

Sistemas de Tempo-Real

Aula 6

Escalonamento usando prioridades dinâmicas

Escalonamento *on-line* com prioridades dinâmicas:

O critério *Earliest Deadline First* – limite de utilização de CPU

Optimalidade e comparação com RM:

nível de escalonabilidade, número de preempções,
jitter de disparo e tempo de resposta

Outros critérios de prioridades dinâmicas:

Least Slack First, First Come First Served

Adaptado dos slides desenvolvidos pelo Prof. Doutor Luís Almeida
para a disciplina “Sistemas de Tempo-Real”

Revisto em Out/2013 por Paulo Pedreiras

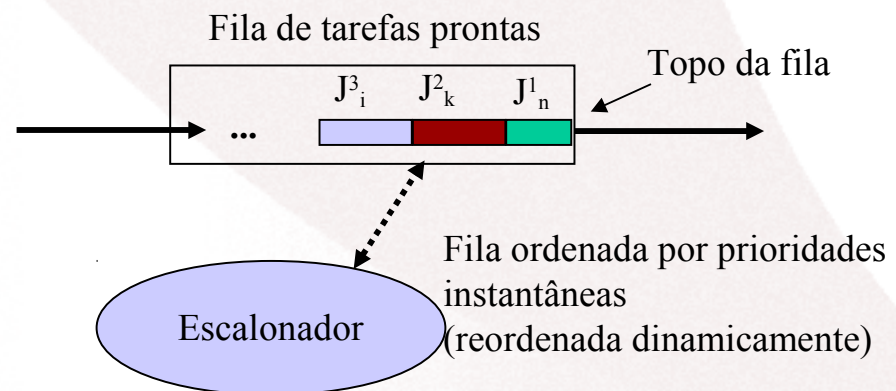
Aula anterior (5)

- Escalonamento **on-line** usando **prioridades fixas**
- O critério de escalonamento **Rate Monotonic** – análise de escalonabilidade baseada na **utilização**
- O critério **Deadline Monotonic** e de **prioridade fixa arbitrária**
- Análise usando **tempo de resposta** de pior caso.

Escalonamento on-line com prioridades dinâmicas

- O escalonamento baseia-se num **parâmetro dinâmico**, i.e. que só conhecido em tempo de execução do escalonador
- O **parâmetro dinâmico** usado para orientar o escalonamento pode ser entendido como uma **prioridade dinâmica**
- A fila de tarefa prontas a executar é ordenada por prioridades decrescentes sempre que há uma alteração de prioridades relativas. Executa **primeiro** a que tem **maior prioridade instantânea**.

Complexidade $O(n.\log(n))$



Escalonamento on-line com prioridades dinâmicas

A favor

- Facilmente escalável
 - alterações nas tarefas podem ser imediatamente tidas em conta pelo *scheduler*
- Acomoda facilmente tarefas esporádicas

Contra

- Implementação mais complexa
 - requer um *kernel* com suporte a prioridades dinâmicas
- *Overhead* de execução mais elevado
 - reordenação dinâmica da fila das tarefas prontas – depende do algoritmo
- Imprevisibilidade face a sobrecargas
 - não é possível saber *a priori* quais os subconjuntos de tarefas que vão e que não vão cumprir a *deadline*

Escalonamento on-line com prioridades dinâmicas

Atribuição de prioridades

- Inversamente proporcional ao tempo para a *deadline*
 - **EDF – Earliest Deadline First**
 - ótimo em relação aos critérios de prioridades dinâmicas
- Inversamente proporcional ao tempo livre (*laxity* ou *slack*)
 - **LSF (LST ou LLF) – Least Slack First**
 - ótimo em relação aos critérios de prioridades dinâmicas
- Inversamente proporcional ao tempo de espera por serviço
 - **FCFS – First Come First Served**
 - não ótimo relativamente ao cumprimento de *deadlines*
- etc.

Escalonamento on-line com prioridades dinâmicas

Verificação de escalonabilidade

- Como o escalonamento só é construído *on-line* pode ser importante saber ***a priori*** se um dado conjunto de tarefas **cumpre ou não** os seus **requisitos temporais**
- Existem três tipos principais de testes de escalonabilidade:
 - Baseados na **taxa de utilização** do CPU
 - Baseados na **carga imposta** ao CPU (*processor demand*)
 - Baseados no **tempo de resposta**

Escalonamento EDF

Testes para EDF baseados na taxa de utilização

(com preempção e n tarefas independentes)

- $D=T$

- $U(n) = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{T_i} \leq 1 \Leftrightarrow$ Conjunto escalonável

- **Permite usar 100% do CPU mantendo as garantias temporais**

- $D < T$

- $\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{D_i} \leq 1 \Rightarrow$ Conjunto escalonável

