

UM LABORATÓRIO PARA UM CURSO DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL UTILIZANDO REDES DE PETRI

SAULO T. S. LIMA*, JOSÉ R. S. DIAS† JOÃO C. BASILIO†,*

Universidade Federal do Rio de Janeiro

† *COPPE - Programa de Engenharia Elétrica*

* *Escola Politécnica - Departamento de Eletrotécnica*

Cidade Universitária - Ilha do Fundão

21.945-970 - Rio de Janeiro - R. J.

E-mails: slima@dee.ufrj.br, raas45@ig.com.br, basilio@coep.ufrj.br

Resumo— Nesse artigo será apresentado o laboratório desenvolvido para a disciplina de Automação Industrial, introduzida recentemente como disciplina complementar no curso de Engenharia Elétrica e como disciplina obrigatória no curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), criado em 2004. Os principais objetivos do laboratório desenvolvido são aplicar as redes de Petri no projeto de sistemas de automação baseados em modelos de sistemas a eventos discretos e a prática com o hardware e o software dos controladores lógicos programáveis. Além disso, o laboratório não tem custo elevado, reproduz situações práticas reais, tem baixa possibilidade de acidente e permite que os alunos realizem, de fato, os experimentos.

Abstract— In this paper, the laboratory of the Industrial Automation course offered to undergraduate students of Electrical Engineering and to the recently established Automation and Control Engineering course. The main objectives of the laboratory are the application of Petri nets in the design of automation system for discrete event systems and the practice with the hardware and software of programmable logic controllers. In addition, the laboratory has low cost, reproduce real practical situations, is nonhazardous and allow the students to, actually, carry out the experiments.

Key Words— Control Education, Laboratory Education, Discrete Event Systems

1 Introdução

Nas duas últimas décadas tem havido um crescimento significativo no número de universidades brasileiras e do exterior que passaram a oferecer o curso de graduação em Engenharia de Controle e Automação, também referido como Mecatrônica, em alguns casos. Isso fez com que algumas disciplinas que eram oferecidas a nível de pós-graduação tivessem que ser adaptadas para serem oferecidas também na graduação. Uma dessas disciplinas é a Automação Industrial (também denominada Sistemas a Eventos Discretos, em algumas universidades).

A teoria de sistemas a eventos discretos é um campo de conhecimentos em expansão. Seu surgimento justifica-se, entre outras coisas, em face da necessidade de um tratamento formal requerido por diversos sistemas construídos pelo homem, como redes de comunicação, sistemas de manufatura, sistemas de tráfego automatizado e sistemas computacionais, guiados a eventos cujo tratamento, baseado classicamente em equações diferenciais, se torna extremamente complexo. A teoria tem caráter interdisciplinar e inclui princípios e conceitos extraídos da ciência da computação, teoria de controle e pesquisa operacional (Kumar e Garg, 1995). Nessa disciplina o aluno é apresentado a uma nova abordagem de projeto de sistemas de controle, não mais baseado em modelos de sistemas dinâmicos por variáveis contínuas (SDVC) e sim em modelos de siste-

mas cuja evolução se dá a partir da ocorrência de ações instantâneas que causam uma mudança (transição) no estado do sistema. Esses modelos são referidos na literatura como modelos de sistemas a eventos discretos (SED), justificando, assim, o nome também dado à disciplina.

Contudo, a introdução da disciplina de Automação Industrial trás consigo um problema adicional: a necessidade de um laboratório onde os alunos possam aplicar os conhecimentos teóricos recebidos em sala de aula. Embora o desenvolvimento de laboratório para o projeto de controladores baseados em SDVC tenha recebido grande atenção na literatura (Yurkovich e Passino, 1999; Basilio, 2002; Lee et al., 2003; Basilio e Moreira, 2004; Liu e Landers, 2005; Lim, 2005; Mendez et al., 2006), é do conhecimento dos autores que somente um laboratório para um curso de Automação Industrial tenha sido proposto na literatura (Moraes e Castrucci, 2002).

