



- Escalonador

- Referências

# Sistemas Embarcados: (ELF74)

## Prof: DaLuz



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Estático:

- ☐ Determinação **antecipada** de um **cronograma** de execução para um sistema de tarefas, de forma que todos os serviços **atendam** seus respectivos **prazos**.
- ☐ A cargo do **programador** (compilação).
- ☐ Ambiente de execução **colaborativo**.



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Dinâmico:

- ☐ Determinação em **tempo real** de qual serviço deve ser executado em seguida, de forma que **todos** os serviços atendam seus respectivos **prazos**.
- ☐ A cargo do **escalonador** do RTOS (execução).
  - Ambiente de execução não-preemptivo: **Prioridades fixas**
  - Ambiente de execução preemptivo: **Prioridades fixas ou variáveis**



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Exemplo:

Seja o seguinte sistema de tarefas **aperiódicas**:

| Tarefa | Ativação ( $\Phi$ ) | Tempo de Execução (E) | Prioridade (P) |
|--------|---------------------|-----------------------|----------------|
| J1     | 6                   | 2                     | 3              |
| J2     | 3                   | 4                     | 2              |
| J3     | 0                   | 5                     | 1              |

Vejamos como ficam os diagramas de **Gantt** da execução desse sistema em:

1. Ambiente **não-preemptivo**
2. Ambiente **preemptivo**



- Escalonador

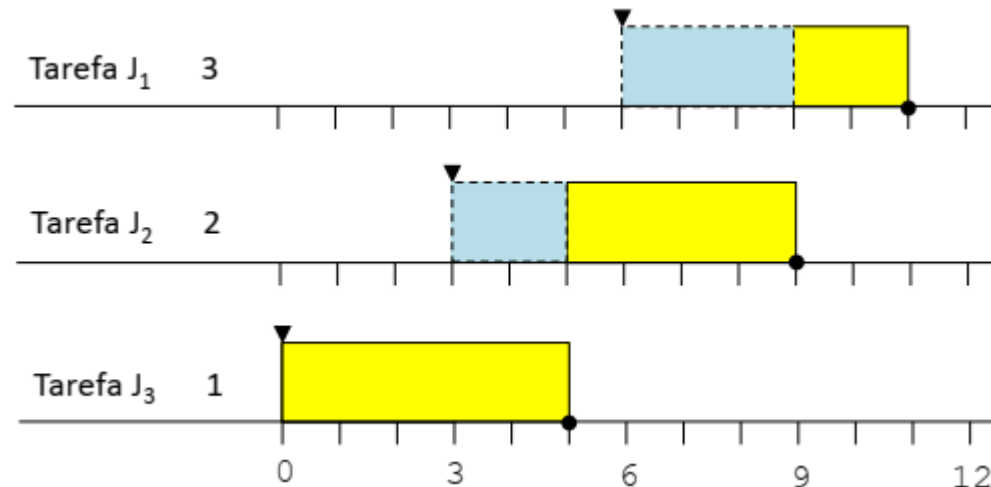
- Referências

# ESCALONAMENTO

## Exemplo:

☐ Ambiente **Não-preemptivo**:

