

# Identificação de um Sistema de Manufatura Didático



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  
Escola Politécnica

Rafael Accácio Nogueira

Email: [raccacio@poli.ufrj.br](mailto:raccacio@poli.ufrj.br)

19 de Julho de 2019

# Sumário

---

1 Introdução

2 Identificação

3 Projeto do Controlador a Eventos discretos

4 Sistema de Manufatura Didático

5 Modelo Identificado

6 Conclusões

Falar o sumário



# Sumário

---

## 1 Introdução



## Motivação

---

- Maior parte da produção de bens é industrializada

Parafraseando DAVIS e HAMSCHER



## Motivação

---

- Maior parte da produção de bens é industrializada
- Falhas no processo → Interrupção na produção

Parafraseando DAVIS e HAMSCHER



## Motivação

---

- Maior parte da produção de bens é industrializada
- Falhas no processo → Interrupção na produção
- Interrupção na produção = prejuízo

Parafraseando DAVIS e HAMSCHER



## Motivação

---

- Maior parte da produção de bens é industrializada
- Falhas no processo → Interrupção na produção
- Interrupção na produção = prejuízo
- Solução: Detecção de falha

Parafraseando DAVIS e HAMSCHER



## Motivação

---

- Maior parte da produção de bens é industrializada
- Falhas no processo → Interrupção na produção
- Interrupção na produção = prejuízo
- Solução: Detecção de falha
- [Davis and Hamscher, 1988]: Conhecer como deveria funcionar para determinar porque não está funcionando.

Parafraseando DAVIS e HAMSCHER





## Objetivo

---

- Modelar sistema a eventos discretos por identificação com detecção de falhas como fim.

objetivo desse trabalho é mostrar um método de modelagem por identificação.



## Objetivo

---

- Modelar sistema a eventos discretos por identificação com detecção de falhas como fim.
- Apresentar método da concepção do controle do sistema à identificação

objetivo desse trabalho é mostrar um método de modelagem por identificação.



# Sumário

---

## 2 Identificação



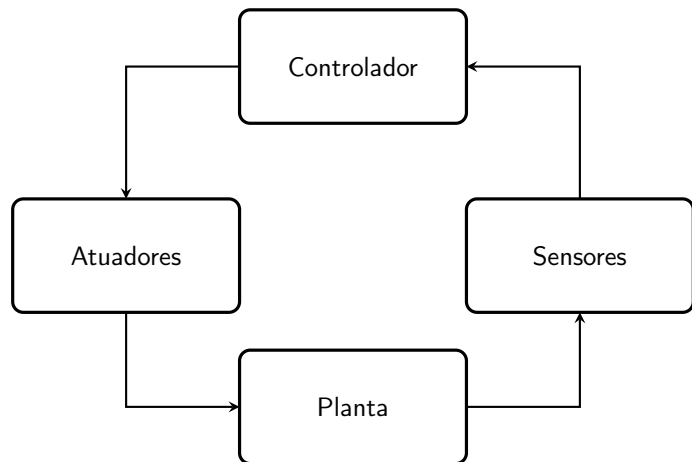
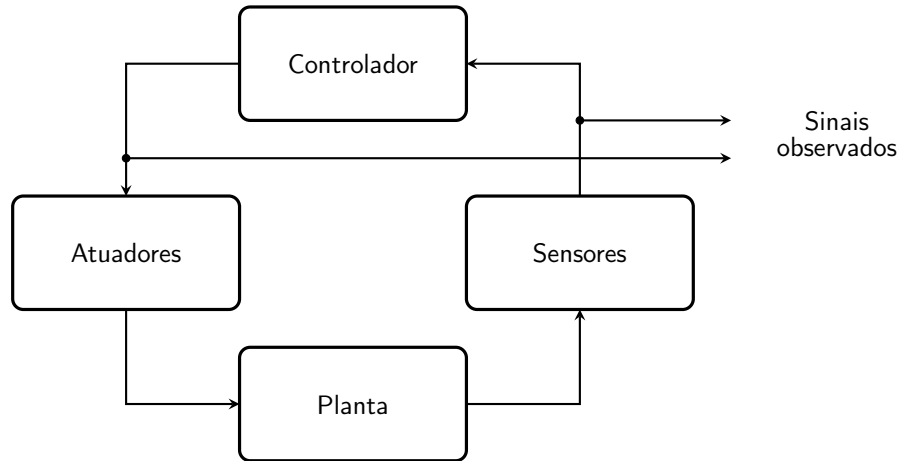


Figura 1: Sinais Observados de um sistema em malha fechada.

- Caixa preta, não se conhece a planta
- Observar sinais de entrada e saída do controlador
- criar modelo a partir deles





- Caixa preta, não se conhece a planta
- Observar sinais de entrada e saída do controlador
- criar modelo a partir deles

Figura 1: Sinais Observados de um sistema em malha fechada.



## Vetores de Entrada/Saída

$$\mathbf{u}(t_1) = [i_1(t_1) \quad \dots \quad i_{m_i}(t_1) \quad o_1(t_1) \quad \dots \quad o_{m_o}(t_1)]^T$$

- armazenar os vetores de entrada e usar para gerar a linguagem do modelo
- a linguagem produzida pelo modelo deve ser o mais similar possível a linguagem original do sistema



## Relação entre Linguagens

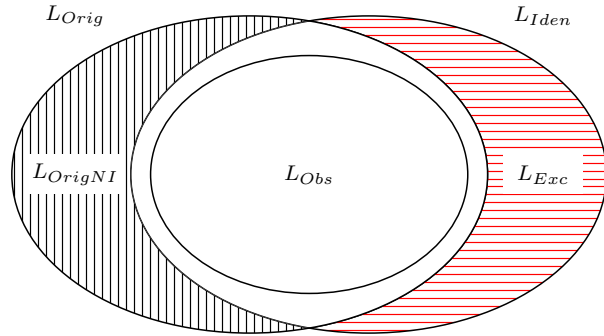


Figura 2: Relação entre  $L_{Orig}$ ,  $L_{OrigNI}$ ,  $L_{Obs}$ ,  $L_{Exc}$  e  $L_{Ide}$

