

---

# Estimação do Tempo de Resposta no Pior Caso



**Fundamentos dos Sistemas de Tempo Real**

Rômulo Silva de Oliveira

eBook Kindle, 2018

[www.romulosilvadeoliveira.eng.br/livrotemporeal](http://www.romulosilvadeoliveira.eng.br/livrotemporeal)

Outubro/2018

- Análise do Tempo de Resposta
- Análise do Tempo de Resposta – Modelo Extendido
- Considerações sobre Análise do Tempo de Resposta
- Estimação do WCRT via Medição
- Visão Estatística das Medições
- Considerações sobre Medições

# Análise do Tempo de Resposta 1/16

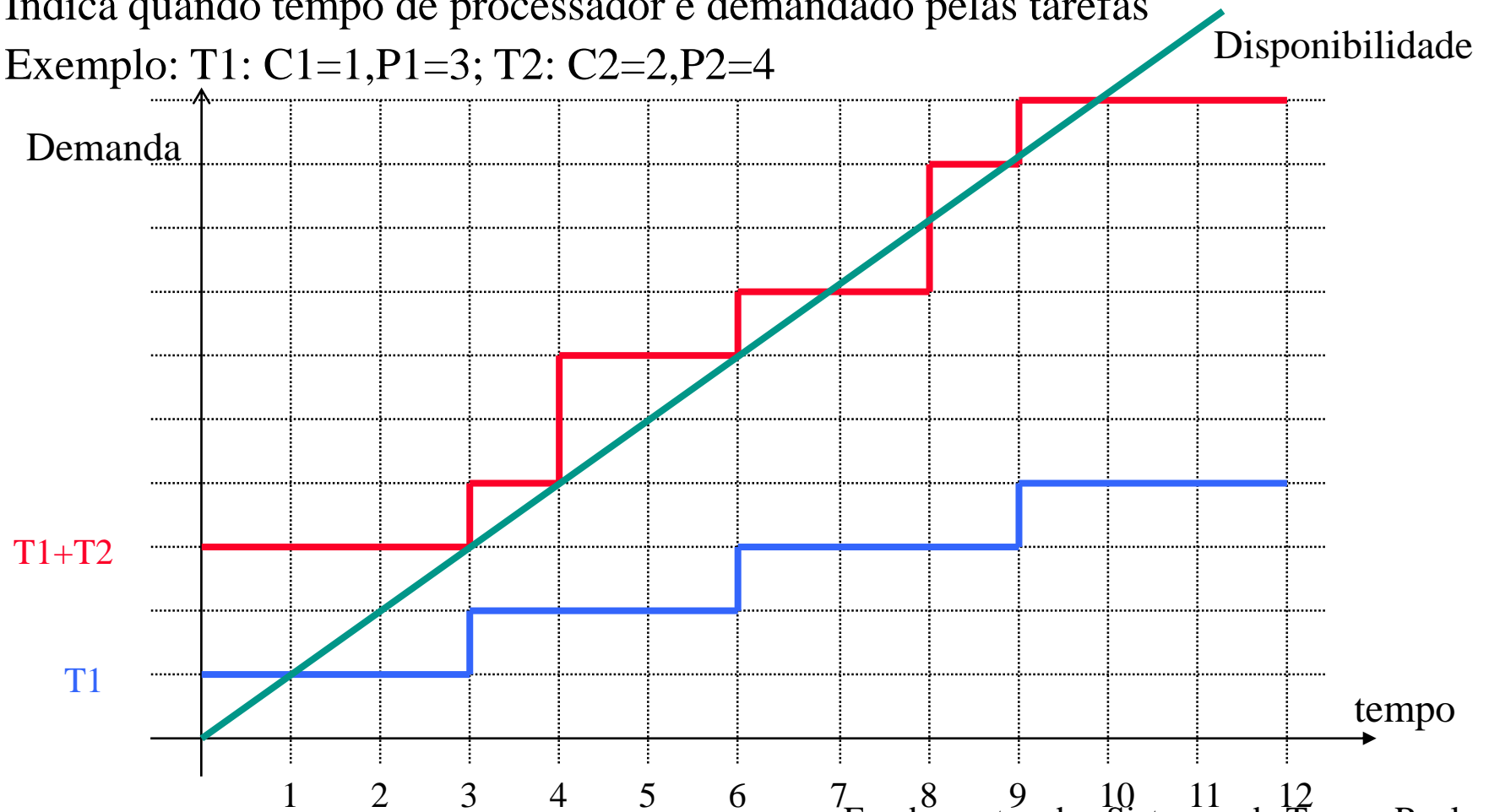
---

- Limitações da análise baseada em Utilização
  - Não é exata
  - Aplicável apenas a modelos de tarefas muito simples
- Análise baseada em **Tempo de Resposta**
  - Abordagem analítica calcula tempo de resposta no pior caso
  - Tempo de resposta de cada tarefa é comparado com o deadline da tarefa
  - Baseada no conceito de Função Demanda de Tempo

# Análise do Tempo de Resposta 2/16

- Função Demanda de Tempo (Time-Demand Function)

- Base da análise do tempo de resposta
- Indica quando tempo de processador é demandado pelas tarefas
- Exemplo: T1: C1=1,P1=3; T2: C2=2,P2=4



## Análise do Tempo de Resposta 3/16

---

- Como calcular o tempo de resposta de cada tarefa ?
- Para a tarefa mais prioritária temos  $R_1 = C_1$
- Demais tarefas sofrem **Interferência** das tarefas com prioridade maior
- Neste caso,  $R_i = C_i + I_i$
- Interferência é máxima a partir do **Instante Crítico**
  - Todas as tarefas são liberadas simultaneamente
  - Suposto instante zero na análise

## Análise do Tempo de Resposta 4/16

- Seja  $T_j$  uma tarefa com prioridade maior que  $T_i$
- Quantas vezes  $T_j$  pode acontecer durante a execução de  $T_i$  ?

$$\left[ \frac{R_i}{P_j} \right]$$

- Qual a interferência total de  $T_j$  sobre  $T_i$  ?

$$\left[ \frac{R_i}{P_j} \right] \times C_j$$

- Qual a interferência total sobre  $T_i$  ?

$$\sum_{j \in hp(i)} \left[ \frac{R_i}{P_j} \right] \times C_j$$

## Análise do Tempo de Resposta 5/16

- O tempo máximo de resposta de  $T_i$  é  $R_i = C_i + I_i$

$$R_i = C_i + \sum_{j \in \text{hp}(i)} \left[ \frac{R_j}{P_j} \right] \times C_j$$

