Laboratório de Pesquisa em Redes e Multimídia

Sistemas Operacionais

Processos - algoritmos de escalonamento

Universidade Federal do Espírito Santo
Departamento de Informática

Escalonamento da UCP

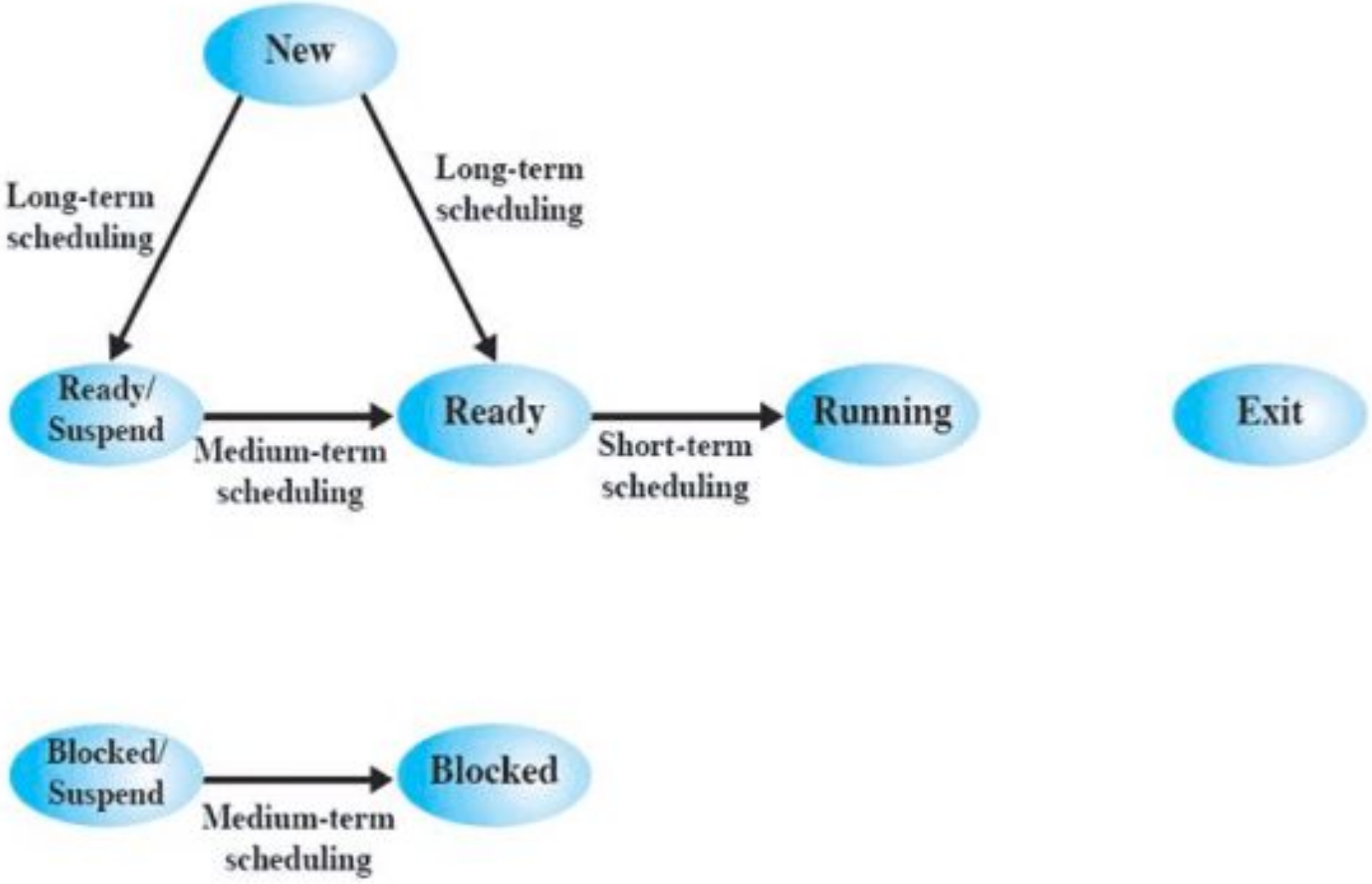
- O objetivo do escalonamento da UCP ("*processor scheduling*") é designar os processos a serem executados pela(s) UCP(s) ao longo do tempo, tendo como base os objetivos definidos para o sistema operacional e sua política de escalonamento.
- O escalonador divide o tempo da UCP entre os diversos processos ativos no sistema (processos de usuário e processos de sistema).

Tipos de Escalonamento

- Três tipos básicos:
  - Escalonamento de longo prazo ("*long-term scheduling*"): adiciona processos ao pool de processos a serem executados;
  - Escalonamento de médio prazo ("*medium-term scheduling*"): controla o *swap in* e *swap out* de processos, atendendo às flutuações de carga do sistema.
  - Escalonamento de curto prazo ("*short-term scheduling*" ou "*dispatcher*"): responsável pela troca de contexto e alocação efetiva da UCP ao processo selecionado.

Obs: OS também impmententaEscalonamento de E/S ("I/O scheduling"): seleciona o processo a obter a posse de dispositivo de I/O.

Escalonamento e a Transição de Estados



Escalonador de Curto Prazo (1)

- Denominado Escalonador da UCP
  - ***ou Dispatcher***, ou *CPU Scheduler*
- Seleciona qual processo deve ser executado a seguir (*ready* → *running*).
- É invocado **muito freqüentemente** (ordem de milisegundos).
  - Deve, portanto, ser rápido/eficiente.

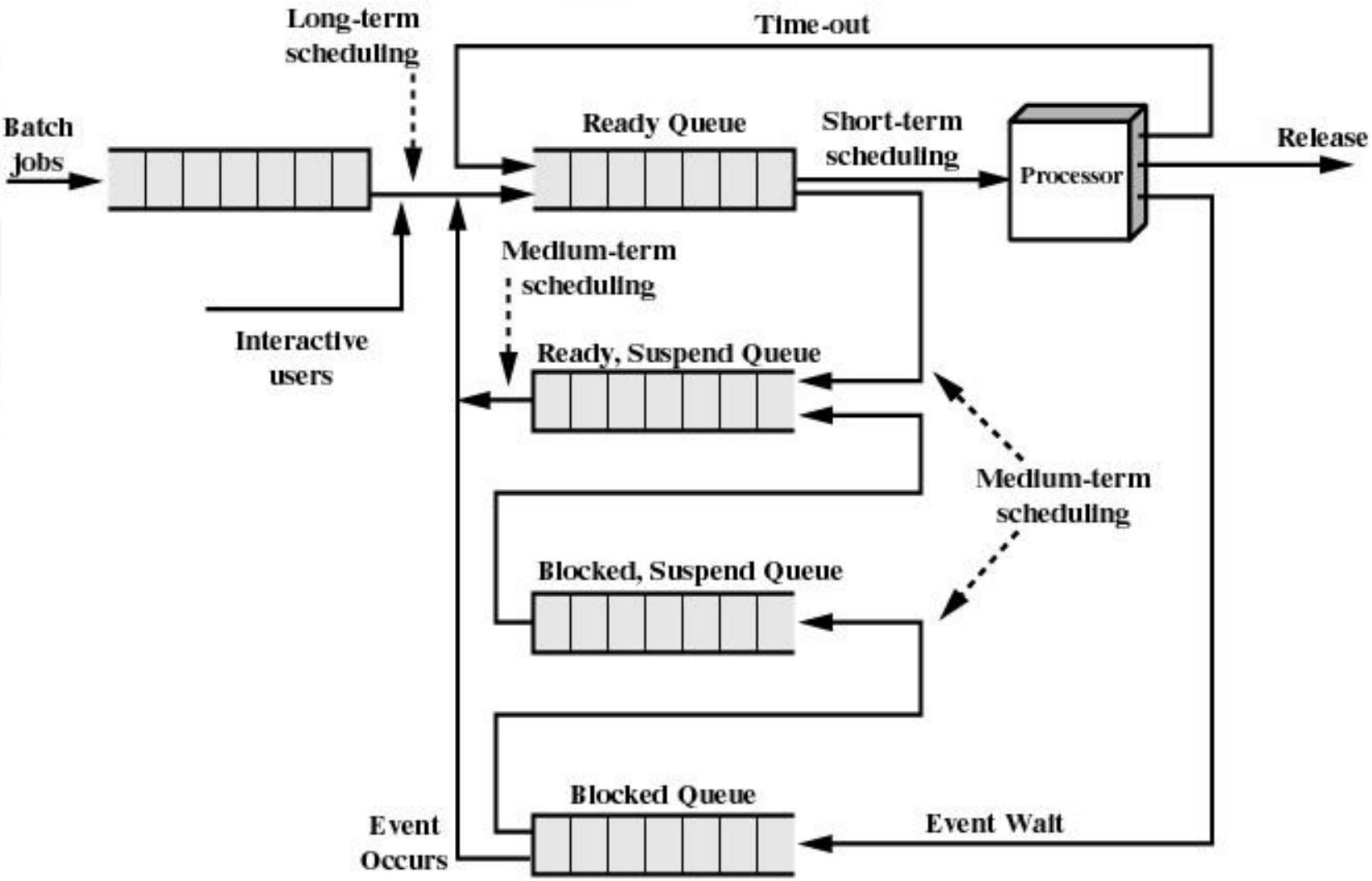
Escalonador de Longo Prazo

- Originalmente conhecido como Escalonador de *Jobs* ("*Job Scheduler*").
  - Foi criado inicialmente em Sistemas *Batch*
- Seleciona quais processos devem ser levados para a fila de prontos (*new* → *ready*).
- Baixa freqüência de invocação (ordem de segundos ou minutos).
- Permite o controle da carga no sistema (controla o grau de multiprogramação… i.e. a quantidade de processos ativos no sistema).

