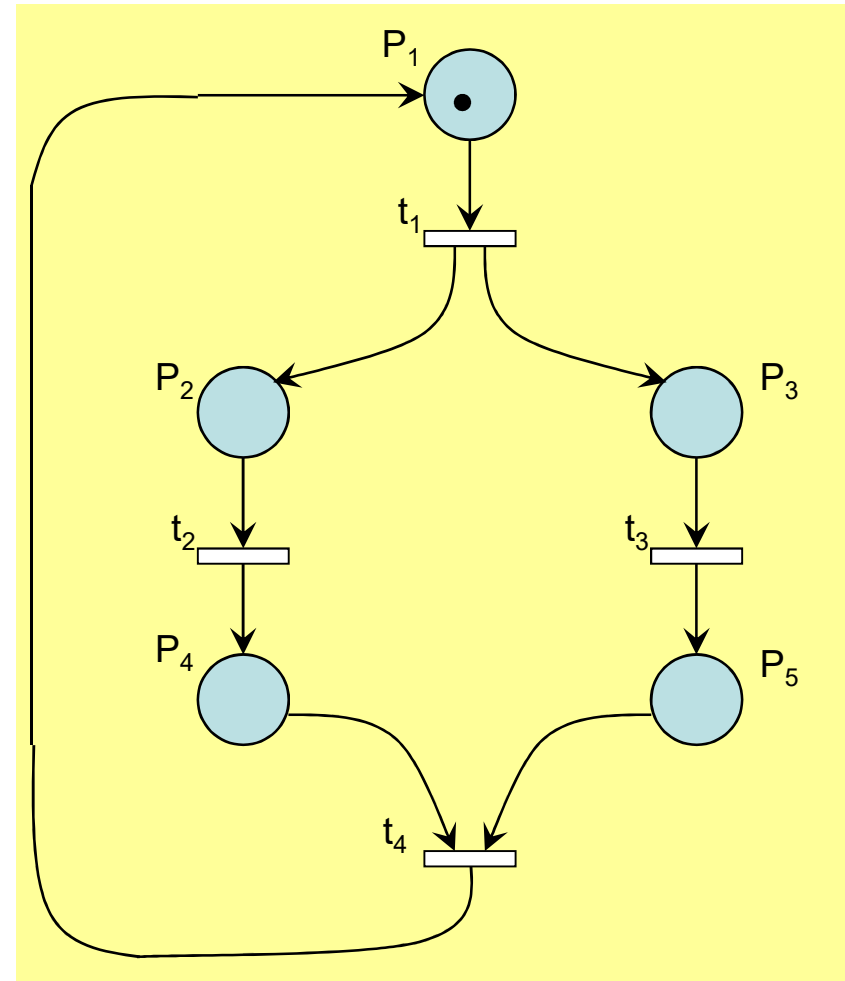
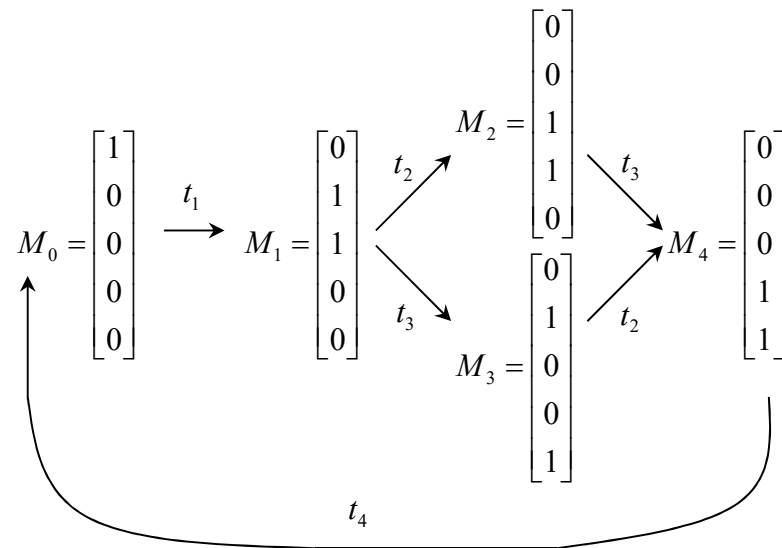


Índice

1. Introdução ✓
2. Noções Básicas de Redes de Petri (RdP) ✓
3. Regras de Evolução das RdP ✓
4. RdP Generalizadas ✓
5. Componentes de Modelação em RdP ✓
- 6. Análise Computacional de Modelos RdP**
7. Verificação de Propriedades dos Sistemas Modelados
8. Utilização da Ferramenta HP-SIM

Análise Computacional de Modelos (1)

- voltemos a um exemplo de RdP já analisado em termos de marcações acessíveis:



Análise Computacional de Modelos (2)

- esta RdP corresponde a:

- matriz de incidência anterior (W^-) às transições (arcos $P \rightarrow t$):

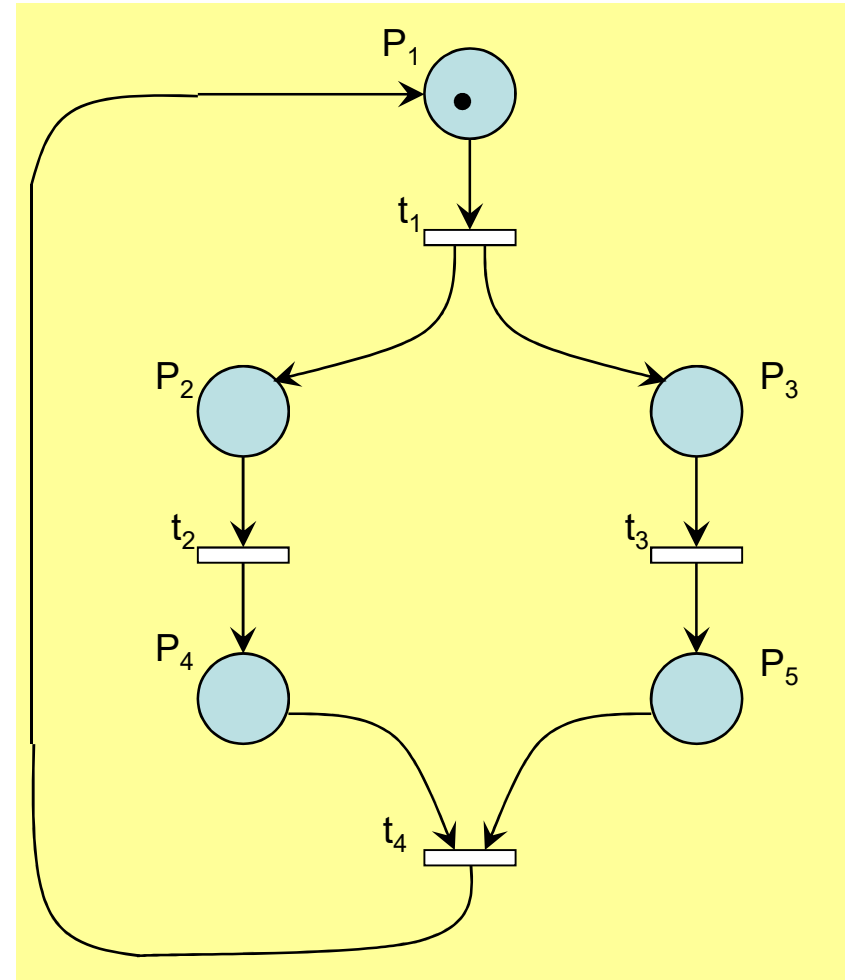
$$W^- = \begin{array}{c|cccc} & t_1 & t_2 & t_3 & t_4 \\ \hline P_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ P_2 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ P_3 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ P_4 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ P_5 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