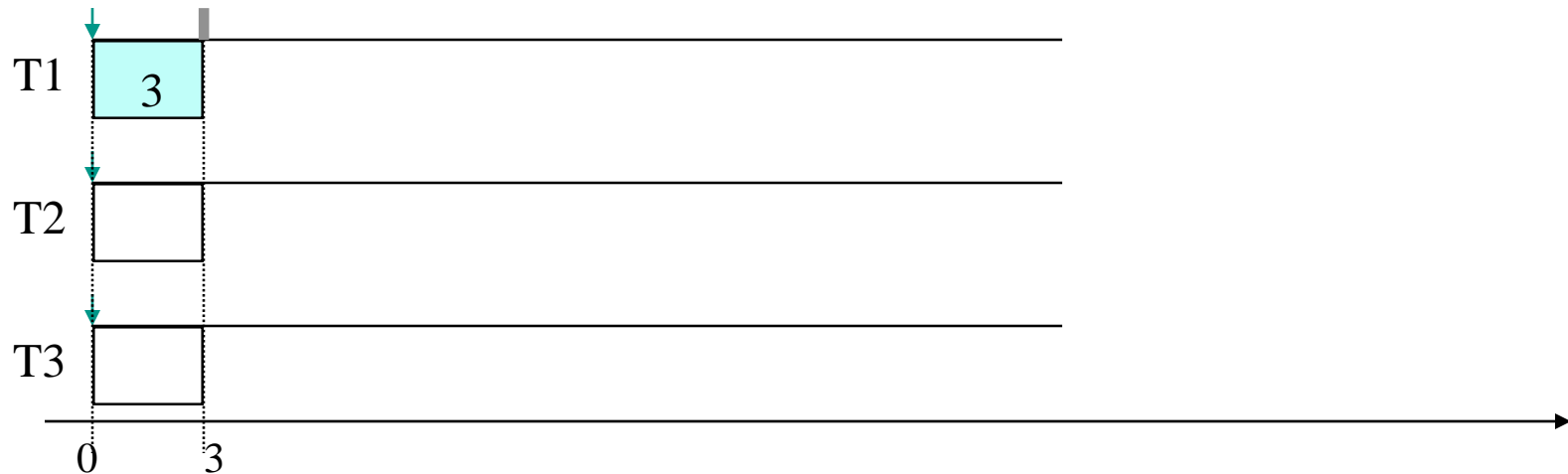
- Equação é recursiva
- Calculada através de iterações sucessivas, até:
  - Tempo de resposta passar do deadline
  - Resultado convergir, iteração  $x+1$  igual a iteração  $x$

$$w_i^{x+1} = C_i + \sum_{j \in \text{hp}(i)} \left[ \frac{w_j^x}{P_j} \right] \times C_j \quad w_i^0 = C_i$$

# Análise do Tempo de Resposta 6/16

- Exemplo:

|               | T1     | T2      | T3            |
|---------------|--------|---------|---------------|
| – Períodos    | $P1=7$ | $P2=12$ | $P3=20$       |
| – Computação  | $C1=3$ | $C2=3$  | $C3=5$        |
| – Prioridades |        | $p1=1$  | $p2=2$ $p3=3$ |
- $R1 = C1 = 3$





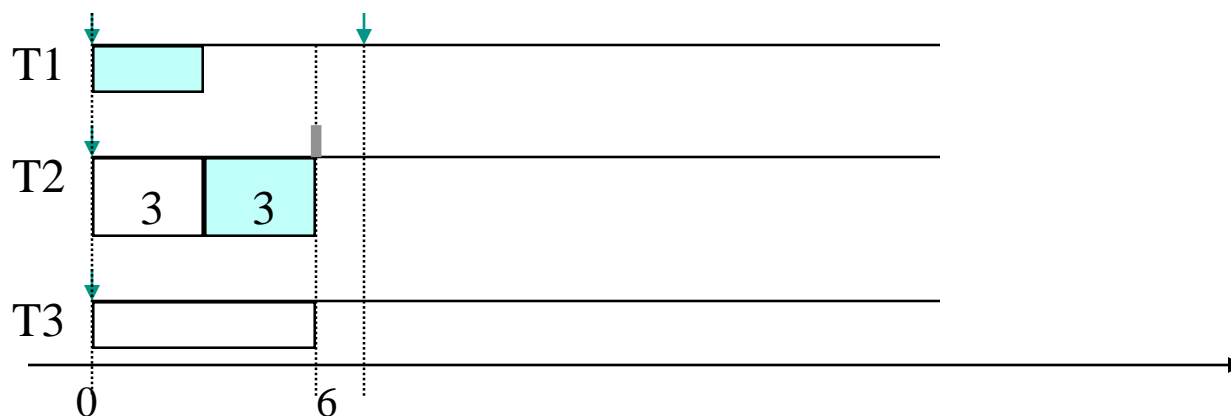
## Análise do Tempo de Resposta 7/16

- Análise da tarefa T2:

$$w_2^0 = C_2 = 3$$

$$w_2^1 = C_2 + \left\lceil \frac{w_2^0}{P_1} \right\rceil \times C_1 = 3 + \left\lceil \frac{3}{7} \right\rceil \times 3 = 6$$

$$w_2^2 = C_2 + \left\lceil \frac{w_2^1}{P_1} \right\rceil \times C_1 = 3 + \left\lceil \frac{6}{7} \right\rceil \times 3 = 6$$



## Análise do Tempo de Resposta 8/16

- Análise da Tarefa T3:

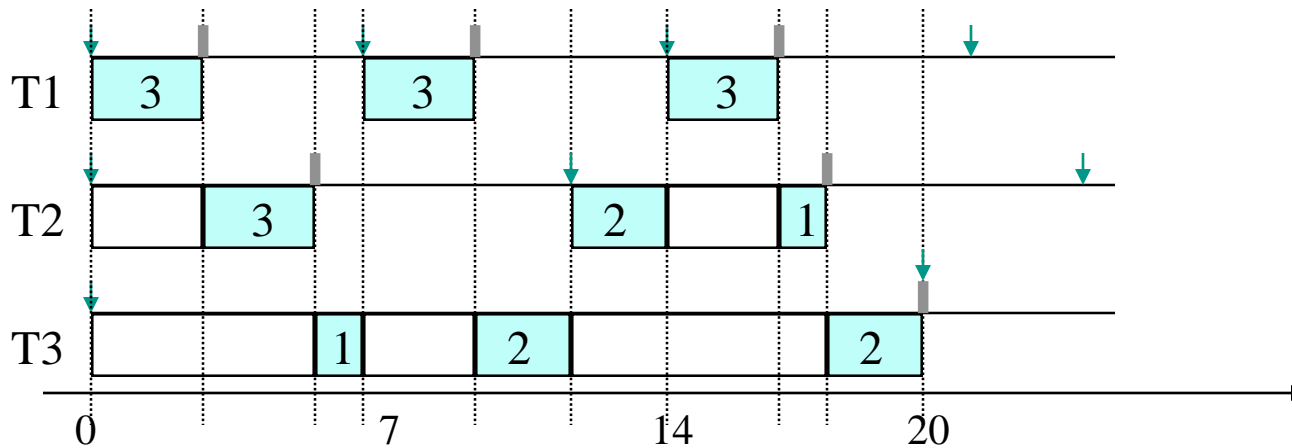
$$w_3^0 = C_3 = 5$$

$$w_3^1 = C_3 + \sum_{j \in \text{hp}(3)} \left\lceil \frac{w_3^0}{P_j} \right\rceil \times C_j = 5 + \left\lceil \frac{5}{7} \right\rceil \times 3 + \left\lceil \frac{5}{12} \right\rceil \times 3 = 11$$

$$w_3^2 = 5 + \left\lceil \frac{11}{7} \right\rceil \times 3 + \left\lceil \frac{11}{12} \right\rceil \times 3 = 14 \quad w_3^3 = 5 + \left\lceil \frac{14}{7} \right\rceil \times 3 + \left\lceil \frac{14}{12} \right\rceil \times 3 = 17$$

$$w_3^4 = 5 + \left\lceil \frac{17}{7} \right\rceil \times 3 + \left\lceil \frac{17}{12} \right\rceil \times 3 = 20 \quad w_3^5 = 5 + \left\lceil \frac{20}{7} \right\rceil \times 3 + \left\lceil \frac{20}{12} \right\rceil \times 3 = 20$$