Escalonador de Médio Prazo

- Utiliza a técnica de *swapping*.
  - ***Swap out:*** o processo é suspenso e o seu código e dados são temporariamente copiados para o disco.
  - ***Swap in***: o processo é copiado de volta do disco para a memória; sua execução será retomada do ponto onde parou.
- Está intimamente ligado à **gerência de memória.**

Escalonamento e as Filas do Sistema



Tipos de Escalonadores (Resumo)

Long-term scheduling	The decision to add to the pool of processes to be executed
Medium-term scheduling	The decision to add to the number of processes that are partially or fully in main memory
Short-term scheduling	The decision as to which available process will be executed by the processor
I/O scheduling	The decision as to which process's pending I/O request shall be handled by an available I/O device

Critérios de Escalonamento

- Maximizar **a taxa de utilização da UCP**.
- Maximizar a vazão ("***throughput***") do sistema.
- Minimizar o **tempo de execução** ("***turnaround***").
  - *Turnaround*: tempo total para executar um processo.
- Minimizar o **tempo de espera** ("***waiting time***"):
  - *Waiting time*: tempo de espera na fila de prontos.
- Minimizar o **tempo de resposta** ("***response time***").
  - *Response time:* tempo entre requisição e resposta (processos interativos).

Requisitos normalmente contraditórios!

Políticas de Escalonamento

- **Preemptivas**:
  - A UCP pode ser tomada do processo em execução **a qualquer momento**, ou seja, o processo de posse da UCP pode perdê-la compulsoriamente na ocorrência de certos eventos, como fim de fatia de tempo, processo mais prioritário torna-se pronto para execução, etc.
  - Não permite a monopolização da UCP.
- **Não-Preemptivas**:
  - O processo em execução **só perde a posse da UCP caso termine ou a devolva deliberadamente**, isto é, uma vez no estado *running*, ele só muda de estado caso conclua a sua execução ou bloqueie a si mesmo (ex. chamada de sistema para fazer uma operação de E/S.)

Algoritmos de Escalonamento (1)

- Os critéiros mostrados (slide 10) podem ser contraditórios
  - Impossível atender a todos eles simultaneamente
- Com isso... os algoritmos buscam:
  - Obter **bons tempos médios** ao invés de maximizar ou minimizar um determinado critério.
  - Privilegiar a variância em relação a tempos médios, i.e., garantir níveis de serviço previsíveis.
- As **Políticas de Escalonamento** podem combinar diferentes algoritmos.

Exemplos de Algoritmos de Escalonamento

- FIFO (First-In First-Out) ou FCFS (First-Come First-Served)
- SJF (Shortest Job First) ou SPN (Shortest Process Next)
- SRTF (Shortest Remaining Time First)
- Round-Robin
- Priority
- Multiple queue (acaba sendo uma política...)

First-Come First-Served (1)

- Algoritmo de baixa complexidade.
- Exemplo de abordagem **não-preemptiva**.
- Algoritmo:
  - Processos que se tornam aptos para execução são inseridos no final da fila de prontos.
  - O primeiro processo da fila é selecionado para execução.
  - O processo executa até que:
    - Termina a sua execução;
    - Realiza uma chamada ao sistema.

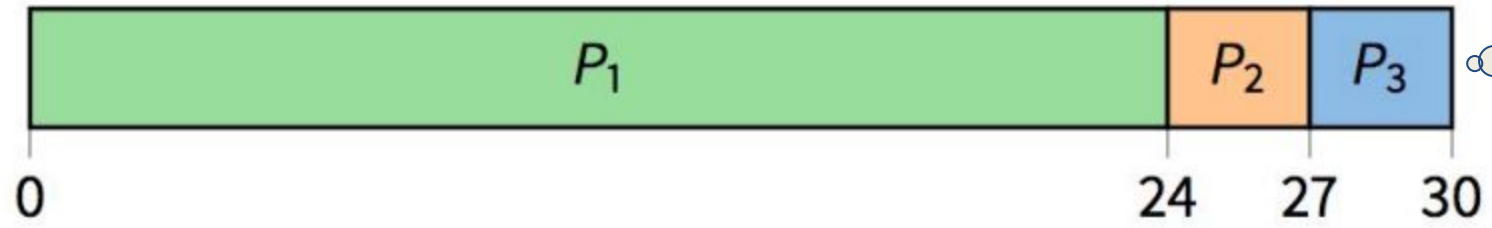
First-Come First-Served (2)

- **Processos pequenos** podem ter que **esperar** por muito tempo, atrás de processos longos, até que possam ser executados ("*convoy effect*").
- **Favorece** processos **CPU-bound**.
  - Processos I/O-bound têm que esperar muito até que processos CPU-bound terminem a sua execução.
- Algoritmo particularmente **problemático** para sistemas de **tempo compartilhado**, em que os usuários precisam da CPU a intervalos regulares.

… Muito usado em sistemas Batch (sem processos interativos)

Processo	Tempo Exec.
P1	24s
P2	3s
P3	3s

First-Come First-Served (3)



Este é um **"Diagrama de Gantt"** (simplificado)

- Todos ingressaram na fila de prontos no instante 0s, mas nessa ordem: P_1 , P_2 , P_3
- Tempo de espera para cada processo:
  - ***Waiting time:*** $P_1 = 0$; $P_2 = 24$; $P_3 = 27$
- Tempo médio de espera:
  - ***Average waiting time (Tw)*****:** (0 + 24 + 27)/3 = 17

First-Come First-Served (4)

Processo	Tempo Exec.
P1	24s
P2	3s
P3	3s

… e se trocássemos a ordem de chegada?!

- Suponha que os mesmos processos cheguem agora na seguinte ordem: P_2 , P_3 , P_1
- Tempo de espera de cada processo:
  - ***Waiting time:*** P_1 = __; P_2 = __; P_3 = __
- Tempo médio de espera:
  - ***Average waiting time (Tw)*:** _____

First-Come First-Served (5)

Outro Exemplo... (solução no prox. slide)

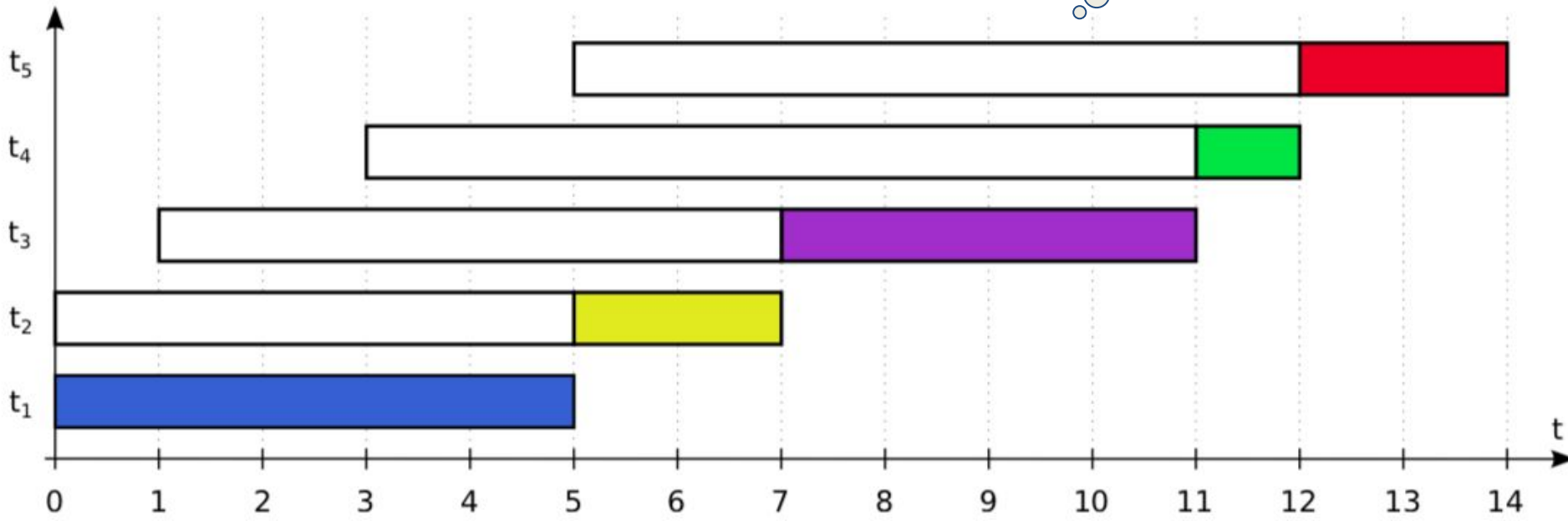
	Ingresso	Duração	Prioridade
t1	0	5	2
t2	0	2	3
t3	1	4	1
t4	3	1	4
t5	5	2	5

