Sistemas de Tempo-Real

Aula 7

Acesso exclusivo a recursos partilhados

O acesso exclusivo a recursos partilhados
A inversão de prioridades como consequência do bloqueio
Técnicas básicas para acesso exclusivo a recursos partilhados
Herança de prioridades (*Priority Inheritance Protocol – PIP*)
Protocolo de teto de prioridades (*Priority Ceiling Protocol – PCP*)
Protocolo de pilha de recursos (*Stack Resource Protocol- SRP*)

Adaptado dos slides desenvolvidos pelo Prof. Doutor Luís Almeida
para a disciplina "Sistemas de Tempo-Real"
Revisto em Nov/2012 por Paulo Pedreiras

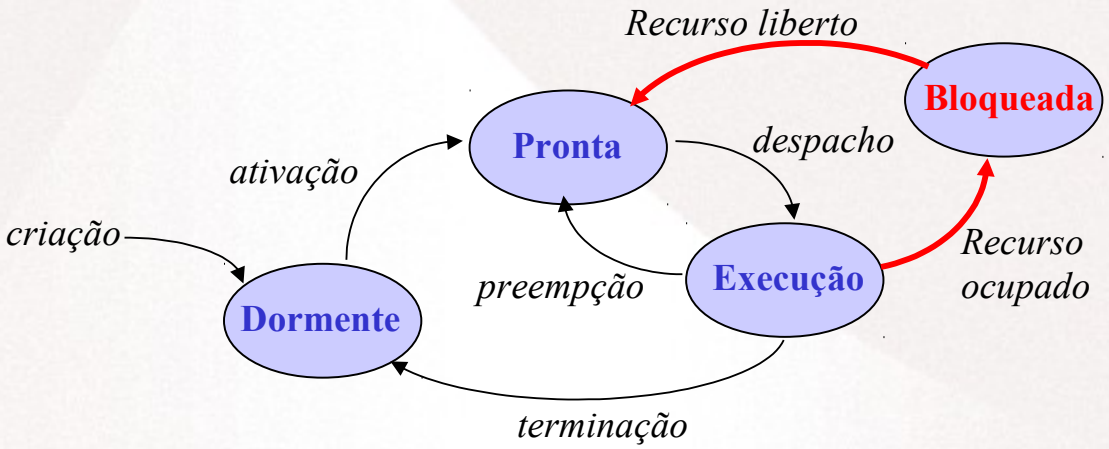
Aula anterior (6)

- **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***

Recursos partilhados com acesso exclusivo

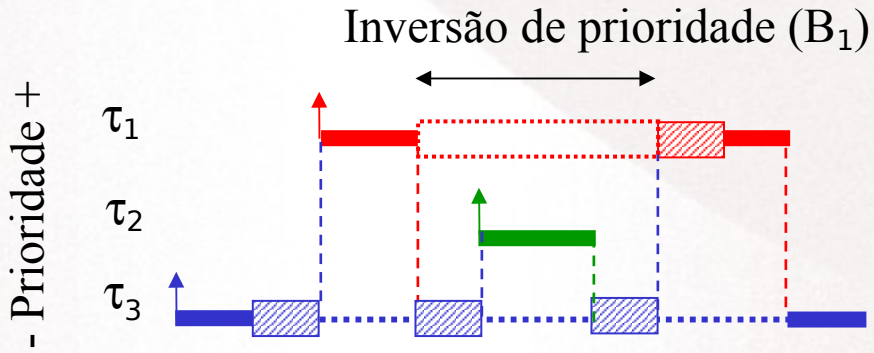
Tarefas: o estado de *Bloqueio*

Quando uma tarefa em execução tenta aceder a um recurso partilhado (e.g. uma porta de comunicação, um *buffer* em memória) que está ocupado em modo exclusivo por uma tarefa pronta, a primeira diz-se que fica **bloqueada**. Quando o recurso é libertado, a tarefa bloqueada fica novamente pronta para execução.



