Sistemas em Tempo Real

Jadsonlee da Silva Sá

Jadsonlee.sa@univasf.edu.br

www.univasf.edu.br/~jadsonlee.sa

Escalonamento de Tarefas Periódicas

- ✓ Abordagem – **Tempos de resposta.**
- ✓ Escalonamento preemptivo com prioridades fixas.
- ✓ Cenário de pior caso.
- ✓ **Análise dos tempos de resposta.**

Análise dos Tempos de Resposta

✓ **Modelo de Tarefas.**

– Considere um único processador e um conjunto com p tarefas independentes e ativadas periodicamente $\tau_1, \tau_2, \ldots, \tau_p$.

– Em algum instante, o processador é utilizado para executar a tarefa pendente (liberada) com maior prioridade, suspendendo alguma tarefa com menor prioridade que estiver em execução.

– A tarefa suspendida reiniciará a execução de onde parou assim que o processador estiver livre e não houver tarefas pendentes com maior prioridade.

Análise dos Tempos de Resposta

✓ **Modelo de tarefas.**

– Cada tarefa τ_i, onde i varia de 1 a p, possui:

- Período - T_i;
- Tempo de computação no pior caso - C_i;
- *Deadline* relativo - D_i;
- *Jitter* de liberação - J_i;
- Nível de prioridade i.

Análise dos Tempos de Resposta

✓ **Modelo de tarefas.**

– Uma tarefa τ_i possui um nível de prioridade i. Quanto menor for i maior será a prioridade.

- τ_1 possui a maior prioridade e τ_p a menor prioridade.

– As prioridades são atribuídas de acordo com a política *deadline* monotônico.

– $D_i \leq T_i$.

– Considera-se que os custos devido a contexto de chaveamento são nulos.

Análise dos Tempos de Resposta

✓ **Modelo de tarefas.**

– Uma instância *k* de τ_i é ativada a cada instante $a_i(k)$ (Eq. 1) e liberada no instante $l_i(k)$ (Eq. 2).

$$a_i(k) = kT_i \qquad (1)$$

$$l_i(k) = J_i(k) + a_i(k) \qquad (2)$$

– Considera-se que não existe controle sobre a primeira ativação de cada tarefa.

Análise dos Tempos de Resposta

✓ **Modelo de tarefas.**

– O *deadline* absoluto da instância *k* de τ_i.