- Linguagem original do sistema, Linguagem observada e Linguagem identificada
- preta A parte do sistema original que não foi identificada, gera falsos alarmes já que o que foi considerado uma falha pode estar presente na linguagem original do sistema mas não ter sido identificado
- vermelha corresponde a parte identificada que não está presente na linguagem original, gera falhas não detectadas
- objetivo é minimizar as duas áreas

## Relação de Linguagens

---

- $L_{Orig}$  não é conhecida

- 1.
2. Se o sistema for observado tempo o suficiente existe um número  $n_0$  para o qual o conjunto das sequências de eventos de comprimento menor que  $n_0$  das linguagem observada e original são aproximadamente iguais
3. Neste trabalho supomos que todos eventos
- 4.
5. Modelo que utiliza índice de caminhos para reduzir a linguagem excedente, comparando com outros modelos da literatura





## Relação de Linguagens

---

- $L_{Orig}$  não é conhecida  $\rightarrow$  minimizar  $L_{OrigNI}$

- 1.
2. Se o sistema for observado tempo o suficiente existe um número  $n_0$  para o qual o conjunto das sequências de eventos de comprimento menor que  $n_0$  das linguagem observada e original são aproximadamente iguais
3. Neste trabalho supomos que todos eventos
- 4.
5. Modelo que utiliza índice de caminhos para reduzir a linguagem excedente, comparando com outros modelos da literatura



## Relação de Linguagens

---

- $L_{Orig}$  não é conhecida  $\rightarrow$  minimizar  $L_{OrigNI}$
- Klein et al. [2005]:  $\exists n_0 \in \mathbb{N}$  no qual  $L_{Orig}^{\leq n_0} \setminus L_{Obs}^{\leq n_0} \approx \emptyset$

- 1.
2. Se o sistema for observado tempo o suficiente existe um número  $n_0$  para o qual o conjunto das sequências de eventos de comprimento menor que  $n_0$  das linguagem observada e original são aproximadamente iguais
3. Neste trabalho supomos que todos eventos
- 4.
5. Modelo que utiliza índice de caminhos para reduzir a linguagem excedente, comparando com outros modelos da literatura



## Relação de Linguagens

- $L_{Orig}$  não é conhecida  $\rightarrow$  minimizar  $L_{OrigNI}$
- Klein et al. [2005]:  $\exists n_0 \in \mathbb{N}$  no qual  $L_{Orig}^{\leq n_0} \setminus L_{Obs}^{\leq n_0} \approx \emptyset$   
Considerando que  $L_{Obs} \subseteq L_{Iden}$  então  $L_{OrigNI}^{\leq n_0} \approx \emptyset$

- 1.
2. Se o sistema for observado tempo o suficiente existe um número  $n_0$  para o qual o conjunto das sequências de eventos de comprimento menor que  $n_0$  das linguagem observada e original são aproximadamente iguais
3. Neste trabalho supomos que todos eventos
- 4.
5. Modelo que utiliza índice de caminhos para reduzir a linguagem excedente, comparando com outros modelos da literatura



## Relação de Linguagens

- $L_{Orig}$  não é conhecida  $\rightarrow$  minimizar  $L_{OrigNI}$
- Klein et al. [2005]:  $\exists n_0 \in \mathbb{N}$  no qual  $L_{Orig}^{\leq n_0} \setminus L_{Obs}^{\leq n_0} \approx \emptyset$   
Considerando que  $L_{Obs} \subseteq L_{Iden}$  então  $L_{OrigNI}^{\leq n_0} \approx \emptyset$
- Suposição: Todas sequências de eventos com comprimento  $n_0 + 1$  são observados

- 1.
2. Se o sistema for observado tempo o suficiente existe um número  $n_0$  para o qual o conjunto das sequências de eventos de comprimento menor que  $n_0$  das linguagem observada e original são aproximadamente iguais
3. Neste trabalho supomos que todos eventos
- 4.
5. Modelo que utiliza índice de caminhos para reduzir a linguagem excedente, comparando com outros modelos da literatura



## Relação de Linguagens

- $L_{Orig}$  não é conhecida  $\rightarrow$  minimizar  $L_{OrigNI}$
- Klein et al. [2005]:  $\exists n_0 \in \mathbb{N}$  no qual  $L_{Orig}^{\leq n_0} \setminus L_{Obs}^{\leq n_0} \approx \emptyset$   
Considerando que  $L_{Obs} \subseteq L_{Iden}$  então  $L_{OrigNI}^{\leq n_0} \approx \emptyset$
- Suposição: Todas sequências de eventos com comprimento  $n_0 + 1$  são observados
- Modelo identificado deve reduzir  $L_{Exc}$

- 1.
2. Se o sistema for observado tempo o suficiente existe um número  $n_0$  para o qual o conjunto das sequências de eventos de comprimento menor que  $n_0$  das linguagem observada e original são aproximadamente iguais
3. Neste trabalho supomos que todos eventos
- 4.
5. Modelo que utiliza índice de caminhos para reduzir a linguagem excedente, comparando com outros modelos da literatura



## Relação de Linguagens

- $L_{Orig}$  não é conhecida  $\rightarrow$  minimizar  $L_{OrigNI}$
- Klein et al. [2005]:  $\exists n_0 \in \mathbb{N}$  no qual  $L_{Orig}^{\leq n_0} \setminus L_{Obs}^{\leq n_0} \approx \emptyset$   
Considerando que  $L_{Obs} \subseteq L_{Iden}$  então  $L_{OrigNI}^{\leq n_0} \approx \emptyset$
- Suposição: Todas sequências de eventos com comprimento  $n_0 + 1$  são observados
- Modelo identificado deve reduzir  $L_{Exc}$
- Moreira and Lesage [2018] apresentam modelo  
Derministic Automaton with Outputs and Conditional Transitions (DAOCT)