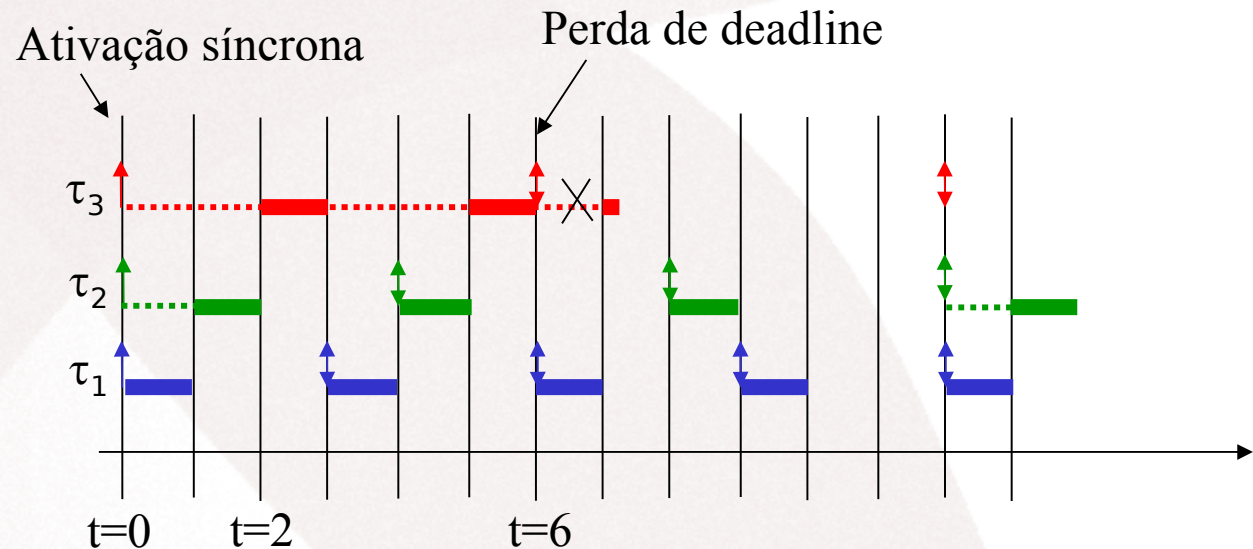
- D arbitrária

- $\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\min(D_i, T_i)} \leq 1 \Rightarrow$ Conjunto escalonável

Escalonamento RM – exemplo

Tabela de propriedades das tarefas

| τ_i | T_i | C_i |
|----------|-------|-------|
| 1 | 3 | 1 |
| 2 | 4 | 1 |
| 3 | 6 | 2.1 |



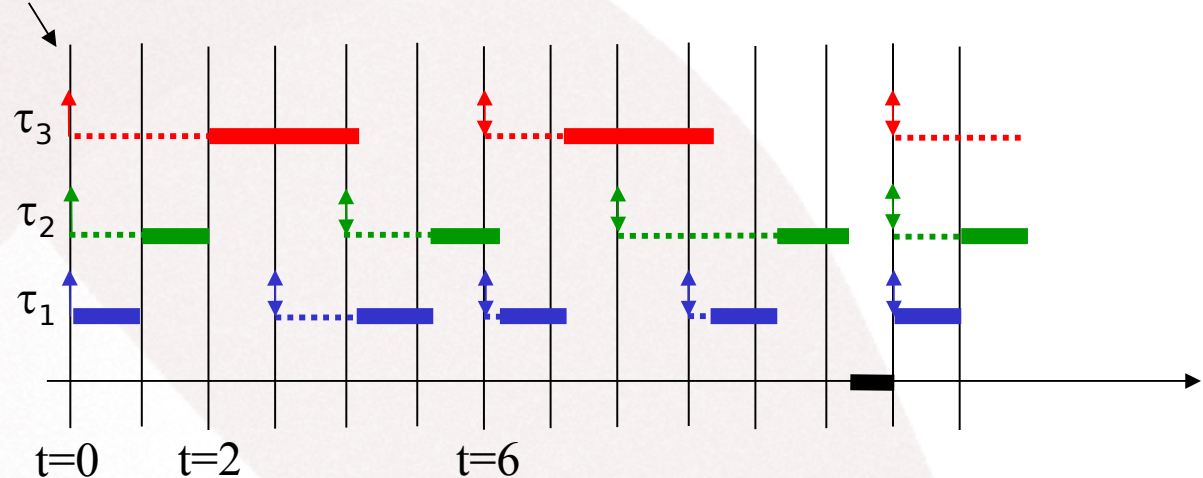
$U = 1/3 + 1/4 + 2.1/6 = 0.93 > 0.78 \Rightarrow$ 1 ativação por período NÃO garantida, com perda de *deadline* em τ_3

Escalonamento EDF – mesmo exemplo

Tabela de propriedades das tarefas

| τ_i | T_i | C_i |
|----------|-------|-------|
| 1 | 3 | 1 |
| 2 | 4 | 1 |
| 3 | 6 | 2.1 |

Ativação síncrona (irrelevante em EDF se $D=T$)