O fenómeno da inversão de prioridades

- Num sistema de tempo real com preempção e com tarefas **independentes**, quando uma **tarefa executa** é porque detém a **maior prioridade** nesse instante.
- Contudo, quando as tarefas podem aceder em modo exclusivo a recursos partilhados, a situação pode ser diferente. Quando uma tarefa em execução fica bloqueada, a **tarefa bloqueante tem menor prioridade**.
- Quando a tarefa bloqueante (e eventualmente quaisquer outras tarefas de prioridade intermédia) executa(m) existe uma **inversão de prioridades**.



O fenómeno da inversão de prioridades

- A **inversão de prioridades** é um fenómeno inevitável na presença de recursos partilhados de acesso exclusivo (intrínseco ao bloqueio)

- Contudo, é fundamental **limitar e quantificar o seu impacto** no pior caso, para que se possa raciocinar sobre a **escalonabilidade** do conjunto de tarefas.

- Assim, as técnicas usadas para garantir o acesso exclusivo a cada recurso (**primitivas de sincronização**) deverão permitir limitar a zona de inversão de prioridades e ser analisáveis, i.e. permitir **quantificar o máximo bloqueio** que cada tarefa poderá sofrer.

Técnicas para acesso exclusivo a recursos

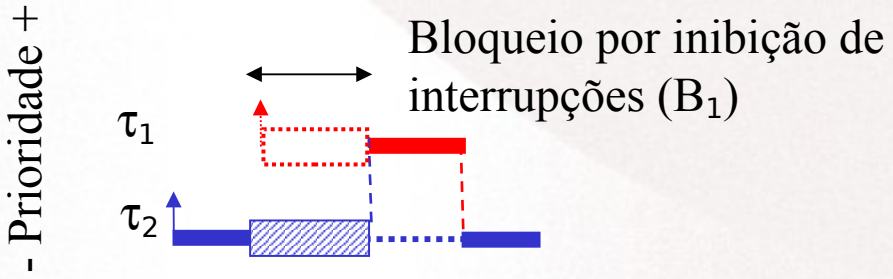
Primitivas de sincronização

- Inibição de **interrupções**
  - *disable / enable* ou *cli / sti*
- Inibição de **preempção**
  - *no_preemp / preempt*
- Utilização de ***locks*** ou ***flags* atómicas** (*mutexes* – se bem que este termo por vezes também é usado para designar semáforos – *lock / unlock*)
- Utilização de **semáforos**
  - contador+lista de processos – *P / V* ou *wait / signal*

Técnicas para acesso exclusivo a recursos

Inibição de interrupções

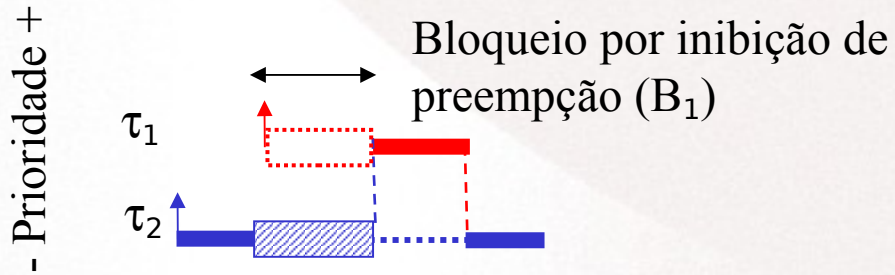
- Todas as restantes atividades do sistema ficam bloqueadas! (não apenas outras tarefas mas também o **atendimento a interrupções** externas e, principalmente, o atendimento do ***tick***).
- Esta técnica é muito fácil de implementar mas só deve ser usada com regiões críticas muito curtas (e.g. acesso a uma variável)
- Cada tarefa só pode ser **bloqueada uma vez** e pela duração da **maior região crítica** das tarefas de menor prioridade (ou menor *deadline* relativa para EDF) mesmo quando não usa recursos !!