- 1.
2. Se o sistema for observado tempo o suficiente existe um número  $n_0$  para o qual o conjunto das sequências de eventos de comprimento menor que  $n_0$  das linguagem observada e original são aproximadamente iguais
3. Neste trabalho supomos que todos eventos
- 4.
5. Modelo que utiliza índice de caminhos para reduzir a linguagem excedente, comparando com outros modelos da literatura



## Definição (DAOCT)

$$DAOCT = (X, \Sigma, f, \lambda, R, \theta, x_0, X_f)$$

$X$  conjunto de **estados**

$\Sigma$  conjunto de **eventos**

$\Omega \subset \mathbb{N}_1^{m_i+m_o}$  conjunto de **vetores E/S**

$f : X \times \Sigma^* \rightarrow X$  função de **transição determinística**

$\lambda : X \rightarrow \Omega$  função de **saídas do estado**

$R = 1, 2, \dots, r$  conjunto de **índices dos caminhos**

$\theta : X \times \Sigma \rightarrow 2^R$  função de **estimação de caminho**

$x_0$  **estado inicial**

$X_f \subseteq X$  conjunto de **estados finais**

1. usa sequências de vetores de entrada e saídas e eventos, denominados caminhos



## Caminhos Observados

$$\begin{aligned} p_1 &= \left( \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, a, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, c, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, d, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, e, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right) \\ p_2 &= \left( \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, g, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, h, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, c, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, i, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, j, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, l, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right) \\ p_3 &= \left( \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, g, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, h, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, i, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, m, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, d, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, n, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \right) \end{aligned}$$

- Os caminhos são formados por vetores e eventos, provindos de um mesmo estado inicial.
- Os eventos caracterizam a mudança do vetor E/S, exemplo a bordo de subida de 1 ...
- os caminhos podem ser cíclicos (mostrar caminho 1 ) ou não (caminho 3). E dentro deles podem haver ciclos também como caminho 2.
- Contudo, nem sempre é possível conhecer bons caminhos, as vezes é preciso extrair de uma sequencia de entradas e saídas.





## Caminhos Observados

$$p_1 = \left( \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, a, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, c, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, d, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, e, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$p_2 = \left( \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, g, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, h, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, c, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, i, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, j, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, l, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$p_3 = \left( \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, g, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, h, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, i, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, m, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, d, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, n, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$a = \uparrow 2, b = \downarrow 1 \uparrow 3, \dots$$

- Os caminhos são formados por vetores e eventos, provindos de um mesmo estado inicial.
- Os eventos caracterizam a mudança do vetor E/S, exemplo a bordo de subida de 1 ...
- os caminhos podem ser cíclicos (mostrar caminho 1 ) ou não (caminho 3). E dentro deles podem haver ciclos também como caminho 2.
- Contudo, nem sempre é possível conhecer bons caminhos, as vezes é preciso extrair de uma sequencia de entradas e saídas.



## Obtenção de Caminhos

---

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \dots$$

- Como usa-se uma abordagem de caixa-preta e os caminhos não são conhecidos, eles são extraídos do csv da seguinte forma.
- Consideramos a seguinte sequência vinda da observação do sistema
- o primeiro vetor é considerado o inicial e toda vez que se repete um novo caminho é gerado



## Obtenção de Caminhos

---

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \dots$$


- Como usa-se uma abordagem de caixa-preta e os caminhos não são conhecidos, eles são extraídos do csv da seguinte forma.
- Consideramos a seguinte sequência vinda da observação do sistema
- o primeiro vetor é considerado o inicial e toda vez que se repete um novo caminho é gerado



## Obtenção de Caminhos

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \dots$$

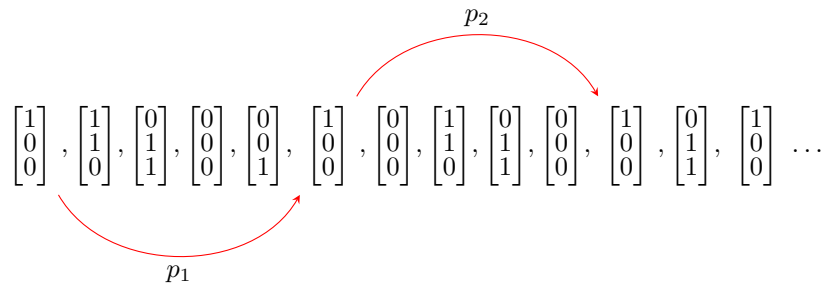
$p_1$



- Como usa-se uma abordagem de caixa-preta e os caminhos não são conhecidos, eles são extraídos do csv da seguinte forma.
- Consideramos a seguinte sequência vinda da observação do sistema
- o primeiro vetor é considerado o inicial e toda vez que se repete um novo caminho é gerado



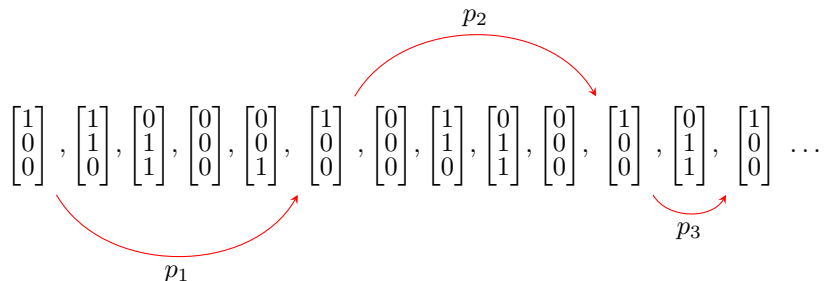
## Obtenção de Caminhos



- Como usa-se uma abordagem de caixa-preta e os caminhos não são conhecidos, eles são extraídos do csv da seguinte forma.
- Consideramos a seguinte sequência vinda da observação do sistema
- o primeiro vetor é considerado o inicial e toda vez que se repete um novo caminho é gerado



