

SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE UM PALETIZADOR DE CAIXAS

Igor Lima Câmara de Albuquerque

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Aprovado por:

Marcos Vicente de Brito Moreira, D.Sc.
(Orientador)

Ramon Romankevicius Costa, D.Sc.

Oumar Diene, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Novembro de 2010

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter iluminado meu caminho e não ter se afastado de mim durante essa jornada.

Agradeço em especial a minha mãe, Leila Lima Câmara de Albuquerque, que sempre me apoiou de forma incondicional nos momentos mais difíceis da minha vida e por não ter me deixado desistir nos momentos de fraqueza e ao meu Pai, Jarbas Moreira de Albuquerque Júnior, por ser um exemplo de garra, dignidade e dedicação, valores que eu pretendo levar comigo para sempre. Dedico esse trabalho aos dois, em reconhecimento aos esforços realizados para minha formação pessoal e profissional.

Agradeço aos meus irmãos, Diego e Michell, pela amizade e união que sempre tivemos, pelo exemplo de superação dado diariamente, que além de me encher de orgulho, serve de motivação para que eu também não me acomode nunca.

Agradeço a minha namorada e amiga Natasha Rosa pela compreensão, apoio e paciência comigo em momentos de preocupação com as provas da faculdade e elaboração deste trabalho. Nossas inúmeras conversas durante todos esses anos foram decisivas para que eu não desistisse e concluísse este curso.

Agradeço aos meus amigos da equipe Berimbau (Daniel, Felipe, Marrento, Davalla, Junior, Batata, Gilvan, Perro, Maçã) por nossa amizade, nossos trabalhos e nossas loucuras que não foram poucas e tornaram a rotina da faculdade infinitamente mais agradável.

Por fim, agradeço ao professor e orientador Marcos Moreira pelo apoio e ensinamentos importantes obtidos durante o desenvolvimento deste trabalho.

Resumo

Igor Albuquerque

Projeto de Graduação

UFRJ – DEE

Novembro 2010

O processo de paletização automático de caixas faz parte da linha de produção para envase de óleo lubrificante e tem a função organizar as caixas em paletes. Essas caixas são giradas e posicionadas de forma que as camadas preencham adequadamente o palete, fazendo que este possua a estabilidade necessária para o transporte. Estas caixas chegam ao paletizador através de esteiras que interligam a encaixotadora e o paletizador. A automação torna esse processo mais eficiente, confiável e seguro.

A abordagem empregada nesse trabalho baseia-se na modelagem do sistema de paletização de caixas como um sistema a eventos discretos, uma vez que sua dinâmica é definida a partir da ocorrência de eventos.

A proposta desse projeto é utilizar um método de conversão onde seja possível modelar a automação de um sistema a eventos discretos e, através de suas equações matemáticas e matrizes de incidência, realizar uma conversão para o diagrama ladder que será implementado no controlador lógico programável CLP.

Sumário

Agradecimento	ii
Resumo	iii
Lista de figuras	vi
1. Introdução	1
2. Fundamentos da teoria de sistemas	3
2.1. Sistemas e eventos discretos.....	3
2.1.1. Conceito de evento.....	4
2.1.2. Propriedades do sistema a eventos discretos.....	4
2.1.3. Exemplo de sistemas a eventos discretos.....	4
2.2. Redes de Petri.....	5
2.2.1. Definição.....	5
2.2.2. Redes de Petri marcadas.....	6
2.2.3. Dinâmica das redes de Petri.....	6
2.2.4. Rede de Petri temporizadas.....	8
2.2.5. Rede de Petri sincronizada.....	8
2.2.6. Redes de Petri interpretada para controle.....	10
2.3. Comentários finais.....	12
3. Sistema de paletização automático de caixas	13
3.1. Paletizador de caixas.....	13
3.1.1. Sistema de entrada de caixas.....	15
3.1.2. Sistema de arrumação de caixas.....	18

3.1.3. Sistema de Paletização.....	20
3.1.4. Sistema de saída de paletes.....	22
3.2. Comentários finais.....	23
4. Modelagem do sistema de paletização automático de caixas	24
4.1. Sequência de operação do sistema de entrada de caixas.....	24
4.2. Sequência de operação do sistema de arrumação de caixas.....	28
4.3. Sequencia de operação do sistema de paletização de caixas.....	31
4.4. Sequencia de operação do sistema de saída de paletes.....	35
4.5. Comentários finais.....	37
5. Programa Ladder	40
5.1. Elementos do programa Ladder.....	40
5.2. Método de conversão de rede de Petri para ladder.....	43
5.2.1. Módulo de inicialização.....	44
5.2.2. Módulo de eventos.....	44
5.2.3. Módulo das condições para disparo das transições.....	44
5.2.4. Módulo da dinâmica da rede de Petri interpretada para controle.....	45
5.2.5. Módulo das ações.....	45
5.2.6. Exemplo de aplicação do método.....	45
5.3. Diagrama ladder do sistema de automação do paletizador de caixas....	48
5.4. Comentários finais.....	48
6. Conclusão	49
Referências Bibliográficas	50
Apêndice A	51

Lista de Figuras

2.1	Classificação de Sistemas.....	3
2.2	Sistema de fila simples.....	4
2.3	Estado inicial da rede de Petri.....	7
2.4	Estado da rede de Petri após disparo de t_1	7
2.5	Transição com disparo instantâneo e transição temporizada com atraso v_i	8
2.6	Exemplo do comportamento de uma rede de Petri sincronizada.....	9
2.7	Exemplo do comportamento de uma rede de Petri sincronizada.....	10
2.8	Processamento de dados da RPIC.....	11
2.9	Rede de Petri interpretada para controle.....	11
3.1	Arranjo das camadas 1,3 e 5.....	13
3.2	Arranjo das camadas 2,4 e 6.....	14
3.3	Esquema do paletizador.....	14
3.4	Desviador de caixas.....	15
3.5	Vista superior do desviador de caixas.....	16
3.6	Cilindro pneumático de dupla ação.....	16
3.7	Sensor magnético de proximidade.....	17
3.8	Aplicação do sensor magnético de proximidade.....	17
3.9	Virador de caixas.....	17
3.10	Sensores fotoelétricos retro reflexivos.....	18
3.11	Funcionamento do sensor retro reflexivo.....	18
3.12	Vista superior do empurrador de fileiras.....	19
3.13	Empurrador de fileiras visto de frente.....	19
3.14	Guia móvel.....	20

3.15	Chapa bipartida.....	21
3.16	Vista superior da chapa bipartida.....	21
3.17	Elevador de paletes.....	21
3.18	Vista lateral do elevador de paletes.....	22
4.1	Rede de Petri do sistema de entrada.....	25
4.2	Rede de Petri do sistema de arrumação.....	30
4.3	Rede de Petri do sistema de paletização.....	33
4.4	Rede de Petri do sistema de saída de paletes.....	36
4.5	Matriz de incidência de entrada.....	38
4.6	Matriz de incidência.....	39
5.1	Contato normalmente aberto.....	40
5.2	Contato normalmente fechado.....	40
5.3	Bobina.....	41
5.4	Bobina Latch.....	41
5.5	Bobina Unlatch.....	41
5.6	Instrução de disparo único de subida.....	41
5.7	Temporizador TON.....	42
5.8	Contador CTU.....	42
5.9	Comparador EQU.....	43
5.10	Comparador LES.....	43
5.11	Exemplo de uma rede de Petri interpretada para controle.....	45
5.12	Módulo de inicialização para rede de Petri da figura 5.11.....	46
5.13	Módulo de eventos para rede de Petri da figura 5.11.....	46
5.14	Módulo das condições para disparo das transições para R.P. da figura 5.11...47	47
5.15	Módulo da dinâmica para a rede de Petri da figura 5.11.....	47
5.16	Módulo das ações para a rede de Petri da figura 5.11.....	47

Capítulo 1

Introdução

O paletizador de caixas é a uma máquina localizada no final da linha de produção de óleo lubrificante. A automação desse equipamento é fundamental para que a demanda dessa linha seja atendida com a segurança exigida. Como sua dinâmica é definida pela ocorrência de eventos, ele foi considerado como sendo um sistema a eventos discretos. A teoria de sistemas a eventos discretos constitui a base principal para a modelagem de sistemas de automação industrial.

Um processo automatizado mantém o produtor em competitividade no mercado, pois reduz os custos de pessoal devido à substituição por máquinas, aumenta a eficiência do processo através da diminuição do tempo do ciclo de fabricação e redução das perdas de produtos. Além disso, a automação traz uma maior segurança nas operações e melhor qualidade do produto

O aumento da complexidade dos sistemas de automação levou os sistemas a eventos discretos a um nível em que as aplicações requerem controle e coordenação para garantir o fluxo ordenado de eventos, surgindo a necessidade de métodos formais detalhados para sua análise e projeto.

Para controlar um sistema industrial é necessário primeiro modelá-lo, descrevendo seu comportamento e fornecendo uma estrutura que atenda aos objetivos do projeto, controle e análise de desempenho. Existem diferentes ferramentas para modelagem de sistemas sequenciais, dentre eles os Autômatos e as redes de Petri.

As redes de Petri têm despertado interesse há muito tempo, constituindo-se em uma das maneiras principais de se modelar sistemas a eventos discretos. Uma de suas principais vantagens é que o mesmo modelo pode ser usado para análise de propriedades comportamentais, avaliação de desempenho e também para construção de simuladores e controladores.

Neste trabalho é considerado o desenvolvimento da modelagem por redes de Petri de um sistema de automação para um paletizador de caixas. O paletizador possui sensores que fornecem informações e monitoram o processo e atuadores que modificam as variáveis controladas.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: no capítulo 2 são apresentados os fundamentos da teoria de sistemas e redes de Petri. No capítulo 3

é descrito o funcionamento do sistema de paletização automático de caixas. No capítulo 4 é apresentado o modelo do sistema estudado utilizando redes de Petri. No capítulo 5 são apresentados alguns elementos do programa Ladder e o método de conversão de uma rede de Petri interpretada para controle para Ladder. Por fim no capítulo 6 é apresentada a conclusão do trabalho.

Capítulo 2

Fundamentos da Teoria de Sistemas

Neste capítulo são apresentados na seção 2.1 os sistemas a eventos discretos e suas propriedades, assim como um exemplo de aplicação; na seção 2.2 são apresentados os fundamentos teóricos e a definição de uma rede de Petri, a definição de rede de Petri marcada e sua dinâmica [1,4]. Ainda nessa seção são apresentadas a estrutura e definição de uma rede de Petri interpretada para controle [2]. Por fim, na seção 2.3 são apresentados os comentários finais do capítulo.

2.1 Sistemas a Eventos Discretos

É possível classificar os sistemas em duas classes distintas: Sistemas Dinâmicos de Variáveis Contínuas (SDVC) ou Sistemas a Eventos Discretos (SED).

Os Sistemas a Eventos Discretos (SED) têm espaço de estado discreto e o mecanismo de transição de estado é dirigido por eventos, ou seja, a evolução dos estados depende somente da ocorrência de eventos discretos.

A figura 2.1 mostra a classificação dos sistemas e situa o sistema estudado neste trabalho que é um sistema a eventos discretos determinístico

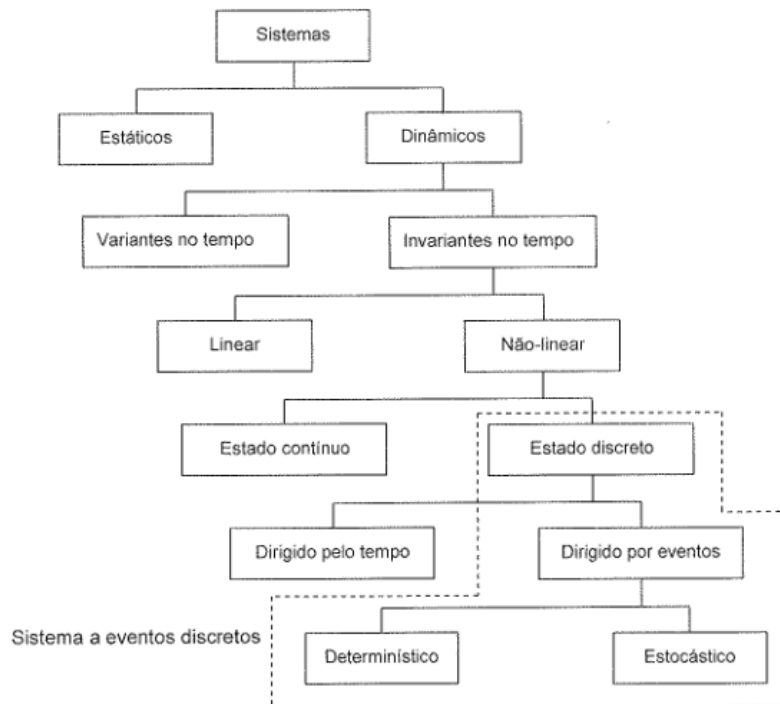


Figura 2.1 – Classificação dos Sistemas

2.1.1 O conceito de evento

Um evento deve ser entendido como uma ocorrência instantânea que causa a transição de um estado para outro. Pode estar associado a uma ação específica, como por exemplo, um sensor que indica a presença de um objeto, ou pode ser o resultado de várias condições que são satisfeitas em um determinado momento, como por exemplo, o nível de fluido em um tanque ultrapassou um determinado valor

2.1.2 Propriedades do sistema a eventos discretos

As principais propriedades dos sistemas a eventos discretos ficam mais claras quando estes são comparados aos sistemas dinâmicos de variáveis contínuas (SDVC).

As propriedades dos SDVC são:

- Os estados são contínuos, podem ter qualquer valor real ou complexo.
- A transição de estados é determinada pelo tempo.

Os sistemas a eventos discretos satisfazem as seguintes propriedades:

- O espaço de estado é um conjunto discreto.
- A transição dos estados é determinada pelos eventos.