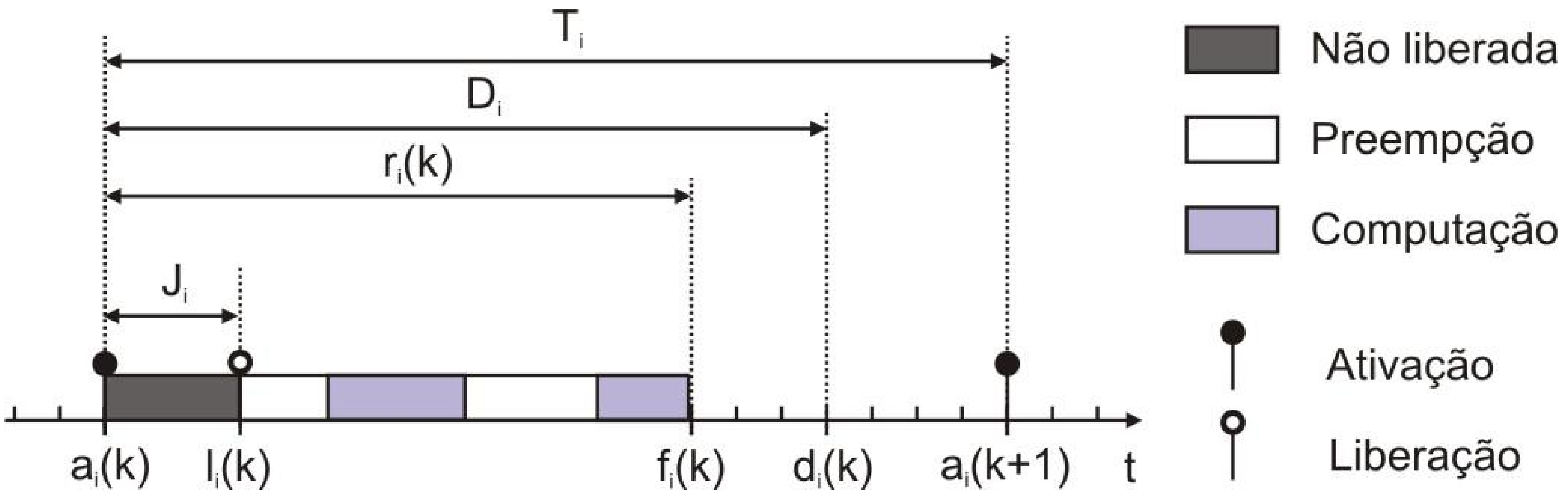
$$d_i(k) = a_i(k) + D_i \qquad (3)$$

– O tempo de resposta da instância *k* de τ_i equivale ao tempo gasto desde o instante de ativação $a_i(k)$ até o instante de finalização desta instância $f_i(k)$.

$$r_i(k) = f_i(k) - a_i(k) \qquad (4)$$

Análise dos Tempos de Resposta

✓ **Modelo de tarefas.**



Representação do modelo de tarefas.

Análise dos Tempos de Resposta

✓ **Modelo de tarefas.**

– O tempo de resposta no pior caso de τ_i (Eq. 5) equivale ao maior tempo de resposta de uma de suas instâncias k.

$$R_i = \max(r_i(k)) \qquad (5)$$

– No escalonamento preemptivo com prioridades fixas, essa instância é liberada no **instante crítico**.

Análise dos Tempos de Resposta

✓ **Modelo de tarefas.**

– O sistema é escalonável, se e somente se,

$$R_i \leq D_i \quad \forall i \qquad (6)$$