## Obtenção de Caminhos



- Como usa-se uma abordagem de caixa-preta e os caminhos não são conhecidos, eles são extraídos do csv da seguinte forma.
- Consideramos a seguinte sequência vinda da observação do sistema
- o primeiro vetor é considerado o inicial e toda vez que se repete um novo caminho é gerado



## Caminhos Modificados

---

$$p_i^k = (y_{i,1}, \sigma_{i,1}, y_{i,2}, \sigma_{i,2}, \dots, \sigma_{i,l_i-1}, y_{i,l_i}) \quad (1)$$

onde

$$y_{i,j} = \begin{cases} (\mathbf{u}_{i,j-k+1}, \dots, \mathbf{u}_{i,j}), & \text{if } k \leq j \leq l_i \\ (\mathbf{u}_{i,1}, \dots, \mathbf{u}_{i,j}), & \text{if } j < k \end{cases} \quad (2)$$

Para diferenciar cada vetor é criada a variável livre  $k$ , que é usada para armazenar os  $k-1$  vetores anteriores gerando caminhos modificados usando a seguinte fórmula



## Caminhos Modificados

- $k = 2$

$$p_1 = \left( \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, a, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, c, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, d, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, e, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$p_1^2 = \left( \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, a, \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, c, \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, d, \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, e, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \right)$$

Como que para  $k = 1$  são armazenados 0 vetores anteriores, o modificado é igual o observado.





## Caminhos Modificados

- $k = 2$

$$p_1 = \left( \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, a, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, c, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, d, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, e, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$p_1^2 = \left( \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, a, \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, c, \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, d, \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, e, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \right)$$

Como que para  $k = 1$  são armazenados 0 vetores anteriores, o modificado é igual o observado.



## Caminhos Modificados

- $k = 2$

$$p_1 = \left( \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, a, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, c, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, d, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, e, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$p_1^2 = \left( \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, a, \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, c, \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, d, \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, e, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \right)$$

Como que para  $k = 1$  são armazenados 0 vetores anteriores, o modificado é igual o observado.



## Caminhos Modificados

- $k = 2$

$$p_1 = \left( \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, a, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, c, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, d, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, e, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$p_1^2 = \left( \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, a, \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, c, \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, d, \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, e, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \right)$$

Como que para  $k = 1$  são armazenados 0 vetores anteriores, o modificado é igual o observado.



## Caminhos Modificados

•  $k = 2$

$$p_1^2 = \left( \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, a, \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, c, \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, d, \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, e, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$p_2^2 = \left( \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, g, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, h, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, c, \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, i, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, j, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, l, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$p_3^2 = \left( \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, g, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, h, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, i, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, m, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, d, \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, n, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \right)$$

14 vetores únicos enquanto no original com  $k = 1$  só existem 6



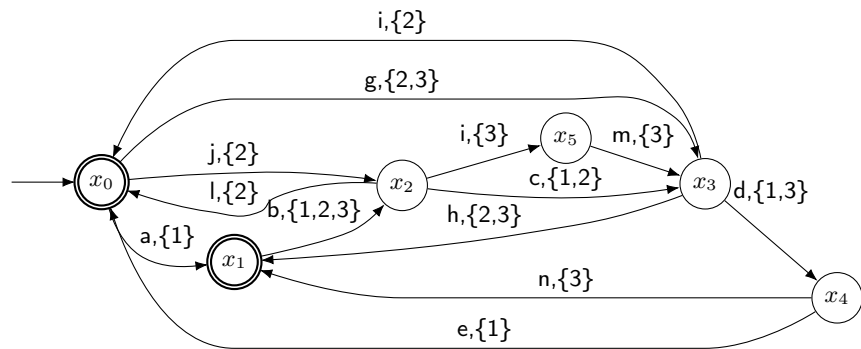
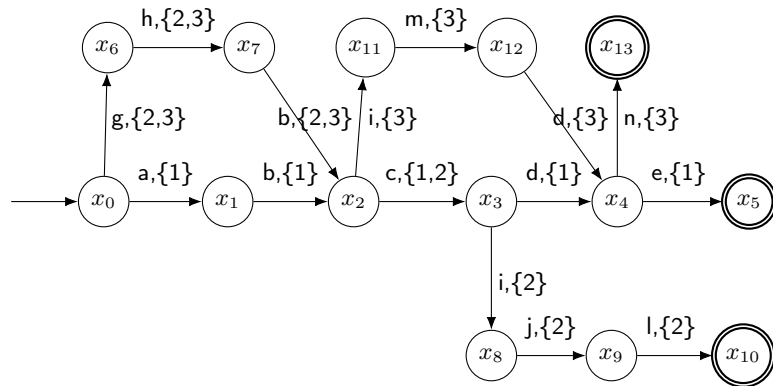


Figura 3: Diagrama de transição de estados para  $k = 1$ .





em geral aumentam o número de estados e diminuem os ciclos

Figura 4: Diagrama de transição de estados para  $k = 2$ .



# Sumário

---

## 3 Projeto do Controlador a Eventos discretos



# Projeto do Controlador a Eventos discretos

---

## 1. Projetar o controle





## Projeto do Controlador a Eventos discretos

---

1. Projetar o controle
2. Implementar o Controle



## Projeto do Controlador a Eventos discretos

---

1. Projetar o controle
2. Implementar o Controle PLC - Ladder



## Exemplo de Sistema

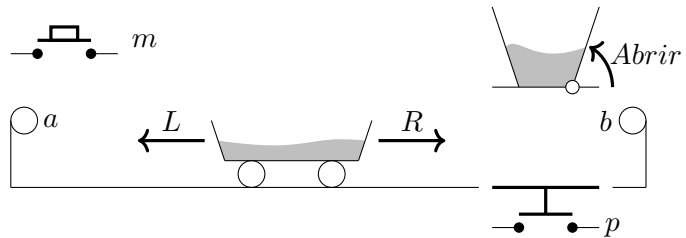


Figura 5: Exemplo de sistema a ser controlado.



