

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL
DA TESE DEFENDIDA POR Rita de Cássia S.
Marconcini Bittar E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 30.04.93.

João Maurício Rosário
ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO

TESE DE MESTRADO

100

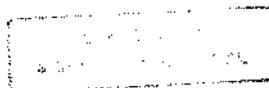
A UTILIZAÇÃO DO GRAFCET COMO FERRAMENTA
NA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Autora: Rita de Cássia da Silveira Marconcini Bittar

Orientador: João Maurício Rosário

BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA
UNICAMP

Trabalho apresentado à comissão de
Pós-Graduação da Faculdade de
Engenharia Mecânica como parte dos
requisitos para obtenção do título
de Mestre em Engenharia Mecânica.



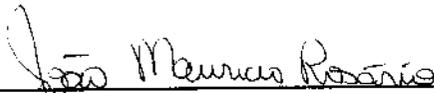
**Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Mecânica**

**A UTILIZAÇÃO DO GRAFCET COMO FERRAMENTA
NA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

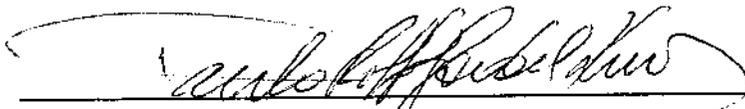
Autora: Rita de Cássia da Silveira Marconcini Bittar

Orientador: João Maurício Rosário

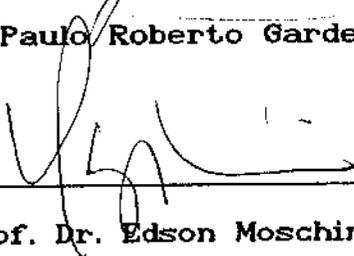
Aprovada por:



Prof. Dr. João Maurício Rosário, Presidente. FEM / UNICAMP



Prof. Dr. Paulo Roberto Gardel Kurka. FEM / UNICAMP



Prof. Dr. Edson Moschim. FEE / UNICAMP

Campinas, 30 de abril de 1993

Ao meu marido Mariano,

pelo amor, carinho
e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. João Maurício Rosário pela orientação e colaboração durante a elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Edson Moschim e o Prof. Dr. Paulo Roberto Gardel Kurka, por aceitarem participar da banca examinadora, e pelas diversas sugestões apresentadas, que permitiram um enriquecimento deste trabalho.

Aos meus pais, e aos amigos Mirian, Beto e Dora, pelos incentivo nos momentos mais difíceis, e pela valorosa contribuição para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Dada a alta competitividade existente nos meios de fabricação, a automação é uma necessidade. Neste trabalho será feita uma descrição do problema de automação, a partir do caderno de especificações e fabricação de um produto. Traduzindo o problema de automação em GRAFCET (Diagrama de Comando-Etapa-Transição). O GRAFCET é um diagrama funcional, cujo objetivo principal é descrever graficamente os diferentes comportamentos de um automatismo sequencial, isto é possível a partir das descrições das saídas como funções das entradas presentes e passadas, das diferentes etapas que constituem um processo automatizado.

Aplicamos a teoria do GRAFCET, para desenvolver no laboratório de Automação e Robótica, exemplos de aplicação industrial, utilizando um micro computador PC AT, uma placa de interface E/S e um robô MANUTEC r3.

ABSTRACT

Today, the automation is necessary, because of the high competitiveness in industries. In this work we have been translating the automation industrial specification problem to GRAFCET (Graph-Commande-Stage-Transition). The principal purpose of the GRAFCET is describe graphically, the different behaviors of the sequential automation system. It's possible from the output descriptions, as inputs functions presents and pasts, the different stages of the automated system.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO.....	1
1 - Os sistemas automatizados	5
1.1 - Automação : Histórico e definições.....	5
1.2 - Principais vantagens da automação da produção.....	7
1.3 - O caderno de especificações num processo automatizado.....	10
1.4 - Descrição gráfica do comportamento do automatismo.....	17
1.5 - Descrição dos diferentes níveis de implementação de um sistema automatizado.....	21
1.6 - Controladores Lógico Programáveis.....	24

1.7 - Conclusões.....	30
2 - Introdução ao GRAFCET.....	31
2.1 - O caderno de especificações e o GRAFCET.....	32
2.2 - Definições Básicas.....	34
2.3 - Representação do GRAFCET.....	40
2.4 - Descrição das diferentes fases de concepção de um produto.....	41
2.5 - Exemplo de aplicação: Construção de um GRAFCET a partir do caderno de especificações.....	44
2.6 - Conclusões.....	51
3 - Descrição dos principais recursos utilizados para a simplificação de um GRAFCET	52
3.1 - Redução de GRAFCET.....	52
3.2 - A redução do GRAFCET e sua descrição em equações lógicas.....	67
3.3 - Conclusões.....	76

4 - Exemplos de aplicação	77
4.1 - Descrição do sistema experimental.....	78
4.2 - Estudo e simulação de uma célula flexível com robô Manutec.....	79
4.3 - Robô e mesa giratória.....	88
4.4 - Conclusões.....	99
5 - Conclusões e perspectivas	100
BIBLIOGRAFIA	103

INTRODUÇÃO

Dada a alta competitividade existente nos meios de fabricação, existe a necessidade da automatização da planta fabril, e também o planejamento de produção, que integra: o controle de processos e máquinas, o projeto, o controle de qualidade e o fluxo de materiais com uma rede de comunicações da mais alta eficiência entre máquinas e pessoas.

Neste trabalho será fornecida uma literatura especializada em automação, gerando recursos para a elaboração de uma metodologia sistemática, atendendo aos seguintes objetivos:

- Descrição de um problema de automação a partir do caderno de especificações e fabricação de um produto.
- Traduzir o problema de automação num diagrama e então baseado no mesmo construir um sistema automatizado, utilizando recursos computacionais.
- Simplificar a instrumentação utilizada (CLP's,

micro-computadores), por componentes lógicos de baixo custo e alta eficiência.

Em 1975 criou-se na França uma "comissão de normalização da representação do caderno de especificação de um automatismo sequencial "no grupo de trabalho "sistemas lógicos" da AFCET (Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique).O objetivo desta comissão era homogeneizar os problemas de automação a fim de obter uma ferramenta única de representação do caderno de especificações

Os membros desta comissão eram representantes da indústria e pesquisadores. Em 1977 esta comissão apresentou um relatório final definindo o conteúdo do caderno de especificações e seus diferentes níveis de elaboração. Ao mesmo tempo foi proposta uma ferramenta para sua representação, o GRAFCET (diagrama de comando-etapa-transição). [4]

Para a realização da Supervisão de Controle, será utilizada a teoria do " GRAFCET " que em oposição aos métodos clássicos de estruturação de controle, permite uma descrição externa do automatismo. É um diagrama funcional cujo objetivo principal é descrever graficamente os diferentes comportamentos de um automatismo sequencial. Isto é possível, a partir das descrições das saídas, como funções das entradas presentes e passadas, das diferentes etapas que constituem um processo automatizado.

Destaca-se que o GRAFCET surgiu da necessidade de uma normalização na automação, pois ele nada mais é, do que uma ferramenta para descrever o automatismo sequencial.

Para o desenvolvimento do supervisor de controle os seguintes tópicos deverão ser seguidos :

- 1) Aspectos gerais sobre a realização da automação de máquinas e aos elementos pertencentes a célula automatizada, a partir da descrição por GRAFCET;
- 2) Construção da Parte de Comando a partir de um computador (mono processador);
- 3) Programação em circuitos lógicos PAL, EPLD ou micro processadores dedicados - simulação em linguagem avançada.

A metodologia utilizada neste trabalho será :

- No capítulo 1 é descrito um sistema automatizado onde aspectos como estruturação e controle são abordados e finalmente são enfatizados aspectos sobre os controladores lógicos programáveis (CLP`s);

- No capítulo 2 é realizada um introdução ao GRAFCET; onde são definidas as suas principais funções. Alguns exemplos de aplicação são apresentados a fim de esclarecer o conteúdo do capítulo.

- No capítulo 3 são apresentados os principais recursos para a montagem de um GRAFCET. Discutiremos ainda sobre simplificação do GRAFCET, a partir da procura de etapas e transições reduntantes e finalmente como traduzir o GRAFCET em equações lógicas.

- No capítulo 4 serão apresentados exemplos de aplicação utilizando-se as técnicas do GRAFCET. Será dada uma ênfase na utilização desta técnica na programação de um robô industrial num meio automatizado.

• No capítulo 5 são descritas as conclusões e as perspectivas do trabalho realizado.

CAPÍTULO 1

OS SISTEMAS AUTOMATIZADOS

1.1 - AUTOMAÇÃO - HISTÓRICO E DEFINIÇÕES

Apesar da sua grande utilização tanto na linguagem corrente como na literatura técnica, o conceito de automação é bastante ambíguo.

Numa visão generalista da automação, que coincide muitas vezes com o uso trivial do termo, pode-se citar:

- *Oxford English Dictionary*: "É o controle automático da fabricação de um produto através de sucessivos estágios".

Por um lado existem autores que não o distinguem essencialmente do conceito de mecanização. Definem automação como "um método tecnológico que busca reduzir os custos de produção em termos de homens-hora por unidade do produto..." Seu uso livre, praticamente como sinônimo de mecanização avançada, pode chocar o técnico mas serve aos propósitos do Economista.