2.1.3 Exemplo de sistema a eventos discretos

Sistemas industriais são bons exemplos de sistemas a eventos discretos. Em um processo industrial, os clientes são peças que estão dispostas para o acesso às máquinas que executam operações específicas. Os robôs e correias transportadoras desempenham o papel de servidores.

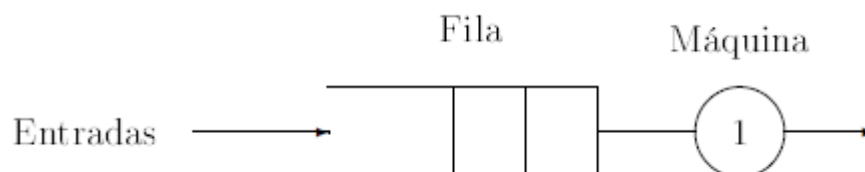


Figura 2.2 – Sistema de filas simples.

Quando as peças não estão sendo trabalhadas, elas são armazenadas em uma fila até que o servidor libere o acesso para a próxima operação que está disponível.

Na figura 2.2 é apresentado um exemplo de uma linha de produção onde as peças passam por uma máquina, sendo a capacidade da fila infinita. Nesse caso, os estados são o número de peças na fila e os eventos são a entrada e saída de peças.

Há diversos métodos para modelar o comportamento lógico de um sistema a eventos discretos, como os Autômatos e as Redes de Petri. O sistema considerado neste trabalho foi modelado utilizando uma Rede de Petri que é apresentada na seção 2.2.

2.2 Redes de Petri

Em uma modelagem utilizando redes de Petri, os eventos são associados a transição e para uma transição ocorrer, várias condições devem ser satisfeitas. As informações relacionadas a estas condições estão contidas em um outro tipo de nó denominado lugar. Alguns lugares são vistos como a entrada para uma transição, sendo associados com as condições necessárias para que esta transição ocorra. Outros lugares são vistos como a saída de uma transição, sendo associados às condições que são afetadas pela ocorrência destas transições.

Transições, lugares e as relações entre eles definem os componentes básicos de um grafo de rede de Petri. Um grafo de rede de Petri possui dois tipos de nós, lugares e transições, e arcos que os conectam. É um grafo bipartido no sentido de que os arcos não podem conectar diretamente nos nós do mesmo tipo, isto é, os arcos conectam lugares a transições e transições a lugares.

2.2.1 Definição (grafo de rede de Petri)

Um grafo de uma rede de Petri é um grafo bipartido ponderado (P, T, A, w) , onde [2]:

P é um conjunto finito de lugares;

T é um conjunto finito de transições;

$A \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ é o conjunto de arcos ligando lugares a transições e transições a lugares no grafo;

$w : A \rightarrow \{1; 2; 3; \dots\}$ é a função de ponderação dos arcos.

Os conjuntos de lugares e transições são normalmente representados, respectivamente, por $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ e $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$. A notação $I(t_j)$ representa o conjunto de lugares de entrada para a transição t_j . Similarmente, $O(t_j)$ representa o conjunto de lugares de saída da transição t_j . Tem-se, então, que:

$$I(t_j) = \{p_i \in P : (p_i, t_j) \in A\}; \quad O(t_j) = \{p_i \in P : (t_j, p_i) \in A\}.$$

Uma notação similar pode ser usada para descrever transições de entrada e saída para um dado lugar p_i : $I(p_i)$ e $O(p_i)$, respectivamente.

2.2.2 Redes de Petri marcadas

Em uma rede de Petri, o que indica se as condições impostas pelos lugares são satisfeitas é a presença das fichas nesses lugares. As fichas definem uma marcação, formalmente definida como uma função $x: P \rightarrow \mathbb{N}^n$.

Uma rede de Petri marcada é uma quintupla (P, T, A, w, x) onde (P, T, A, w) é um grafo de rede de Petri e x é uma marcação do conjunto de lugares P , isto é, $x = P \rightarrow \mathbb{N}^n$, $\underline{x} = [x(p_1), x(p_2), \dots, x(p_n)]^T$ onde $x(p_i)$ representa o número de fichas no lugar p_i . O vetor $\underline{x} = [x(p_1), x(p_2), \dots, x(p_n)]^T$ é também referido como o estado da rede de Petri.

A evolução de uma rede de Petri se dá a partir do disparo das transições. Contudo, para que uma transição dispare, a mesma deve estar habilitada. Uma transição é dita habilitada quando o número de fichas em p_i é maior ou igual ao peso do arco que conecta p_i a t_j , para todos os lugares p_i que são entradas para a transição t_j , ou seja, a transição $t_j \in T$ em uma rede de Petri é dita estar habilitada se:

$$x(p_i) \geq w(p_i, t_j) \text{ para todo } p_i \in I(t_j). \quad (2.1)$$

2.2.3 Dinâmica das redes de Petri

O mecanismo de transição de estados em redes de Petri é determinado pelo movimento das fichas através da rede, conseqüentemente mudando o estado da rede de Petri. Quando uma transição está habilitada, diz-se que ela está pronta para

disparar. Quando uma transição habilitada dispara, ela altera o estado da rede de Petri: Seja $t_j \in T$ uma transição habilitada e sejam $x(p_i)$ e $x'(p_i)$ as marcações dos lugares p_i para $i = 1, 2, \dots, n$, antes e depois do disparo da transição, respectivamente. Então, quando t_j dispara tem-se que:

$$x'(p_i) = x(p_i) - \omega(p_i, t_j) + \omega(t_j, p_i), \text{ para } i = 1, 2, \dots, n. \quad (2.2)$$

Para ilustrar a transição de estado em uma rede de Petri, considere o exemplo da figura 2.3. No lugar p_1 existe uma ficha, então a transição t_1 está habilitada, pois $x(p_1) \geq \omega(p_1, t_1) = 1$. Quando t_1 dispara, o lugar p_1 perde uma ficha e o lugar p_2 ganha duas fichas como pode ser visto na figura 2.4.

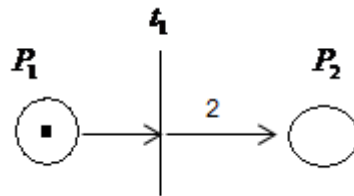


Figura 2.3 – Estado inicial da rede de Petri

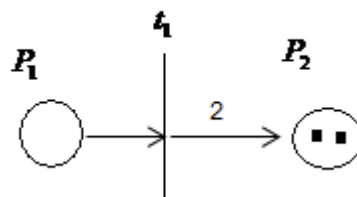


Figura 2.4 – Estado da rede de Petri após disparo de t_1

A evolução do vetor de estados dada pela equação (2.2), após o disparo de uma transição t_j , pode ser descrita pela seguinte equação de estados:

$$\underline{x}' = \underline{x} + W\underline{u}. \quad (2.3)$$

Sendo \underline{u} um vetor coluna formado por zeros, exceto o j -ésimo elemento que é igual a 1 para representar o disparo da transição t_j . W é a matriz de incidência, $n \times m$, dada por:

$$W = W_{saída} - W_{entrada}, \quad (2.4)$$

sendo $W_{entrada} = [\omega_{ij}^{entrada}]$, com $\omega_{ij}^{entrada} = \omega(p_i, t_j)$, a matriz de incidência de entrada e $W_{saída} = [\omega_{ij}^{saída}]$, com $\omega_{ij}^{saída} = \omega(t_j, p_i)$, a matriz de incidência de saída.

2.2.4 Redes de Petri temporizadas

O conceito de tempo não é explicitamente dado na definição original de rede de Petri. No entanto, para avaliação do desempenho e programação de sistemas dinâmicos, é necessário associar tempos às transições e/ou lugares. Dessa forma, a estrutura das redes de Petri passa a ser uma estrutura temporizada, transformando a rede em uma rede de Petri temporizada.

Como nem todas as transições precisam ter atraso no disparo, o conjunto de transições T pode ser particionado como $T = T_0 \cup T_D$, em que T_0 é o conjunto de transições que disparam imediatamente após serem habilitadas e T_D é o conjunto de transições que disparam após um atraso. A constante d_j é o atraso associado à transição t_j e $D = \{d_j : t_j \in T_D\}$ é conjunto de atrasos de disparo associados às transições temporizadas de T_D .

Para diferenciar transições com disparo instantâneo das transições temporizadas, tem-se que as primeiras são representadas por barras, enquanto as últimas são representadas por retângulos conforme mostrado na figura 2.5.

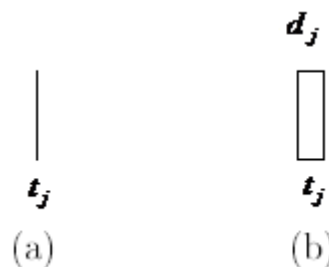


Figura 2.5 – (a) Transição com disparo instantâneo e (b) Transição temporizada com atraso d_j .

2.2.5 Rede de Petri Sincronizada

Em uma rede de Petri autônoma, sabe-se que a transição é disparada se ela estiver habilitada, mas não se sabe quando ela é disparada. Em uma rede de Petri sincronizada, um evento externo é associado a cada transição e o disparo dessa transição ocorrerá se a transição estiver habilitada, quando o evento associado ocorrer. Assim, uma rede de Petri sincronizada é uma tripla (N, E, Sinc) em que:

- N é uma rede de Petri marcada;

- E é um conjunto de eventos externos;
- $Sinc: N \rightarrow E \cup \{e\}$, é uma função do conjunto de sincronização que associa a cada transição um evento externo do conjunto E ou o evento que sempre ocorre e . O evento e é o evento interno que sempre ocorre de forma que quando uma transição associada a ele torna-se habilitada, ela imediatamente dispara.

A figura 2.6 exemplifica os principais conceitos de uma rede de Petri sincronizada. O evento externo $a \in E$ é associado à transição t_1 que, nesse caso, é dita ser receptiva ao evento a por estar habilitada. Ela estará apta a disparar quando o evento a ocorrer e irá disparar imediatamente.

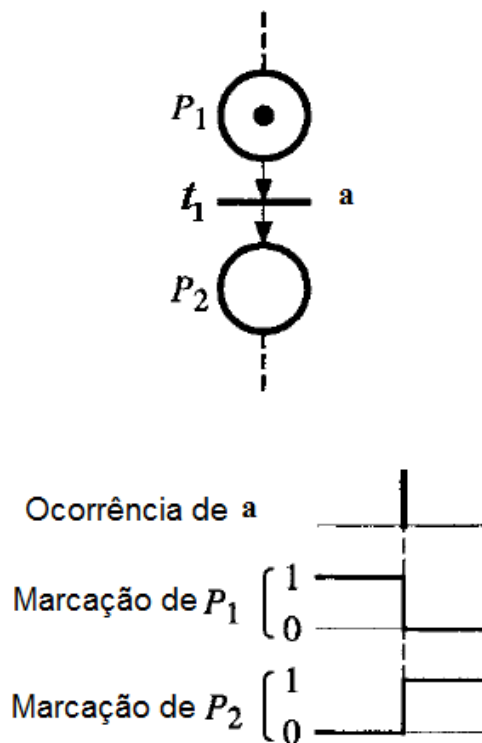


Figura 2.6 - Exemplo do comportamento de uma rede de Petri sincronizada.

Já na figura 2.7, transição t_2 é receptiva ao evento $b \in E$ por estar habilitada. Ela é disparada quando o evento b ocorrer. Por outro lado, a transição t_3 não é disparada, apesar de ser sincronizada com b . Isso ocorre porque ela não está habilitada no momento em que o evento b ocorre pela primeira vez.

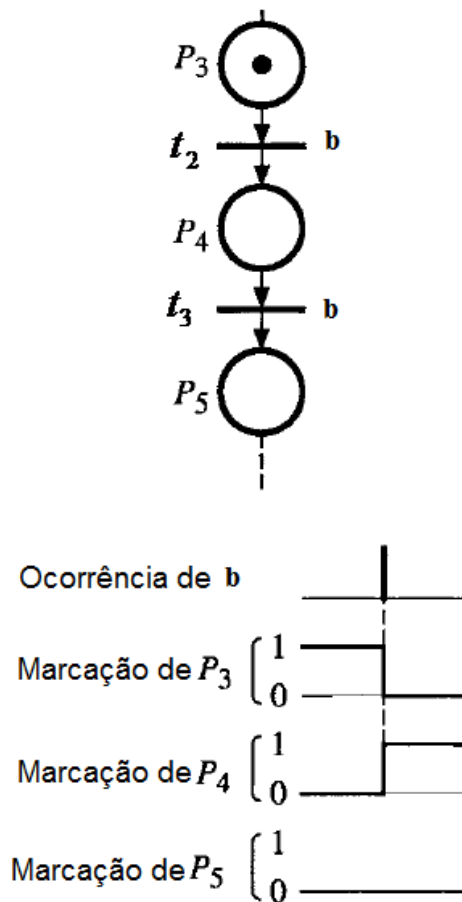


Figura 2.7 - Exemplo do comportamento de uma rede de Petri sincronizada.

2.2.6 Rede de Petri interpretada para Controle

A rede de Petri interpretada para controle é um modelo de controlador lógico baseado em uma rede de Petri sincronizada. Ela recebe informações do meio externo, tais como variáveis Booleanas (C_j^e) e eventos (e_j) e envia comandos também para o meio externo que podem ser saídas Booleanas L_i , saídas impulsivas B_i ou variáveis associadas à parte de processamento de dados, V_K . A parte de controle também envia ordens de operação O_i e recebe informações Booleanas C_j^o da parte de processamento de dados. A figura 2.8 representa esta parte de processamento de dados e as variáveis de entrada e saída comentadas.

De forma geral, pode-se afirmar que as entradas são associadas às transições e as saídas são associadas aos lugares. Pode-se observar na figura 2.9 que o evento e_j e a condição C_j estão associados à transição t_j . A condição C_j é uma função Booleana dependente da parte de processamento de dados e do meio

externo, ou seja, $C_j = C_j^e \cdot C_j^o$. O evento e_j pode ser um evento do meio externo ou o evento que sempre ocorre e .