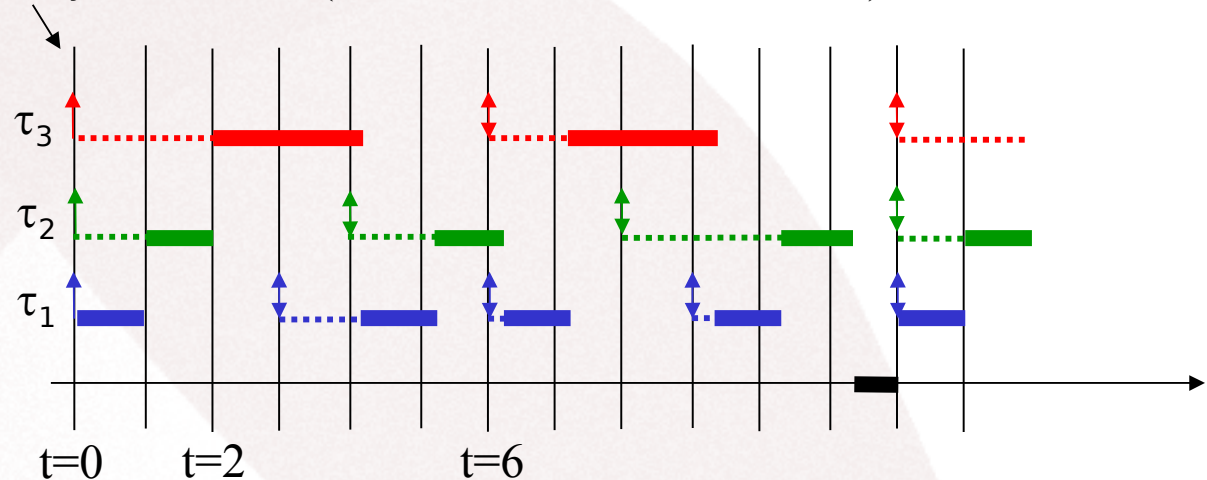
$$U = 1/3 + 1/4 + 2.1/6 = 0.93 \leq 1 \Leftrightarrow 1 \text{ ativação por período garantida}$$

Escalonamento EDF – mesmo exemplo

Tabela de propriedades das tarefas

| τ_i | T_i | C_i |
|----------|-------|-------|
| 1 | 3 | 1 |
| 2 | 4 | 1 |
| 3 | 6 | 2.1 |

Ativação síncrona (irrelevante em EDF se $D=T$)



Notar:

- Não há perdas de *deadline*
- Menos preempções
- *Jitter* nas tarefas rápidas
- A resposta de pior caso não é necessariamente na ativação síncrona

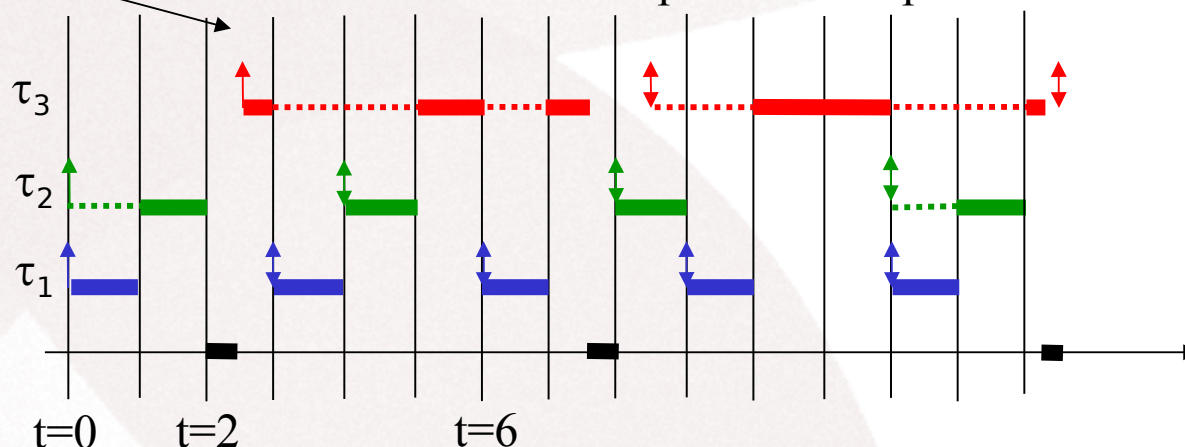
Escalonamento RM vs EDF – fases iniciais

Tabela de propriedades das tarefas

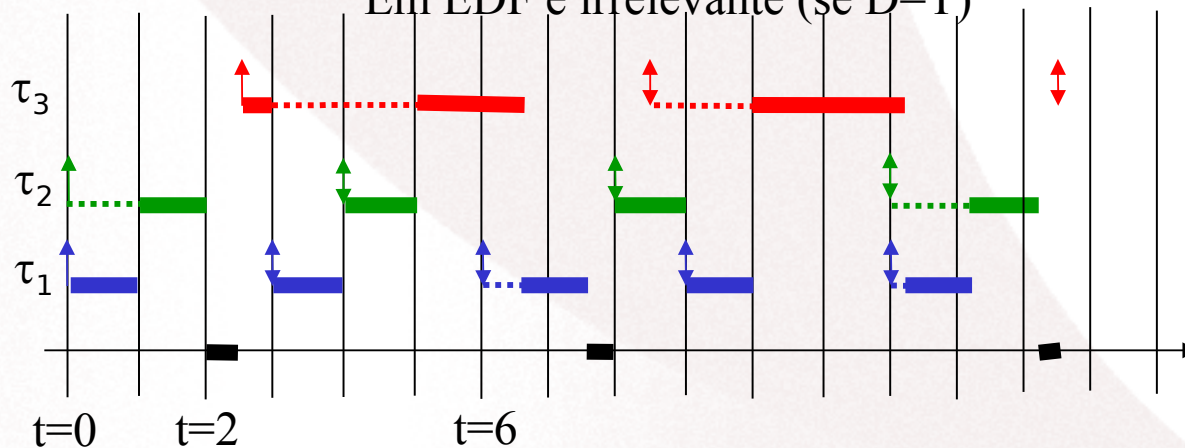
| τ_i | T_i | C_i | O_i |
|----------|-------|-------|-------|
| 1 | 3 | 1 | 0 |
| 2 | 4 | 1 | 0 |
| 3 | 6 | 2.1 | 2.5 |

Fase inicial O_3

Escalonamento RM passou a ser praticável !

