- $\alpha = 0$
  - $\tau_{n+1} = \tau_n$
  - História recente não é levada em consideração.
- $\alpha = 1$
  - $\tau_{n+1} = t_n$
  - Somente a duração da fase de uso da CPU mais recente conta.
- Se a fórmula for expandida, temos:

$$\tau_{n+1} = \alpha\, t_n + (1 - \alpha)\, \alpha\, t_{n-1} + \ldots$$
$$+ (1 - \alpha)^j\, \alpha\, t_{n-1} + \ldots$$
$$+ (1 - \alpha)^{n+1}\, t_n\, \tau_0$$

- Uma vez que tanto α quanto $(1 - \alpha)$ são menores ou iguais a 1, cada termo sucessivo tem peso menor que o seu predecessor.

Escalonamento por Prioridade

- Um número de prioridade (inteiro) é associado com cada processo
- A CPU é alocada para o processo com a maior prioridade (menor inteiro ≡ maior prioridade).
  - Preemptivo
  - Não-preemptivo
- SJF é um escalonador com prioridade, no qual a prioridade é a previsão da próxima fase de uso da CPU.
- Problema ≡ *Starvation* (abandono de processo) – processos de baixa prioridade podem nunca executar.
- Solução ≡ *Aging (*envelhecimento*)* – ao passar do tempo, aumentar a prioridade dos processos que ficam em espera no sistema.

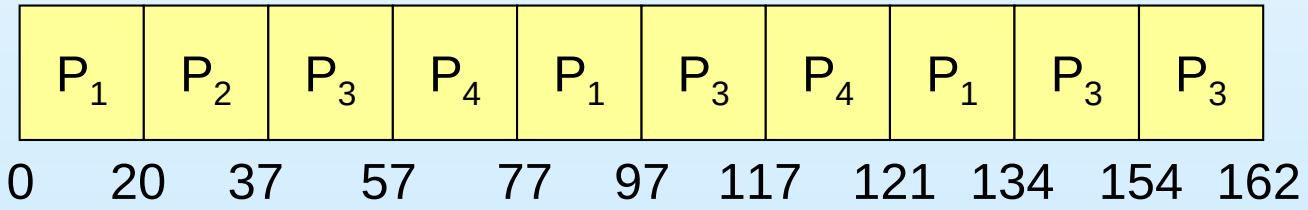
Alocação Circular - Round Robin (RR)

- Cada processo recebe uma pequena unidade de tempo de CPU (*quantum*), usualmente 10-100 milissegundos. Depois de transcorrido este tempo, o processo é preemptado e adicionado ao fim da fila de processos prontos.
- Se existem *n* processos na fila de processos prontos e o *quantum* é *q*, então cada processo obtém 1/*n* do tempo da CPU em blocos de no máximo *q* unidades de tempo de uma vez. Nenhum processo espera mais do que (*n*-1)*q* unidades de tempo.
- Desempenho
  - *q* alto $\Rightarrow$ FIFO
  - *q* pequeno $\Rightarrow$ *q* deve ser maior que a troca de contexto, senão a sobrecarga é muito alta.

Exemplo: RR com quantum= 20

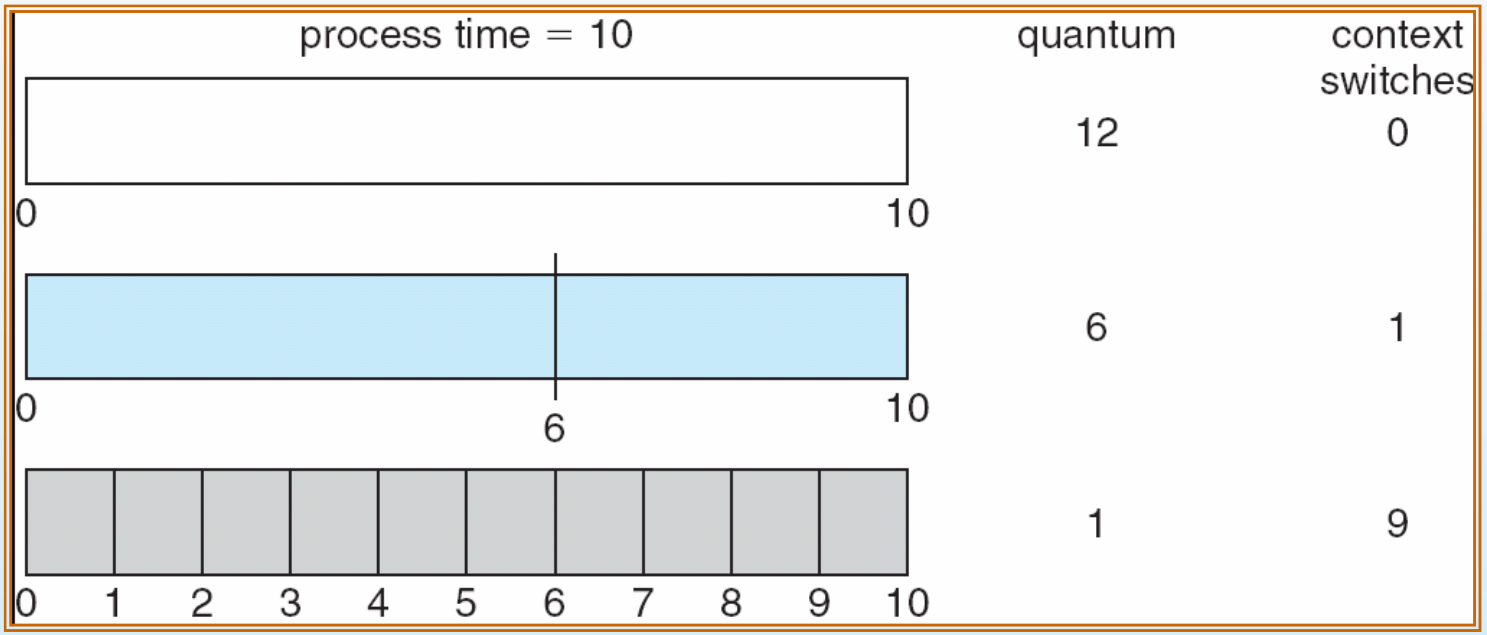
Processo	Tempo de Rajada
P_1	53
P_2	17
P_3	68
P_4	24