Qual é o tempo médio de execução ("*turnaround*") e o tempo médio de espera na fila de prontos?

*ATENÇÃO!! Apesar da **prioridade** estar sendo fornecida na tabela, reparem que para o algoritmo FCFS/FIFO, ela não é utilizada!!*

First-Come First-Served (6)

Este é um **"Diagrama de Gantt"** (tradicional)



	Ingresso	Duração	Prioridade
t1	0	5	2
t2	0	2	3
t3	1	4	1
t4	3	1	4
t5	5	2	5

Tt = [(5-0)+(7-0)+(11-1)+(12-3)+(14-5)]/5=8,0s
Tw=[(0-0)+(5-0)+(7-1)+(11-3)+(12-5)]/5=5,2s

*- **Tt** é a média dos tempos de execução (**turnaround**) dos processos.*
- O tempo de execução de cada processo é: tempo de término - tempo de ingresso/chegada na fila de prontos.
*- **Tw** é o tempo médio de espera*
- O tempo de espera é o tempo que um processo passa no estado "ready" (fila de prontos)

Shortest Job First - SJF (1)

- Baseia-se no fato de que privilegiando processos **pequenos** o **tempo médio de espera decresce**
  - O tempo de espera dos processos pequenos decresce mais do que o aumento do tempo de espera dos processos longos.

    … vejam slide 16 vs. slide 17
- É um algoritmo **ótimo**, de referência.

  … muito difícil de ser implementado!!

Shortest Job First - SJF (2)

- Abordagem 1:
  - Processo com menor **expectativa** de tempo de processamento total é selecionado para execução.

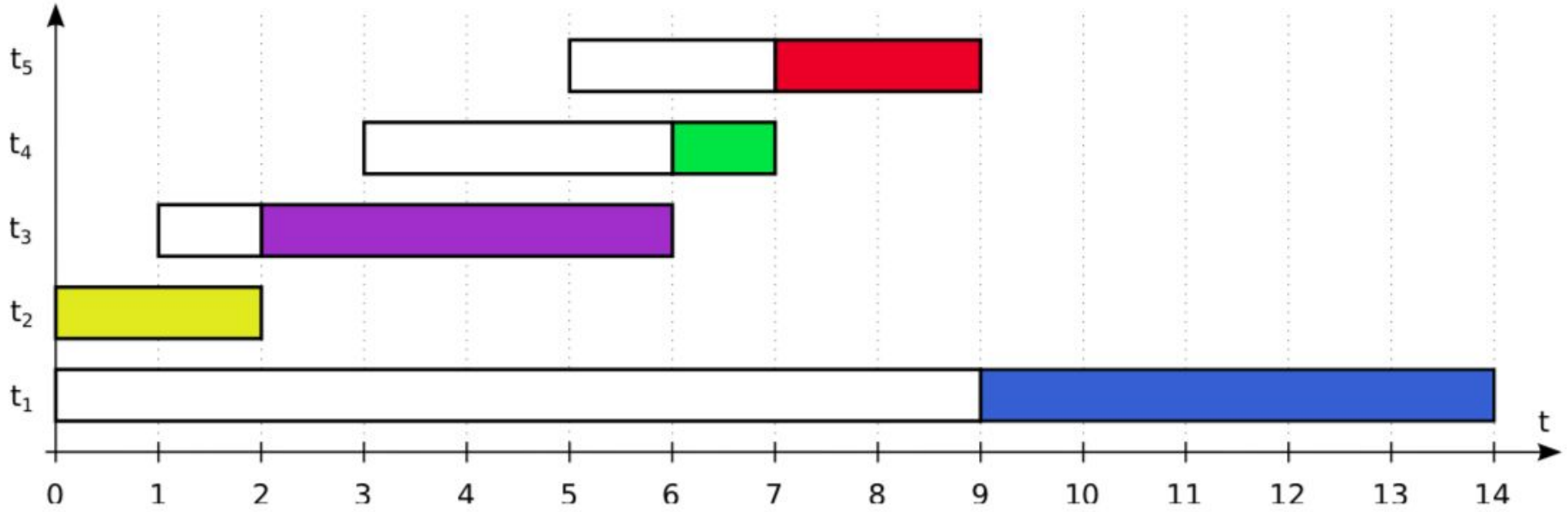
    ... esta abordagem faz mais sentido para sistemas Batch
- Abordagem 2:
  - Associado com cada processo está o tamanho do seu próximo ***CPU burst***.
  - Esse tamanho é usado como critério de escalonamento, sendo selecionado o processo de menor próximo *CPU burst*.

    ... o problema é justamente como saber qual é o tamanho do próximo CPU burst

Shortest Job First - SJF(3)

- Dois esquemas:
  - **Não-preemptivo** – uma vez a CPU alocada a um processo ela não pode ser dada a um outro antes do término do CPU burst corrente.
  - **Preemptivo** – se chega um novo processo com CPU burst menor que o tempo remanescente do processo corrente ocorre a preempção. Esse esquema é conhecido como ***Shortest-Remaining-Time-First (SRTF)*.**

SJF (Não-Preemptivo) - Exemplo



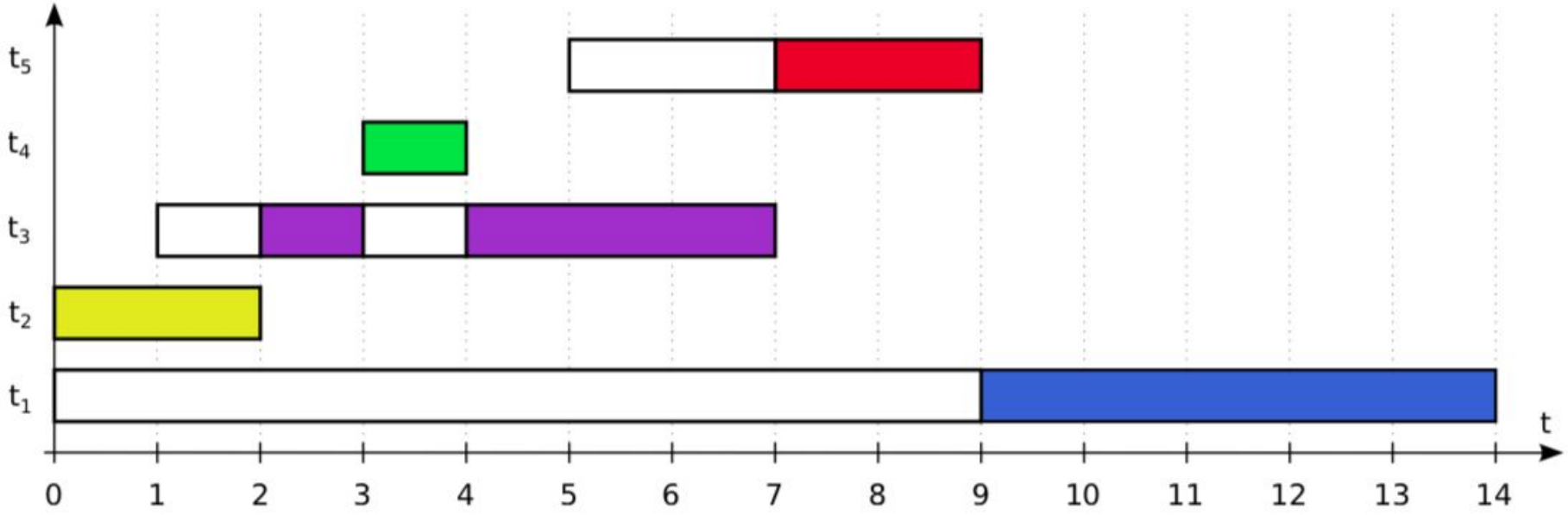
	Ingresso	Duração	Prioridade
t1	0	5	2
t2	0	2	3
t3	1	4	1
t4	3	1	4
t5	5	2	5

… prioridade NÃO é utilizada no SJF!!