- matriz de incidência posterior (W^+) às transições (arcos $t \rightarrow P$):

$$W^+ = \begin{array}{c|cccc} & t_1 & t_2 & t_3 & t_4 \\ \hline P_1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ P_2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ P_3 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ P_4 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ P_5 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{array}$$

- marcação inicial:

$$M_0 = \begin{array}{c|c} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} & \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \end{matrix} \end{array}$$



Análise Computacional de Modelos (3)

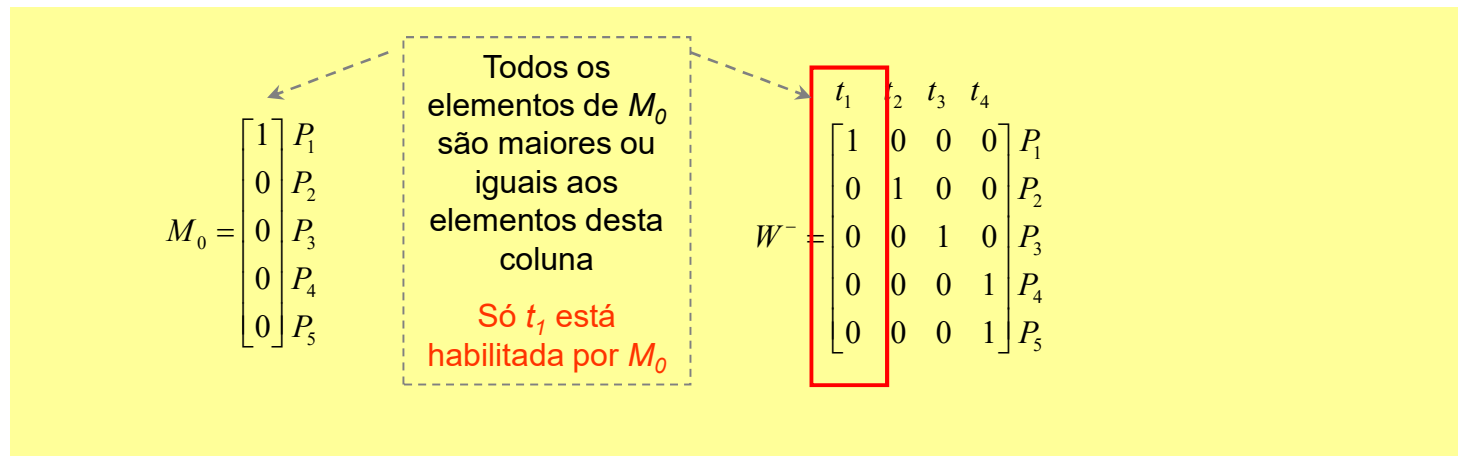
- *trace* de evolução do modelo
 - para uma determinada marcação, que transição pode disparar?

```
for tra = 1 to tra = NUM_TRA do
  if habilitada(tra) = TRUE and condicao(tra) = TRUE then
    exit for
  end if
end for
```

- no pseudo-código acima, a função `habilitada(tra)` verifica se a transição `tra` pode ser disparada de acordo com a Regra 1 das RdP
- a função `condicao(tra)` verifica o valor da condição lógica associada à transição `tra` (por exemplo, um temporizador ter expirado)

Análise Computacional de Modelos (4)

- *trace* de evolução do modelo
 - função `habilitada(tra)`?
 - para uma marcação (nº de marcas existente em cada posição), cada coluna da matriz W (peso dos arcos anteriores à transição) “diz” quantas marcas são necessárias em cada posição para que a transição correspondente a essa coluna esteja habilitada
 - por exemplo, para M_0 :



Análise Computacional de Modelos (5)

- *trace* de evolução do modelo
 - como determinar a marcação resultante (Regra 2) do disparo de *tra* que estava habilitada por uma marcação *m*?
 - função `evolucao(m, tra)`?

```
function evolucao(m as vec_marcacao, tra as integer) as vec_marcacao
    tra_disp = vect(tra)
    evolucao = m + W x tra_disp
end function
```