Técnicas para acesso exclusivo a recursos

Inibição de preempção

- Todas as restantes tarefas do sistema ficam bloqueadas!
  Todavia o atendimento a interrupções, incluindo o do *tick,* não é afetado
- Fácil de implementar mas pouco eficiente (causa bloqueios desnecessários)
- Cada tarefa só pode ser **bloqueada uma vez** e pela duração da **maior região crítica** das tarefas de menor prioridade (ou menor *deadline* relativa para EDF) mesmo quando não usa recursos !!



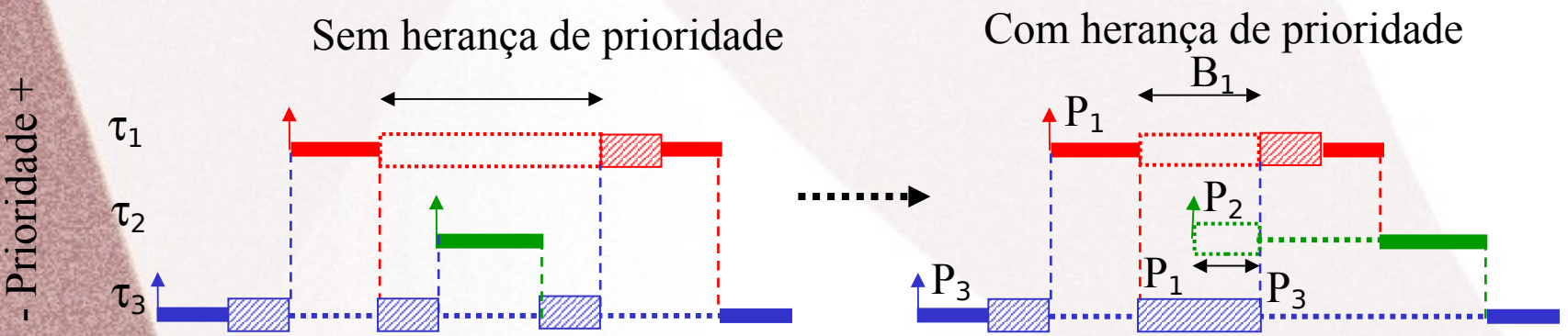
Técnicas para acesso exclusivo a recursos

Utilização de *locks* ou semáforos

- **Causa bloqueios apenas às tarefas que acedem a recursos**
- Implementação mais custosa mas mais eficiente
- Contudo, a duração dos bloqueios é bastante dependente do **protocolo específico** utilizado para **gerir os semáforos**
- Neste caso é particularmente importante que o referido protocolo permita **evitar**:
  - **Bloqueios indeterminados**
  - **Bloqueios em cadeia**
  - ***Deadlocks***

Protocolo de Herança de Prioridades
(PIP – Priority Inheritance Protocol)

- A tarefa bloqueante (menos prioritária) **herda a prioridade** da tarefa bloqueada (mais prioritária).
- Limita a duração dos bloqueios evitando que tarefas de prioridade intermédia executem enquanto a tarefa de menor prioridade, a bloqueante, não terminar a respetiva região crítica.

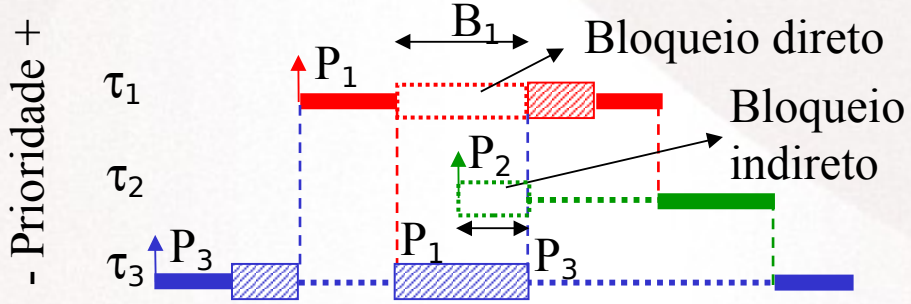


Protocolo de Herança de Prioridades (PIP)

