

MODELIZAÇÃO DE SISTEMAS INDUSTRIAIS
Redes de PETRI

1. Introdução

A complexidade dos sistemas informáticos distribuídos torna necessária a adopção de métodos rigorosos de especificação, que tornem possível o teste e validação das especificações ainda durante a fase de especificação.

Pretende-se assegurar, ainda durante a fase de projecto e especificação, elevada probabilidade de o sistema estar isento de erros de concepção. Existem diversas ferramentas que permitem a modelização de sistemas ditos de acontecimentos discretos.

Ao nível da informática industrial essas ferramentas de modelização de sistemas são essencialmente utilizadas na especificação de sistemas automatizados de fabrico e na modelização e validação de protocolos, p. ex., de comunicações.

Exemplo de um sistema de fabrico:

Pretende-se fazer o estudo do comando de um **robot** de transferência encarregado da manipulação de ferramentas numa determinada célula de fabrico (Fig. 1).

Cada uma das máquinas pode pedir ao *robot* a execução de dois tipos de operações. As máquinas podem pedir ao *robot* para ir buscar ao armazém uma determinada ferramenta e colocá-la na máquina que fez o pedido. As máquinas podem pedir ao *robot* para retirar a ferramenta. Neste caso, o *robot* retira a ferramenta da máquina que o pediu e coloca-a na banca de teste onde é possível determinar se ela é ou não reutilizável. Se não é reutilizável, o *robot* deverá colocá-la na mesa de excedentes. Caso contrário deverá levá-la para a unidade de reparação e medida, passando-a posteriormente para o armazém.

RESTRICÇÕES:

- uma máquina não pode pedir simultaneamente as duas operações;
- o *robot* efectua apenas cada uma das operações de cada vez;
- caso o armazém esteja vazio, a colocação é impossível. Um alarme deverá ser accionado. Ele será desactivado por um operador humano;
- a retirada de uma ferramenta é sempre possível. O *robot* terá de estar disponível para tal operação, mesmo em caso de alarme por colocação não satisfeita;
- um pedido de qualquer das duas operações é mantido até ser satisfeito.

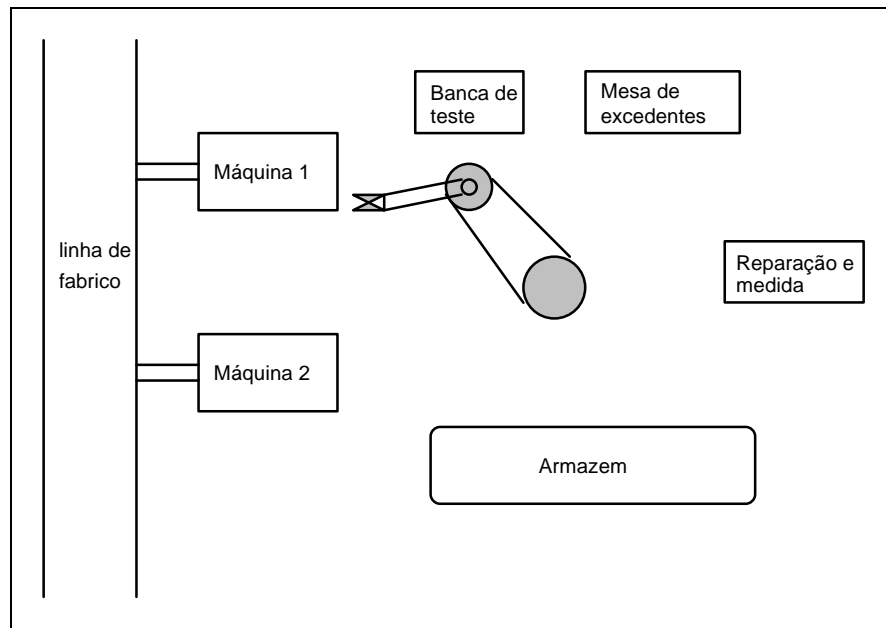


Figura 1

A especificação de um sistema tem de ser suficientemente isenta de âmbiguidades e erros (daí a necessidade de modelização e teste).