## Rede de Petri Interpretada para Controle

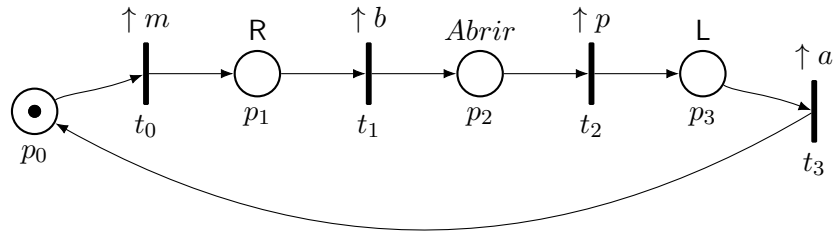
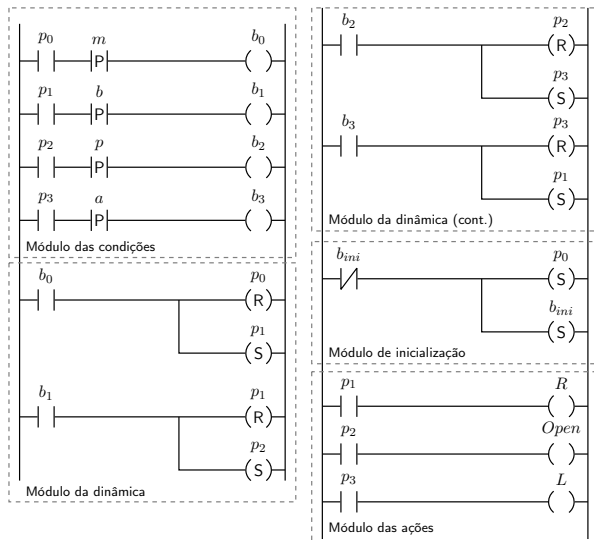


Figura 6: Exemplo de Rede de Petri interpretada para controle.



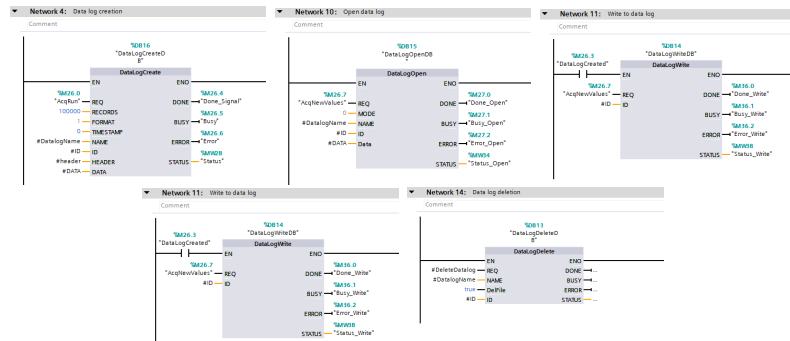


método demonstrado por MOREIRA e BASILIO (2013)

Figura 7: Rede de Petri do exemplo implementada em Ladder.



# Datalog



Uma vez implementado o controle no PLC, é feita a observação. PLC Siemens possui os blocos funcionais mostrados para gravar os dados num arquivo csv.

Explicar cada bloco

Figura 8: Blocos Funcionais para gravação de dados.





# Sumário

---

## 4 Sistema de Manufatura Didático





## Sistema de Manufatura Didático

---



Figura 10: Metades de cubo.

Consiste em montar e estocar cubos formados por metades de metal e plástico branco.



## Sistema de Manufatura Didático

---



Figura 11: Funcionamento da Planta.

3 ações básicas: Selecionar as peças, prensar e estocar. Consiste em montar e estocar cubos formados por metades de metal e plástico branco.

# Planta

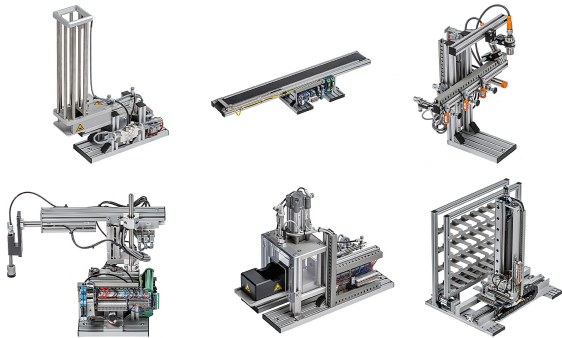


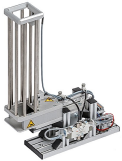
Figura 12: Módulos da Planta.

- essa imagem mostra os módulos do sistema. (comentar brevemente)
- devido a forma que foi montado, foi separado em dois PLCs da seguinte forma
- A seguir um exemplo simples da implementação da rede de petri em múltiplos plc's

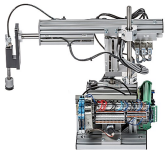


# Planta

---



PLC 1



PLC 2

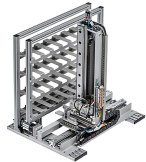
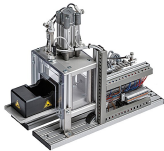


Figura 12: Módulos da Planta.

