PMR 5237
Modelagem e Design de Sistemas Discretos em Redes de Petri

Aula 6: Redes de Alto Nível e Redes Coloridas

Prof. José Reinaldo Silva
reinaldo@usp.br

Applications

Industry Applications

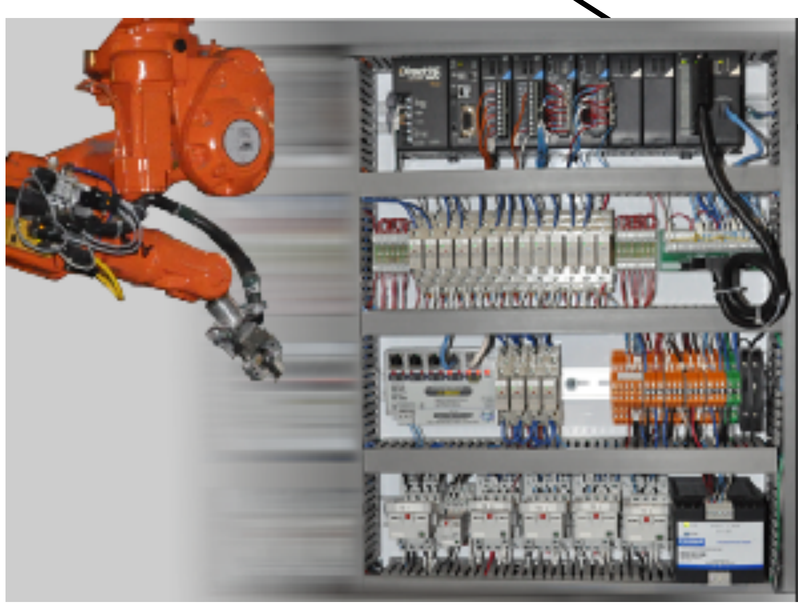
manufacturing

PLC's

process industry

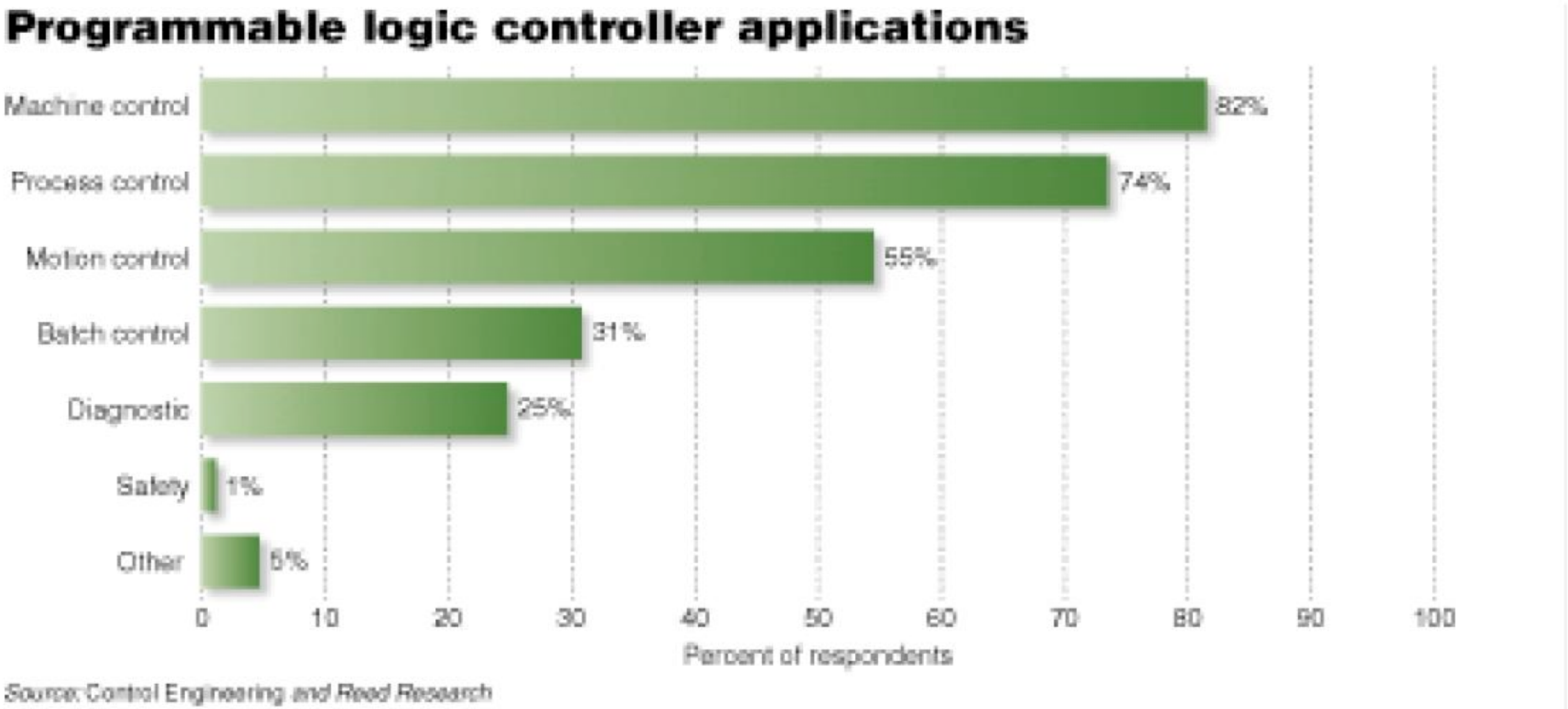
SDCD's

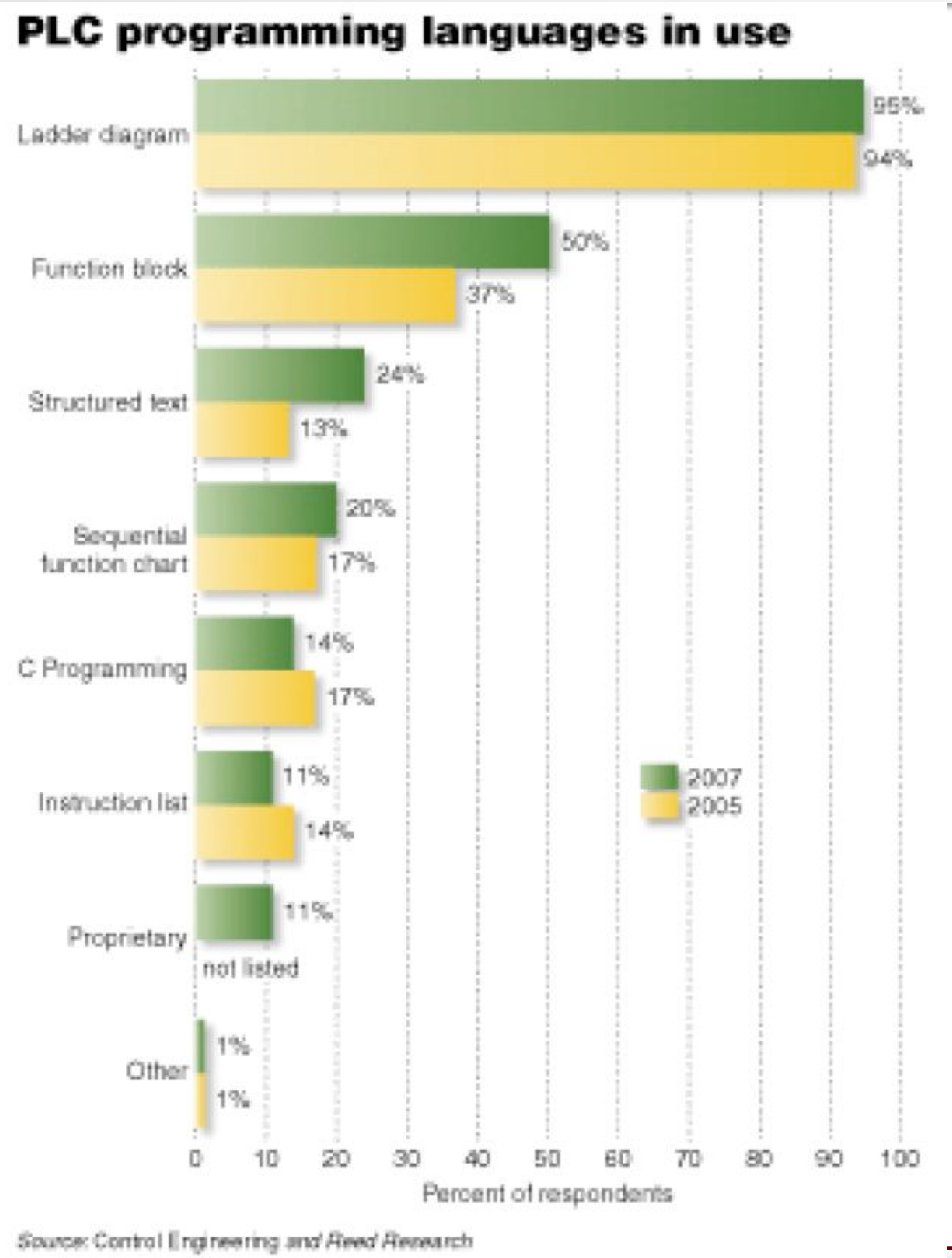
(Abstract) Models



Aplicações das RdP em processos industriais

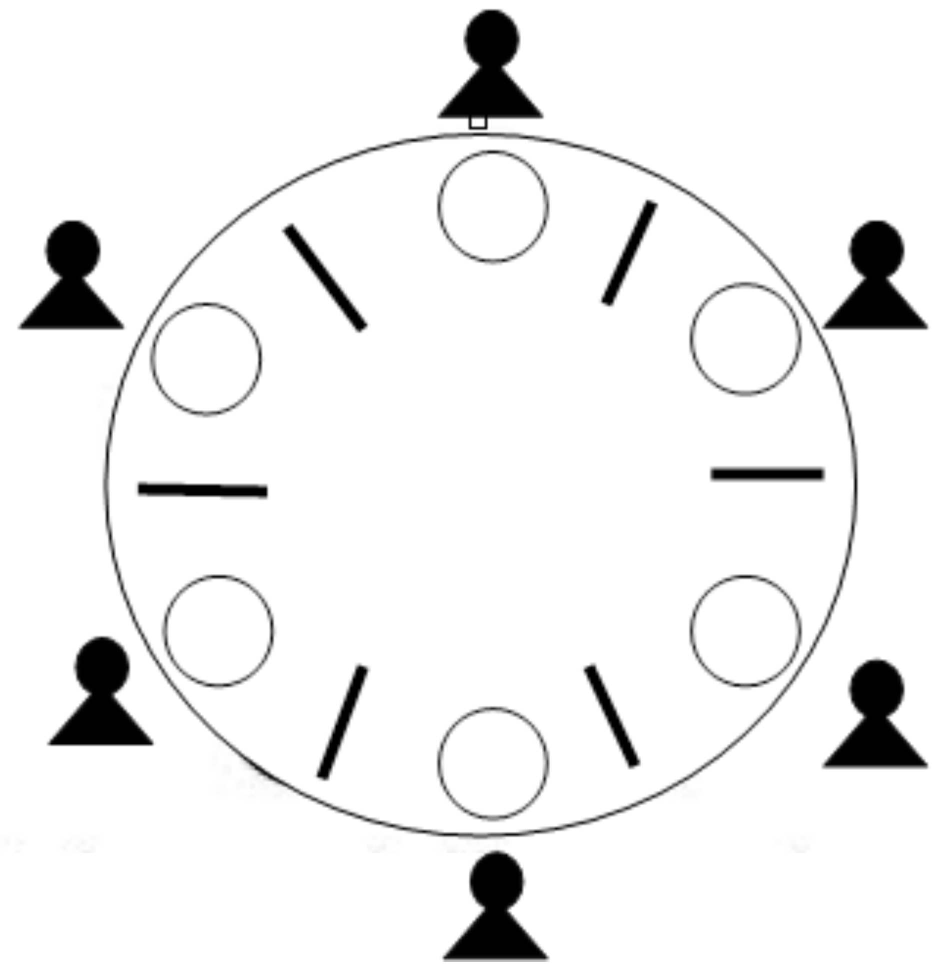
Dick Johnson, Control Engineering -- Control Engineering, 12/1/2007