Por outro lado, põe-se o problema de como exprimir as especificações. No caso do problema anterior as coisas complicavam-se se se pretende-se utilizar o *robot* em simultâneo para as duas operações: a meio de uma operação de retirar ele poderia atender a um pedido da outra máquina para colocação de ferramenta.

Se as especificações são feitas utilizando a linguagem corrente (como no exemplo acima) existe o risco permanente de incompreensão entre o redactor e o leitor de um caderno de encargos (documentação escrita que inclui, entre muitos outros aspectos, os que relatam o âmbito e as performances do equipamento ou sistema a realizar).

Com efeito, certas expressões são menos claras, precisas ou eventualmente até poderão ter múltiplo significado. Por outro lado, a linguagem corrente revela-se pouco adaptada para descrever sistemas sequenciais de acontecimentos discretos, particularmente aqueles que têm inúmeras sequências alternativas ou desenrolamentos simultâneos.

A figura seguinte relata os perigos expostos atrás:

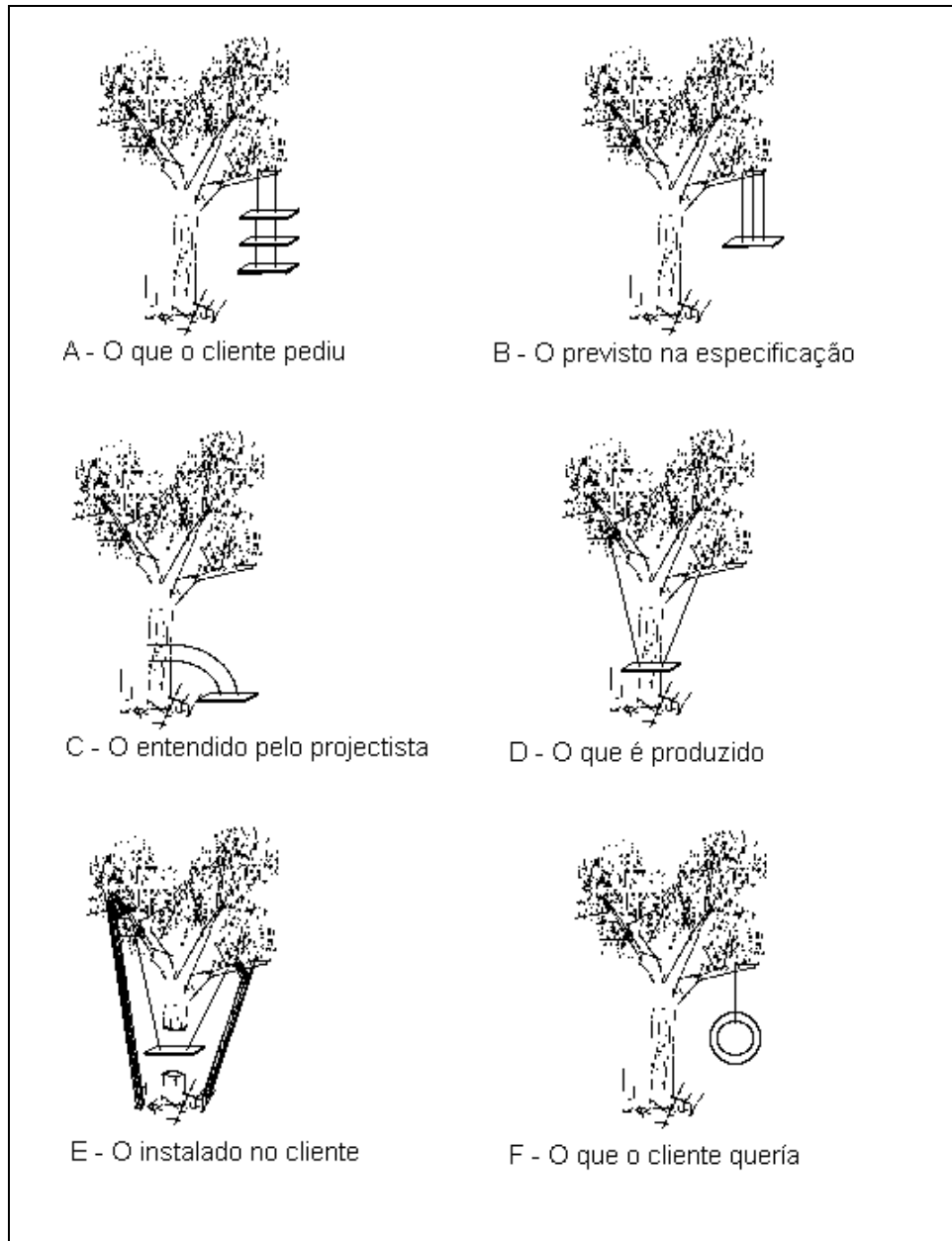


Figura 2

É de todo conveniente complementar um caderno de encargos, ou genericamente, a especificação de um sistema, com ferramentas de descrição tanto quanto possível objectivas. Uma possibilidade reside na utilização de linguagens estruturadas (algumas das quais semelhantes às linguagens de programação mais conhecidas).

As ferramentas que irão ser abordadas (Redes de Petri essencialmente) revelam vantagens ao nível da compreensão, validação e teste de sistemas.

REDES de PETRI

A modelização gráfica base das Redes de Petri foi introduzida por C. A. Petri em 1962. Numerosas extensões foram entretanto desenvolvidas por forma a cobrir diferentes solicitações de modelização.