Nesse artigo será apresentado o laboratório desenvolvido para a disciplina de Automação Industrial, introduzida recentemente no elenco de disciplinas complementares no curso de Engenharia Elétrica e como disciplina obrigatória no curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), criado em 2004. Assim como no laboratório proposto por Moraes e Castrucci (2002), o laboratório desenvolvido na UFRJ tem como objetivos principais aplicar as redes de Petri no projeto de sistemas de automação baseado em modelos de SED e

a prática com o hardware e o software dos controladores lógicos programáveis (CLP). Além disso, seguindo os princípios apresentados por Balchen et al. (1981), o laboratório não tem custo elevado, reproduz situações práticas reais, tem baixa possibilidade de acidente e permite que os alunos realizem, de fato, os experimentos.

Esse artigo está estruturado da seguinte forma: na seção 2 descreve-se a disciplina Automação Industrial da UFRJ e na seção 3 são descritos em detalhes os experimentos desenvolvidos no laboratório da disciplina

2 O laboratório da disciplina Automação Industrial da UFRJ

O Laboratório de Automação Industrial tem uma carga semestral de 15 horas (um crédito) e tem como pré-requisito a disciplina Automação Industrial. Essa tem uma carga horária semestral de 60 horas (quatro créditos). Como consequência, os alunos não podem cursar simultaneamente as disciplinas teórica e prática.

A ementa da disciplina Automação Industrial é a seguinte: (i) introdução aos sistemas a eventos discretos; (ii) linguagens e autômatos; (iii) redes de Petri; (iv) modelos temporizados; (v) controladores lógicos programáveis. Os livros textos adotados são Cassandras e Lafortune (1999) e Webb e Reis (1999).

O Laboratório de Automação Industrial é ministrado a cada duas semanas em sessões de duas horas. A primeira aula serve para apresentação do curso e divisão das equipes e os outros sete encontros são para que os alunos realizem os experimentos. Os equipamentos utilizados nos experimentos são os seguintes: (i) CLP modelo SLC 500 da Allen Bradley, composto de uma CPU (SLC 5/02), dois módulos, um de entrada e outro de saída analógica, ambos com quatro canais e um módulo de saída digital; (ii) dois conjuntos de esteiras transportadoras, sendo cada conjunto composto de uma esteira deslizante feita de lona, dois sensores PNP, um motor interno para o arrasto da esteira e um painel para ligação dos componentes da esteira com o CLP (Fig. 1); (iii) um conjunto de nove lâmpadas coloridas, sendo cada lâmpada acionada individualmente por um relé de estado sólido, com tensão de entrada entre 5 e 32V DC, vinda do CLP e tensão de atuação entre 24 e 280V DC (Fig. 2); (iv) fontes de corrente contínua de 5V. Deve ser ressaltado que o CLP tem interface compatível com o Windows, para programação e execução.

A estrutura básica do laboratório é a usualmente adotada nos laboratórios da UFRJ, qual seja: (i) preparatório: os alunos desenvolvem os projetos de automação propostos nos experimentos utilizando redes de Petri, fazem a sua simulação utilizando o software HPSIM (Anschuetz,



Figura 1. Esteira utilizada no laboratório de Automação Industrial da UFRJ.



Figura 2. Semáforo utilizado no laboratório de Automação Industrial da UFRJ.

2005), que pode ser baixado gratuitamente e escrevem um programa em linguagem Ladder a ser implementado no laboratório; (ii) implementação do programa no CLP, execução e validação do projeto; (iii) relatório compreendendo os trabalhos de projeto e execução.

O laboratório é composto de sete experimentos, sendo estruturado de forma a aumentar gradativamente o grau de dificuldade. O primeiro experimento, por exemplo, tem o objetivo de familiarizar o aluno com o CLP e consiste em projetar um sistema de automação para ligar e desligar uma lâmpada utilizando o mesmo botão. Os experimentos podem ser agrupados em três classes distintas: (i) experimentos simples, não envolvendo temporização; (ii) experimentos para sistemas com temporização e (iii) experimentos envolvendo temporização e contagem. Os experimentos serão detalhados na seção a seguir.