PLC programming languages in use
Ladder diagram
95%
94%
Function block
50%
37%
Structured text
24%
13%
Sequential function chart
20%
17%
C Programming
14%
17%
Instruction list
11%
14%
Proprietary
11%
not listed
Other
1%
1%
2007
2005
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Percent of respondents
Source: Control Engineering and Reed Research

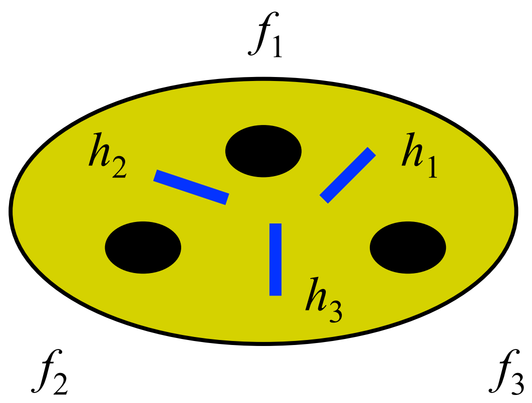
The dinning philosophers problem

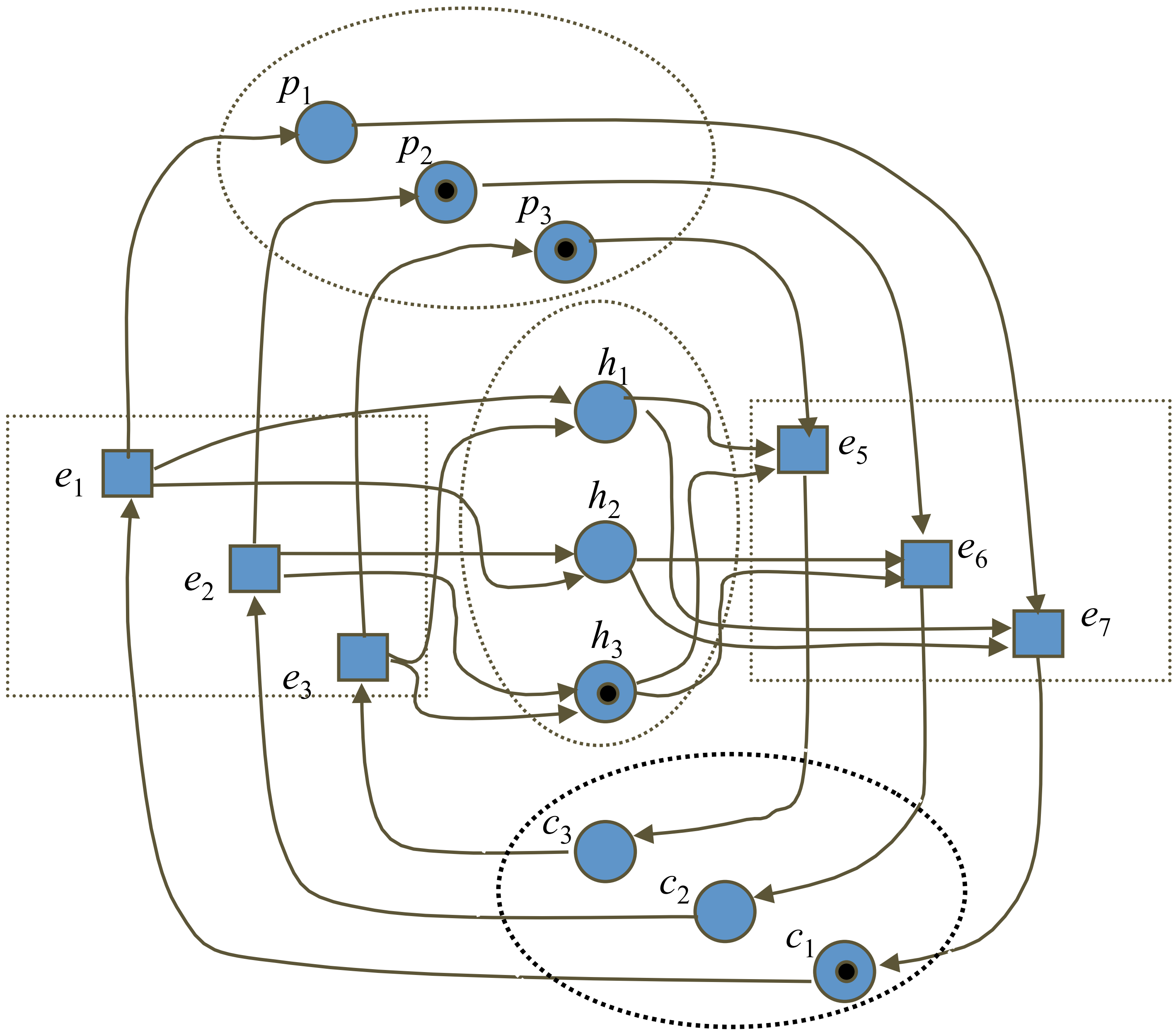
Cinco filósofos sentam em uma mesa e podem alternadamente pensar ou comer. No entanto, para esta última tarefa devem usar os utensílios ao lado do prato (hashis) o que impede os seus vizinhos de fazer a mesma coisa. O problema original prevê cinco filósofos sendo que somente dois deles conseguem passar do estado pensao para comendo simultaneamente.