- O diagrama de Gantt é:

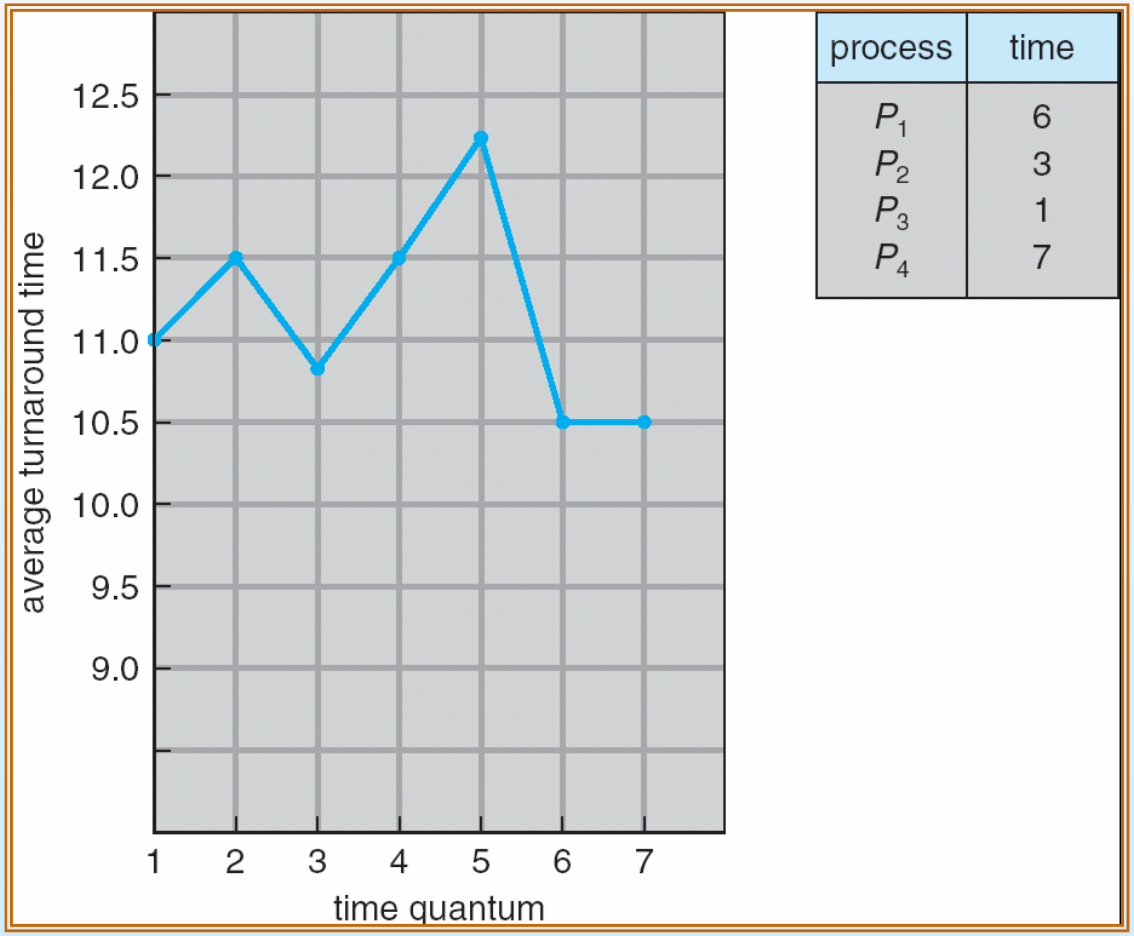


- Tipicamente, possui maior tempo médio de processamento do que o SJF, mas melhor *resposta*.