Análise dos Tempos de Resposta

✓ **Cálculo de R_i.**

– Derivar equações para determinar os tempos de resposta no pior caso.

– Dois casos serão considerados baseados no modelo anterior:

- $J_i = 0$ → Ativação e liberação simultânea.
- $J_i \neq 0$ → Atraso na liberação.

Análise dos Tempos de Resposta

- ✓ **Cálculo de R_i - (J_i = 0).**

  – Para determinar R_i é suficiente considerar apenas a instância que é liberada no **instante crítico**.

  - **Instante crítico** → Instante onde τ_i é liberada juntamente com todas as tarefas com maior prioridade.

    – É o instante que conduz ao maior número de preempções de τ_i por tarefas com maior prioridade.

Análise dos Tempos de Resposta

✓ **Cálculo de R_i - (J_i = 0).**

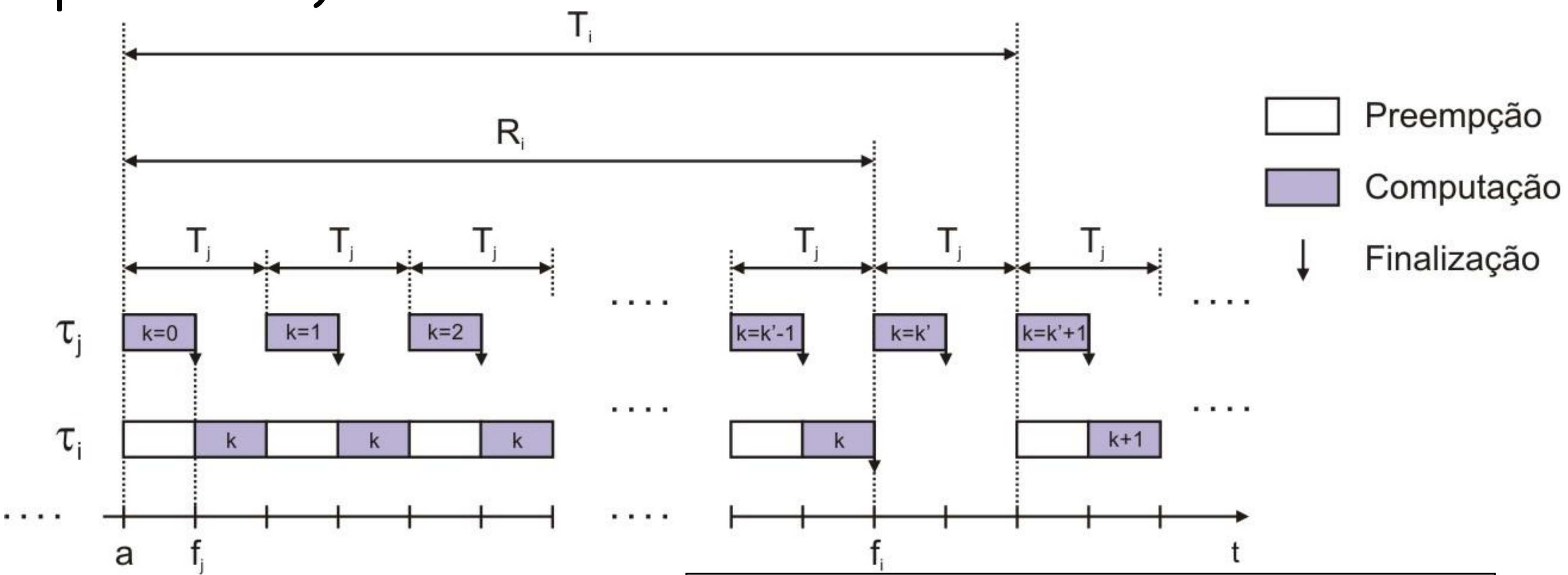
– Tempo de resposta no pior caso.