*Diagrama de Gantt:*



☐ Há **inversão** de prioridade na execução das tarefas



- Escalonador

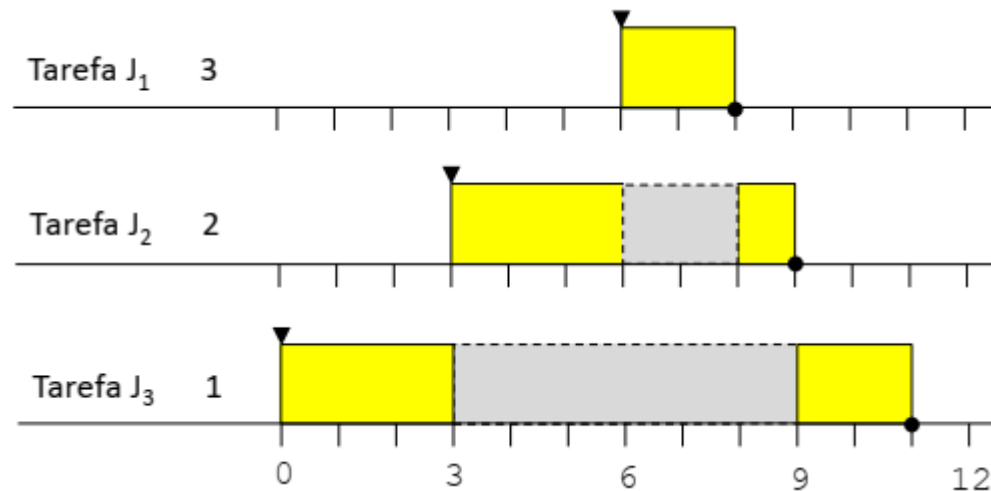
- Referências

# ESCALONAMENTO

## Exemplo:

☐ Ambiente **Preemptivo**:

*Diagrama de Gantt:*



☐ As prioridades na execução das tarefas são **efetivas**



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Políticas – Prioridades estáticas:

### *First Come First Served*

- Escalonamento **dinâmico não-preemptivo** em que a ordem de execução dos serviços é determinada pela **ordem de entrada** das tarefas no estado “pronto”.
- Raramente** utilizado em aplicações de tempo real, a não ser como **meio de desempate** entre serviços de uma mesma fila de prioridade em escalonadores dinâmicos mais sofisticados.



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Políticas – Prioridades estáticas:

### *Round Robin*

- Escalonamento **dinâmico preemptivo** similar ao FCFS quanto à ordem de execução dos serviços, mas cada serviço é executado por um intervalo máximo de tempo  **$T_q$** .
- Se o serviço não terminar dentro do intervalo  **$T_q$** , este será interrompido e terá que **aguardar** um próximo intervalo para continuar.





- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Exemplo:

- Seja o seguinte sistema de tarefas **aperiódicas**, com prioridades **iguais**:

| Tarefa | Ativação ( $\Phi$ ) | Tempo de Execução (E) |
|--------|---------------------|-----------------------|
| J1     | 0                   | 5                     |
| J2     | 1                   | 4                     |
| J3     | 5                   | 3                     |

- Vejamos como fica o diagramas de **Gantt** da execução desse sistema em um escalonador **Round Robin** com intervalo de tempo  **$T_q = 2$** .



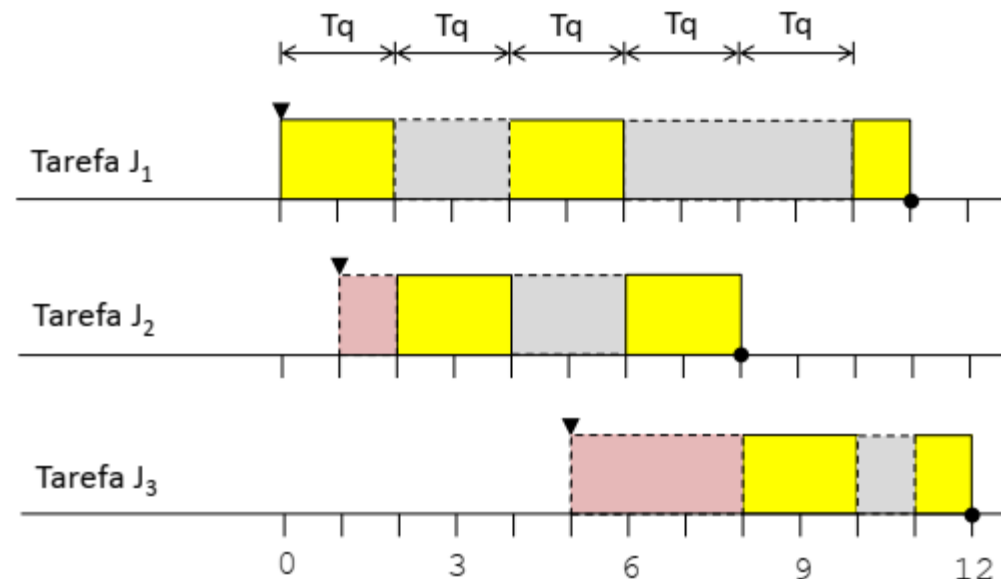
- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Exemplo:

*Diagrama de Gantt:*



📖 Tarefas **prontas** e não estão executando ...



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Desempenho do Round Robin

- 📖 É fortemente **influenciado** pelo intervalo de tempo  **$T_q$** , pelos tempos de **execução** das tarefas e pelo **número** de tarefas ativas.
- 📖 Casos **extremos**:
  - **$T_q$**   $\geq$  tempo de execução da tarefa mais demorada:
    - Comportamento semelhante ao **FCFS**
  - **$T_q$**   $\leq$  tempo de execução da troca de contexto:
    - Ineficiência total (tarefas não são executadas)



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Políticas – Prioridades Dinâmicas:

### *Highest Priority First*

- 📖 Escalonamento **dinâmico preemptivo** em que a ordem de execução das tarefas é determinada por **prioridades** fixas.
- 📖 Critérios de atribuição de prioridade:
  - Taxa Monotônica (*Rate Monotonic*, **RMS**)
    - Prioridade maior para serviços com períodos menores
  - Prazo Monotônico (*Deadline Monotonic*, **DMS**)
    - Prioridade maior para serviços com prazos menores



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Desempenho: RMS *versus* DMS

- ❏ **RMS** e **DMS** são políticas que **garantem** a escalonabilidade ótima de tarefas periódicas com prioridades fixas **se** a taxa de utilização do processador for **menor** do que **69%**.
- ❏ **RMS** é preferida quando os **períodos** das tarefas são mais **curtos** do que seus **prazos**.
- ❏ **DMS** é preferida quando os **prazos** das tarefas são mais **curtos** do que seus **períodos**.



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Políticas – Prioridades:

### *Round Robin* com HPF

- ▣ Uma combinação das políticas *Round Robin* e HPF resulta em várias filas de execução com mesmo **Tq**, sendo uma para cada prioridade.
- ▣ É preciso atentar para o **risco** de que tarefas **menos** prioritárias **nunca** sejam executadas, apesar do uso da política *Round Robin*.



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Escalonabilidade por Taxa de Utilização

- Um sistema de  $n$  tarefas pode ser escalonável **se** a soma das taxas de utilização de todas as suas tarefas for menor ou igual a **1**:

$$\sum_{i=1}^n \frac{E_i}{T_i} \leq 1$$

- Na prática, **somente** sob certas condições:
- Os serviços devem encaixar-se perfeitamente em todas as combinações de fase entre suas ativações.



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Exemplo 1:

- Seja um sistema de tarefas com as seguintes características de tempo e com prioridades por taxa monotônica (**RMS**):

| Tarefa | Período (T) / Prazo (D) | Tempo de Execução (E) |
|--------|-------------------------|-----------------------|
| J1     | 6                       | 2                     |
| J2     | 12                      | 3                     |
| J3     | 12                      | 5                     |