Dobramento em RdP

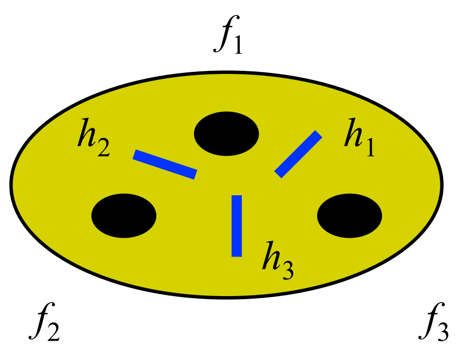
O exemplo dos filósofos

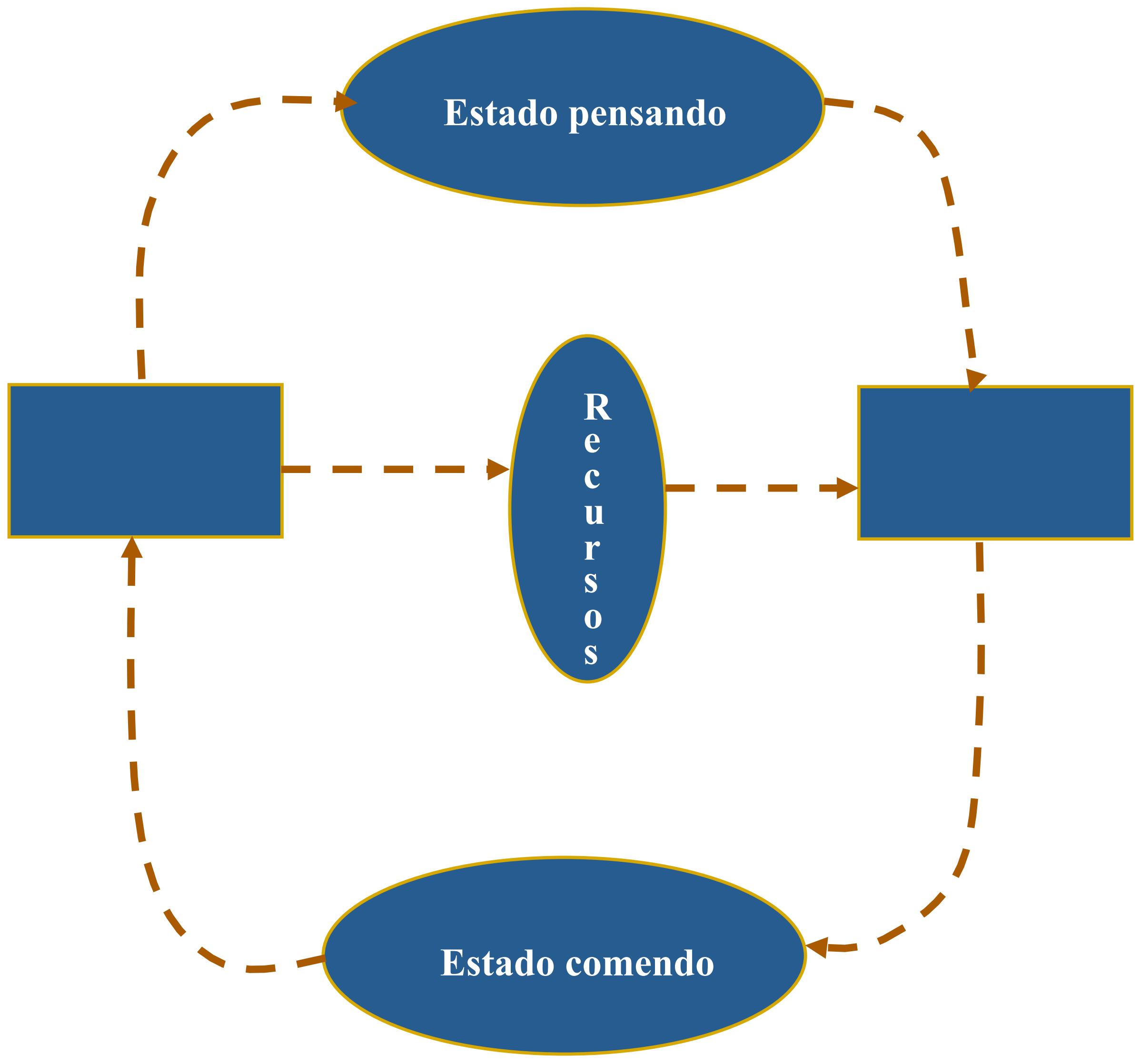




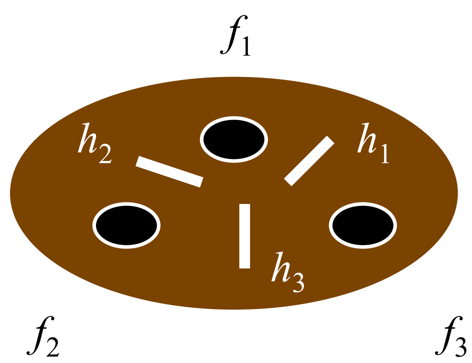
O dobramento

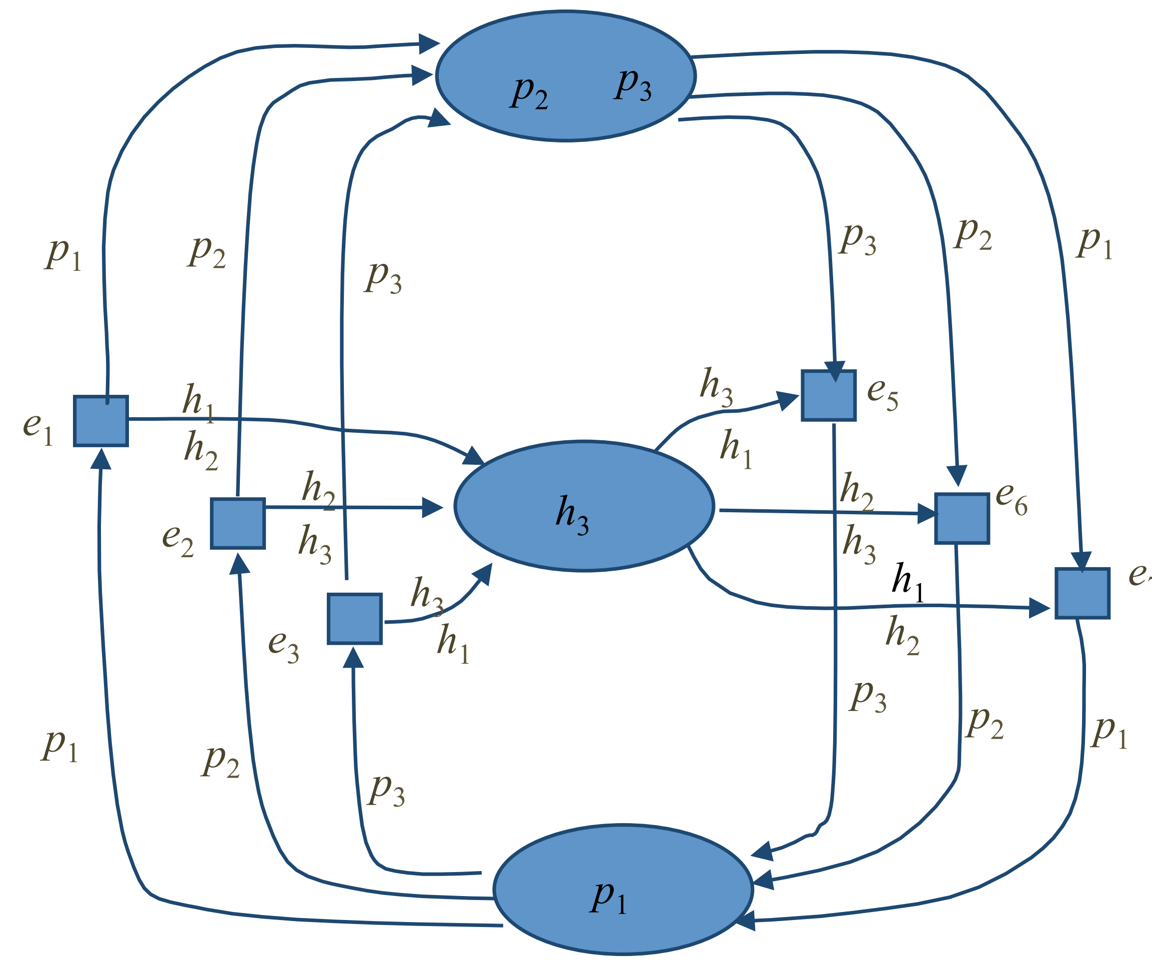
O exemplo dos filósofos





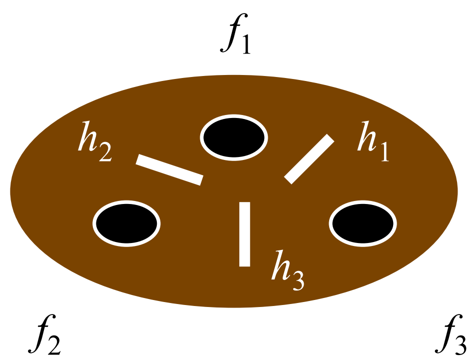
O exemplo dos filósofos





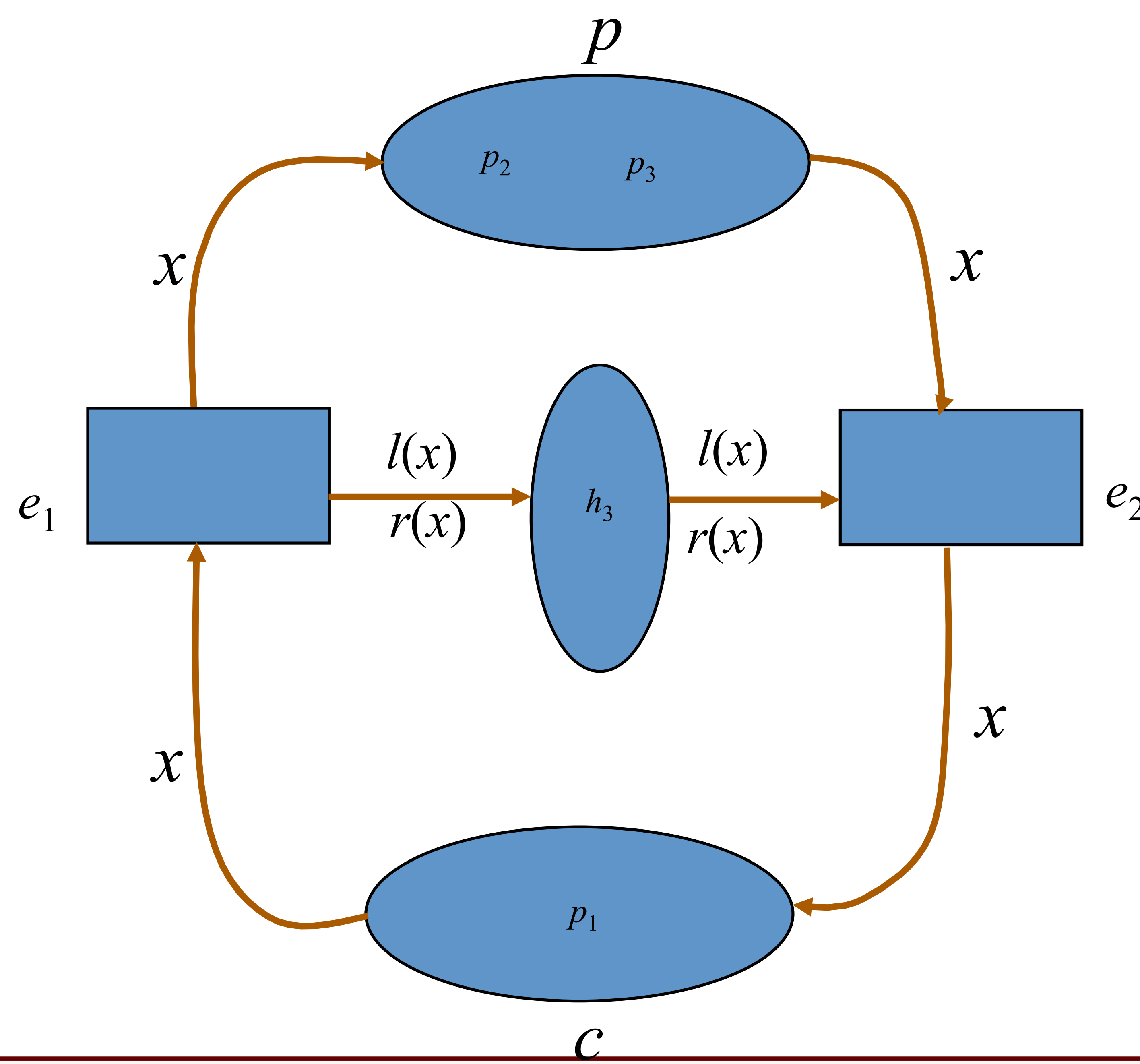
O colapso dos lugares leva à necessidade de se distinguir as marcas, tanto as que representam os filósofos quanto as que representam os recursos, isto é, os hashis.

O dobramento completo



$P=\{p_1, p_2, p_3\}$
$H=\{h_1, h_2, h_3\}$
$U=P \cup H$

$l : P \rightarrow H$
$p_i \rightarrow h_i$
$r : P \rightarrow H$
$p_1 \rightarrow h_2$
$p_2 \rightarrow h_3$
$p_3 \rightarrow h_1$



O problema da distinguibilidade

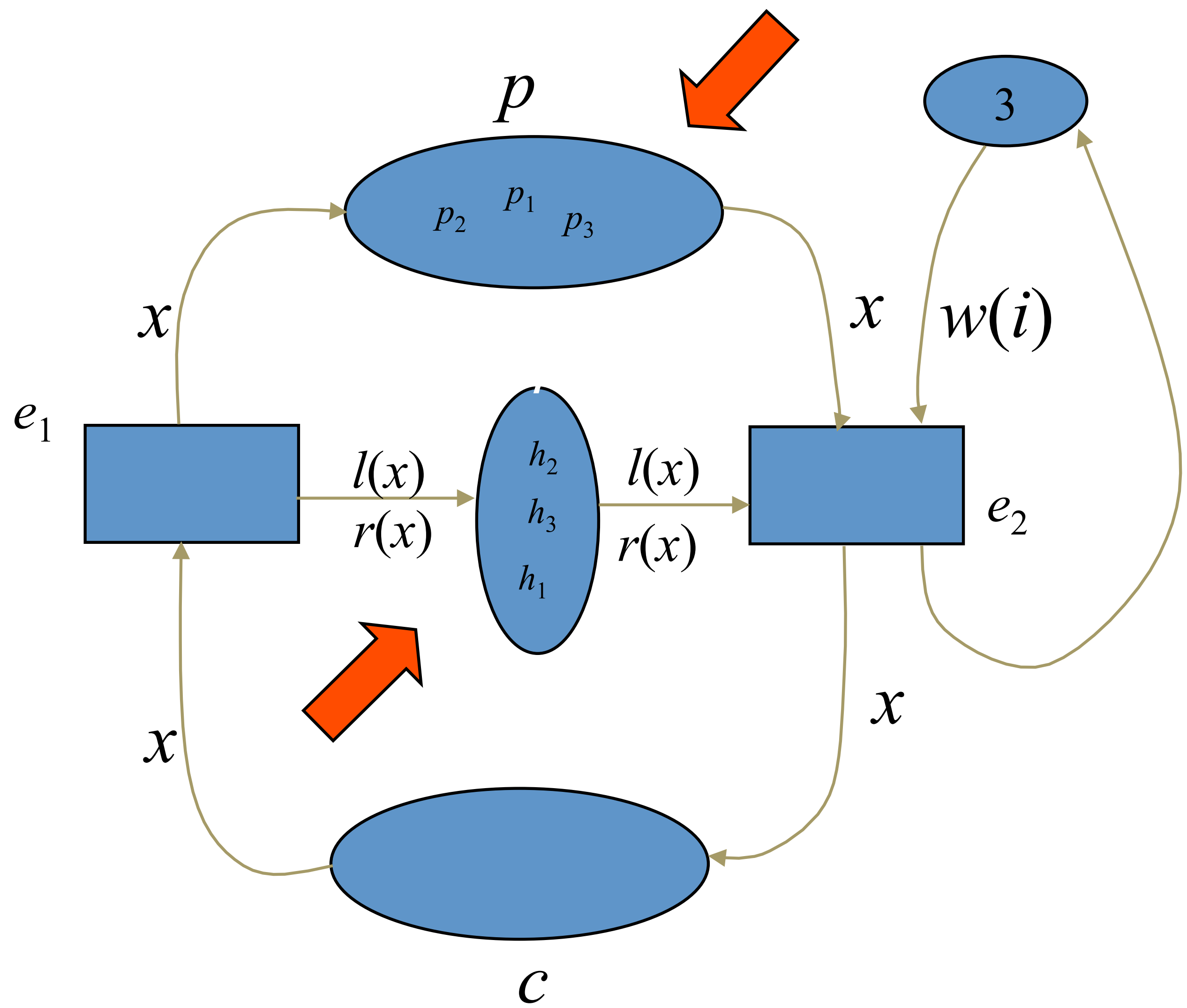
Como vimos anteriormente com o problema dos filósofos, a introdução da distinguibilidade das marcas (dobramento) não afeta as propriedades principais das redes.

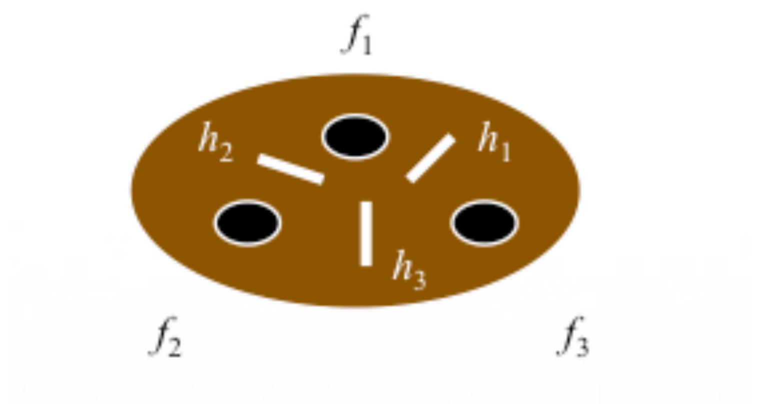
... isto é,

- preserva a dualidade
- preserva o conceito de localidade
- preserva o principio da concorrência
- preserva o principio da representação gráfica
- preserva o princípio da representação algébrica

Não saímos do domínio das redes de Petri

Representação da marcação e multisets





A distinguibilidade das marcas nos leva à introdução de estruturas especiais no lugar das marcas, chamadas multisets.