O Quantum e o Tempo de Troca de Contexto



Variação do tempo de processamento com o quantum

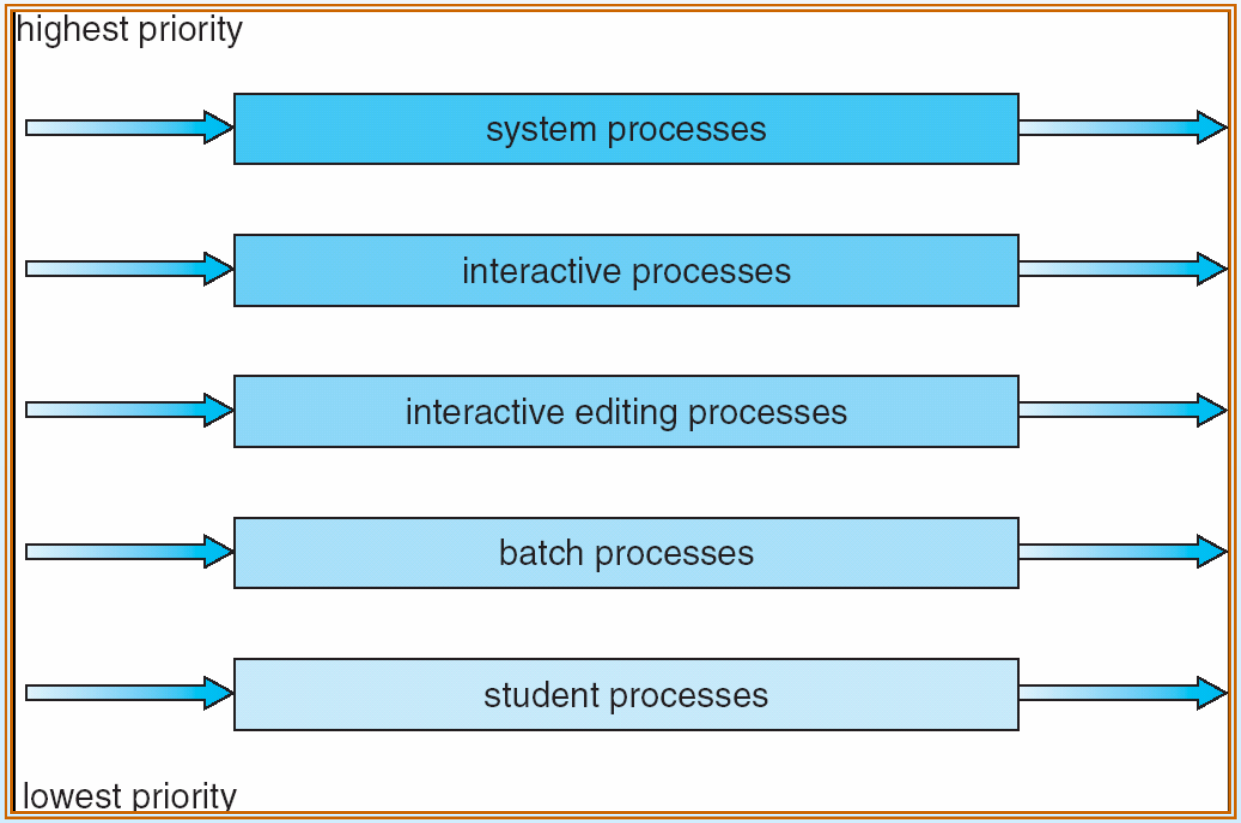


process	time
P_1	6
P_2	3
P_3	1
P_4	7

Alocação com Múltiplas Filas

- Fila de processos prontos é particionada em filas separadas:
  primeiro plano - *foreground* (interativo)
  segundo plano - *background* (*batch*)
- Cada fila tem seu próprio algoritmo de escalonamento,
  interativo – Alocação Circular (RR)
  batch – Primeiro a chegar, Primeiro a ser servido (FCFS)
- Escalonamento deve ser realizado entre as filas.
  - Escalonamento de prioridade fixa; Ex.: a fila de processos interativos pode ter prioridade absoluto sobre a fila de processos batch. Possibilidade de *starvation*.
  - Fatia de tempo – cada fila recebe certa quantia de tempo de CPU que poderia ser então alocada aos processos dessa fila; Ex.:
    80% para processos interativos em RR
    20% para processos *batch* em FCFS