# Análise do Tempo de Resposta 9/16



- Exemplo:
 

|                               | T1   | T2    | T3    |
|-------------------------------|------|-------|-------|
| – Períodos                    | P1=7 | P2=12 | P3=20 |
| – Computação                  | C1=3 | C2=3  | C3=5  |
| – Prioridades                 | p1=1 | p2=2  | p3=3  |
| – Tempo Máximo<br>de Resposta | R1=3 | R2=6  | R3=20 |

## Análise do Tempo de Resposta 10/16

---

|               |          |          |          |
|---------------|----------|----------|----------|
| ● Exemplo:    | T1       | T2       | T3       |
| – Períodos    | P1=2     | P2=4     | P3=8     |
| – Computação  | C1=1     | C2=1     | C3=2     |
| – Utilização  | U1=0.500 | U2=0.250 | U3=0.250 |
| – Prioridades | p1=1     | p2=2     | p3=3     |

- Utilização total é 1, acima do limiar 0.780  
mas conjunto é escalonável
- Aplicando o cálculo do tempo de resposta temos
- Análise da tarefa T1:

$$R1 = C1 = 1$$

## Análise do Tempo de Resposta 11/16

|               |          |          |          |
|---------------|----------|----------|----------|
| ● Exemplo:    | T1       | T2       | T3       |
| – Períodos    | P1=2     | P2=4     | P3=8     |
| – Computação  | C1=1     | C2=1     | C3=2     |
| – Utilização  | U1=0.500 | U2=0.250 | U3=0.250 |
| – Prioridades | p1=1     | p2=2     | p3=3     |

● Análise da tarefa T2:

$$w_2^0 = C_2 = 1$$

$$w_2^1 = C_2 + \left[ \frac{w_2^0}{P_1} \right] \times C_1 = 1 + \left[ \frac{1}{7} \right] \times 1 = 2$$

$$w_2^2 = C_2 + \left[ \frac{w_2^1}{P_1} \right] \times C_1 = 1 + \left[ \frac{2}{7} \right] \times 1 = 2$$

## Análise do Tempo de Resposta 12/16

|               |          |          |          |
|---------------|----------|----------|----------|
| ● Exemplo:    | T1       | T2       | T3       |
| – Períodos    | P1=2     | P2=4     | P3=8     |
| – Computação  | C1=1     | C2=1     | C3=2     |
| – Utilização  | U1=0.500 | U2=0.250 | U3=0.250 |
| – Prioridades | p1=1     | p2=2     | p3=3     |

- Análise da Tarefa T3:

$$w_3^0 = C_3 = 2$$

$$w_3^1 = C_3 + \sum_{j \in hp(3)} \left\lceil \frac{w_3^0}{P_j} \right\rceil \times C_j = 2 + \left\lceil \frac{2}{2} \right\rceil \times 1 + \left\lceil \frac{2}{4} \right\rceil \times 1 = 4$$

$$w_3^2 = 2 + \left\lceil \frac{4}{2} \right\rceil \times 1 + \left\lceil \frac{4}{4} \right\rceil \times 1 = 5$$

$$w_3^3 = 2 + \left\lceil \frac{5}{2} \right\rceil \times 1 + \left\lceil \frac{5}{4} \right\rceil \times 1 = 7$$

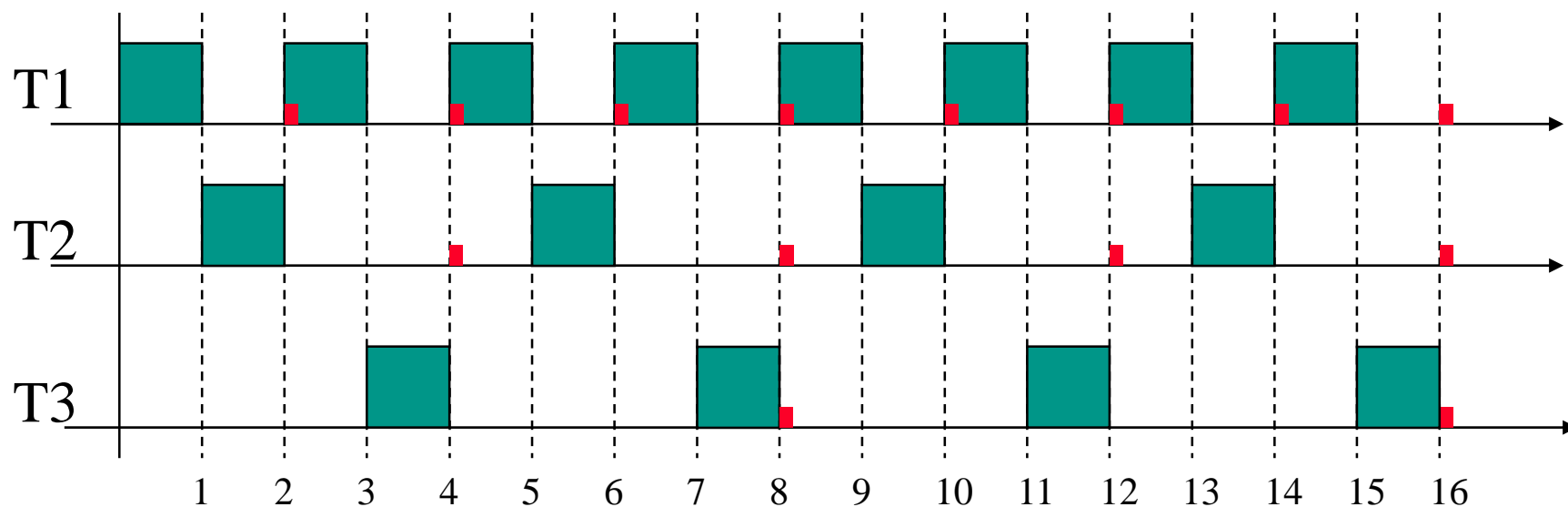
$$w_3^4 = 2 + \left\lceil \frac{7}{2} \right\rceil \times 1 + \left\lceil \frac{7}{4} \right\rceil \times 1 = 8$$

$$w_3^5 = 2 + \left\lceil \frac{8}{2} \right\rceil \times 1 + \left\lceil \frac{8}{4} \right\rceil \times 1 = 8$$

# Análise do Tempo de Resposta 13/16

- Exemplo:

|               | T1         | T2         | T3         |
|---------------|------------|------------|------------|
| – Períodos    | $P1=2$     | $P2=4$     | $P3=8$     |
| – Computação  | $C1=1$     | $C2=1$     | $C3=2$     |
| – Utilização  | $U1=0.500$ | $U2=0.250$ | $U3=0.250$ |
| – Prioridades | $p1=1$     | $p2=2$     | $p3=3$     |
| – Resposta    | $R1=1$     | $R2=2$     | $R3=8$     |
- Utilização total é 1, acima do limiar 0.780, mas conjunto é escalonável



