

MODELAGEM E ANÁLISE DE UMA LINHA DE DECAPAGEM ATRAVÉS DE REDES DE PETRI ¹

Marília Gabriela Viana Nassar ²

José Isidro Garcia ³

Paulo Eigi Myiagi ⁴

Resumo

Este trabalho tem como principal objetivo introduzir uma metodologia para a modelagem do Sistema de Entrada de Material (SEM) em uma linha de decapagem. Considerando o SEM como um sistema a eventos discreto, técnicas derivadas das Redes de Petri podem ser utilizadas para sua modelagem. Tais técnicas incluem Production Flow Schema e o Mark Flow Graph (PFS/MFG), que tem provado grande eficiência na modelagem hierárquica, análise e controle de sistemas a eventos discretos (SEDs). Neste contexto, este sistema é modelado em diferentes níveis de abstração: (a) um modelo conceitual a partir da aplicação de técnicas de modelagem, (b) a técnica PFS e (c) um modelo funcional que é obtido pela aplicação do MFG. A metodologia proposta confirma a utilidade e eficiência da modelagem, quando permite a especificação funcional de todo o sistema (objeto de controle e sistema de controle), e estratégias que facilitam sua integração com outros sistemas.

Palavras-chave: Rede de Petri; Sistema a eventos discretos; Sistema de entrada de material; Simulação discreta.

MODELING AND ANALYSING OF A PICKLING LINE USING PETRI NET

Abstract

This work has as main purpose introduce a methodology to model a Material Entry System (MES) in a pickling line. Considering the MES as a Discrete Event System (DES), techniques derivates from Petri Net can ve used for its modeling. Such techinics include PFS and the MFG, that has provided great efficient in the hierarchical modeling, analyse and control of DES. In this context, this system is modeling in different levels of abstraction (a) a conceptual model from application of modeling techniques, (b) the PFS techniques e (c) a funcional model that is obtained by the application of the MFG. The methodology proposed confirm the utility and efficiency of the modeling, when allow the funcional especification of entire system (control object and control system), the strategies that became easy its integration with others system.

Key words: Petri net, Discrete event system; Material entry system; Discrete simulation.

¹ Contribuição técnica ao XI Seminário de Automação de Processos, 3 a 5 de outubro, Porto Alegre-RS

² Sócio da A.B.M. Engenheira Mecânica, Analista de Manutenção da Laminação a Frio da Companhia Siderúrgica Paulista - Cosipa, Cubatão SP.

³ Engenheiro Mecânico, Mestre em Automática Industrial, Universidade del Valle - Colômbia

⁴ Engenheiro Mecatrônico, Doutor em Engenharia de Controle, Tokyo Institute of Technology – Japão

1 INTRODUÇÃO

As demandas do mundo atual fazem da eficiência, a produtividade e a segurança os principais aspectos que devem ser levados em conta ao projetar ou modificar um sistema. Para conseguir estes objetivos tem-se que, necessariamente, considerar novos conceitos e diferentes técnicas e abordagens que possam ser aplicadas tanto para a modelagem do sistema como para sua avaliação, além, evidentemente, do aproveitamento eficiente e efetivo dos recursos de alta tecnologia atualmente disponíveis.

No caso da indústria siderúrgica, o atendimento aos requisitos de maior exigência dos produtos gerados (menores espessuras da chapa, aumento do nível de qualidade, baixos custos, etc.) e a crescente competitividade do mercado tem motivado a necessidade de melhorar continuamente o processo de laminação e aumentar a confiabilidade na produção. Como resultado tem-se sistemas com complexa interação sendo necessário o uso de novas estratégias de controle.

Um dos principais subsistemas que compõem o processo de decapagem é o Sistema de Entrada de Material (SEM). Os principais objetivos do SEM do processos são:

- Retirar as imperfeições oriundas de processos anteriores no início e fim das tiras que são recebidas na forma de bobina;
- Através do processo de soldagem, assegurar a continuidade e produtividade do fluxo de produção através da união das tiras.

Assim, a eficiência do funcionamento do SEM deve ser objeto de cuidadosa análise em função de sua influência na produtividade da laminação como um todo, garantia de continuidade no fluxo produtivo do produto e segurança pessoal. Além disso, torna-se muito importante uma modelagem adequada que permita verificar a dinâmica do sistema e sua integração com outros sistemas, para facilitar a sua efetiva análise deste.