Escalonamento com Múltiplas filas



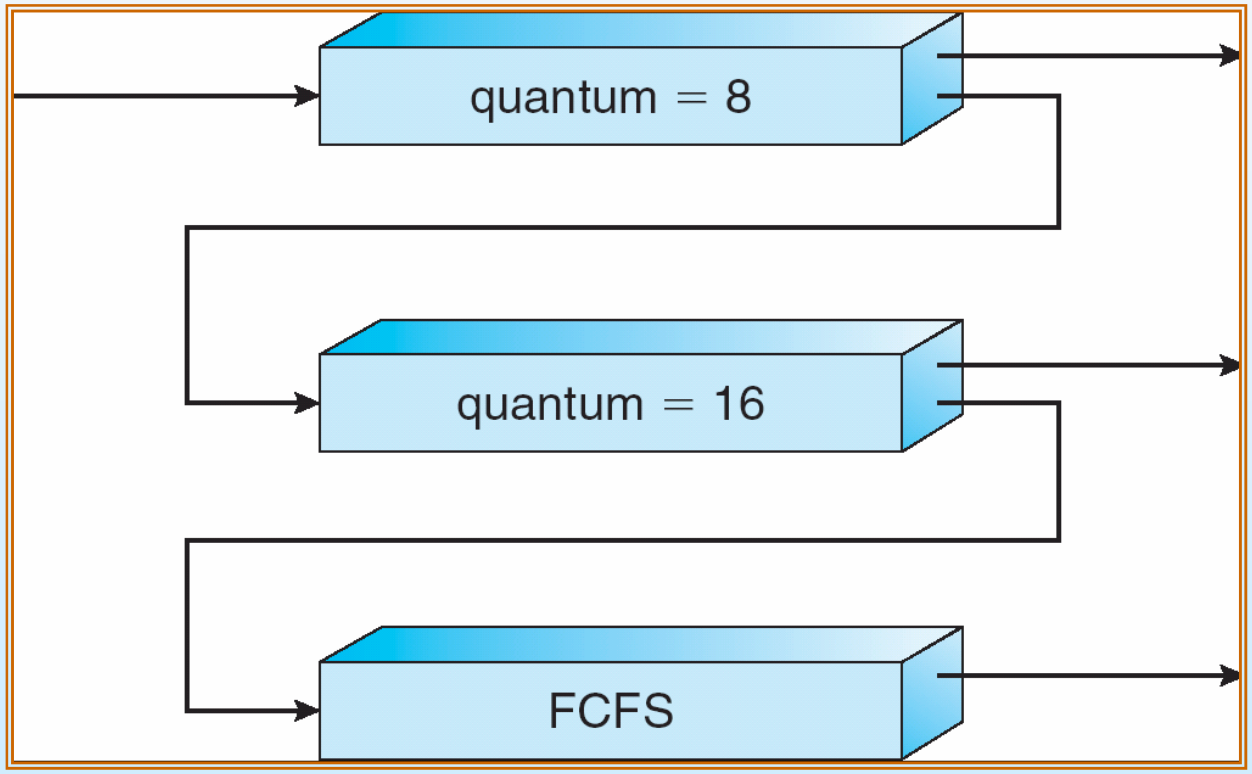
Múltiplas Filas com Realimentação

- Um processo pode se mover entre as várias filas; envelhecimento (*aging*) pode ser implementado desta forma.
- Escalonamento com múltiplas filas e transferências entre as filas é definido pelos seguintes parâmetros, a saber:
  - Número de filas
  - Algoritmos de escalonamento para cada fila
  - Método usado para determinar quando transferir um processo para uma fila de prioridade mais alta
  - Método usado para determinar quando transferir um processo para uma fila de prioridade mais baixa
  - Método usado para determinar em qual fila um processo deve ser colocado, quando precisar usar a CPU

Exemplo de Múltiplas Filas com Realimentação

- Três filas:
  - Q_0 – RR com quantum de 8 milissegundos
  - Q_1 –RR com quantum 16 milissegundos
  - Q_2 – FCFS
- Escalonamento
  - Um novo job entra na fila Q_0 a qual utiliza FCFS. Quando ele ganha a CPU, job recebe 8 milissegundos. Se ele não finalizar em 8 milissegundos, o job é movido para a fila Q_1.
  - Na fila Q_1 o job é de novo servido por FCFS e recebe 16 milissegundos adicionais. Se ele ainda não completou, é premptado e movido para a fila Q_2.

Múltiplas Filas com Realimentação



Escalonamento de Vários Processadores

- Escalonamento de CPU é mais complexo quando muitos processadores estão disponíveis
- *Processadores homogênios* em um multiprocessador
- *Compartilhamento de Carga* (*Load sharing)*
- *Multiprocessamento assimétrico* – somente um processador acessa as estruturas de dados do sistema, aliviando a necessidade de compartilhamento de dados

Escalonamento Tempo Real

- Sistemas Tempo Real Rígidos (*Hard real-time)* – é necessário completar tarefas críticas dentro de um período de tempo garantido.
- Sistemas Tempo Real Flexíveis (*Soft real-time*) – é necessário que processos críticos recebam prioridade maior do que os outros.

Escalonamento de Threads

- Escalonamento Local – Como a biblioteca de threads decide qual thread colocar no LWP disponível
- Escalonamento Global – Como o kernel decide qual thread em nível de kernel executar a seguir

API de escalonamento na Pthread

```
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#define NUM THREADS 5
int main(int argc, char *argv[])
{
        int i;
       pthread t tid[NUM THREADS];
       pthread attr t attr;
       /* get the default attributes */
       pthread attr init(&attr);
       /* set the scheduling algorithm to PROCESS or SYSTEM */
       pthread attr setscope(&attr, PTHREAD SCOPE SYSTEM);
       /* set the scheduling policy - FIFO, RT, or OTHER */
       pthread attr setschedpolicy(&attr, SCHED OTHER);
       /* create the threads */
       for (i = 0; i < NUM THREADS; i++)
                pthread create(&tid[i],&attr,runner,NULL);
```

API de escalonamento na Pthread (Cont.)

```
        /* now join on each thread */
        for (i = 0; i < NUM THREADS; i++)
                pthread join(tid[i], NULL);
}
 /* Each thread will begin control in this function */
void *runner(void *param)
{
        printf("I am a thread\n");
        pthread exit(0);
}
```

Exemplos de Sistemas Operacionais

- Escalonamento no Solaris
- Escalonamento no Windows XP
- Escalonamento no Linux