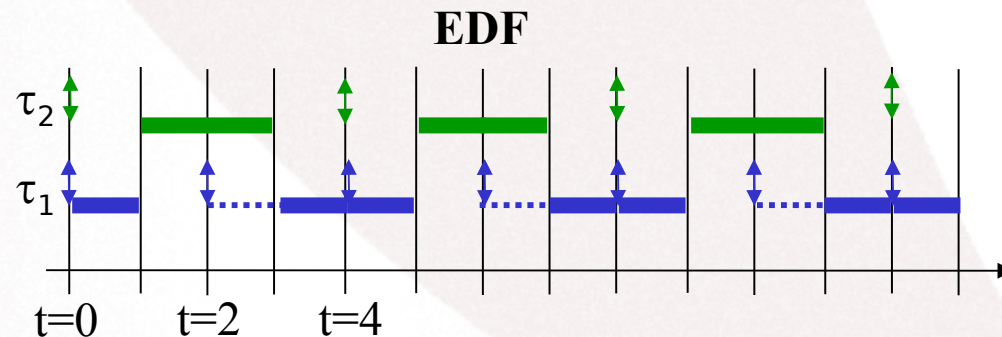
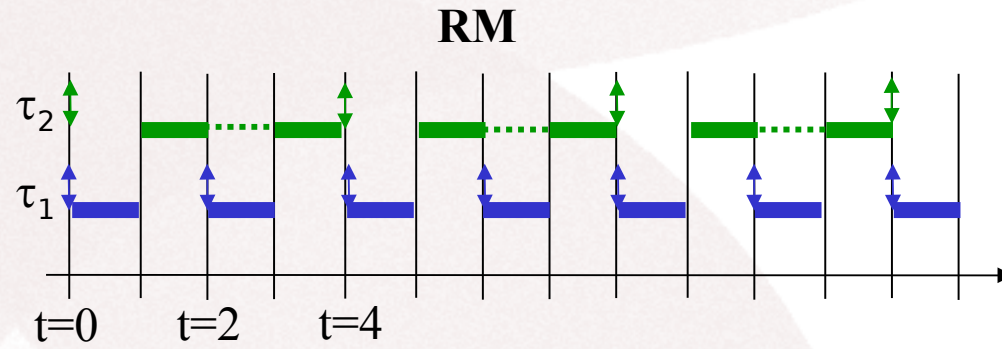


Em EDF é irrelevante (se $D=T$)



Escalonamento RM vs EDF – casos particulares

$$U = 1/2 + 2/4 = 1$$



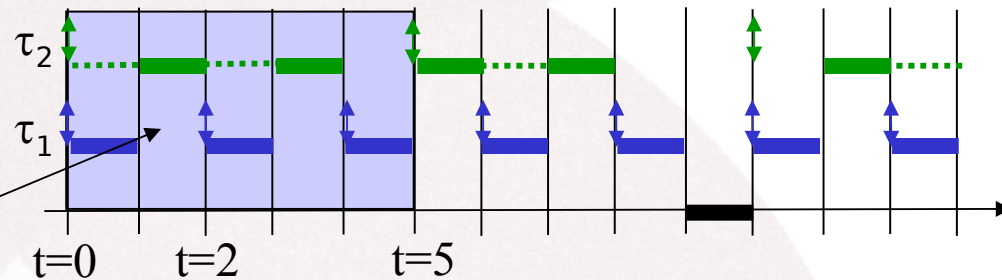
O escalonamento efetivo depende do critério de desempate mas as *deadlines* são cumpridas de qualquer modo