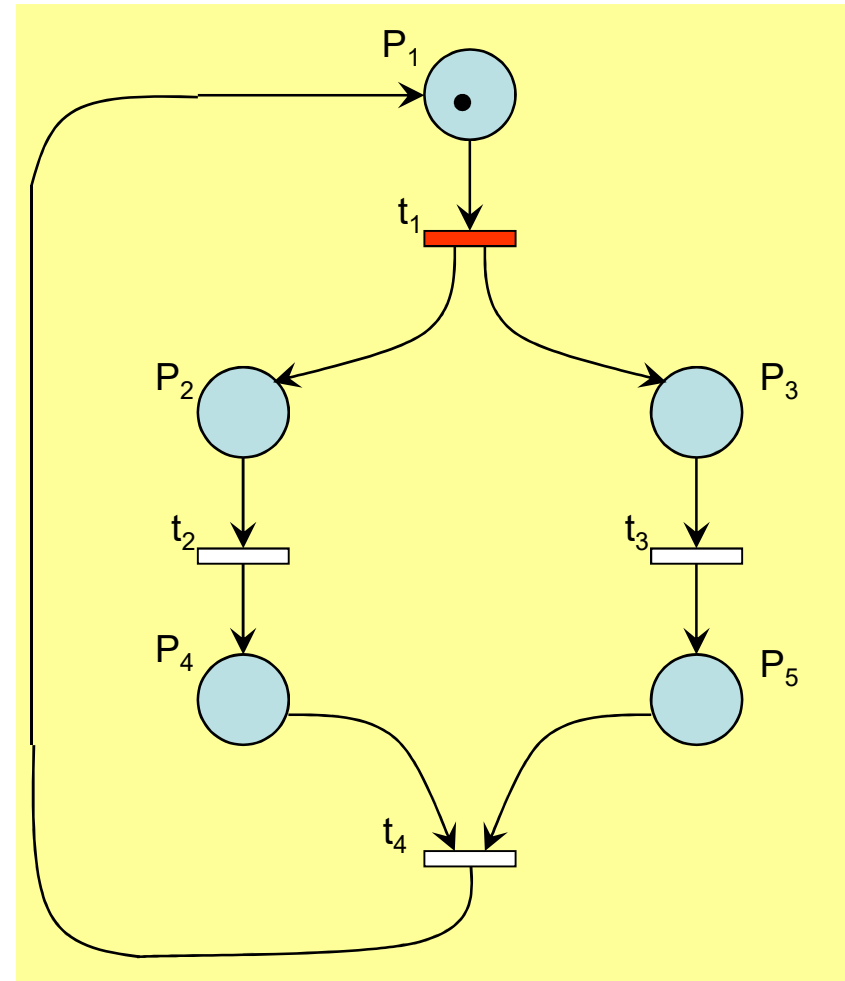
- no pseudo-código acima, *m* é um vector com dimensão igual ao número de posições da RdP
- *tra_disp* é um vector com dimensão igual ao número de transições da RdP, e tem todos os valores a 0, à excepção do elemento que corresponde a *tra* (esse elemento terá o valor 1)
- $W = (W^+ - W^-)$

Análise Computacional de Modelos (6)

- *trace* de evolução do modelo
 - vejamos o resultado de evolução $(M_0, 1)$ para a RdP exemplo:

$$W = W^+ - W^- = \begin{bmatrix} t_1 & t_2 & t_3 & t_4 \\ -1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \end{matrix}$$

$$tra_disp = [1 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

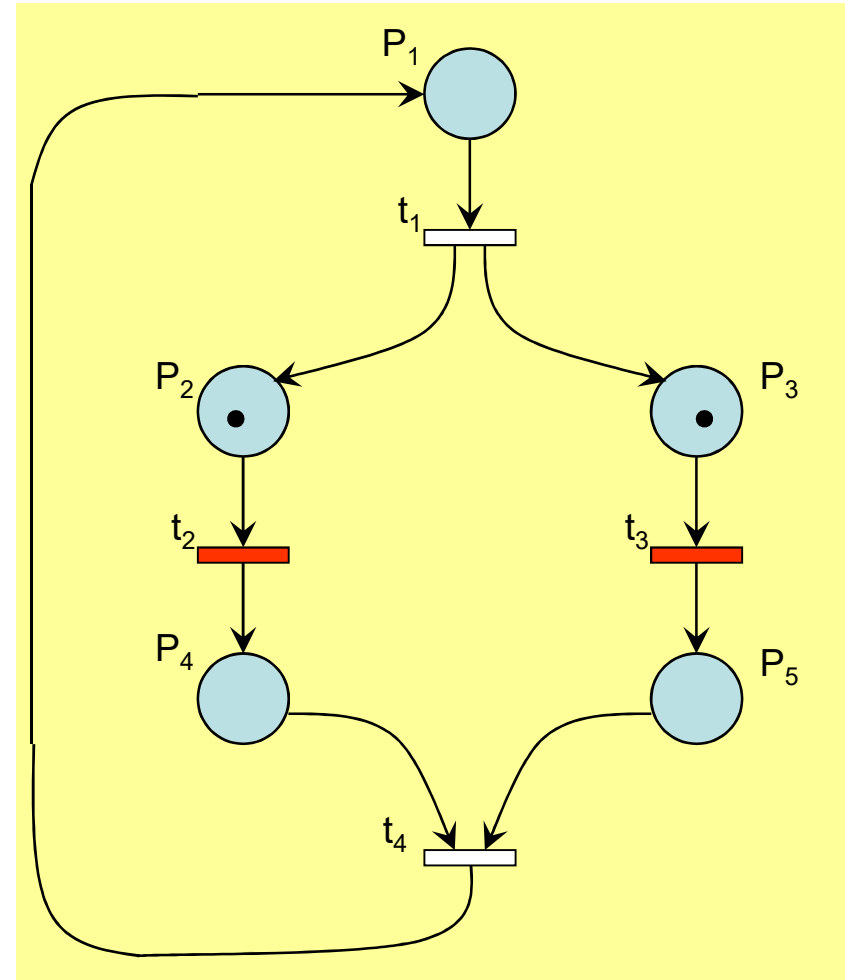


Análise Computacional de Modelos (7)

- *trace* de evolução do modelo
 - vejamos o resultado de $evolucao(M_0, 1)$ para a RdP exemplo:

$$evolucao(M_0, 1) = M_0 + W \times tra_disp = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

cada elemento do vector resultante desta multiplicação, corresponde à soma das multiplicações de cada elemento da linha de W por cada elemento de tra_disp



Análise Computacional de Modelos (8)

- utilizando a representação matricial da RdP e funções: que permitam verificar se uma transição está habilitada por uma determinada marcação e marcação resultante após o disparo de uma transição
 - facilmente se obtém uma árvore n -ária das marcações acessíveis (não considera condições lógicas associadas às transições)
 - facilmente se detectam situações de bloqueio (a partir de determinada marcação algumas ou todas as transições deixam de poder ser disparadas)
 - pode fazer-se simulação temporal do sistema e análise de desempenho
 - etc.