3 Experimentos propostos

3.1 Sistemas simples (sem temporização)

- *Experimento nº 1. Sistema liga-desliga com botão único*

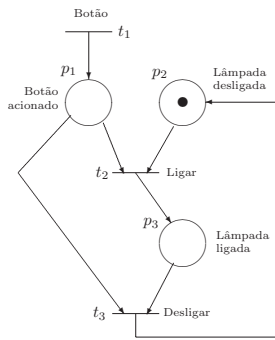


Figura 3. Rede de Petri para o sistema do experimento 1.

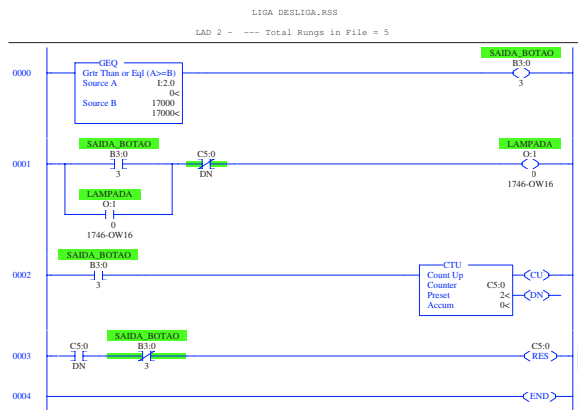


Figura 4. Diagrama ladder desenvolvida para o experimento 1.

O primeiro experimento consiste em desenvolver um sistema simples de automação utilizando os recursos do CLP para ligar e desligar uma lâmpada utilizando o mesmo botão. O modelo desse sistema utilizando uma rede de Petri está representado na Fig. 3. Note que há um evento externo (apertar o botão) e dois eventos que ocorrem dependendo do estado em que se encontra a lâmpada: quando a lâmpada está apagada, o apertar do botão fará disparar a transição t_2 e quando a lâmpada está acesa, fará disparar a transição t_3 . O diagrama ladder correspondente está representado na Fig. 4.

• *Experimento nº 2. Esteira rolante liga-desliga*

Nesse experimento, o aluno deve desenvolver um sistema que liga automaticamente uma esteira assim que um objeto é nela colocado, caso ela esteja parada, e permita que outros objetos sejam colocados na esteira, mesmo que esta já esteja em

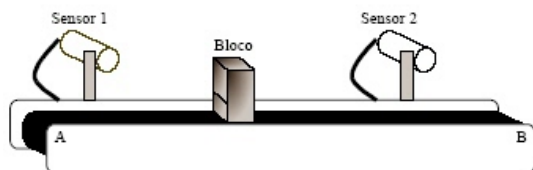


Figura 5. Esteira com dois sensores para o experimento 2.

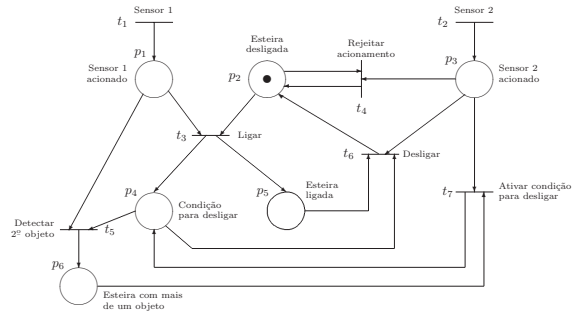


Figura 6. Rede de Petri para o sistema do experimento 2.

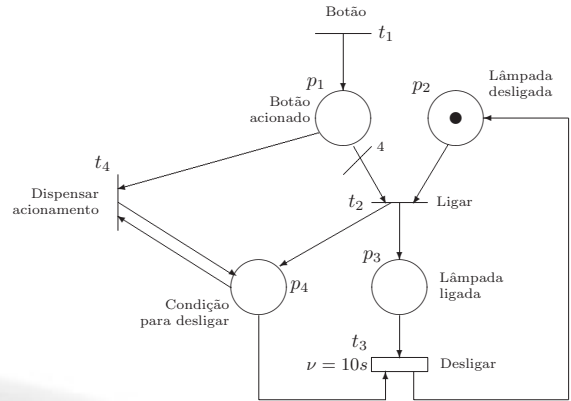


Figura 7. Rede de Petri para o sistema do experimento 3.

movimento. A esteira deve permanecer em movimento até que todos os objetos saiam dela.