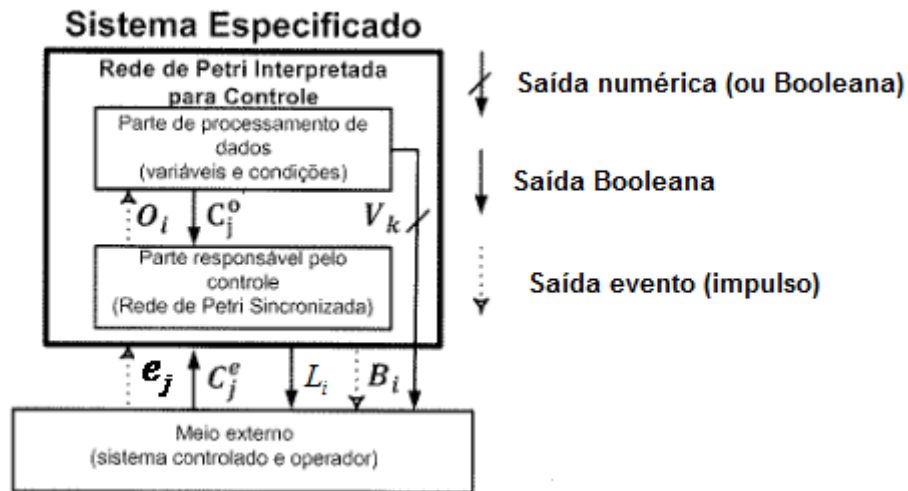


Figura 2.8 – Processamento de dados da rede de Petri interpretada para controle.

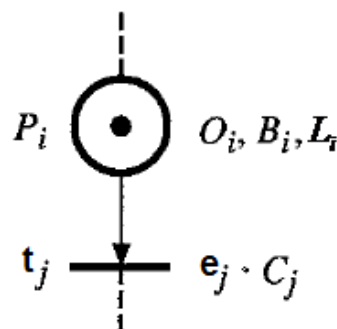


Figura 2.9 – Rede de Petri interpretada para controle. e_j

Nesse caso, a transição t_j dispara, se a transição t_j estiver habilitada e a condição C_j for verdadeira, quando o evento e_j ocorrer.

Uma rede de Petri interpretada para controle é uma séptupla (N, D, C, E, L, B, O) , em que $N = (P, T, A, w, x_0)$ é uma rede de Petri marcada. $D = \{d_j : t_j \in T_D\}$ é o conjunto de atrasos de disparo associados às transições temporizadas de T_D . O conjunto de transições é $T = T_0 \cup T_D$, em que T_0 é o conjunto de transições sem atraso associado, e T_D é o conjunto de transições com atraso

associado; $C = \{C_j : t_j \in T\}$ é o conjunto de condições associadas ao conjunto de transições T ; $E = \{e_j : t_j \in T\}$ é o conjunto de eventos também associados ao conjunto de transições T ; e finalmente L, B, O são, respectivamente, o conjunto de saídas Booleanas, ações impulsivas e operações associadas ao conjunto dos lugares P .

2.3 Comentários Finais

Neste capítulo foram introduzidos os conceitos referentes à teoria de sistemas a eventos discretos e os fundamentos das Redes de Petri.

As redes de Petri possuem uma fundamentação simples com uma representação gráfica de fácil visualização e representam bem as relações entre as condições e eventos usados na modelagem de sistemas a eventos discretos.

O sistema de paletização automático de caixas estudado nesse trabalho é considerado um sistema a eventos discretos, uma vez que sua dinâmica é definida a partir da ocorrência de eventos. O funcionamento desse sistema é descrito no capítulo seguinte.

Capítulo 3

Sistema de Paletização Automático de Caixas

A proposta deste capítulo é apresentar o sistema de paletização automático de caixas. O processo consiste em receber as caixas já formadas por outro equipamento e organizá-las em paletes para que possam ser estocadas e posteriormente transportadas até os postos de venda.

Este capítulo está estruturado da seguinte forma: na seção 3.1 é apresentado uma visão geral do paletizador de caixas e seus sistemas; na seção 3.1.1 é apresentado o sistema de entrada de caixas; na seção 3.1.2 é apresentado o sistema de arrumação das caixas; na seção 3.1.3 é apresentado o sistema de paletização de caixas; e finalmente na seção 3.1.4 é apresentado o sistema de saída de paletes. Na seção 3.2 são feitos os comentários finais do capítulo.

3.1 Paletizador de Caixas

A máquina estudada tem como objetivo organizar as caixas em camadas e depositá-las sobre paletes. A função do palete é otimizar o transporte de carga através da utilização de empilhadeiras. O palete utilizado armazena 6 camadas e cada camada é formada por 8 caixas, totalizando um armazenamento de 48 caixas por palete. Essas caixas possuem forma retangular, sendo este um fator decisivo para a forma de organização destas sobre o palete.

O processo se inicia com a entrada de caixas que são posicionadas de forma controlada, realizando-se todo o deslocamento através de esteiras. Durante o deslocamento, as caixas podem ser direcionadas para esquerda ou direita e rotacionadas em 90 graus, conforme a necessidade do arranjo das camadas. Os arranjos das camadas foram adotados em função da forma e tamanho das caixas e palete utilizados. Dessa forma, as camadas 1,3 e 5 possuem o arranjo representado na figura 3.1 e as camadas 2,4 e 6 possuem o arranjo representado na figura 3.2. As caixas estão numeradas conforme ordem de ingresso na máquina.

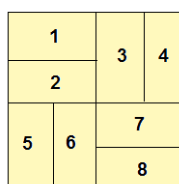


Figura 3.1 – Arranjo das camadas 1,3 e 5.

9	10	11
		12
13		
14	15	16

Figura 3.2 – Arranjo das camadas 2,4 e 6.

Quando, sobre o palete, houver 6 camadas depositadas, o elevador desce o palete cheio até os transportadores de roletes que o desloca para o local onde é retirado pela empilhadeira e levado para o armazém. Um esquema da máquina é apresentado na figura 3.3.

A máquina é dividida nos seguintes sistemas:

- Sistema de entrada de caixas.
- Sistema de arrumação de caixas.
- Sistema de paletização de caixas.
- Sistema de saída de paletes.

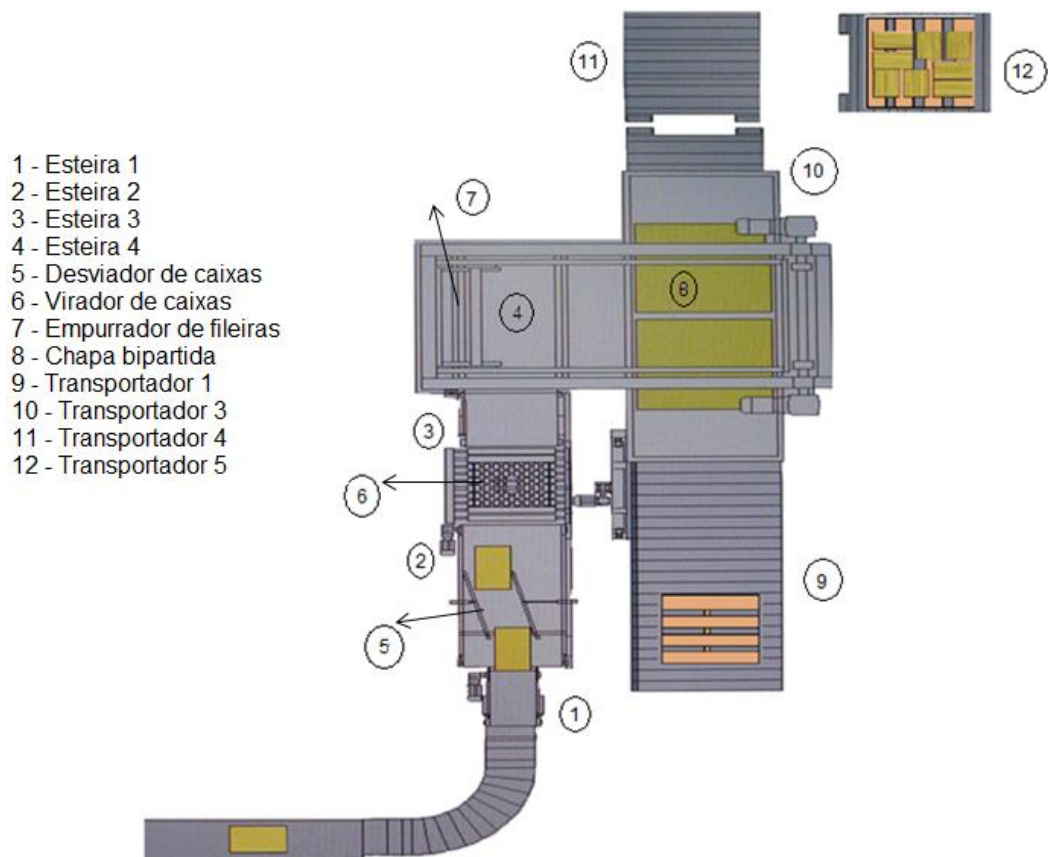


Figura 3.3 – Esquema do paletizador.

3.1.1 Sistema de Entrada de Caixas

O sistema de entrada de caixas é responsável por controlar a entrada de caixas, desviar e girar as caixas para realizar a arrumação conforme a necessidade. Para executar essas funções, o sistema conta com 4 esteiras transportadoras, um desviador de caixas e um virador de caixas. Suas localizações na máquina podem ser observadas na figura 3.3.

A esteira 1 é responsável pela entrada das peças no paletizador. No final dessa esteira está posicionado o sensor S1, responsável pela detecção de que uma caixa está saindo da esteira 1 e indo para a esteira 2.

A esteira 2 é o local no qual o desviador de caixas está posicionado. Após o desviador de caixas, está localizado o sensor S2, responsável pela detecção de que uma caixa saiu do desviador e está indo para a esteira 3.

A esteira 3 possui os sensores S3, S5 e S6 localizados em sua extensão. Nela também está localizado o virador de caixas. O sensor S3 é responsável pela detecção de que uma caixa está sobre o virador de caixas. O sensor S5 é posicionado de tal forma que ele é acionado assim que a caixa chega ao virador e é somente desacionado quando a caixa completa o giro de 90 graus. O sensor S6 é responsável pela detecção de que uma caixa está saindo da esteira 3 e entrando na esteira 4.

A esteira 4 é responsável pela entrada das caixas no sistema de arrumação. Nela está localizado o empurrador de fileiras, responsável por levar as caixas da esteira 4 até a chapa bipartida.

O desviador de caixas, mostrado na figura 3.4, é um dispositivo que possui dois braços cuja função é direcionar as caixas para a esquerda ou direita de acordo com a arrumação da camada de caixas que será paletizada. Os braços são acionados por dois cilindros pneumáticos de dupla ação localizados nos pontos A e B da figura 3.5.



Figura 3.4 - Desviador de caixa.

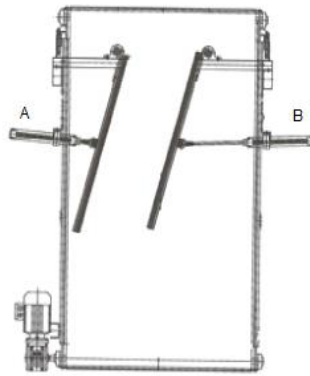


Figura 3.5 – Vista superior do desviador de caixa.

O cilindro pneumático de dupla ação, mostrado na figura 3.6, usa o ar comprimido para empurrar o pistão e também para retorná-lo à posição original. Existem também, apesar de não utilizado nesse equipamento, os cilindros de ação simples que usam o ar comprimido para empurrar o pistão e uma mola para retorná-lo a posição original.

Para executar sua função, a energia potencial do ar comprimido armazenado no cilindro de dupla ação se transforma em energia cinética. Isto se dá através da expansão do ar dentro do cilindro sem o fornecimento de energia externa ao sistema. Essa expansão ocorre sozinha devido ao gradiente de pressão estabelecido pela compressão do gás, sendo que a pressão do gás comprimido é maior que a pressão atmosférica. Essa expansão do ar faz com que o pistão do cilindro se mova [5].

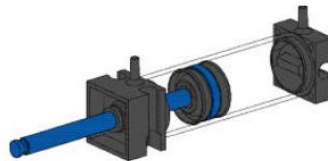


Figura 3.6 – Cilindro Pneumático de dupla ação.

A condição do cilindro em um determinado momento, ou seja, se ele está avançado ou não, é detectada pelo sensor magnético para cilindro pneumático mostrado na figura 3.7. Eles são montados diretamente sobre as camisas dos cilindros dotados de êmbolos magnéticos. Neste êmbolo existe um ímã permanente, cujo campo magnético aciona os sensores magnéticos de proximidade. Portanto, toda vez que o êmbolo magnético de um cilindro se movimenta, ao passar pela região da camisa onde externamente está posicionado um sensor magnético, este é sensibilizado e emite um sinal para a entrada do controlador lógico programável. Na figura 3.8, temos o sensor magnético de proximidade e sua aplicação montado em um cilindro pneumático.



Figura 3.7 – Sensor magnético de proximidade.

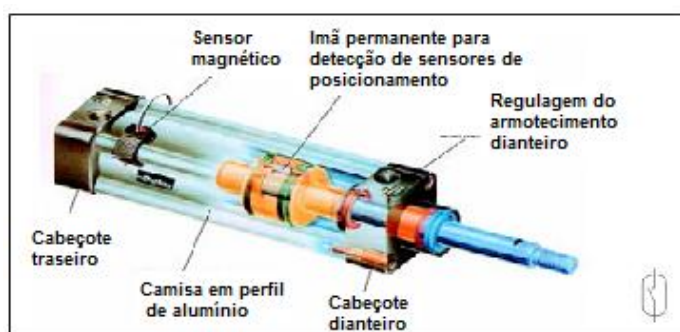


Figura 3.8 – Aplicação do Sensor magnético de proximidade.