Índice

1. Introdução ✓
2. Noções Básicas de Redes de Petri (RdP) ✓
3. Regras de Evolução das RdP ✓
4. RdP Generalizadas ✓
5. Componentes de Modelação em RdP ✓
6. Análise Computacional de Modelos RdP ✓
- 7. Verificação de Propriedades dos Sistemas Modelados**
8. Utilização da Ferramenta HP-SIM

Verificação de Propriedades (1)

- Ver Secção IV Artigo de TADAO Murata

Índice

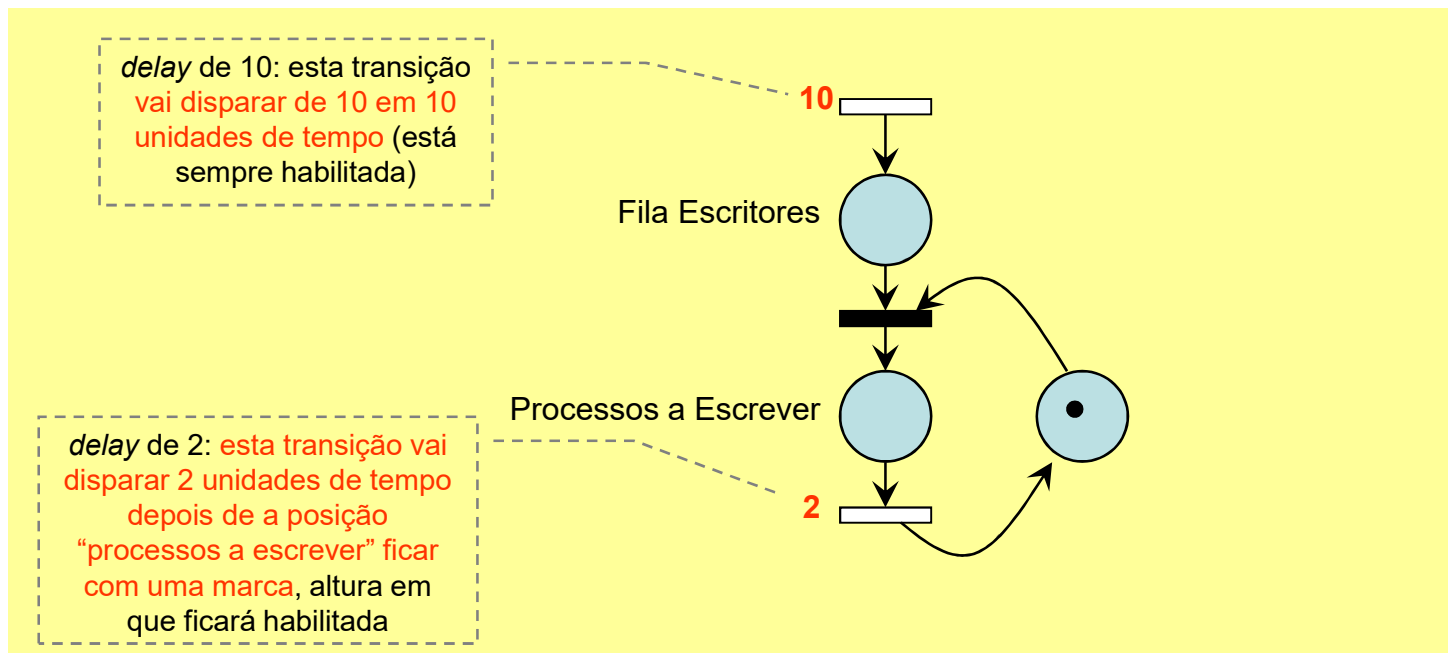
1. Introdução ✓
2. Noções Básicas de Redes de Petri (RdP) ✓
3. Regras de Evolução das RdP ✓
4. RdP Generalizadas ✓
5. Componentes de Modelação em RdP ✓
6. Análise Computacional de Modelos RdP ✓
7. Verificação de Propriedades dos Sistemas Modelados ✓
- 8. Utilização da Ferramenta HP-SIM**

Utilização da Ferramenta HP-SIM (1)

- o HP-SIM é uma ferramenta não comercial que permite fazer simulação temporal de sistemas modelados por RdP
 - algumas especificidades
 - transições temporizadas
 - limitação explícita de capacidade das posições (artificialismo de simplificação de modelos)
 - existência de arcos especiais (artificialismo de simplificação de modelos)
 - arco de teste (para fazer leitura a uma posição)
 - arco inibidor (leitura de zero marcas)

Utilização da Ferramenta HP-SIM (2)

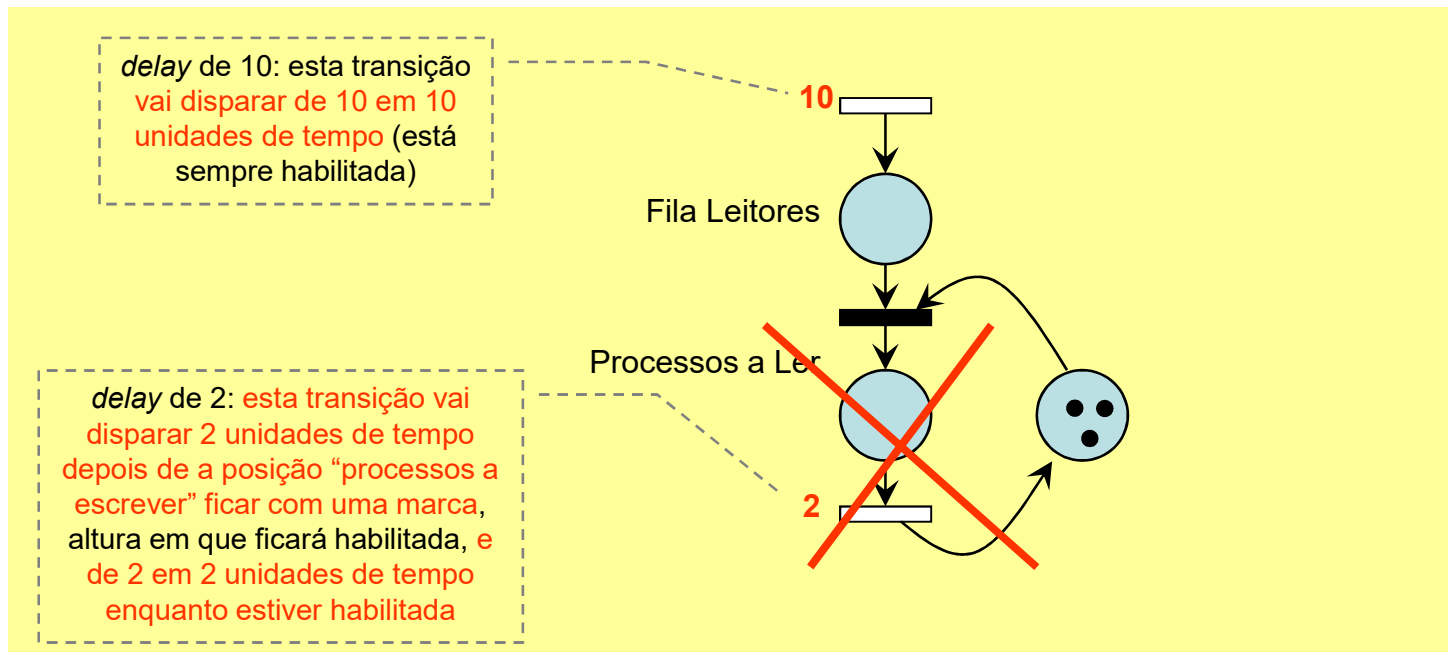
- transições temporizadas
 - nas transições, é possível definir um *delay* de disparo; um temporizador associado é despoletado a partir do momento em que uma transição fica habilitada