Multisets

Seja o conjunto (base set) {a,b,c,d,e,f,g,h}.

Em teoria de conjuntos, $\{a, c, f\} \cup \{c, f, g\} = \{a, c, f, g\}$.

Já em multisets (bags),

$$\{a, c, f\} \cup \{c, f, g\} = \{a, c, c, f, f, g\}$$

também descrito como 1\`a + 2\`c + 2\`f + 1\`g

De fato, o mesmo conjunto pode ser escrito como,

1\`a + 0\`b + 2\`c + 0\`d + 2\`f + 1\`g + 0\`h

onde os coeficientes indicam o grau de multiplicidade de cada elemento do conjunto de base.

A forma simplificada para especificar este conjunto consiste em suprimir os elementos de coeficiente nulo.

Operações básicas

União : Sejam dois multisets representados pelos respectivos vetores de coeficientes sobre um conjunto de base (base set),

m= $(m_1, m_2, \ldots, m_i, \ldots, m_s)$,
n= $(n_1, n_2, \ldots, n_j, \ldots, n_s)$

A união entre estes multisets é dada por,

$m \cup n = (m_1 + n_1, \ldots\ m_i, n_j, \ldots, m_s + n_s)$

Multiplicação por um escalar : Dado um multiset sobre um conjunto de base S, representado pelo seu vetor de coeficientes,

m= (m_1, ..., m_i, ..., m_s).

Está definida a multiplicação de m por um escalar *p*, resultando no seguinte multiset,

$$p * \mathrm{m} = (p\, m_1, \ldots, p\, m_i, \ldots, p\, m_s)$$

Relação de Ordem parcial : Dados dois multisets, representados pelos respectivos vetores de coeficientes sobre um conjunto de base (base set) S,

m= $(m_1, m_2, \ldots, m_i, \ldots, m_s)$,
n= $(n_1, n_2, \ldots, n_j, \ldots, n_s)$

Está definida a comparação entre estes dois multisets

m ≥ n se e somente se $m_i \geq n_i$ para todo i

Cardinalidade de um multiset : Um multiset

$$m = (m_1, m_2, \ldots, m_i, \ldots, m_s),$$

tem cardinalidade $|m| = \Sigma\, m_i$

Subtração : Sejam dois multisets representados pelos respectivos vetores de coeficientes sobre um conjunto de base (base set),

m= $(m_1, m_2, \ldots, m_i, \ldots, m_s)$,
n= $(n_1, n_2, \ldots, n_i, \ldots, n_s)$

A subtração entre estes dois multisets, m - n, existe se m ≥ n e é dada por,

m - n = $(m_1 - n_1, \ldots, m_i - n_i, \ldots. m_s - n_s)$

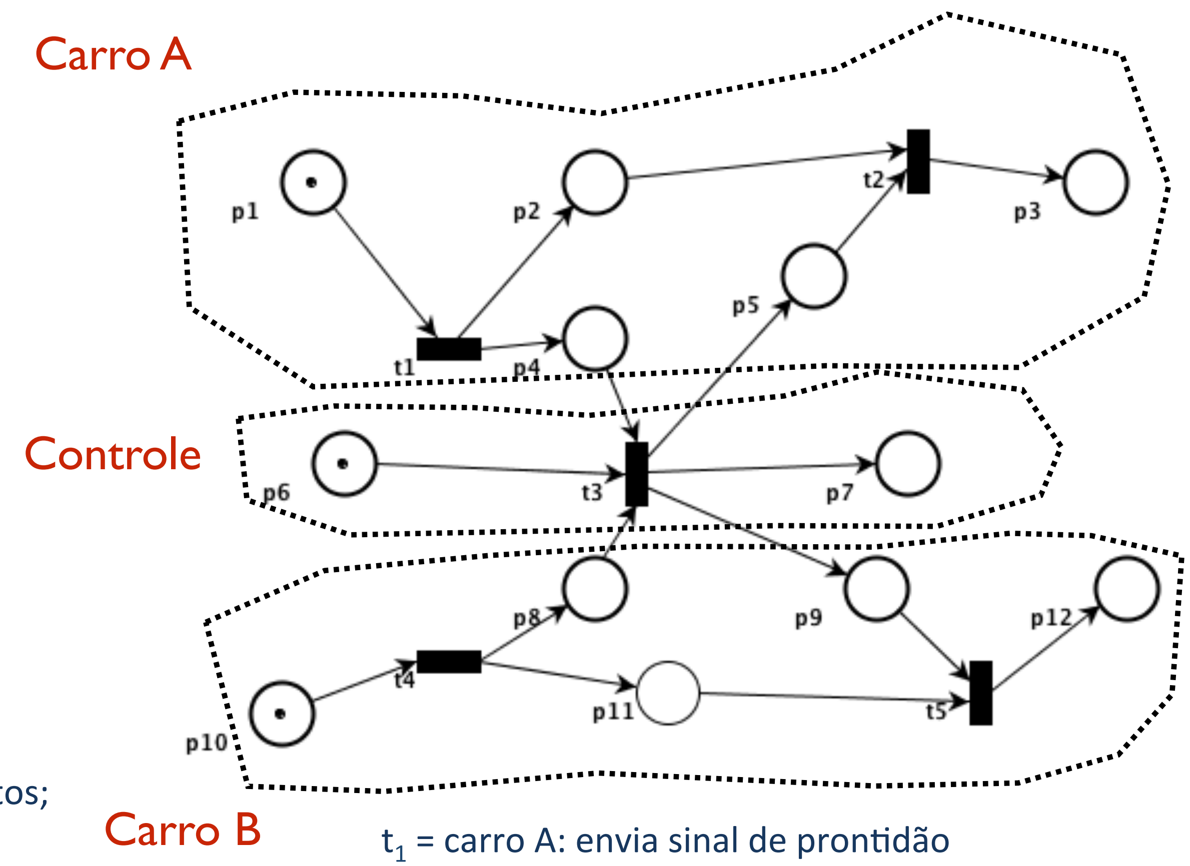
Se a forma de reconhecer simetria for sempre "visual", como alegam alguns autores, valeria a pena optar por uma representação em redes de alto nível?

Tipos de problemas

Redes clássicas

Redes de alto nível

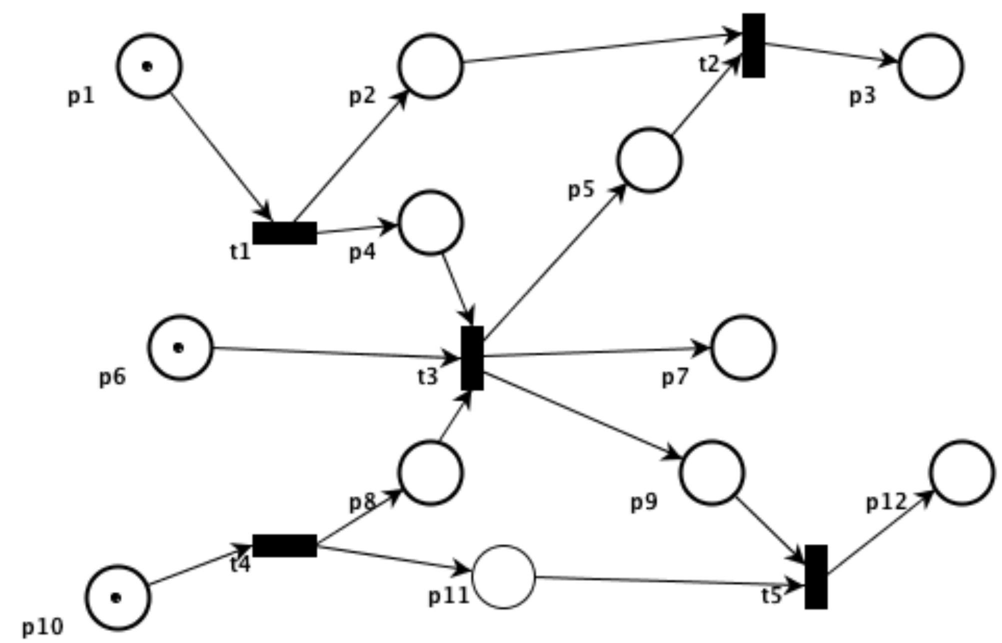
Voltando ao exemplo



p_1= carro A: preparando-se para começar;
p_2= carro A: esperando o sinal de largada;
p_3= carro A: correndo;
p_4= sinal de prontidão do carro A enviado;
p_5= sinal de largada para o carro A enviado;
p_6= operador: esperando sinal de prontidão dos pilotos;
p_7= operador: sinal de largada enviado;
p_8= sinal de prontidão do carro B enviado;
p_9= sinal de largada para o carro B enviado;
p_{10}= carro B: preparando-se para começar;
p_{11}= carro B: esperando o sinal de largada;
p_{12}= carro B: correndo;

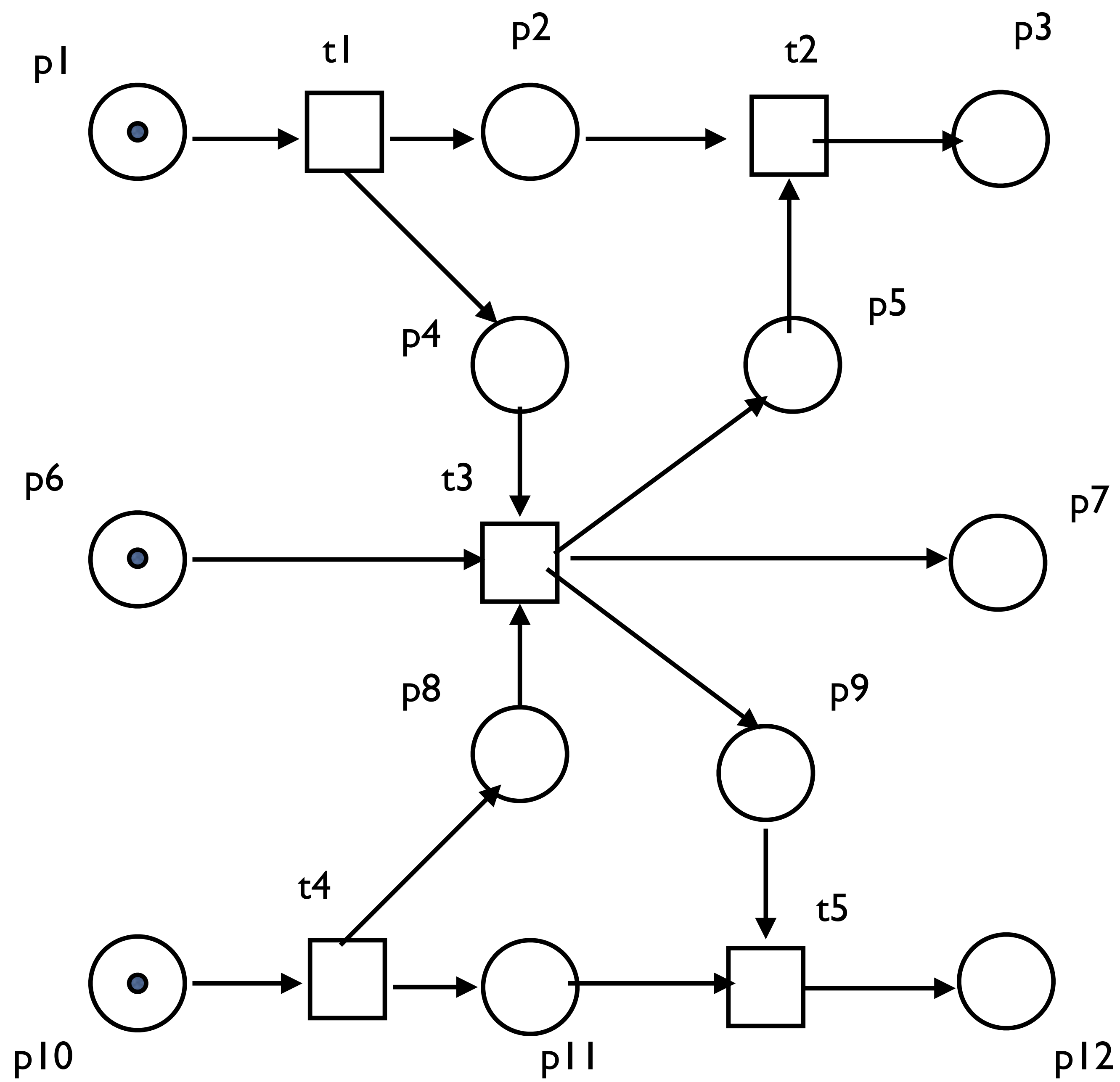
t_1 = carro A: envia sinal de prontidão
t_2 = carro A: acelera
t_3 = operador: manda sinal de largada
t_4 = carro B: envia sinal de prontidão
t_5 = carro B: acelera