Tt=(14+2+5+4+4)/5=29/5=5,8s
Tw=(9+0+1+3+2)/5=15/5=3,0s

*- **Tt** é a média dos tempos de execução (**turnaround**) dos processos.*
- O tempo de execução de cada processo é: tempo de término - tempo de ingresso/chegada na fila de prontos.
*- **Tw** é o tempo médio de espera*
- O tempo de espera é o tempo que um processo passa no estado "ready" (fila de prontos)

SJF Preemptivo (ou SRTF)



	Ingresso	Duração	Prioridade
t1	0	5	2
t2	0	2	3
t3	1	4	1
t4	3	1	4
t5	5	2	5

… prioridade NÃO é utilizada no SRTF!!

Tt=(14+2+6+1+4)/5=27/5=5,4s
Tw=(9+0+2+0+2)/5=13/5=2,6s

Observem que o tempo de espera da tarefa t3 é 2s pois ela passou 2 vezes pela fila de prontos, ficando 1s em cada vez

Prevendo o Tamanho do *Next CPU Burst* *(1)*

- A real dificuldade do algoritmo é conhecer o tamanho da próxima requisição de CPU.
  - Para escalonamento de longo prazo num sistema batch, podemos usar como tamanho o limite de tempo de CPU especificado pelo usuário quando da submissão do job.
  - No nível de escalonamento de curto prazo sua implementação pode ser apenas aproximada, já que não há como saber o tamanho da próxima requisição de CPU.

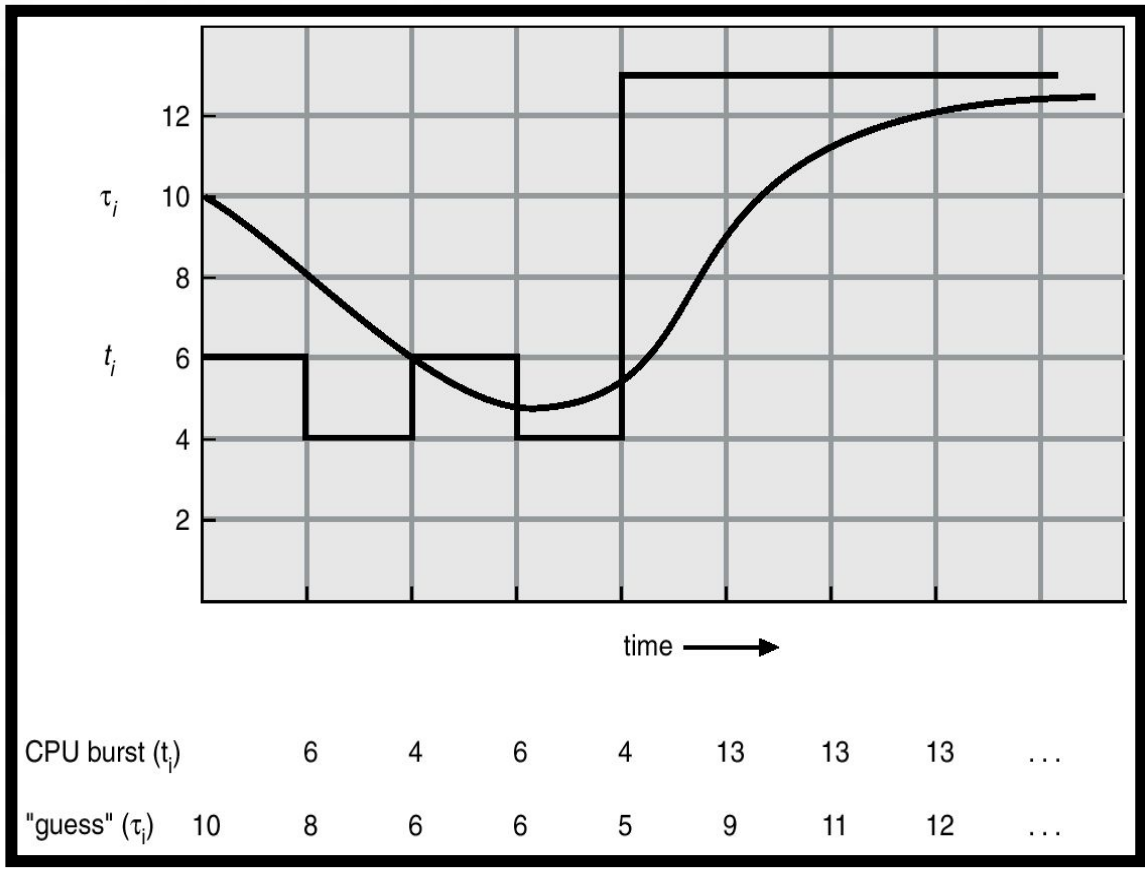
Prevendo o Tamanho do *Next CPU Burst* (2)

$\alpha = 1/2$

$\tau_0 = 10$

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

1. t_n = actual lenght of n^{th} CPU burst
2. τ_{n+1} = predicted value for the next CPU burst
3. α, $0 \le \alpha \le 1$



Escalonamento por Prioridade (1)

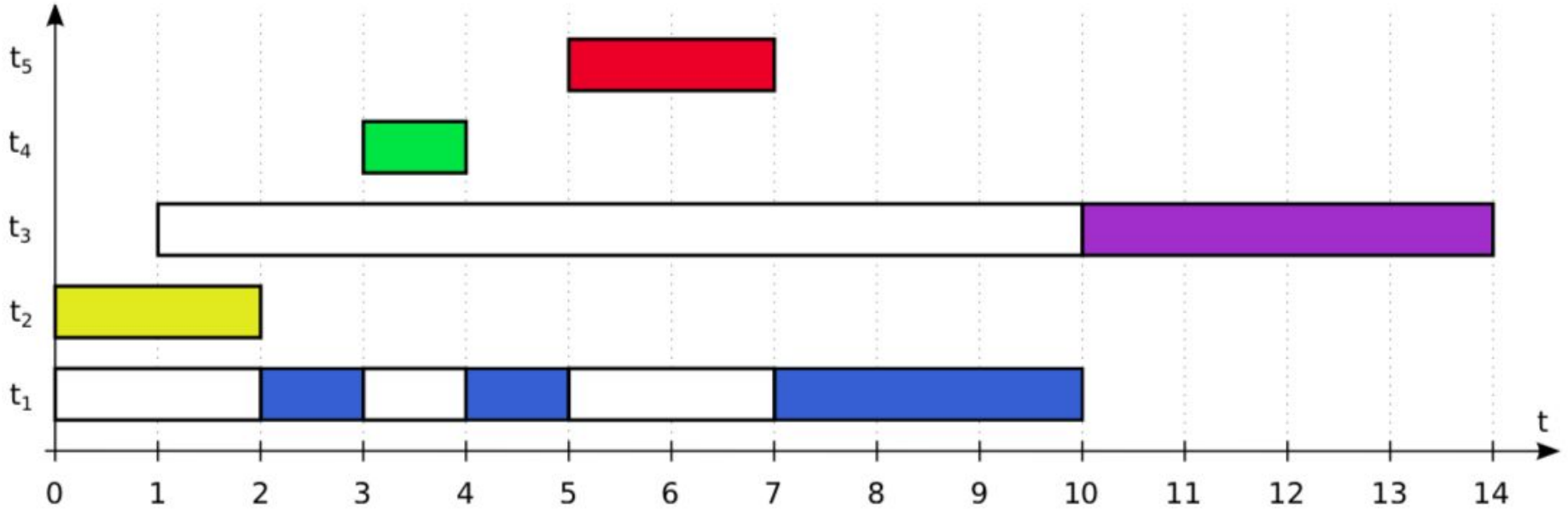
- Um número inteiro é associado a cada processo, refletindo a sua prioridade no sistema.
- A CPU é alocada ao processo de maior valor de prioridade na fila de prontos.

  Obs: normalmente no UNIX, é usada uma escala negativa/invertida, i.e., menor valor = maior prioridade (a maior prioridade é 0)
- Estratégia muito usada em S.O. de tempo real.