- essa imagem mostra os módulos do sistema. (comentar brevemente)
- devido a forma que foi montado, foi separado em dois PLCs da seguinte forma
- A seguir um exemplo simples da implementação da rede de petri em múltiplos plc's



## Rede de Petri implementada em múltiplos PLCs

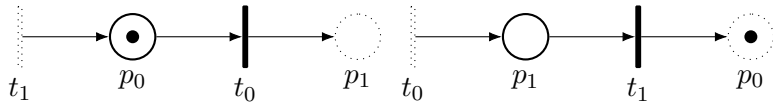
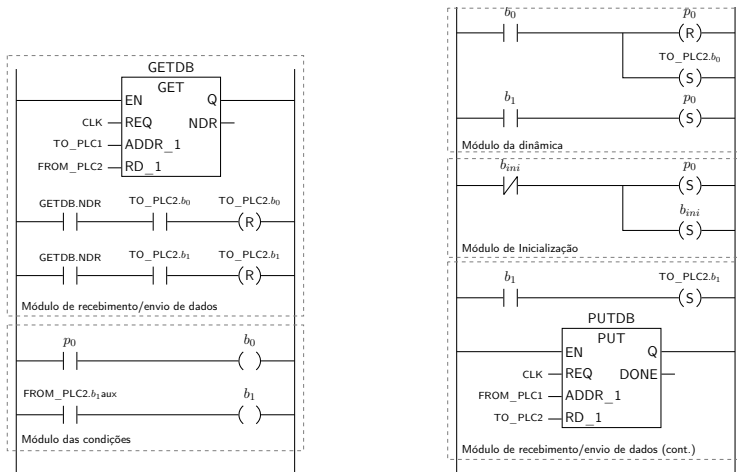


Figura 13: Rede de Petri - PLC 1. Figura 14: Rede de Petri - PLC 2.

Os lugares e transições tracejadas indicam que pertencem a outra parte da rede



## Rede de Petri implementada em múltiplos PLCs



1. Foi usada técnica de mestre/escravo. PLC 1 é o mestre que recebe a informação dos outros e ao fim do seu ciclo retorna informação para os outros PLCs
2. A parte de dinâmica é implementada da mesma forma que mostrada anteriormente
3. são adicionados 2 módulos, para comunicação
4. usando blocos de comunicação get and put da seguinte forma
5. o Bloco get pega os valores de uma area de memória do outro PLC e coloca numa área de memória do próprio PLC. E o put para colocar alterar variáveis numa área de memória de outro PLC.
6. foram criados blocos de dados para parrear esses dados, como FROMPLC1, FROMPLC2, TOPLC2 e TOPLC1

Figura 15: Diagrama Ladder de Rede de Petri no PLC 1.



## Rede de Petri implementada em múltiplos PLCs

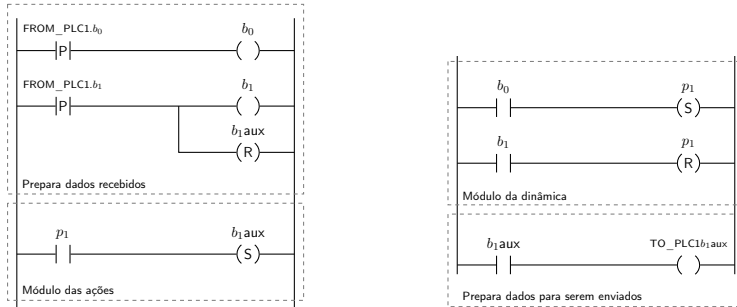


Figura 16: Diagrama Ladder de Rede de Petri no PLC 2.

1. A parte de dinâmica é implementada da mesma forma que mostrada anteriormente
2. é adicionado um módulos, para preparar os dados para serem enviados.
3. Dados são copiados para não causar escrita inesperada durante o ciclo de varredura



# Sumário

---

## 5 Modelo Identificado





## Observação

---

- 2 horas
- 4.5 ciclos ~ 120 cubos montados e empilhados
- 65 Entradas e Saídas
- 19751 vetores registrados
- 1321 vetores únicos



## Modelo Identificado

- 2 caminhos

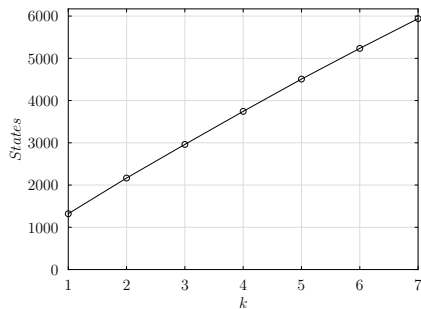


Figura 17: Variação de número de estados em relação ao valor de  $k$ .

- usando o método de obtenção de caminhos foram encontrados 2 caminhos.
- pode ser explicado ao fato de ter comportamento concorrente no sistema, o que torna raro de voltarem ao mesmo estado inicial.
- mas também mostra que o sistema não foi observado por tempo suficiente. O que mostra que seria necessária a observação durante muitas horas e talvez dias.
- No gráfico vemos o aumento de estados com o valor de  $k$



## Modelo Identificado

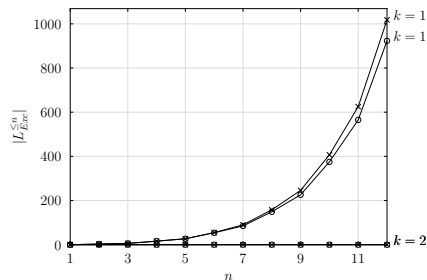


Figura 18: Linguagens Excedentes - DAOCT (o), NDAAO (x).