O virador de caixas, mostrado na figura 3.9, é um dispositivo que deve realizar o giro de 90 graus nas caixas de acordo com o arranjo das camadas que serão paletizadas. Para isso ele possui um movimento vertical, realizado por um cilindro pneumático de dupla ação. Esse movimento é necessário para que o virador suba, tornando o giro possível. O virador também possui um movimento rotativo que é realizado por um motor elétrico. Após o giro, o virador desce para a posição inicial, fazendo com que a caixa volte a ter contato com a esteira.



Figura 3.9 – Virador de caixas

Sensores fotoelétricos retro reflexivos são utilizados ao longo do transporte de caixas para detectar a presença das caixas e informar sua localização para o controlador lógico programável. Os sensores fotoelétricos retro reflexivos apresentam o transmissor e o receptor em uma única unidade. O feixe de luz chega ao receptor somente após ser refletido por um espelho prismático, como mostrado na figura 3.10, e o acionamento da saída ocorrerá quando o objeto a ser detectado interromper o feixe. Seu funcionamento está exemplificado na figura 3.11.

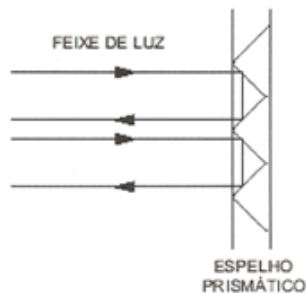


Figura 3.10 – Sensores fotoelétricos retro reflexivos.

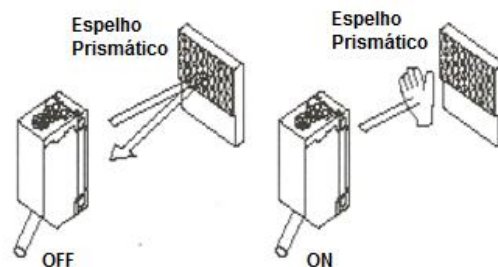


Figura 3.11 – Funcionamento do sensor retro reflexivo.

3.1.2 Sistema de Arrumação de Caixas

O sistema de arrumação de caixas é responsável por levar as caixas até a área onde serão depositadas sobre o palete. Para executar essa função, o sistema conta com o empurrador de fileiras e com duas guias móveis. Cada fileira é composta por 4 caixas.

O empurrador de fileiras realiza o arraste sempre que 4 caixas estão posicionadas em sua região. Seu deslocamento horizontal, mostrado na figura 3.12,

é realizado por um motor elétrico. Próximo ao trilho do empurrador, existem sensores magnéticos que detectam a presença do empurrador e assim determinam o curso de avanço parcial ou total do empurrador. O avanço parcial deixa as caixas em uma posição intermediária determinada pelo sensor S7 e o avanço total leva as caixas até a posição final, determinada pelo sensor S8, na chapa bipartida. Nesse momento, as caixas, que foram deixadas na posição intermediária, são empurradas pelas caixas seguintes que estão sendo levadas pelo empurrador durante o avanço total até a posição final. Seu batente é a peça responsável pelo o arraste das caixas, pois é ele que entra efetivamente em contato físico com as caixas. Após realizar o arraste das caixas, esse batente precisa ser suspenso para que o empurrador possa retornar sem bater nas caixas seguintes. Esse movimento vertical é realizado por um cilindro pneumático de dupla ação. Na camisa desse cilindro, existem sensores magnéticos de proximidade que informam seu estado avançado ou recuado. O batente do empurrador pode ser observado na figura 3.13.

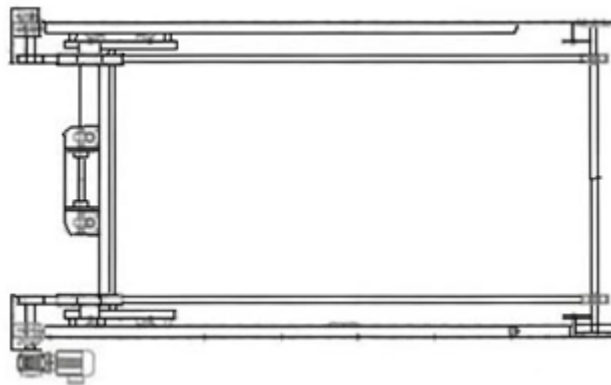


Figura 3.12 – Vista superior do Empurrador de fileiras.



Figura 3.13 - Empurrador de fileiras visto de frente.

As guias móveis permitem que as caixas permaneçam organizadas no momento da abertura da chapa bipartida. Cada guia, mostrada na figura 3.14, é

avançada por um cilindro pneumático de dupla ação. Esses cilindros possuem um sensor magnético em sua camisa para informar seu estado avançado ou recuado.



Figura 3.14 – Guia móvel.

3.1.3 Sistema de Paletização

O sistema de paletização é responsável por realizar todo o transporte de palete vazio até a posição de recebimento de caixas. Para executar essa função, o sistema conta com 2 transportadores de roletes, uma chapa bipartida e um elevador de paletes.

O transportador 1 é responsável pela entrada de paletes vazios no paletizador. No final desse transportador está posicionado o sensor S12, responsável pela detecção de que um palete está saindo do transportador 1 e indo para o transportador 2.

O transportador 2 tem a função de levar o palete vazio até o elevador que fica posicionado inicialmente sob seus roletes. No final desse transportador está posicionado o sensor S13, responsável pela detecção de que o palete vazio está posicionado sobre o elevador. O sensor S14 posicionado sob os roletes é responsável pela detecção de que o elevador está embaixo.

A figura 3.15 mostra a chapa bipartida, que é responsável pelo depósito das caixas sobre o palete. A chapa se abre somente quando um palete foi suspenso pelo elevador e está localizado sob a chapa bipartida. A abertura das chapas é realizada com o acionamento dos cilindros pneumáticos de dupla ação que podem ser localizados na vista superior mostrada na figura 3.16. Esses cilindros possuem um

sensor magnético de proximidade que informa o estado avançado ou recuado do cilindro.

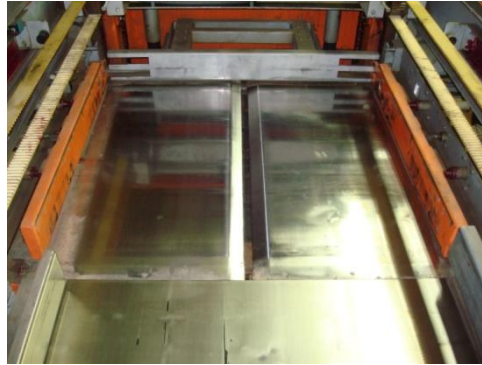


Figura 3.15 – Chapa bipartida.

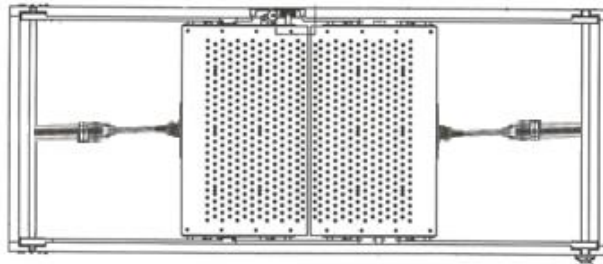


Figura 3.16 – Vista superior da Chapa bipartida.

O elevador, mostrado na figura 3.17, é utilizado para subir o palete vazio até a altura de recebimento de caixas, ou seja, sob a chapa bipartida, descendo até o transportador de rolete somente quando o palete estiver completo com 6 camadas de 8 caixas depositadas sobre ele. Seu movimento é realizado por um motor elétrico situado na parte superior e pode ser observado na figura 3.18. A posição onde o elevador deve parar é determinada pelo sensor S15 que fica posicionado na coluna de deslocamento do elevador.



Fig 3.17 - Elevador de paletes

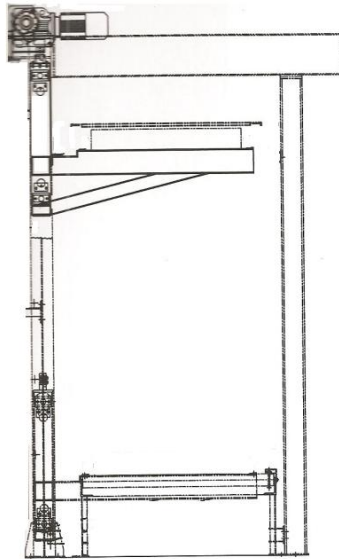


Figura 3.18 – Vista lateral do elevador de paletes

3.1.4 Sistema de Saída de Paletes

O Sistema de saída de paletes é responsável por controlar a saída de paletes cheios até a posição onde são retirados pela empilhadeira. Para executar essa função, o sistema conta com 3 transportadores de roletes. Suas localizações na máquina podem ser observadas na figura 3.3.

Após receber o palete cheio da região do elevador, o transportador de roletes 3 é responsável por conduzi-lo até o transportador de roletes 4. No final desse transportador está localizado o sensor S17, responsável pela detecção de palete sobre esse transportador, informando assim sua disponibilidade.

O transportador de roletes 4 é responsável por mudar a direção de deslocamento dos paletes cheios. Dessa forma, ele recebe o palete do transportador 3 e realiza um giro de 90 graus. Após o término do giro, os roletes são acionados no sentido inverso para liberar o palete para o transportador 5. Após a liberação do palete, o transportador gira novamente para sua posição inicial. Esse transportador possui os sensores S18, responsável pela detecção de palete no transportador, S19, responsável pela detecção de que o transportador está na sua posição inicial e S20, responsável pela detecção de que o transportador completou o giro de 90 graus.

A saída do palete cheio da máquina é feita pelo transportador de roletes 5 que possui, no final de sua extensão, o sensor S21, responsável pela detecção de que o palete cheio chegou ao ponto de saída da máquina e deve ser retirado pela empilhadeira.

3.2 Comentários Finais

Neste capítulo, foi apresentado o Paletizador de caixas composto pelos sistemas de entrada, arrumação, paletização de caixas e o sistema de saída de paletes, além dos dispositivos e equipamentos de cada sistema.

No capítulo 4 é apresentada a modelagem do sistema de paletização automática de caixas utilizando redes de Petri interpretadas para controle.

Capítulo 4

Modelagem do Sistema de Paletização de Caixas

Neste capítulo, o sistema de paletização automático de caixas é modelado utilizando-se Redes de Petri. Com o objetivo de facilitar o entendimento da Rede de Petri, a modelagem foi dividida em quatro partes, onde cada uma delas representa um subsistema. Entretanto, esses subsistemas estão relacionados e, por isso, o funcionamento ou a interrupção de um interfere diretamente nos demais.

Este capítulo está estruturado da seguinte forma: na seção 4.1 é descrito o sistema de entrada de caixas; na seção 4.2 é descrito o sistema de arrumação das caixas; na seção 4.3 é descrito o sistema de paletização de caixas; na seção 4.4 é descrito o sistema de saída de paletes; e finalmente, na seção 4.5 são feitos os comentários finais do capítulo.

4.1 Sequência de operação do sistema de entrada de caixas.

A rede de Petri do sistema de entrada de caixas é apresentada na figura 4.1. As tabelas 4.1 e 4.2 mostram respectivamente a localização dos sensores da máquina e a descrição de seus contadores.

O lugar p_1 representa a máquina totalmente desligada. Uma ficha neste lugar representa que todas as esteiras e transportadores estão desligados e os cilindros pneumáticos não estão acionados.

A transição t_1 dispara quando o sensor S0 detecta que a primeira caixa está chegando à máquina. A condição imposta pelos contadores N1 e N2 garantem que essa transição vai ocorrer somente quando for a primeira caixa. O contador N1 é incrementado pelo sensor S0 no lugar p_{14} e o contador N2 pelo sensor S2, no lugar p_{17} .

O lugar p_2 representa que a esteira de entrada 1 deve ser ligada para permitir o acesso das caixas no interior da máquina.

Os lugares p_3 , p_4 e p_5 indicam, respectivamente, que as esteiras 4,2 e 3 são ligadas. As transições t_2 , t_3 e t_4 são excludentes e fazem o sistema evoluir de forma distinta. Seus disparos estão condicionados com a ordem da caixa que está sobre a esteira 2 e acontecem quando o sensor S1 detecta a presença dessa caixa.