Do ponto de vista de aplicação prática, esse sistema é geralmente empregado em lojas de vendas por catálogo, onde o produto é guardado em estoque. Após o pagamento, o cliente se dirige a um local onde irá retirar o produto adquirido. Assim, faz-se necessária uma esteira para levar o produto do ponto onde o produto está estocado até o ponto de entrega ao cliente.

Para o desenvolvimento do sistema de automação, são necessários dois sensores que serão colocados no início e no fim da esteira, conforme mostra a Fig. 5. A rede de Petri para esse sistema está mostrada na Fig. 6. Embora se trate de um sistema bastante simples, esse sistema apresenta uma característica importante que é a presença do lugar p_4 com a CONDIÇÃO PARA DESLIGAR, que somente irá fazer disparar a transição t_6 caso a esteira esteja ligada (lugar p_5) e o sensor 1 não seja acionado (lugar p_1), uma vez que nesse caso a transição t_5 dispararia retirando o *token* do lugar p_4 .

3.2 Sistemas com temporização

• *Experimento nº 3. Acendimento de uma lâmpada após apertar um botão quatro vezes e desligamento automático da lâmpada após 10s*

Nesse experimento são introduzidos os requisitos de temporização e de contagem simples, que

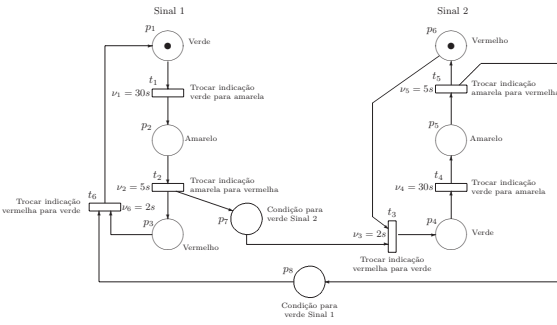


Figura 8. Rede de Petri para o sistema do experimento 4.

é feita diretamente pela atribuição de um peso a um arco. O sistema de automação a ser desenvolvido consiste em acender uma lâmpada após um botão ser apertado quatro vezes, devendo a lâmpada permanecer acesa por 10s. A rede de Petri para esse sistema está mostrada na Fig. 7. Note que, caso a lâmpada esteja acesa, não é feita a contagem dos acionamentos do botão, uma vez que, caso o botão seja apertado quando a lâmpada estiver acesa, a transição t_4 irá disparar, o que impede o aumento no número de *tokens* no lugar p_1

• *Experimento nº4. Sistema de controle de semáforos em um cruzamento*

Esse experimento tem por finalidade implementar o controle de tráfego de um cruzamento. Independentemente de as vias terem tráfego nos dois sentidos, ou serem de mão única, o sistema de automação será o mesmo, desde que, no caso de fluxo nos dois sentidos, o tráfego seja interrompido ao mesmo tempo nos dois sentidos de tráfego. As exigências de projeto são as seguintes: (i) ambos os semáforos devem permanecer abertos (verde) por 30s e devem ficar 5s no amarelo; (ii) por questão de segurança, após um sinal fechar (passar para o vermelho) o outro só abrirá (passará a verde) 2s após o primeiro ter fechado. A rede de Petri para esse sistema está mostrada na Fig. 8.

• *Experimento nº5. Sistema de manufatura com duas esteiras*

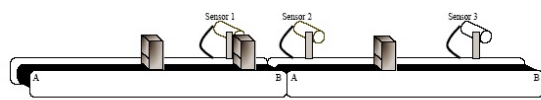


Figura 9. Sistema de manufatura com duas esteiras (experimento 5).