- Ndaao não usa os índices dos caminhos. Como poucos caminhos foram encontrados não aparenta uma diferença tão significativa entre os modelos encontrados.
- Comparando o modelo daoct encontrado com NDAAO, que é outro modelo de identificação, vemos que daoct tem menor linguagem excedente



- Verificar comportamento ao trocar vetor inicial

- Fazer um experimento, trocar o vetor inicial para comparar o comportamento



- Verificar comportamento ao trocar vetor inicial
- Escolhido o vetor com maior incidência

- Fazer um experimento, trocar o vetor inicial para comparar o comportamento



- Verificar comportamento ao trocar vetor inicial
- Escolhido o vetor com maior incidência
- Descartam-se todos vetores anteriores a primeira incidência desse vetor

- Fazer um experimento, trocar o vetor inicial para comparar o comportamento



## Observação - Arquivo modificado

---

- 19427 vetores registrados
- 1294 vetores únicos

- diferença nos valores causado pela exclusão dos vetores anteriores a primeira incidência do vetor considerado inicial



## Modelo Identificado - Arquivo Modificado

- 80 caminhos

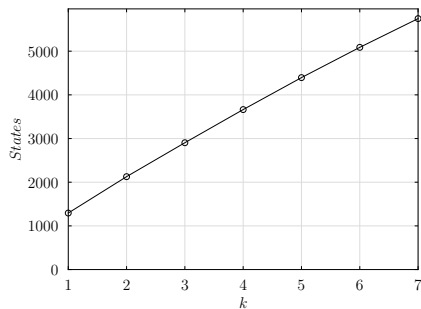


Figura 19: Variação de número de estados em relação ao valor de  $k$ .

- Utilizando o arquivo modificado encontraram-se 80 caminhos
- os estados possuem a mesma ordem de grandeza





## Modelo Identificado - Arquivo Modificado

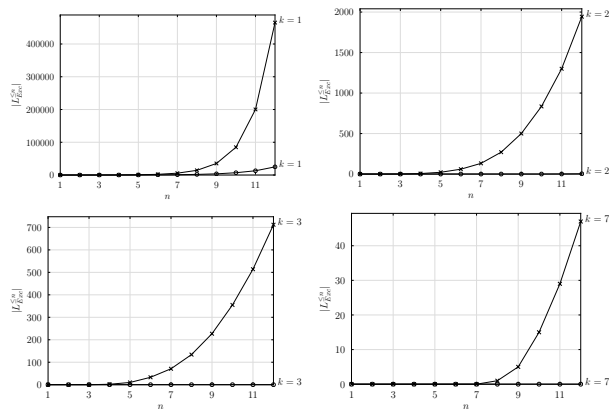


Figura 20: Linguagens Excedentes - DAOCT (o), NDAAO (x).

- Como dessa vez existem mais caminhos, a diferença por causa do uso dos índices de caminho do daoct aumenta.
- para  $k=1$  vemos a diferença considerável: DAOCT está 50000 enquanto NDAAO está 400000
- para  $k=3$  enquanto NDAAO está acima de 700
- embora a diferença seja melhor vista com mais caminhos, não necessariamente um modelo com mais caminhos represente melhor o sistema. Por isso vamos a um exemplo



## Discussão Escolha Vetor inicial

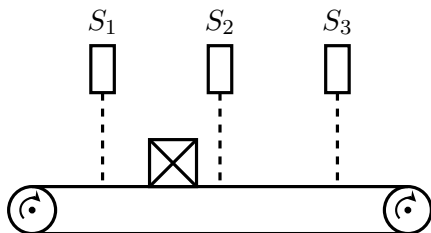


Figura 21: Exemplo de sistema a ser identificado.

- suponhamos um sistema formado por uma esteira e 3 sensores. Apenas uma caixa é colocada por vez na esteira. a esteira sempre ligada leva a caixa da esquerda para direita, ativando e desativando os sensores 1, 2 e 3 nessa ordem. Uma vez que a caixa sai da esteira, outra é colocada recomeçando o ciclo.



## Discussão Escolha Vetor inicial

---

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

1. Digamos que a sequência de vetores de entrada e saídas foi a seguinte.
2. a partir da sequência percebemos o seguinte padrão que se repete
3. então esse padrão corresponde a sequência mínima para identificar o sistema
4. usando o método de obtenção de caminhos usamos o vetor 000 como vetor inicial e usando ele somos capazes de identificar o modelo seguinte



## Discussão Escolha Vetor inicial

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

1. Digamos que a sequência de vetores de entrada e saídas foi a seguinte.
2. a partir da sequência percebemos o seguinte padrão que se repete
3. então esse padrão corresponde a sequência mínima para identificar o sistema
4. usando o método de obtenção de caminhos usamos o vetor 000 como vetor inicial e usando ele somos capazes de identificar o modelo seguinte



## Discussão Escolha Vetor inicial

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

1. Digamos que a sequência de vetores de entrada e saídas foi a seguinte.
2. a partir da sequência percebemos o seguinte padrão que se repete
3. então esse padrão corresponde a sequência mínima para identificar o sistema
4. usando o método de obtenção de caminhos usamos o vetor 000 como vetor inicial e usando ele somos capazes de identificar o modelo seguinte



## Discussão Escolha Vetor inicial

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

1. Digamos que a sequência de vetores de entrada e saídas foi a seguinte.
2. a partir da sequência percebemos o seguinte padrão que se repete
3. então esse padrão corresponde a sequência mínima para identificar o sistema
4. usando o método de obtenção de caminhos usamos o vetor 000 como vetor inicial e usando ele somos capazes de identificar o modelo seguinte



## Discussão Escolha Vetor inicial

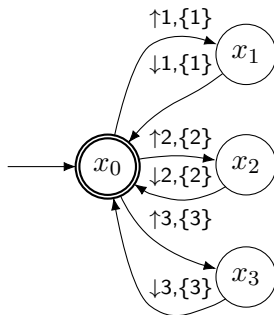


Figura 22: Modelo identificado usando  $[0 \ 0 \ 0]^T$  como vetor inicial,  $k = 1$ .

- Nesse modelo usando 000 vemos que 3 caminhos são encontrados
- Porém não vemos que existe uma ordem de ocorrência dos eventos, como mostrado na definição do sistema 3 pode acontecer antes de 1 e o modelo vai identificar como correto.