Escalonamento RM vs EDF – casos particulares

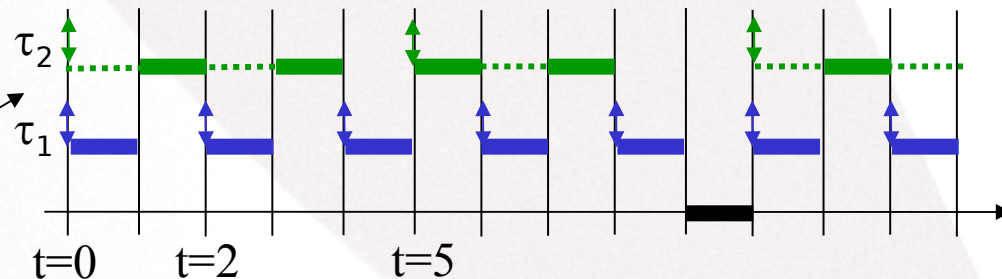
$$U = 1/2 + 2/5 = 0.9$$

C_1 ou C_2 **não** podem ser aumentados sem causar perda de *deadlines*

RM

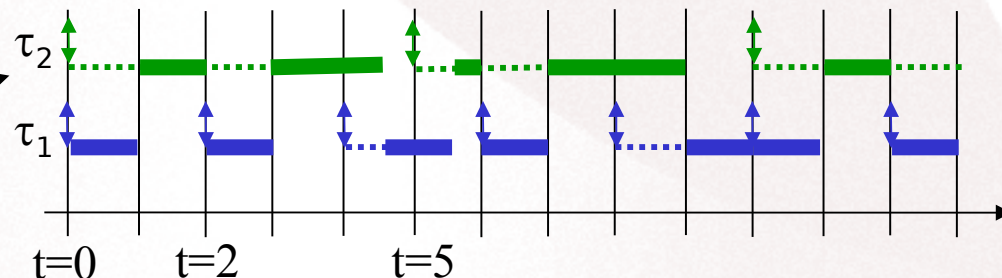


EDF



C_1 ou C_2 **podem** ser aumentados sem causar perda de *deadlines* até $U=1$

$$C_2 = 2.5 \Rightarrow U=1$$



Escalonamento EDF

Noção de *fairness*

- Justeza na distribuição de um recurso (e.g. CPU)
- EDF é intrinsecamente mais justo (*fair*) que RM no sentido de que as tarefas veem a sua prioridade elevada à medida que se aproximam da *deadline*, independentemente do seu período ou de outro parâmetro estático.

Consequências:

- Facilita-se o cumprimento das *deadlines*
- Evitam-se as preempções quando as tarefas se aproximam da *deadline*
- Usa-se o tempo disponível (*slack*) das tarefas de ritmo mais rápido mas cuja *deadline* é mais tardia (maior *jitter* nas tarefas de ritmo mais rápido)

Análise da carga imposta ao CPU

- Para $D \leq T$, o período de maior carga consecutiva de CPU (i.e. sem interrupção, tempo morto) corresponde à situação em que todas as tarefas são ativadas sincronamente. Esse período chama-se *synchronous busy period* e tem duração L
- L calcula-se pelo método iterativo seguinte, que nos devolve o primeiro instante desde a ativação síncrona em que o CPU executa todas as instâncias que lhe são submetidas

$$L(0) = \sum_i C_i$$
$$L(m+1) = \sum_i \left(\left\lceil \frac{L(m)}{T_i} \right\rceil * C_i \right)$$

Análise da carga imposta ao CPU

Sabendo L , temos de garantir a condição de carga, i.e.

$$h(t) \leq t, \forall t \in [0, L] \Rightarrow \text{Conjunto escalonável (ativações síncronas)}$$

em que $h(t)$ é a função de carga

$$h(t) = \sum_{i=1..n} \max\left(0, 1 + \left\lfloor \frac{t - D_i}{T_i} \right\rfloor\right) * C_i$$

O cálculo de $h(t)$ para $\forall t \in [0, L]$ é impraticável. Todavia basta verificar a condição de carga para os pontos em que a função de carga varia, i.e.

$$S = U_i(S_i), S_i = \{m * T_i + D_i : m = 0, 1, \dots\}$$

Nota: existem outros limites mais curtos que L

$$L = \frac{\sum_{i=1..n} (T_i - D_i) * U_i}{1 - U}, \text{ if } D_i \leq T_i, \forall i$$

I. Ripoll, A. Crespo, and A.K. Mok. Improvement in Feasibility Testing for Real-Time Tasks. Journal of Real-Time Systems, 11 (1):19-39, 1996.