## Análise do Tempo de Resposta 14/16

---

- Teste de escalonabilidade **exato** (suficiente e necessário)
- Deadline pode ser menor que o período
  - Basta comparar o tempo de resposta com o deadline
- Deadline maior que o período exige análise mais complexa
  - Tarefa pode interferir com ela mesma
- Tarefas esporádicas podem ser tratadas como periódicas
  - Intervalo mínimo entre ativações é usado como período
- A forma como prioridades são atribuídas **NÃO** é importante
  - Funciona pois “ $hp(i)$ ” sempre indica as tarefas mais prioritárias do que a tarefa “ $i$ ”



# Análise do Tempo de Resposta 15/16

- Quanto menor o deadline, maior a prioridade
- Ótimo quando deadline é menor ou igual ao período
- Exemplo:

|                               |       |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| – Tarefas                     | T1    | T2    | T3    | T4    |
| – Períodos                    | P1=20 | P2=15 | P3=10 | P4=20 |
| – WCET                        | C1=3  | C2=3  | C3=4  | C4=3  |
| – Deadline                    | D1=5  | D2=7  | D3=10 | D4=20 |
| – Prioridades                 | p1=1  | p2=2  | p3=3  | p4=4  |
| – Tempo máximo<br>de resposta | R1=3  | R2=6  | R3=10 | R4=20 |
| – Caso fosse RM               | R1=10 | R2=7  | R3=4  | R4=20 |

## Análise do Tempo de Resposta 16/16

---

- Deadline monotonic (DM) será ótimo se qualquer conjunto de tarefas  $Q$ , o qual é escalonável por uma política de atribuição de prioridades  $W$ , também for escalonável por DM
  
- Pode-se provar a optimalidade de DM através da transformação das prioridades de  $Q$  (atribuídas por  $W$ ) até que a ordenação seja aquela do DM
  - Desde que cada passo da transformação preserve a escalonabilidade
  
- Leung & Whitehead, 1982

- Análise do Tempo de Resposta
- Análise do Tempo de Resposta – Modelo Extendido
- Considerações sobre Análise do Tempo de Resposta
- Estimação do WCRT via Medição
- Visão Estatística das Medições
- Considerações sobre Medições

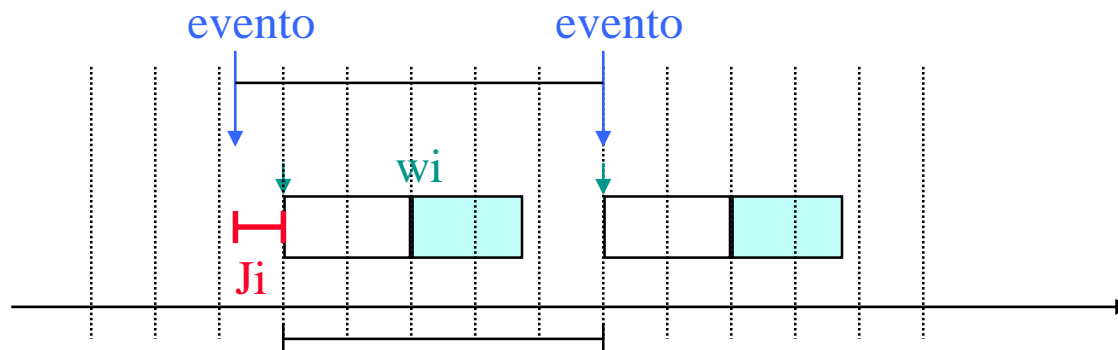
# Análise do Tempo de Resposta – Modelo Extendido 1/1

---

- Equação supõe um conjunto de premissas (modelo de tarefas)
  - Tarefas são periódicas ou esporádicas
  - $D \leq P$
  - Tarefas são independentes
  - Não existe qualquer tipo de overhead do sistema
  - Qualquer atribuição de prioridade fixa pode ser usada
  - A tarefa está apta no momento que chega (início do período)
  - Não existem recursos compartilhados
  - Tarefas podem ser preemptadas a qualquer momento
- Este modelo de tarefas é simples
- Não corresponde à realidade da maioria dos sistemas
- Como estender a análise do tempo de resposta para lidar com modelos de tarefas mais realistas (mais complexos) ?

# Release Jitter 1/2

- Suponha uma tarefa periódica
  - Início do período é indicado por interrupção do timer em hardware
  - Mas interrupções ficam desabilitadas por um tempo  $x$
  - Haverá um atraso de  $x$  entre chegada e liberação da tarefa
- Suponha uma tarefa esporádica liberada por evento externo
  - Eventos podem ser amostrados periodicamente
  - Liberação da tarefa será atrasada em relação à ocorrência do evento
- **Release Jitter:** Atraso entre a chegada da tarefa e a sua liberação
  - Liberação significa inclusão na fila de aptos, passa a disputar processador



- Seja  $J_i$  o release jitter máximo que a tarefa  $T_i$  pode experimentar
- Como incluir este termo nas equações do tempo de resposta ?

$$R_i = J_i + w_i$$

$$w_i = C_i + \sum_{j \in hp(i)} \left\lceil \frac{w_i + J_j}{P_j} \right\rceil \times C_j$$

- Podem ocorrer bloqueios devido a relações de exclusão mútua
  - Estruturas de dados compartilhadas
  - Dispositivos compartilhados
- Suponha T1 e T2, T1 com maior prioridade
- Se T2 fica esperando por T1
  - Ok, T1 tem mesmo prioridade superior, é interferência normal
- Se T1 fica esperando por T2, é dito que T1 foi **bloqueada** por T2
- Cálculo do tempo de resposta deve incluir o tempo total de bloqueio máximo  $B_i$

$$w_i = C_i + B_i + \sum_{j \in \text{hp}(i)} \left\lceil \frac{w_i + J_j}{P_j} \right\rceil \times C_j$$

