

PMR 5237

Modelagem e Design de Sistemas

Discretos em Redes de Petri

Aula 5: Redes de Alto Nível

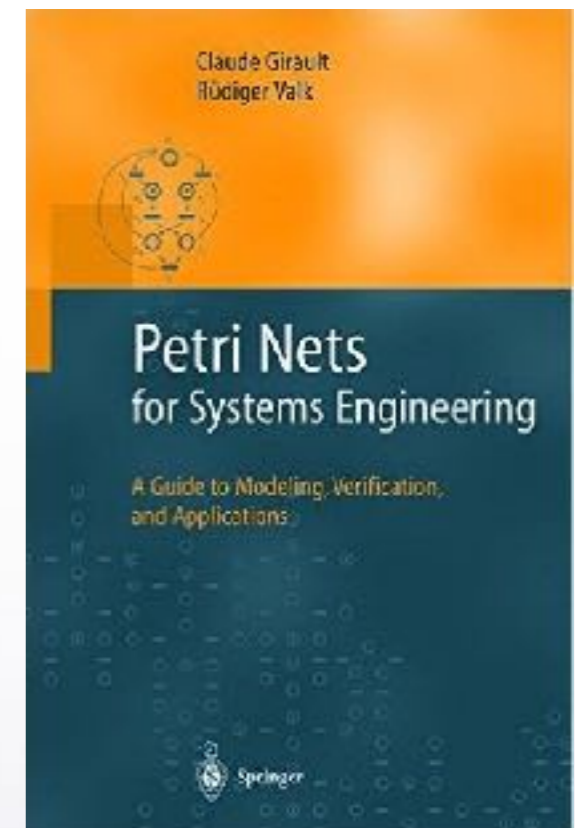
Prof. José Reinaldo Silva

reinaldo@usp.br



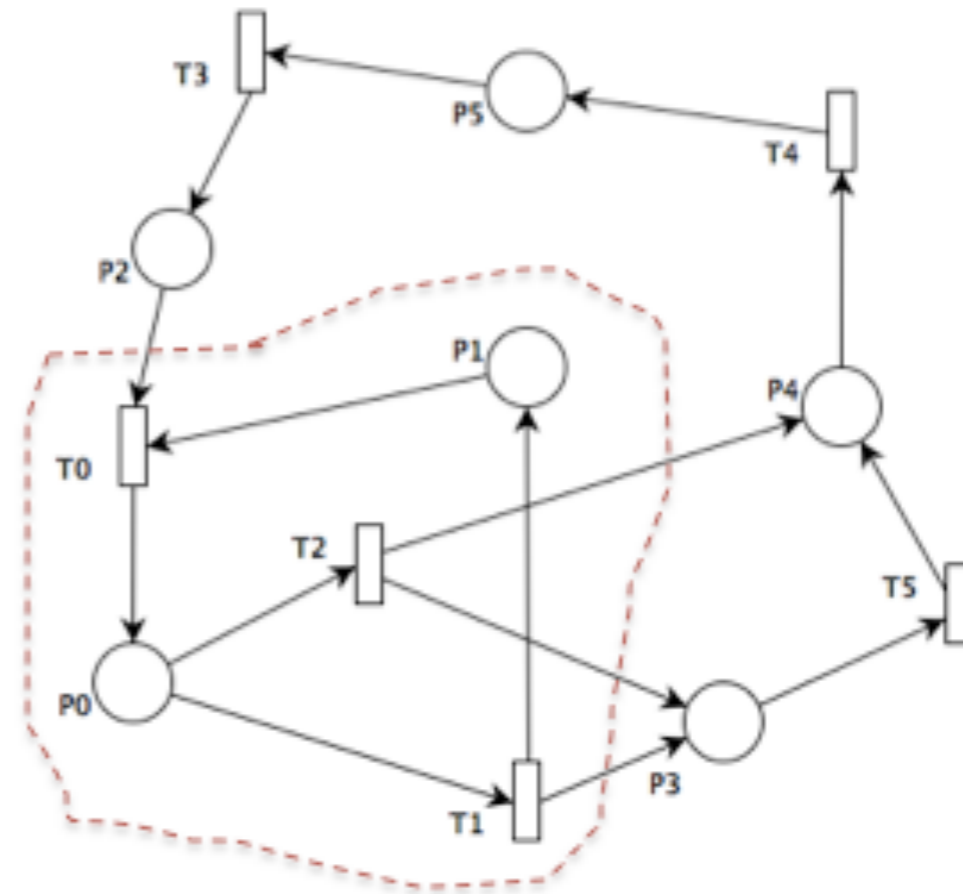
Sincronismo com o livro texto

| | |
|--|----|
| 1. Introduction | 7 |
| 2. Essential Features of Petri Nets | 9 |
| 2.1 Locality and Concurrency | 10 |
| 2.2 Graphical and Algebraic Representation | 12 |
| 2.3 Concurrency, Conflict, and Confusion | 15 |
| 2.4 Refinement and Composition | 18 |
| 2.5 Net Morphisms | 23 |
| 3. Intuitive Models | 29 |
| 3.1 Arc-Constant Nets | 29 |
| 3.2 Place/Transition Nets | 32 |
| 3.3 Coloured Nets | 34 |
| 3.4 Foldings | 38 |
| 4. Basic Definitions | 41 |
| 4.1 Formal Definition of Place/Transition Nets | 41 |
| 4.2 Formal Definition of Arc-Constant Nets | 43 |
| 4.3 Formal Definition of Coloured Nets | 45 |
| 5. Properties | 53 |
| 5.1 Basic Properties | 54 |
| 5.2 An Introduction to the Analysis | 58 |
| 5.2.1 Verification Based on the Reachability Graph | 60 |
| 5.2.2 Verification Based on Linear Invariants | 68 |
| 6. Overview of the Book | 73 |



Na aula que vem fecharemos a Part I

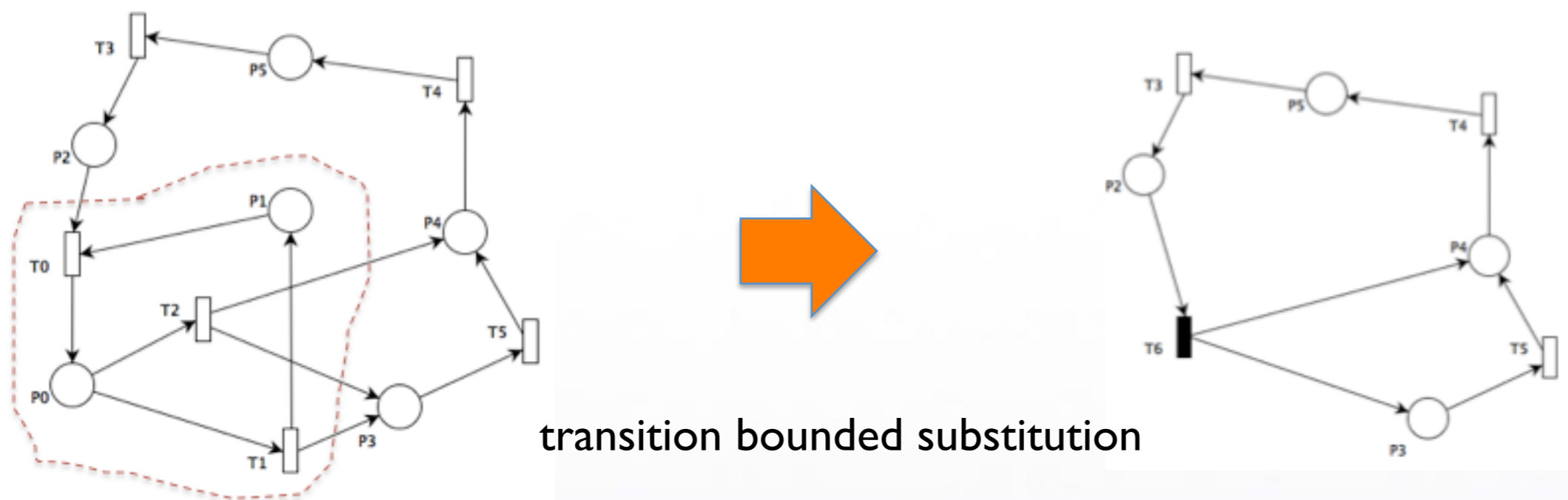
Hierarquia em redes clássicas



Definition 39

Seja uma estrutura de rede $N = (S, T; F)$. Seja $X = S \cup T$ e um sub-cojunto $Y \subseteq X$. Definimos uma borda de N como o conjunto $\partial(N) = \{y \in Y \mid \exists x \notin Y. x \in loc(y)\}$.

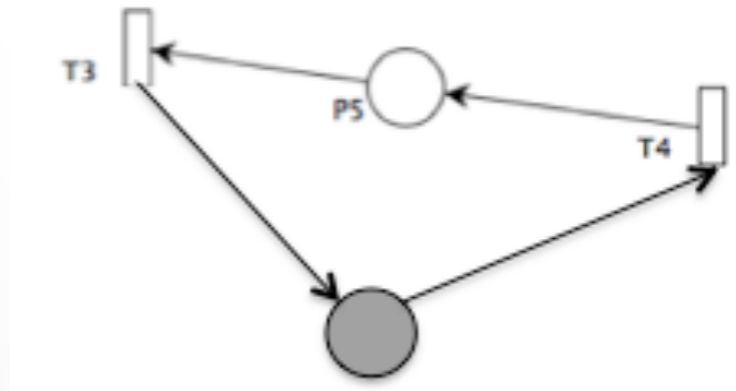
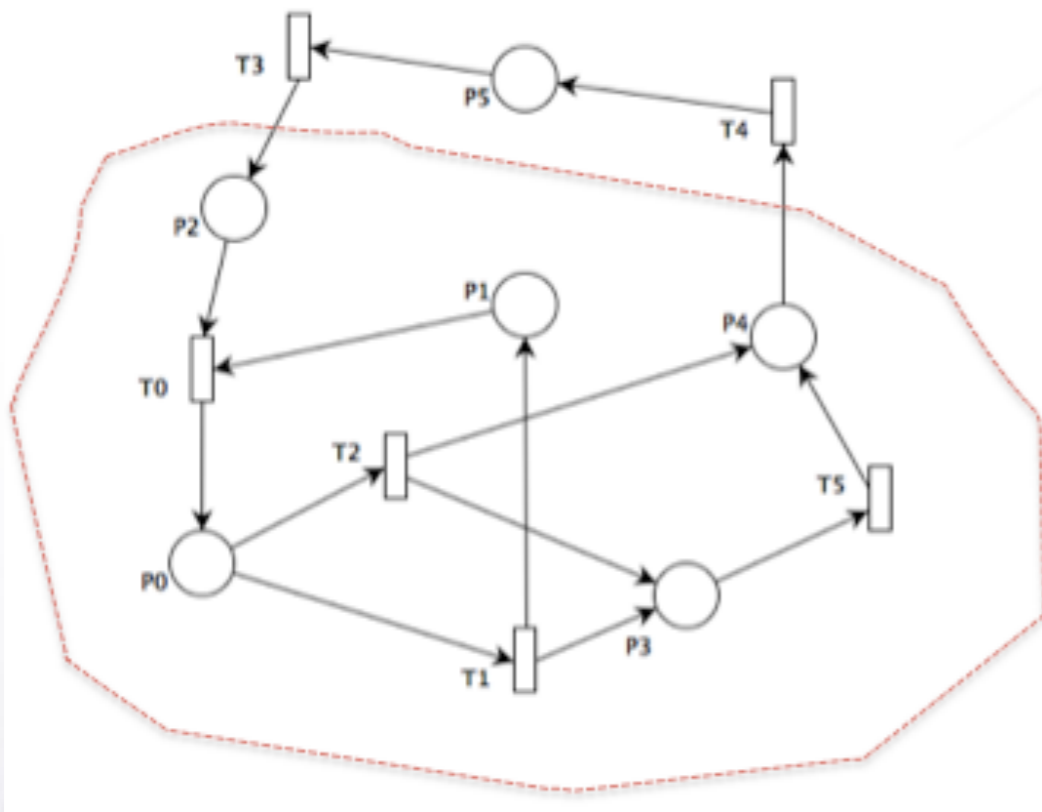
Substituição de uma sub-rede



transition bounded substitution

Definition 40

Um sub-conjunto de elementos Y da rede $N = (S, T; F)$ é dito limitado por lugar (place bounded) ou aberto, se e somente se $\partial(Y) \subseteq S$.
 Similarmente, um sub-conjunto Y desta rede é dito limitado por transição (transition bounded), se e somente se $\partial(Y) \subseteq T$.