Utilização da Ferramenta HP-SIM (3)

- transições temporizadas

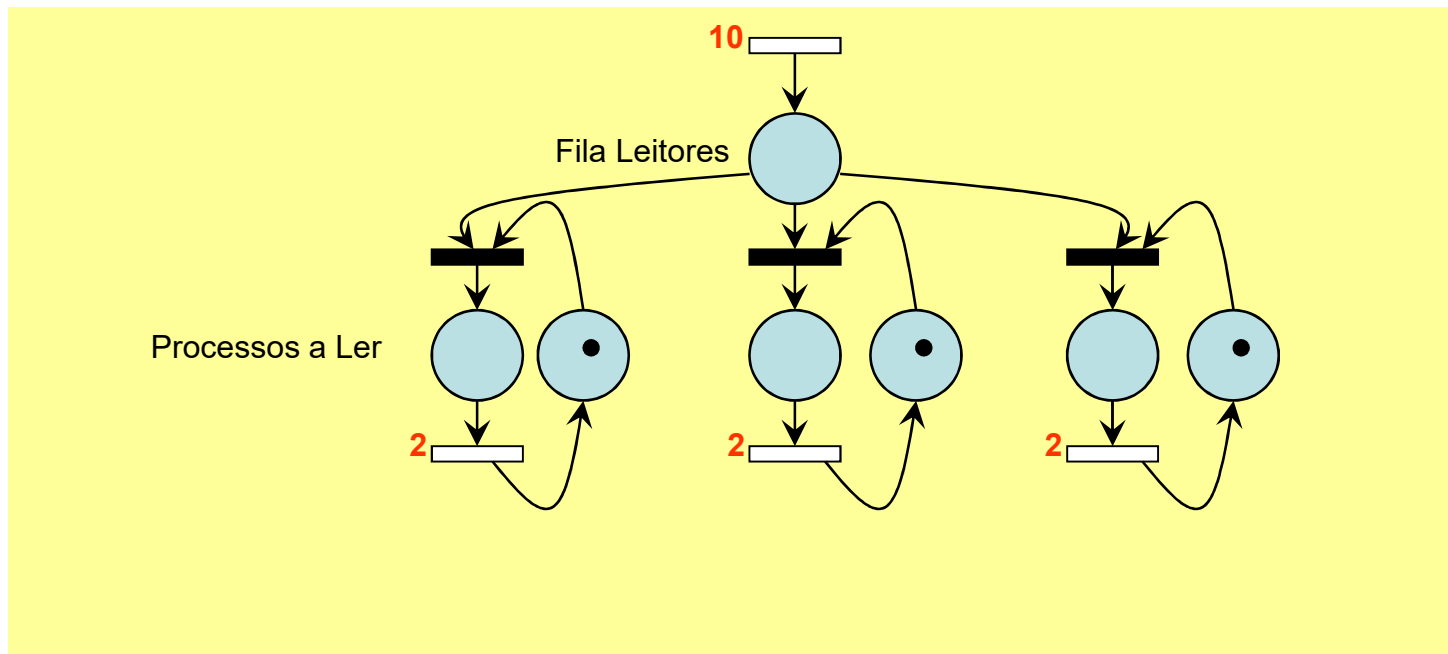
- nas transições, só existe um temporizador, pelo que se a posição a temporizar tiver capacidade superior a 1, é preciso replicar a posição para simular correctamente o tempo



Utilização da Ferramenta HP-SIM (4)

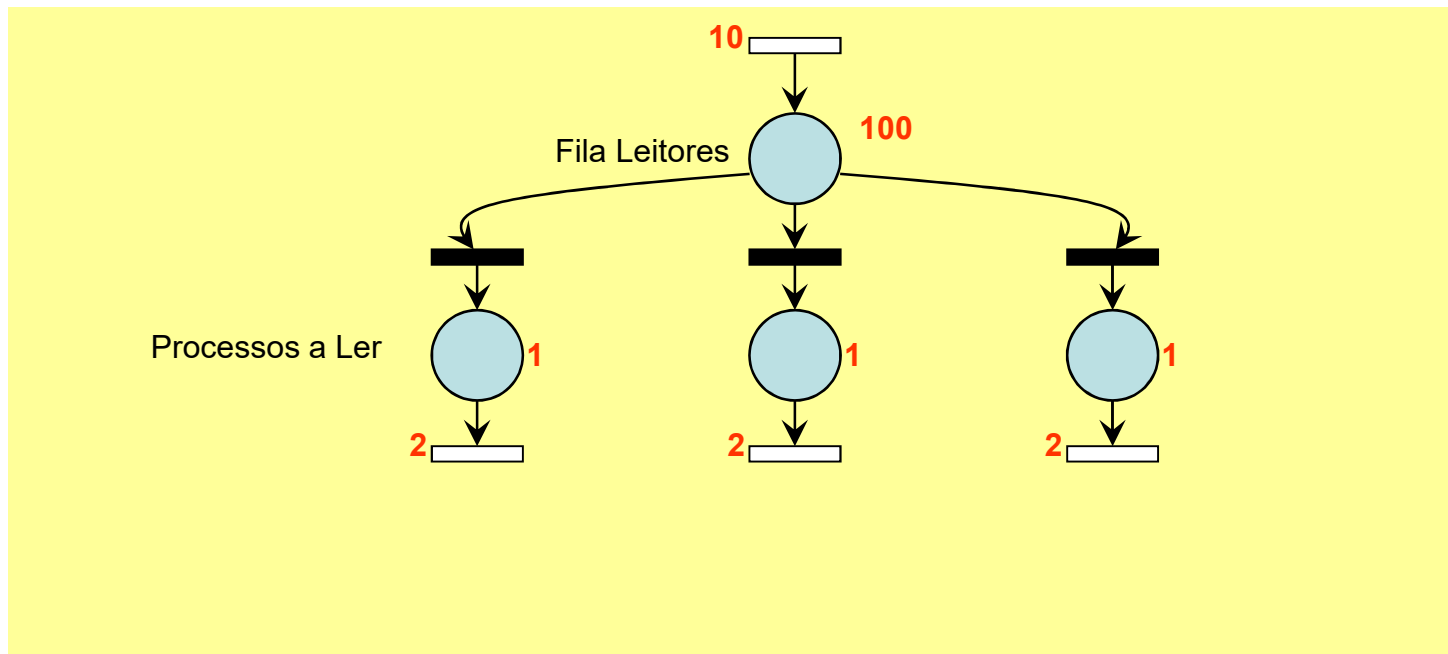
- transições temporizadas

- nas transições, só existe um temporizador (limitação da implementação do HP-SIM – devia haver um *array* de temporizadores por posição), pelo que se a posição a temporizar tiver capacidade superior a 1, é preciso replicar a posição para modelar correctamente o tempo