Escalonamento por Prioridade (2)

- Prioridades podem ser definidas interna ou externamente.
  - Definição **interna**:
    - Usa **alguma medida** (ou uma combinação delas) para computar o valor da prioridade. Por exemplo, limite de tempo, requisitos de memória, nº de arquivos abertos, razão entre *average I/O burst* e *average CPU burst*, etc.
  - Definição **externa**:
    - Definida por algum **critério externo** ao S.O (tipo do processo, departamento responsável, custo, etc.)
  - Problema: "starvation"
    - Prioridades **estáticas** pode levar um processo de baixa prioridade a nunca executar
  - Solução: "envelhecimento" ("***aging***")
    - Prioridade dinâmica... em que **a Prioridade aumenta com o passar do tempo**.

Prioridade Estática (1)



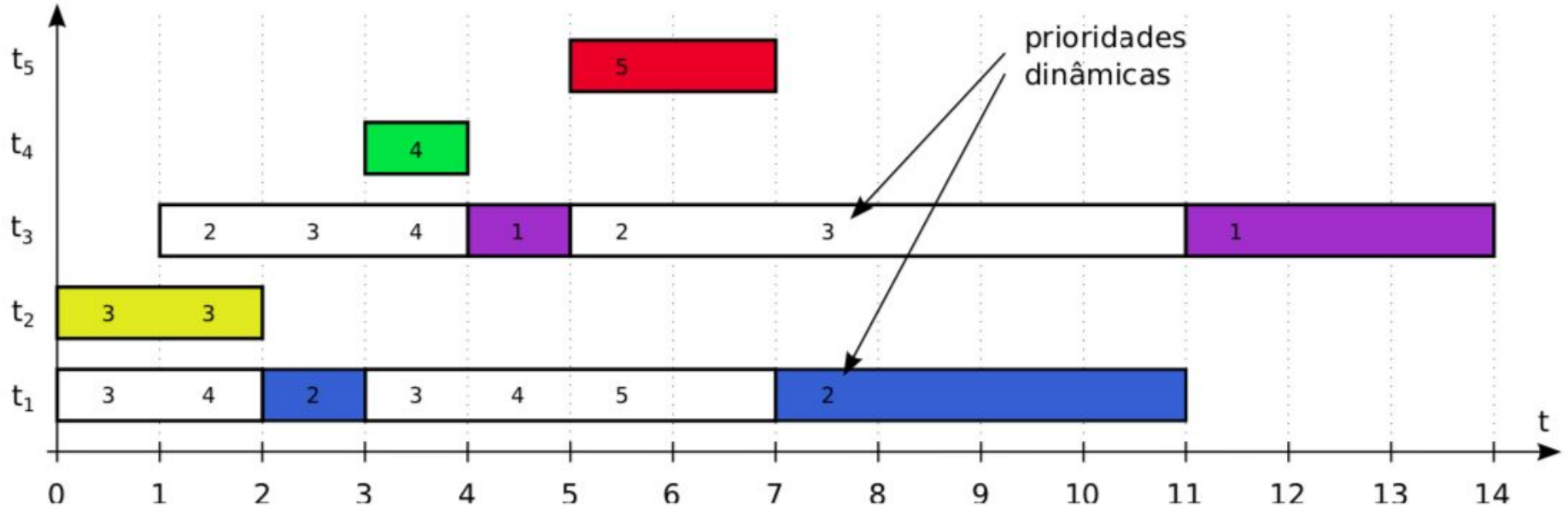
	Ingresso	Duração	Prioridade
t1	0	5	2
t2	0	2	3
t3	1	4	1
t4	3	1	4
t5	5	2	5

Tt=(10+2+13+1+2)/5=28/5=5,6s
Tw=(5+0+9+0+0)/5=14/5=2,8s

OBS: neste exemplo qto maior o número maior a prioridade.

Prioridade Dinâmica com "Aging"

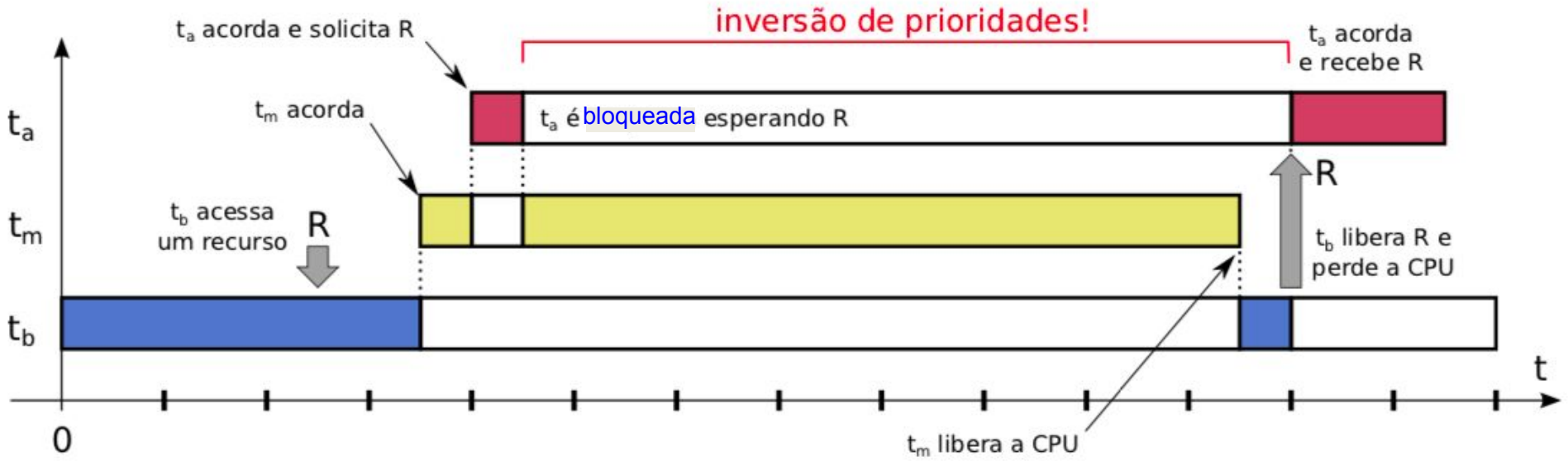
(livro do Maziero, pg.79-80)



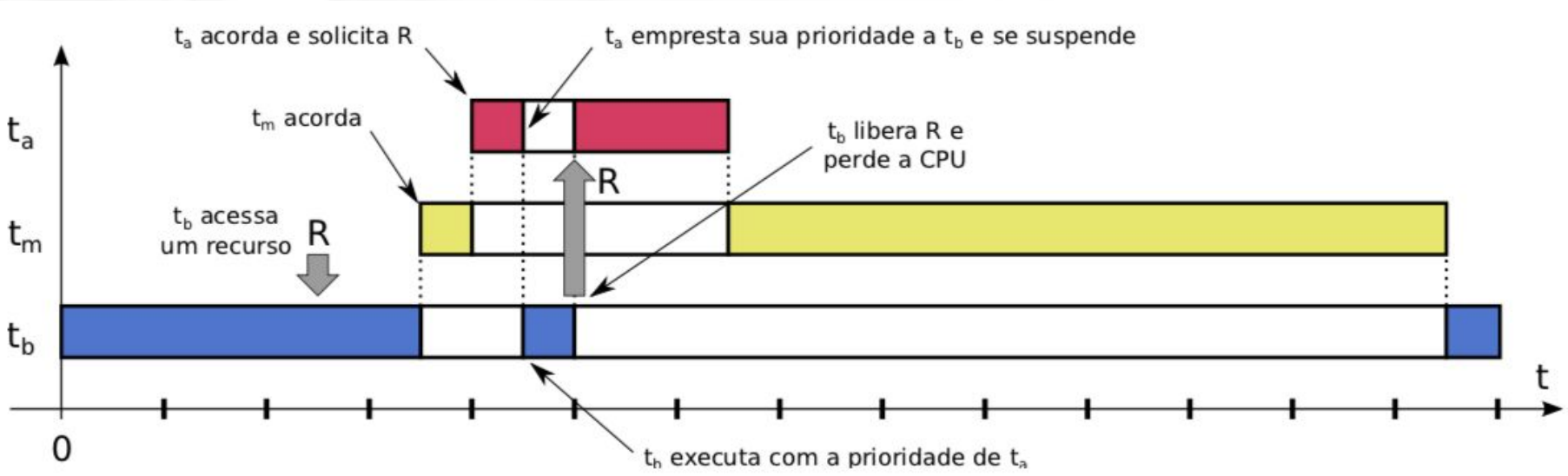
	Ingresso	Duração	Prioridade
t1	0	5	2
t2	0	2	3
t3	1	4	1
t4	3	1	4
t5	5	2	5