Outros consideram que os conceitos de mecanização e automação são intrinsecamente distintos. "... a automação é uma tecnologia bastante distinta da mecanização, pois preocupa-se mais em substituir ou ajudar o esforço mental, do que o esforço físico do homem " [15]. Exemplificando: os gabaritos que equipam os tornos copiadores substituem a decisão mental do homem de recuar as ferramentas de corte, durante uma operação de torneamento.

Dentro deste conceito, define-se a mecanização como uma tecnologia destinada a substituição dos atributos físicos do homem (energia, sentidos...). Por exemplo, a aplicação de motores elétricos em máquinas ferramenta amplifica a potência aplicada pelo homem somente em sua força física.

A partir do século XVIII iniciou-se a automação de transformação, com a introdução das máquinas hidráulicas (que, posteriormente, seriam superadas sucessivamente pelas máquinas a vapor e, neste século pelo motor de combustão interna e pela eletricidade. A automação da movimentação desenvolveu-se a partir do final do século XIX, como forma de superar a necessidade de maior rapidez nos processos produtivos que começava-se a sentir nesse sentido, a linha de produção Fordista configura uma resposta ao mesmo tempo física e organizacional. Já em meados do nosso século, despontava a automação de controle, como forma de responder à necessidade de tornar mais flexíveis os sistemas de movimentação industriais.

No mundo atual, em plena evolução da competitividade,

torna-se necessária a automação de células flexíveis de manufatura e linhas de produção.

A automação apresenta várias tendências, não somente nas máquinas automáticas, mas também no pensamento das pessoas ligadas a fabricação responsáveis pelo planejamento, projeto e operação dessas máquinas.

1.2 - PRINCIPAIS VANTAGENS DA AUTOMAÇÃO DA PRODUÇÃO [2]

A produção industrial está cada vez mais automatizada. Este progresso deve-se :

- A automação de operações que anteriormente, eram só manuais, como as montagens, os controles etc...
- A automação completa de operações, antes parcialmente automatizadas, tais como :
 - a alteração para automática de máquinas semi-automáticas;
 - a substituição de máquinas rígidas (não fabricavam mais de um tipo de produto), por máquinas flexíveis suscetíveis de operar sobre vários produtos.

As principais vantagens na automação são as seguintes:

- A pesquisa de custos mais baixos para o produto, para a

redução das despesas com mão de obra, economia de material, e de energia.

- A supressão de trabalhos árduos e perigosos e a melhoria das condições de trabalho.
- A pesquisa de melhor qualidade do produto, limitada ao fator humano.
- A realização de operações impossíveis de controlar manualmente ou intelectualmente, por exemplo: as montagens de miniaturas, operações muito rápidas e coordenações complexas.

Numa economia em crescimento, toda a automação tem por objetivo facilitar a competitividade global do produto, seja diretamente (custos, qualidade ...), seja indiretamente (melhoria das condições de trabalho...).

Conforme a figura 1.1 esta produtividade pode ser definida como sua capacidade de vendas no mercado a que se destina, a competitividade resulta essencialmente dos seguintes fatores : custos, qualidade, inovação e disponibilidade.

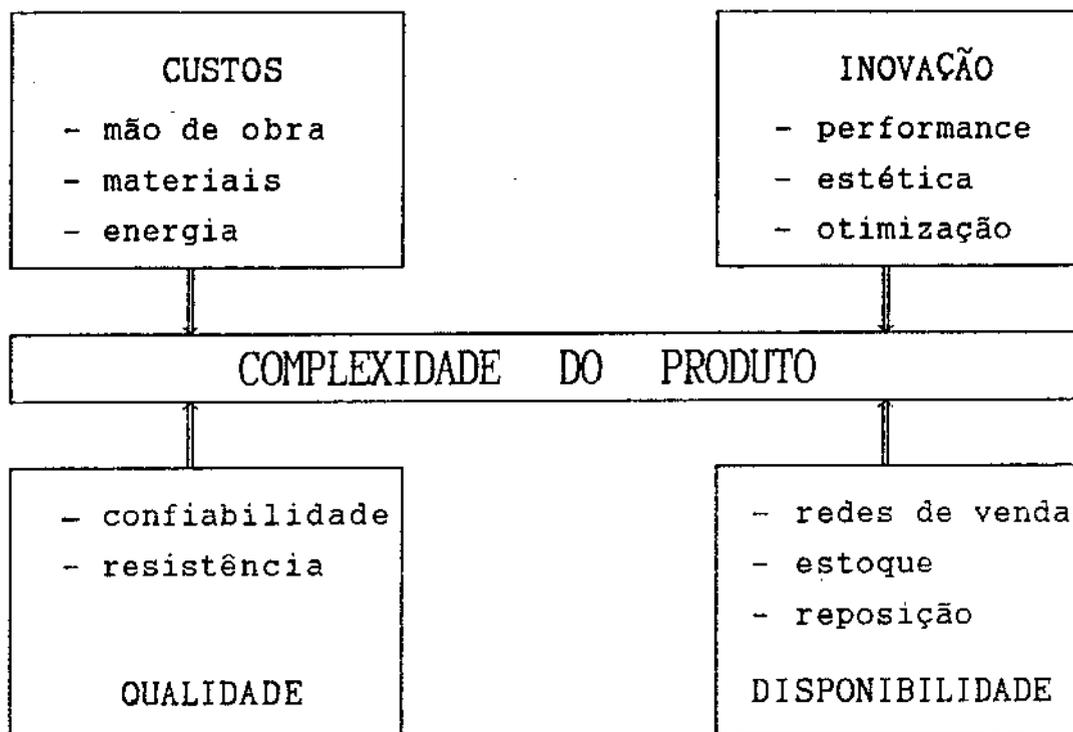


Figura 1.1 - Competitividade do produto

Veremos que a automação dos equipamentos de produção pode diminuir custos, melhorar a qualidade e mesmo a disponibilidade dos produtos (automação flexível).

Entretanto, é importante verificar, que o produto no qual se aplica esta automação, seja bem otimizado e responda a todas as necessidades do mercado.

A experiência mostra, que um estudo simultâneo para a fabricação de um produto, resulta em um produto mais competitivo. A figura 1.2, que a automação dos equipamentos da produção deve ser feita com a cooperação dos responsáveis do produto e do processo.

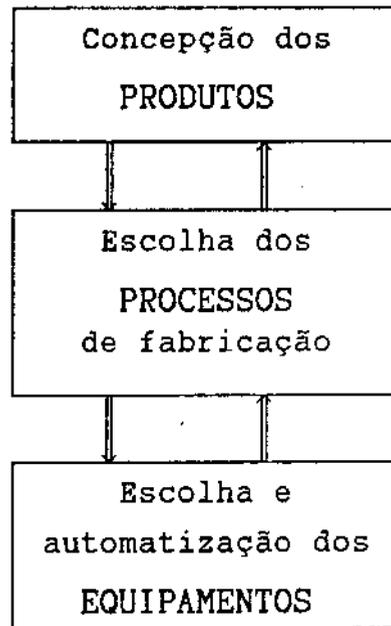


Figura 1.2 - Etapas para a automação de equipamentos

1.3 - O CADERNO DE ESPECIFICAÇÕES NUM PROCESSO AUTOMATIZADO [2], [3]

1.3.1 - Parte Operativa e Parte de comando

Cada sistema automatizado comporta duas partes :

- uma Parte Operativa (PO) de onde os operadores atuam sobre o sistema automatizado;
- uma Parte de Comando (PC) que coordena as ações da Parte Operativa.

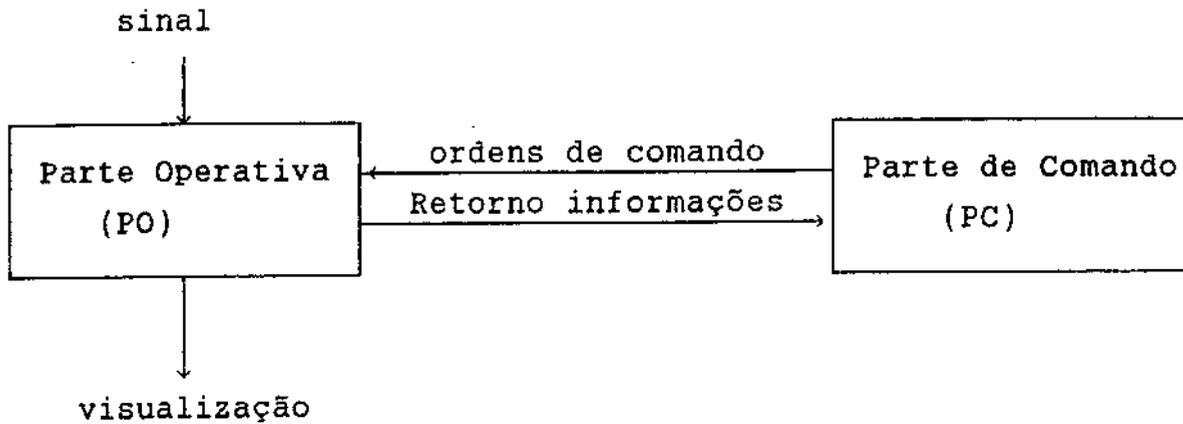


Figura 1.3 - Parte Operativa e Parte de Comando

• Parte Operativa

É o processo físico a automatizar, que opera sobre a matéria prima e o produto, é composta em geral :

- Dos recursos e os diferentes meios de elaboração do processo, tais como: molas, punções, ferramentas de corte, bombas, soldadoras, marcadores, etc...