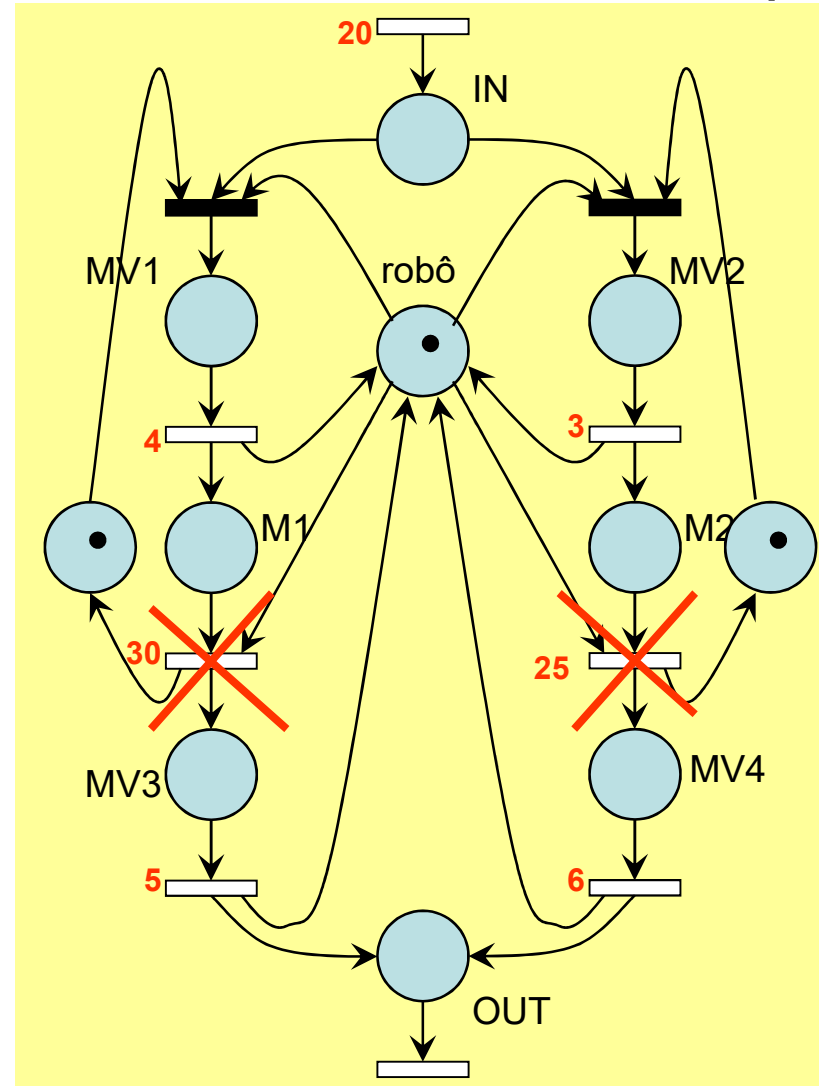
Utilização da Ferramenta HP-SIM (5)

- limitação de capacidade explícita das posições
 - uma das propriedades das posições no HP-SIM diz respeito a limitação de explícita de capacidade (por defeito, no HP-SIM é 1 – atenção); por isso é possível simplificar o modelo anterior (do lado direito das posições é indicada a capacidade); simplifica, mas perde-se a clareza do modelo



Utilização da Ferramenta HP-SIM (6)

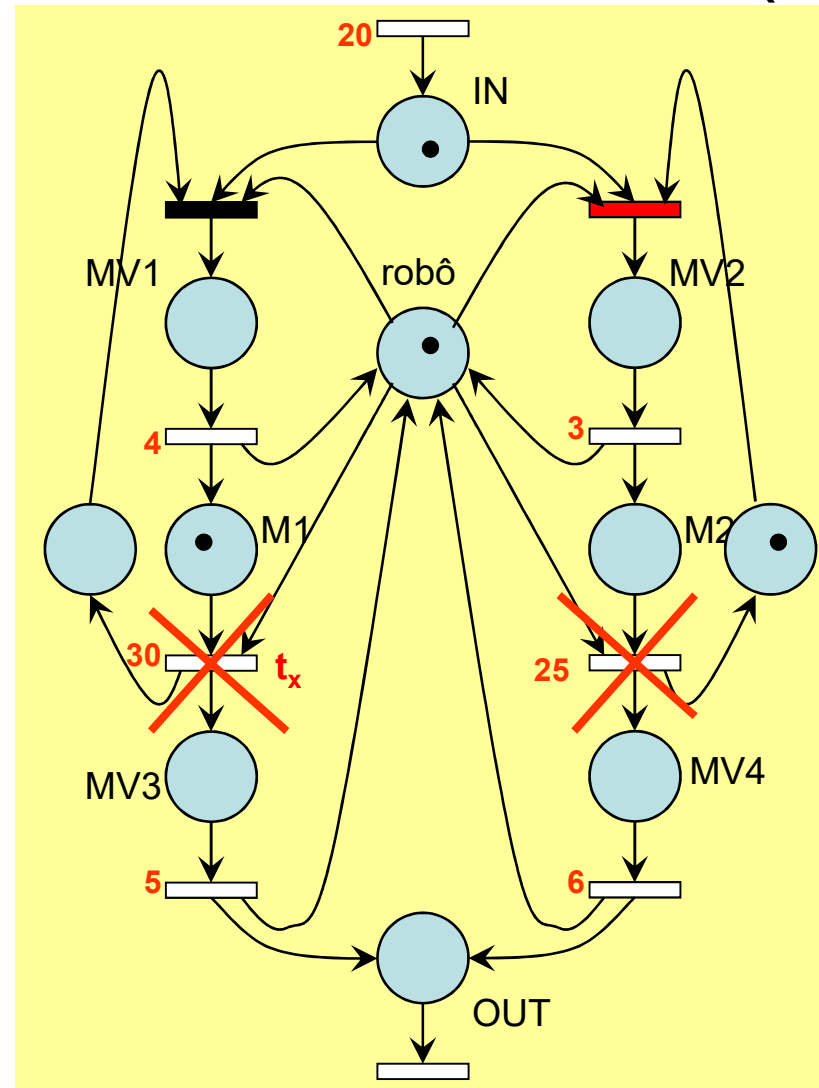
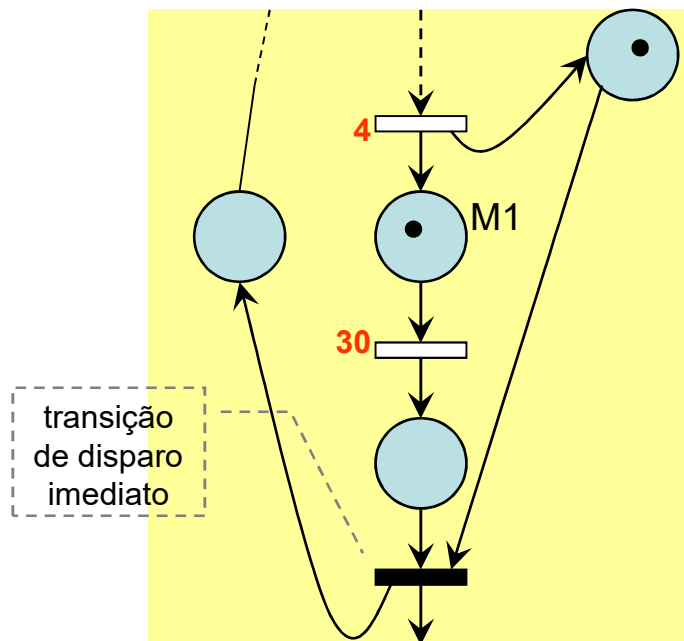
- ainda sobre as transições temporizadas
 - como é utilizada a transição posterior à posição para modelar tempo associado ao processo representado pela posição, é preciso ter atenção se essa transição posterior não vai deixar de estar habilitada durante a contagem do temporizador (que recomeçará a contar outra vez quando a transição voltar a estar habilitada)
 - nesse caso, a modelação de tempo fica completamente falseada!!!