$$\text{Taxa de Utilização} = \frac{2}{6} + \frac{3}{12} + \frac{5}{12} = 1,0$$





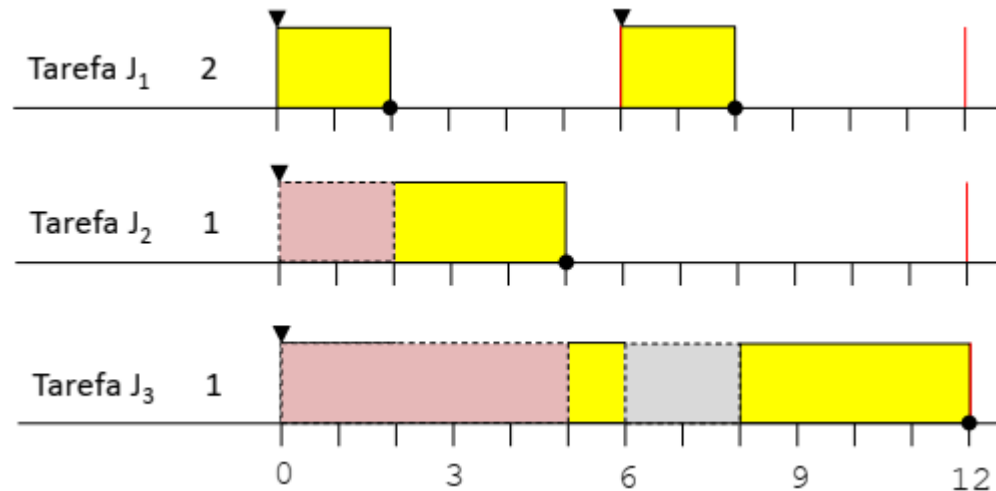
- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Exemplo 1:

*Diagrama de Gantt:*



☐ Períodos harmônicos: encaixe perfeito



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Exemplo 2:

- Seja um sistema de tarefas com as seguintes características de tempo e com prioridades por taxa monotônica (**RMS**):

| Tarefa | Período (T) / Prazo (D) | Tempo de Execução (E) |
|--------|-------------------------|-----------------------|
| J1     | 3                       | 1                     |
| J2     | 5                       | 1                     |
| J3     | 11                      | 5                     |

$$\text{Taxa de Utilização} = \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \frac{5}{11} = 0,99$$



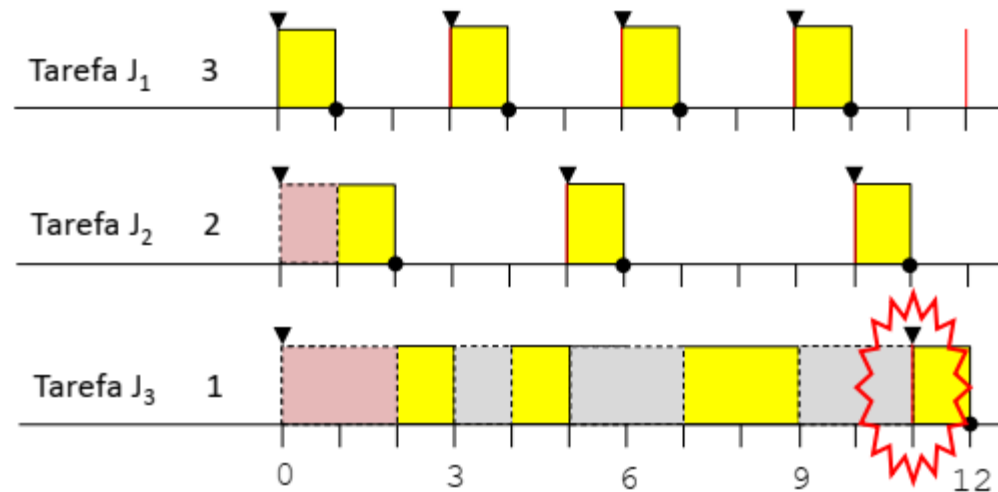
- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Exemplo 1:

*Diagrama de Gantt:*



❏ Períodos não-harmônicos: não escalonável



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Simulador de Escalonamento:

📖 Simulador de escalonamento **SimSo** Web:

SimSo:

<http://projects.laas.fr/simso/simso-web/>

📖 O **SimSO** fornece várias informações úteis:

- Diagrama de **Gantt** das tarefas
- **Estatísticas** da execução das tarefas
- Taxa de **utilização** do processador
- Número de **preempções**
- **Prazos** não atendidos



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Simulador de Escalonamento:

- ❏ O **SimSO** pode ainda ser configurado para:
  - Simulação de sistemas **multiprocessados**
  - Simulação de **overheads** do escalonador\*
  - Simulação de tarefas **aperiódicas** e **esporádicas**\*

*\*Configurações no modo "expert"*



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Exercício 1:

- Simule o escalonamento do sistema de tarefas do quadro abaixo com o **SimSO Web**:

| Task | Period | Deadline | WCET | Act. Date |
|------|--------|----------|------|-----------|
| J1   | 6 ms   | 6 ms     | 2 ms | 0 ms      |
| J2   | 12 ms  | 12 ms    | 3 ms | 0 ms      |
| J3   | 12 ms  | 12 ms    | 5 ms | 0 ms      |

- Parâmetros da simulação:

– *General: Duration = 100 ms, Processors = 1,*

*Execution time model = WCET (worst-case execution time)*

– *Scheduler = simso.schedulers.RM*

**Obs:** O tempo de execução do pior caso (WCET) de uma tarefa computacional é o tempo máximo que a tarefa pode levar para ser executada em uma plataforma de hardware específica.



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Exercício 2:

- Simule o escalonamento do sistema de tarefas do quadro abaixo com o **SimSO Web**:

| Task | Period | Deadline | WCET | Act. Date |
|------|--------|----------|------|-----------|
| J1   | 3 ms   | 3 ms     | 1 ms | 0 ms      |
| J2   | 5 ms   | 5 ms     | 1 ms | 0 ms      |
| J3   | 11 ms  | 11 ms    | 5 ms | 0 ms      |

- Parâmetros da simulação:

– *General: Duration = 100 ms, Processors = 1,*

*Execution time model = WCET (worst-case execution time)*

– *Scheduler = simso.schedulers.RM*

**Obs:** O tempo de execução do pior caso (WCET) de uma tarefa computacional é o tempo máximo que a tarefa pode levar para ser executada em uma plataforma de hardware específica.



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Garantias de Escalonabilidade:

- 📖 O Artigo de Liu & Layland (1973):
- 📖 Liu, C. L. and Layland, J. W., **Scheduling Algorithms for Multiprogramming in a Hard-Real-Time Environment**, Journal of the ACM 20(1), 1973, pp. 46-61.
- 📖 **Enunciado** e **demonstração** de vários teoremas
- 📖 Escalonamento por taxa monotônica (**RMS**)
  - Política ótima para prioridades estáticas ( $\leq 69\%$ )
- 📖 Escalonamento por prazo mais próximo (**EDF**)
  - Política ótima para prioridades dinâmicas ( $\leq 100\%$ )





- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Teorema 1 – Liu & Layland:

- ▣ Dado um sistema de  $n$  tarefas periódicas com prazo igual aos período e prioridades por **RMS** em ambiente preemptivo, existe um limite superior  **$U(n)$**  para a taxa de utilização do processador que garante escalonabilidade:

$$\sum_{i=1}^n \frac{E_i}{T_i} \leq U(n) = n \cdot \left( 2^{\frac{1}{n}} - 1 \right)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n \left( \sqrt[n]{2} - 1 \right) = \ln(2)$$