Voltando ao exemplo

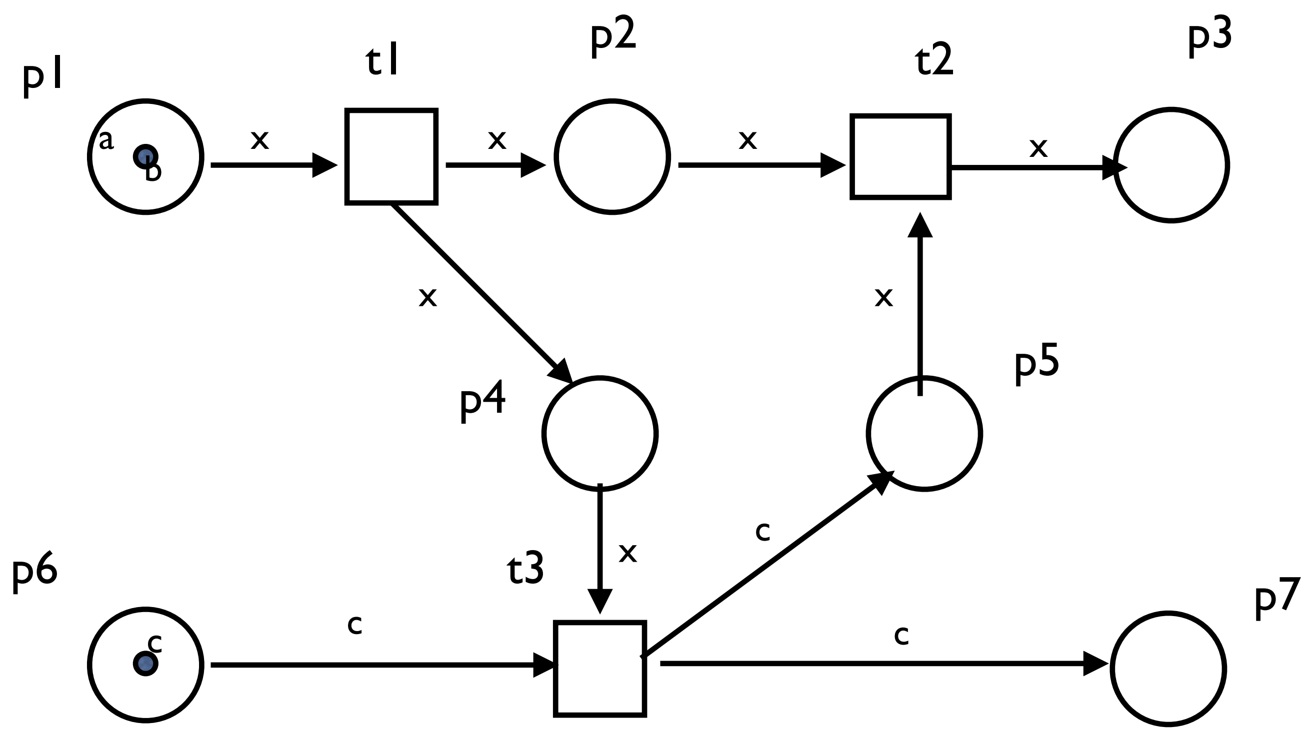


p_1= carro A: preparando-se para começar;
p_2= carro A: esperando o sinal de largada;
p_3= carro A: correndo;
p_4= sinal de prontidão do carro A enviado;
p_5= sinal de largada para o carro A enviado;
p_6= operador: esperando sinal de prontidão dos pilotos;
p_7= operador: sinal de largada enviado;
p_8= sinal de prontidão do carro B enviado;
p_9= sinal de largada para o carro B enviado;
p_{10}= carro B: preparando-se para começar;
p_{11}= carro B: esperando o sinal de largada;
p_{12}= carro B: correndo;

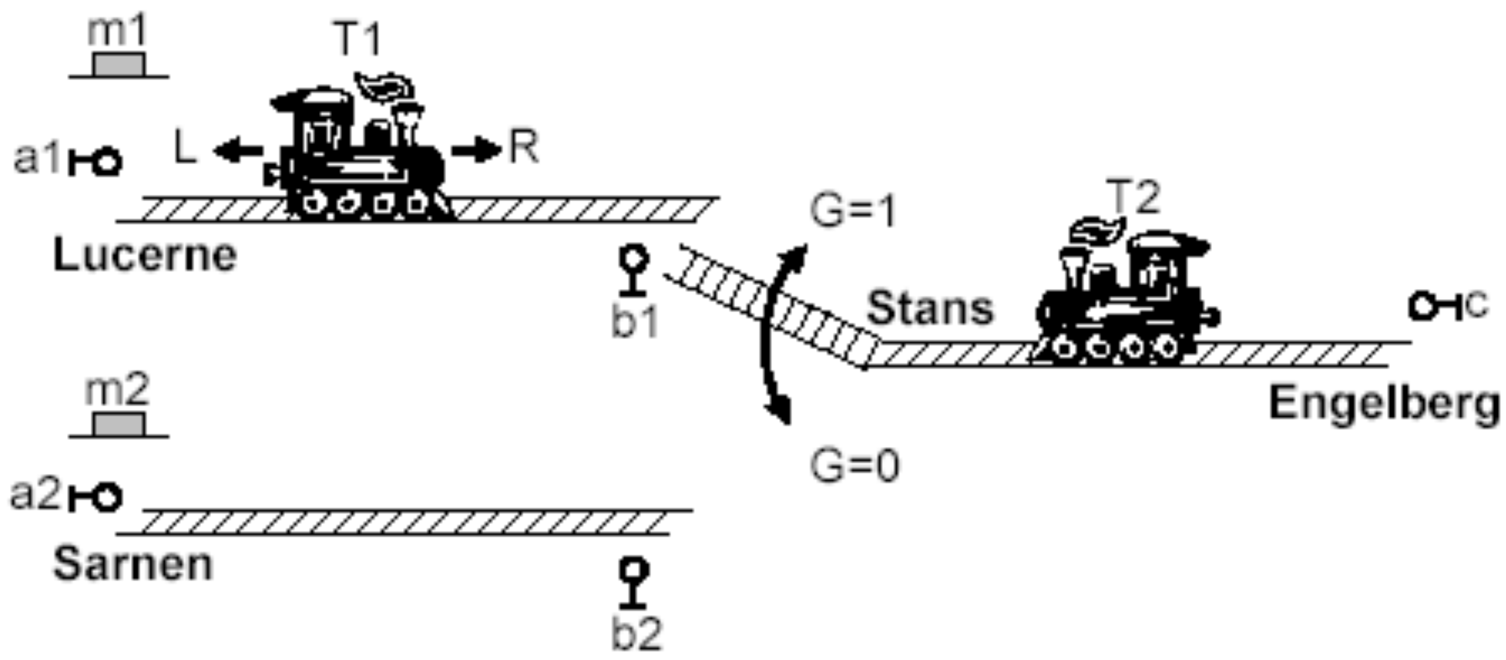
t_1 = carro A: envia sinal de prontidão
t_2 = carro A: acelera
t_3 = operador: manda sinal de largada
t_4 = carro B: envia sinal de prontidão
t_5 = carro B: acelera


p1
t1
p2
t2
p3
p4
p5
p6
t3
p7
p8
p9
t4
t5
p10
p11
p12

Cars = {a,b}
Cont = c



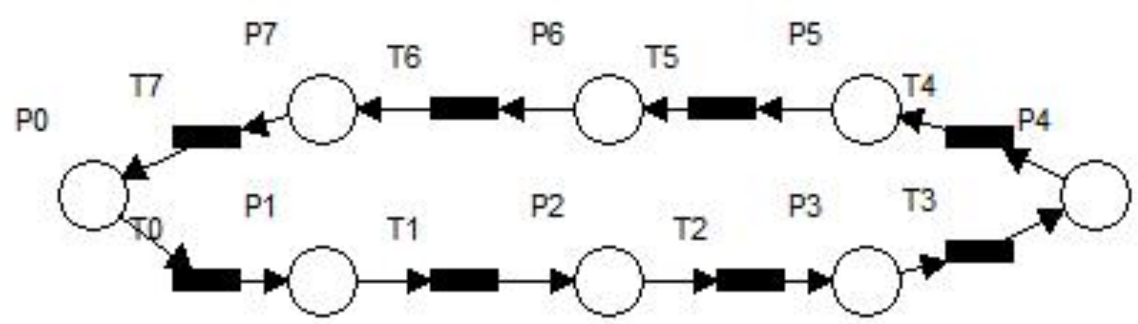
Exemplo: manobrando linhas de trem



Movimento do trem T1

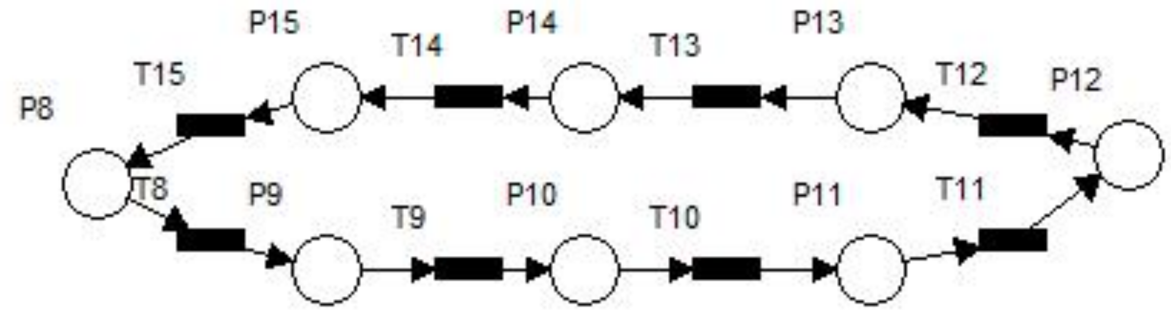
P1 – trem PT1 no ponto a1 (Lucerne);
P2 – trem T1 indo de Lucerne para Stans;
P3 – trem T1 chega em stans (detectado pelo sensor b1)
P4 – trem T1 no trecho unificado Stans Engelberg
P5 – trem T1 chega em Engelberg;
P6 – trem T1 indo de Engelberg para Stans (trecho unificado);
P7 – trem T1 chega no gate 1 (não há detecção por b1);
P8 – trem T1 indo de Stans para Lucerne;