Para majorar o **tempo de bloqueio** (B) note-se que uma tarefa pode ser bloqueada por qualquer tarefa de **menor prioridade**:

- com a qual partilhe um recurso (**direto**), ou
- que possa bloquear uma tarefa de maior prioridade (**indireto - *push-through***)

- Note-se ainda que, na ausência de acessos encadeados:
  - cada tarefa só pode bloquear outra uma vez
  - cada tarefa só pode ficar bloqueada uma vez em cada semáforo



e.g.	S_1	S_2	S_3
τ_1	**1**	**2**	**0**
τ_2	**0**	**9**	**3**
τ_3	**8**	**7**	**0**
τ_4	**6**	**5**	**4**

Protocolo de Herança de Prioridades (PIP)

Análise de escalonabilidade (RM)

$$\forall_{1 \le i \le n} \sum_{k=1}^{i} \frac{C_k}{T_k} + \frac{B_i}{T_i} \le i\left(2^{\frac{1}{i}} - 1\right)$$

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{T_i} + \max_{i=1\ldots n} \frac{B_i}{T_i} \le n\left(2^{\frac{1}{n}} - 1\right)$$

$$R_{wc_i} = C_i + B_i + \sum_{k=1}^{i-1} \left\lceil \frac{R_{wc_i}}{T_k} \right\rceil C_k$$

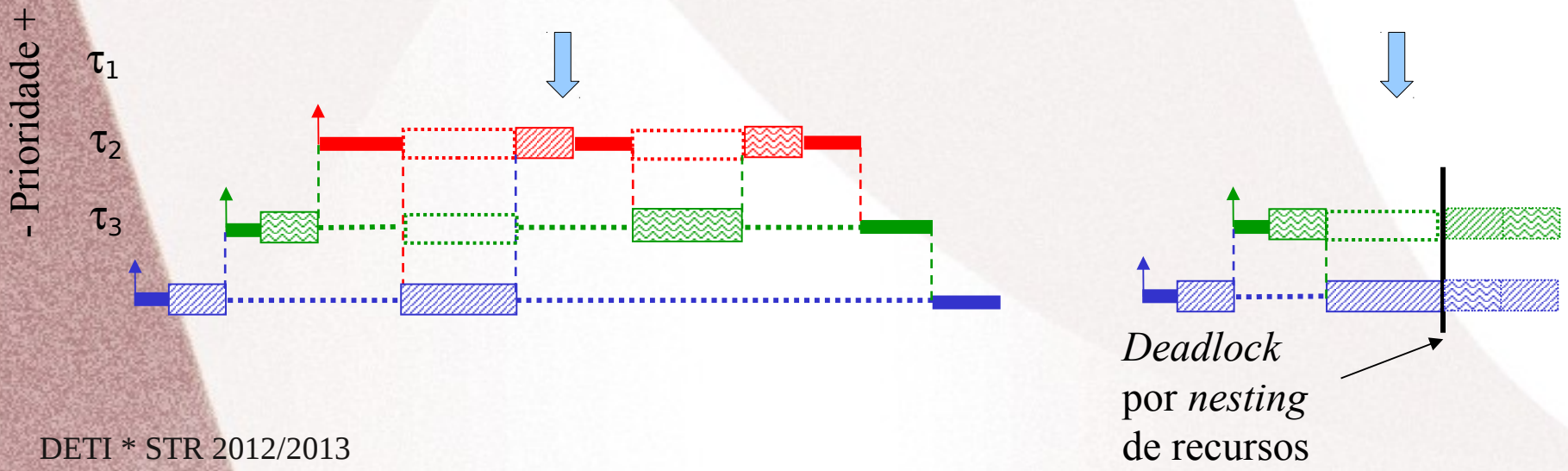
e.g.	C_i	T_i	B_i
τ_1	**5**	**30**	**17**
τ_2	**15**	**60**	**13**
τ_3	**20**	**80**	**6**
τ_4	**20**	**100**	**0**

e.g.	S_1	S_2	S_3
τ_1	**1**	**2**	**0**
τ_2	**0**	**9**	**3**
τ_3	**8**	**7**	**0**
τ_4	**6**	**5**	**4**