Escalonamento no Solaris 2

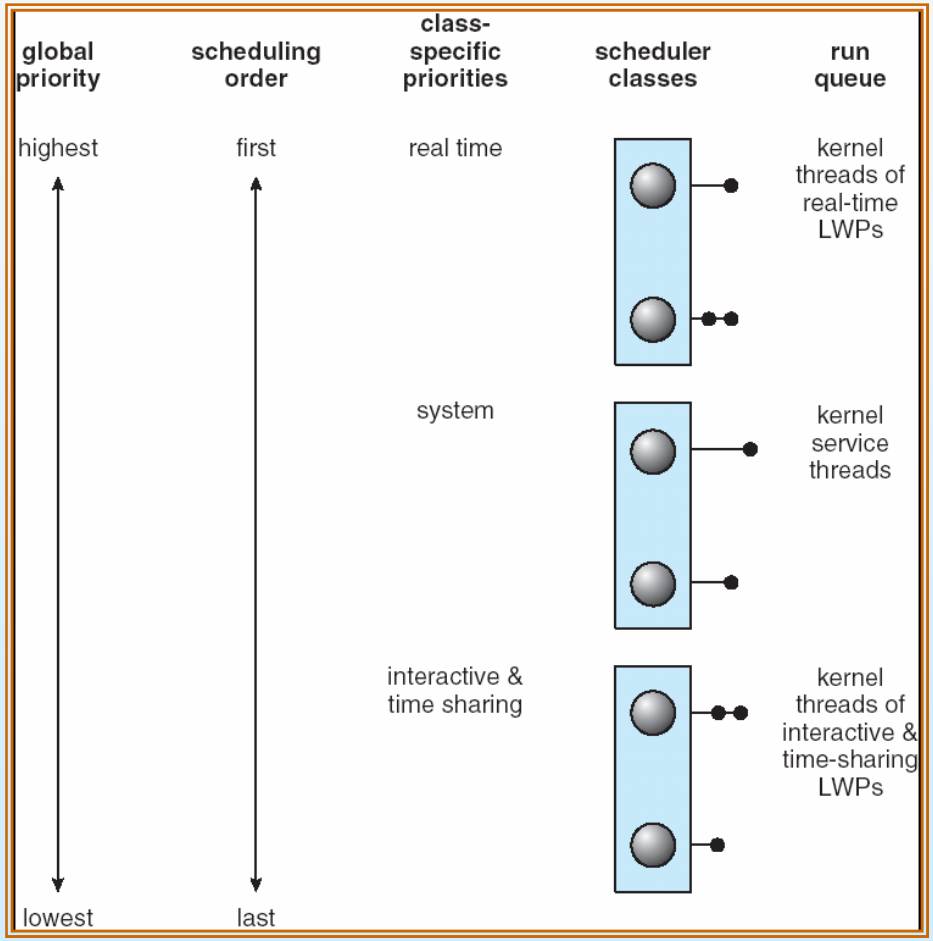


Tabela de Despacho no Solaris

priority	time quantum	time quantum expired	return from sleep
0	200	0	50
5	200	0	50
10	160	0	51
15	160	5	51
20	120	10	52
25	120	15	52
30	80	20	53
35	80	25	54
40	40	30	55
45	40	35	56
50	40	40	58
55	40	45	58
59	20	49	59

Prioridades no Windows XP

	real-time	high	above normal	normal	below normal	idle priority
time-critical	31	15	15	15	15	15
highest	26	15	12	10	8	6
above normal	25	14	11	9	7	5
normal	24	13	10	8	6	4
below normal	23	12	9	7	5	3
lowest	22	11	8	6	4	2
idle	16	1	1	1	1	1