place bounded substitution

Se em uma rede com estrutura $N = (S, T; F)$ existe uma sub-rede Y limitada por transição, a substituição desta sub-rede Y gera uma rede $N' = (S', T'; F')$ onde:

- (i) $S' = S \setminus Y$;
- (ii) $T' = T \setminus Y \cup \{t_y\}$, onde t_y é o novo elemento que substitui Y ;
- (iii) $F' = F \setminus Int(Y)$ onde $Int(Y)$ é o conjunto dos arcos internos de Y .

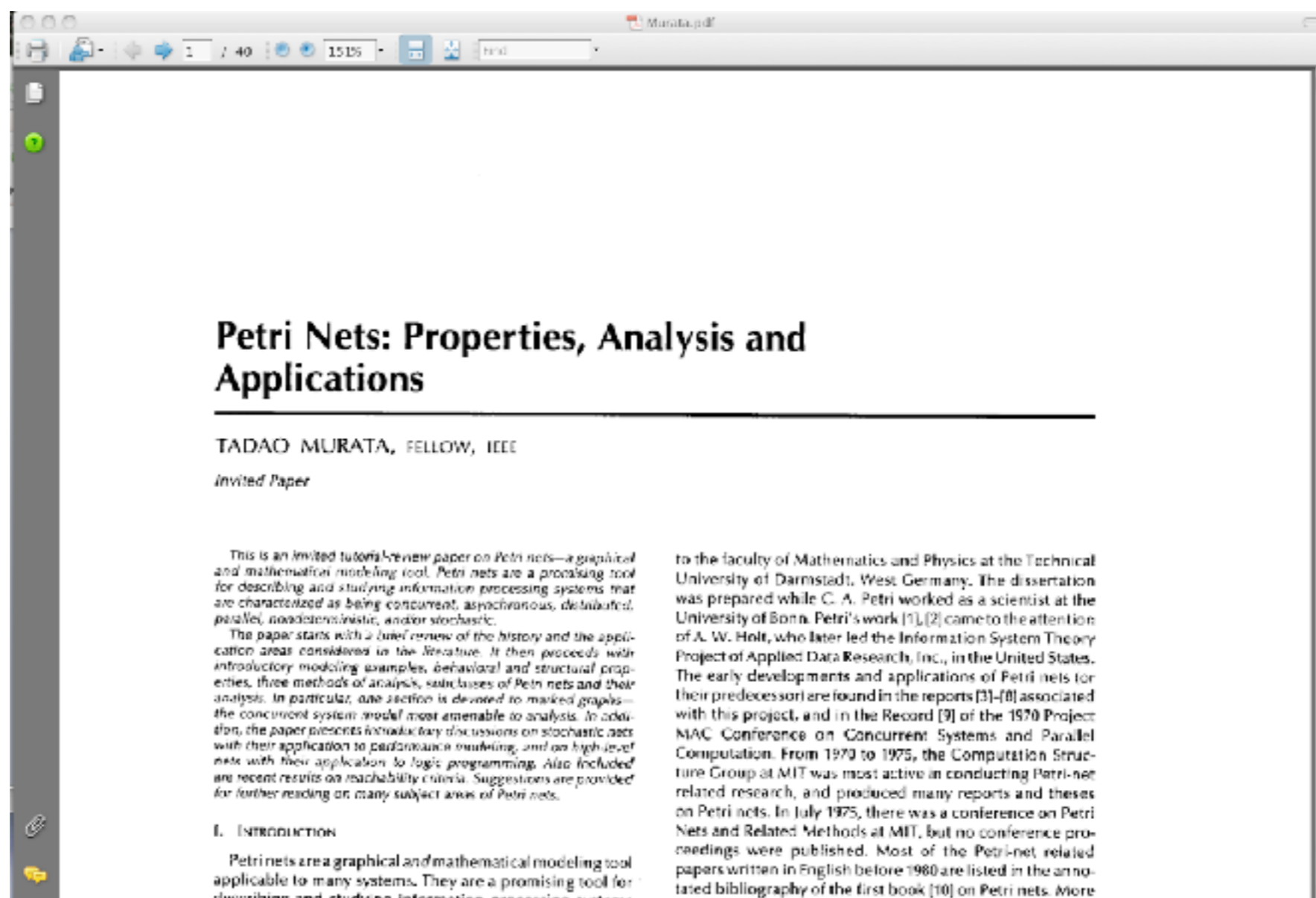
Similarmente, se a sub-rede Y é limitada por lugar,

- (i) $S' = S \setminus Y \cup \{s_y\}$, onde s_y é o novo elemento que substitui Y ;
- (ii) $T' = T \setminus Y$;
- (iii) $F' = F \setminus Int(Y)$ onde $Int(Y)$ é o conjunto dos arcos internos de Y .

Leitura da Semana



Tadao Murata



Redes

Rede C/E

Redes Elementares

Redes P/T



IEC/ISO 15909

Parte 1 (2004): modelo semântico, definição teórica das redes clássicas e das **redes de alto nível.**

Parte 2 (2005-2008): definição do protocolo de importação/exportação, PNML.

Parte 3 (?) : Extensões, Redes Temporizadas, modularidade, hierarquia.

O problema entre modelagem (modelo) e a sua implementação é que durante a modelagem algumas propriedades “abstratas” são mais visíveis, ou visíveis somente neste nível de abstração. Na implementação outras propriedades são mais salientes.

Por exemplo, as propriedades de simetria, os invariantes, e propriedades do modelo que discutimos em aula são visíveis na modelagem. Vivacidade, presença de sifões ou tracks são visíveis na implementação ou simulação.

Existem propriedades que são mais visíveis e mensuráveis (e úteis) somente quando se tem uma visão mais abstrata dos artefatos. Por exemplo a *simetria*.

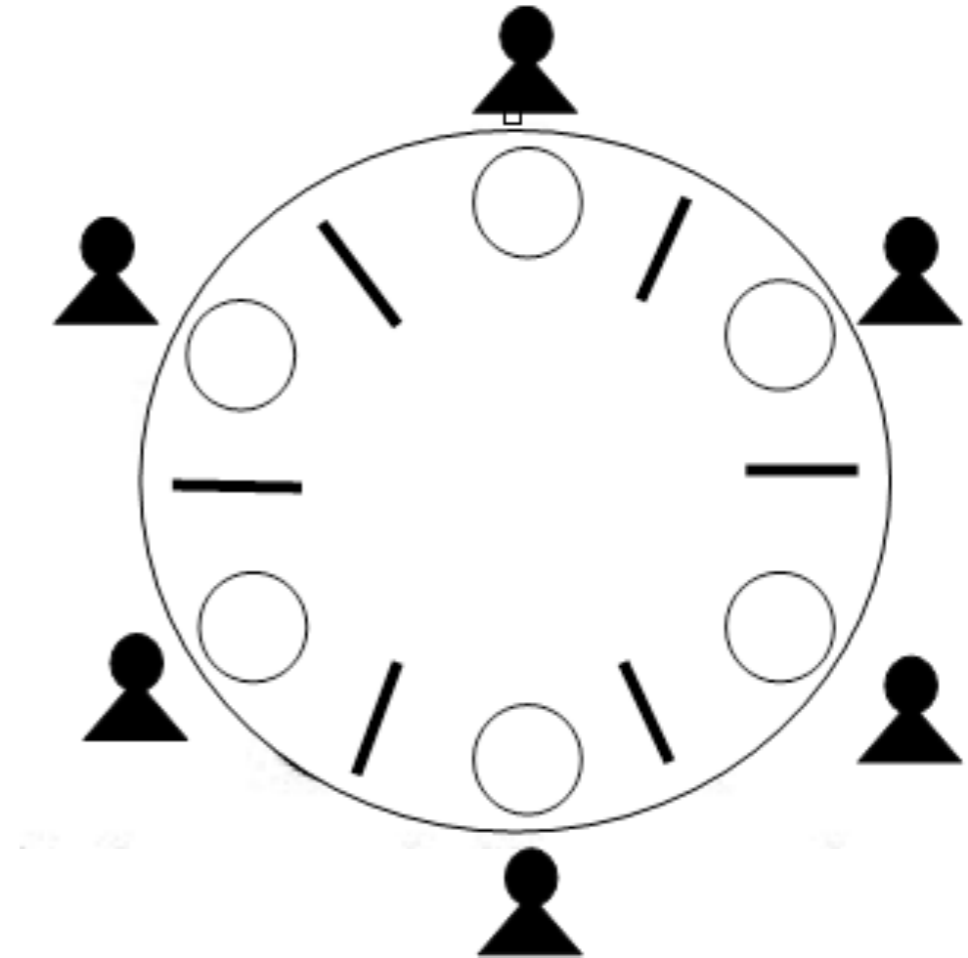
The term “symmetry” derives from the Greek words *sun* (meaning ‘with’ or ‘together’) and *metron* (‘measure’), yielding *summetria*, and originally indicated a relation of commensurability (such is the meaning codified in Euclid's *Elements* for example). It quickly acquired a further, more general, meaning: that of a proportion relation, grounded on (integer) numbers, and with the function of harmonizing the *different* elements into a *unitary whole*. From the outset, then, symmetry was closely related to harmony, beauty, and unity, and this was to prove decisive for its role in theories of nature.