Tt=(10+2+13+1+2)/5=28/5=5,6s
Tw=(5+0+9+0+0)/5=14/5=2,8s

Problema da "Inversão de Prioridades" (1)

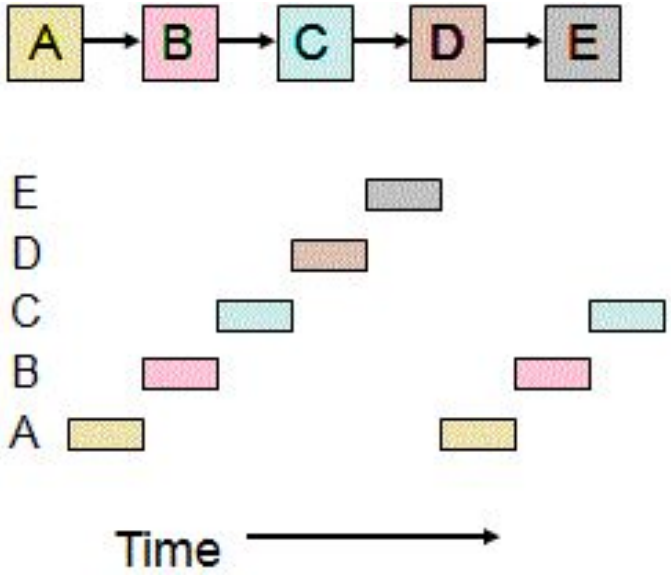


O Protocolo de Herança de Prioridade (PHP) (1)



Escalonamento Circular ("*Round-Robin*") (1)

- Algoritmo **típico** de sistemas operacionais de **tempo compartilhado**.
- Cada processo recebe uma pequena **fatia de tempo** de CPU (**quantum**)
  - Usualmente entre 10 e 100 ms.
- Após o término da sua fatia de tempo o processo é "**interrompido**" (**preemptado!**) e colocado no final da fila de prontos.



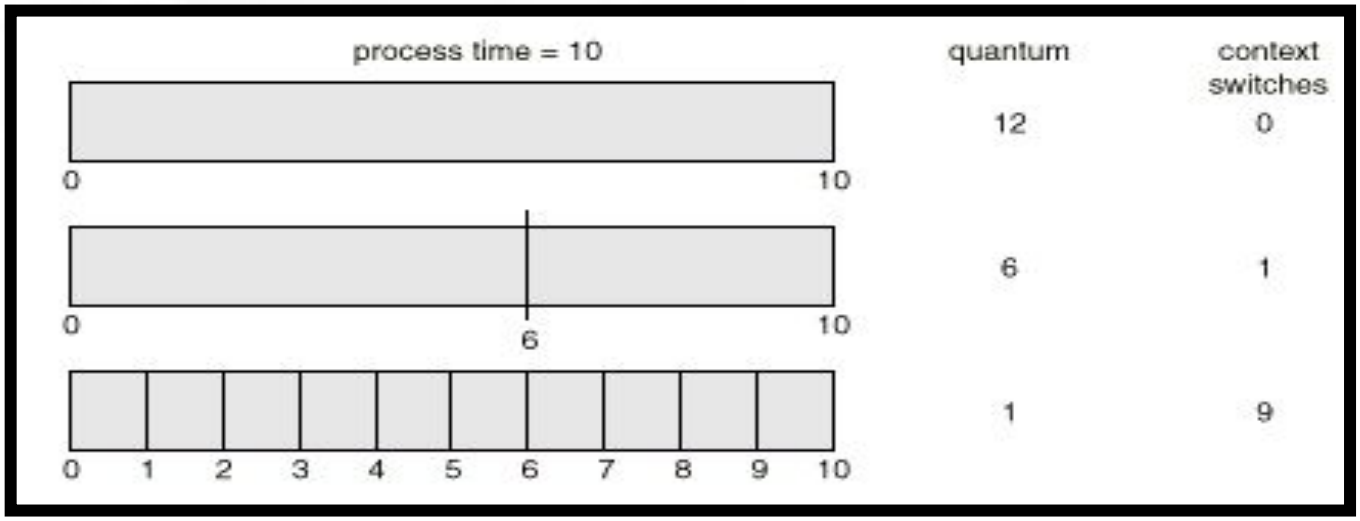
Escalonamento Circular ("*Round-Robin*") (2)

- Se ***n* processos** existem na fila de prontos e a **fatia de tempo é *q***, então cada processo recebe **1/*n* do tempo de CPU**, em fatias de *q* unidades de tempo de cada vez.
- **Nenhum processo** espera mais do que **(*n*-1).q** unidades de tempo.
  - Qual a relação c/ o **tempo de resposta**?
- Tipicamente, apresenta um tempo de ***turnaround* médio maior** que o SJF, por que?

É um algoritmo justo???

Escalonamento Circular ("*Round-Robin*") (3)

- Dependente do tamanho do quantum:
  - ***q* grande** ⇒ tende a FIFO.
  - ***q* pequeno** ⇒ gera muito *overhead* devido às trocas de contexto
  - **Regra geral: 80% CPU burst < *q***

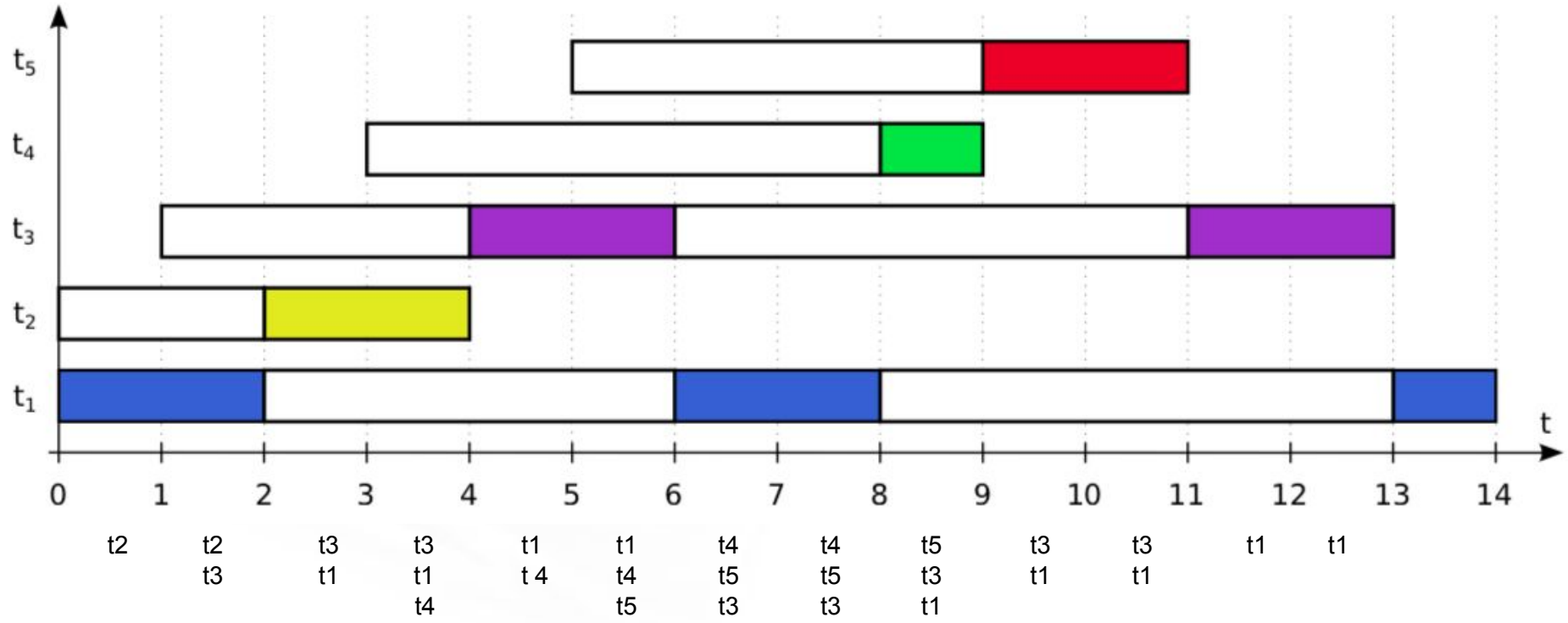


Escalonamento Circular ("*Round-Robin*") (4)

	Ingresso	Duração	Prioridade
t1	0	5	2
t2	0	2	3
t3	1	4	1
t4	3	1	4
t5	5	2	5

Supondo uma fatia de tempo (*quantum*) = 2, calcular:
Tt = tempo de execução (*turnaround time*)
Tw= tempo de espera na fila de prontos (*waiting time*)