## Discussão Escolha Vetor inicial

---

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

- como é cíclico podemos pegar o primeiro vetor e colocar como o último
- e escolhemos agora 100 como vetor inicial





## Discussão Escolha Vetor inicial

---

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

- como é cíclico podemos pegar o primeiro vetor e colocar como o último
- e escolhemos agora 100 como vetor inicial



## Discussão Escolha Vetor inicial

---

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

- como é cíclico podemos pegar o primeiro vetor e colocar como o último
- e escolhemos agora 100 como vetor inicial



## Discussão Escolha Vetor inicial

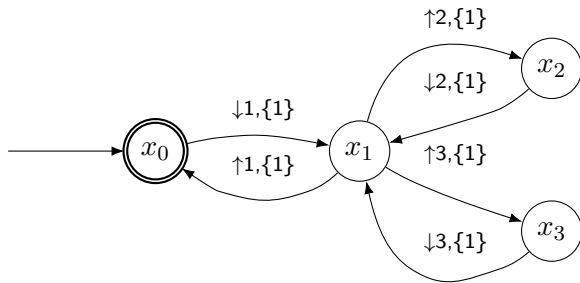


Figura 23: Modelo identificado usando  $[1 \ 0 \ 0]^T$  como vetor inicial,  $k = 1$

- Nesse modelo já vemos que há a ideia da ordem dos eventos, eventos 2 e 3 só ocorrem após 1.
- Porém não vemos que o 2 precisa acontecer antes do 3. Nesse caso, se usarmos um  $k$  maior.



## Discussão Escolha Vetor inicial

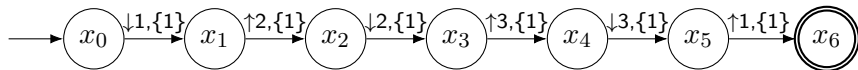


Figura 24: Modelo identificado usando  $[1 \ 0 \ 0]^T$  como vetor inicial,  $k = 2$ .

- Vemos a ordem descrita no exemplo
- Esse modelo representa fielmente o descrito no exemplo.
- podemos ver que o modelo depende de bons caminhos. E que se não conhecemos é difícil julgar se os caminhos obtidos são de fato bons ou não.



# Sumário

---

## 6 Conclusões



## Conclusões

---

- Foi apresentado um Método para ...
- depende de uma boa escolha de vetor inicial para representar bem o sistema

### Trabalhos Futuros

- Comparar o comportamento do sistema monolítico, apresentado nesse trabalho com a observação dos seus módulos.



## Conclusões

---

- Método para controle, observação e identificação

- Foi apresentado um Método para ...
- depende de uma boa escolha de vetor inicial para representar bem o sistema

### Trabalhos Futuros

- Comparar o comportamento do sistema monolítico, apresentado nesse trabalho com a observação dos seus módulos.



## Conclusões

---

- Método para controle, observação e identificação
- DAOCT funciona mas depende que bons caminhos tenham sido dados

- Foi apresentado um Método para ...
- depende de uma boa escolha de vetor inicial para representar bem o sistema

### Trabalhos Futuros

- Comparar o comportamento do sistema monolítico, apresentado nesse trabalho com a observação dos seus módulos.





## Conclusões

---

- Método para controle, observação e identificação
- DAOCT funciona mas depende que bons caminhos tenham sido dados

### Trabalhos Futuros

- Comparar o comportamento: monolítico  $\times$  dividido em módulos.

- Foi apresentado um Método para ...
- depende de uma boa escolha de vetor inicial para representar bem o sistema

### Trabalhos Futuros

- Comparar o comportamento do sistema monolítico, apresentado nesse trabalho com a observação dos seus módulos.



## Conclusões

---

- Método para controle, observação e identificação
- DAOCT funciona mas depende que bons caminhos tenham sido dados

### Trabalhos Futuros

- Comparar o comportamento: monolítico  $\times$  dividido em módulos.
- Método para escolher o melhor vetor inicial

- Foi apresentado um Método para ...
- depende de uma boa escolha de vetor inicial para representar bem o sistema

### Trabalhos Futuros

- Comparar o comportamento do sistema monolítico, apresentado nesse trabalho com a observação dos seus módulos.



## Conclusões

---

- Método para controle, observação e identificação
- DAOCT funciona mas depende que bons caminhos tenham sido dados

### Trabalhos Futuros

- Comparar o comportamento: monolítico  $\times$  dividido em módulos.
- Método para escolher o melhor vetor inicial
- Método que não dependa da escolha do vetor inicial

- Foi apresentado um Método para ...
- depende de uma boa escolha de vetor inicial para representar bem o sistema

### Trabalhos Futuros

- Comparar o comportamento do sistema monolítico, apresentado nesse trabalho com a observação dos seus módulos.



# Muito Obrigado!

Perguntas?

- contato: [raccacio@poli.ufrj.br](mailto:raccacio@poli.ufrj.br)

Apresentação disponível em

<https://github.com/Accacio/docsTCC/raw/master/presentation.pdf>



## References (1)

---

- Randall Davis and Walter Hamscher. Model-based reasoning: Troubleshooting. In *Exploring artificial intelligence*, pages 297–346. Elsevier, 1988.
- Stéphane Klein, Lothar Litz, and Jean-Jacques Lesage. Fault detection of discrete event systems using an identification approach. *IFAC Proceedings Volumes*, 38(1):92–97, 2005.
- Marcos V Moreira and Jean-Jacques Lesage. Enhanced discrete event model for system identification with the aim of fault detection. *IFAC-PapersOnLine*, 51(7):160–166, 2018.
- Marcos Vicente Moreira and João Carlos Basilio. Bridging the gap between design and implementation of discrete-event controllers. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 11(1):48–65, 2013.



## Sistema de Manufatura Didático

---



Figura 25: Funcionamento da Planta.

3 ações básicas: Selecionar as peças, prensar e estocar. Consiste em montar e estocar cubos formados por metades de metal e plástico branco.