Os principais utilizadores das Redes de Petri (a partir de agora denotadas por RdP) situam-se essencialmente no domínio da informática, comunicações e automação, tendo por isso impacto crescente no domínio da informática industrial.

São apontadas diversas vantagens dos modelos baseados nas RdP, uma vez que eles permitem a utilização de técnicas de análise a diferentes níveis de abstracção. Dois tipos de análise são possíveis:

- ⇒ validações gerais, relacionadas com as regras que regem as RdP e por isso aplicável qualquer que seja a RdP definida;
- ⇒ validações específicas, e que permitem testar o funcionamento do sistema.

Várias ferramentas computacionais têm sido apresentadas para o tratamento das RdP. Alguns exemplos importantes:

- **NPN - Simulator** → desenvolvido pela *Australian Telecommunications*
- **Ovide/Ogive** → desenvolvido pelo LAAS - *Laboratoire d'Automatique et d'Analyse des Systèmes du CNRS* - Toulouse

Genericamente, estas ferramentas dispõem de:

- ⇒ Entrada tipo Texto ou Gráfica, com possibilidade de interconecção de diferentes módulos (permite lidar de uma forma mais eficiente com sistemas mais complexos);
- ⇒ Verificar as propriedades gerais da RdP, pela construção automática do gráfico das marcações acessíveis (ver-se-á o que é isto mais adiante);
- ⇒ Fazer a validação específica relativa à funcionalidade do sistema.

Etapas na Concepção de um Sistema.

- 1 ⇒ Especificação
- 2 ⇒ Implementação (realização física)
- 3 ⇒ Teste

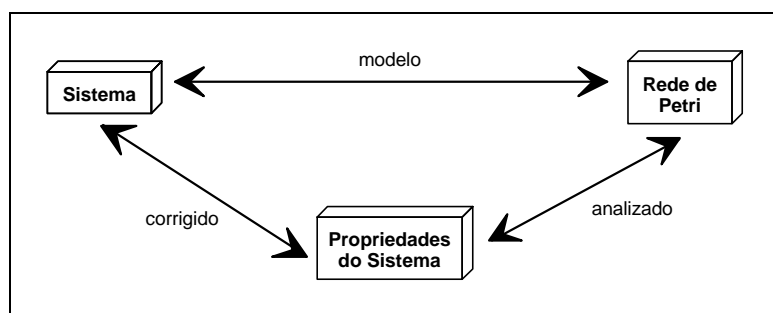





Figura 3

Noções Básicas sobre Redes de Petri

Os elementos que permitem a definição de uma RdP são os seguintes:

- ⇒ **Posição**, representada pelo símbolo 
- ⇒ **Transição**, representada pelo símbolo 
- ⇒ **Marca** ou **Testemunho**, representada pelo símbolo 

Uma **posição** pode ser interpretada como uma condição, um estado provisório, uma espera ou uma posição geográfica.

Uma **transição**, corresponde a uma ocorrência ou acontecimento.