Utilização da Ferramenta HP-SIM (7)

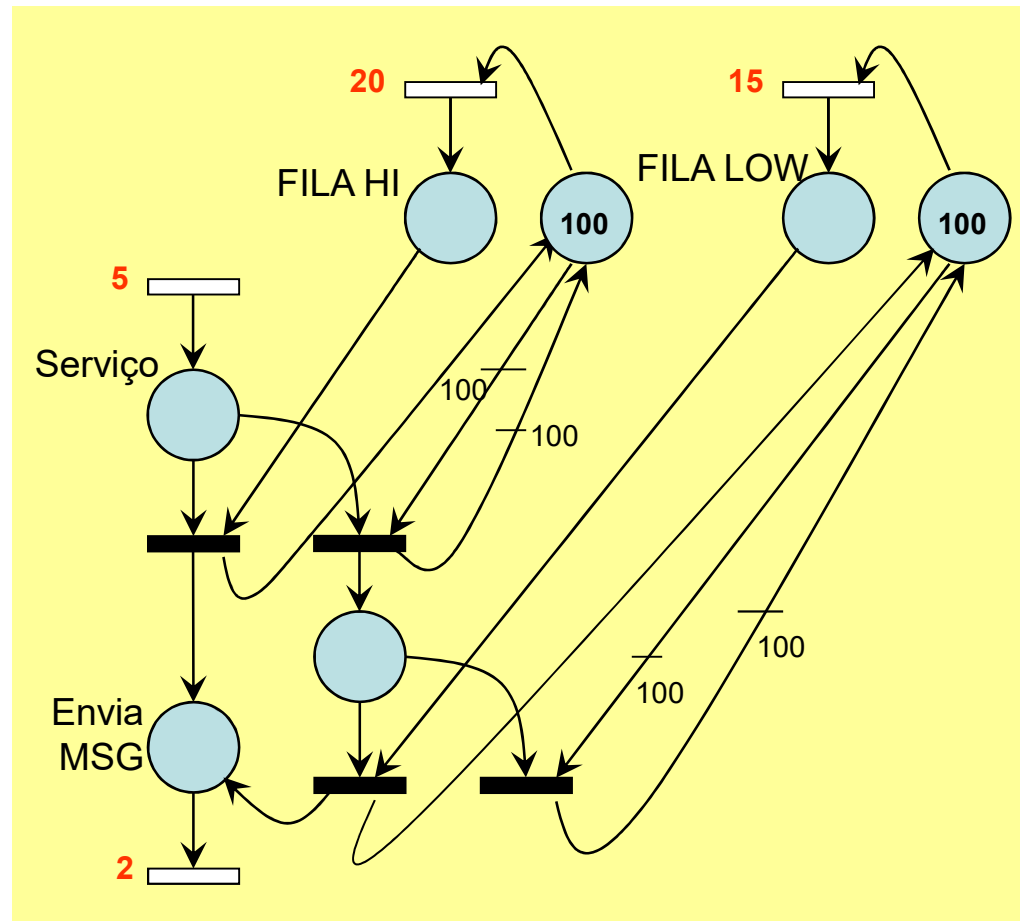
- ainda sobre as transições temporizadas

- **solução:** isolar as posições que se pretendem temporizar:



Utilização da Ferramenta HP-SIM (8)