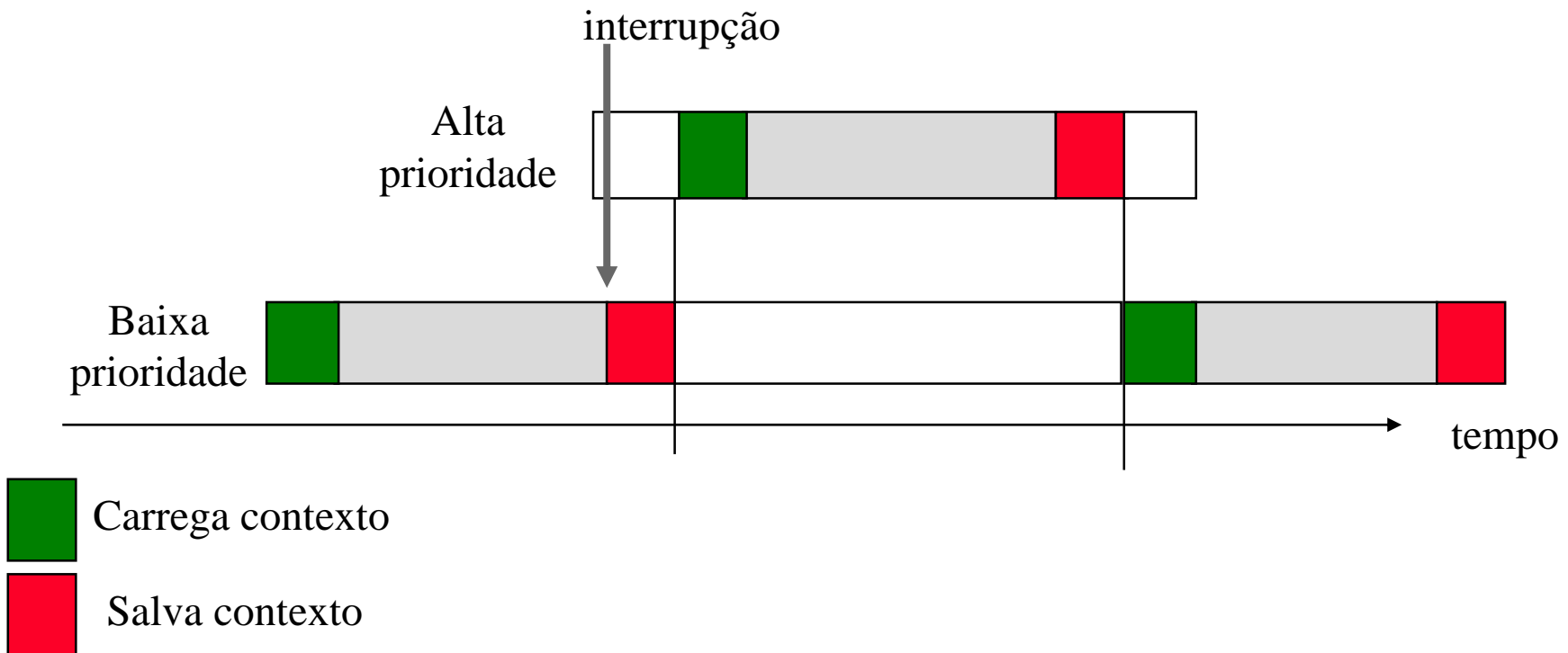
$$R_i = J_i + w_i$$

- Interferência:
  - Tarefa de alta prioridade atrapalha a tarefa de baixa prioridade
- Bloqueio
  - Tarefa de baixa prioridade atrapalha a tarefa de alta prioridade
- Como calcular  $B_i$  ?
  - Complexo
  - Depende de como os recursos são gerenciados
  - Existem protocolos específicos para sistemas de tempo real
  - Aula específica sobre isto



# Chaveamento de Contexto 1/1

- Toda tarefa precisa incluir no seu  $C$  a carga do contexto
- Se a tarefa  $T_i$  é preemptada por outra
  - Interferência sofrida por  $T_i$  inclui o tempo de chaveamento de contexto
  - Na verdade dois chaveamentos de contexto



## Níveis insuficientes de prioridades 1/1

---

- Caso existam mais tarefas do que níveis de prioridade
  - Desempate é arbitrário, frequentemente FIFO na fila de aptos
- Exemplo:
  - Tarefas T1, T2 e T3
- Com **3 níveis de prioridade** (T1 / T2 / T3)
  - Tarefa T1 interfere com T2 e T3
  - Tarefa T2 interfere com T3
- Com **2 níveis de prioridade** (T1 / T2&T3)
  - Tarefa T1 interfere com T2 e T3
  - Tarefa T2 interfere com T3
  - Tarefa T3 interfere com T2
- Escalonabilidade do sistema foi reduzida
- Na análise de T2, considerar T3 como geradora de interferência

# Atribuição Ótima de Prioridades 1/1

- Com as extensões do modelo
  - DM não é mais ótimo
- É possível provar que:
  - Se uma tarefa T recebe a menor prioridade e é escalonável então,
  - Se uma ordenação escalonável de prioridades existe para todo o conjunto de tarefas
  - Uma ordenação existe com a tarefa T recebendo a prioridade mais baixa
  - Melhora para todas as outras, só piora para T, e mesmo assim T é escalonável

```
for k in 1..N {
  for x in k..N {
    Swap(Set, k, x);
    Process_Test(Set, k, ok);
    if(ok) break;
  }
  if(!ok) return -1; //não encontrou solução
}
```

# Considerações sobre Análise do Tempo de Resposta 1/2

---

- Mesmo em sistemas onde a análise do tempo de resposta não pode ser aplicada de forma garantida ela ainda é útil
- Aproximação quando o valor do WCET é aproximado
- Aproximação quando o modelo de tarefas não cobre todos os aspectos do hardware e software reais
- Ri obtido deve ser considerado apenas como um valor aproximado e otimista
- Aspecto mais importante:  
  
Fornecer uma infraestrutura conceitual para que o desenvolvedor possa refletir sobre o comportamento temporal do seu sistema
- Tempo de resposta é composto por vários componentes bem distintos
  - Desenvolvedor pode melhor identificar as origens dos atrasos

## Considerações sobre Análise do Tempo de Resposta 2/2

---

- É importante destacar que os valores de WCRT calculados são tempos de resposta no pior caso
- Ou seja, é necessário que tudo ocorra da pior maneira possível
  - e ao mesmo tempo
  - para que este valor seja observado
- A probabilidade disto tudo ser observado simultaneamente na prática é em geral baixíssima.
- Mesmo que sejam feitas medições extensivas dos tempos de resposta
  - Provavelmente o maior valor medido será bem menor que o WCRT calculado

- Análise do Tempo de Resposta
- Análise do Tempo de Resposta – Modelo Extendido
- Considerações sobre Análise do Tempo de Resposta
- Estimação do WCRT via Medição
- Visão Estatística das Medições
- Considerações sobre Medições

## Estimação do WCRT via Medição 1/7

---

- Muitos sistemas na prática são complexos demais para uma análise do tempo de resposta rigorosa
- Na indústria geralmente é utilizada a medição do tempo de resposta
  - para verificar se o comportamento temporal do sistema é aceitável
- Qualquer avaliação do tempo de resposta através de medição:
- Exigirá a realização de um conjunto de testes
- Com olhar estatístico sobre os resultados

## Estimação do WCRT via Medição 2/7

---

- Para medir o tempo de resposta é preciso executar o sistema
- Esta execução vai ocorrer em um certo cenário de entrada de dados
- Configura um caso de teste
  
- Estimar o tempo de resposta no pior caso a partir de medições é difícil
  - O verdadeiro WCRT pode ocorrer com pouca frequência
  - As condições para que ele aconteça são normalmente desconhecidas
  
- Desenvolvedores precisam trabalhar com margens de segurança
- Margens de segurança:  
resultado da experiência prática dos desenvolvedores



## Estimação do WCRT via Medição 3/7

---

- Escopo de um teste
- **Teste de tarefa (*task test*)**
  - Testa cada tarefa independentemente
  - Descubrem apenas erros em lógica e funções, não temporais
- **Teste comportamental (*behavioral test*)**
  - Testa resposta do sistema aos eventos externos
  - Cada evento deve ser testado individualmente
- **Teste intertarefas (*intertask test*)**
  - Testa sincronização entre tarefas
  - Diferentes taxas de dados e carga de processamento
- **Teste de sistema (*system test*)**
  - Testa a combinação hardware e software integrada
  - Precisa incluir eventos externos: interrupções e comunicações
  - Tempo de resposta aparece aqui