Considerando que em muitos campos de estudo, não é possível que um fenômeno seja estudado diretamente, é preciso uma abordagem indireta através do modelo do sistema. Neste sentido, um modelo é uma representação, freqüentemente em termos matemáticos, das características que são consideradas importantes do objeto ou sistema em estudo. Qualquer sistema se possível, deve ser modelado para que se consigam as melhores condições de operação e detectar erros de projeto antes que o sistema seja implantado (Peterson, 1981).

Baseado nos aspectos citados acima e considerando que os SEM tem como característica o comportamento dinâmico definido através de mudanças (evolução) de estados como consequência da ocorrência de eventos discretos, este trabalho estuda aplicação da teoria de redes de Petri (como técnica de modelagem, análise, controle e projeto de SEDs), neste sistema.

As redes de Petri e técnicas derivadas, como é o caso do MFG (Mark Flow Graph), têm sido introduzidas com sucesso como ferramentas eficientes para aplicações em sistemas de manufatura. Entretanto, dependendo da complexidade dos sistemas a serem considerados, os modelos gerados podem tornar-se muito difíceis de serem compreendidos e tratados. Para resolver este problema, foi introduzida a metodologia PFS/MFG, onde se podem sintetizar modelos em MFG a partir de um

modelo conceitual hierarquizado construído em PFS (Production Flow Schema). Tendo em conta estes aspectos e, sendo esta metodologia um meio disciplinador para a construção de modelos em diferentes níveis, considera-se conveniente a sua utilização no caso de sistemas automatizados de manufatura.

2 SISTEMA DE DECAPAGEM

A Decapagem (Figura 1) tem como principal finalidade remover a camada de óxido (carepa) formada na superfície da tira no processo de Laminação de Tiras a Quente (LTQ). Essa remoção é feita através da imersão da chapa em tanques com ácido clorídrico (HCL), em velocidade controlada. Na saída, o material será oleado, para proteger a superfície. A borda do material poderá ou não ser aparada para ajuste da largura em função da largura solicitada pelo cliente e do acabamento especificado. A solução usada para remoção do óxido é recuperada nas Unidades de Regeneração de HCL e devolvida para linha para novamente executar seu papel de remoção dos óxidos de novas bobinas. O produto das decapagens serão bobinas que seguirão: para a linha a frio (LTF), para a linha a quente (LA/TQ) ou simplesmente a BQD (Bobina Quente Decapada).

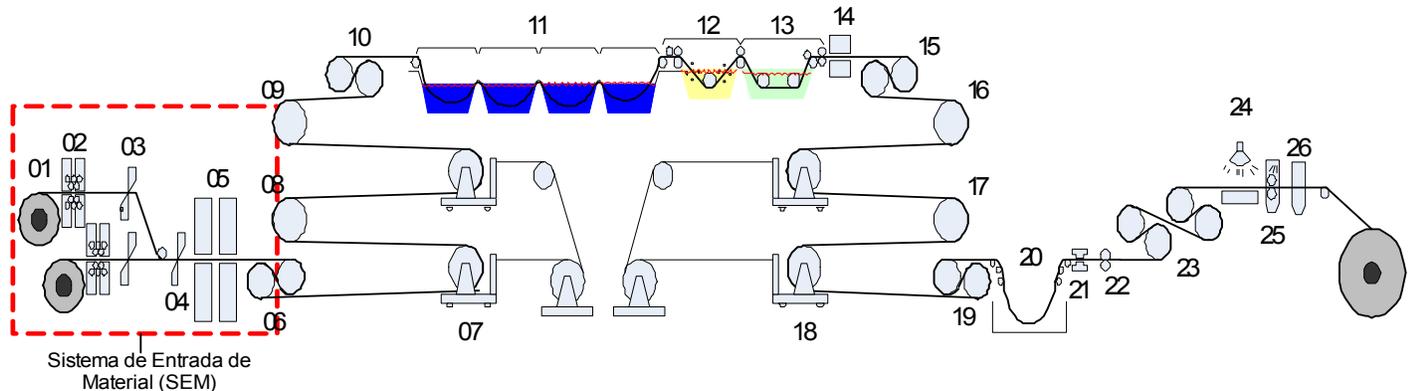


Figura 1. Layout de um processo de decapagem com 2 desenroladeiras no SEM.

- | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 1- Desenroladeira | 15- Tensor 03 |
| 2- Desempenadeira | 16- Centralizador de bobinas 03 |
| 3- Tesoura de corte duplo | 17- Centralizador de bobina 04 |
| 4- Tesoura de corte fino | 18- Carro acumulador de saída |
| 5- Máquina de solda | 19- Tensor 04 |
| 6- Tensão 01 | 20- Poço do "loop" de saída |
| 7- Carro acumulador | 21- Entalhador |
| 8- Centralizador de bobina 01 | 22- Tesoura de aparamento de bordas |
| 9- Centralizador de bobina 02 | 23- Tensor 05 |
| 10- Tensor 02 | 24- Mesa de inspeção de qualidade |
| 11- Tanques de ácido clorídrico | 25- Oleadeira |
| 12- Tanque de lavagem com água fria | 26- Tesoura de saída |
| 13- Tanque de lavagem com água quente | 27- Enroladeira |
| 14- Secador de chapas | |

O SEM (quadro em destaque na Figura 1) possui como característica um comportamento dinâmico definido através da mudança de estados discretos, por exemplo, entre os eventos que podem ocorrer estão: ativação e desativação de sensores de presença, acionamento e desligamento de motores, abertura e fechamento de cilindros, ativação e desativação de comandos manuais, etc, caracterizando assim um Sistema a Eventos Discretos. Para SEDs têm sido desenvolvidas várias técnicas para sua modelagem, análise, controle e projeto, em particular, uma técnica de comprovada eficiência para aplicações com controladores programáveis é a baseada na teoria de rede de Petri (MURATA, 1989).

3 REDES DE PETRI E SUAS EXTENSÕES PARA SEM

Desde sua apresentação em 1962 por Carl A. Petri, a rede de Petri (RP) tem sido considerada como uma poderosa ferramenta para modelagem, análise e projeto de SEDs. Esta ferramenta permite fazer uma descrição gráfica e matemática (formal) do sistema tratado. Neste sentido, as RP facilitam a comunicação entre as pessoas relacionadas com o projeto, permitindo uma fácil interpretação, identificação clara dos estados e ações.

A rede de Petri é uma ferramenta gráfico-matemática para a modelagem de SEDs. Permite a visualização explícita dos elementos e entidades que compõem um sistema. Assim, a sua parte estrutural pode ser considerada como uma ferramenta de projeto, similar ao fluxograma e diagramas de blocos (ZHOU, DiCESARE, 1993). Entretanto, possui ainda o conceito de marcas e regras de evolução destas, as quais são utilizadas para representar a dinâmica do sistema. Como uma ferramenta matemática, a rede de Petri pode ser representada por matrizes, e sua dinâmica descrita por equações de estado, e outras relações (MURATA, 1989), o que permite fazer a verificação das propriedades relacionadas ao comportamento do sistema como relações entre eventos, operações concorrentes, sincronismo, conflito, seqüência, entre outras (Figura 2).

Uma rede de Petri é formalmente definida como um grafo bipartido direcionado e com um estado inicial denominado marcação inicial, m_0 , que é composto pelos seguintes elementos:

Lugar, representado por círculo	
Transição, representada por barra	
Arcos, representado por seta	
Marca, representada por ponto	

Onde os arcos são orientados tanto de lugares para transições, como de transições para lugares. Uma variável m designa a um lugar p um número inteiro positivo que representa o número de marcas que devem ser desenhadas no interior do lugar. No modelo da rede de Petri, tomando em consideração o conceito de condições e eventos (MIYAGI, 1996), um lugar representa uma condição e uma transição representa um evento. Assim, para um evento acontecer, todas as pré-condições do evento tem que ser satisfeitas. Quando um evento ocorre, as suas pré-condições

deixam de ficar satisfeitas, e as suas pós-condições (previamente não satisfeitas) passam a estar satisfeitas.

Assim, a RP oferece a possibilidade de representar a dinâmica do sistema e a sua estrutura em vários níveis de detalhamento. O suporte matemático oferecido por ela facilita a realização de testes formais de propriedades dinâmicas do sistema. A formalidade é especialmente útil nas aplicações onde a segurança é um fator relevante como o caso de SEM. Uma definição formal, regras de execução e formalização das propriedades de dinâmicas da RP, é apresentada em (MURATA,1989, PETERSON 1981). Deve-se ter uma especial atenção na análise das propriedades de vivacidade, uma RP é dita viva se e somente se ela é habilitada a partir de algum estado conseqüente, segurança e reversibilidade no modelo de sistemas de controle a fim de garantir ausência de deadlocks (conflito mortal); considerada como uma parada total das habilitações subseqüentes a um estado, o qual, implica perda da vivacidade de uma forma particular.