- Dos acionadores destinados aos movimentos, como:

- Motor elétrico acionado por bomba.

- Atuador hidráulico sustentado por molas.

- Atuador pneumático (macaco) para levantamento de marcadores.

• Parte de comando

É o automatismo que comanda as entradas (informações externas provenientes da parte operativa, entradas externas, etc...), e que elabora a saída das ordens externas destinadas às

partes operativas e elementos externos. É a que emite as ordens para a Parte Operativa e recebe os sinais no retorno, a fim de coordenar as ações. Cada vez mais realizadas por meio das tecnologias de comando programáveis.

No centro da parte de comando, o "tratamento" será a convergência de 3 diálogos coordenados:(fig. 1.4)

1- Diálogo com a máquina:

- Comando dos acionadores (motores, atuadores, etc) passando pelos pré-acionadores (contadores, distribuidores, reguladores, etc...);

- Aquisição dos sinais no retorno pelo sensores que implicam na evolução da máquina.

2- Diálogo homem - máquina:

Para executar, regular, reparar a máquina, emissão dos sinais e resposta das informações no retorno.

3- O diálogo com outras máquinas

Outras máquinas podem cooperar numa mesma produção, sua coordenação será assegurada pelo diálogo entre as partes de comando.

Por exemplo numa máquina ferramenta a controle numérico, a parte operativa é a máquina ferramenta em si, e a parte de comando o equipamento de comando numérico (figura 1.5). A figura 1.6 apresenta um exemplo de sistema automatizado

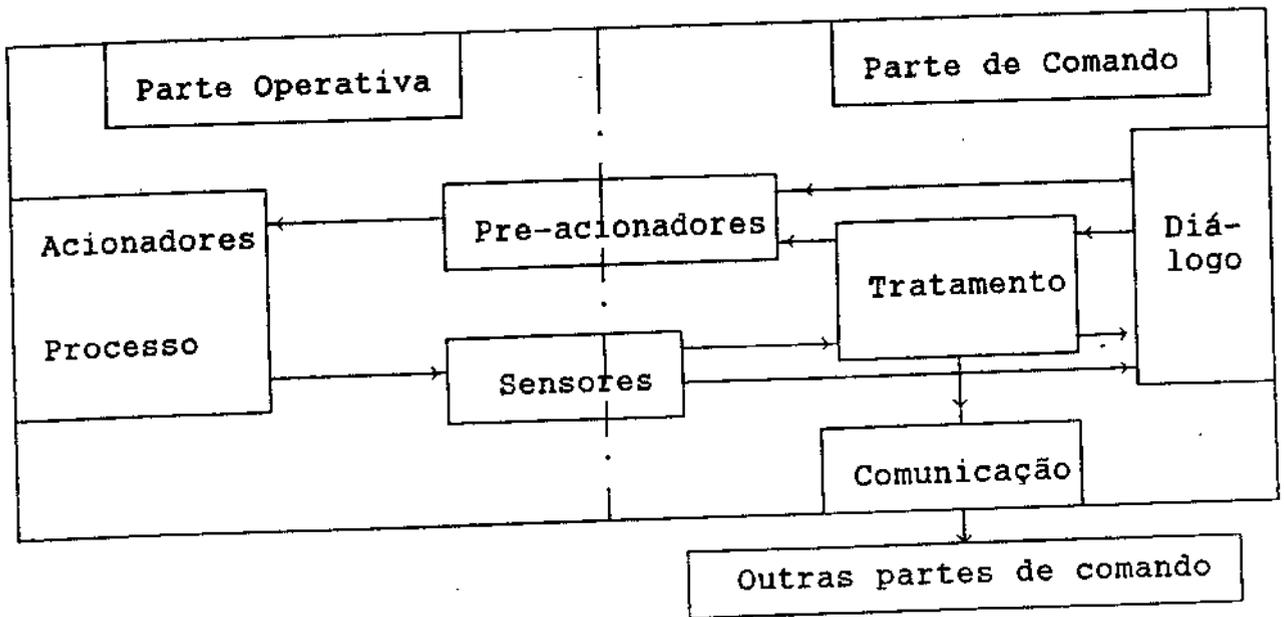


Figura 1.4 - Diálogo entre as partes de Comando e Operativa

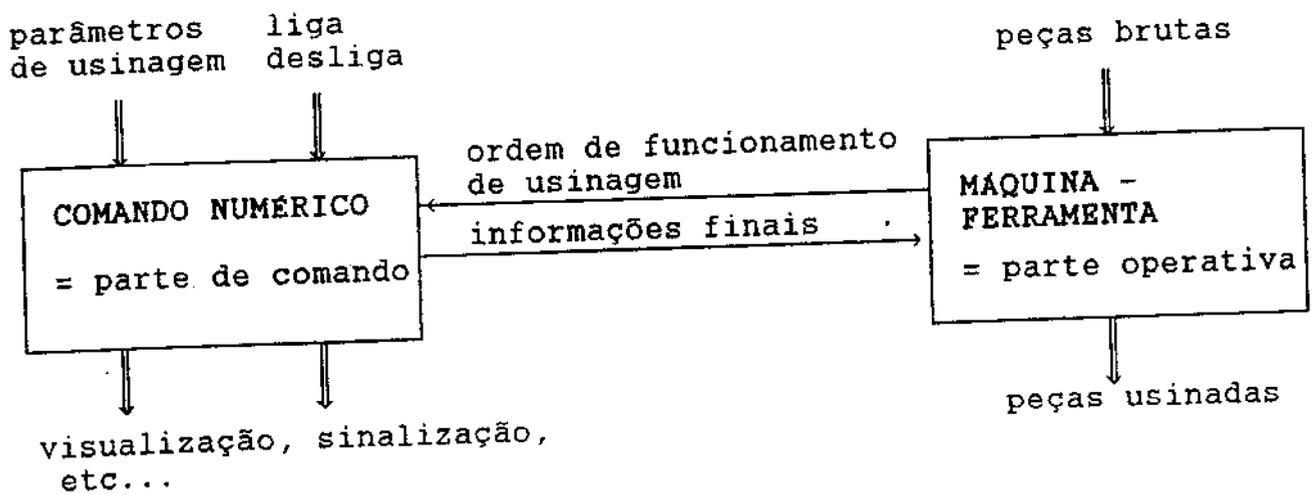


Figura 1.5 - Representação de uma máquina ferramenta

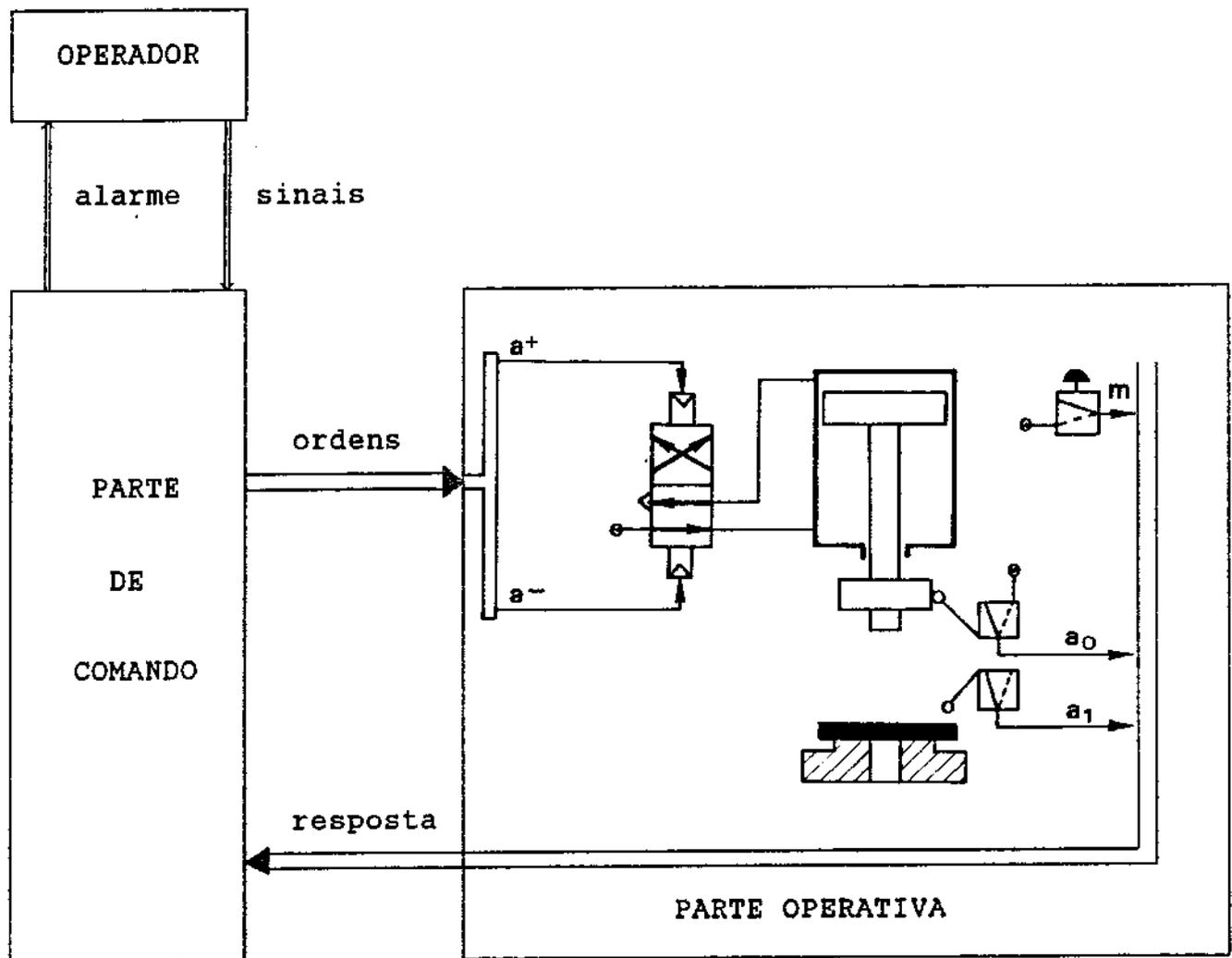


Figura 1.6 - Sistema automatizado

1.3.2 - Caderno de Especificações [4]

O caderno de especificações é um documento firmado entre o fornecedor, o projetista de um material de comando e seu cliente futuro usuário deste material. Neste documento pode conter considerações jurídicas, comerciais, financeiras, técnico econômicas ou puramente técnicas.