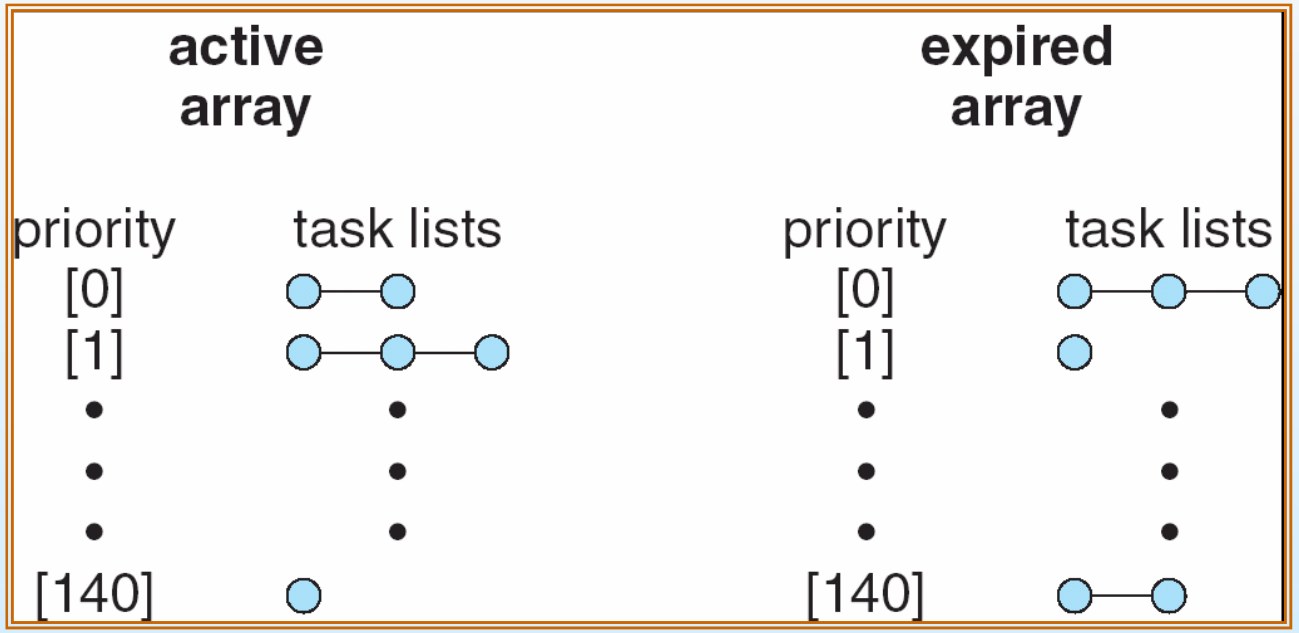
Escalonamento no Linux

- Dois algoritmos: tempo compartilhado e tempo real
- Tempo Compartilhado
  - Baseado em créditos com prioridades – processos com mais créditos são escalonados primeiro
  - Crédito é subtraído na ocorrência de interrupções de tempo
  - Quando crédito = 0, outro processo é escolhido
  - Quando todos os processos tem crédito = 0, ocorre um recreditamento
    - Baseado em fatores como prioridade e história
- Tempo Real
  - Tempo Real Flexível (*soft real-time*)
  - compatível com Posix.1b – duas classes
    - FCFS e RR
    - Processos com maior prioridade sempre executam primeiro

Relação entre duração de fatia de tempo e prioridades

numeric priority	relative priority		time quantum
0	highest	real-time tasks	200 ms
•			
•			
•			
99			
100		other tasks	
•			
•			
•			
140	lowest		10 ms

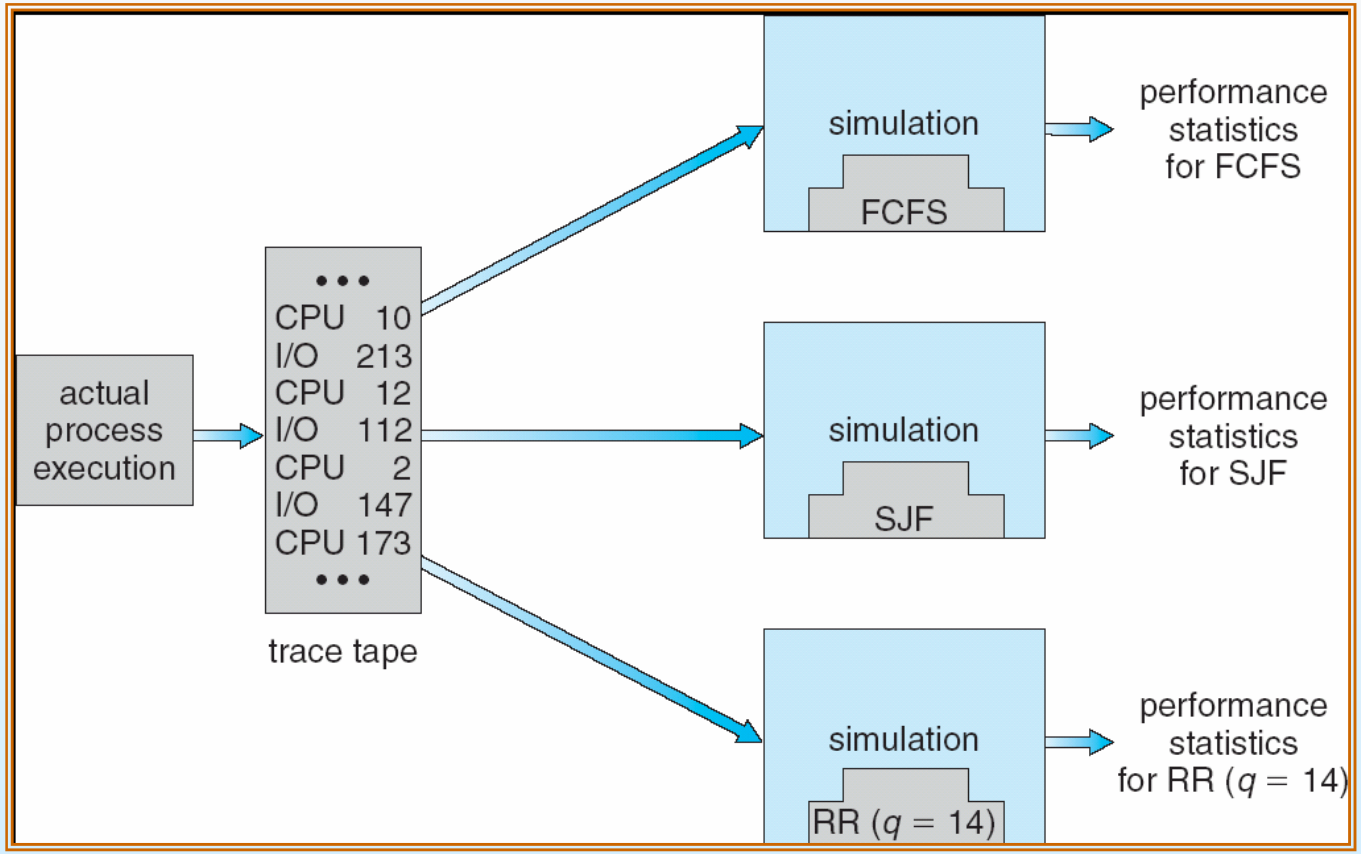
Lista de Tarefas Indexada de acordo com Prioridades



Avaliação de Algoritmos

- Modelagem determinística – obtém uma carga pré-determinada e define o desempenho de cada algoritmo para esta carga.
- Modelos de Filas
- Implementação