Movement of Train T1

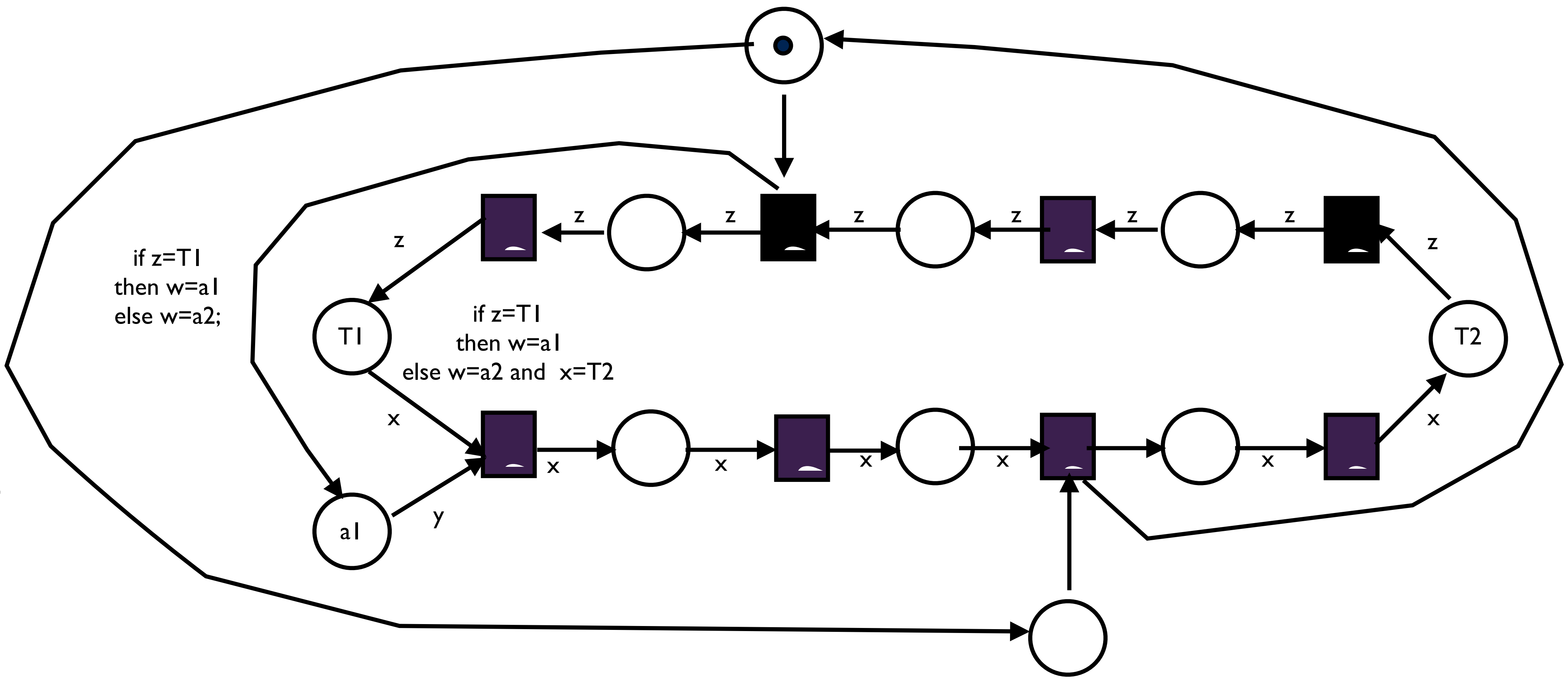


Movimento do trem T2

P9 – trem T2 no ponto C (Engelberg);
P10 – trem T2 indo de Engelberg para Stans;
P11 – trem T2 chega em Stans (não detectado pelo sensor b2)
P12 – trem T2 indo de Stans para Sarnen;
P13 – trem T2 chega em Sarnen;
P14 – trem T2 indo de Sarnen para Stans ;
P15 – trem T2 chega no gate 1 (Stans) (detectado pelo sensor b2);
P16 – trem T2 indo de Stans para Engelberg;



Mouvement of Train T2

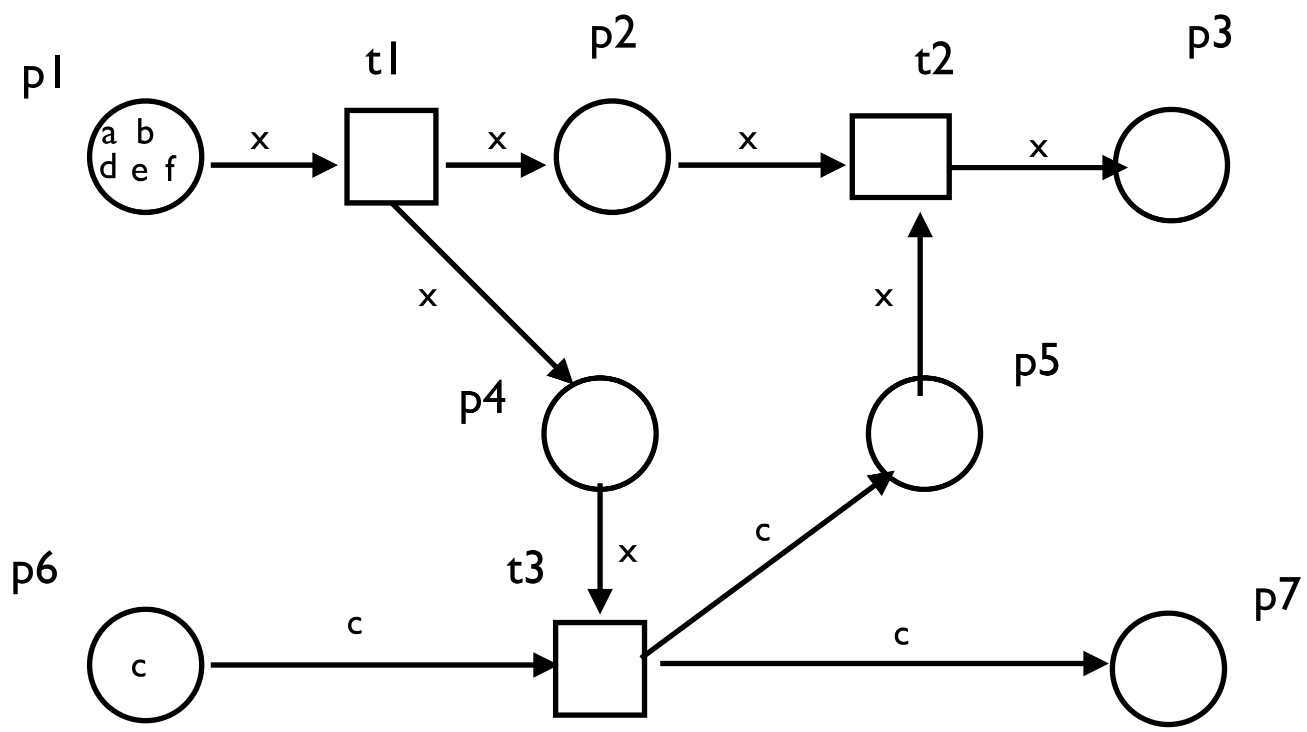


Train = {T1,T2}
op_sign = {a1, a2}
gate = {0, 1}
x, z in Train
w, y in op_sign

z
z

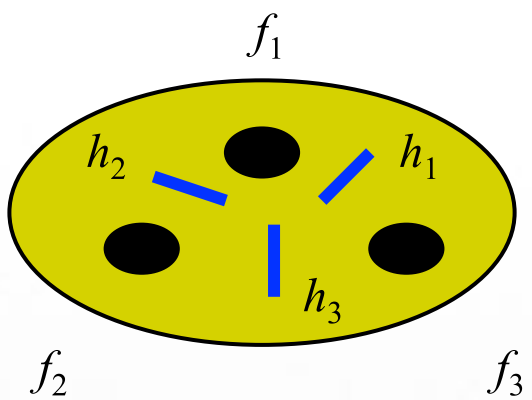
Valeu a pena o dobramento?

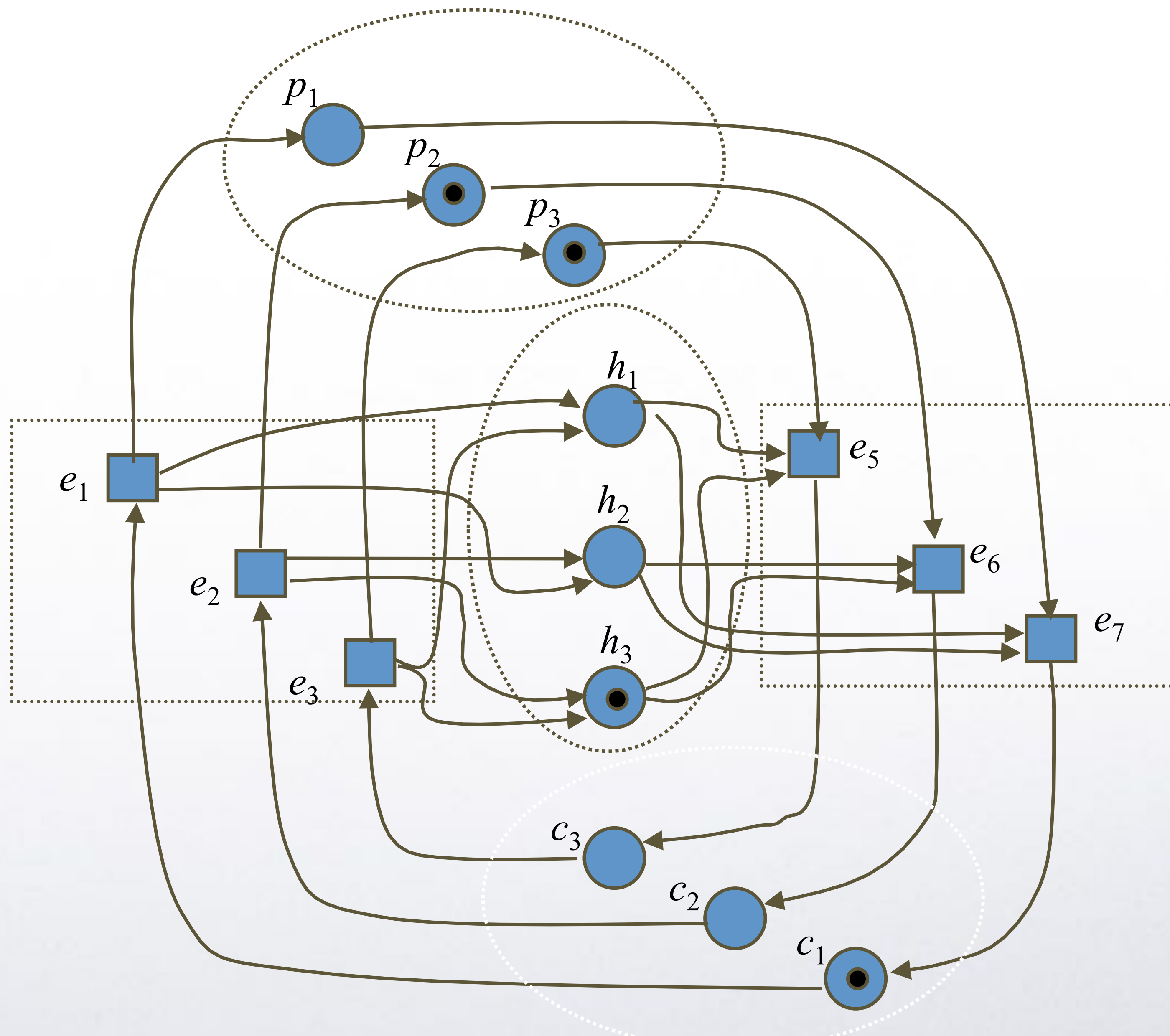
Cars = {a,b, d, e, f}
Cont = c



Dobramento em RdP

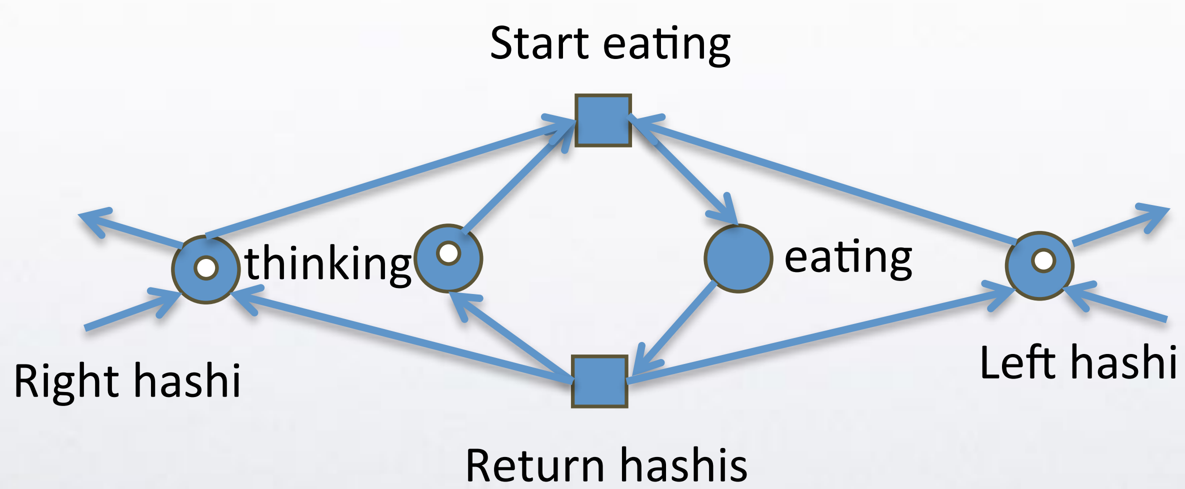
<u>O exemplo dos filósofos</u>





Modelagem e simetria

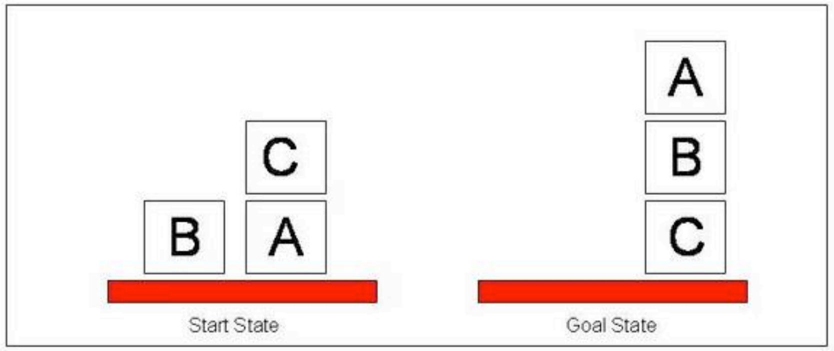
Certamente, uma forma de olhar o problema é procurar, logo de início, o relacionamento entre TODOS os seus elementos constituintes, como feito no slide anterior. Mas é possível também olhar cada um dos elementos composicionais, especialmente aqueles que apresentam propriedades reptetitivas. No exemplo dos filósofos, se olharmos cada um dos filósofos, temos:



Você conseguria sintetizar a rede de alto nível (ou colorida) diretamente do enunciado do problema?

Tente fazer isso, mesmo já tendo visto a solução.

Voltando ao mundo dos blocos



The "Sussman anomaly" blocks-world planning problem.

Imagine um mundo hipotético composto de blocos tridimensionais identificados por letras maiúsculas e um robô manipulador que só consegue pegar um bloco de cada vez. Outra regra importante é que este robô só pode pegar um bloco se este for o primeiro da pilha, isto é, não existe nenhum outro bloco sobre ele.

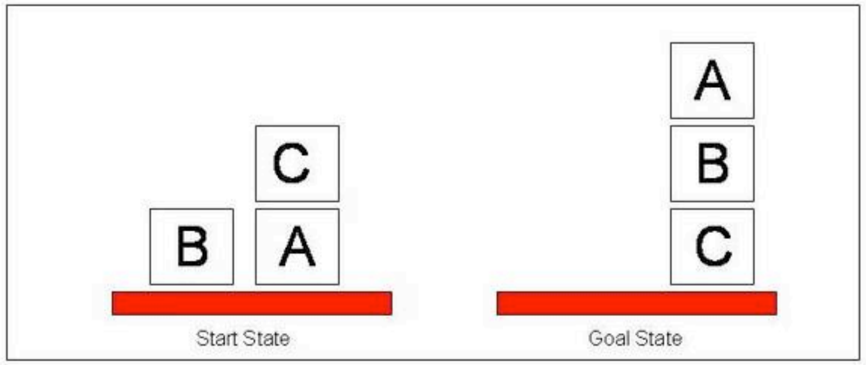
Com estas regras pretende-se fazer um plano de ações para que o robô transforme o estado inicial mostrado na figura no estado final.

Descrevendo os estados

Descritores dos estados: ONTABLE(x), ON(x,y), CLEAR(x), HANDEMPTY, HOLDING(x)

Estado inicial: ONTABLE(B), CLEAR(B), ONTABLE(A), ON(C,A), CLEAR(C), HANDEMPTY

Estado final: ONTABLE(C), ON(B,C), ON(A,B), CLEAR(A), HANDEMPTY



The "Sussman anomaly" blocks-world planning problem.

Descrevendo as ações

1. **Pickup(x)**
 (robô pega um bloco x da mesa)
Pré-condições: ONTABLE(x), CLEAR(x), HANDEMPTY
Pós-condição: HOLDING(x);
2. **Putdown(x)**
(robô deposita bloco x na mesa)
Pré-condição: HOLDING(x)
Pós-condição: ONTABLE(x), CLEAR(x), HANDEMPTY
3. **Stack(x, y)**
(robô empilha bloco x sobre o bloco y)
Pré-condição: HOLDING(x), CLEAR(y)
Pós-condição: ON(x,y), HANDEMPTY, CLEAR(x)
4. **Unstack(x, y)**
(robô tira bloco x de cima do bloco y)
Pré-condição: ON(x,y), CLEAR(x), HANDEMPTY
Pós-condição: CLEAR(y), HOLDING(x)

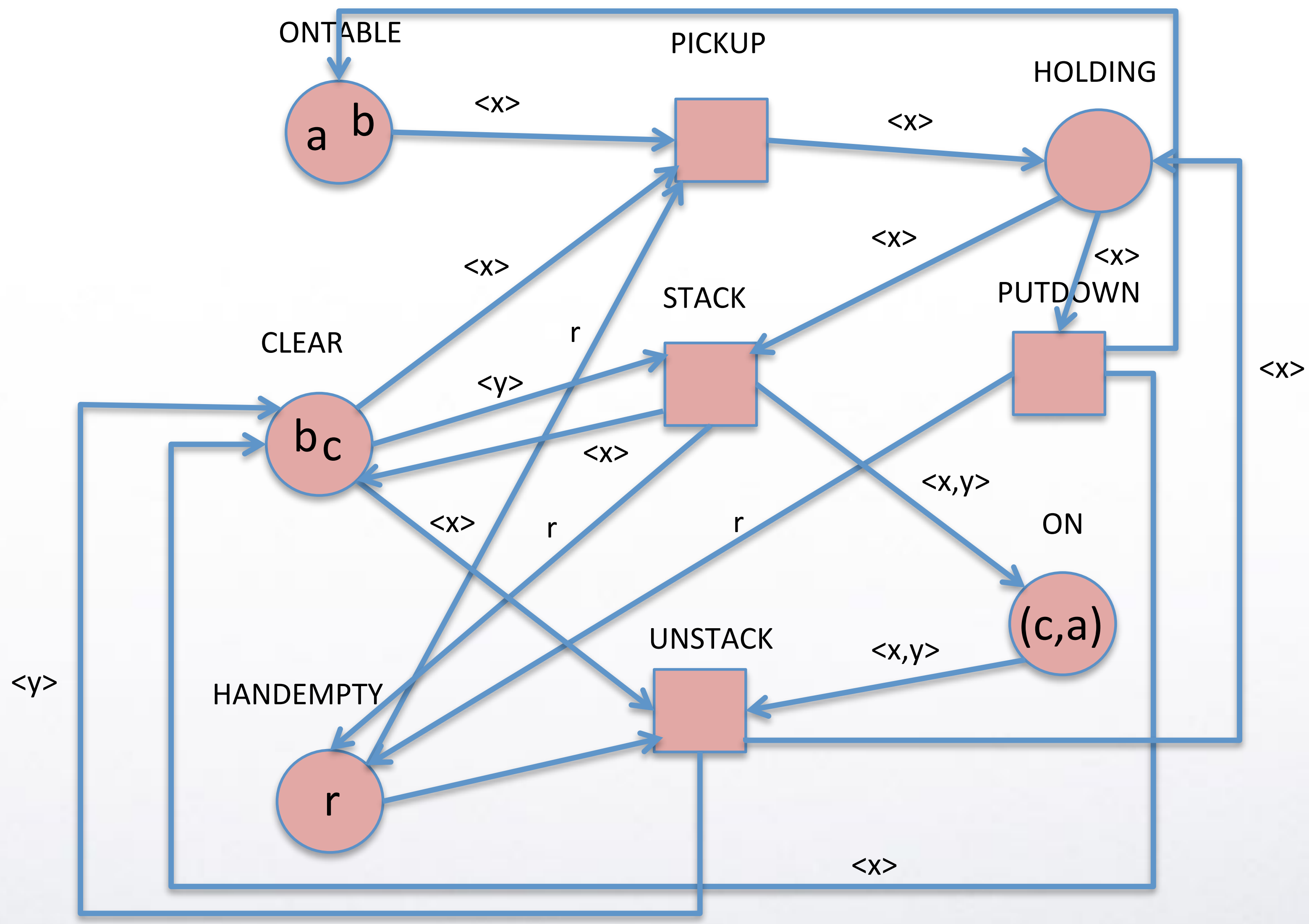
O problema (de planejamento)

Problema já está modelado e com uma representação já definida para especificação de estados, e uma série de ações que modificam estes estados. Estes estados atuam sobre um conjunto de blocos individualizados (distinguíveis). Portanto a modelagem deste tipo de problema é direta e deve ser feita com vantagem usando a HLPN (comparado a fazer a rede clássica primeiro).

A modelagem do problema fica assim bem simples.

Blk:={a,b,c}
R:= {r}
OnB: Blk X Blk

x,y: Blk



As alternativas

- Redes Coloridas (baseadas em conjuntos e na linguagem ML)
- Redes orientadas a objetos
- Redes estendidas

At a time when it is increasingly understood that programs must withstand rigorous analysis, particularly for systems where safety is critical, a rigorous language presentation is even important for negotiators and contractors; for a robust program written in an insecure language is like
a house built upon sand.

Robin Milner

As redes coloridas demarcam uma fase onde se buscava não apenas enfrentar a “explosão combinatória”, do espaço de estados mas garantir o formalismo da modelagem.

Portanto as redes coloridas (e de alto nível) devem ser vistas como um convite a aumentar o nível de abstração dos processos de modelasse em Engenharia.

Voltando ao exercício de modelagem da lista…

Redes Coloridas (desfazendo os mitos)

As vantagens das redes coloridas seriam:

1. Explorar as simetrias com o objetivo de reduzir o tamanho da rede.

Falha: o grafo é reduzido mas a informação para para as inscrições a complexidade da representação não se altera significativamente

2. Ter uma representação abstrata para a rede clássica.

Falha: verdade em princípio, mas ter que reduzir a representação para rede clássica cada vez que deseja fazer análise de propriedades pode não ser exatamente uma vantagem.

3. Aumentar o poder de expressão da representação baseada em redes.

Falha: simplesmente não é verdade.

Histórico das redes CPN

As redes coloridas surgiram nos anos 80 conjugando a representação gráfica das redes de Petri com o Standard ML, que representa tipos e cores.

No final dos anos 80 e princípio dos anos 90 surgiu o ambiente Dsign CPN proposto pelo mesmo grupo de Ahus, Dinamarca (Kurt Jensen).

A idéia é simplesmente ter um formalismo mais abstrato

Definição informal das CPNs

Kurt Jensen

Coloured Petri Nets (CP-nets or CPNs) is a graphical language for constructing models of concurrent systems and analyzing their properties. CP-nets is a discrete-event modeling language combining Petri Nets and the functional programming language CPN ML which is based on Standard ML.

Aplicações

Aplicações Típicas

Protocolo de Comunicação

Redes de Dados

Algorítmos Distribuídos

Sistemas Embarcados

Novas Aplicações

Sistemas de workflow

Sitemas de manufatura

Sistemas multi-agente

Processos de negócio

Análise de Requisitos

Uso prático das redes CPN

Como no caso das redes clássicas o uso prático das redes CPN está associado a **Simulação** do modelo, e portanto ao estudo de cenários específicos e ao processo de evolução das marcas.

Temos portanto o mesmo problema de desenvolver métodos alternativos de análise baseados nas propriedades da rede e fugir do problema da atingibilidade.