just
another
example

Análise da carga imposta ao CPU

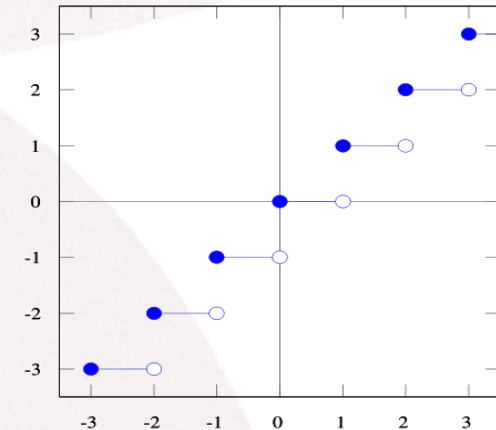
Ilustração de $h(t)$

- Tarefa com $T=D=4$; $C=1$

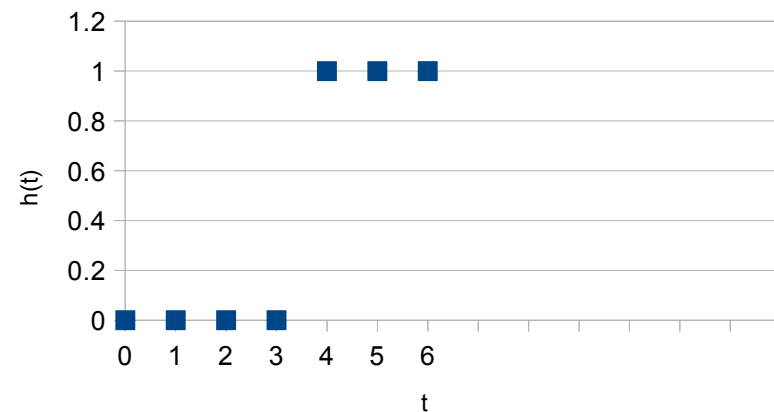
| t | $t-D$ | $\text{floor}((t-D)/T)$ | $h(t)$ |
|-----|-------|-------------------------|--------|
| 0 | -4 | -1 | 0 |
| 1 | -3 | -1 | 0 |
| 2 | -2 | -1 | 0 |
| 3 | -1 | -1 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 1 |
| 5 | 1 | 0 | 1 |
| 6 | 2 | 0 | 1 |

Floor function

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e1/Floor_function.svg/500px-Floor_function.svg.png



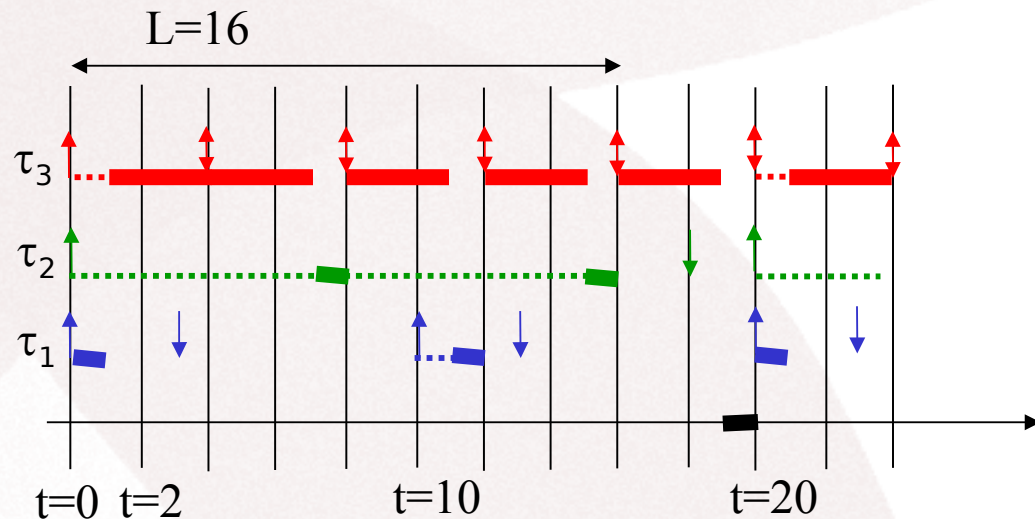
Carga



Escalonamento EDF

Tabela de propriedades das tarefas

| τ_i | C_i | D_i | T_i |
|----------|-------|-------|-------|
| 1 | 1 | 3 | 10 |
| 2 | 2 | 18 | 20 |
| 3 | 3 | 4 | 4 |



$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\min(D_i, T_i)} = \frac{1}{3} + \frac{2}{18} + \frac{3}{4} = 1.194 > 1 \Rightarrow \text{Escalonabilidade não garantida}$$

A análise de **carga imposta ao CPU** diz que o conjunto é escalonável

Análise do tempo de resposta

- Em EDF, a análise do **tempo de resposta** é mais complexa que em prioridades fixas pois não sabemos a priori qual instância que sofre a máxima interferência.
- Contudo é possível determinar o tempo de resposta de pior caso recorrendo também à noção de *busy period* mas relativo à deadline.
- Um majorante do tempo de resposta pode ser obtido muito facilmente com a seguinte expressão, desde que $U \leq 1$

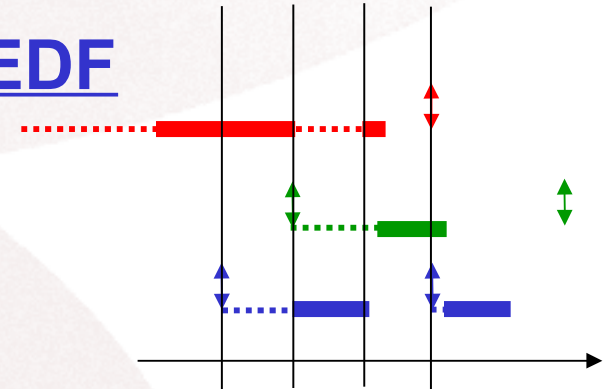
$$\forall_i, Rwc_i \leq T_i * U$$

Notar que este majorante é substancialmente pessimista!