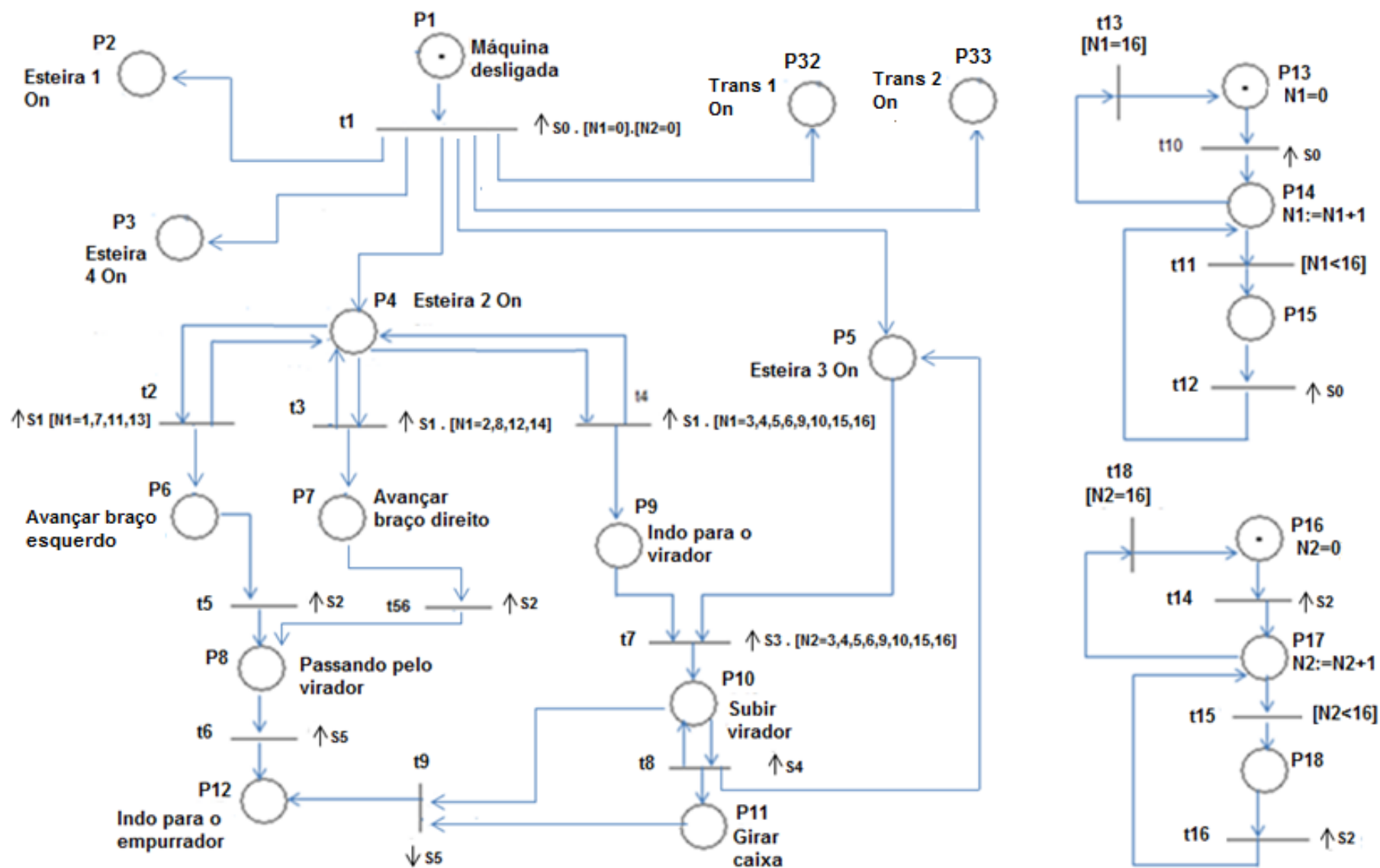


Figura 4.1 – Rede de Petri do sistema de entrada.

Sensores	Localização	Sensores	Localização
S0	Na entrada da máquina antes da esteira 1.	S11	No corpo do cilindro pneumático da guia móvel.
S1	No final da esteira 1.	S12	Final do transportador 1.
S2	No final da esteira 2 após o desviador de caixas.	S13	Final do transportador 2.
S3	Esteira 3 na entrada do virador de caixas.	S14	No curso do elevador (elevador embaixo).
S4	No corpo do cilindro pneumático do virador de caixas.	S15	No curso do elevador (elevador em cima).
S5	Na região do virador de caixas da esteira 3.	S16	No corpo do cilindro pneumático da chapa bipartida.
S6	No final da esteira 3.	S17	No final do transportador 3.
S7	No início da superfície da chapa bipartida.	S18	No final do transportador 4.
S8	No final da superfície da chapa bipartida.	S19	No início do curso de giro do transportador 4.
S9	No corpo do cilindro pneumático do batente do empurrador de camada.	S20	No final do curso de giro do transportador 4.
S10	No início do curso do empurrador de camada.	S21	No final do transportador 5.

Tabela 4.1 – Lista da localização dos sensores

Contadores	Descrição
N1	Realiza a contagem de caixas que entram na máquina.
N2	Realiza a contagem de caixas que saem da região do desviador de caixas.
N3	Realiza a contagem das caixas que entram na região do empurrador de fileiras.
N4	Realiza a contagem do número de avanços do empurrador de fileiras.
N5	Realiza a contagem do número de aberturas da chapa bipartida

Tabela 4.2 – Lista dos contadores e suas descrições

O lugar p_6 representa que o cilindro pneumático do braço esquerdo deve ser acionado, direcionando a caixa para direita. Isso ocorre com as caixas 1, 7, 11 e 13 da sequência.

O lugar p_7 representa que o cilindro pneumático do braço direito deve ser acionado, direcionando a caixa para esquerda. Isso ocorre com as caixas 2,8,12 e 14 da sequência.

A transição t_5 dispara quando a caixa, que foi desviada pelo braço esquerdo, sai do desviador e é detectada pelo sensor S2, fazendo com que o braço esquerdo retorne para a posição inicial. A transição t_{56} dispara quando a caixa, que foi desviada pelo braço direito, sai do desviador e é detectada pelo sensor S2, fazendo com que o braço direito retorne para a posição inicial. As caixas 3,4,5,6,9,10,15 e 16 não sofrem interferência alguma do desviador e portanto nenhum dos braços do desviador é acionado.

Outra função do sensor S2 é incrementar o contador N2, realizando assim uma nova contagem das caixas que saem do desviador. Isso se faz necessário, pois as caixas, que não sofreram interferência do desviador, precisam ser giradas 90 graus no virador de caixas. O contador N1 não pode servir de referência para essa ação, pois ele conta quantas caixas entraram no desviador de caixas e, portanto, pode já ter sido incrementado.

O lugar p_8 representa que a caixa, que sofreu interferência do desviador, passa pelo virador de caixa, porém sem ser girada. Nenhuma ação é atribuída a esse lugar. A transição t_6 dispara quando a caixa está sobre a esteira 3, sendo detectada pelo sensor S5.

O lugar p_9 representa que a caixa, que não sofreu interferência do desviador, está indo para o virador de caixas. A transição t_7 dispara quando o sensor S3 detecta que essa caixa está sobre o virador. A informação da ordem da caixa é fornecida nesse momento pelo contador N2. Após o disparo, a esteira 3 é desligada.

O lugar p_{10} indica que o cilindro pneumático do virador de caixas deve ser acionado para tornar possível o giro da caixa. A transição t_8 dispara quando o cilindro chega ao seu curso final de avanço. Essa informação é dada pelo sensor magnético de proximidade S4 acoplado na camisa do cilindro. Nesse momento a esteira 3 é religada.

O lugar p_{11} representa que o virador deve iniciar seu giro com a caixa. A transição t_9 dispara quando o giro de 90 graus tiver sido realizado, evidenciado pelo desacionamento do sensor S5. Nesse momento, o lugar p_{10} perde uma ficha, fazendo com que o virador desça para a posição inicial.

O lugar p_{12} representa que a caixa está indo para o empurrador de fileiras onde será iniciado o sistema de arrumação de caixas.

O lugar p_{13} representa que o contador 1 está zerado. Essa é a condição inicial do contador. A transição t_{10} dispara quando uma caixa entra na máquina e é detectada pelo sensor S0.

O lugar p_{14} representa o incremento do contador N1. A transição t_{11} dispara caso a sequência de 16 caixas ainda não tenha sido completada.

O lugar p_{15} representa uma situação de espera até um novo incremento. A transição t_{12} dispara quando uma nova caixa entra na máquina e aciona novamente o sensor S0.

A transição t_{13} dispara quando a sequência de 16 caixas é completada.

O lugar p_{16} representa que o contador N2 está zerado. Essa é a condição inicial do contador. A transição t_{14} dispara quando a primeira caixa da sequência sai do desviador de caixas e é detectada pelo sensor S2.

O lugar p_{17} representa o incremento do contador N2. A transição t_{15} dispara caso a sequência de 16 caixas ainda não tenha sido completada.

O lugar p_{18} representa uma situação de espera até um novo incremento. A transição t_{16} dispara quando uma nova caixa sai do desviador de caixas e é detectada pelo sensor S2.

A transição t_{18} dispara quando a sequência de 16 caixas é completada.

4.2 Sequência de operação do sistema de arrumação de caixas

A rede de Petri do sistema de arrumação de caixas é apresentada na figura 4.2. As tabelas 4.1 e 4.2 mostram, respectivamente, a localização dos sensores da máquina e a descrição de seus contadores.

Essa sequência se inicia com os lugares p_{12} e p_3 que representam, respectivamente, que uma caixa está a caminho do empurrador e que a esteira 4 está ligada.

O lugar p_{19} representa que o contador N3 está zerado. Essa é a condição inicial do contador. Quando o sensor S6 detecta que a primeira caixa da sequência de 4 caixas está entrando na região do empurrador de fileiras, a transição t_{19} dispara.

O lugar p_{20} representa o incremento do contador N3. A transição t_{20} dispara caso a sequência de 4 caixas ainda não tenha sido completada.

O lugar p_{21} representa uma situação de espera até um novo incremento. A transição t_{21} dispara quando uma nova caixa entra na região do empurrador de fileiras e dessa forma aciona novamente o sensor S6.

A transição t_{22} dispara quando a sequência de 4 caixas é completada. Nesse momento todas as 4 caixas estão dentro da região do paletizador.

O lugar p_{22} representa uma situação de espera para o desligamento da esteira 4. Este desligamento deve ocorrer 2 segundos após a entrada da quarta caixa na região do empurrador. Esse tempo é necessário para garantir que esta quarta caixa entre completamente na região do empurrador. A transição t_{23} dispara, portanto, dois segundos após a entrada da quarta caixa.

O lugar p_{23} representa que o empurrador de fileiras está disponível, ou seja, recuado e com seu batente abaixado.

O lugar p_{24} representa uma situação de espera até a disponibilidade do empurrador. Quando essa situação de espera está ativa e o empurrador está disponível, a transição t_{24} fica habilitada, porém só dispara se a chapa bipartida estiver fechada e sem caixas acumuladas em sua superfície. Essas condições são obtidas, respectivamente, através dos sensores S16 e S8.

O lugar p_{25} indica que o empurrador de fileiras deve avançar para levar as caixas até a posição correta. Esse avanço acontece quando 4 caixas estão posicionadas em sua região. Cada camada do palete é formada por 8 caixas e para formá-la são necessários dois avanços do empurrador.

A transição t_{25} irá disparar se o empurrador estiver levando o primeiro conjunto de 4 caixas. Caso esteja levando o segundo conjunto de 4 caixas, a transição t_{26} é que irá disparar. Essa informação é obtida pelo contador N4. Essa diferença é importante, pois determina em que local o avanço do empurrador deve ser interrompido. O local onde o empurrador deve parar durante o primeiro avanço é

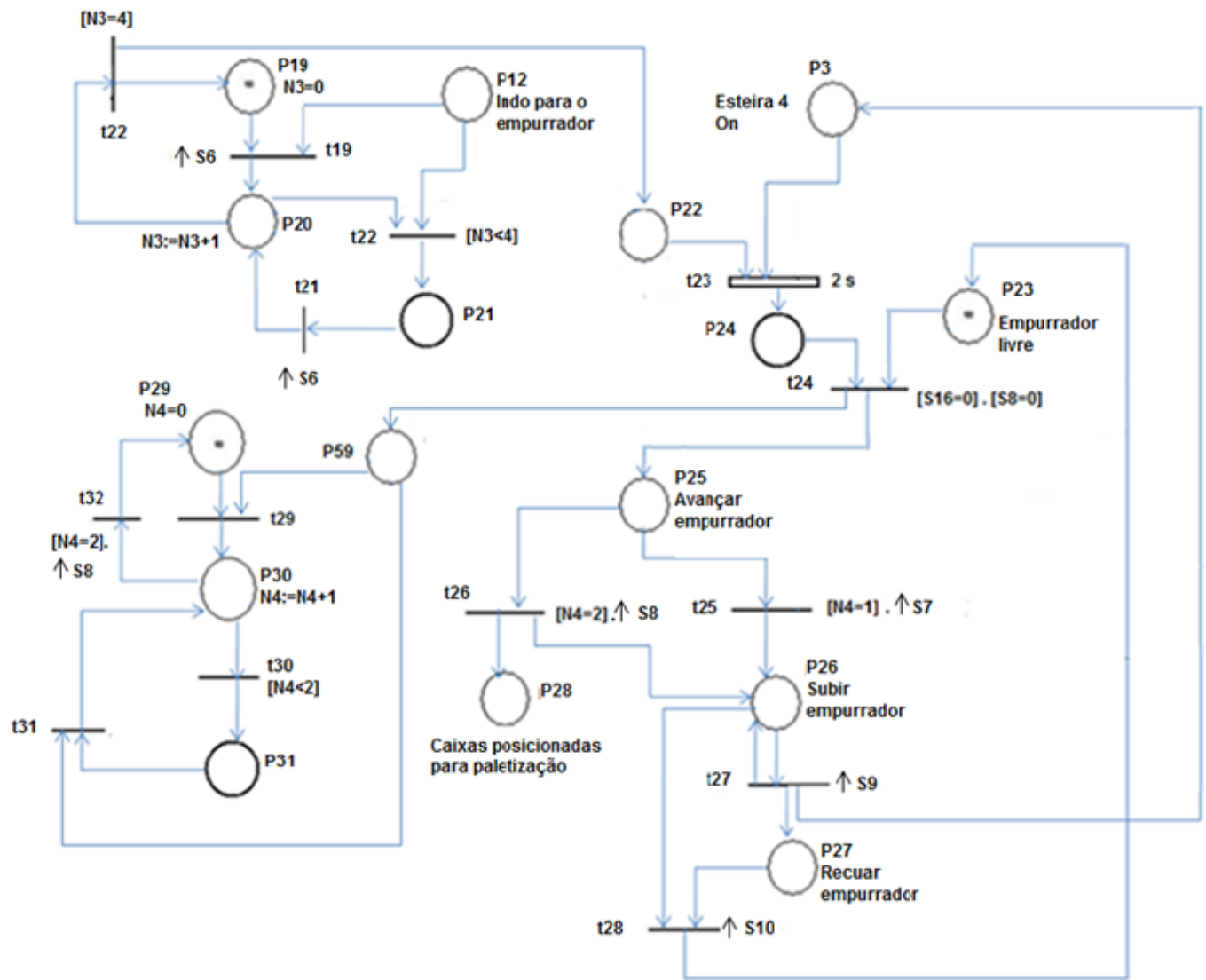


Figura 4.2 – Rede de Petri do sistema de arrumação.

uma posição intermediária determinada pelo sensor S7 e durante o segundo avanço é uma posição final determinada pelo sensor S8.

O lugar p_{26} indica que o cilindro do empurrador deve ser acionado para subir o batente e tornar possível o retorno do empurrador concomitantemente com a entrada de novas caixas na região do empurrador.