Stanford Encyclopedia of Philosophy



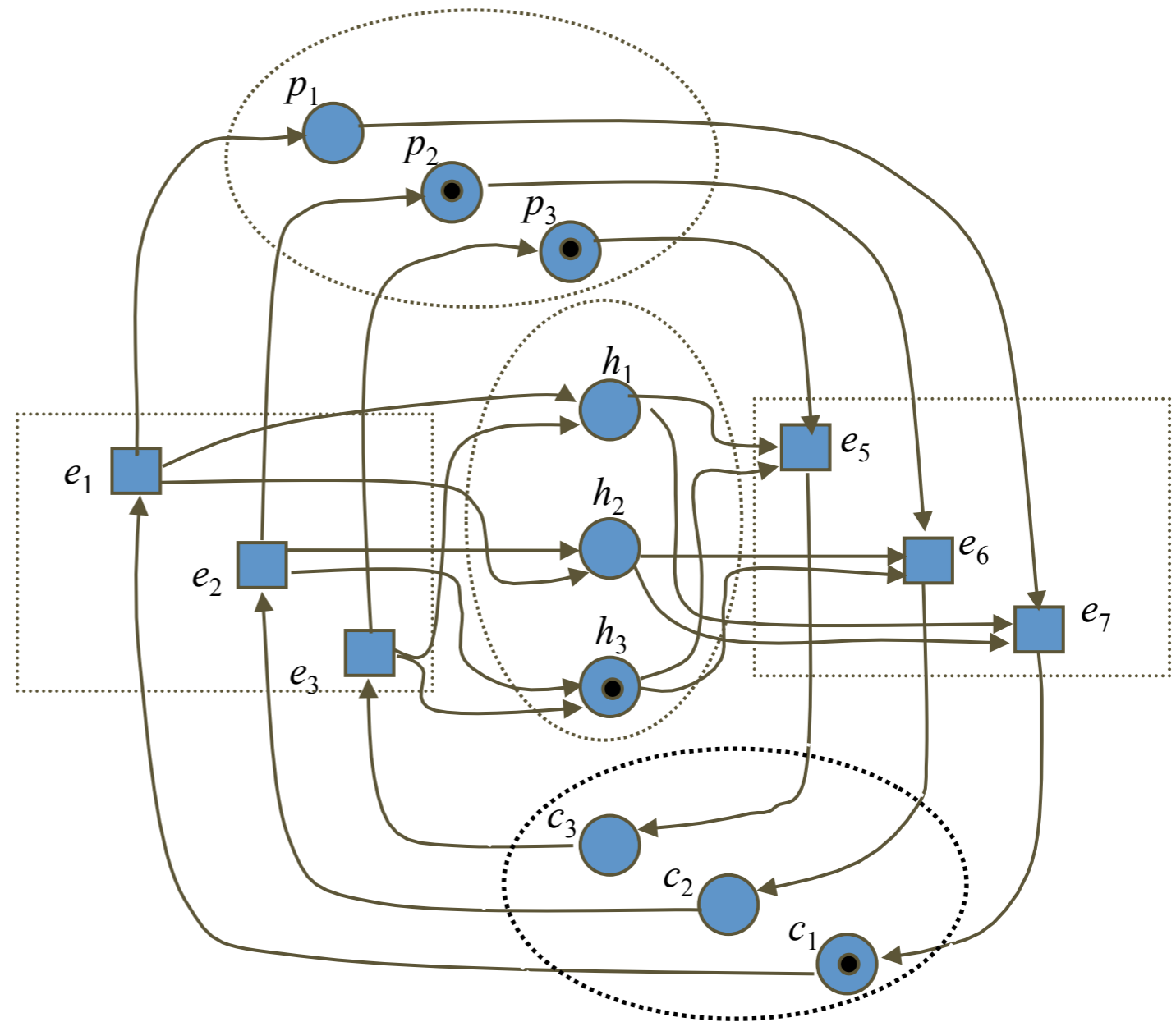
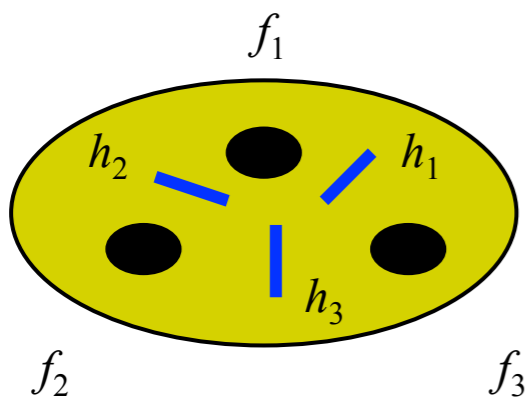
The dinning philosophers problem

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.



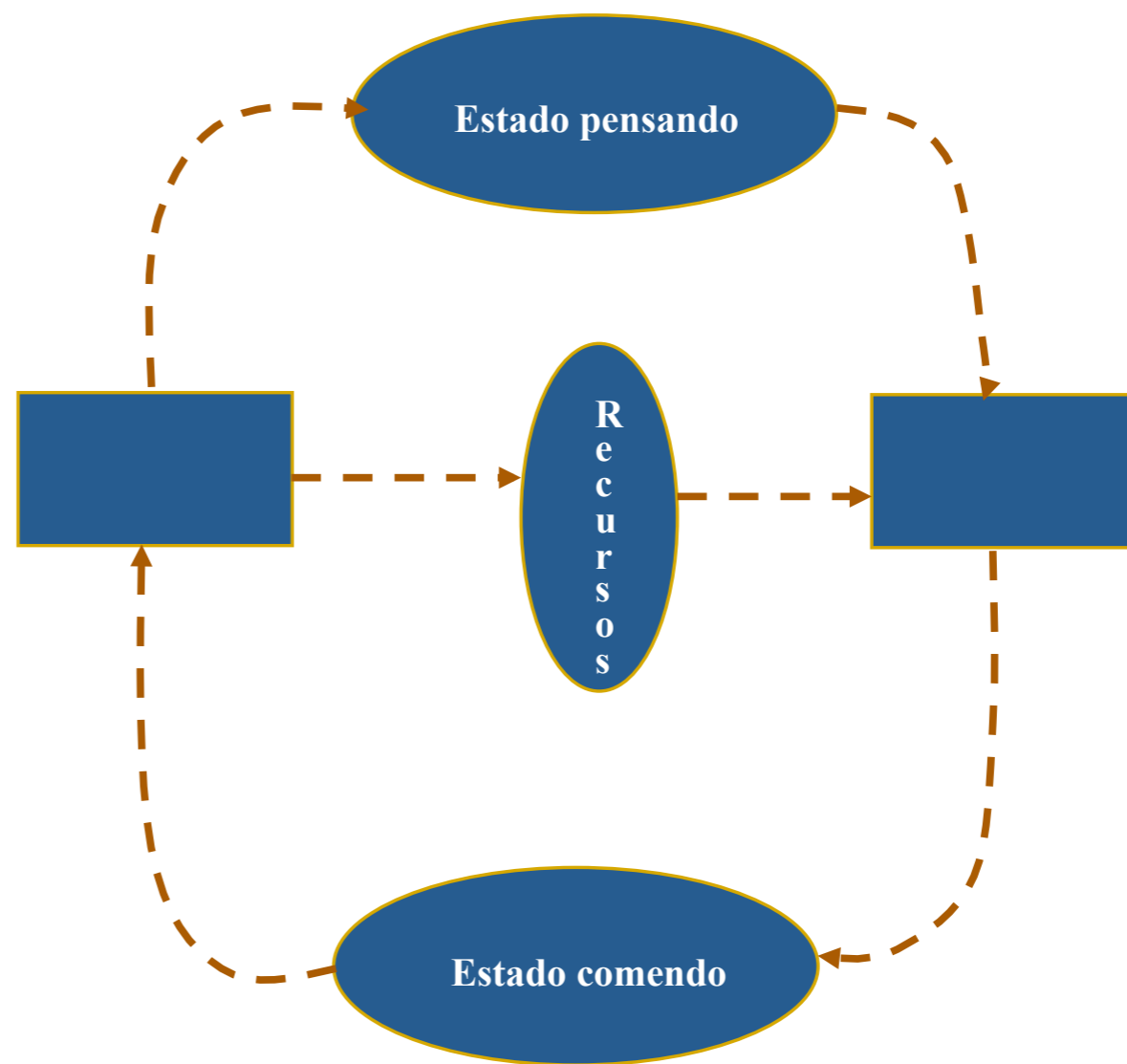
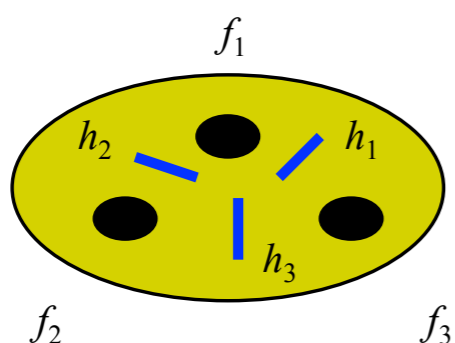
Dobramento em RdP

O exemplo dos filósofos

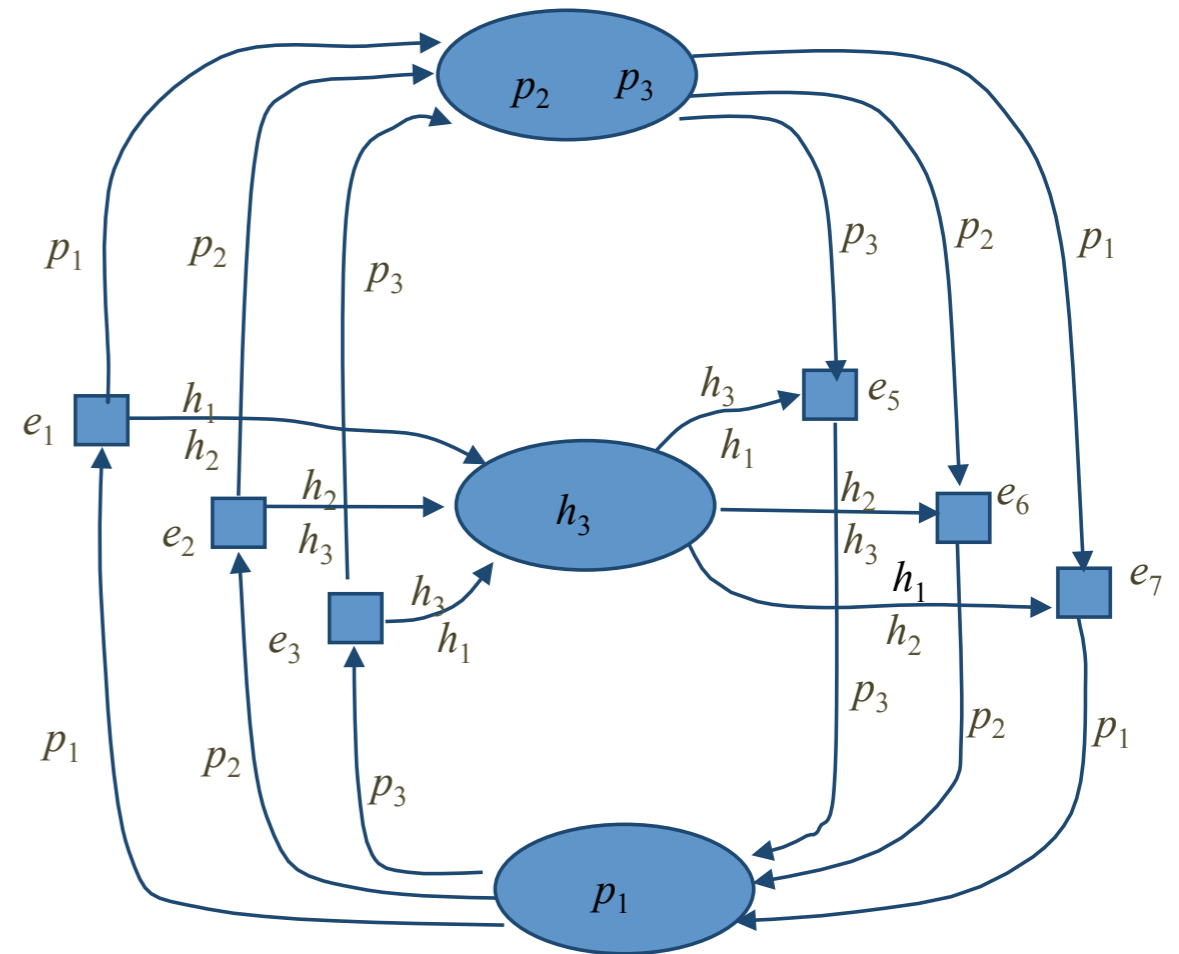
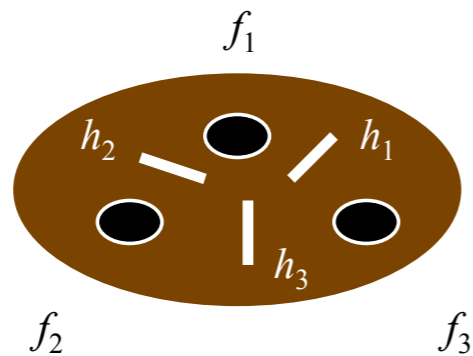