Mostraremos isto somente do ponto de vista técnico : com este objetivo descreveremos num caderno de especificações de maneira clara, precisa, sem ambiguidades, nem omissões do catálogo e performances do equipamento a realizar.

O caderno de especificações de um sistema automatizado é a descrição do seu comportamento em função da evolução do meio ambiente, tanto de suas entradas, como também de sua condição geral de utilização.

As especificações técnicas que satisfazem a parte de comando de um sistema, são divididas em dois níveis de representação, sucessivos e complementares:

- O primeiro nível descreve o comportamento da parte de comando frente a parte operativa; isto é, o catálogo das especificações funcionais que permitem ao projetista compreender o que o automatismo deve fazer, face as diferentes situações que possam ocorrer.
- O segundo nível acrescenta as exigências funcionais às precisões indispensáveis às condições de funcionamento dos materiais, graças às especificações tecnológicas e operacionais.

Nível 1 : *Especificações Funcionais [3]*

As especificações funcionais correspondem as funções necessárias para realização do sistema automatizado. Caracterizam os comportamentos que devem ter a parte de comando diante das informações provenientes da parte operativa, do operador e outras partes de comando. Devem permitir ao projetista entender qual será a parte de comando a projetar. Portanto precisam definir de forma clara e precisa as diferentes funções, informações e comandos associadas na automação da parte operativa, sem analisar de forma alguma as tecnologias envolvidas.

Em consequência, nem a natureza nem as características dos diferentes sensores ou acionadores são descritas nesta especificação. Pouco importa neste nível, se o deslocamento foi feito por um atuador pneumático ou hidráulico, ou ainda por um motor elétrico; o importante é saber em quais circunstâncias o deslocamento deve efetuar-se.

Em compensação, os aspectos de segurança previstos para o funcionamento devem ser incorporados nas especificações funcionais, na proporção em que eles não dependem diretamente da tecnologia destes sensores ou acionadores.

Nível 2 : *Especificações Tecnológicas*

As especificações tecnológicas determinam a maneira que o automatismo deva ser fisicamente inserido no conjunto que comporta o sistema automatizado e seu meio ambiente. Estes conceitos são complementos das especificações funcionais para que seja possível, conservar um automatismo que realmente oriente a parte operativa.

Somente neste nível devem ser utilizadas as informações sobre a natureza exata dos sensores e acionadores utilizados, suas características e as dificuldades que possam surgir. A estas especificações de interface pode-se acrescentar as especificações do meio ambiente do automatismo: temperatura, umidade, pressão atmosférica, tensão de alimentação, etc...

Especificações Operacionais

As especificações operacionais acompanham o funcionamento do automatismo durante a sua existência. Discute-se as considerações referentes ao equipamento uma vez testados e colocados em uso: confiabilidade, ausência de panes perigosas, disponibilidade, possibilidades de modificação do equipamento em função das transformações da parte operativa, a facilidade de manutenção, diálogo homem-máquina, etc...

Estas considerações são muito importantes para a exploração do processo a automatizar, considerando-se suas repercussões sobre o aspecto econômico; que são frequentemente esquecidas durante a elaboração do caderno de especificações, pois são difíceis de serem expressas de maneira quantitativa

1.4 - DESCRIÇÃO GRÁFICA DO COMPORTAMENTO DO AUTOMATISMO

Em complemento das expressões simbólicas, as ferramentas de descrição gráfica são apreciadas :

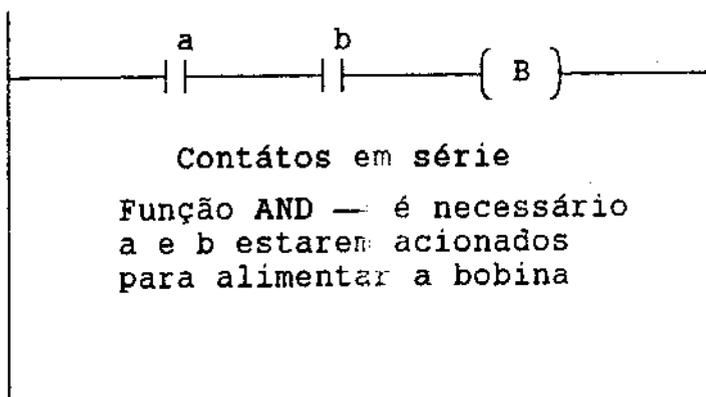
- Pela semelhante aproximação de certas tecnologias, tais como: contatos eletromecânicos (reles), módulos lógicos etc...

- Ou ao contrário, não se sabe qual tecnologia será empregada, permitindo uma descrição funcional dos problemas sequenciais.

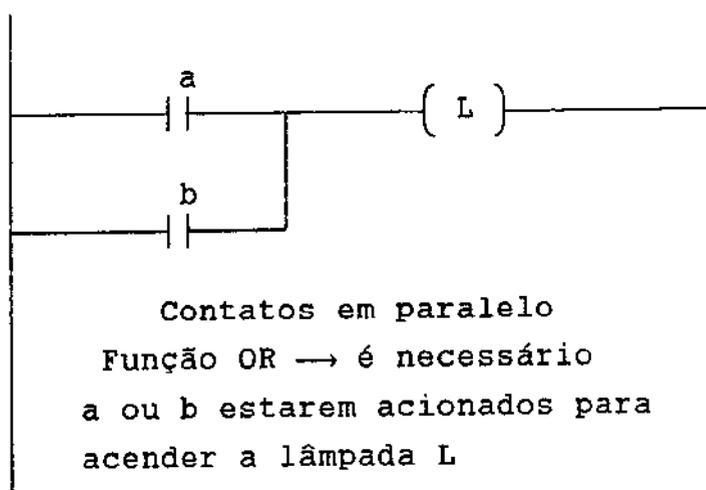
1.4.1 - Diagramas de relés (ou contatos)

Esta linguagem gráfica de descrição dos automatismos surgiu na época em que somente a tecnologia a reles era disponível para resolver problemas de comando.

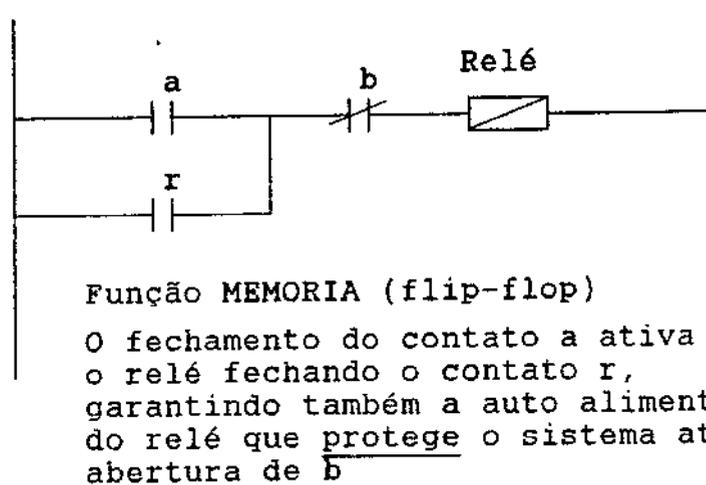
A figura 1.7 mostra como, colocando em série ou paralelo os contatos quer sejam no fechamento ou na abertura, podemos reproduzir qualquer uma das funções lógicas de base : AND, OR, Inversor e memória para auto-alimentação (flip-flop).



(a)



(b)



(c)

Figura 1.7 - Funções lógicas

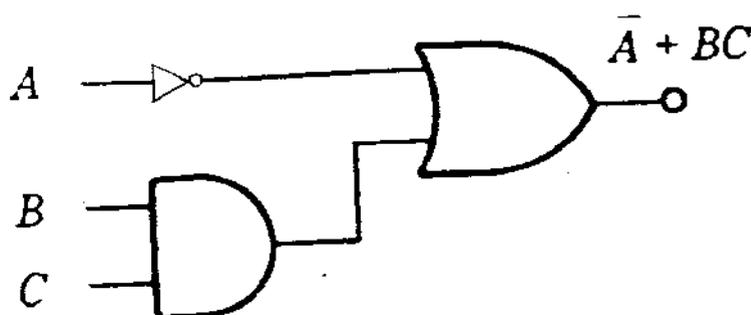
Será simples de descrever assim as expressões combinatórias. Porém, para os problemas sequenciais, será necessário construir uma sucessão de circuitos à auto-alimentação, dificultando sua instalação e a compreensão.

Os diagramas de contato são normalizados e muito semelhantes aos esquemas elétricos, utilizados frequentemente para exprimir ou visualizar os automatismos programáveis.