$$R_i = C_i + I_i \qquad (7)$$

- I_i → Atraso de interferência → Devido as preempções.
- C_i pode ser obtido experimentalmente.

Análise dos Tempos de Resposta

- **Cálculo de R_i - (J_i = 0).**
  - Para determinar I_i, considere a representação do instante crítico de um sistema com duas tarefas τ_i e τ_j (maior prioridade).



Qual a interferência de τ_j sobre τ_i?

Instante crítico

Análise dos Tempos de Resposta

✓ **Cálculo de R_i - (J_i = 0).**

– *A* ativação e liberação da instância *k* de τ_j satisfaz (8).

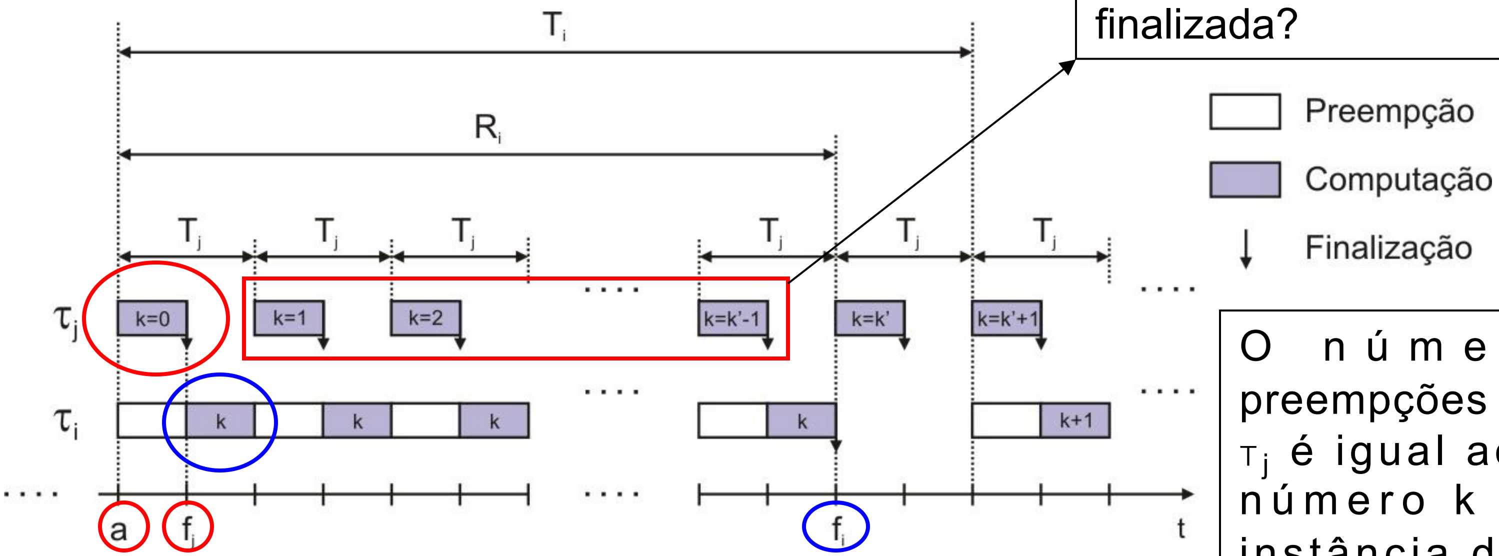
$$l_j(k) = a + kT_j \qquad (8)$$

– *Assumiremos* que a instância de τ_j liberada no instante crítico corresponde a instância *k* = 0.

Análise dos Tempos de Resposta

✓ **Cálculo de R_i - (J_i = 0).**

Qual o número de instâncias de τ_j que suspendem a atual instância de τ_i antes de τ_i ser finalizada?



O número de preempções em τ_i por τ_j é igual ao menor número k = k' da instância de τ_j que ocorre no ou após o instante de finalização de τ_i.

$$l_j(k) = a + kT_j \quad (8) \qquad R_i = f_i - a \quad (9) \qquad l_j(k') \geq f_i \quad (10)$$

(8) e (9) em (10)

Análise dos Tempos de Resposta

✓ **Cálculo de R_i - (J_i = 0).**

$$a + k'T_j \geq R_i + a \rightarrow \qquad k' \geq \frac{R_i}{T_j} \rightarrow \qquad k' = \left\lceil \frac{R_i}{T_j} \right\rceil$$

✓ **Operador teto (Ceiling)** → Mapeia um número real para o menor inteiro seguinte. Ex.: 5/2 = 2,5 ... 3

$$I_i = \left\lceil \frac{R_i}{T_j} \right\rceil C_j \qquad R_i = C_i + \left\lceil \frac{R_i}{T_j} \right\rceil C_j$$

Análise dos Tempos de Resposta

✓ **Cálculo de R_i - (J_i = 0).**

– Generalizando para um caso com várias tarefas.

$$I_i = \left\lceil \frac{R_i}{T_{i-1}} \right\rceil C_{i-1} + \left\lceil \frac{R_i}{T_{i-2}} \right\rceil C_{i-2} + \ldots + \left\lceil \frac{R_i}{T_1} \right\rceil C_1 = \sum_{\forall j \in hp(i)} \left\lceil \frac{R_i}{T_j} \right\rceil C_j$$

$$R_i = C_i + I_i \rightarrow R_i = C_i + \sum_{\forall j \in hp(i)} \left\lceil \frac{R_i}{T_j} \right\rceil C_j \qquad (11)$$

– *hp(i)* → é o conjunto de tarefas com maior prioridade que τ_i.

Análise dos Tempos de Resposta

- ✓ **Cálculo de R_i - (J_i = 0).**
  - – Observe que o termo R_i aparece em ambos os lados de (11).
    - – Como o lado direito de (11) é monotônico não decrescente de R_i pode-se utilizar uma técnica iterativa baseada em relações de recorrência para resolvê-la.

$$R_i^{(x+1)} = C_i + \sum_{\forall j \in hp(i)} \left\lceil \frac{R_i^{(x)}}{T_j} \right\rceil C_j \qquad (12)$$

Análise dos Tempos de Resposta

- ✓ **Cálculo de R_i - (J_i = 0).**

$$R_i^{(x+1)} = C_i + \sum_{\forall j \in hp(i)} \left\lceil \frac{R_i^{(x)}}{T_j} \right\rceil C_j \qquad (12)$$

– Procedimento de iteração (valor inicial) → $R_i^{(0)} = C_i$.

– Finaliza → $R_i^{(x+1)} = R_i^{(x)}$ ou quando $R_i^{(x)} > D_i$.