O **testemunho** pode representar uma condição satisfeita, ou que um objecto está presente numa determinada posição geográfica.

As posições e transições são interligadas por arcos. O número de posições é finito e não nulo. Os arcos são orientados. Os arcos ligam uma posição a uma transição ou uma transição a uma posição.

A RdP tem dois tipos de nós: posições e transições. Os arcos têm obrigatoriamente de ter um nó em cada uma das suas extremidades.

Exemplo de uma RdP:

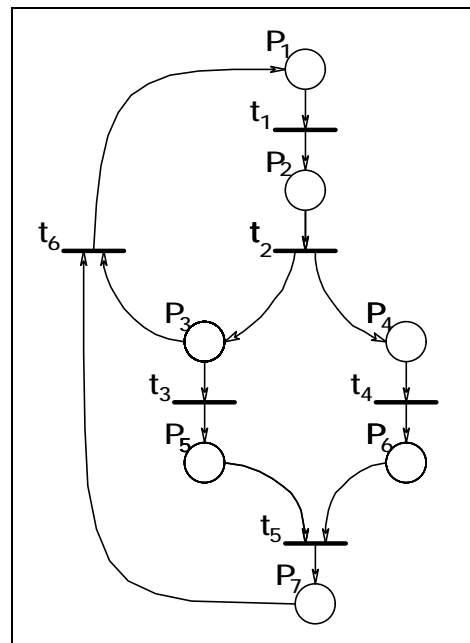


Figura 4

Esta figura representa uma Rede de Petri composta por 7 posições, 6 transições e 15 arcos orientados.

$$P = \{P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7\}$$

$$T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\}$$

A posição P_3 é uma entrada da transição t_3 .

A posição P_5 é uma saída da transição t_3 .

A figura anterior representa uma RdP não marcada. A figura seguinte, representa uma RdP marcada. Numa **RdP marcada**, cada posição contém um número inteiro (positivo ou nulo) de marcas ou testemunhos.

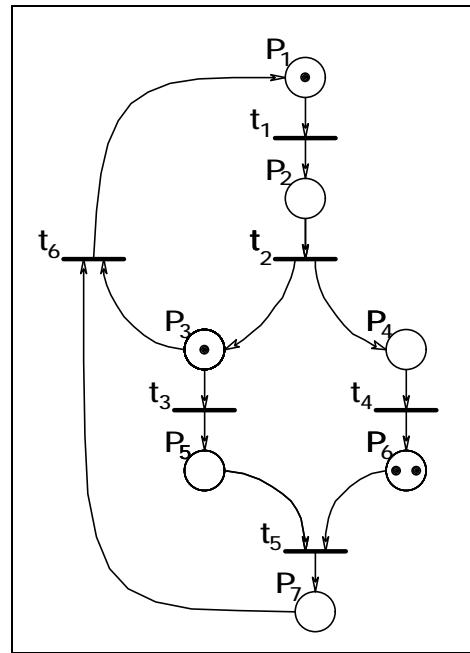


Figura 5

No exemplo considerado, $m_1 = m_3 = 1$
 $m_6 = 2$
 $m_2 = m_4 = m_5 = m_7 = 0$

O número de testemunhos ou marcas numa posição P_i e denotado por $M(P_i)$ é m_i .

A marcação desta RdP é definida pelo vector:

$$M = (m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7) = (1, 0, 1, 0, 0, 2, 0)$$

A marcação de uma RdP define, para um determinado instante, o estado de um sistema definido pela RdP.

A evolução de estado corresponde a uma evolução da marcação, evolução essa que se produz por **disparo de transições**.

Condições de disparo de uma transição

Uma transição está disponibilizada por uma determinada marcação, se cada uma das suas posições precedentes dispõe de, pelo menos, um testemunho. No caso da figura 5, as transições disponibilizadas são: t_3 e t_1 . O disparo de uma transição compreende duas operações simultâneas:

- ⇒ a cada posição precedente é retirado um testemunho;
- ⇒ a cada posição seguinte à transição é acrescentado um testemunho.