Protocolo de Herança de Prioridades (PIP)

Propriedades:

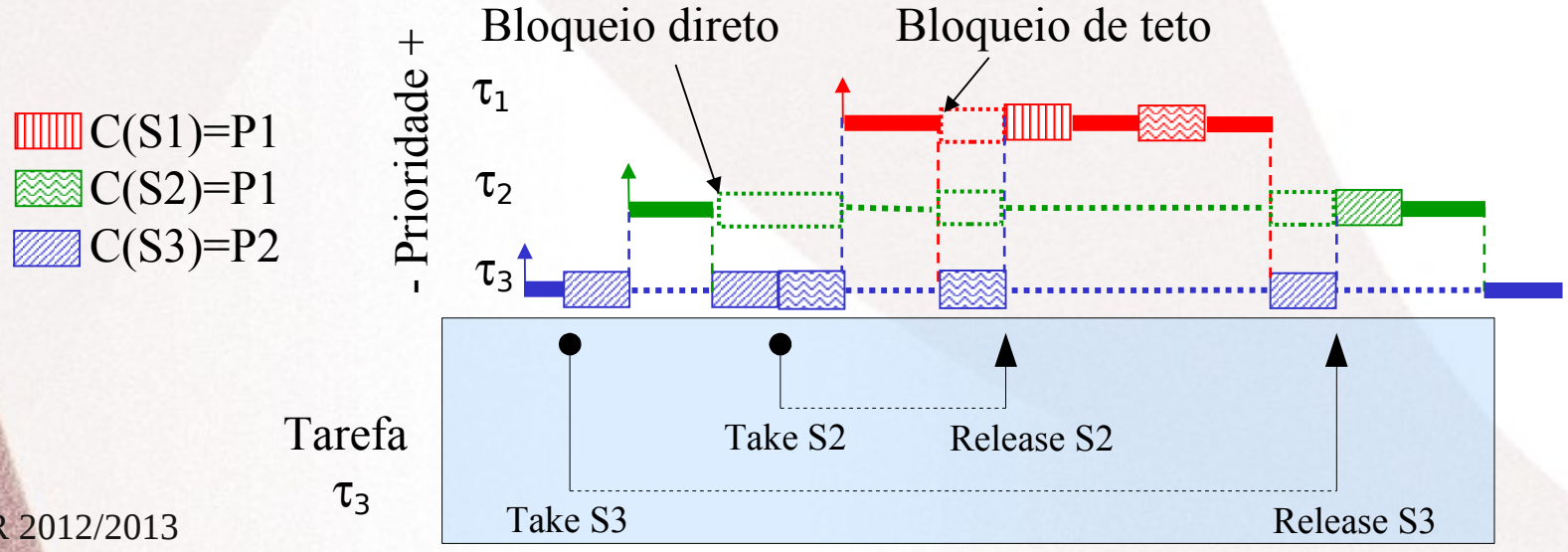
- Relativamente fácil de concretizar
  - Requer mais um campo no TCB, a prioridade herdada
- É transparente para o programador
  - Cada tarefa só usa informação local
- Sofre de **bloqueio em cadeia** e, principalmente, **não evita *deadlocks***



Protocolo de Teto de Prioridades
(PCP – Priority Ceiling Protocol)