Escalonamento LSF

Algumas propriedades de LSF vs EDF

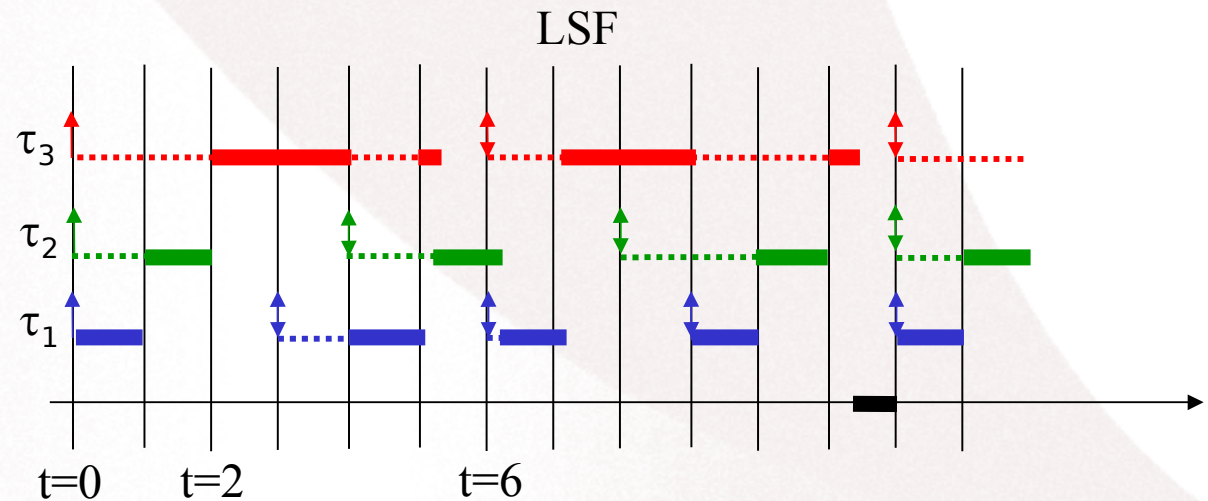
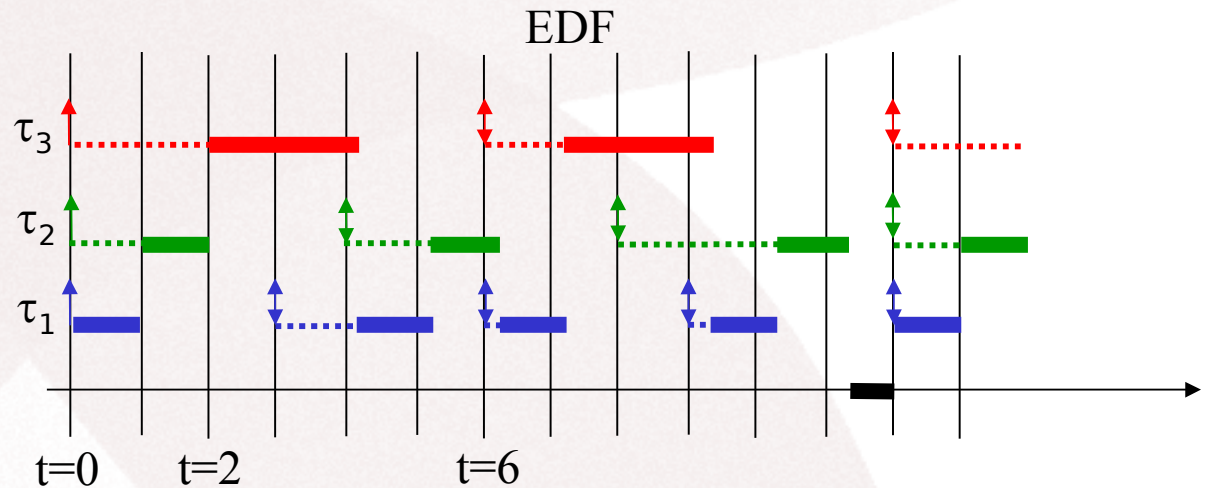
- Ótimo (tal como EDF)
- “Tempo livre” (*slack*) $\downarrow \Rightarrow$ Prioridade \uparrow
- Prioridade das tarefas prontas aumenta à medida que o tempo passa
- Prioridade da tarefa em execução mantém-se constante
 - em EDF, as prioridades de todas as tarefas prontas e em execução aumentam de igual modo à medida que o tempo passa
- **Reescalonamento** nos pontos em que **há ativações ou terminações**
- Causa maior número de preempções do que EDF (maior *overhead*)
- **Não apresenta vantagens face a EDF !**



Escalonamento LSF – mesmo exemplo

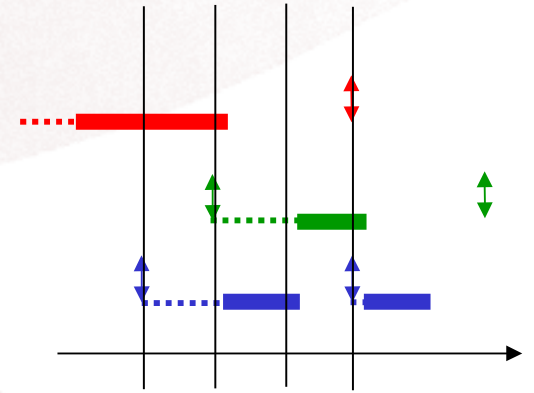
Tabela de propriedades das tarefas

| τ_i | T_i | C_i |
|----------|-------|-------|
| 1 | 3 | 1 |
| 2 | 4 | 1 |
| 3 | 6 | 2.1 |