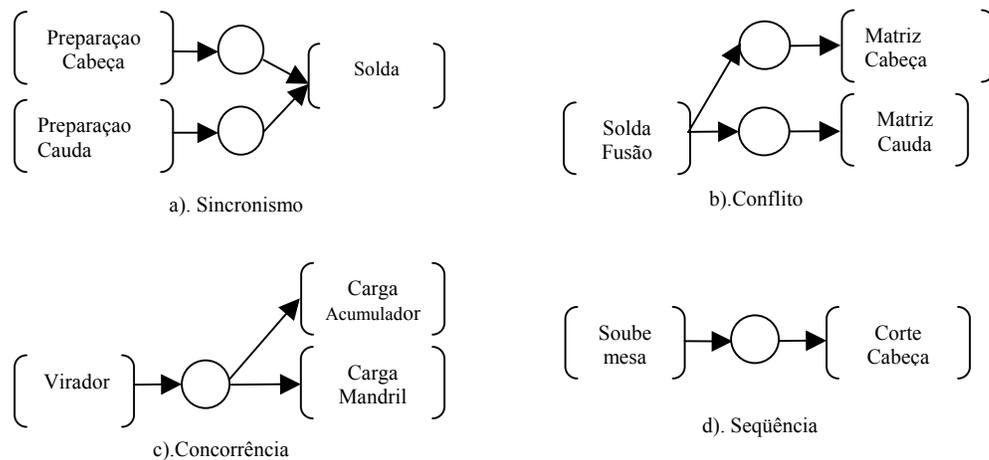


Figura 2 - Características das Redes de Petri

Neste trabalho, considera-se o PFS/MFG (MIYAGI, 1996) para modelar o SEM que são versões da rede de Petri próprias para aplicação em diversos níveis de modelagem, análise e controle de SED. Esta técnica consiste na modelagem de sistemas seguindo um procedimento sistemático e racional baseado na interpretação hierárquica da estrutura e funções do sistema. Inicialmente o modelo conceitual do sistema (representando um alto nível de abstração do sistema sem detalhamento de sua dinâmica) é desenvolvido através de PFS (Figura 3). Nesta etapa o propósito é modelar as principais características das funções que serão consideradas no sistema, isto é, a ênfase está na identificação dos componentes ativos e passivos do sistema, assim como do fluxo de itens (material e/ou informação) entre estes elementos.

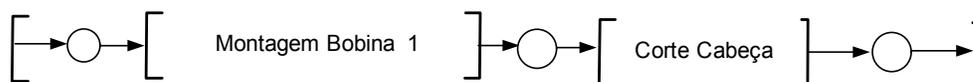


Figura 3 – Atividades do PFS

Para a modelagem do comportamento dinâmico do sistema, o modelo em PFS é convertido progressivamente em um modelo em MFG (Figura 4), isto é, uma classe de rede de Petri interpretada que detalha o funcionamento dinâmico das diversas partes do sistema.

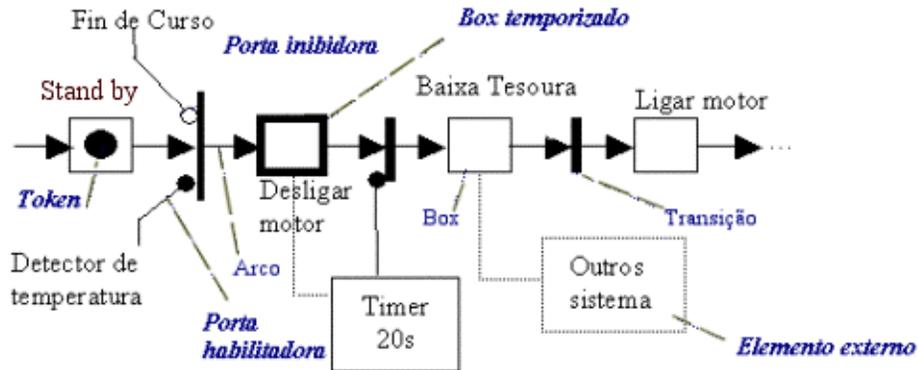


Figura 4 – Elementos Estruturais MFG

4 MODELAGEM

Considerando que qualquer sistema deve ser modelado para que se consigam as melhores condições de operação e detectar erros de projeto antes que o sistema seja implantado com estes erros (PETERSON, 1981). A seguir é apresentado um procedimento de modelagem de um sistema de entrada de material (SEM)

4.1 Procedimento de Modelagem de Sistema de Entrada de Material (SEM)

O procedimento proposto para a modelagem do SEM é composto de cinco etapas as quais são detalhadas a seguir:

Etapa 1: Coleta de informações sobre o objetivo do SEM

Esta etapa foi desenvolvida revisando a documentação disponibilizada do processo; pesquisas na Internet, visando conhecer o processo em campo; reuniões com os responsáveis pelo projeto, operação e manutenção do sistema. Nesta foram levantados todos os desenhos dos equipamentos, manuais de operação e manutenção.