– Garante-se que (12) convergirá se (13) for satisfeita.

$$U = \sum_{i=1}^{p} \left(\frac{C_i}{T_i} \right) \leq 1 \qquad (13)$$

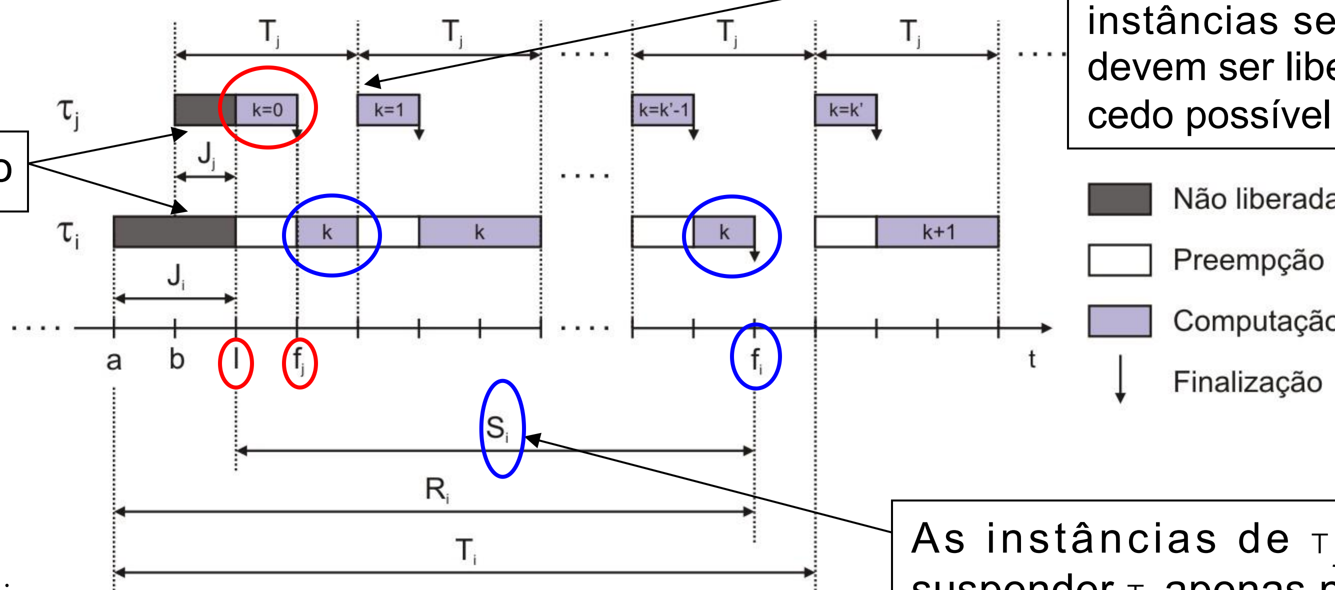
Análise dos Tempos de Resposta

✓ Cálculo de R_i - ($J_i \neq 0$).

– Para determinar R_i é suficiente considerar o cenário de pior caso sob efeito do *jitter* de liberação.

Para τ_i ser suspendida o máximo possível, as instâncias seguintes de τ_j devem ser liberadas o mais cedo possível (J_j=0).

Jitter máximo



As instâncias de τ_j poderão suspender τ_i apenas no intervalo entre l e f_i → S_i.

$$l_j(0) = J_j$$

$$l_j(k = 1, 2, 3, \ldots) = b + kT_j \qquad (14)$$

Análise dos Tempos de Resposta

✓ **Cálculo de R_i - ($J_i \neq 0$).**

$$S_i = f_i - l = C_i + I_i = C_i + k^{'}C_j \qquad (15)$$

– k' equivale a quantidade de vezes que τ_i foi suspendida por τ_j.

– k' é igual ao menor número da instância de τ_j que é liberada no ou após o instante de finalização de τ_i.

$$l_j(k^{'}) \geq f_i \qquad (16) \qquad\qquad (14) \text{ e } (15) \text{ em } (16)$$

$$b + k^{'}T_j \geq S_i + l \rightarrow k^{'}T_j \geq S_i + l - b \qquad\qquad l - b = J_j$$

$$k^{'} \geq \frac{S_i + J_j}{T_j} \rightarrow k^{'} = \left\lceil \frac{S_i + J_j}{T_j} \right\rceil \qquad\qquad S_i = C_i + \left\lceil \frac{S_i + J_j}{T_j} \right\rceil C_j \qquad (17)$$

Análise dos Tempos de Resposta - Tarefas

- ✓ **Cálculo de R_i - ($J_i \neq 0$).**
  - ✓ Generalizando para um caso com várias tarefas.