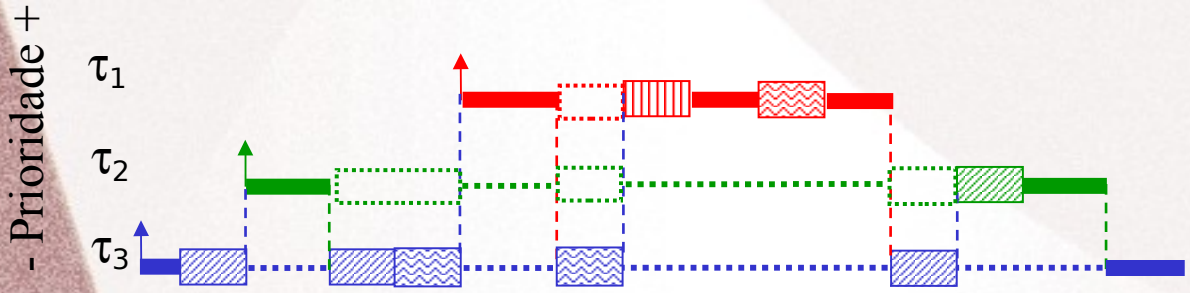
Extensão ao PIP mas com uma regra sobre o **acesso aos semáforos livres** (para garantir que todos os semáforos necessários estão livres)

- É definido um **teto (*ceiling*) de prioridade** para cada semáforo igual à prioridade mais elevada de entre as tarefas que o usam.
- Uma tarefa só pode tomar **tomar um semáforo** se este **estiver livre** e se a sua **prioridade for maior do que os tetos** de todos os restantes semáforos correntemente fechados.



Protocolo de Teto de Prioridades (PCP)

- O protocolo PCP apenas permite o acesso a um semáforo quando todos os restantes semáforos de que uma tarefa necessita estão livres
- Para majorar o **tempo de bloqueio** (B) note-se que uma tarefa pode ser bloqueada por qualquer tarefa de **menor prioridade** que use um semáforo cujo teto **seja pelo menos igual à sua prioridade**
- Note-se ainda que **cada tarefa** só pode ser **bloqueada uma vez**



e.g.	S_1	S_2	S_3
τ_1	**1**	**2**	**0**
τ_2	**0**	**9**	**3**
τ_3	**8**	**7**	**0**
τ_4	**6**	**5**	**4**

Protocolo de Teto de Prioridades (PCP)

Análise de escalonabilidade (RM)

$$\forall_{1\le 1\le n} \sum_{k=1}^{i} \frac{C_k}{T_k} + \frac{B_i}{T_i} \le i(2^{\frac{1}{i}} - 1)$$

$$\sum_{1=1}^{n} \frac{C_i}{T_i} + \max_{i=1\ldots n} \frac{B_i}{T_i} \le n(2^{\frac{1}{n}} - 1)$$

$$R_{wc_i} = C_i + B_i + \sum_{k=1}^{i-1} \lceil \frac{R_{wc_i}}{T_k} \rceil C_k$$

Mesmas fórmulas!

Apenas *varia o cálculo de* $\boldsymbol{B_i}$

e.g.	C_i	T_i	B_i
τ_1	**5**	**30**	**9**
τ_2	**15**	**60**	**8**
τ_3	**20**	**80**	**6**
τ_4	**20**	**100**	**0**

←

e.g.	S_1	S_2	S_3
τ_1	**1**	**2**	**0**
τ_2	**0**	**9**	**3**
τ_3	**8**	**7**	**0**
τ_4	**6**	**5**	**4**

Protocolo de Teto de Prioridades (PCP)