Etapa 2: Definição do sistema a ser modelado

A fim de atender as especificações das principais atividades feitas no SEM, os requisitos temporais apresentados na Tabela 1 devem ser atendidos.

Tabela 1: Requisitos temporais para o sequenciamento pré soldagem e soldagem

ATIVIDADES	TEMPO (máx)
Corte de Cabeça (da tira)	20 s
Corte de Cauda (da tira)	20 s
Ajuste da máquina de solda no processo de solda	60 s
Solda por Fusão	27 s
Retirada de Rebarba	10 s

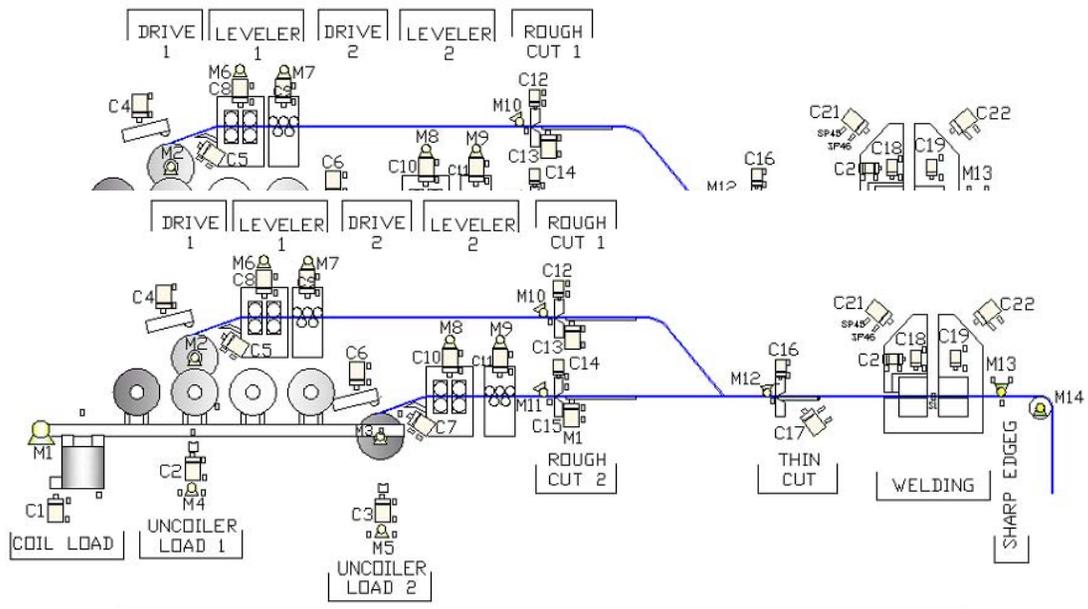
Etapa 3: Modelagem estrutural do sistema

Esta etapa identifica os diversos componentes do sistema em dois tipos, segundo pertençam ao sistema de controle ou ao objeto de controle. O objeto de controle envolve o processo produtivo e as máquinas, mecanismos, equipamentos envolvidos nas atividades de corte de cabeça, corte de cauda, preparação da máquina do processo de solda, solda por fusão, retirada de rebarba. O sistema de controle envolve os dispositivos de realização de controle e os dispositivos de atuação e detecção são apresentados na Figura 5.

Etapa 4: Modelagem conceitual e funcional do sistema

Os modelos conceitual e funcional do SEM são desenvolvidos de acordo com as informações e a definição do sistema, conforme levantamento das etapas anteriores e baseados no modelo estrutural. Assim a modelagem conceitual considera cada um dos elementos estruturais do sistema em uma abordagem top down, ou seja, partindo das características gerais do sistema ou “macro”, detalhando-as, depois, passo a passo. Esta modelagem é realizada usando o PFS e o MFG e suas extensões. A figura 6 apresenta o modelo de funcionamento desenvolvido em PFS do SEM.

Na Figura 6 apresenta um refinamento do modelo SEM na atividade “Preparação Cabeça”, foi desenvolvido o MFG com base nas atividades modeladas pelo PFS do SEM. Este MFG especifica o comportamento dinâmico da atividade descrita no modelo PFS visando o atendimento dos requisitos funcionais e temporais solicitados ao sistema. Tem-se uma descrição do comportamento dinâmico da atividade [“Montagem Transportadora”] onde tem-se a descrição detalhada do processo de montar a bobina na esteira transportadora, desde o seu encaixe no virador até sua montagem na esteira transportadora.