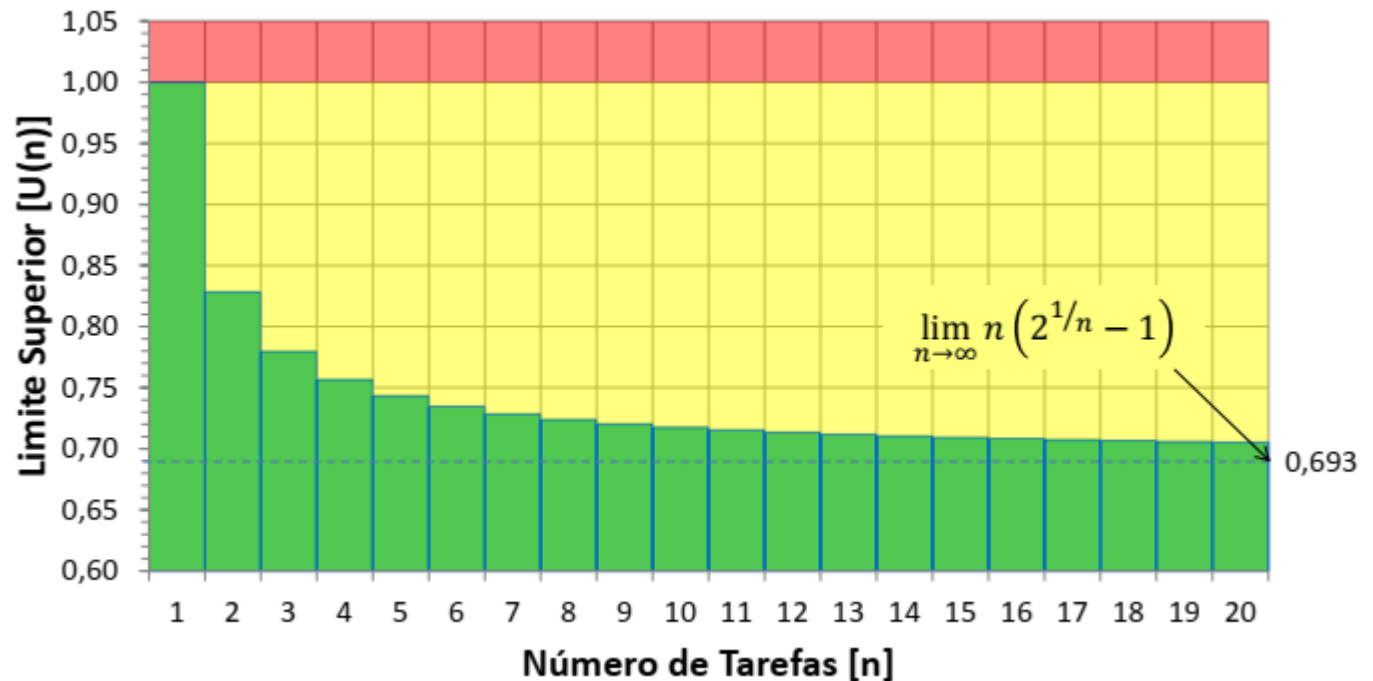


- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Comportamento de $U(n)$ :





- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Hiperperíodo

- ❏ O **hiperperíodo** de um sistema de tarefas é o período de tempo em que o **padrão inicial** de ativação das tarefas de um sistema se **repete**.
- ❏ Calculado como sendo o **mínimo múltiplo comum** dos períodos  **$T_i$**  das tarefas.
- ❏ Uma análise completa pelo diagrama de **Gantt** deve ter a duração de um **hiperperíodo**.



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Teorema 2 – Liu & Layland:

- ▣ Dado um sistema de tarefas **periódicas** e **independentes**, se **todas** forem ativadas no **mesmo** instante e **cada** tarefa **cumprir** o prazo do seu **primeiro** serviço, então todos os demais prazos **futuros** serão **atendidos**.
- ▣ A validade do teorema não fica condicionada apenas a sistemas de tarefas com prioridades por **RMS**.



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Exemplo:

- Seja um sistema de tarefas  $J_i$  com as seguintes características de tempo em tiques:

| Tarefa | Período (T) / Prazo (D) | Tempo de Execução (E) |
|--------|-------------------------|-----------------------|
| J1     | 3                       | 1                     |
| J2     | 4                       | 1                     |
| J3     | 12                      | 3                     |

- Os prazos das tarefas são iguais aos respectivos períodos e suas prioridades atribuídas por **RMS**.