1.4.2 - Descrição a partir de funções lógicas

Esta é a representação gráfica das relações lógicas cujas funções de base são : AND, OR, Inversor, Memória.

Esta descrição gráfica é normalizada internacionalmente e conduz a resultados claros e compactos pelo reagrupamento gráfico das funções de base (figura 1.8).



$B.C \rightarrow \text{AND}; \bar{A} + B.C \rightarrow \text{OR}; \bar{A} \rightarrow \text{inversor}$

Figura 1.8 - Descrição lógica

O funcionamento sequencial dos processos de produção não pode ser claramente descrito por um diagrama a contato ou uma descrição lógica. Em virtude disto, atualmente diferentes linguagens gráficas estão sendo desenvolvidas, com o objetivo essencial de obter-se uma expressão bem definida dos problemas sequenciais.

Nos próximos capítulos, veremos como, a partir do GRAFCET podem ser obtidas as expressões lógicas.

O cronograma, o diagrama das fases, as Redes de Petri [5],[9]... , são as linguagens utilizadas no automatismo. Cada um deles contribuiu para a elaboração da experiência onde o GRAFCET é a síntese.

Atualmente normalizado, o GRAFCET é reconhecido como uma linguagem gráfica melhor adaptada a expressão da parte operativa dos automatismos de produção.

1.5 - DESCRIÇÃO DOS DIFERENTES NÍVEIS DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO [2], [7]

A escolha de uma tecnologia de comando deve facilitar todas as etapas da vida da máquina. O diagrama da figura 1.9 mostra a organização destas etapas.

Reflexão Produtiva Preliminar : conduz a uma definição dos objetivos de produção (produtos, operações, procedimento, ...) e os objetivos da automação (nível da automação, flexibilidade, diálogo, evoluções).

Anteprojeto do sistema a automatizar : é simples e conduz a uma única saída sobre o caderno de especificações comum a Parte Operativa e a Parte de Comando.

A automação propriamente dita começa agora: Parte Operativa (PO) e Parte de Comando (PC), que são estudadas por equipes especializadas e distintas, com um ligeiro avanço da PO sobre a PC. Há uma coordenação entre os dois estudos e a cada etapa de sua progressão.

As realizações da PO e da PC são em seguida conduzidas independentemente, pois a PC será integrada na PO quando o sistema for colocado em funcionamento.

Enfim, no período de utilização é que ocorrem os retornos dos investimentos. A parte de comando deve então facilitar :

- As operações de regulagem para otimizar a produção.
- As operações de manutenção.

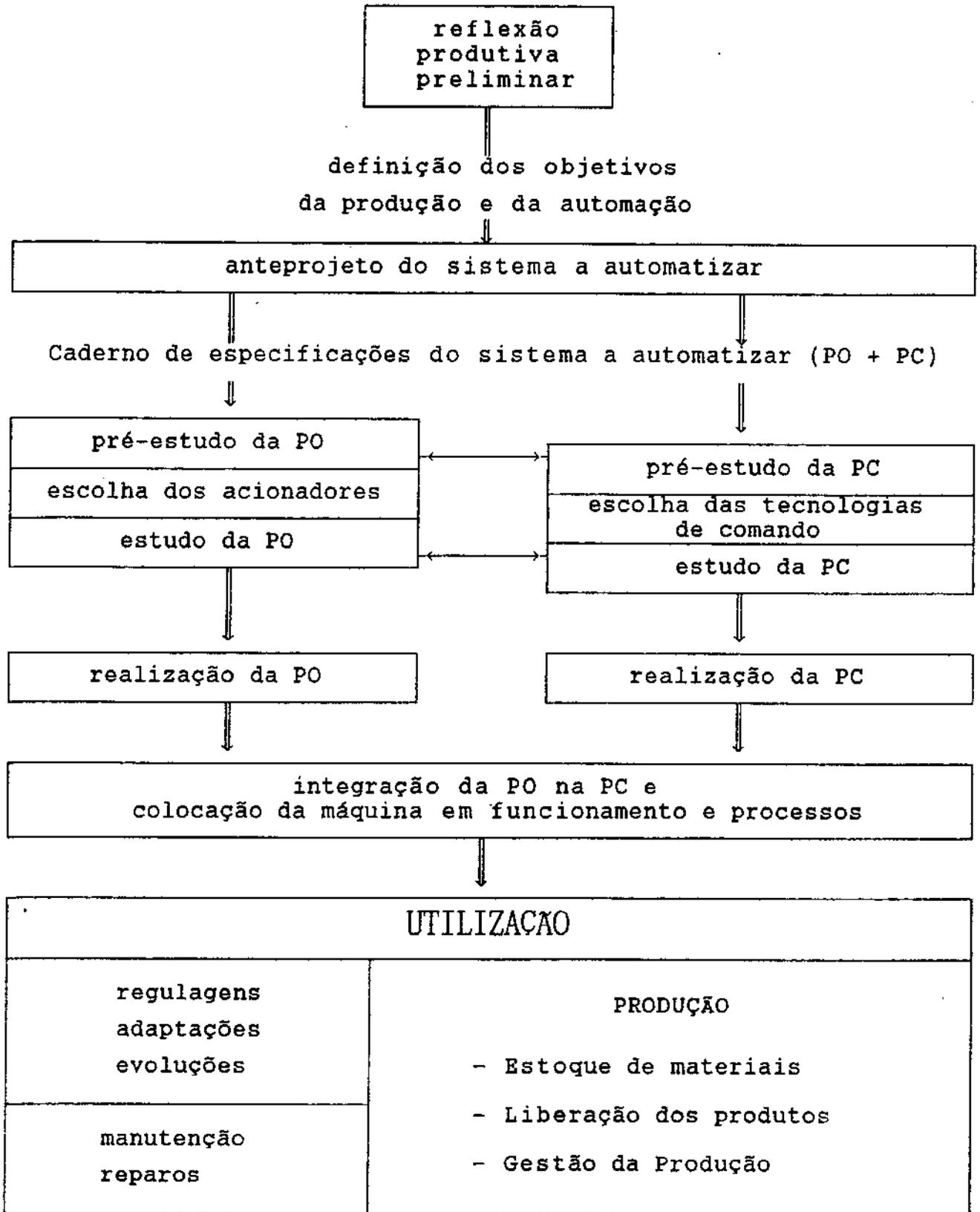


Figura 1.9 - Etapa da vida de um sistema automatizado

1.6 - CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMÁVEIS

Os controladores Lógicos Programáveis (ou simplesmente CLP'S) foram concebidos no final dos anos 60 em substituição aos dispendiosos e nada práticos painéis de controle a relés. Desta forma a aplicação inicial dos CLP'S restringiu-se ao controle por intertravamento e sequenciamento de equipamentos. [14]

Neste contexto, os CLP'S foram extensivamente empregados em controle de equipamentos isolados ou grupos de dispositivos simples como válvulas, motores e bombas; pois os escassos recursos dos primeiros controladores não permitiam ir muito além.

No entanto, o emprego de poderosos microprocessadores na construção dos CLP'S ampliaram sobremaneira a capacidade de controle e a gama de aplicação destes equipamentos. Nos tempos atuais, CLP'S podem ser interligados em rede e trocar informações com um computador, constituindo assim um sistema altamente automatizado.

Hoje o maior problema para a utilização dos modernos CLP'S em sistemas de alta complexividade, reside na concepção e geração do seu software de controle. Para o nível de coordenação do sistema pode então utilizar-se o GRAFCET, cuja teoria é um modelo simplificado das Redes de Petri [9],[5], onde a principal diferença é a inclusão de mensagens relacionadas às etapas e de seu relacionamento com o ambiente; para o nível mais baixo de controle, mostra-se como os princípios de programação estruturada podem ser aplicados em CLP'S.

1.6.1 Os controladores lógicos programáveis no centro dos sistemas automatizados.

Um sistema automatizado é composto por numerosos constituintes:

- acionadores : motores, atuadores...;
- pré-acionadores: contadores, controladores de velocidade ,...
- sensores de todos os tipos: detectores, interruptores de posição, sensores numéricos...;
- painéis de comando;
- terminais de intervenção.

O CLP está no centro deste sistema em ligação com os numerosos constituintes (fig. 1.10).

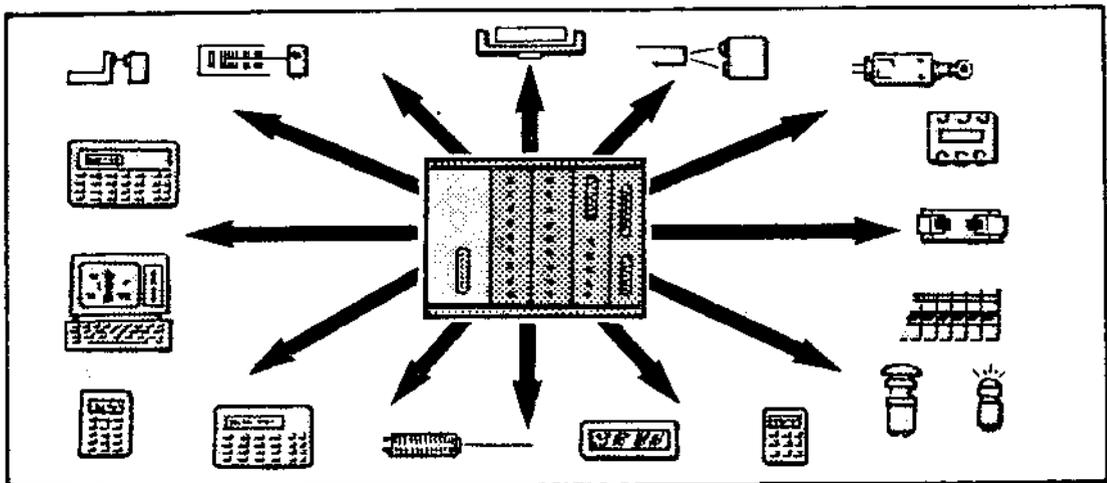


Figura 1.10

1.6.2 - Funções do sistema automatizado ligadas ao Controlador Lógico Programável

A fig.1.10 classifica as funções em torno do controlador lógico programável e mostra os dois meios de comunicação utilizados:

- as ligações "com os equipamentos" pelos módulos de entrada-saída da CLP.