Avaliação de Escalonadores de CPU por Simulação



Fim do Capítulo 5

Figura 5.08

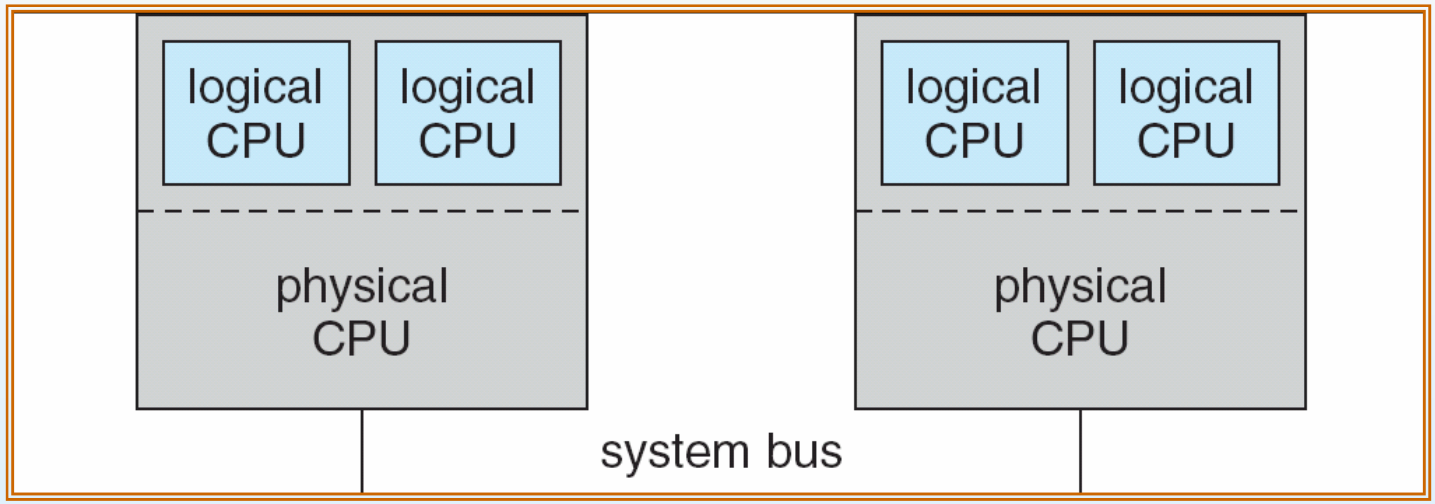

logical CPU
logical CPU
logical CPU
logical CPU
physical CPU
physical CPU
system bus