Na execução desse experimento, faz-se uso de duas esteiras e três sensores, conforme mostrado na Fig. 9. Esse experimento consiste em desenvolver um sistema de automação de tal forma que a esteira execute a seguinte seqüência: (i) quando ligadas, ambas as esteiras devem avançar no sen-

tido de A para B; (ii) os objetos serão sempre colocados no ponto A da esteira 1 e avançará no sentido da esteira 2, quando será detectado pelo sensor 1; (iii) caso a esteira 2 esteja desocupada, o objeto passará imediatamente para a esteira 2 e caso esteja ocupada, o objeto deverá ficar retido na posição do sensor 1 (desligando a esteira 1), esperando até que a esteira 2 fique livre; (iv) na esteira 2, quando detectado pelo sensor 2, a esteira deverá parar por 10s e, em seguida, avançar novamente; (v) quando detectado pelo sensor 3, a esteira deverá parar novamente, desta vez por 50s; (vi) após esse tempo, o objeto será liberado da esteira 2, permitindo então que a esteira 1 entre em movimento, caso esteja parada com um objeto na posição do sensor 1, colocando um novo objeto sobre a esteira 2. A rede de Petri para esse sistema está mostrada na Fig. 10. Note que nessa rede de Petri não há estado inicial, uma vez que o início de seu funcionamento dar-se-á por um evento exógeno (apertar um botão para ligar as esteiras).

3.3 *Sistemas com temporização e contador*

• *Experimento nº6: Semáforo para travessia de pedestre*

Nesse experimento, o aluno deverá implementar um sistema de automação para executar o controle de um sistema de tráfego em um ponto de travessia de pedestre. O sistema possui dois semáforo, um para os veículos, com três lâmpadas sinalizadoras (vermelha, amarela e verde) e outro para pedestre, com duas lâmpadas sinalizadoras (vermelha e verde). O sistema a ser desenvolvido pelo aluno deve satisfazer as seguintes exigências: (i) o sinal para automóveis deverá permanecer aberto por pelo menos 1 min; (ii) quando o pedestre chegar à via, ele deverá apertar um botão, acionando o pedido de passagem; (iii) caso o sinal de automóveis já esteja aberto por mais de 1 min, esse deverá passar para o amarelo, permanecer aí por 5s e, em seguida, passar para o vermelho; (iv) por razões de segurança, o sinal do pedestre somente mudará a verde 3s após a mudança do sinal de automóveis para vermelho; (v) o sinal de pedestre deverá permanecer verde por 30s; (vi) após esse tempo, a luz verde deverá apagar e a luz vermelha deverá, em seguida, piscar quatro vezes, em intervalos regulares de 1s; (vii) ao final, a luz vermelha do sinal de pedestre deverá permanecer acesa e o sinal de automóveis deverá passar de vermelho para verde.

Conforme mostrado na Fig. 11, a rede de Petri para esse experimento apresenta um grau de complexidade maior que as anteriores, principalmente no que se refere à contagem do número de vezes em que a luz vermelha irá piscar.

• *Experimento nº7: Sistema de manufatura com*

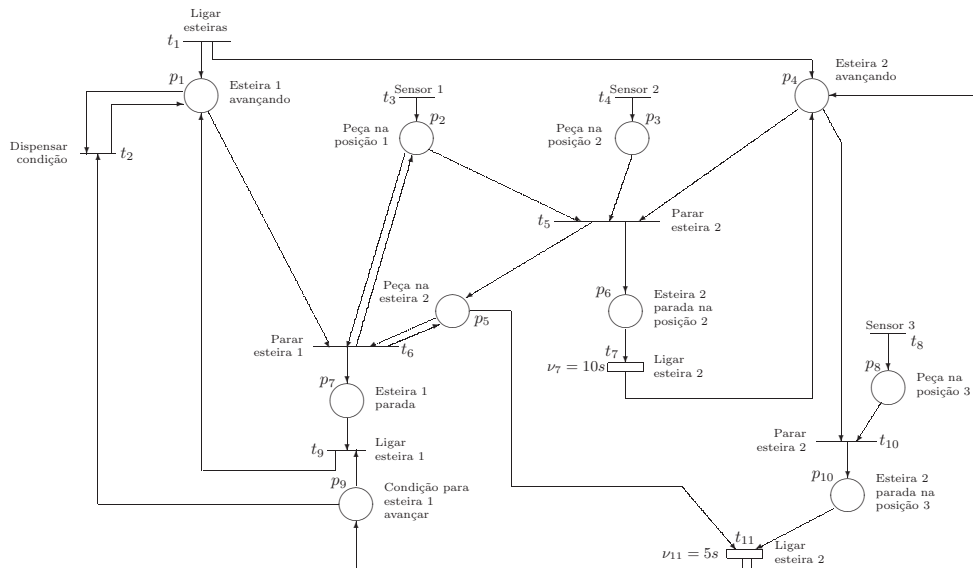


Figura 10. Rede de Petri para o sistema do experimento 5.