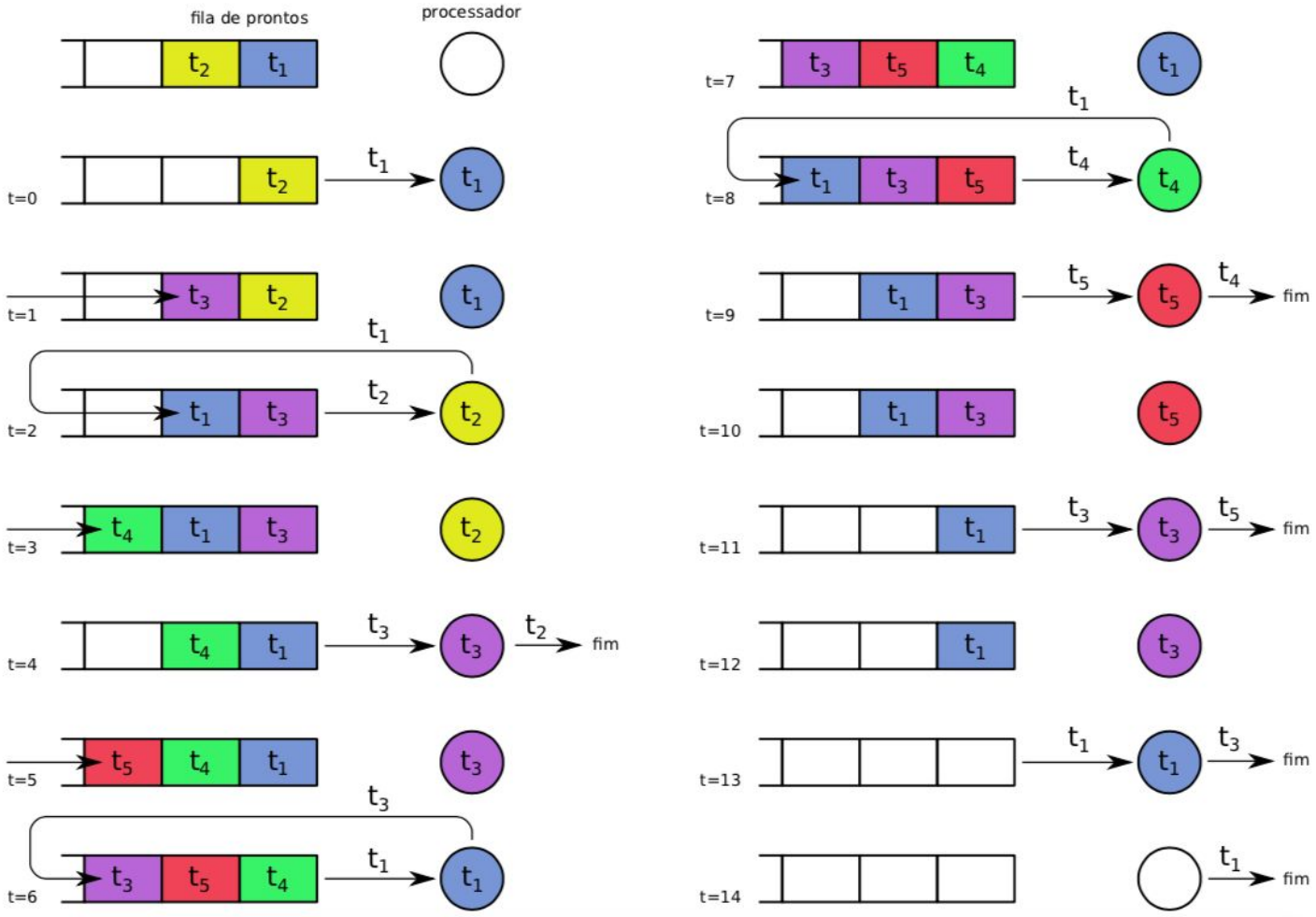
Escalonamento Circular ("*Round-Robin*") (5)



	Ingresso	Duração	Prioridade
t1	0	5	2
t2	0	2	3
t3	1	4	1
t4	3	1	4
t5	5	2	5

Tt = [(14-0)+(4-0)+(13-1)+(9-3)+(11-5)]/5=(14+4+12+6+6)/5=42/5=8,4s
Tw=[(4+5)+2+(3+5)+5+4]= (9+2+8+5+4)/5=28/5=5,6s

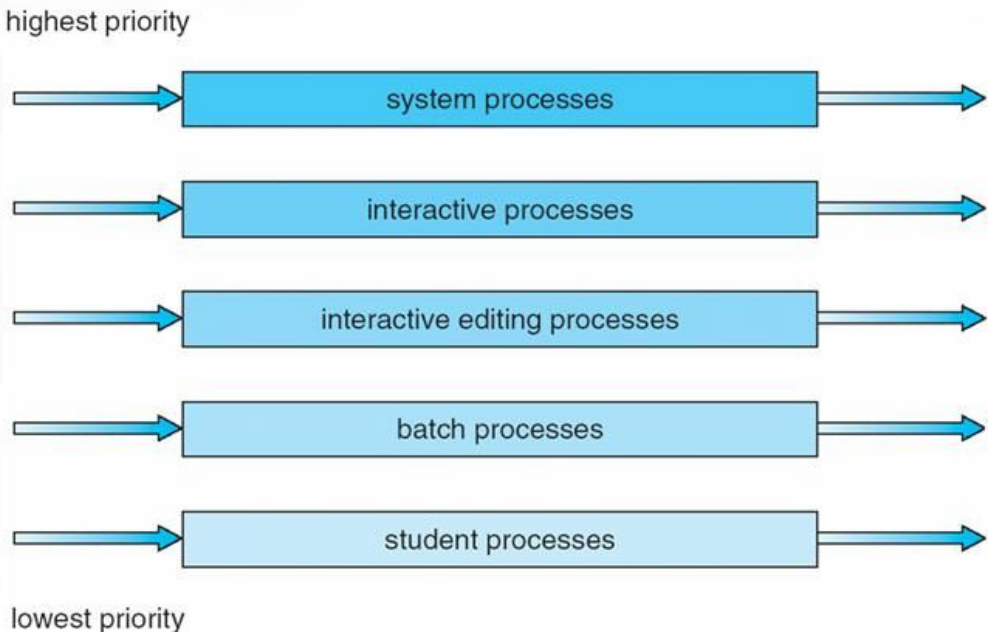
Escalonamento Circular ("*Round-Robin*") (6)



Escalonamento Multinível (1)

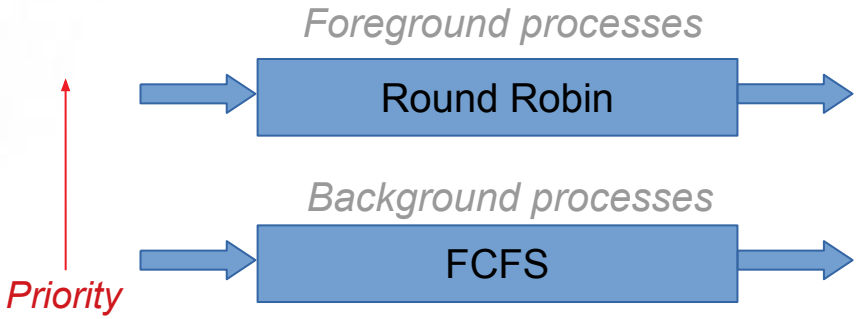
- A idéia base é dividir os processos em **diferentes grupos**, com diferentes requisitos de tempos de resposta.
- A cada grupo é associada uma fila, e **dentro dessa fila** é aplicado um **algoritmo de escalonamento**
- Também deve-se definir um **algoritmo de escalonamento entre as filas**
- Acaba representando uma **POLÍTICA DE ESCALONAMENTO**

EXEMPLO 1



Escalonamento Multinível (2)

- EXEMPLO 2
  - A fila de prontos pode ser dividida em duas filas separadas:
    - *foreground* (p/ processos interativos)
    - *background* (p/ processamento *batch*)
  - Cada fila apresenta o seu próprio algoritmo de escalonamento:
    - *foreground* – RR
    - *background* – FCFS



Escalonamento Multinível (3)

- Normalmente, o escalonamento **entre as filas** é implementado usando**:**
  - **Prioridades fixas** – atende primeiro aos processos da fila *foreground* e somente depois aos da fila *background*.
  - **OU**
  - **Time slice** – cada fila recebe uma quantidade de tempo de CPU para escalonamento entre os seus processos. Ex: 80% para *foreground* em RR e 20% para background em FCFS.