Figura 5.7

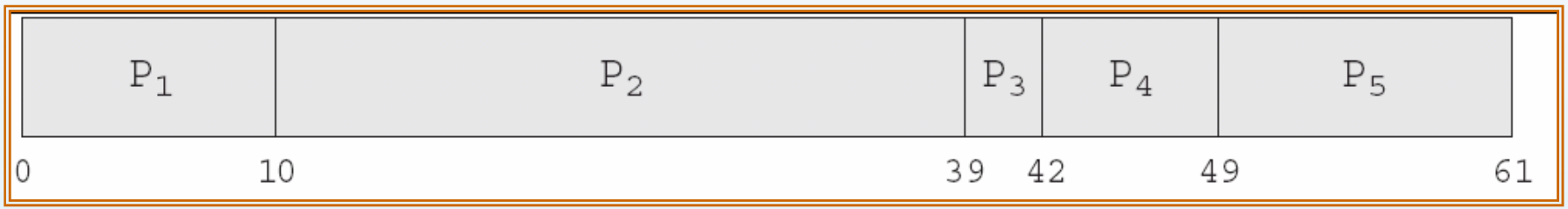


Figura 5.8

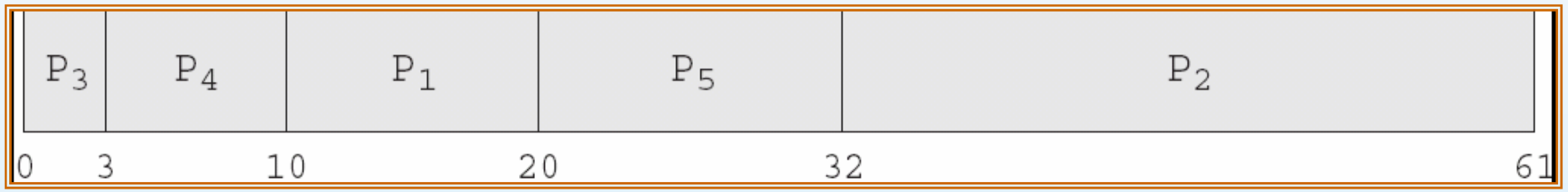
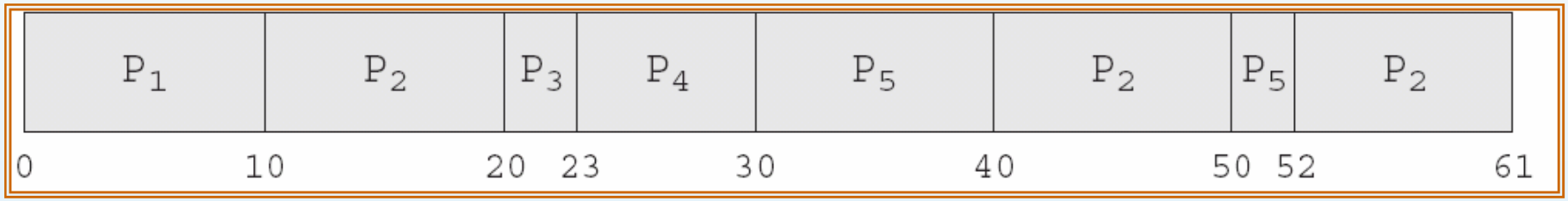
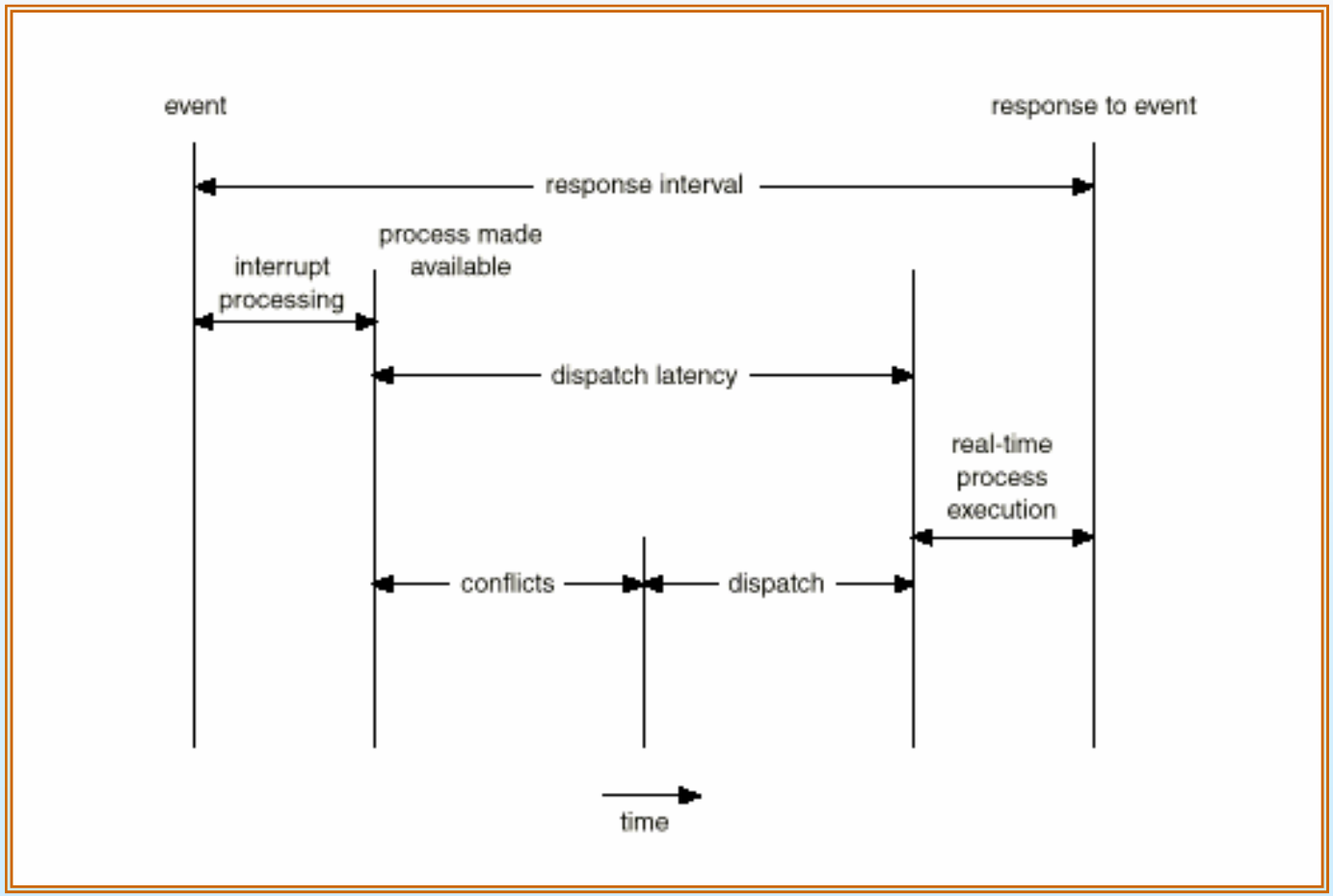


Figura 5.9



Latência de Despacho



Escalonamento de Threads Java

- JVM usa um algoritmo de escalonamento preemptivo e baseado em prioridades
- Fila FIFO é usada se existem muitas threads com a mesma prioridade

Escalonamento de Threads Java (Cont.)

JVM escalona a thread para executar quando:

1. A Thread alocada a CPU atualmente sai do estado executando
2. Um Thread de prioridade mais alta entra no estado executando

* Nota – a JVM não especifica quando threads são tempo compartilhado ou nãothe JVM Does Not Specify Whether Threads are Time-Sliced or Not

Tempo Compartilhado

Como a JVM não garante tempo compartilado, o método yield() pode ser utilizado:

```
while (true) {
        // realiza uma tarefa com uso intenso de CPU
        . . .
        Thread.yield();
}
```

Dessa forma libera o controle para outra thread de igual prioridade

Prioridades de Threads

Prioridade	Comentário
Thread.MIN_PRIORITY	Prioridade Mínima de Thread
Thread.MAX_PRIORITY	Prioridade Máxima de Thread
Thread.NORM_PRIORITY	Prioridade Padrão de Thread

Prioridades podem ser determinadas usando método setPriority():

```
setPriority(Thread.NORM_PRIORITY + 2);
```