## Estimação do WCRT via Medição 4/7

---

- **Caso de teste** (*test case*)

Descreve uma condição particular a ser testada

- É composto por

- valores de entrada
- restrições para a sua execução
- resultado ou comportamento esperado

- **Procedimento de teste** (*test procedure*)

Descrição dos passos necessários para executar um caso de teste

- ou um grupo de casos de teste

- **Critérios de teste** (*test criteria*)

Utilizados para selecionar e avaliar casos de teste de forma a aumentar as possibilidades de provocar falhas

## Estimação do WCRT via Medição 5/7

---

- Gerar os casos de teste apropriados para forçar o sistema e obter tempos de resposta elevados é uma missão difícil
- Natureza assíncrona, dependente do tempo
  - Acrescenta variáveis novas e não controladas aos procedimentos de testes
- Casos de teste usuais precisam definir
  - dados de entrada
  - estado do programa
  - sequência de eventos externos
- Em teste temporal a dinâmica interna do sistema é de grande importância

## Estimação do WCRT via Medição 6/7

---

- Exemplo:
- Tempo de bloqueio em um mutex pode fazer um deadline ser perdido
  - Embora seja um evento raro  
e este tempo de bloqueio não comprometa a corretude lógica da aplicação
- Dinâmica do sistema no tempo é afetada por
  - eventos externos (interrupções)
  - escalonamento das tarefas
  - dados de entrada
  - estado do sistema (variáveis globais)

## Estimação do WCRT via Medição 7/7

---

- Cobertura dos testes indica quais partes da aplicação são executadas
  - Meta dos testes
- **Cobertura por linha (*line coverage*)**
  - Cada linha do código é executada por pelo menos um caso de teste
- **Cobertura por desvio (*branch coverage*)**
  - Cada desvio condicional é executado por pelo menos um caso de teste
- **Cobertura por condição (*condition coverage*)**
  - Cada expressão booleana básica assume os valores verdadeiro (*true*) e falso (*false*) em pelo menos um caso de teste
- **Cobertura por caminho (*path coverage*)**
  - Toda sequência de caminho é executada por pelo menos um caso de teste
  - Garantirá que as coberturas por linha e por desvio também foram satisfeitas

- Análise do Tempo de Resposta
- Análise do Tempo de Resposta – Modelo Extendido
- Considerações sobre Análise do Tempo de Resposta
- Estimacão do WCRT via Medição
- Visão Estatística das Medições
- Considerações sobre Medições

# Visão Estatística das Medições 1/16

---

- Resultado da aplicação dos testes:  
coleta de tempos de resposta das tarefas
- Fazer uma única medição do tempo de resposta  
não mostra a gama de valores possíveis
- São necessárias várias medições  
e uma visão estatística destas medições

## Visão Estatística das Medições 2/16

---

- Algumas estatísticas simples podem ser facilmente obtidas a partir das medições
- Tempo de resposta mínimo observado
- Tempo de resposta médio observado
- Tempo de resposta máximo observado:  
**HWM** (*High Water Mark*, altura máxima da água)
- O HWM é uma aproximação otimista do WCRT
  - Pois as condições que levariam ao WCRT nunca foram observadas durante os testes



## Visão Estatística das Medições 3/16

---

- Em muitos casos o HWM acrescido de uma margem de segurança é usado como estimador do WCRT
- É comparado com o deadline da tarefa para fins de verificação do cumprimento dos requisitos temporais
- Valor da margem de segurança depende da variância do tempo de resposta
- Quanto maior sua variância maior a incerteza do desenvolvedor e maior a margem de segurança a ser utilizada

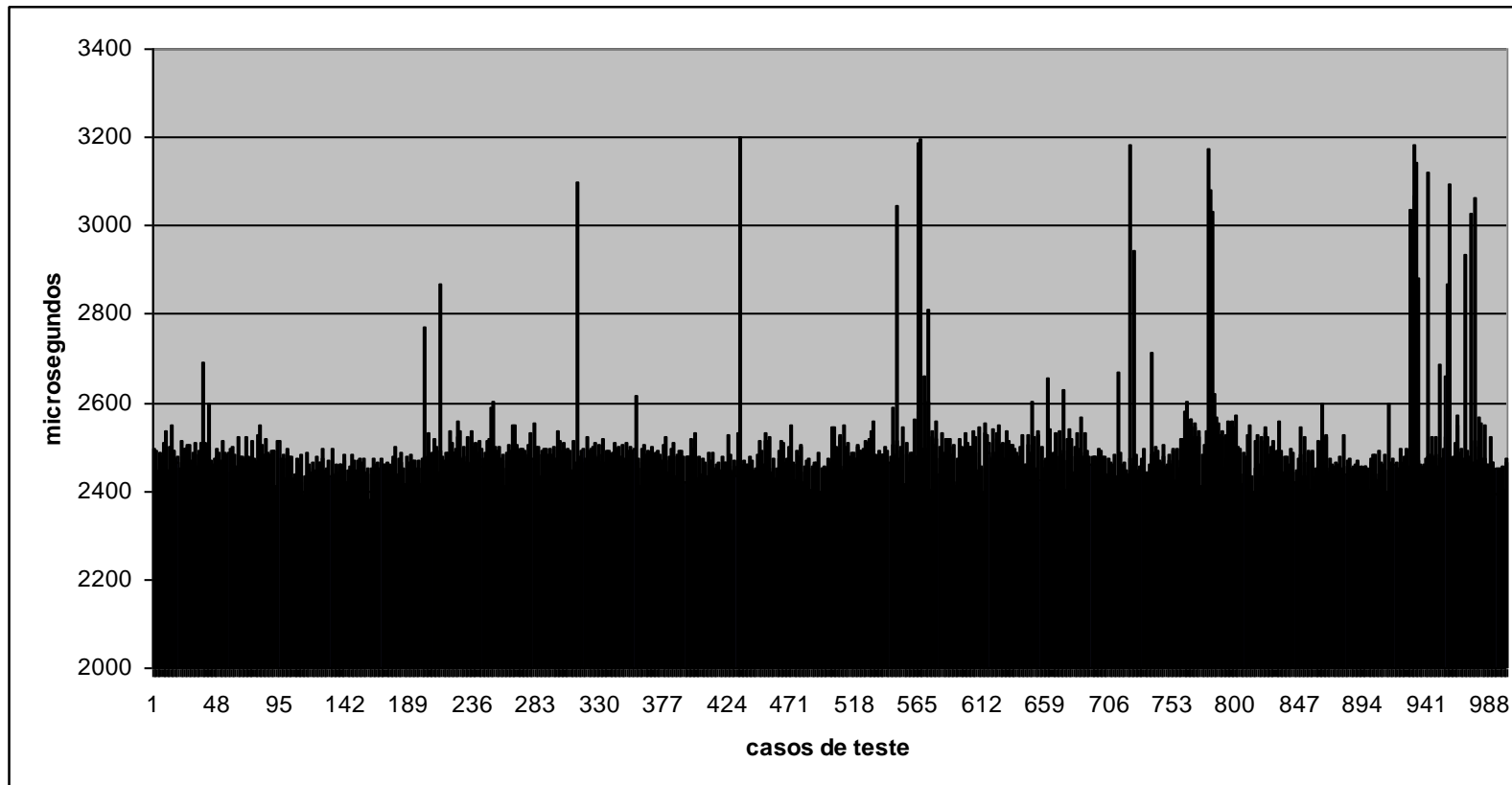
## Visão Estatística das Medições 4/16

---

- Exemplo, medições do tempo de resposta variaram de 12ms a 14ms
- Uma margem de segurança de 2ms ( $R=16\text{ms}$ ) parece apropriada
  