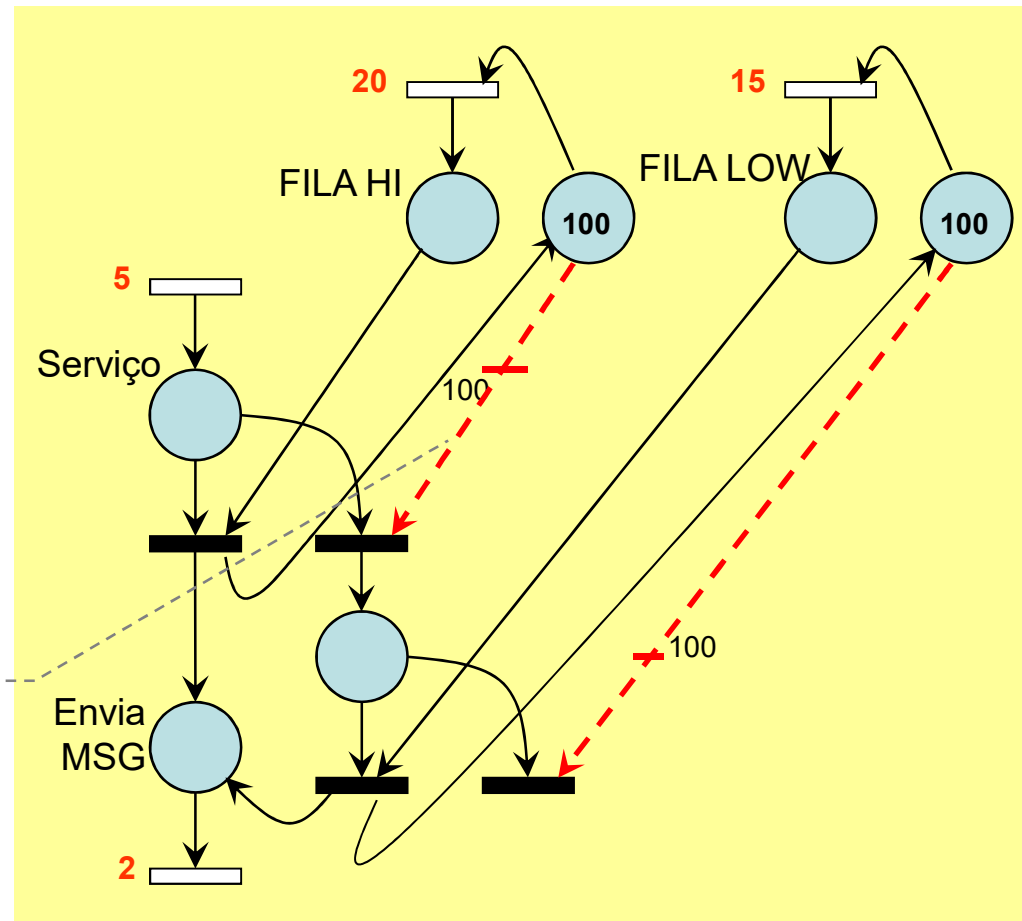
- arcos especiais do HP-SIM
 - a RdP ao lado representa o serviço periódico de mensagens (duas filas de prioridades HI e LOW)



Utilização da Ferramenta HP-SIM (9)

- arcos especiais do HP-SIM
 - no HP-SIM, a leitura **tem** de ser feita com um arco de “teste” (no HP-SIM é um arco tracejado)

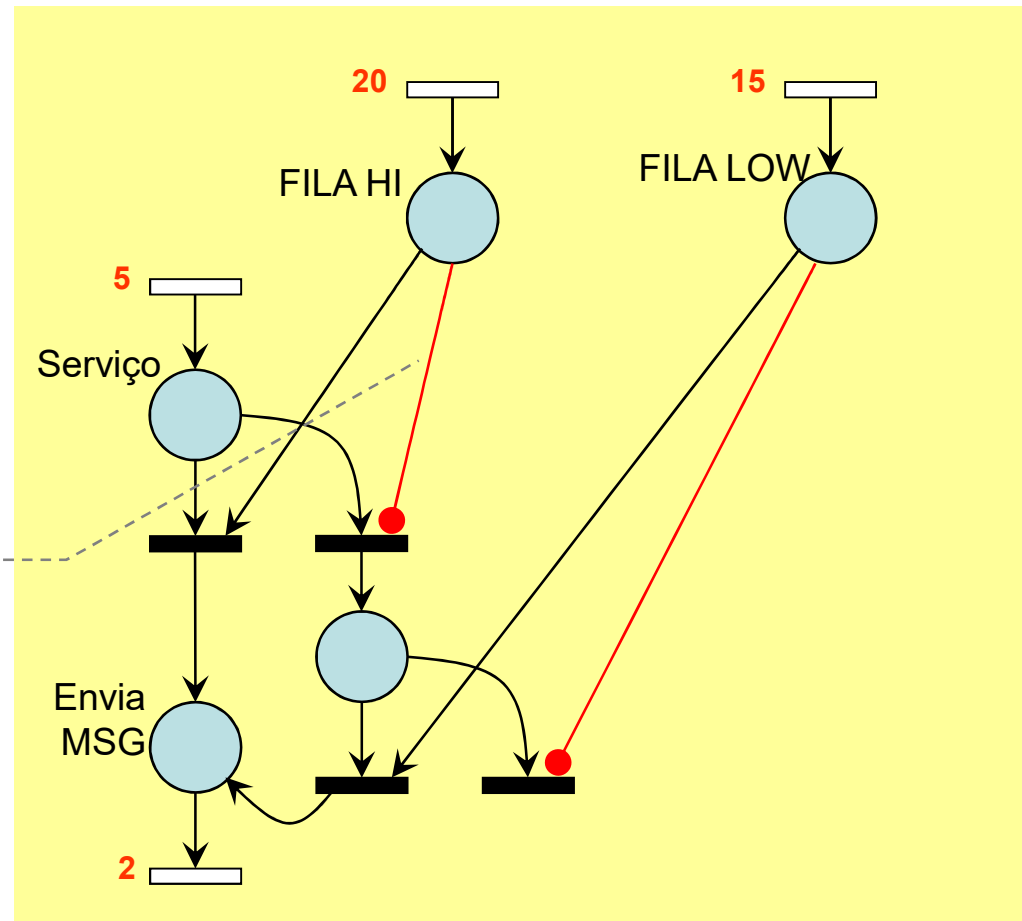
Arco de teste
(leitura)



Utilização da Ferramenta HP-SIM (10)

- arcos especiais do HP-SIM
 - no HP-SIM, existe um terceiro tipo de arco: arco inibidor (a posição anterior tem de ter 0 marcas para que a transição posterior a essa posição possa disparar)

Arco inibidor



Utilização da Ferramenta HP-SIM (11)

- Exemplo

- Considere o modelo RdP de uma rede de comunicações do tipo token-passing. Existem n nós na rede. O *token* é passado entre eles da seguinte forma: nó 1 \rightarrow nó 2 \rightarrow nó 3 \rightarrow ... nó n \rightarrow nó 1 \rightarrow ...
- Em cada nó de rede existe uma fila com capacidade para 50 mensagens pendentes. Quando recebe o *token*, um nó pode enviar até um máximo de 3 mensagens antes de ter de passar o *token* ao nó seguinte no anel lógico. A transmissão de uma mensagem demora 10 unidades de tempo e a do token demora 2 unidades de tempo. A figura seguinte ilustra o modelo RdP (em HP-SIM) pretendido, detalhando um nó de rede (nó 1).
- A marcação ilustrada refere-se ao instante de tempo imediatamente a seguir à chegada do *token* ao nó 1 (disparo da transição t_1). A figura considera ainda que imediatamente antes desse disparo de t_1 , a Fila de mensagens passou a ter uma marca.

Utilização da Ferramenta HP-SIM (12)