O dobramento

O exemplo dos filósofos

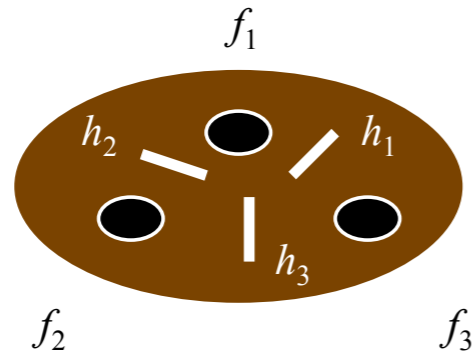


O exemplo dos filósofos



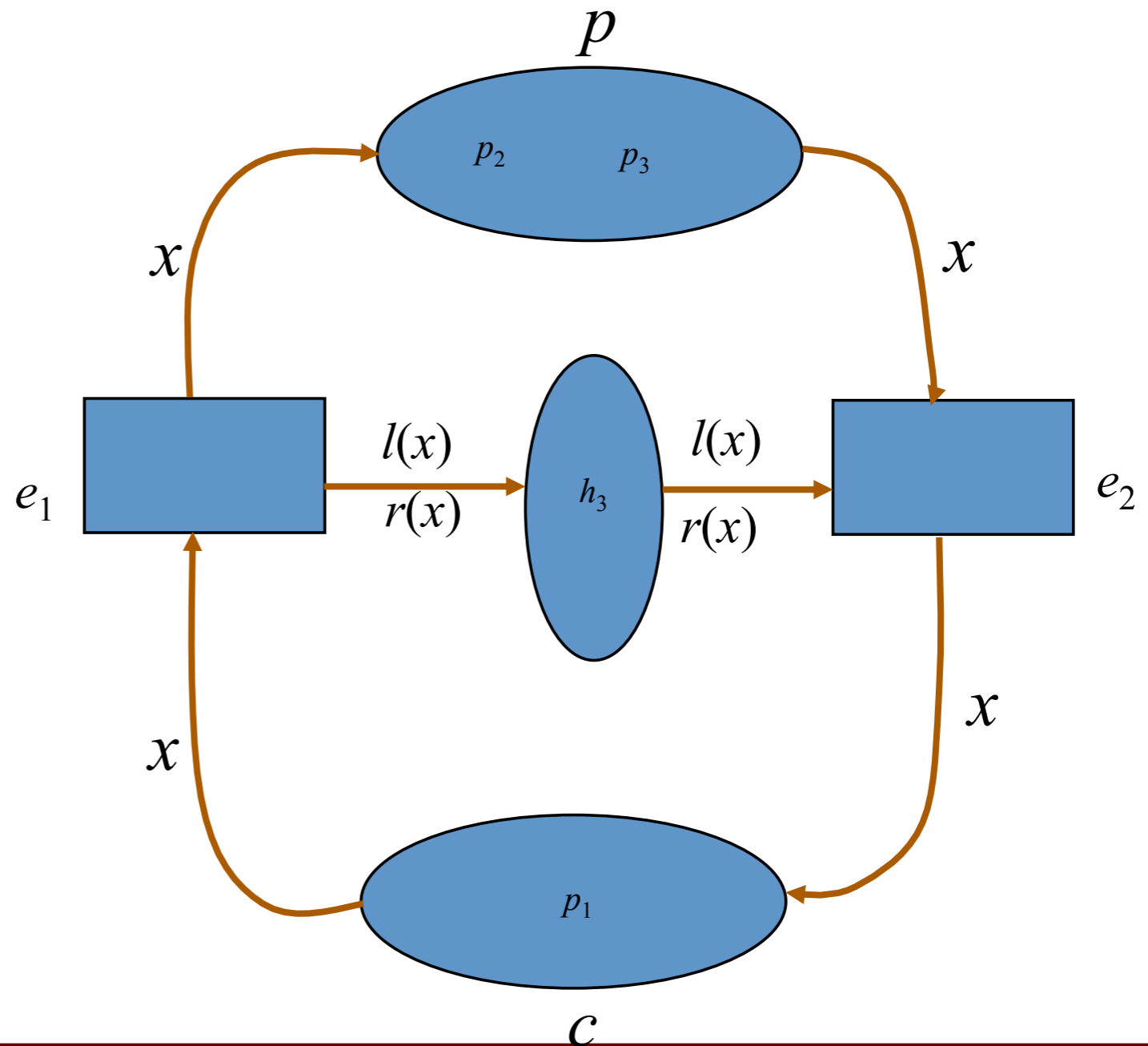
O colapso dos lugares leva à necessidade de se distinguir as marcas, tanto as que representam os filósofos quanto as que representam os recursos, isto é, os hashis.

O dobramento completo



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

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

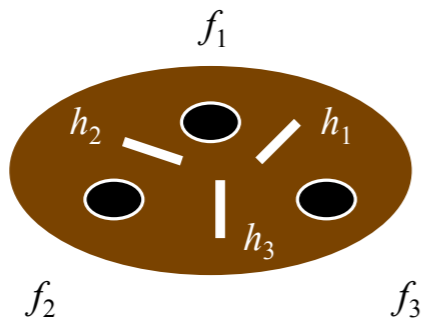


Exercicio 3, cap 8. Reisig

Caracterize conflito na rede PrT que representa o problema dos filósofos. Suplemente esta rede de modo que os três filósofos comam e pensem com igual frequencia, isto é, torne a rede *fair* no que diz respeito aos eventos que fazem o filósofo i passar do estado de reflexão ao estado de alimentação.

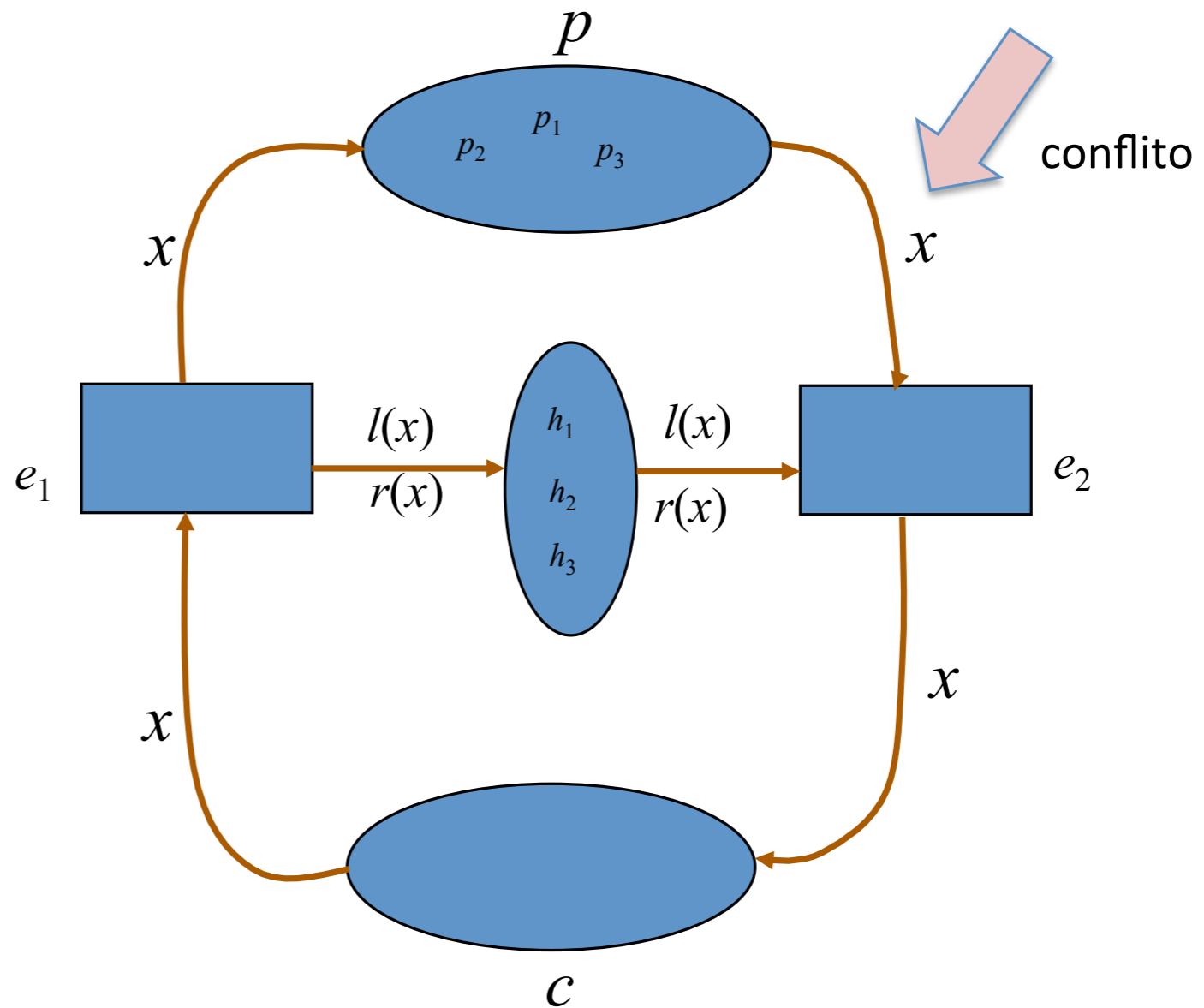
Wolfgang Reisig, Petri Nets: an Introduction, EACTS, Monographs in Theoretical Computer Science,
Springer Verlag, 1985