Investigar se o conjunto de tarefas dado é escalonável ou não, determinando:

1. A taxa de utilização do processador
2. O limite superior da taxa de utilização  $U(n)$  do Teorema 1 de Liu & Layland (1973)
3. A solução gráfica (Gantt) usando o Teorema 2 de Liu & Layland (1973)



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Exemplo:

1. A taxa de utilização do processador

$$\text{Taxa de Utilização} = \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{3}{12} = 0,83$$

2. Limite superior da taxa de utilização:

$$U(3) = 3 \cdot \left(2^{\frac{1}{3}} - 1\right) = 0,78$$

Portanto, a taxa de utilização encontra-se na região de incerteza do Teorema 1.

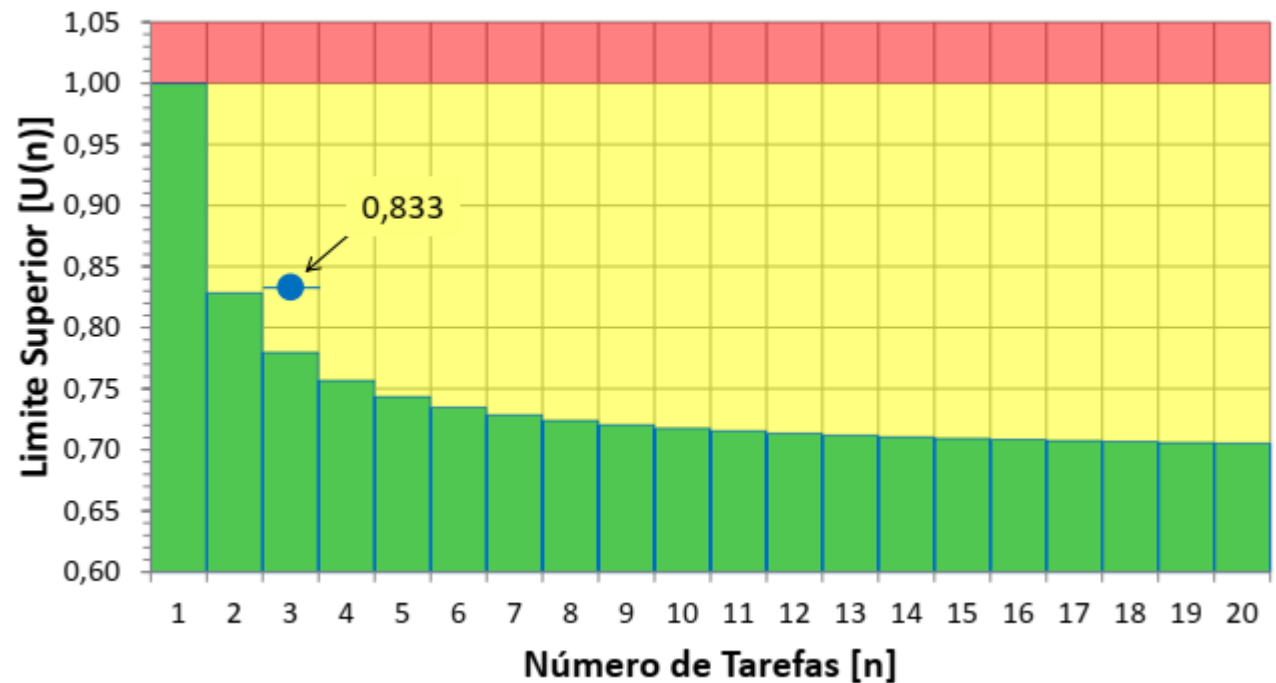


- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

Exemplo:





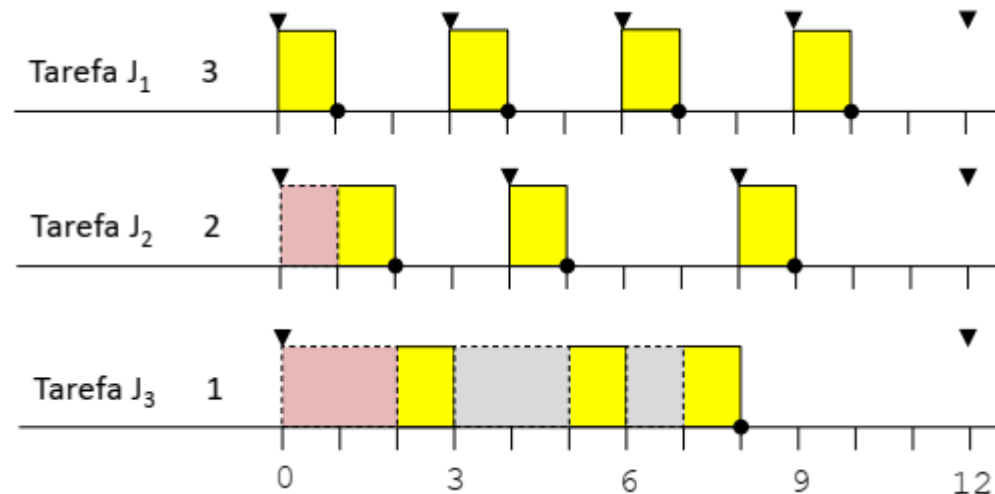
- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Exemplo 1:

*Diagrama de Gantt:*



☐ O sistema é **escalonável** pelo Teorema 2.





- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Exercício:

- 📖 Faça a análise de escalonabilidade completa do sistema de tarefas **Ji** a seguir (tempos em tiques):

| Tarefa | Período (T) / Prazo (D) | Tempo de Execução (E) |
|--------|-------------------------|-----------------------|
| J1     | 3                       | 1                     |
| J2     | 6                       | 2                     |
| J3     | 9                       | 2                     |

- 📖 Os prazos das tarefas são iguais aos respectivos períodos e suas prioridades atribuídas por **RMS**.

Investigar se o conjunto de tarefas dado é escalonável ou não, determinando:

1. A taxa de utilização do processador
2. O limite superior da taxa de utilização  $U(n)$  do Teorema 1 de Liu & Layland (1973)
3. A solução gráfica (Gantt) usando o Teorema 2 de Liu & Layland (1973)



- Escalonador

- Referências

# ESCALONAMENTO

## Exemplo:

1. A taxa de utilização do processador

$$\text{Taxa de Utilização} = \frac{1}{3} + \frac{2}{6} + \frac{2}{9} = 0,88$$

2. Limite superior da taxa de utilização:

$$U(3) = 3 \cdot \left(2^{\frac{1}{3}} - 1\right) = 0,78$$

Portanto, a taxa de utilização encontra-se na região de incerteza do Teorema 1.



- Escalonador

- Referências

# Referências:

## Laboratório 05:

[http://www.elf74.daeln.com.br/Labs/Keil\\_Lab5.pdf](http://www.elf74.daeln.com.br/Labs/Keil_Lab5.pdf)

\* Refs ↔ Renesas.com, Pixabay.com, wikimedia.org, flickr, community.arm.com, Undergraduated course Renesas / CWS71-Prof. Douglas P. B. R. e Robson L., ytchannel Gustavo W. D., *ARMv7-M Architecture Reference Manual*, CSW40-Sistemas Microcontrolados – Prof. Guilherme P., [toshiba.semicon-storage.com](http://toshiba.semicon-storage.com), [microncontrollerslab.com](http://microncontrollerslab.com), [lfeletronics.com.br](http://lfeletronics.com.br), elf74-Prof. Hugo V. N., [stm.st.com](http://stm.st.com), [jblopen.com](http://jblopen.com), [microsoft.com](http://microsoft.com).