Escalonamento Multinível **com Feedback** (1)

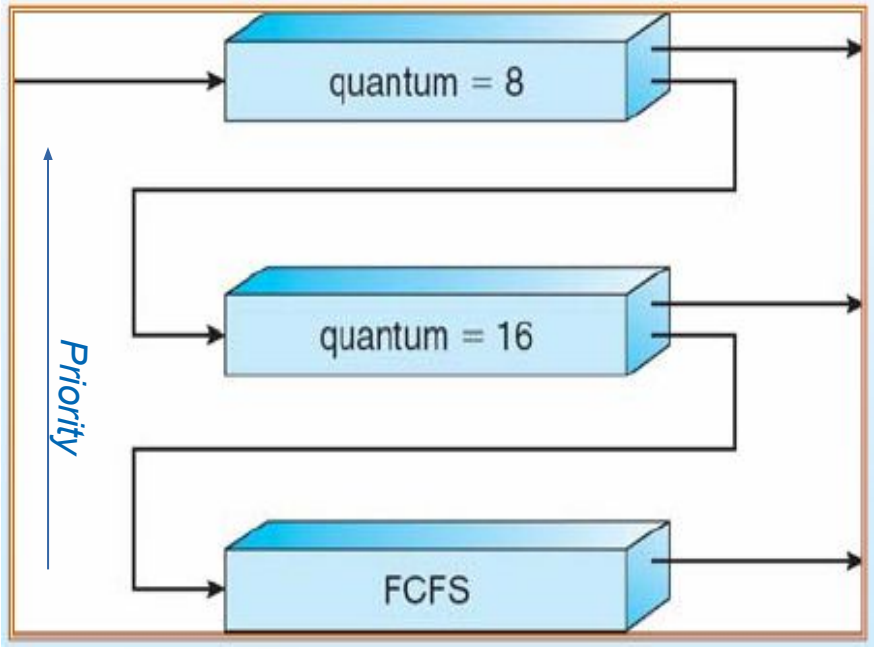
- O processo pode se mover entre as várias filas.
- O escalonador trabalha com base nos seguintes parâmetros:
  - Número de filas;
  - Algoritmo de escalonamento de cada fila;
  - Método usado para determinar quando aumentar e quando reduzir a prioridade do processo;
    - Escalonamento entre filas feito com base em **Prioridades**
  - Método usado para se determinar em que fila o processo será inserido.

Escalonamento Multinível **com Feedback** (2)

- **EXEMPLO 3:**
  - Suponha a existência de 3 filas:
    - Q_0 – time quantum 8 milliseconds
    - Q_1 – time quantum 16 milliseconds
    - Q_2 – FCFS
  - Escalonamento:
    - Um job novo entra na fila Q_0, que é servida segundo a estratégia RR. Quando ele ganha a CPU ele recebe 8 ms. Se não terminar em 8 ms, o job é movido para a fila Q_1.
    - Em Q_1 o job é novamente servido RR e recebe 16 ms adicionais. Se ainda não completar, ele é interrompido e movido para a fila Q_2.
    - Em Q2, FCFS
    - Entre as filas, aplica-se Prioridade

Escalonamento Multinível **com Feedback** (3)

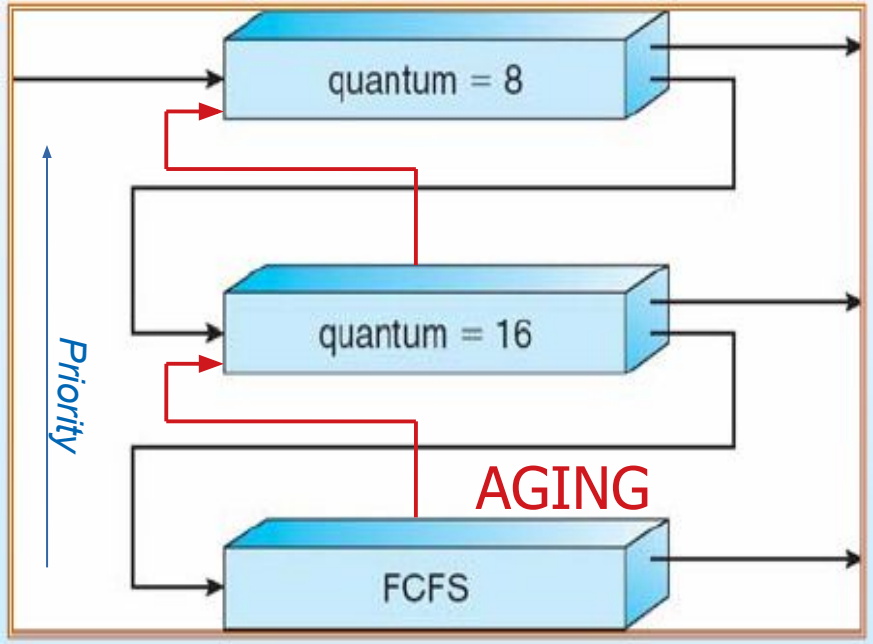
- **EXEMPLO 3 (CONT.)**



- E se as filas de cima nunca ficarem vazias???

Escalonamento Multinível **com Feedback** (4)

- **EXEMPLO 3 (CONT.)**

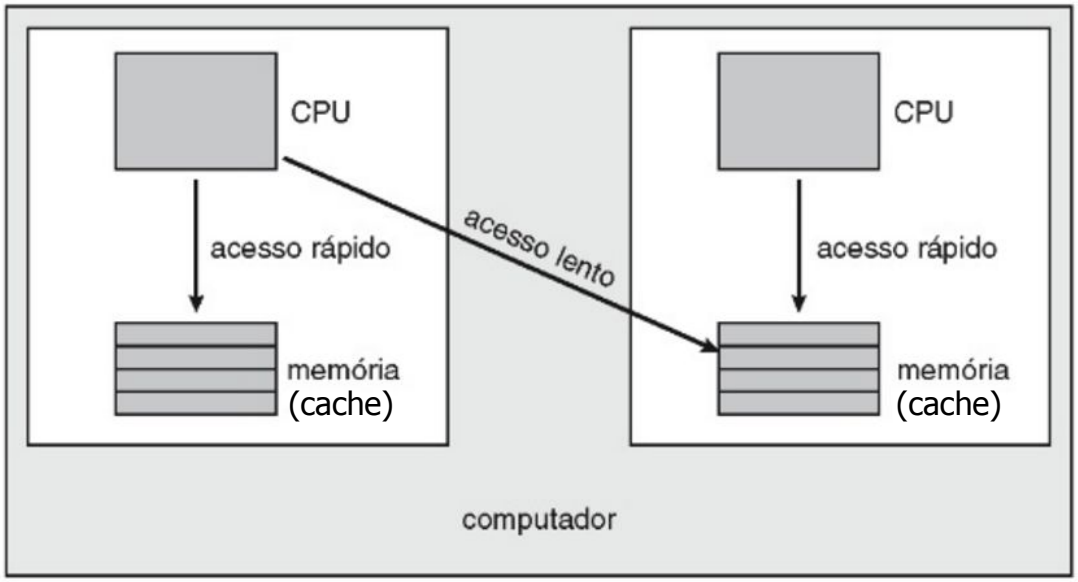


- E se as filas de cima nunca ficarem vazias???
  - Starvation!!
  - Solução: Usar o feedback pra implementar AGING!

Escalonamento com Multiprocessamento (1)

- No caso de **Asymetric Multi-Processing** (Master-Slave)
  - Todas as decisões de escalonamento são tomadas usando-se uma das CPUs (master)
  - As demais executam apenas programas de usuário.
- No caso de **Symetric Multi-Processing (SMP)**
  - Cada CPU roda código de kernel (escalonador)
  - Pode haver:
    - Uma **fila única** para todos os processadores
    - **Filas diferentes** para processadores diferentes
  - É importante realizar **load balancing**

Escalonamento com Multiprocessamento (2)



- **Processor affinity**
  - Atualização da Cache é custosa
  - Pode ser interessante o processo "ter afinidade" com o processador no qual ele está rodando
  - *Soft affinity x hard affinity*

Referências

- C. Maziero, Sistemas Operacionais
  - Capítulo 6 (6.1 a 6.4), p.70-82, Escalonamento de Tarefas. Capítulo 7 (inversão de prioridades)
- A. Sylberschatz, Operating Systems, 6th edition
  - Chapter 6 (6.1 to 6.5), p.151-172, CPU Scheduling.
- W. Stallings, Operating Systems, sixth edition
  - Chapter 9, p.405-418, Uniprocessor Scheduling.
- H. Deitel, Sistemas Operacionais, 3a edição
  - Capítulo 8, p.208-226, Escalonamento de Processador.