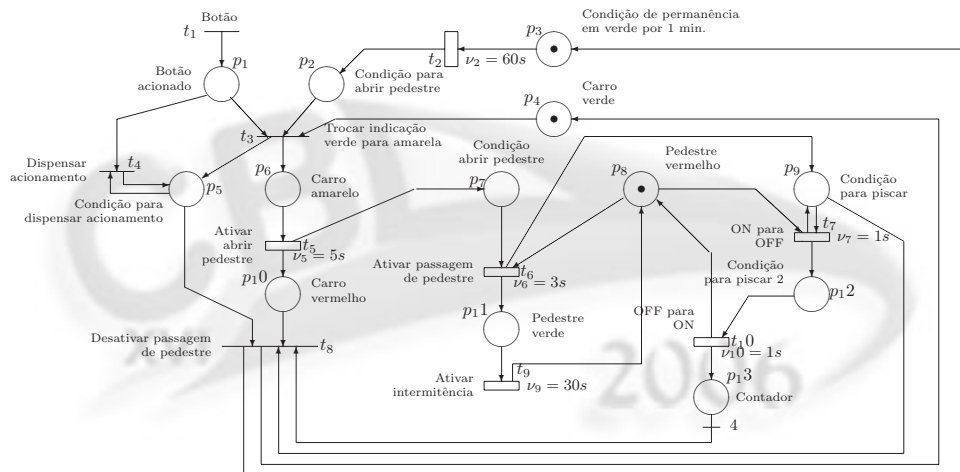


Figura 11. Rede de Petri para o sistema do experimento nº6.

duas esteiras e dupla passagem do produto por um sensor

Esse experimento utiliza o mesmo esquema de montagem do experimento nº2 (Fig. 9) e consiste em desenvolver um sistema de manufatura que desempenhe a seguinte seqüência: (i) quando ligadas, ambas as esteiras devem avançar no sentido de A para B; (ii) o objeto será sempre colocado no ponto A da esteira 1 e avançará no sentido da esteira 2, quando será detectado pelo sensor 1; (iii) caso a esteira 2 esteja desocupada, o objeto passará imediatamente para a esteira 2 e caso esteja ocupada, deverá ficar retido na posição do sensor 1 (desligando a esteira 1) e esperar até que a esteira 2 fique livre; (iv) na esteira 2, quando detectado pelo sensor 2, a esteira deverá parar por 10s e, em seguida, avançar novamente; (v) quando detectado pelo sensor 3, a esteira deverá parar novamente, desta vez por 50s; (vi) após esse tempo, a esteira deverá retroceder, levando o objeto no-

vamente para a posição 2; (vii) quando detectado novamente pelo sensor 2, a esteira deve parar novamente por 10s; (viii) após esse tempo, a esteira deverá avançar novamente; (ix) ao ser detectado pelo sensor 3, não deverá, desta vez, parar, sendo liberado da esteira 2, permitindo então que a esteira 1 entre em movimento, caso esteja parada com um objeto na posição do sensor 1, colocando um novo objeto sobre a esteira 2. A rede de Petri para esse sistema está mostrada na Fig. 12. Note que, assim com no experimento nº5, nessa rede de Petri não há estado inicial, uma vez que o início de seu funcionamento dar-se-á pelo evento exógeno “apertar um botão para ligar as esteiras”.