- Entretanto, se as medições variaram entre 10ms e 16ms
- Uma margem de segurança de 2ms ( $R=18\text{ms}$ ) já é pequena
  - frente a variância das medições
  
- A margem de segurança é definida caso a caso
  - com base na experiência do desenvolvedor
  - e na criticalidade dos requisitos temporais

# Visão Estatística das Medições 5/16

- Gráfico com 1000 medições do tempo de resposta
  - Tarefa que implementa o algoritmo de codificação Huffman
  - em um array de caracteres aleatório
  - Computador desktop, Intel I7, Linux



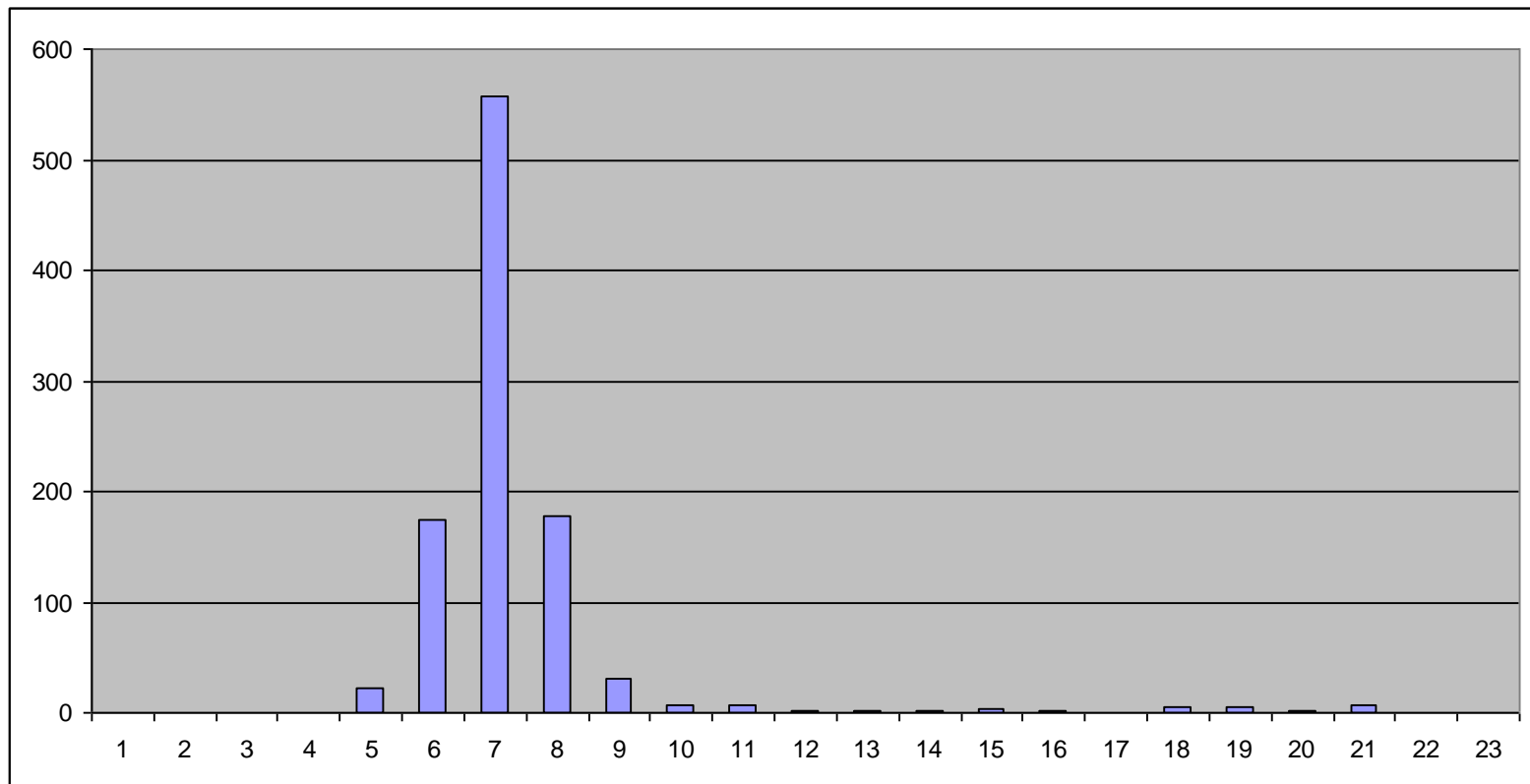
## Visão Estatística das Medições 6/16

---

- Predominância de medições em torno de 2500us
- Alguns picos de valores (*spikes*) bem mais altos que o usual
- O tempo de resposta
  - mínimo foi 2378us
  - médio foi 2493us
- HWM (tempo de resposta máximo observado) foi 3200us
- Não existe garantia que o WCRT foi observado durante as medições
- Na verdade, é altamente improvável que isto tenha acontecido
  - Devido a complexidade da plataforma utilizada

# Visão Estatística das Medições 7/16

- Histograma das medições do tempo de resposta
- Medições estão concentradas em torno de 2500us
- Cauda longa e fina, composta pelas medições de valores de pico
  - Formato de histograma é típico



## Visão Estatística das Medições 8/16

---

- Existem aplicações com requisitos temporais relaxados
- Nem toda ativação precisa cumprir o deadline
- Desde que isto não ocorra com muita frequência
  
- O que é “muita frequência” vai depender da aplicação em questão
- Precisa ser descrito no documento de especificação
  - e alguma maneira mensurável

## Visão Estatística das Medições 9/16

---

- Pode-se definir o percentual de ativações que precisarão cumprir o deadline
- Por exemplo, tarefa com deadline de 3000us
- Nas medições realizadas foi observado que 982 medições ficaram abaixo deste valor
- 98,2% das ativações cumpriram o deadline
- Isto pode ser bom o suficiente ou não, dependendo da especificação do sistema

## Visão Estatística das Medições 10/16

---

- Forma alternativa:  
Determinar o HWM para um percentual das medições ( $< 100\%$ )
- $\text{HWM}(100\%) =$  temos o valor máximo observado de 3200us
- $\text{HWM}(99\%) =$  observado foi 3083us
  
- O objetivo nos dois casos é desconsiderar uma parte da cauda do histograma
  - a qual inclui valores muito altos
  - porém de baixa taxa de ocorrência,
  - isto claro se a natureza da aplicação permitir



## Visão Estatística das Medições 11/16

---

- Em alguns sistemas o importante não é o percentual de perda de deadlines mas o tempo entre duas perdas consecutivas
- Por exemplo uma tarefa que implementa o controle realimentado da velocidade de um motor elétrico
- O equipamento eletromecânico possui uma inércia física tal que se a tarefa perder um deadline nada vai acontecer
- Porém, se várias ativações consecutivas da tarefa perderem o seu deadline, a velocidade do motor poderá variar além do desejado