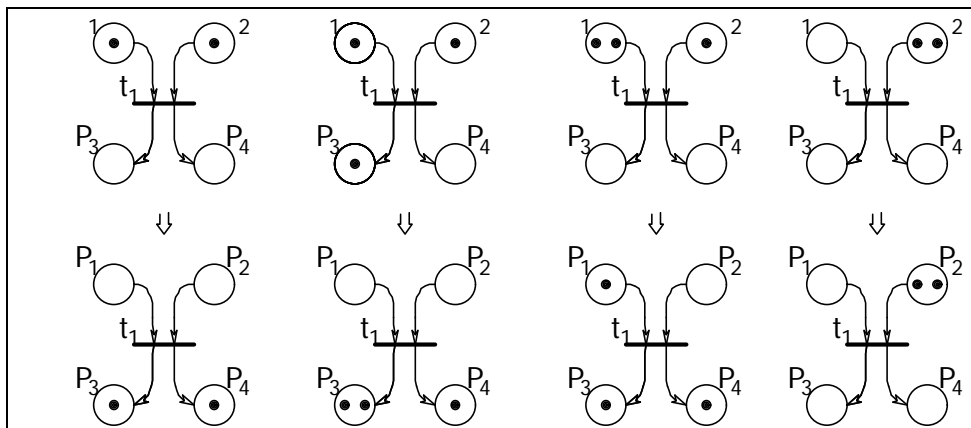


Figura 6

Uma sequência de disparos de transições, a partir de uma dada marcação, é uma sequência de transições tais que a primeira é sensibilizada pela marcação inicial, a segunda é sensibilizada pela marcação obtida após o disparo da 1ª, etc ... até à última.

O conjunto das marcações acessíveis, a partir de uma marcação inicial, M_0 , é o conjunto de todas as marcações que se podem obter a partir de M_0 , passando por todas as sequências de disparo possíveis.

O gráfico das marcações acessíveis é um gráfico que contém as marcações acessíveis. Um arco liga um elemento a outro se existir uma transição sensibilizada pela 1ª marcação e, então, o disparo produz a segunda.

Exemplo:

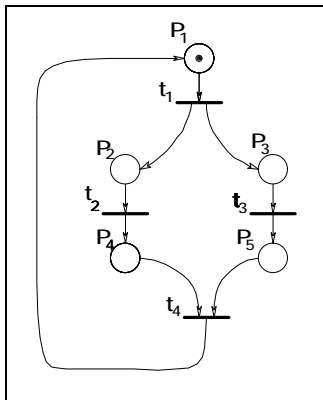


Figura 7

O conjunto de marcações acessíveis é:

$$M_0 = (1,0,0,0,0)$$

$$M_1 = (0,1,1,0,0)$$

$$M_2 = (0,0,1,1,0)$$

$$M_3 = (0,1,0,0,1)$$

$$M_4 = (0,0,0,1,1)$$

O gráfico das marcações acessíveis é:

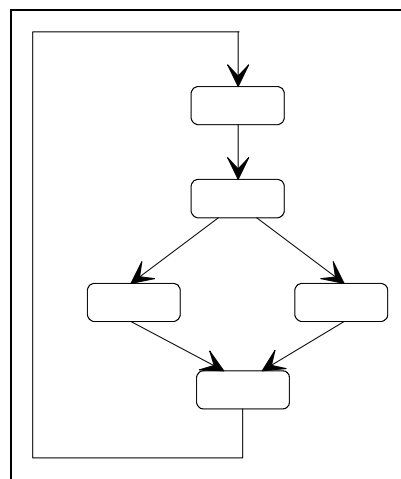


Figura 8

A partir do gráfico das marcações acessíveis é possível fazer a análise das propriedades gerais da RdP. A ver posteriormente.

Utilização da RdP para modelizar o conhecido paradigma da refeição dos filósofos.

Quatro filósofos comem e meditam. Os filósofos estão sentados em torno de uma mesa redonda onde se encontra uma grande quantidade de comida chinesa. Entre cada filósofo encontra-se um pausinho. Para comer comida chinesa são precisos dois. O problema é que se cada filósofo pegar no pausinho à sua esquerda e esperar pelo da sua direita, todos morrem esfoameados. Como modelizar o problema utilizando uma RdP?