Classificação	Dispositivos
Comandos manuais	Estação manual controle manual. CM
Sensores diretos	1 Sensor de temperatura (T), 50 sensor de presenca (SP),
Dispositivos de atuação	14 Motores(M), 22 Cilindros hidráulicos(C), transformador (S)
Dispositivos de monitoração	10 Dispositivos luminosos de alarme (A), 5 audiovisuais de alarme (AA).
Dispositivos de controle	2 CLP, 3 Interface homem-máquina (HMI)

Figura 5. Componentes do SEM

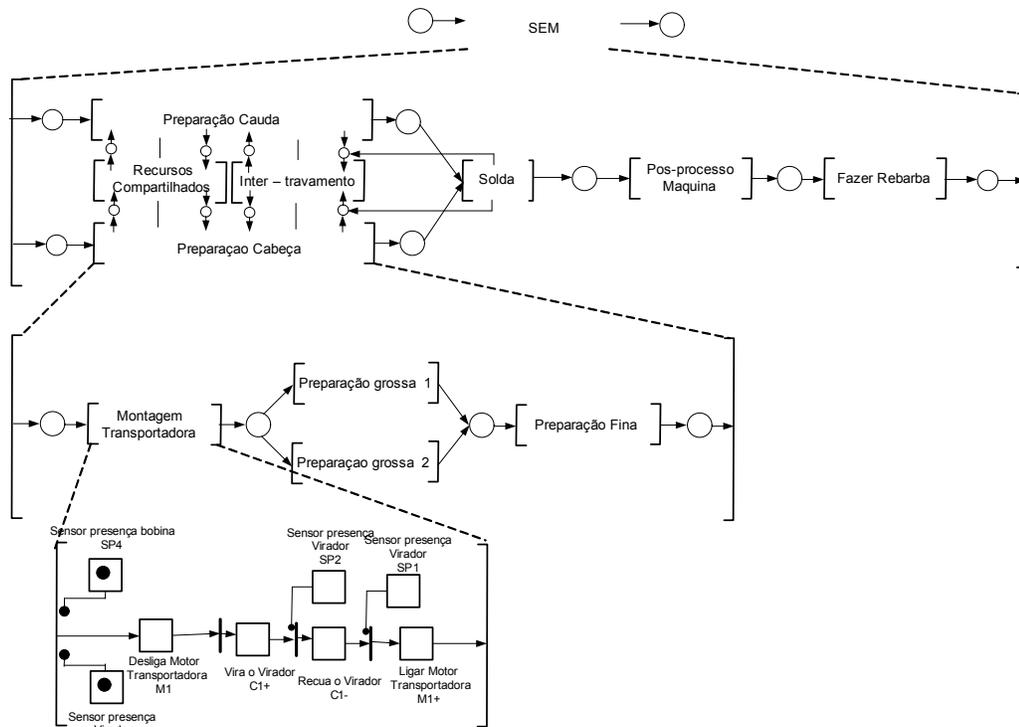


Figura 6 – Modelagem conceitual e funcional do SEM

Etapa 5. Análise dos modelos

Depois de construir o modelo do SEM, este é validado e verificado. No presente caso, o software HPSim (Anschuetz, 2001) foi usado para analisar por simulação os modelos resultantes.

Os resultados obtidos a partir da simulação (Figura 7) demonstram que o sistema apresentou um comportamento esperado diante da ocorrência de condições pré-determinadas, por exemplo, tesoura a fino cortando cabeça da bobina a ser soldada.