## Visão Estatística das Medições 13/16

---

- Pode-se exigir um certo **fator skip** (*skip factor*)
- Uma tarefa tem um fator skip  $S$  quando a distância entre duas perdas de deadlines é de no mínimo  $S$  ativações
- Aparecem 18 medições onde o deadline é perdido
- As distâncias entre elas são, pela ordem:  
119, 116, 16, 2, 154, 58, 2, 1, 147, 1, 1, 1, 1, 9, 15, 16, 3
- Uma distância de 1 significa que os deadlines foram perdidos em duas ativações consecutivas
- Rajada de quatro perdas de deadline em sequência
  - indicada pelas quatro distâncias com valor 1 na lista
- Isto é comum em sistemas de propósito geral
  - Quando o sistema entra em um momento de grande sobrecarga, diversas ativações de diversas tarefas podem perder o deadline

## Visão Estatística das Medições 14/16

---

- Outra forma de especificar a perda eventual de deadlines é através da noção de deadlines que são  $(m,k)$ -firme
- Uma tarefa é  **$(m,k)$ -firme** se ela sempre cumpre “ $m$ ” deadlines em qualquer janela de “ $k$ ” ativações consecutivas
- Necessariamente temos  $m \leq k$
- Caso  $m=k$   
todos os deadlines precisam ser cumpridos

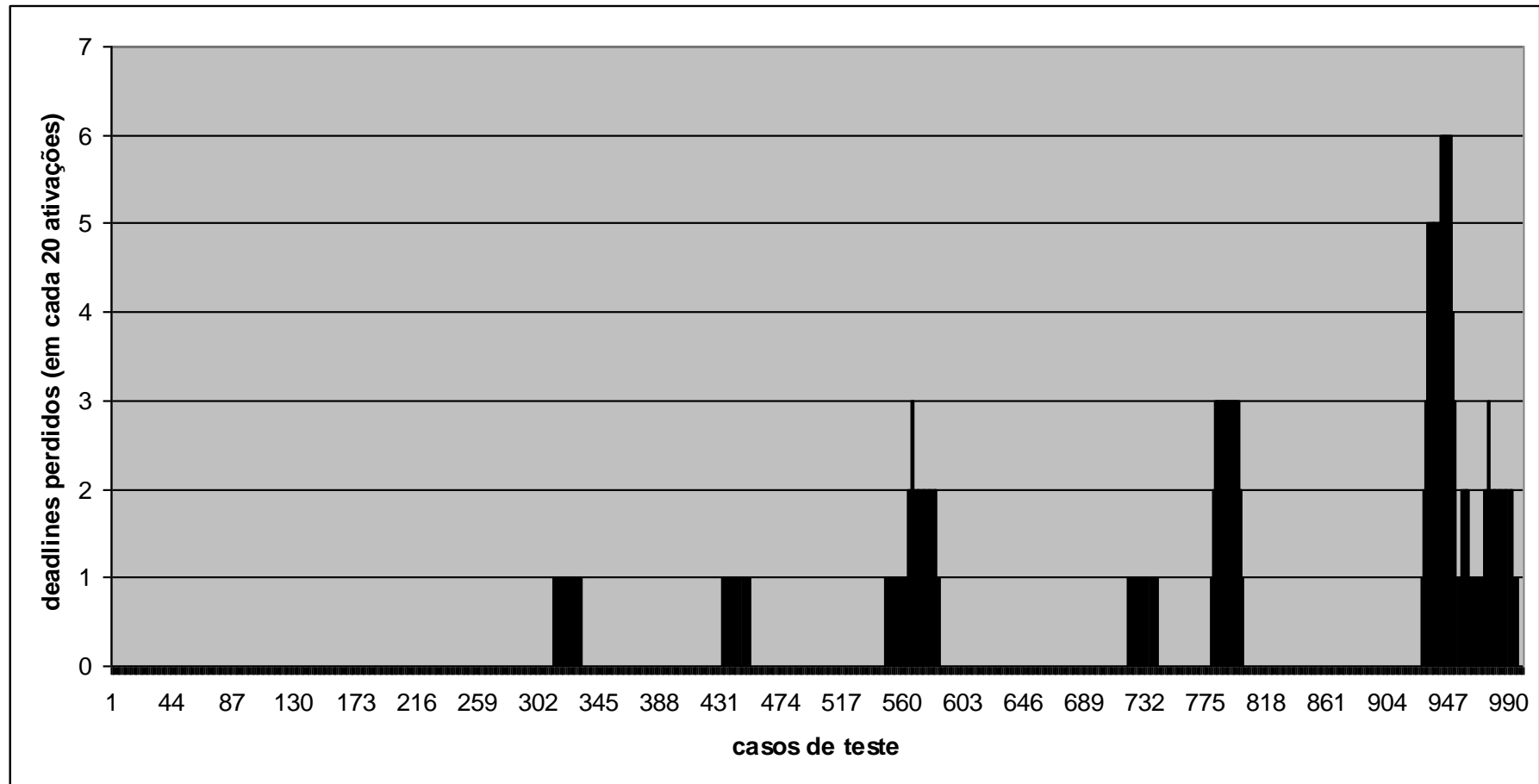
## Visão Estatística das Medições 15/16

---

- Se percorrermos uma janela deslizando sobre os tempos de resposta medidos da tarefa exemplo
- Com largura de 20 ativações:  $k=20$
- Nos dados medidos o pior momento acontece quando dentro de uma janela de 20 ativações foram perdidos 6 deadlines e cumpridos apenas 14
- Durante as medições, este sistema comportou-se como um sistema **(14,20)-firme**

# Visão Estatística das Medições 16/16

- Gráfico mostra quantos deadlines foram perdidos em cada janela de execução (deslizante) de 20 ativações



## Considerações sobre Medições 1/2

---

- Exatamente qual métrica será usada para especificar os requisitos temporais de um sistema depende da natureza do sistema em questão
- O mesmo vale para os parâmetros da métrica escolhida
  - Qual o tamanho da janela deslizante e qual o número de deadlines perdidos tolerado ?
- Principais mensagens
- A especificação do sistema deve determinar requisitos temporais mensuráveis para que os mesmos possam ser testados
- O desenvolvedor deve aplicar um olhar estatístico sobre as medições de tempo de resposta
  - usando gráficos e histogramas
  - não ficar apenas com estatísticas simples (média, máximo)

## Considerações sobre Medições 2/2

---

- Condições dos testes realizados
  - No caso de um desktop
  - ao mudar os programas em execução mudamos a carga no sistema
  - mudamos o tempo de resposta medido
- Maioria dos sistemas de tempo real
  - Executa um conjunto fixo e conhecido de tarefas
  - Computador dedicado
  - Cenário é estável
  - Diminui a influência de outros programas sobre os tempos de resposta medidos
- Comportamento das outras tarefas da aplicação e dos periféricos também influencia os tempos de resposta
- Cabe ao desenvolvedor criar cenários de stress para o sistema no momento de fazer as medições dos tempos de resposta



- Análise do Tempo de Resposta
- Análise do Tempo de Resposta – Modelo Extendido
- Considerações sobre Análise do Tempo de Resposta
- Estimação do WCRT via Medição
- Visão Estatística das Medições
- Considerações sobre Medições