Escalonamento FCFS

Algumas propriedades de FCFS vs EDF/LLF



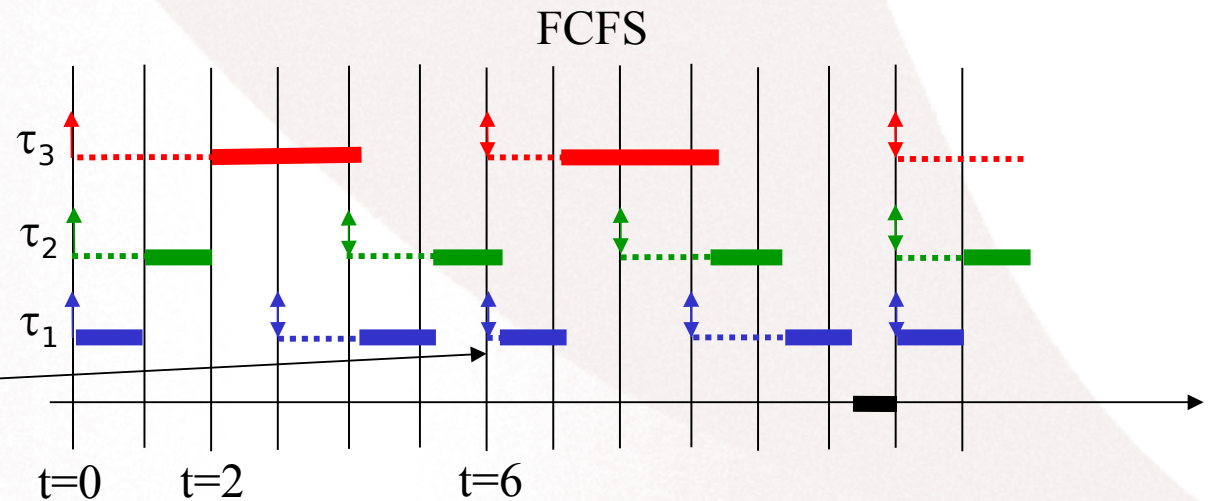
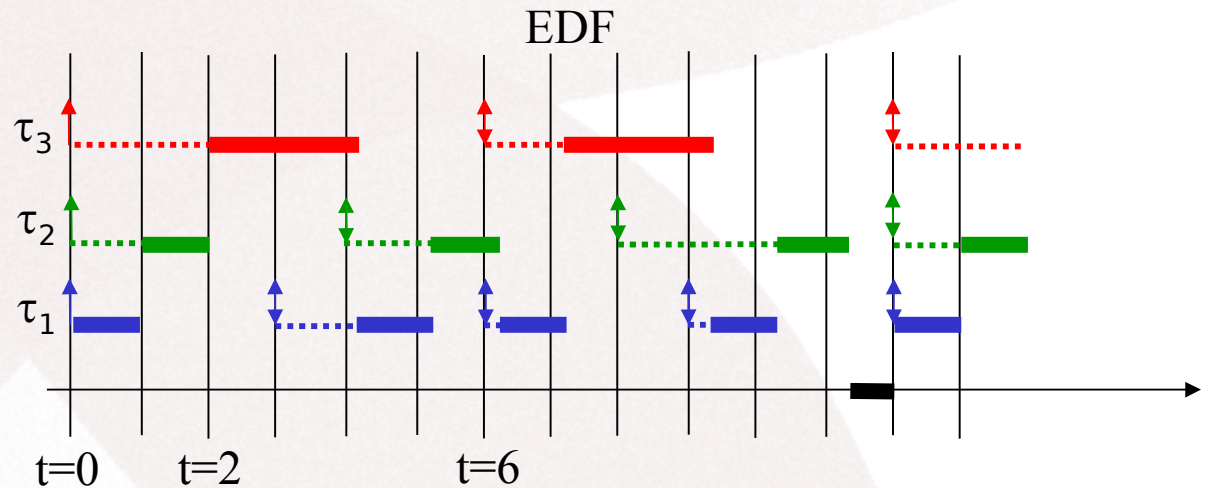
- Não ótimo
 - Pode levar a perda de *deadlines* com baixa utilização de CPU
- “Idade da instância” $\uparrow \Rightarrow$ Prioridade \uparrow
- Prioridade das tarefas prontas e em execução aumenta à medida que o tempo passa (tal como EDF)
- Quando chega uma instância nova é-lhe sempre atribuída a menor prioridade
- Não causa preempções (menor *overhead* – fácil implementação)
- **Comportamento temporal pobre !**

Escalonamento FCFS – mesmo exemplo

Tabela de propriedades das tarefas

| τ_i | T_i | C_i |
|----------|-------|-------|
| 1 | 3 | 1 |
| 2 | 4 | 1 |
| 3 | 6 | 2.1 |

Quando a idade é igual o critério de desempate é determinante!



Resumo da Aula 6

- Escalonamento *on-line* com prioridades dinâmicas
- O critério *EDF - Earliest Deadline First*: limite de utilização de CPU
- **Otimalidade** de EDF e **comparação com RM**:
 - nível de escalonabilidade, número de preempções, *jitter* de disparo e tempo de resposta
- Outros critérios de prioridades dinâmicas:
 - *LLF (LST) - Least Laxity (Slack) First*
 - *FCFS - First Come First Served*