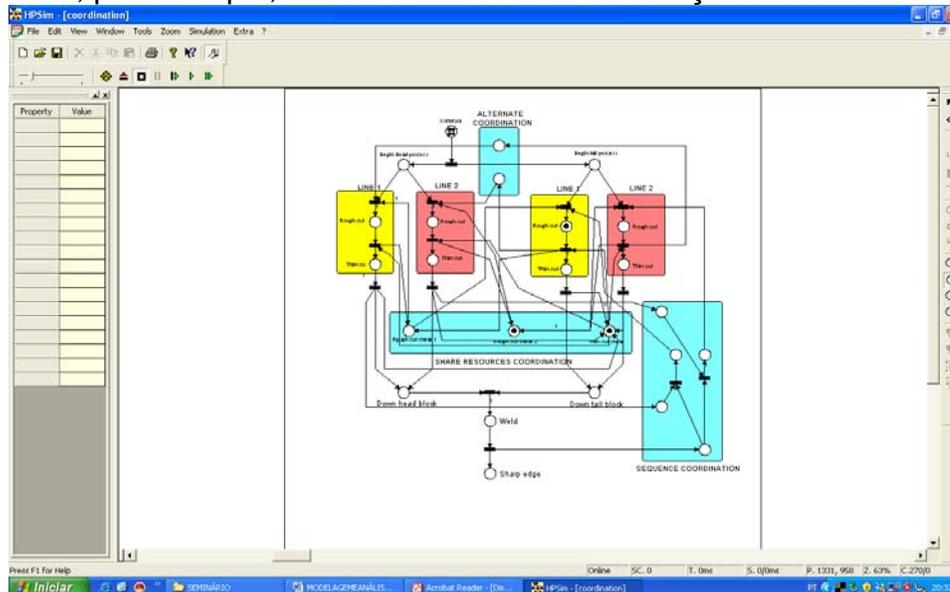


Figura 7– Software HPSim utilizado para simulação do SEM

5 CONCLUSÕES

Este trabalho introduz um procedimento para a modelagem de SEM através de uma abordagem de sistemas a eventos discretos, e especificamente mediante a utilização de redes de Petri interpretadas. Este procedimento permite o desenvolvimento estruturado de modelos, facilitando o processo de modelagem e o aprimoramento da especificação de controle do SEM visando uma posterior implementação. As redes de Petri e a linguagem de ladder são meios de exprimir relações lógicas ou de causa e efeito desencadeadas por eventos em instantes não predeterminados. As RPs e a linguagem ladder têm a possibilidade de descrever quantidades não-binárias, maior poder descritivo de situações de concorrência de eventos e maior capacidade para prever conflitos. Na Figura 8, temos uma equivalência entre RPs e diagrama de ladder.

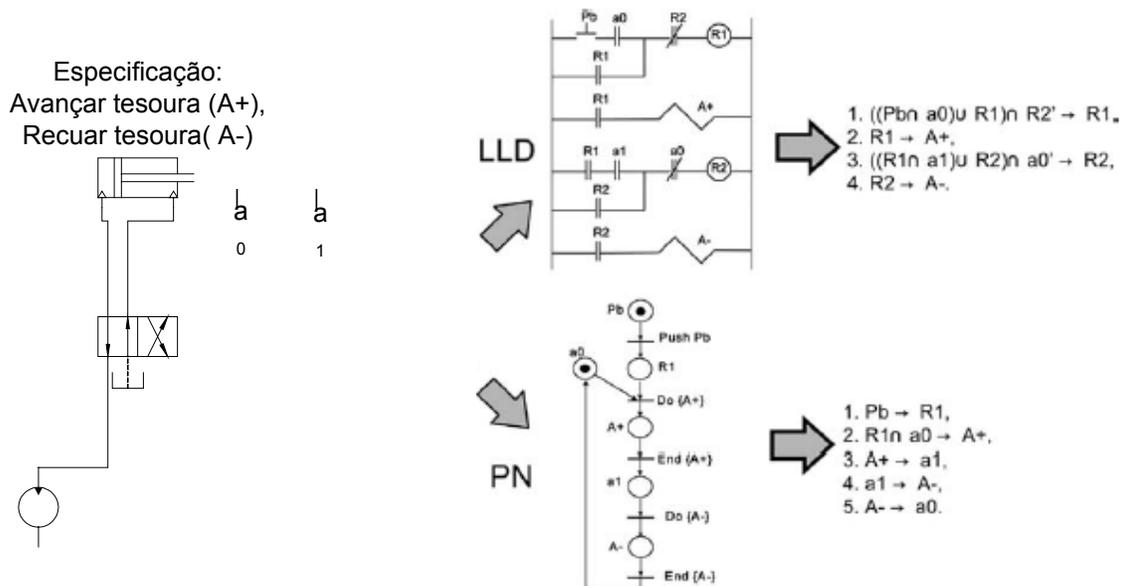


Figura 8 – Diagrama de Ladder e RP para a sequência A+, A-

Na Figura 9, temos algumas equivalências entre a linguagem ladder e rede de Petri.