O exemplo dos filósofos



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

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



O exemplo dos filósofos

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

$l : P \rightarrow H$

$p_i \rightarrow h_i$

$r : P \rightarrow H$

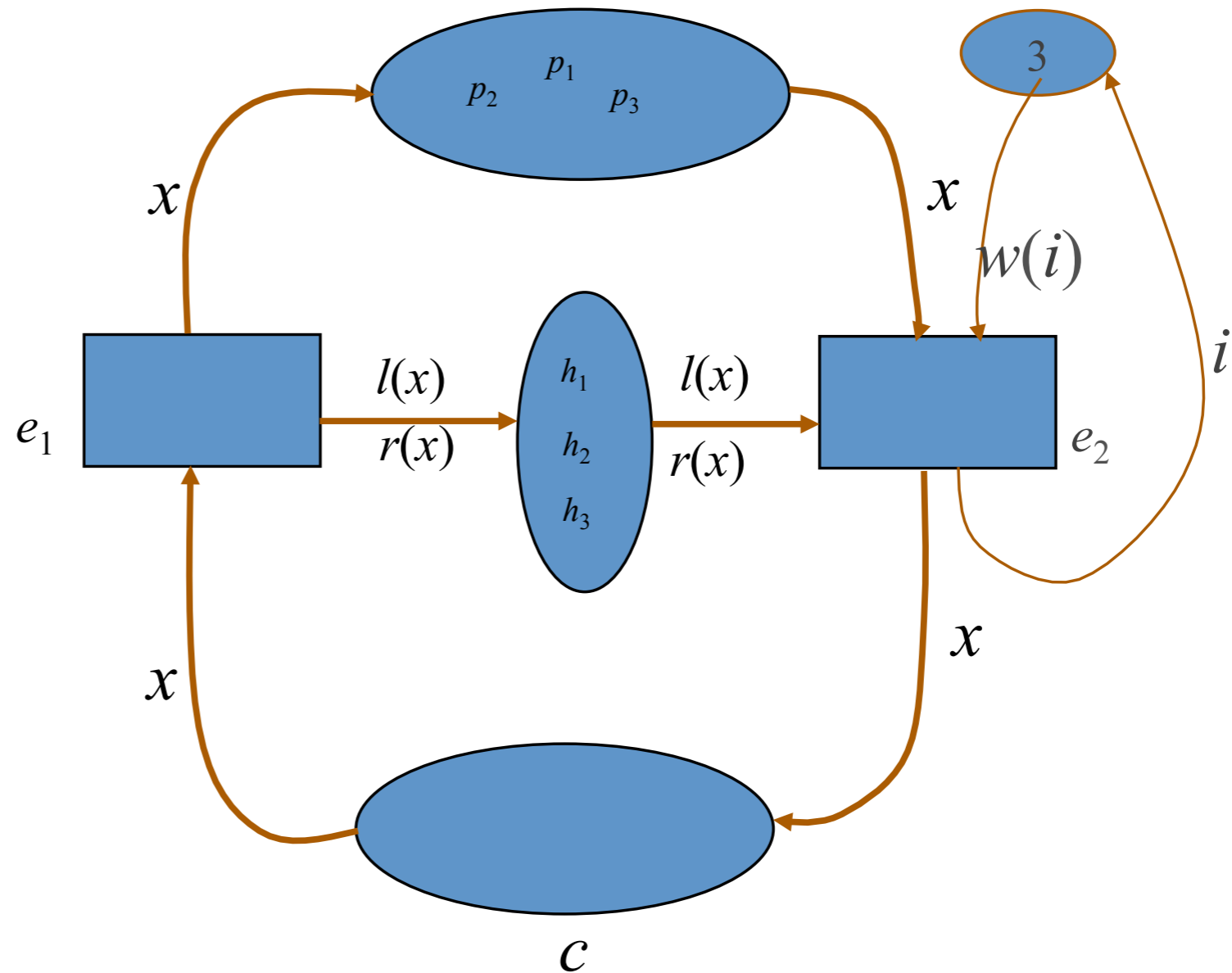
$p_1 \rightarrow h_2$

$p_2 \rightarrow h_3$

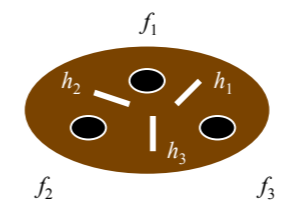
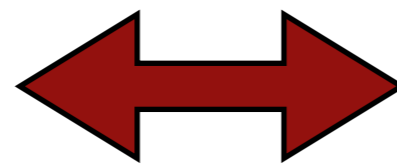
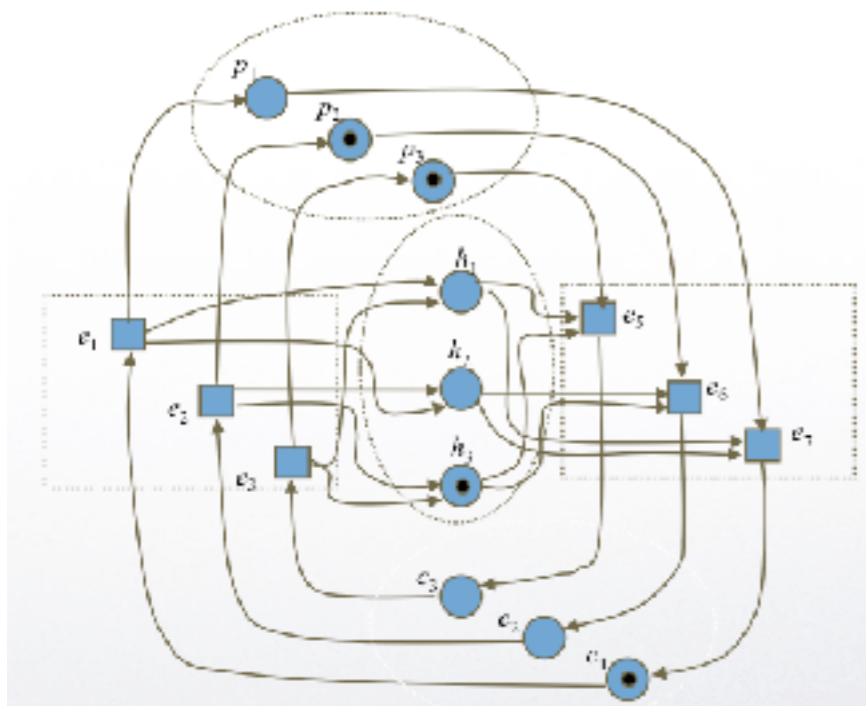
$p_3 \rightarrow h_1$

$w : P \rightarrow I$

$p_j \rightarrow j = (i) \bmod 3 + 1$



O dobramento leva de fato a uma rede mais compacta com um número menor de lugares e de transições. Entretanto, lembre que esta nova rede **NÃO PODE** ser separada das inscrições e tipos que a acompanham.



$$P = \{p_1, p_2, p_3\}$$

$$H = \{h_1, h_2, h_3\}$$

$$U = P \cup H$$

$$l : P \rightarrow H$$

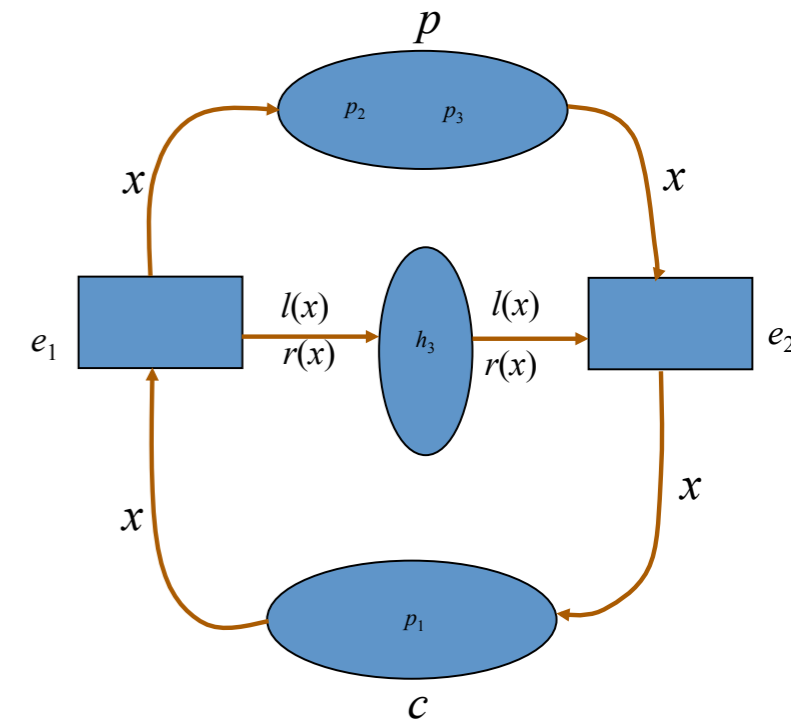
$$p_i \rightarrow h_i$$

$$r : P \rightarrow H$$

$$p_1 \rightarrow h_2$$

$$p_2 \rightarrow h_3$$

$$p_3 \rightarrow h_1$$



Fatoração

A este processo de exploração das simetrias de uma rede para produzir uma nova rede dinamicamente equivalente à anterior mas de tamanho menor dá-se o nome de fatoração.

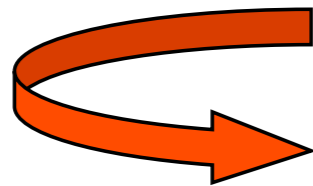
A rede resultante da fatoração é **chamada** de rede-quociente.

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 princípio da concorrência
- preserva o princípio da representação gráfica
- preserva o princípio da representação algébrica



Não saímos do domínio das redes de Petri

Referências

Seguiremos daqui em diante duas referências básicas: o artigo do Einar Smith, pertencente ao mesmo LNCS que contém o último curso de Redes de Petri dado pelos maiores pesquisadores da área, e a própria definição da rede de alto nível, segundo o padrão ISO/IEC 15.909-1 (ambos colocados no Moodle).

Smith, E.; Principles of High Level Nets, LNCS 1491, pp. 174-210.

ISO/IEC 15.909, Final Draft, v.4.7.1; High Level Nets: Concepts, Definitions and Graphical Notations, October, 2000.

Aplicações

- requirements analysis;
- development of specifications, designs and test suites;
- descriptions of existing systems prior to re-engineering;
- modelling business and software processes;
- providing the semantics for concurrent languages;
- simulation of systems to increase confidence;
- formal analysis of the behaviour of critical systems; and
- development of Petri net support tools.