- as ligações em "série ou paralelo" por cabos especiais ligando-se a CLP ou a um de seus módulos específicos.

As cinco funções principais ao redor da CLP são descritas abaixo :

- 1 - A detecção : os sensores de todos os tipos distribuídos sobre a máquina;

- 2 - Ações :O comando de ações versus os acionadores e pré-acionadores;

- 3 - O diálogo de utilização;

- 4 - O diálogo da supervisão;

- 5 - O diálogo de programação : para a colocação em funcionamento.

As figuras 1.12 e 1.13 mostram o CLP e os elementos de ligação, e os CLP e o sistema de supervisão.

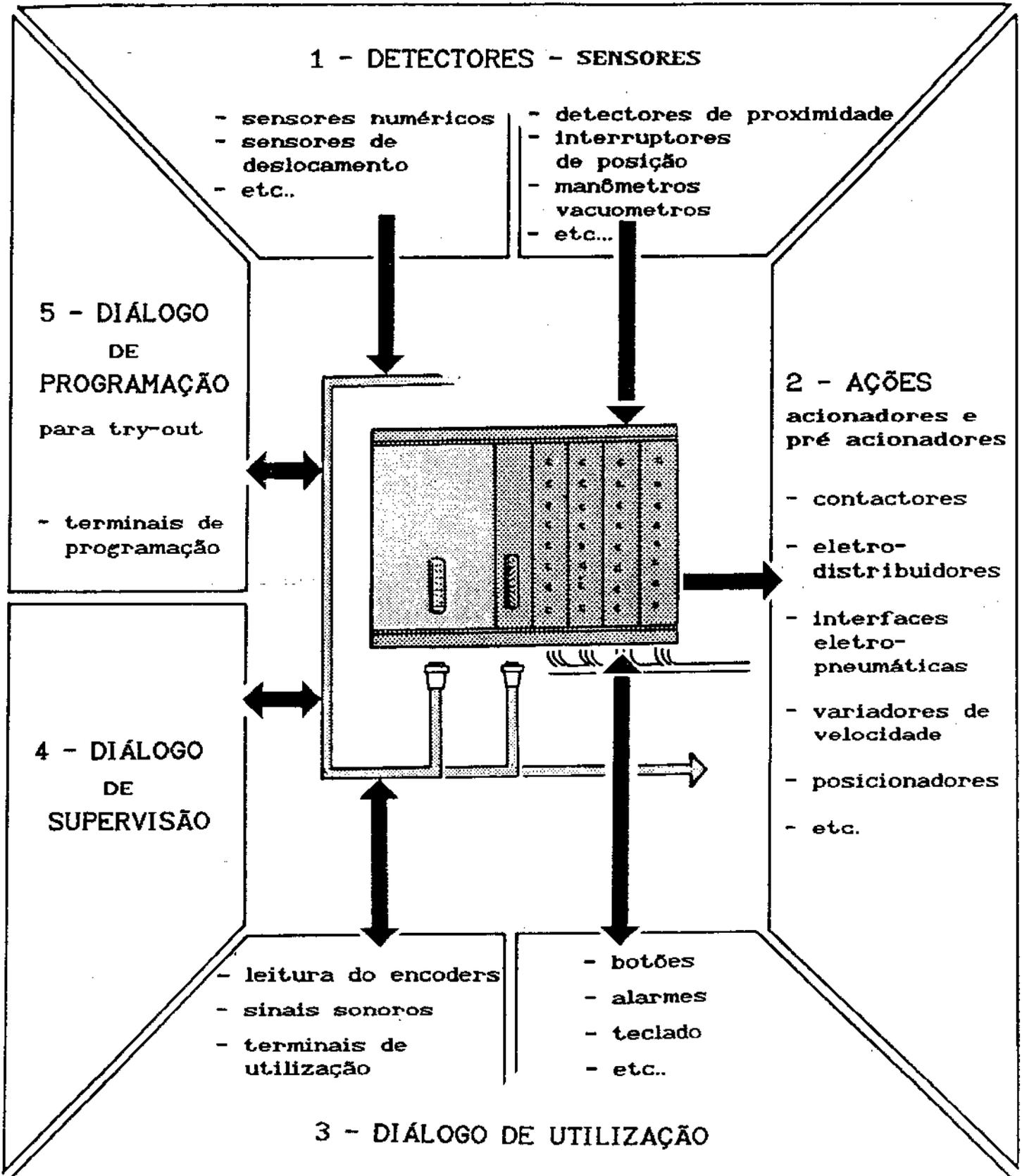


Figura 1.11 - O CLP e suas funções

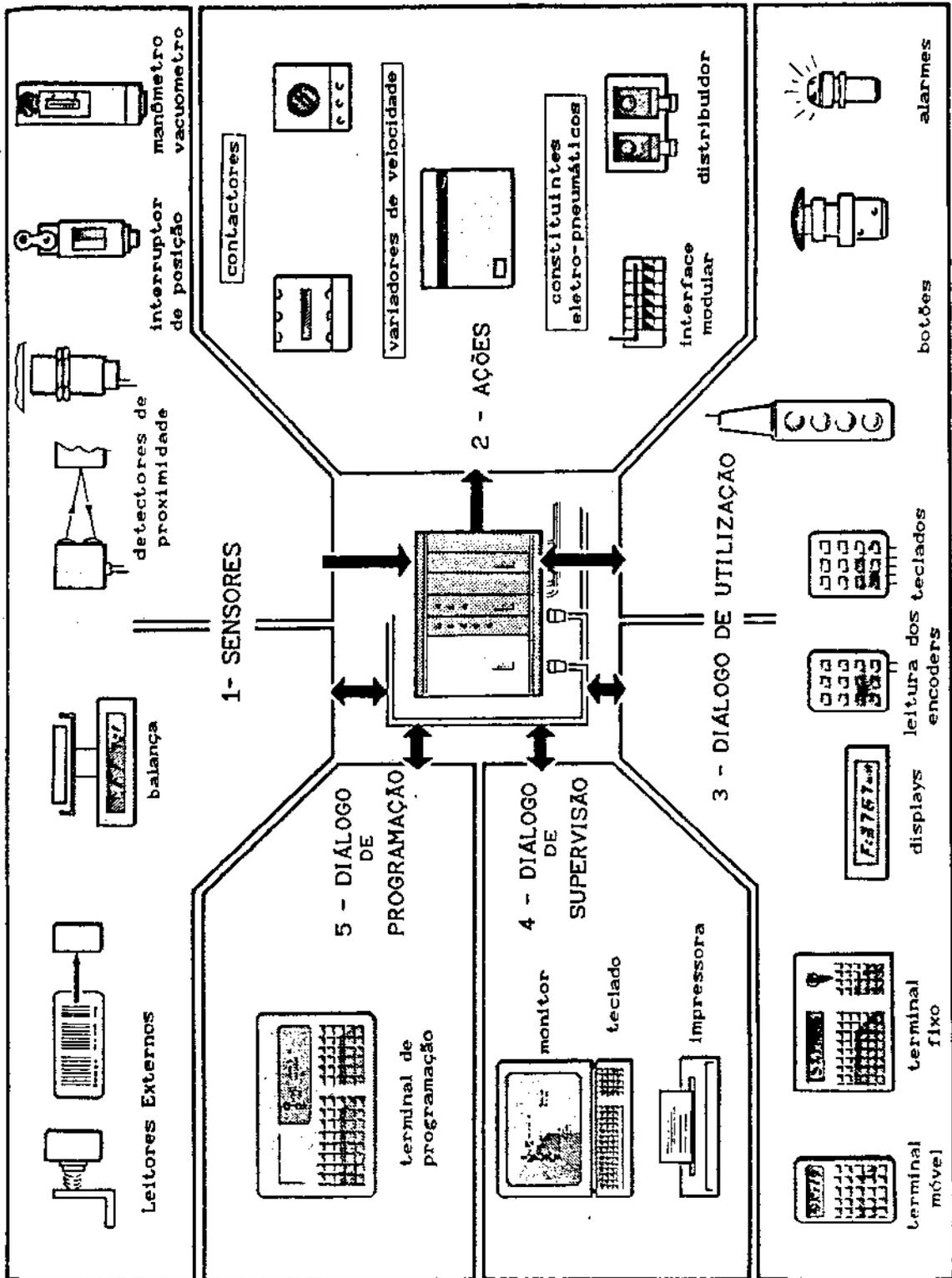


Figura 1.12 - O CLP e os elementos de ligação

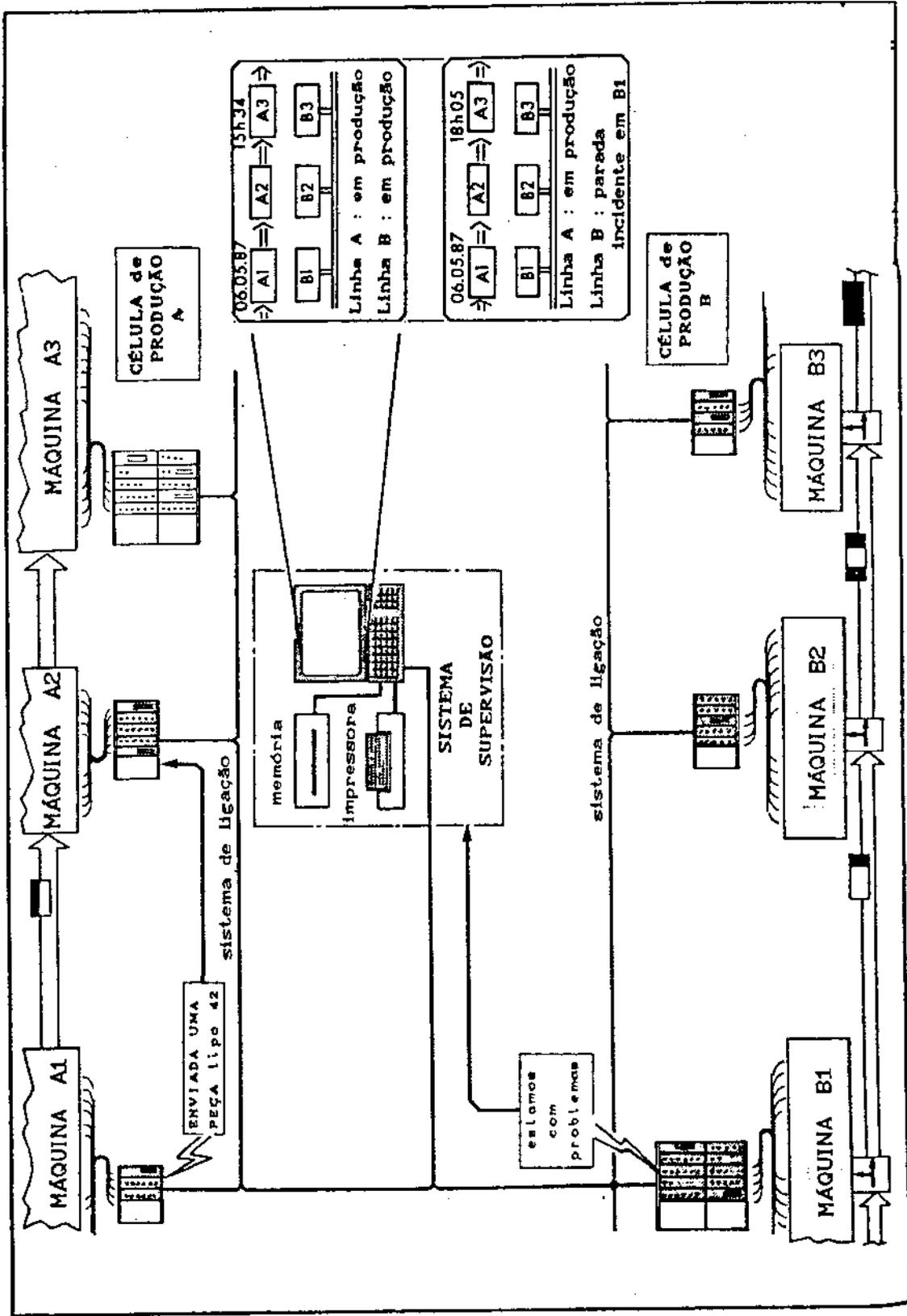


Figura 1.13 - Os CLP e o sistema de supervisão

1.8 - CONCLUSÕES

Neste capítulo foi feita uma síntese dos sistemas automatizados, e das diferentes ferramentas utilizadas para a automação.

No próximo capítulo descreveremos o GRAFCET, suas principais funções e definições com alguns exemplos de aplicação a partir do caderno de especificações.

CAPÍTULO 2

INTRODUÇÃO AO GRAFCET

Com a complexidade crescente dos controladores lógicos programáveis, em linha automatizadas, existe uma grande dificuldade para definir, de maneira clara e não ambígua as especificações funcionais. E esta dificuldade é agravada ainda mais pela utilização de números significativos de informações de entradas e saídas.

As diferentes metodologias utilizadas, nos levam a representações gráficas das especificações funcionais, que são totalmente independentes de sua realização material.

Novas representações são baseadas nas noções de etapa e receptividade que simplificam muito a síntese da automação

sequencial, permitindo um grande número de informações disponíveis; que são significativas a um instante dado.

Este diagrama funcional permite descrever os comportamentos previstos do automatismo de comando, diante das informações que ele recebe, impondo procedimento rigoroso, eventualmente hierarquizado, evitando assim incoerências, interrupções e os conflitos de funcionamento. A cada nível a descrição deste diagrama pode ser refinada e corrigida, sem necessitar o retorno das partes já estudadas [4].

O GRAFCET representa a sucessão das etapas no ciclo. A evolução do ciclo Etapa por etapa é controlada por uma "transição" disposta entre cada etapa.[1]

A cada uma das etapas pode corresponder uma ou mais ações. A cada transição corresponde uma função lógica chamada receptividade [2]; condição que deve ser satisfeita para que a transição possa ser ultrapassada, permitindo a evolução de uma etapa a seguinte ; função combinatória, que faz intervir o estado ou as mudanças de estado, das variáveis de entrada e eventualmente o estado ativo ou inativo de certas etapas [8].

2.1 - O CADERNO DE ESPECIFICAÇÕES E O GRAFCET