$$S_i = \left\lceil \frac{S_i + J_{i-1}}{T_{i-1}} \right\rceil C_{i-1} + \left\lceil \frac{S_i + J_{i-2}}{T_{i-2}} \right\rceil C_{i-2} + \ldots + \left\lceil \frac{S_i + J_1}{T_1} \right\rceil C_1 = \sum_{\forall j \in hp(i)} \left\lceil \frac{S_i + J_j}{T_j} \right\rceil C_j$$

$$S_i^{(x+1)} = C_i + \sum_{\forall j \in hp(i)} \left\lceil \frac{S_i^{(x)} + J_j}{T_j} \right\rceil C_j \quad (18)$$

- ✓ Procedimento de iteração (valor inicial) → $S_i(0) = C_i$.
- ✓ Finaliza → $S_i^{(x+1)} = S_i^{(x)}$ ou quando $S_i^{(x)} + J_i > D_i$.
- ✓ Garante-se que (18) convergirá se $U \leq 1$.

Análise dos Tempos de Resposta

- ✓ **Cálculo de R_i - ($J_i \neq 0$).**
  - ✓ O tempo de resposta no pior caso R_i (19).

$$R_i = S_i + J_i \quad (19)$$

Análise dos Tempos de Resposta

✓ **Exemplo.**

Tarefa	T	D	C	J
τ_1	30	20	10	5
τ_2	50	30	15	5
τ_3	100	80	20	10

$$R_i = S_i + J_i$$

$$S_i^{(x+1)} = C_i + \sum_{\forall j \in hp(i)} \left\lceil \frac{S_i^{(x)} + J_j}{T_j} \right\rceil C_j$$

✓ τ_1 → Maior prioridade. Então, hp(1) = { }.

$R_1 = C_1 + J_1 = 10 + 5 = 15.$

Como $R_1 < D_1$, τ_1 é escalonável.

Análise dos Tempos de Resposta

- Exemplo.

Tarefa	T	D	C	J
τ_1	30	20	10	5
τ_2	50	30	15	5
τ_3	100	80	20	10

$$R_i = S_i + J_i$$

$$S_i^{(x+1)} = C_i + \sum_{\forall j \in hp(i)} \left\lceil \frac{S_i^{(x)} + J_j}{T_j} \right\rceil C_j$$

- $\tau_2 \rightarrow$ Segunda maior prioridade. Então, hp(2) = $\{\tau_1\} \rightarrow j = 1$.

$S_2^{(0)} = C_2$.

$$S_2^{(1)} = C_2 + \left\lceil \frac{S_2^0 + J_1}{T_1} \right\rceil C_1 = 15 + \left\lceil \frac{15+5}{30} \right\rceil 10 = 15 + 1.10 = 25$$

$$S_2^{(2)} = C_2 + \left\lceil \frac{S_2^1 + J_1}{T_1} \right\rceil C_1 = 15 + \left\lceil \frac{25+5}{30} \right\rceil 10 = 15 + 1.10 = 25$$

Na segunda iteração $S_2^2 = S_2^1 = 25$.

$R_2 = S_2 + J_2 = 25 + 5 = 30 = D_2$

τ_2 é escalonável.

Análise dos Tempos de Resposta

✓ **Exemplo.**

Tarefa	T	D	C	J
τ_1	30	20	10	5
τ_2	50	30	15	5
τ_3	100	80	20	10

$$R_i = S_i + J_i$$

$$S_i^{(x+1)} = C_i + \sum_{\forall j \in hp(i)} \left\lceil \frac{S_i^{(x)} + J_j}{T_j} \right\rceil C_j$$

✓ τ_3 → Menor prioridade. Então, hp(3) = {τ_1, τ_2} → j = 1 e 2. $S_3(0) = C_3$.

– Na quarta iteração $S_3 + J_3 = 80 + 10 > D_3$. Portanto, τ_3 não é escalonável e, conseqüentemente, o sistema.

Análise dos Tempos de Resposta

- ✓ **Exemplo.**

Tarefa	T	D	C	J	S	R
τ_1	30	20	10	5	**10**	**15**
τ_2	50	30	15	5	**25**	**30**
τ_3	100	80	20	10	**80**	**90**