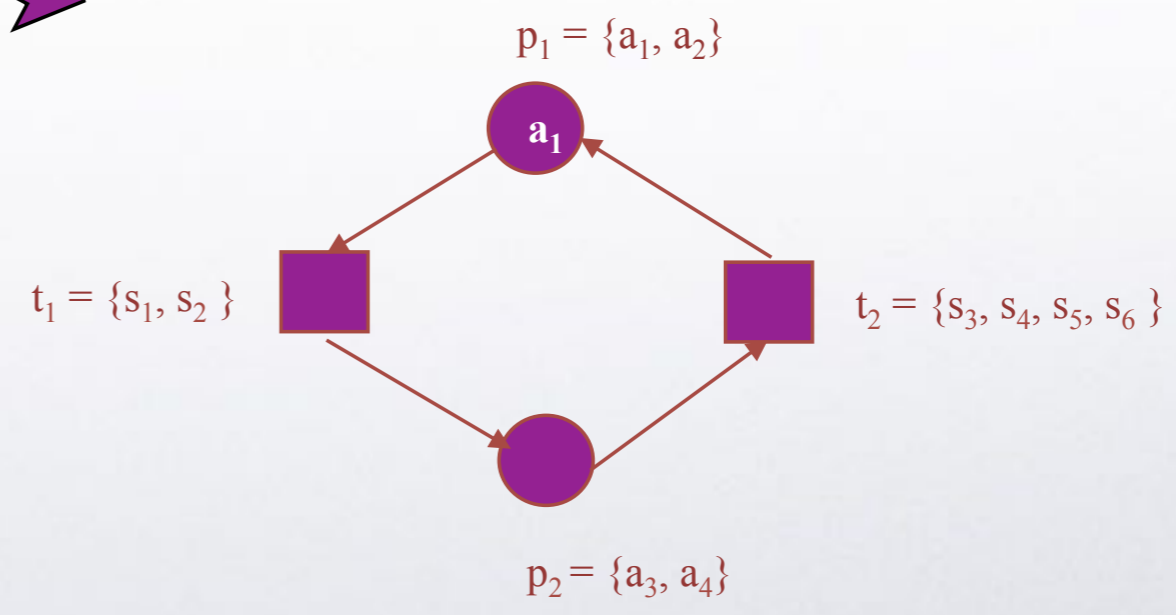
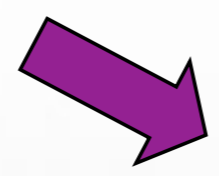
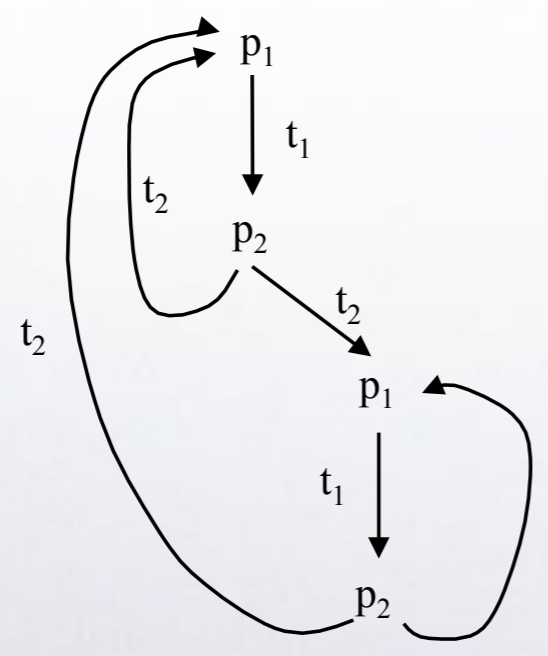
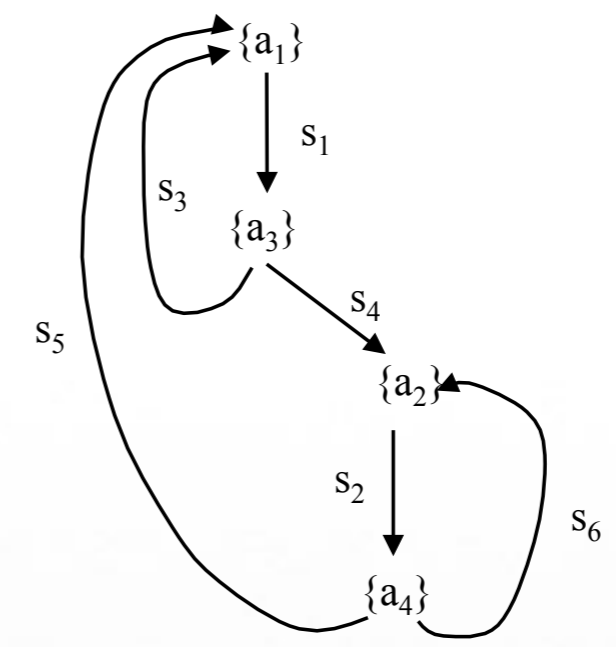
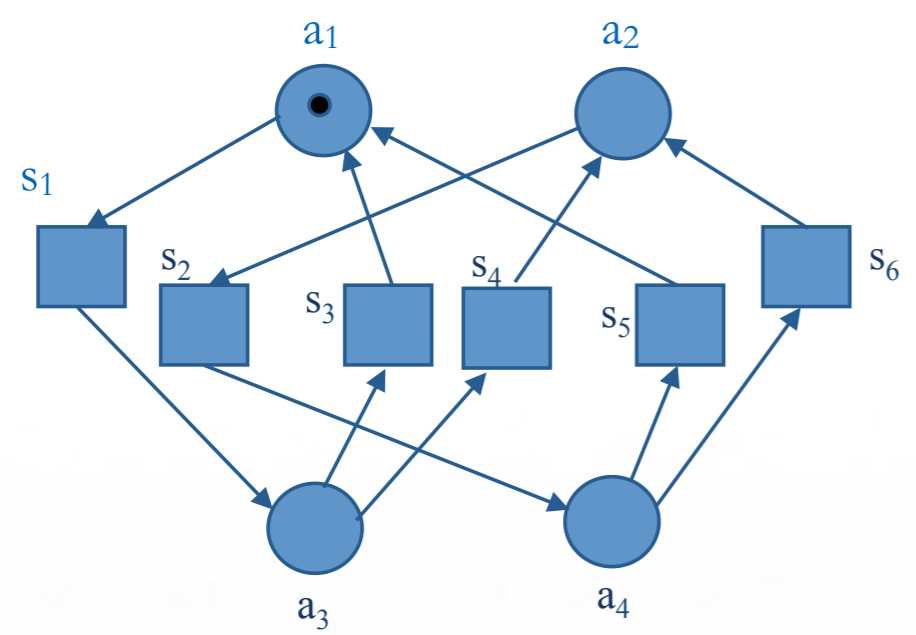
ISO/IEC 15.909, Final Draft, v.4.7.1; High Level Nets: Concepts, Definitions and Graphical Notations, October, 2000.

Fatoração: Novos desafios

A este processo de exploração das simetrias de uma rede para produzir uma nova rede dinamicamente equivalente à anterior mas de tamanho menor dá-se o nome de fatoração.

A rede resultante da fatoração é **chamada** de rede-quociente.





Formalmente,

Definition 34

Seja uma rede place/transition N e seja o seu domínio $X = P \cup T$. Existe uma equivalência ρ entre a rede N e sua rede quociente \bar{N} tal que:

i) $\forall x \in X, \exists \bar{x}$ que denota uma classe de equivalência $\{y \in X \mid x \rho y\}$.

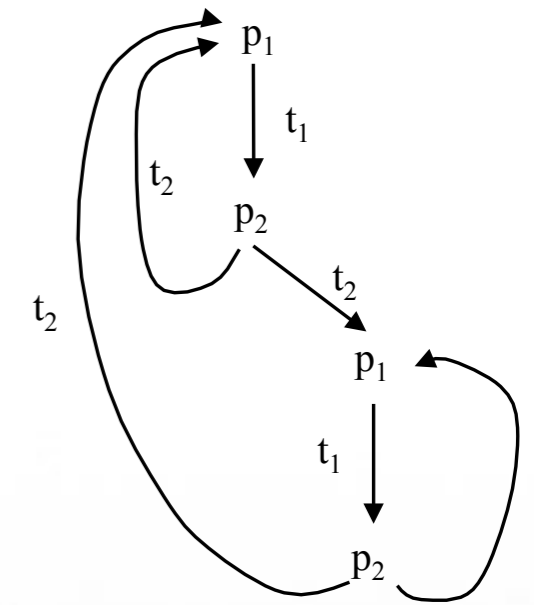
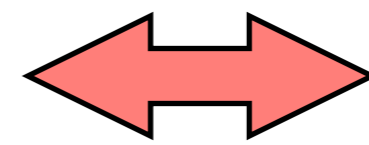
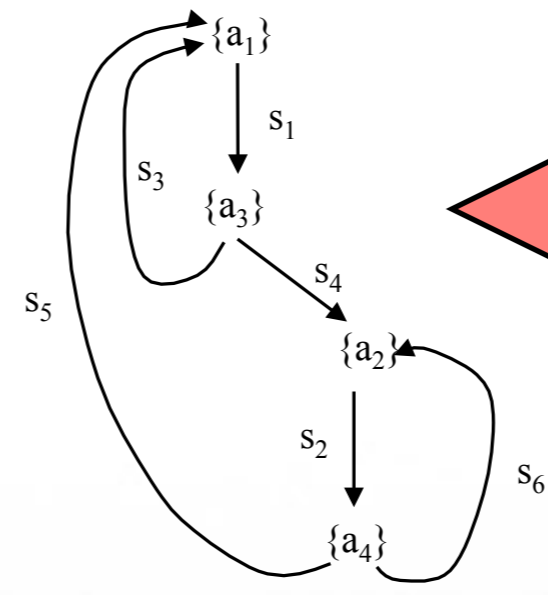
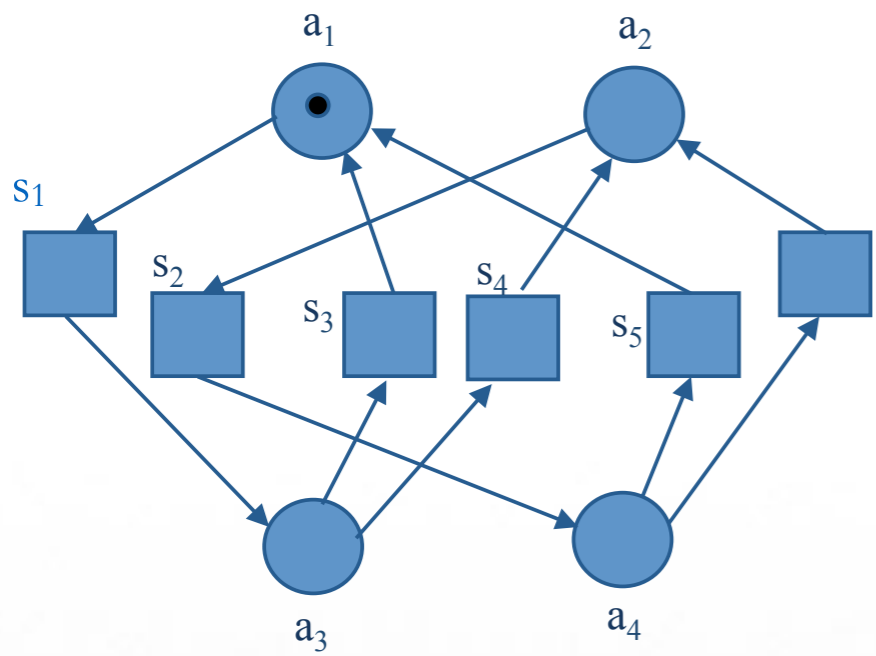
ii) Seja $Y \subseteq X$, então $\bar{Y} := \{\bar{x} \mid x \in Y\}$,

iii) ρ preserva o sort, isto é, $\rho \cap (P \times T) = \emptyset$,

iv) A relação de fluxo \bar{F} sobre o domínio \bar{X} é definida por,

$$\bar{x} \bar{F} \bar{y} \iff \exists x' \in \bar{x} \wedge \exists y' \in \bar{y} \mid x' F y'$$

v) Denota-se a nova rede $(\bar{P}, \bar{T}; \bar{F})$ de \bar{N} .