O GRAFCET aplica-se a todo sistema lógico de comando de uma linha de industrial automatizada, qualquer que seja a complexidade ou a tecnologia utilizada: elétrica, hardware eletrônico ou programável em microprocessadores, mecânica, pneumática, etc...

O diagrama funcional descreve todo sistema cuja decomposição em etapas pode ser descrita sequencialmente.

O GRAFCET pode ser utilizado para descrição de processos combinatórios, de automação de comando, uma descrição sequencial de análise simples e de fácil compreensão.

No capítulo 1, vimos a definição de um caderno de especificações, e que um sistema automatizado divide-se em Parte Operativa (PO) e Parte de Comando (PC).

O caderno de especificações deve ser escrito de forma clara e objetiva, de maneira a atender as necessidades da parte de comando. Para que isto aconteça a descrição deve ser feita em dois níveis sucessivos e complementares; tal como descrito no capítulo 1:

Nível 1 : *Especificações Funcionais* :

Nível 2 : *Especificações tecnológicas e operacionais*.

Devido as especificações serem escritas na linguagem corrente, é um risco permanente de incompreensão ou de mal entendido entre o redator e o leitor do caderno de especificações. A linguagem corrente revela-se, mal adaptada à descrição precisa dos sistemas sequenciais, em particular as escolhas entre as diversas evoluções possíveis ou das sequências que acontecem simultaneamente. Seria útil, se tivéssemos uma ferramenta para a representação do caderno de especificações, que fosse normalizado, sem ambiguidades, e entretanto de fácil utilização e compreensão.

O GRAFCET, diagrama de comando etapa-transição, responde a estas características. É perfeitamente adaptado a uma descrição

hierarquizada do automatismo : a partir de um GRAFCET de nível 1, podemos obter progressivamente o GRAFCET de nível 2. Entretanto somente no nível 2 escolhe-se as especificações que podem ser expressas em termos de sinais lógicos. [1]

As especificações operacionais em particular não podem ser totalmente formalizadas através de um GRAFCET.

2.2 - DEFINIÇÕES BÁSICAS

2.2.1 - Etapa

Uma etapa corresponde a uma situação na qual o comportamento total ou parcial do sistema em relação a suas entradas e suas saídas será invariante.

A etapa poderá estar ativa ou inativa a um instante dado , uma etapa é ativa até que a receptividade (ver item 2.2.5) seguinte seja verdadeira, a situação do sistema automatizado será totalmente definido pelo conjunto das etapas ativas [fig. 2.1].

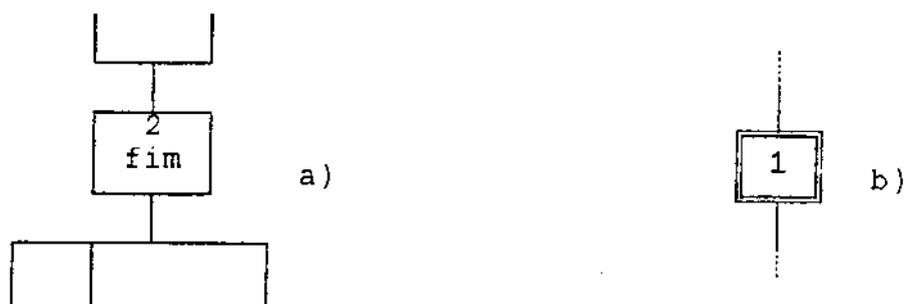


Figura 2.1 - a: definição de etapa
b: etapa / inicialização

2.2.2 - Situação

A um instante dado é o conjunto das etapas ativas do GRAFCET.

2.2.3 - Ações associadas a uma etapa

Uma ou mais AÇÕES elementares ou complexas são associadas a uma etapa. Elas traduzem " o que deve ser feito " cada vez que a etapa (às quais são associadas) está ativa.