A transição t_{27} dispara quando o cilindro chega ao seu curso final de subida e é detectado pelo sensor S9. Nesse momento a esteira 4 é religada e o batente do empurrador continua em cima.

O lugar p_{27} representa o recuo do empurrador de fileiras. A transição t_{28} dispara quando o empurrador chega na sua posição inicial e é detectado pelo sensor S10. Nesse momento, o recuo é interrompido e seu batente desce, disponibilizando o empurrador para novo ciclo.

O lugar p_{28} representa que as caixas estão arrumadas e posicionadas sobre a chapa bipartida para serem paletizadas. Nesse momento inicia-se o sistema de paletização.

O lugar p_{29} representa que o contador N4 está zerado. Essa é a condição inicial do contador. A transição t_{29} dispara sempre que houver um avanço do empurrador. Essa condição é imposta pelo lugar p_{59} que recebe ficha no mesmo momento do lugar p_{25} , cuja ação atribuída é avançar o empurrador.

O lugar p_{30} representa o incremento do contador N4. A transição t_{30} dispara caso a sequência de 2 avanços ainda não tenha sido completada.

O lugar p_{31} representa uma situação de espera até um novo incremento. A transição t_{31} dispara quando ocorre um novo avanço do empurrador. Essa condição é novamente imposta pelo lugar p_{59} . A transição t_{32} dispara quando a sequência de 2 avanços do empurrador é completada e o último avanço chegou no final do percurso, sendo detectado pelo sensor S8.

4.3 Sequência de operação do sistema de paletização de caixas

A rede de Petri do sistema de paletização de caixas é apresentada na figura 4.3. As tabelas 4.1 e 4.2 mostram respectivamente a localização dos sensores da máquina e a descrição de seus contadores.

O lugar p_1 representa a máquina totalmente desligada. Neste lugar todas as esteiras e transportadores estão desligados e os cilindros pneumáticos não estão acionados. A transição t_1 dispara quando o sensor S0 detecta que a primeira caixa está chegando à máquina.

Os lugares p_{32} e p_{33} representam, respectivamente, que os transportadores de paletes 1 e 2 devem ser ligados para permitirem o acesso de paleta vazio no interior da máquina.

O lugar p_{34} representa que o elevador está disponível, ou seja, ele está embaixo e não existe paleta sobre ele.

Quando o sensor S13 detecta que o primeiro paleta vazio está posicionado sobre o elevador, a transição t_{33} dispara. Nesse momento, o transportador 2 é desligado.

O lugar p_{35} representa uma condição para o desligamento do transportador 1. Ele deverá ser desligado somente quando um novo paleta vazio chegar e o elevador ainda estiver ocupado. A transição t_{34} dispara quando essa situação ocorre. A presença do paleta vazio é detectada pelo sensor S12.

O lugar p_{36} representa uma situação de espera da disponibilidade do elevador. Assim que essa disponibilidade acontece, a transição t_{35} dispara, religando assim o transportador 1.

O lugar p_{37} indica que o elevador deve subir. A transição t_{36} dispara quando o elevador atinge a posição determinada pelo sensor S15.

O lugar p_{38} representa que o paleta vazio está posicionado e pronto para receber o depósito das caixas. O lugar p_{28} representa que as caixas estão arrumadas e posicionadas para serem depositadas sobre o paleta. Quando essas duas condições são satisfeitas, a transição t_{37} dispara.

O lugar p_{39} representa o acionamento do cilindro pneumático da guia móvel. Dessa forma a guia avançará e não permitirá que a arrumação das caixas se desfça quando a chapa bipartida se abrir. A transição t_{38} dispara quando o cilindro atingir seu curso máximo de avanço e for detectado pelo sensor S11.

O lugar p_{41} indica que o elevador deve descer. As transições t_{40} e t_{41} são excludentes e fazem o sistema evoluir de forma distinta.

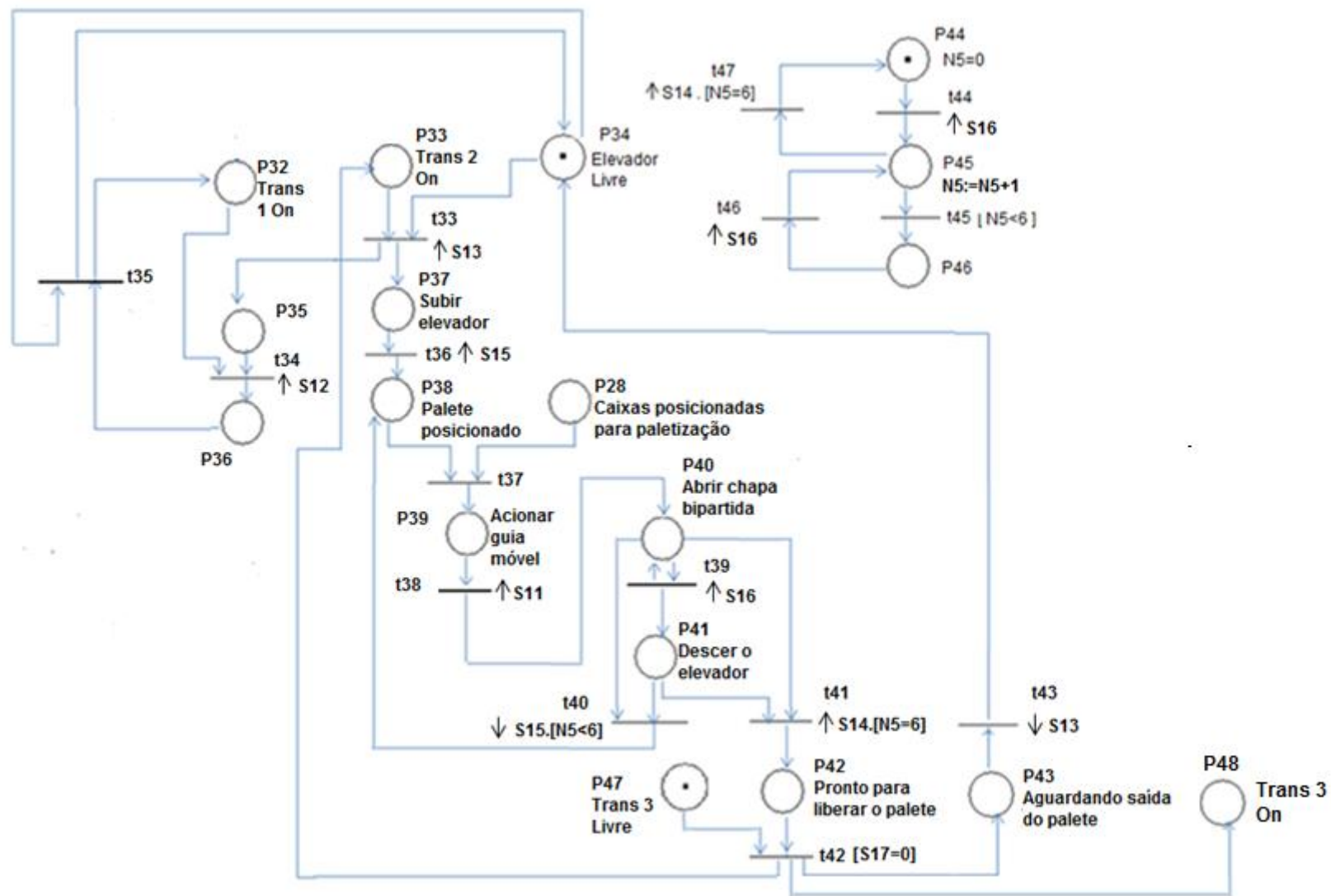


Figura 4.3 – Rede de Petri do sistema de paletização.

Seus disparos estão condicionados com a quantidade de camadas que estão sobre o palete. Essa informação é obtida do contador N5.

A transição t_{40} dispara caso o palete ainda não esteja completo. Assim a interrupção da descida do elevador é feita de forma que o palete fique posicionado para receber uma nova camada. Essa informação é obtida pelo desacionamento do sensor S15.

A transição t_{41} dispara caso o palete já esteja completo. Dessa forma a descida só é interrompida quando o elevador chega totalmente embaixo e é detectado pelo sensor S14.

O lugar p_{42} representa que nesse momento o palete está cheio e pronto para sair.

A condição para que a transição t_{42} dispare é que o transportador de paletes cheios 3 esteja vazio. Essa informação é obtida pelo sensor S17. Quando essa transição dispara, o transportador 2 é religado para permitir a saída do palete cheio.

O lugar p_{43} representa uma situação de espera da saída do palete cheio da região do elevador. A transição t_{43} dispara quando ocorre o desacionamento do sensor S13, evidenciando que o palete saiu completamente dessa região. Nesse momento o elevador fica livre novamente.

O lugar p_{44} representa que o contador N5 está zerado. Essa é a condição inicial do contador. A transição t_{44} dispara quando a chapa bipartida se abre pela primeira vez, representando que a primeira camada de caixas foi depositada sobre o palete. Essa informação é obtida pelo sensor S16 que detecta que o cilindro foi acionado.

O lugar p_{45} representa o incremento do contador N5. A transição t_{45} dispara caso a sequência de 6 aberturas da chapa ainda não tenha sido completada.

O lugar p_{46} representa uma situação de espera até um novo incremento. A transição t_{46} dispara quando uma nova abertura da chapa ocorre e é detectada pelo sensor S16.

A transição t_{47} dispara quando a sequência de 6 aberturas da chapa é finalizada e o elevador desceu até sua posição inicial, sendo detectado pelo sensor S14.

4.4 Sequência de operação do sistema de saída de paletes

A rede de Petri do sistema de saída de caixas é apresentada na figura 4.4. A tabela 4.1 mostra a localização dos sensores da máquina.

Essa sequência se inicia com os lugares p_{47} e p_{42} que representam, respectivamente, que o transportador 3 está livre e que o palete está cheio e pronto para sair. A transição t_{42} ocorre quando essas duas situações ocorrem.

O lugar p_{48} representa que o transportador 3 deve ser ligado para permitir o avanço do palete. A transição t_{48} dispara quando o sensor S17 detecta que o palete está inteiramente sobre o transportador 3. Nesse momento o transportador 3 é desligado.

O lugar p_{49} representa que o transportador 4 está livre. O lugar p_{50} não possui ação atribuída. Ele é um lugar de espera da disponibilidade do transportador 4. Quando essas duas situações ocorrem, a transição t_{49} é habilitada e dispara imediatamente.

O lugar p_{51} representa que o transportador 4 deve ser ligado no sentido 1, permitindo assim o avanço do palete cheio. A transição t_{50} dispara quando o sensor S18 detecta que o palete alcançou o final do transportador 4.

O lugar p_{52} representa que o transportado 4 deve ser girado. A transição t_{51} dispara quando o sensor S20 detecta que o transportador concluiu seu giro.

O lugar p_{53} representa que o palete está virado sobre o transportador 4. O lugar p_{54} representa que o transportador 5 está vazio. Quando essas duas situações ocorrem, a transição t_{52} é habilitada e dispara imediatamente.

O lugar p_{55} representa que o transportador 5 deve ser ligado. O lugar p_{56} representa que o transportador 4 deve ser ligado no sentido 2. A transição t_{53} dispara quando o sensor S21 detecta que o palete alcançou o final do transportador 5.

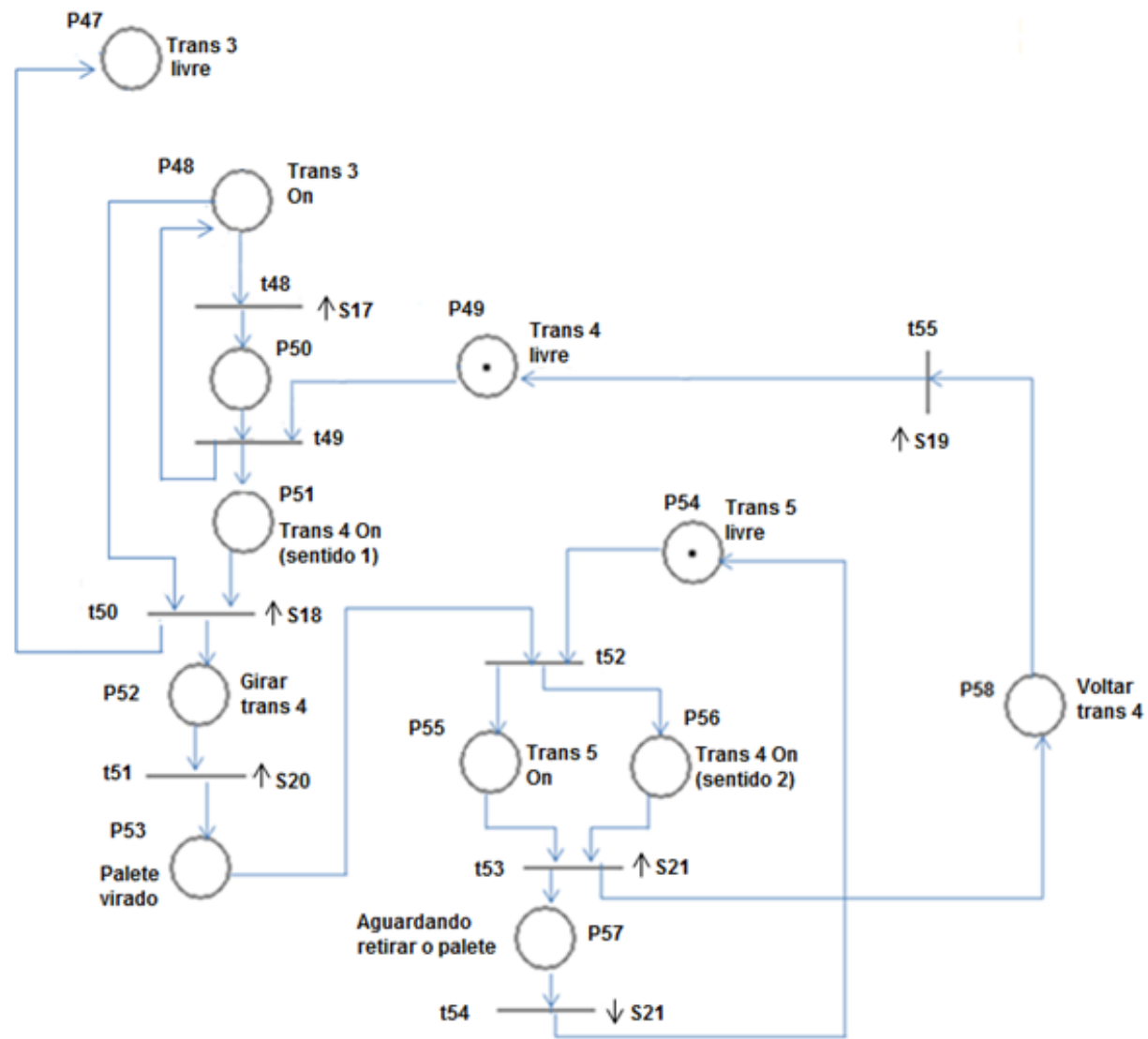


Figura 4.4– Rede de Petri do sistema de saída.