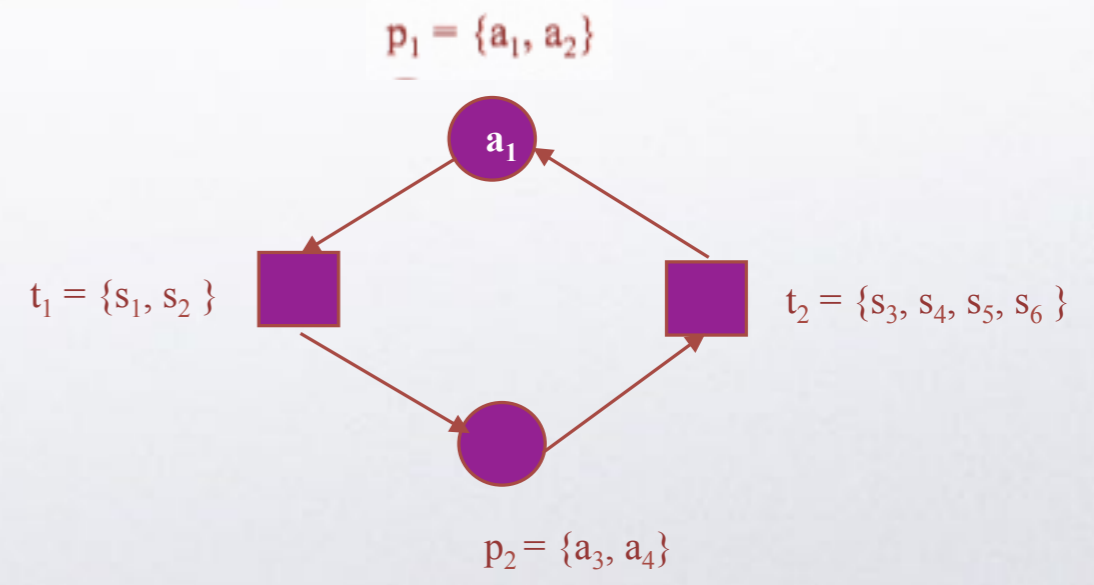


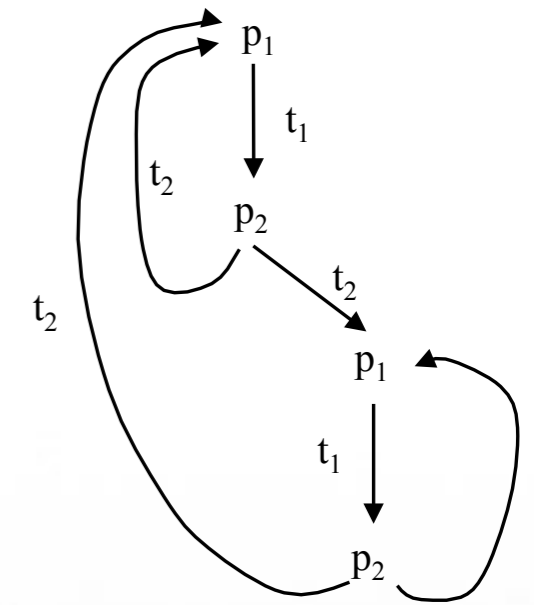
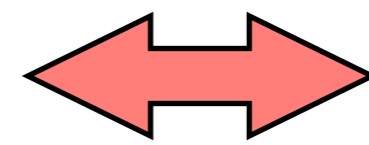
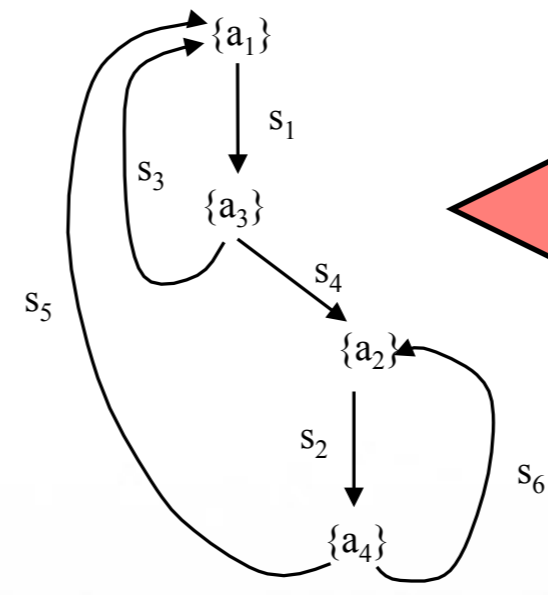
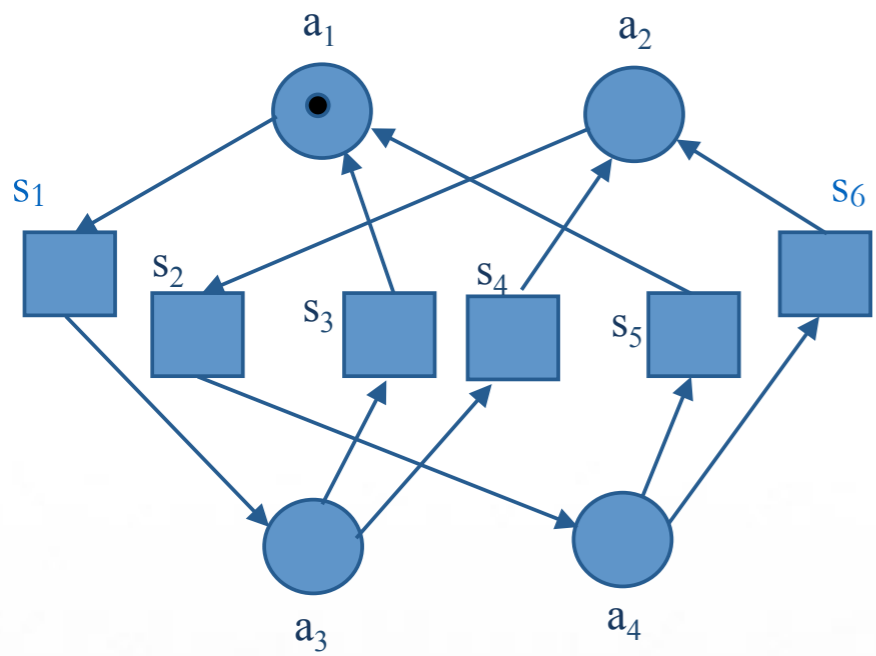
$$\rho : \bar{x}_1 = \{a_1, a_2\} \rightarrow p_1$$

$$\bar{x}_2 = \{a_3, a_4\} \rightarrow p_2$$

$$\bar{x}_3 = \{s_1, s_2\} \rightarrow t_1$$

$$\bar{x}_4 = \{s_3, s_4, s_5, s_6\} \rightarrow t_2$$





- $\rho: \bar{x}_1 = \{a_1, a_2\} \rightarrow p_1$
- $\bar{x}_2 = \{a_3, a_4\} \rightarrow p_2$
- $\bar{x}_3 = \{s_1, s_2\} \rightarrow t_1$
- $\bar{x}_4 = \{s_3, s_4, s_5, s_6\} \rightarrow t_2$
- $\bar{x} = \{x_i\}$

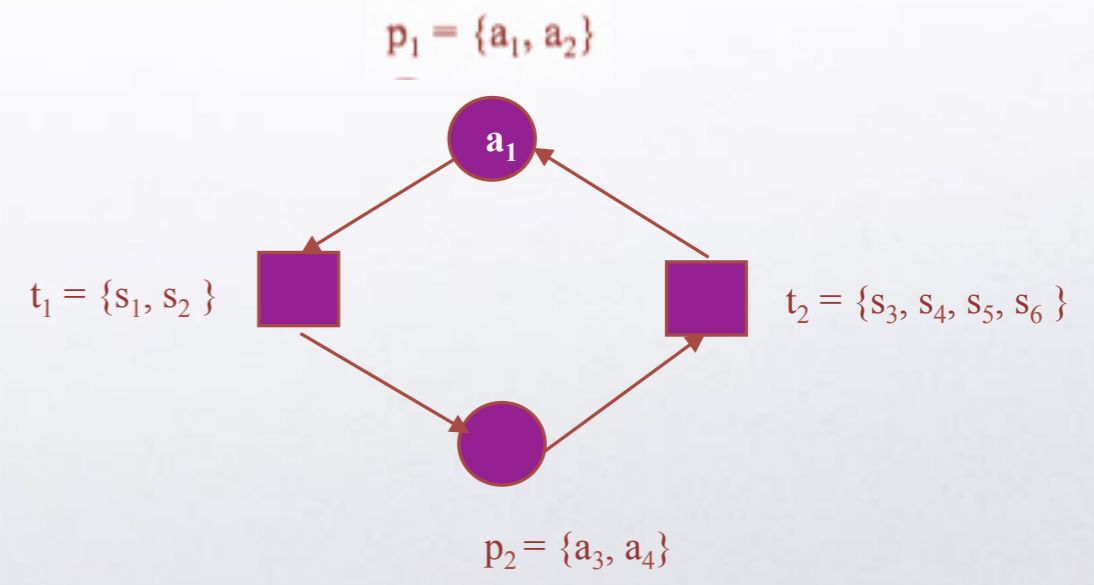


$$\rho: \mathbf{M}(\bar{x}) = \mathbf{M}\{x_i\}$$

$$\mathbf{M}(p_1) = \mu \mathbf{M}\{a_1, a_2\} = 1a_1$$

$$\mathbf{M}(p_2) = \mu \mathbf{M}\{a_3, a_4\} = 0$$

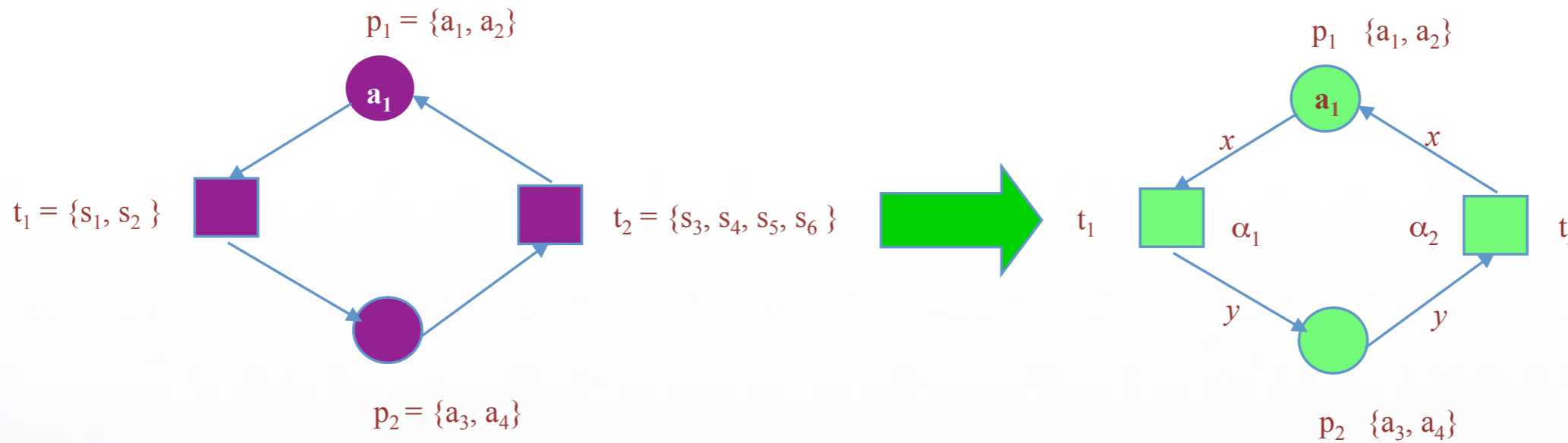
$$\bar{W}(p_1, t_1) = a_1 \vee a_2 = \bar{W}(t_1, p_2) = \bar{W}(p_2, t_2) = \bar{W}(t_2, p_1)$$



Definition 35

Seja uma rede P/T com estrutura N , $PT = (N, K, W, M_0)$. e uma bijeção (equivalência) ρ que preserva o sort. Chama-se rede quociente em relação a ρ ao sistema $\bar{P}\bar{T} = (\bar{N}, \bar{K}, \bar{W}, \bar{M}_0)$ que tem a mesma dinâmica que a rede original.