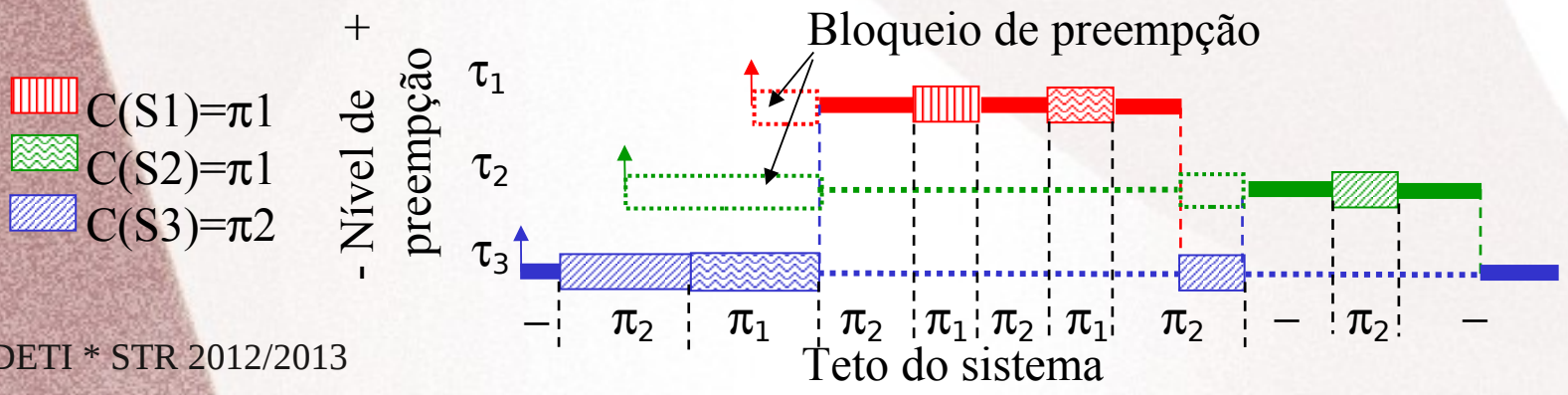
Propriedades:

- Bloqueios menores do que o PIP, **livre de bloqueios em cadeia**, **livre de *deadlocks***,
- Mais difícil de concretizar (no TCB requer um campo para a prioridade herdada e outro para o semáforo onde a tarefa está bloqueada – para facilitar a transitividade da herança, requer ainda uma estrutura para os semáforos com os respetivos tetos e identificação das tarefas que os estão a usar – para facilitar a herança)
- Não é transparente para o programador (tetos dos semáforos não são locais às tarefas)

Existe uma **versão para EDF** em que as tarefas bloqueantes herdam a *deadline* das bloqueadas e os tetos dos semáforos usam as *deadlines* relativas (nível de preempção – *preemption level*)

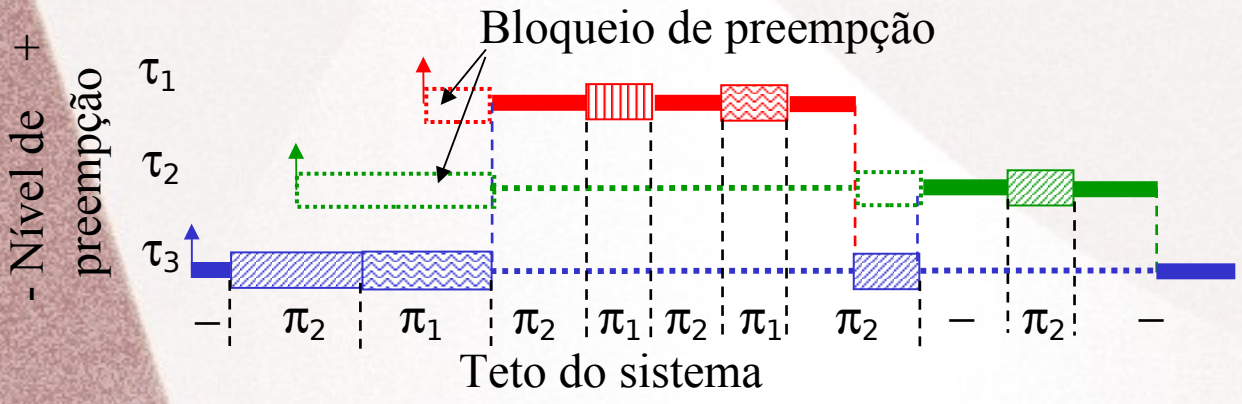
Política de Pilha de Recursos
(SRP – Stack Resource Policy)