4 Comentários finais

Nesse artigo foi apresentado o laboratório desenvolvido para o curso de Automação Industrial da UFRJ. Para se ter uma idéia do grau de interesse

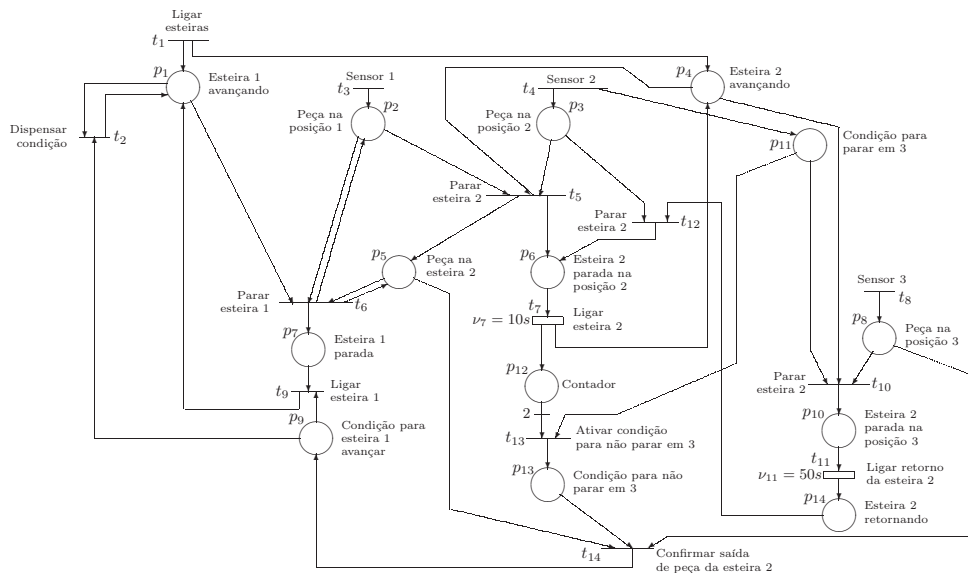


Figura 12. Rede de Petri para o sistema do experimento nº7.

que essa disciplina vem despertando, até o presente momento essa disciplina foi oferecida duas vezes ao curso de Engenharia Elétrica (os alunos mais adiantados do curso de Engenharia de Controle e Automação estão ainda no quinto período e essa disciplina é oferecida no oitavo período), tendo sido inscritos seis alunos no segundo semestre de 2005 e 21 alunos no primeiro semestre de 2006.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq e pela SUFRAMA.

Referências

- Anschuetz, H. (2005). HPSim website. http://www.winpesim.de/petrinet/e/hpsim_e.htm.
- Balchen, J. G., Handlykken, M. e Tyss, A. (1981). The need for better laboratory experiments in control engineering education, *Proceedings of the 8th IFAC World Congress*, Vol. XIII, pp. 42–47.
- Basilio, J. C. (2002). A laboratory for a first course in control systems, *International Journal of Electrical Engineering Education* **39**: 54–70.
- Basilio, J. C. e Moreira, M. V. (2004). State-space parameter identification in a second control laboratory, *IEEE Transactions on Education* **47**: 204–210.
- Cassandras, C. G. e Lafortune, S. (1999). *Introduction to discrete event systems*, Kluwer Academic Publishers, Boston : USA.
- Kumar, R. e Garg, V. K. (1995). Modeling and control of logical discrete event systems, *research monograph, Kluwer Academic Publisher, Norwell Massachusetts*.
- Lee, P. L., Allen, R. M., Cole, G. R. e Shastri, S. S. (2003). A modular laboratory for process control and process engineering, *Journal of Process Control* **13**: 283–289.
- Lim, D. J. (2005). An undergraduate laboratory course in-real-time dynamic control, *IEEE Transactions on Education* **48**: 105–110.
- Liu, J. M. e Landers, R. G. (2005). Modular control laboratory system with integrated simulation, animation, emulation, and experimental components, *International Journal of Engineering Education* **21**: 1005–1016.
- Mendez, J. A., Torres, S., Acosta, L., Sigut, M. e Moreno, L. (2006). A control engineering laboratory based on a low-cost non-linear plant, *International Journal of Engineering Education* **22**: 205–215.
- Moraes, C. C. e Castrucci, P. L. (2002). Um programa didático em automação industrial, *Anais do XIV – Congresso Brasileiro de Automação*, Natal: Brasil, pp. pp. 1397–1402.
- Webb, J. W. e Reis, R. A. (1999). *Programmable Logic Controllers: principles and applications*, 4th edn, Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ.
- Yurkovich, S. e Passino, K. M. (1999). A laboratory course on fuzzy control, *IEEE Transaction on Education* **42**: 15–21.