Basic High Level Net



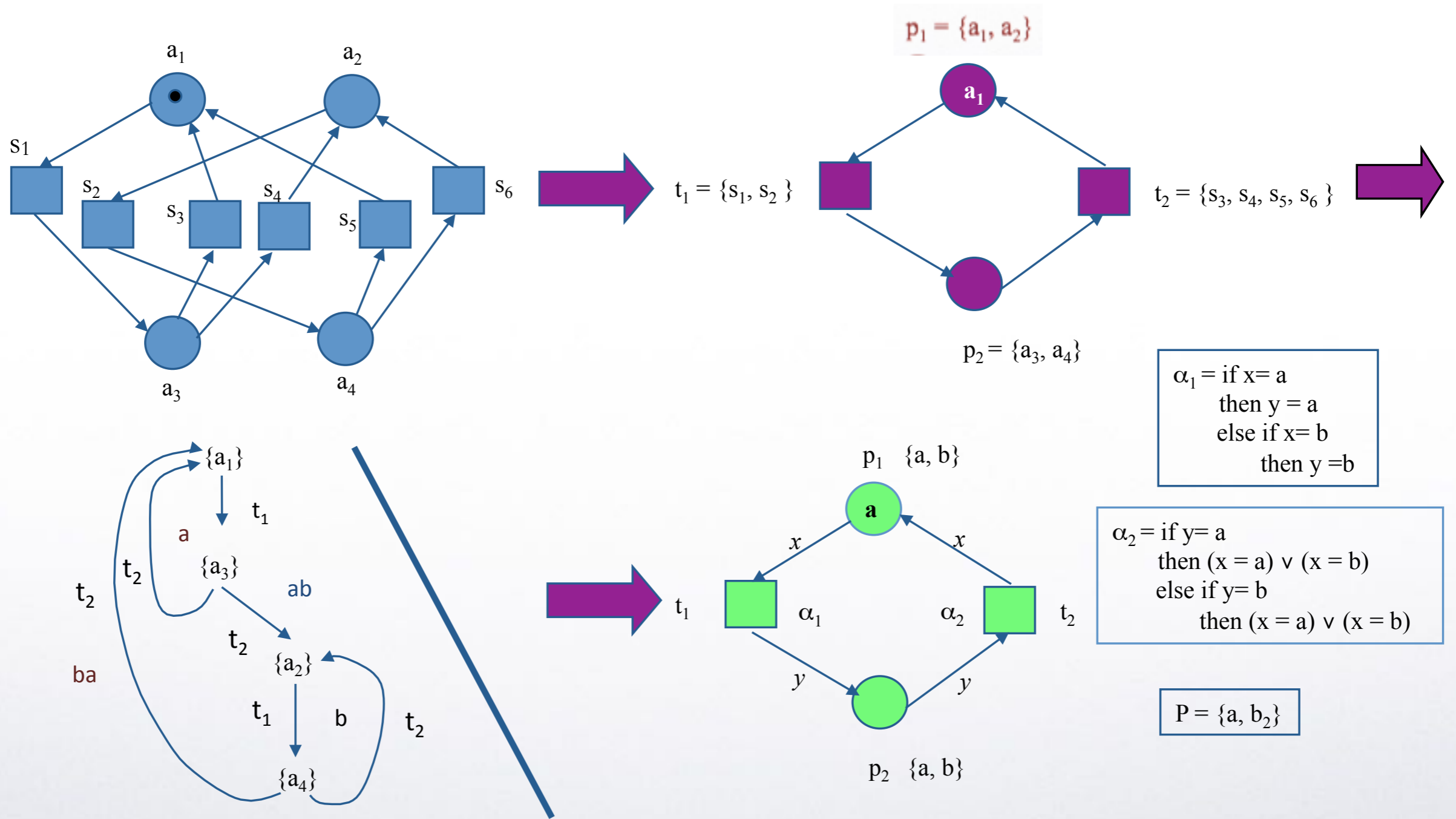
- lugares possuem marcas individualizadas
- transições ocorrem em diferentes modos restritos à regra de localidade (agir somente sobre o seu pre-set e pós-set)

Smith, E.; Principles of High Level Nets, LNCS, 1491, Springer Verlag, 1998.

$\alpha_1 =$ if $x = a_1$
 then $y = a_3$
 else if $x = a_2$
 then $y = a_4$

$\alpha_2 =$ if $y = a_3$
 then $(x = a_1) \vee (x = a_2)$
 else if $y = a_4$
 then $(x = a_1) \vee (x = a_2)$

$P = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$



ISO/IEC 15.909

Def.36] Uma rede de Petri de alto nível, HLPN é uma estrutura dada pela n-upla $HLPN=(P,T,D;Time,Pre,Post,M_0)$ onde:

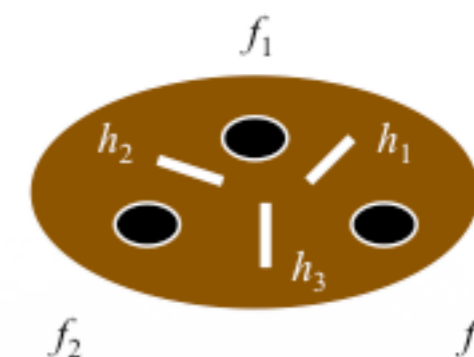
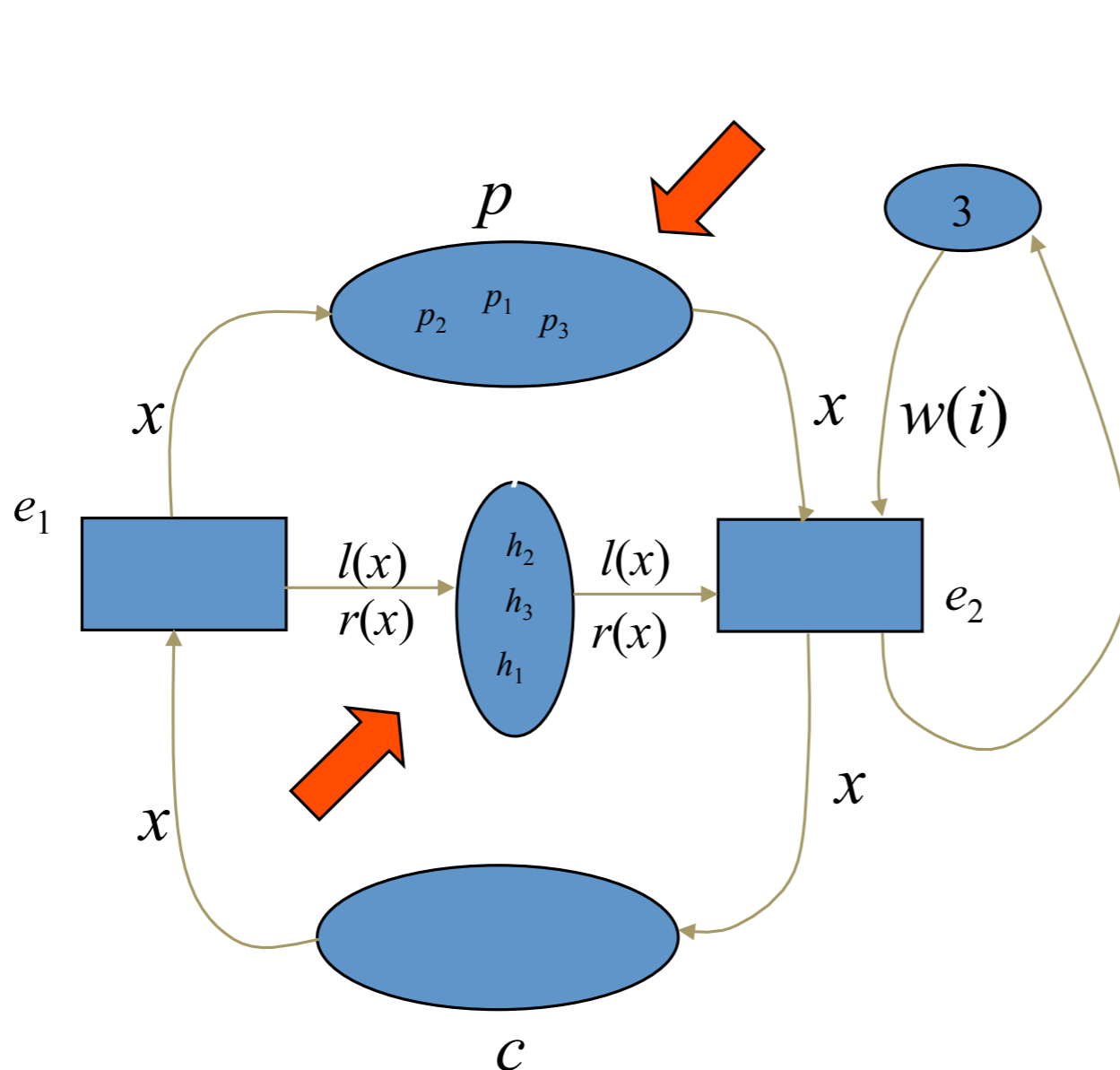
- P é um conjunto finito de elementos chamados lugares;
- T é um conjunto finito de elementos chamados transições;
- D é um conjunto finito, não-vazio, de domínios ou tipos;
- $Pre, Post: TRANS \rightarrow \mu PLACE$, onde

$$TRANS=\{(t,m) \mid t \in T, m \in Type(t)\}$$

$$PLACE=\{(p,g) \mid p \in P, g \in Type(p)\}$$

- $M_0 \in \mu PLACE$ é o multiset que denota a marcação inicial da rede.

Representação da marcação e multisetsets



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

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 $1`a + 2`c + 2`f + 1`g$

As alternativas

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

- Redes estendidas

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

Sincronização de
processos
concorrentes

Definição de Tipos
Manipulação
Sintaxe

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



Kurt Jensen
Univ. of Ahrus, Demark

An Introduction to the Practical Use of Coloured Petri Nets

Kurt Jensen

Department of Computer Science, University of Aarhus
Ny Munkegade, Bldg. 540, DK-8000 Aarhus C, Denmark

Phone: +45 89 42 32 34, Telefax: +45 89 42 32 55

E-mail: kjensen@daimi.aau.dk, WWW: <http://www.daimi.aau.dk/~kjensen/>

Abstract: The development of Coloured Petri Nets (CP-nets or CPN) has been driven by the desire to develop a modelling language – at the same time theoretically well-founded and versatile enough to be used in practice for systems of the size and complexity found in typical industrial projects. To achieve this, we have combined the strength of Petri nets with the strength of programming languages. Petri nets provide the primitives for describing synchronisation of concurrent processes, while programming languages provide the primitives for definition of data types and manipulation of their data values.

The paper focuses on the practical use of Coloured Petri Nets. It introduces the basic ideas behind the CPN language, and it illustrates how CPN models can be analysed by means of simulation, state spaces and condensed state spaces. The paper

Fim