- Semelhante ao PCP mas com uma regra sobre o **início de execução,** para garantir que todos os semáforos necessários estão livres
- Usa igualmente o conceito de teto **(*ceiling*) de prioridade**
- Define o **nível de preempção** (π *preemption level*) como a capacidade de uma tarefa causar preempção sobre outra (parâmetro estático).
- Uma tarefa só pode **iniciar execução** se o seu **nível de preempção for maior do que o da tarefa em execução** e do que **os tetos de todos** os semáforos correntemente fechados (teto **do sistema**).



Política de Pilha de Recursos (SRP)

- O protocolo SRP apenas permite o início de execução de uma tarefa quando todos os recursos de que necessita estão livres
- O majorante do **tempo de bloqueio** (B) é igual ao do protocolo PCP, apenas ocorre num momento diferente (início de execução)
- Cada tarefa pode ser bloqueada apenas uma vez por qualquer tarefa de **menor nível de preempção** que use um semáforo cujo teto **seja pelo menos igual ao seu nível de preempção**



e.g.	S_1	S_2	S_3
τ_1	**1**	**2**	**0**
τ_2	**0**	**9**	**3**
τ_3	**8**	**7**	**0**
τ_4	**6**	**5**	**4**

Política de Pilha de Recursos (SRP)

Análise de escalonabilidade (RM)

$$\forall_{1 \le 1 \le n} \sum_{k=1}^{i} \frac{C_k}{T_k} + \frac{B_i}{T_i} \le i(2^{\frac{1}{i}} - 1)$$

$$\sum_{1=1}^{n} \frac{C_i}{T_i} + \max_{i=1\ldots n} \frac{B_i}{T_i} \le n(2^{\frac{1}{n}} - 1)$$

$$R_{wc_i} = C_i + B_i + \sum_{k=1}^{i-1} \lceil \frac{R_{wc_i}}{T_k} \rceil C_k$$

Apenas *varia cálculo de* $\boldsymbol{B_i}$

Análise de escalonabilidade (EDF)

$$\forall_{1 \le 1 \le n} \sum_{k=1}^{i} \frac{C_k}{T_k} + \frac{B_i}{T_i} \le 1$$

$$\sum_{1=1}^{n} \frac{C_i}{T_i} + \max_{i=1\ldots n} \frac{B_i}{T_i} \le 1$$

e.g.	C_i	T_i	B_i
τ_1	**5**	**30**	**9**
τ_2	**15**	**60**	**8**
τ_3	**20**	**80**	**6**
τ_4	**20**	**100**	**0**

←

e.g.	S_1	S_2	S_3
τ_1	**1**	**2**	**0**
τ_2	**0**	**9**	**3**
τ_3	**8**	**7**	**0**
τ_4	**6**	**5**	**4**

Política de Pilha de Recursos (SRP)

Propriedades:

- Bloqueios menores do que o PIP, **livre de bloqueios em cadeia**, **livre de *deadlocks***
- **Menor número de preempções** do que com o PCP, adequação intrínseca a **prioridades fixas ou a dinâmicas,** e a recursos com múltiplas unidades (e.g. array de buffers)
- Mais difícil de concretizar (teste de preempção mais complicado, requer o cálculo do teto do sistema, mais complexo ainda se se usam recursos com múltiplas unidades)
- Não é transparente para o programador (tetos dos semáforos...)

Resumo da Aula 7

- **Acesso exclusivo** a recursos partilhados: **bloqueio**
- A **inversão de prioridades**: necessidade de a limitar e analisar
- **Técnicas básicas** para acesso exclusivo a recursos partilhados
- **Herança** de prioridades (***Priority Inheritance Protocol – PIP***)
- Protocolo de **teto de prioridades** (***Priority Ceiling Protocol – PCP***)
- Política de **pilha de recursos** (***Stack Resource Protocol- SRP***)