O lugar p_{57} representa que o palete chegou ao ponto final da máquina e está aguardando ser retirado pelo empilhador. A transição t_{54} dispara quando o sensor S21 é desacionado e representa que o palete foi retirado e que o transportador 5 está livre novamente.

O lugar p_{58} representa que o transportador 4 deve ser girado para sua posição inicial. A transição t_{55} dispara quando o sensor S19 detecta que o transportador chegou à sua posição inicial, estando novamente disponível.

Nas figuras 4.5 e 4.6 estão representadas, respectivamente, as matrizes de incidência de entrada e de incidência de todo o sistema. Essas matrizes serão utilizadas durante o desenvolvimento do programa ladder [7].

4.5 Comentários finais

A automação do sistema de paletização de caixas foi modelada por uma rede de Petri interpretada para controle. A rede foi modelada visando descrever o comportamento que o sistema deve realizar com a ocorrência dos eventos externos.

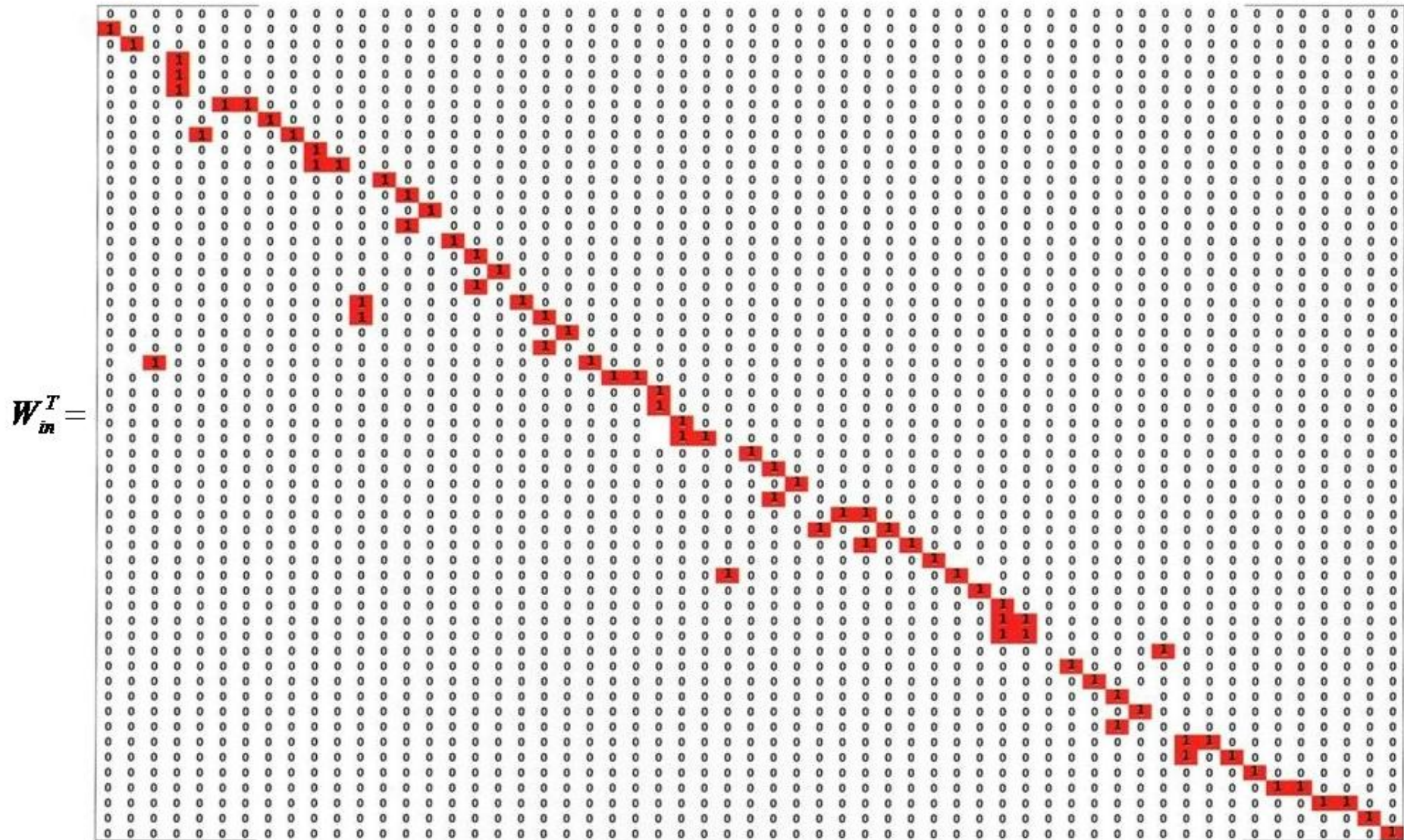


Figura 4.5 – Matriz de incidência de entrada.

$W^T =$

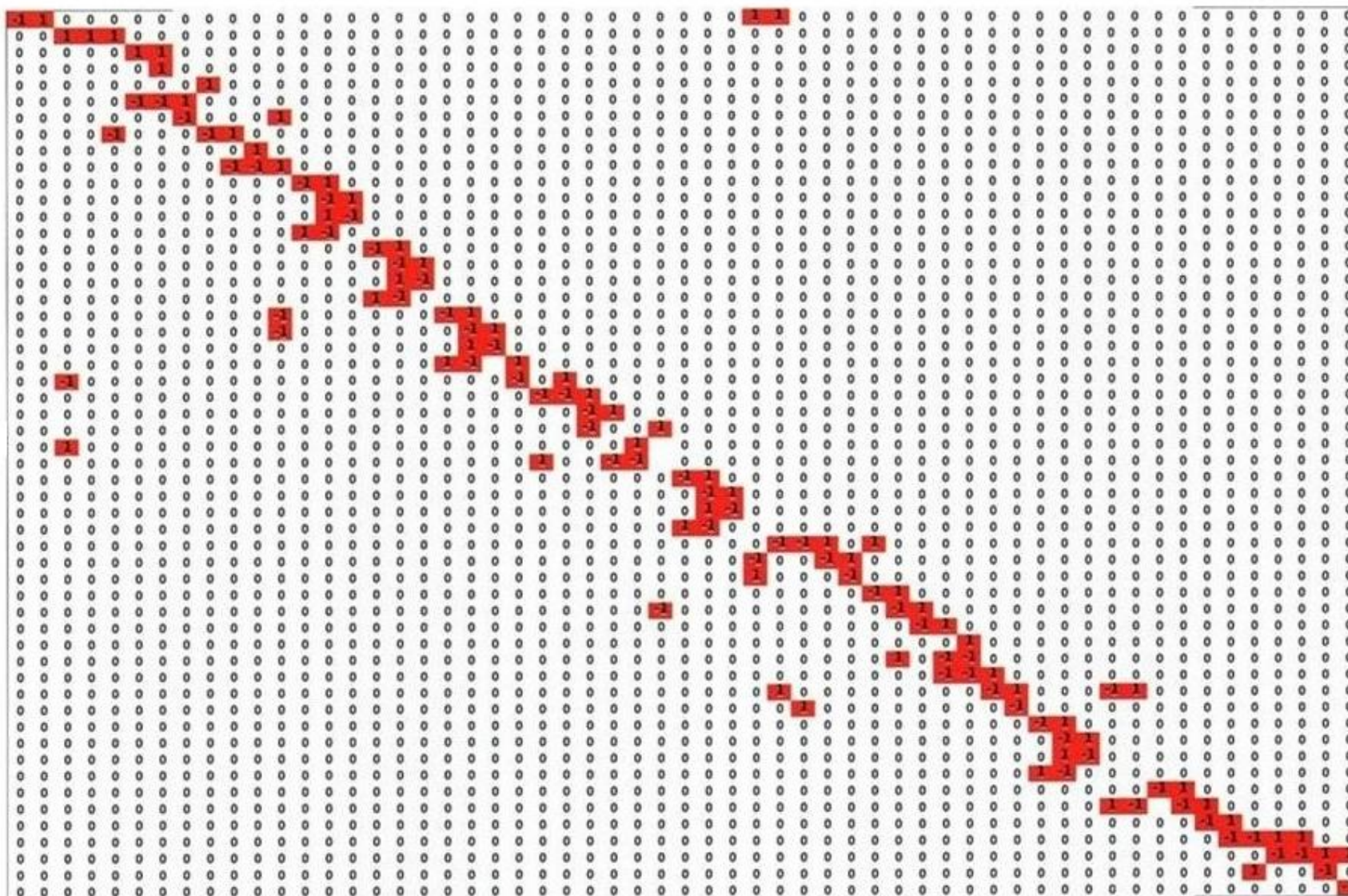


Figura 4.6 – Matriz de incidência.

Capítulo 5

Programa *Ladder*

A proposta deste capítulo é apresentar as instruções do programa *Ladder* que foram utilizadas na implementação desse projeto, assim como seus princípios de funcionamento. Na seção 5.1 são apresentados os elementos do programa Ladder utilizados nesse trabalho [3]. Na seção 5.2 é apresentado o método de conversão de uma rede de Petri para Ladder [6,7].

5.1 Elementos do Programa *Ladder*

O contato normalmente aberto é usado para determinar se um bit está On. Quando o programa é executado, se o bit endereçado estiver on (1), a instrução é avaliada como verdadeira. Caso o bit endereçado esteja off (0), a instrução é avaliada como falsa [3]. A figura 5.1 mostra o símbolo do contato normalmente aberto.

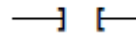


Figura 5.1 – Contato normalmente aberto

O contato normalmente fechado é usado para determinar se um bit está Off. Quando o programa é executado, se o bit endereçado estiver off (0), a instrução é avaliada como verdadeira. Caso o bit endereçado esteja on (1), a instrução é avaliada como falsa. A figura 5.2 mostra o símbolo do contato normalmente fechado.

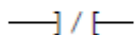


Figura 5.2 – Contato normalmente fechado

A bobina, mostrada na figura 5.3, possui uma variável binária associada, que recebe valor 1 quando as condições da linha de programação são avaliadas como verdadeiras.

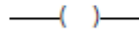


Figura 5.3 – Bobina

As bobinas Latch e as bobinas Unlatch, respectivamente mostradas nas figuras 5.4 e 5.5, são normalmente utilizadas em par com ambas as bobinas endereçadas ao mesmo bit. A bobina Latch é utilizada para manter o nível lógico de uma variável associada a ela em 1 a partir do momento em que a condição da linha é avaliada como verdadeira. Quando a condições da linha da bobina Latch se tornam falsas, a variável associada a ela permanece com o nível lógico em 1, retornando a ter o valor zero somente quando a linha de uma bobina unlatch associada a esta variável for avaliada como verdadeira.

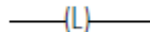


Figura 5.4 – Bobina Latch

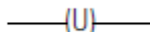


Figura 5.5 – Bobina Unlatch

A instrução de disparo único de subida (OSR) é utilizada quando se pretende identificar a mudança de falso para verdadeiro no nível lógico de uma linha. Quando isto ocorre, a lógica da instrução de disparo único é verdadeira por um ciclo de varredura. Ao final desde ciclo de varredura, a lógica da instrução OSR torna-se falsa, mesmo que a lógica da linha permaneça verdadeira. Esta instrução OSR será verdadeira novamente somente quando a lógica da linha torne a mudar de falso para verdadeiro. A figura 5.6 mostra a instrução OSR.

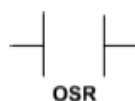


Figura 5.6 – Instrução de disparo único de subida

O temporizador Timer On Delay (TON) é utilizado para fazer uma saída ligar ou desligar após o timer atingir o intervalo de tempo ajustado no preset. Essa instrução de saída começa a temporização quando sua entrada estiver verdadeira. Ela espera um certo intervalo de tempo, ajustado no preset, compara com o tempo acumulado no acumulador e aciona o Bit DN (done) quando o tempo acumulado for igual ao tempo de preset. Enquanto a entrada do timer permanecer verdadeira, o temporizador incrementa o valor do acumulador até atingir o valor do preset. O valor acumulado é zerado quando a entrada do temporizador se torna falsa. Na figura 5.7 é apresentado o símbolo do TON.

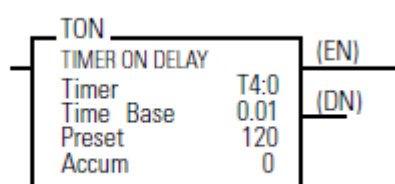


Figura 5.7 – Temporizador TON

O contador Count UP (CTU) conta o número de transições de falso para verdadeiro das condições da linha de programação até atingir o valor ajustado no Preset. Nesse momento o bit DN (done) é acionado. O valor acumulado é zerado somente quando uma bobina Reset associada ao contador é acionada. Na figura 5.8 é apresentado o símbolo do contador CTU.