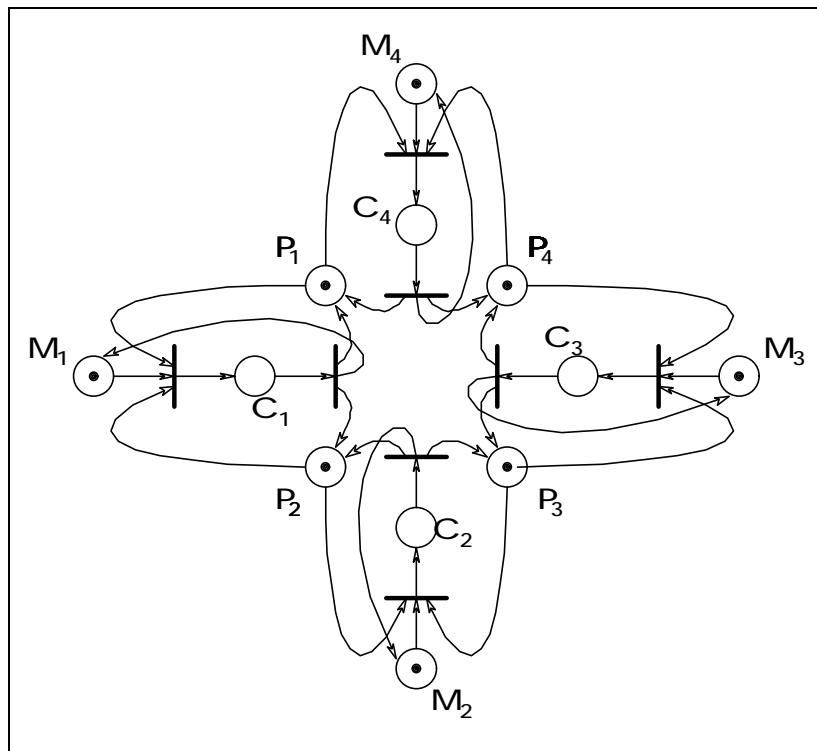


Figura 9

- $M_i \Rightarrow$ Filósofo i em meditação
 $P_i \Rightarrow$ Pausinho i disponível
 $C_i \Rightarrow$ Filósofo i a comer

A propósito da figura anterior convém denotar o seguinte:

No estado de marcação que ela apresenta, várias transições estão disponibilizadas. Só é possível uma transição de cada vez. Não se tratando (neste caso) de RdP temporizadas, é prático considerar que a duração da transição é nula.

Redes de Petri Generalizadas

Uma das extensões às noções básicas (vistas anteriormente e correspondentes àquilo a que se designa por RdPs ordinárias) mais utilizadas diz respeito à consideração de **RdP Generalizadas**. A diferença reside no facto de a cada arco ser associado um determinado peso.

A conseqüente redefinição das condições de disparo é a seguinte:

Uma transição está disponibilizada por uma determinada marcação, se cada uma das suas posições precedentes dispõe de um número de **testemunhos pelo menos igual ao peso do arco** que liga cada posição à transição. O disparo de uma transição compreende duas operações simultâneas:

- ⇒ a cada posição precedente é retirado um número de testemunhos igual ao peso do arco que liga cada posição à transição;
- ⇒ a cada posição seguinte à transição é acrescentado um número de testemunhos igual ao peso do arco que liga a transição a cada uma das posições.

Como modelizar o seguinte problema?