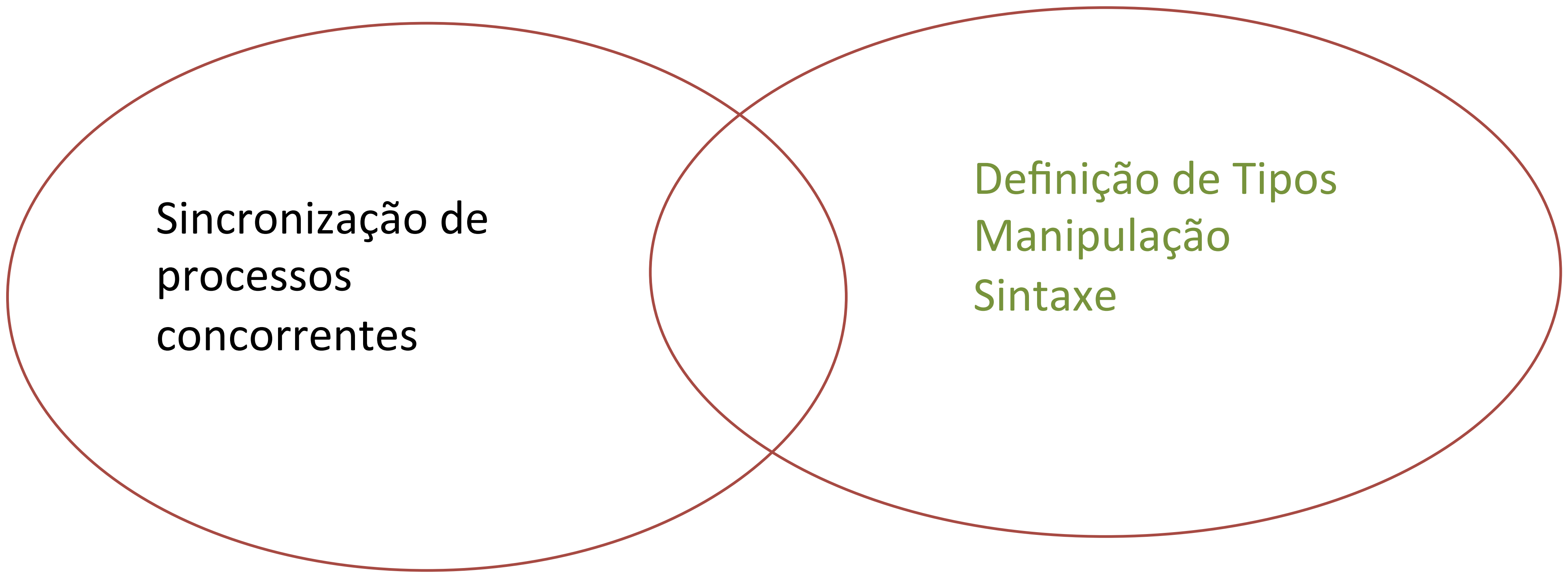
Novos métodos → Verificação e Model checking

Redes Coloridas

- As marcas são divididas em conjuntos e separadas por tipo
- A área de declaração do sistema contém a identidade de cada variável assim como em declarações em ML
- Os arcos possuem inscrições e filtros que selecionam o tipo de marca que pode fluir por este arco.
- O comportamento dinâmico é dado pelo conjunto : grafo, inscrições e declaração.

Redes de Petri Convencionais

Linguagens Formais



Kurt Jensen, An Introduction to the Practical Use of Coloured Petri Nets, Lect. Notes in Comp. Science 1492, 1998.

Processos especiais

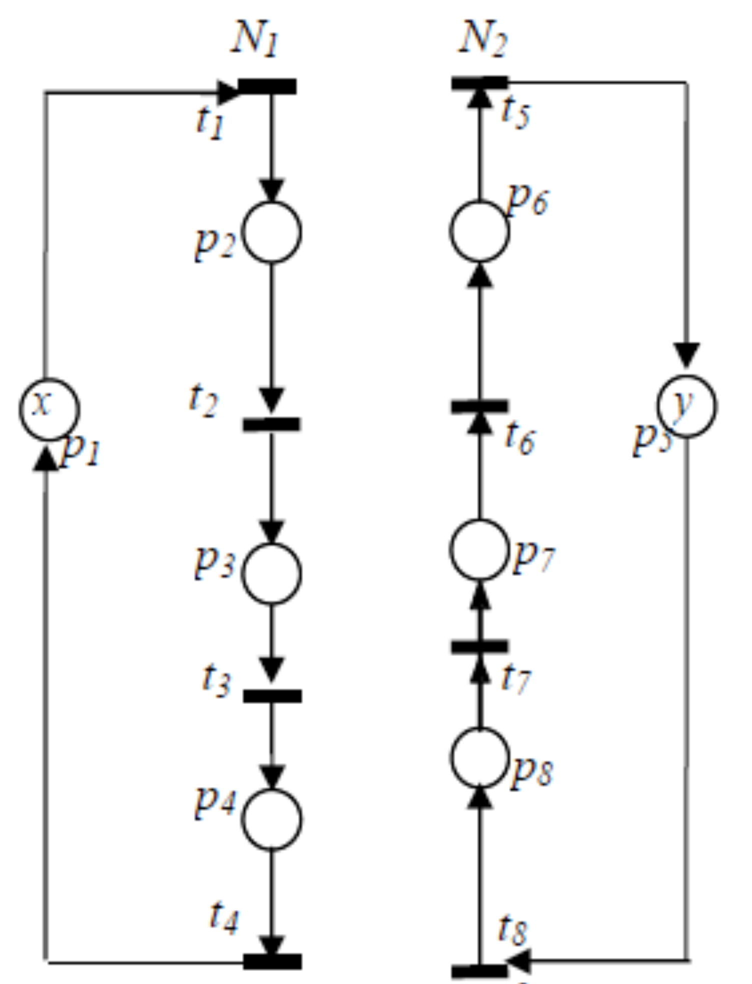


Fig. 1(b) Two S²P.

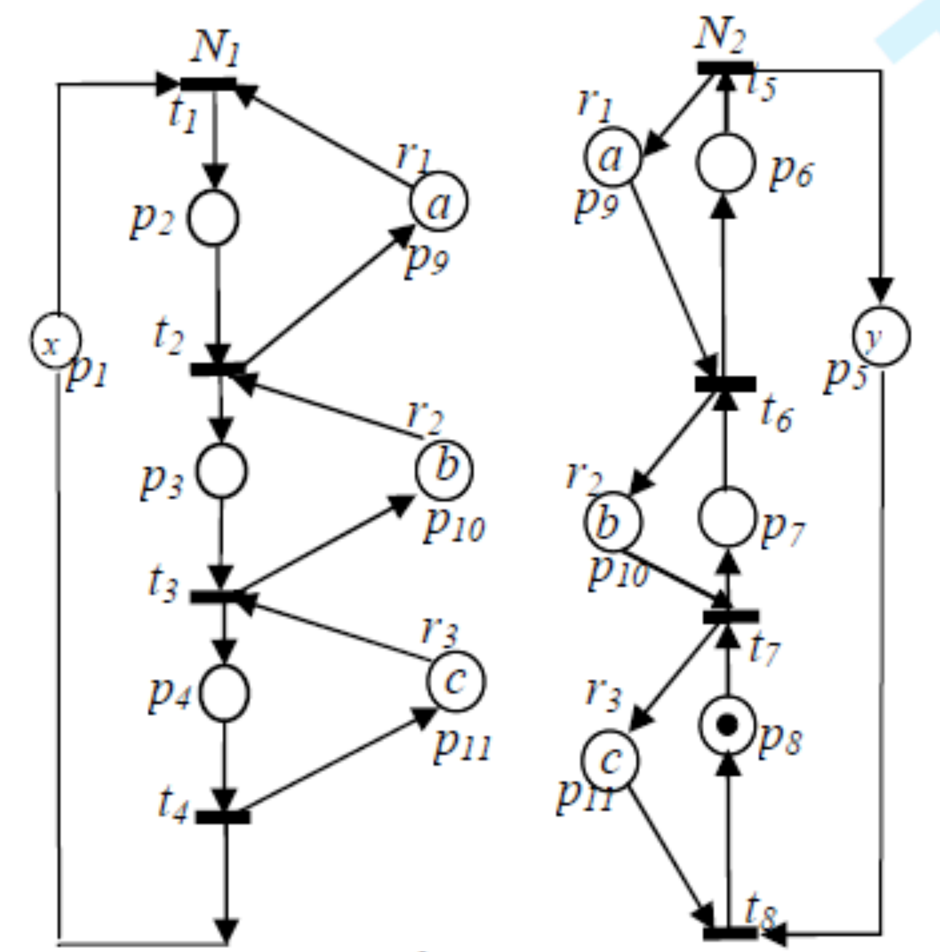


Fig. 1(c) S²PR of N_1 and N_2

O problema do acoplamento com recursos

O sistema S2PR pode ainda ser acoplado de modo que os processos sequenciais interferem um no outro podendo causar atrasos e até deadlocks devido à falta de recursos no momento devido.

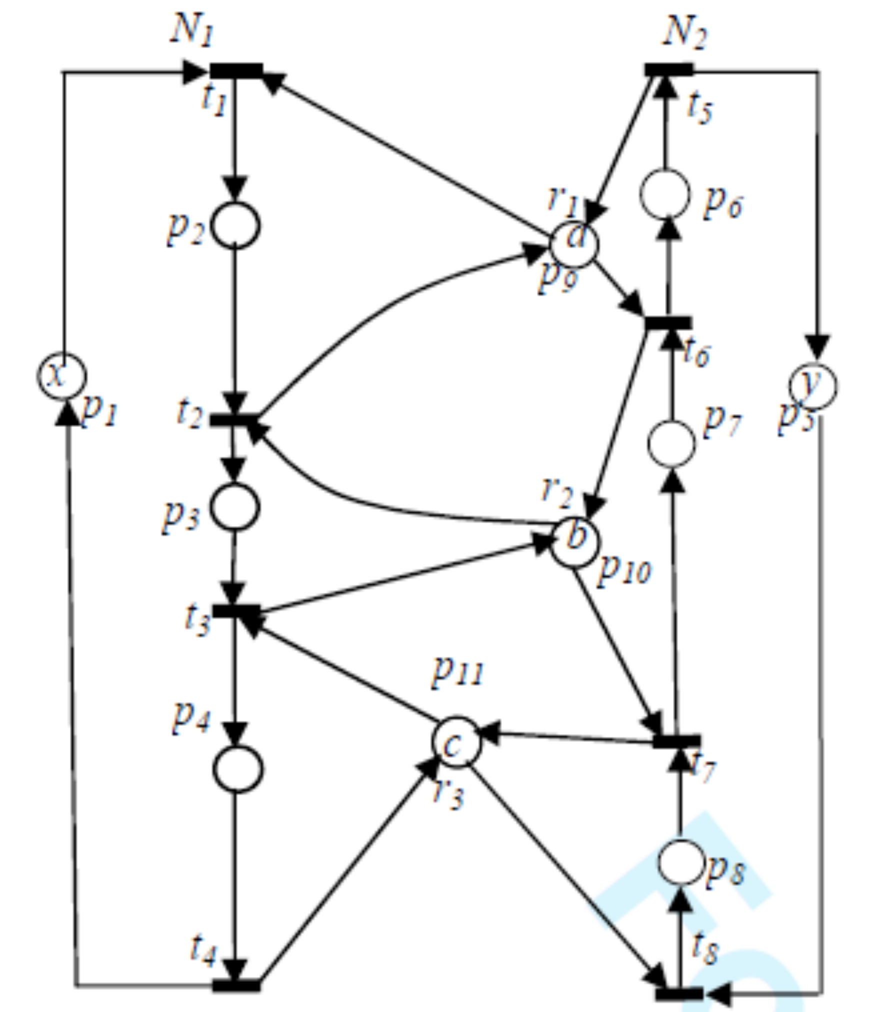


Fig. 1(a) S³PR &3rd-order system ; $a=b=c=1$.

Li, Z.W. and Zhou, M.C., “Deadlock resolution in automated manufacturing systems: A novel Petri net approach,” Springer, London, 2009

Introdução informal: O problema da alocação de recursos

Na indústria automotiva moderna é comum se ter vários processos ou linhas de montagem e nestes um ou mais tipos de automóvel sendo montados em pipeline. Isso traz um problema, que é ter o tipo certo de insumo ou recurso no tempo correto, para a matriz correta.

Um problema similar e igualmente importante é ter processos homogêneos mas compartilhando o mesmo centro de recursos.

Fim