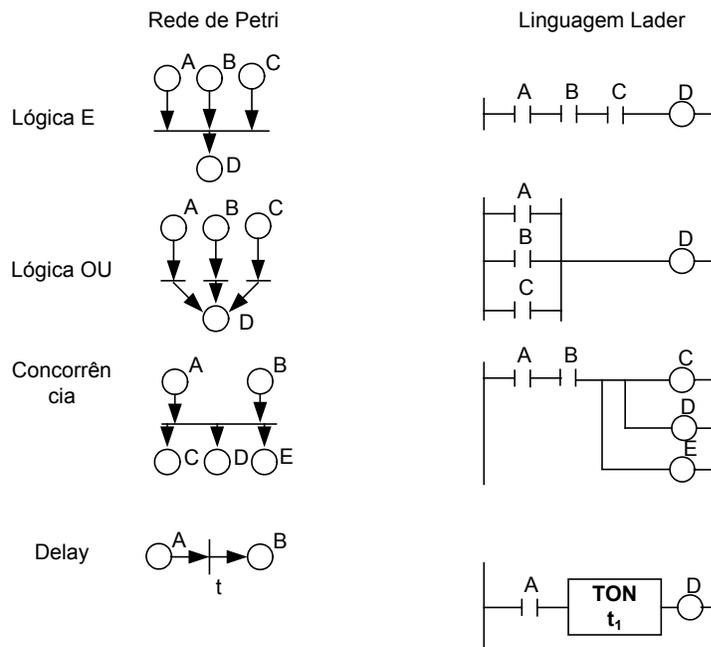


Figura 9 – Exemplos de algumas regras de execução para diagrama de Ladder e RP.

O estudo realizado confirma que o procedimento proposto no presente trabalho apresenta as seguintes características: (1) é uma forma sistemática para a abordagem de SEM e para a construção de seus modelos, os quais podem ser usados para a verificação e validação da estratégia de controle do SEM, e sua implementação; (2) identifica as características e operações do sistema de modo claro e uniforme, (3) descreve o sistema do nível conceitual ao detalhado de acordo com a estrutura hierárquica das atividades do sistema, considerando aspectos de modularidade, flexibilidade e capacidade de expansão.

REFERÊNCIAS

- 1 Aeberli et al, "Electrical and automation equipment in the new continuous pickling and cold rolling line at Dongbu Steel", Metallurgical Plant and Technology International (Germany). Vol. 23, no. 6, pp. 52-58. Dec. 2000
- 2 Anschuetz, H., 2001, "HPSim Copyright © 1999-2001", http://www.winpesim.de/petrintet/e/hpsim_e.htm.
- 3 Bem-Naoum, R. Boel, L. Bongaerts, B. De Schutter, Y. Peng, P. Valckenaers, "Methodologies for discrete event dynamic systems: A survey", Journal A, vol. 36, no. 4, pp. 3-14, Dec. 1995.
- 4 Frey g., Litz L., "Formal Methods in PLC Programming", Proc. of the IEEE Conference on Systems Man and Cybernetics, Tennessee, USA, 2000.
- 5 Mader A. , Wupper H., "What is the method in applying formal methods to PLC applications?", 4th Int. Conf. Automation of Mixed Processes: Hybrid Dynamic Systems (ADPM), Dortmund, Germany, 2000.

- 6 Peng S. S., Zhou C. M., "Ladder diagram and Petri-net-based discrete-event control design methods" *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 2004
- 7 Miyagi P.E., "Controle Programavel, Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos", Editora Edgard Blucher, 1996.
- 8 Miyagi, P.E., Arata, W. M., 1997, "Analysis of manufacturing systems – application on PFS model based analysis of manufacturing system for performance assessment", *Revista Brasileira de Ciências Mecânicas*, ABCM, Campinas, SP, vol. 19, n.1, pp58-71.
- 9 Mutata T., "Petri Nets: Properties, analysis and application", proceeding of the IEEE, 1989.
- 10 Takahashi, K. Hasegawa, K. Miyagi, P.E. , "Hierarchical programming of sequential control systems by mark flowgraph", 7th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Barcelona, Spain 1999. Proceedings, 1999
- 11 Hasegawa, K.; et al., 1987, "Simulation of discrete production systems based on Mark Flow Graph", *Systems Science*, Poland, vol. 13, n.1-2, pp.22.
- 12 Ramadge, P.J.; Wonham, W.M., 1989, "The control of discrete event systems", *Proceedings of the IEEE*, vol.77, n. 1.
- 13 Peterson, J.L., 1981, "Petri Net Theory and The Modeling of Systems", Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- 14 Zurawski R., Zho M. "Petri net and Industrial Applications: a Tutorial", *IEEE transactional on industrial electronics*, 1994