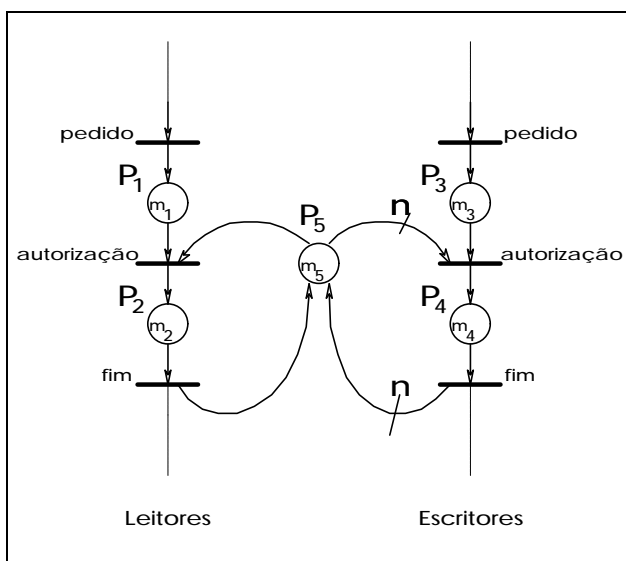


Figura 10

Um conjunto de ***n*** tarefas podem ler um ficheiro. Um conjunto de ***m*** tarefas podem escrever num ficheiro. É interdito o acesso simultâneo a vários escritores. É autorizado o acesso simultâneo de vários leitores. Isto quer dizer que o recurso é partilhado pelos leitores mas não o é pelos escritores.

Legenda:

- A marcação é definida pelo vector $M = (m_1, m_2, m_3, m_4, m_5)$;
- $m_2 \rightarrow n^\circ$ de leitores a aceder ao ficheiro
- $m_5 \rightarrow$ inicialmente vale ***n***. Só quando $m_5 = n$ (o que quer dizer que $m_2 = 0$) é que um escritor pode aceder ao ficheiro.

Ainda a propósito de RdP generalizadas:

Reparar bem na marcação antes, c), e depois, d), da transição t_1 ser disparada.

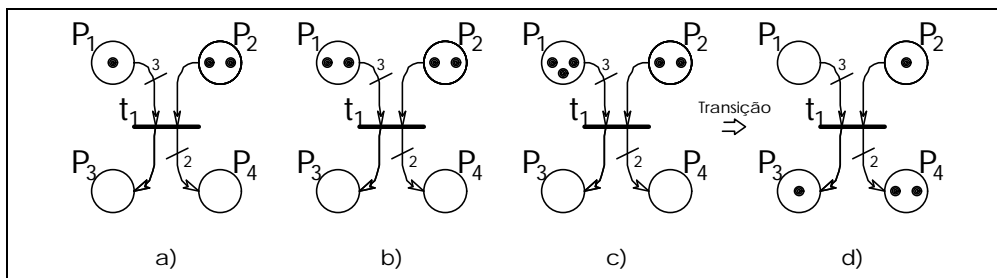


Figura 11

Propriedade das RdPs Generalizadas:

Toda a RdP Generalizada pode ser transformada numa RdP ordinária.

Exemplo:

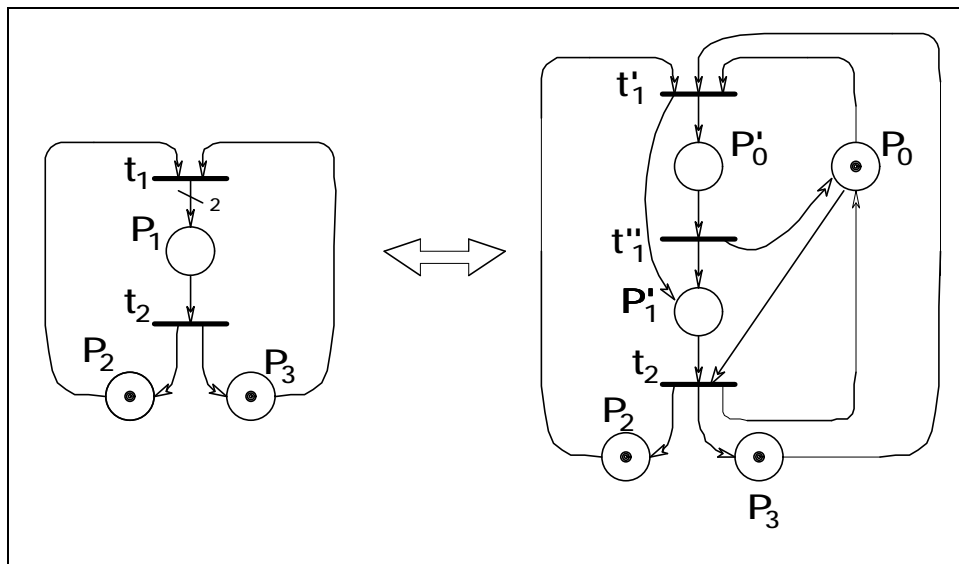


Figura 12