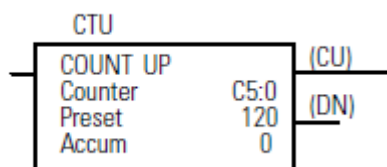


Figura 5.8 – Contador CTU

O comparador Equal (EQU) é utilizado para verificar se dois valores são iguais. Se os dois valores são iguais, a instrução é verdadeira. Caso os dois valores não sejam iguais, a instrução é falsa. Na figura 5.9 é apresentado o símbolo do comparador EQU.

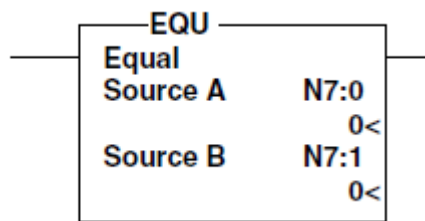


Figura 5.9 – Comparador EQU

O comparador Less Than (LES) é utilizado para verificar se um valor (A) é menor que outro valor (B). Se o valor A for menor que o valor B, a instrução é verdadeira. Se o valor A for maior ou igual ao valor B, a instrução é falsa. Na figura 5.10 é apresentado o símbolo do comparador LES.

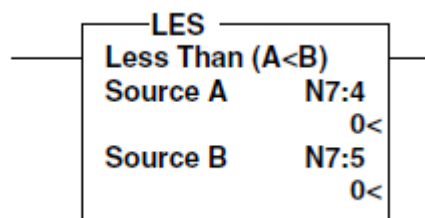


Figura 5.10 – Comparador LES

A instrução (END) é incondicional e deve existir sempre no final do programa ladder.

5.2 Método de conversão da rede de Petri para Ladder

O método de conversão utiliza a equação de estados e as matrizes de incidência obtidas da rede de Petri interpretada para controle. Ele consiste em dividir o programa nos seguintes módulos [7]:

- Módulo da inicialização;
- Módulos de eventos;
- Módulo das condições para o disparo das transições;
- Módulo da dinâmica da rede de Petri interpretada para controle;
- Módulo das ações

5.2.1 Módulo de inicialização

O primeiro módulo define a marcação inicial da rede de Petri de forma que a primeira linha do programa descreve a inicialização da rede de Petri. Esta linha contém um contato normalmente fechado associado a uma variável binária interna. Este contato no primeiro ciclo de varredura energiza as bobinas do tipo latch associadas a essa variável. Após o primeiro ciclo de varredura, o contato normalmente fechado se abre, impedindo assim que o módulo seja executado novamente no próximo ciclo.

5.2.2 Módulo de eventos

O segundo módulo está associado à ocorrência de eventos. Eventos do meio externo são traduzidos por sensores em sinais de borda de subida (\uparrow) ou descida (\downarrow) e são responsáveis por mudanças na lógica de controle, pois funcionam como informação de entrada para o controlador. Um contato normalmente aberto associado ao sensor é utilizado para detectar sua borda de subida e um contato normalmente fechado associado ao sensor é utilizado para detectar sua borda de descida. A instrução OSR é utilizada para tornar-se verdadeira ao identificar a mudança de falso para verdadeiro no nível lógico e ao final do ciclo de varredura tornar-se novamente falsa.

5.2.3 Módulo das condições para o disparo das transições

O terceiro módulo está associado às condições para o disparo das transições, estando relacionado com a matriz de incidência de entrada. Esse módulo possui diversas linhas, onde cada linha corresponde às condições para o disparo das transições.

Para representar o disparo de uma transição t_j , as condições dos lugares de entrada e a receptividade de t_j são implementados com a associação em série de contatos normalmente abertos. Cada linha possui uma bobina associada a uma transição t_j , de forma que essa bobina é energizada quando as condições para o disparo da transição são satisfeitas.

Para o caso de transições temporizadas, é adicionado um temporizador com valor de preset equivalente ao atraso associado à transição temporizada. O temporizador utilizado é o temporizador de atraso on delay. O temporizador possui uma bobina que é energizada quando o valor do acumulador atinge o valor de preset.

5.2.4 Módulo da dinâmica da rede de Petri interpretada para controle

O quarto módulo descreve a evolução das fichas nos lugares de entrada e saída das transições da rede de Petri. Uma nova marcação é obtida, pois os lugares recebem e / ou perdem fichas com o disparo dessas transições. Esse processo é descrito pela equação de estados da rede de Petri, estando relacionado com a matriz de incidência. Esse módulo possui diversas linhas, onde cada linha é associada a uma transição e expressa a mudança na marcação dos lugares após o disparo de uma transição. Um contato normalmente aberto é associado a uma transição t_j que, quando dispara, fecha esse contato, energizando bobinas do tipo latch e unlatch. As bobinas do tipo latch são associadas aos lugares que ganham fichas após o disparo da transição t_j e as bobinas do tipo unlatch são associadas aos lugares que perdem fichas após o disparo das transições t_j .

5.2.5 Módulo das ações

O quinto módulo representa a execução das ações associadas a seus respectivos lugares. Assim, no módulo das ações, um contato normalmente aberto é associado a um lugar que possui uma ação. As bobinas colocadas em série com este contato representam as ações associadas a este lugar.

5.2.6 Exemplo de aplicação do método de conversão.

Nessa seção serão apresentados os cinco módulos do programa ladder que foram obtidos aplicando-se a técnica de conversão da rede de Petri interpretada para controle para ladder na rede de Petri da figura 5.11.

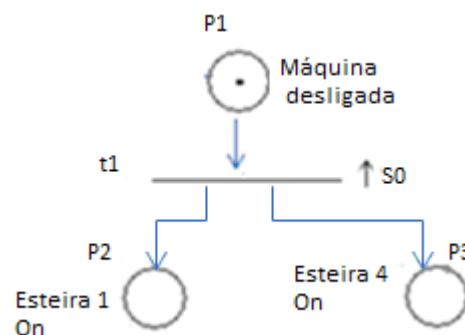


Figura 5.11 – Exemplo de uma rede de Petri interpretada para controle

Na figura 5.11, a marcação inicial da rede de Petri interpretada para controle é dado por $\underline{x} = [1 0 0]^T$. Neste vetor, o lugar inicialmente marcado é o p_1 . A primeira linha do diagrama ladder é formado pelo módulo de inicialização, sendo as bobinas associadas aos lugares inicialmente marcados energizadas. O módulo de inicialização é executado apenas uma vez, pois o bit interno associado ao contato NF no início da linha recebe valor 1, abrindo o contato e não permitindo que este módulo seja executado nos próximos ciclos de varredura, como pode ser visto na figura 5.12.

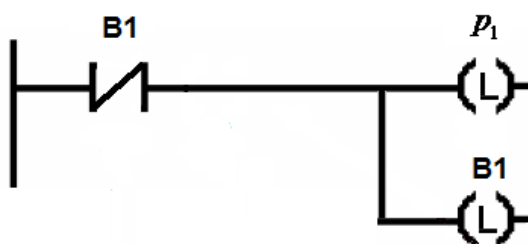


Figura 5.12 – Módulo de inicialização para a rede de Petri da figura 5.11

Na figura 5.13 está representado o módulo de eventos, obtido utilizando-se o método de conversão da rede de Petri interpretada para controle para ladder na rede de Petri da figura 5.11. A instrução OSR é utilizada, pois é necessário que o bit interno associado seja verdadeiro apenas quando a lógica da linha mude de falso para verdadeiro, tornando-se falsa ao final do ciclo de varredura. Para detectar a borda de subida do sensor S0, um contato normalmente aberto associado a esse sensor é colocado antes da instrução OSR.

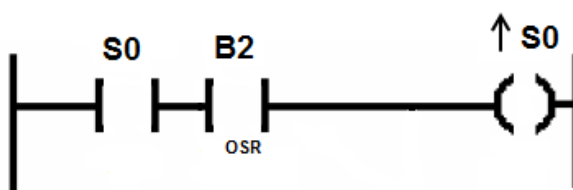


Figura 5.13 – Módulo de eventos para a rede de Petri da figura 5.11

O módulo das condições para o disparo das transições da rede de Petri da figura 5.11 está representado na figura 5.14. Esse módulo representa o disparo das transições, sendo composto pelas condições de habilitação das transições e suas respectivas receptividades. Essas condições são responsáveis pelo disparo das transições, sendo as condições de habilitação representadas por contatos NA, e as

condições de disparo são representadas por contatos NA ou NF, dependendo da lógica das condições de disparo associadas.

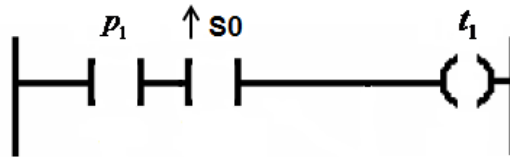


Figura 5.14 – Módulo das condições para o disparo das transições para a rede de Petri da figura 5.11.

O módulo da dinâmica descreve a evolução das fichas nos lugares de entrada e saída das transições da rede de Petri. Quando uma transição t_j disparar, os seus lugares de entrada perderão suas fichas e em seus lugares de saída serão adicionadas uma ficha. Como pode ser observado na 5.15, ao final da linha são adicionadas bobinas Latch (L) e Unlatch (R). A função destas instruções é exatamente remover a ficha do lugar de entrada (U) e adicionar a ficha ao lugar de saída (L).

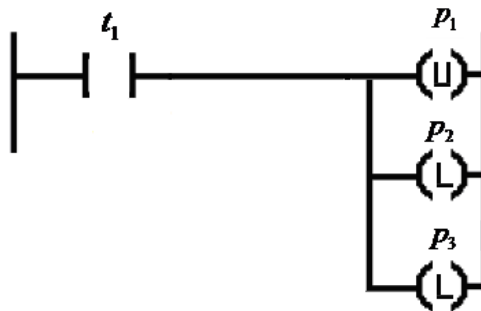


Figura 5.15 – Módulo da dinâmica para a rede de Petri da figura 5.11

Na figura 5.16 está representado o módulo das ações, obtido utilizando-se o método de conversão da rede de Petri interpretada para controle para ladder na rede de Petri da figura 5.11. Quando um lugar fica marcado na RPIC, seu contato passa de aberto para fechado, energizando a bobina associada à ação.

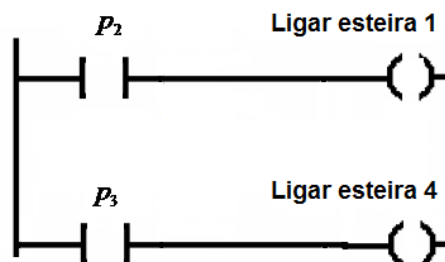


Figura 5.16 – Módulo das ações para a rede de Petri da figura 5.11

5.3 Diagrama Ladder do sistema de automação do paletizador de caixas.

O diagrama ladder do sistema de automação do paletizador de caixas, obtido das redes de Petri das figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 encontra-se no Apêndice A. Ele foi obtido através do método de conversão de rede de Petri para ladder apresentado no capítulo 5. Ele possui um total de 149 linhas. O programa ladder foi implementado com o programa RSLogix e simulado com o Emulador RSLogix 500 Emulate, apresentando o comportamento esperado.

5.4 Comentários finais

Neste capítulo foram apresentadas as instruções do programa ladder necessárias para a automação deste sistema, assim como o método de conversão utilizado. Além disso, a simbologia e o funcionamento dessas instruções também foram abordados. Outro assunto tratado foi o método de conversão da rede de Petri interpretada para controle para Ladder. O programa Ladder obtido a partir da rede de Petri interpretada para controle do sistema de paletização de caixas está apresentado no Apêndice A.

Capítulo 6

Conclusão

Neste trabalho foi estudado o sistema de paletização automático de caixas de uma linha de produção com o objetivo de desenvolver um projeto para realizar o controle automático desse sistema.

A modelagem utilizada para o sistema foi a rede de Petri interpretada para controle. Para isso foi preciso descrever todo o sistema de paletização, seus equipamentos, sensores e atuadores, explicando seus princípios de funcionamento.

Essa modelagem representou de forma confiável a evolução dos estados do sistema de acordo com a ocorrência de eventos externos.

O método de conversão utilizado permitiu converter a rede de Petri interpretada para controle em linguagem ladder.

O programa ladder foi implementado com o auxílio do RSLogix que é um programa utilizado para desenvolver o programa em ladder. Para comprovação do funcionamento da automação do sistema de paletização, foi utilizado o Emulador RSLogix 500 Emulate para representar o CLP durante o desenvolvimento do trabalho. Essa simulação testou o comportamento e a dinâmica do sistema estudado, incluindo a partida e a parada automática do equipamento, além da indicação dos sensores e atuadores, demonstrando o comportamento esperado.

Em trabalhos futuros, pode ser desenvolvido este mesmo sistema com um nível de controle e automação mais complexos, construindo um supervisor que possua a imagem da rede de Petri interpretada para controle do sistema e dessa forma, a evolução da rede de Petri possa ser visualizada, facilitando assim sua simulação.

Referências Bibliográficas

[1] Cassandras, C. G. e Lafortune, S., *Introduction to Discrete Event System*, 2ª edição, Springer, 2008.

[2] David, R. e Alla, H., *Discrete, Continuous, and Hybrid Petri Nets*, 1ª edição, Springer 2005.

[3] SLC 500 Instruction Set, Reference manual, Rockwell Automation, 2002.

[4] Murata, T., 'Petri Nets: Property, Analysis and Applications', *Proceedings of the IEEE*, vol. 77, pp. 541-580.

[5] Manual Programa de fornecimento, Festo Brasil, 2008.

[6] Silvestre, R. P., *Implementação em Ladder de sistema de automação descritos por redes de Petri interpretadas para controle*, Projeto de Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2010.

[7] Moreira, M.V., Botelho, D.S. e Basilio, J.C., 'Ladder diagram implementation of control interpreted Petri nets: a state equation approach', *4th IFAC Discrete-Event System Design*, Gandia Beach, Espanha, pp. 85-90, 2009.

Apêndice A

Programa Ladder para controle do Sistema de Paletização de Caixas.