Estas AÇÕES podem ser externas (saídas) ou internas (temporizações, contadores, etc...). [fig. 2.2]

Ações condicionais são aquelas ligadas às condições lógicas.

Ações a nível ou (contínuas) são executadas desde que a etapa correspondente esteja ativa.

Ações impulsioneis (ou pontuais) tem duração determinada, desde que a etapa esteja ativa.

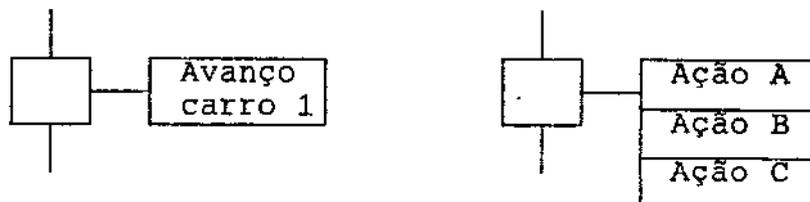


Figura 2.2 - Ações associadas

Uma etapa que não possui nenhuma indicação da ação, pode

corresponder a um comportamento de espera de um evento externo (mudança de estado de uma entrada externa, por exemplo) ou interna (ativação de uma outra etapa, fim de uma temporização, etc...).

2.2.4 - Transição

Uma transição indica a possibilidade de evoluções entre etapas, permite uma passagem de uma situação para outra. Na figura 2.3 mostramos a transição 1 referente a etapa 2 anterior a etapa 3.

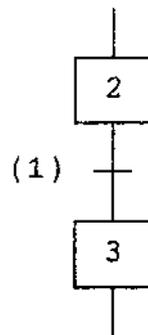


Figura 2.3 - exemplo de transição entre 2 etapas

Uma transição é validada ou não validada. É dita validada quando todas as etapas imediatamente precedentes ligadas a esta transição são ativas, e não validada quando uma das etapas imediatamente precedentes não está ativa.

A evolução de uma etapa será completada quando a receptividade associada a transição for verdadeira.

2.2.5 - Receptividade associada a transição

A receptividade está associada a transição. Ela é descrita sobre a forma lógica, e pode ser verdadeira ou falsa. [fig. 2.4]

Dentre todas as informações disponíveis a um instante dado, a receptividade reagrupa unicamente aquelas que são necessárias para a passagem da transição.

Receptividade é função de informações externas da parte operativa (entradas) ou internas (sensores, temporizadores, estados ativos ou inativos de outras etapas).

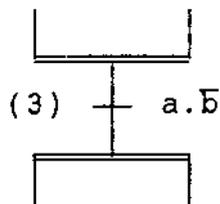


Figura 2.4 - receptividade associada a transição

2.2.6 - A temporização

Trata-se de uma receptividade particular que permite a temporização entre etapas. Na fig 2.5 a variável $t/8/10$ min, significa que, 10 minutos depois do início da ativação da etapa 8, esta receptividade será verdadeira.

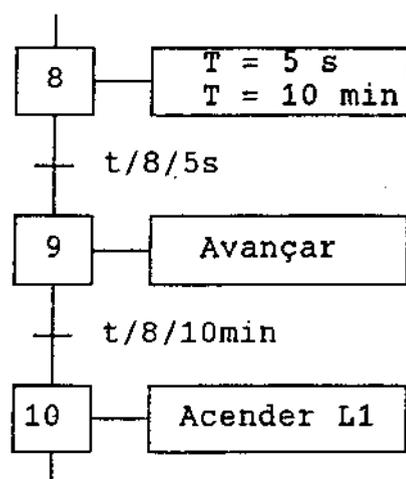


Figura 2.5 - exemplo de temporização

2.2.7 - Ligações orientadas

As ligações orientadas unem as etapas às transições e as transições às etapas. Indicam o sentido das evoluções da situação do GRAFCET. O sentido de ativação das etapas é de cima para baixo, exceto quando houver seta.

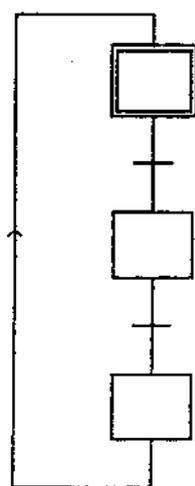


Figura 2.6 - ligações orientadas

2.2.8 - Regras de evolução de um GRAFCET [8]

O GRAFCET obedece a várias regras de evolução:

- Inicialização: consiste em recuperar as etapas ativas no início do funcionamento.

- A validade de uma transição efetua-se quando todas as etapas imediatamente precedentes estão ativas.

- A passagem de uma transição obedece as 4 regras seguintes:
 - Uma transição é designada ultrapassável quando ela é validada e quando a condição lógica associada é verdadeira;

 - A passagem de uma transição leva à ativação de todas as etapas, imediatamente seguintes a desativação de todas as etapas imediatamente precedentes;

 - Muitas transições, simultaneamente, ultrapassáveis são vencidas ao mesmo tempo;

 - Enfim, quando uma mesma etapa deve ser simultaneamente ativada e desativada, ela fica ativada.

2.3 - REPRESENTAÇÃO DO GRAFCET

Um ciclo desenvolve-se etapa por etapa. A etapa inicial (Etapa 0, figura 2.7) que está ativa no início do funcionamento, valida a transição seguinte, ela será ultrapassável se a receptividade X for satisfeita. A etapa nº 1 será ativada e a etapa nº 0 desativada. As ações associadas a etapa nº 1 desenvolvem-se então até que a receptividade Y da transição seguinte seja satisfeita.

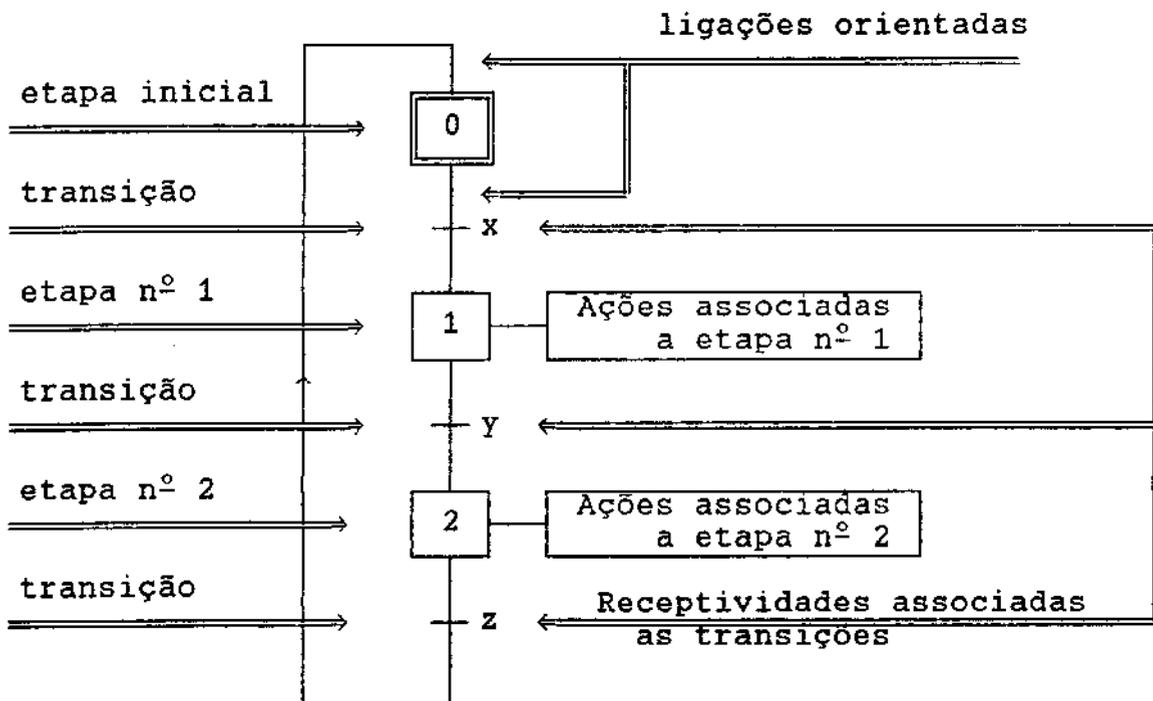


Figura 2.7

2.4 - DESCRIÇÃO DAS DIFERENTES FASES DA CONCEPÇÃO DE UM PRODUTO A PARTIR DE UM " GRAFCET "

O exemplo da fig. 2.8 será aqui descrito através de diferentes GRAFCET as fases da concepção de um produto.

A figura 2.8 demonstra a representação esquemática dos movimentos a partir do GRAFCET.

1- Ao nível do caderno de especificações o GRAFCET não necessita da escolha da PO e PC.

2- Após a escolha dos acionadores e dos sensores o GRAFCET resume as ações e transições.

3- Enfim, com a escolha dos pré-acionadores, o GRAFCET de comando exprime os sinais trocados pela PO e PC.

• Caderno de especificações

O exemplo apresentado a seguir (fig. 2.8) apresenta de maneira clara e sucinta a concepção de um produto automatizado utilizando a técnica do GRAFCET.

Inicialmente o operador aperta dois botões e começa o ciclo. A peça deverá ser deslocada até o local de furação, quando a peça estiver completamente fixada, a furadeira então aproxima-se da peça para realizar a operação de furar. Terminada a operação, a furadeira retorna ao lugar de origem e a peça é retirada para que um novo ciclo se inicie. Esclarece-se que as peças são colocadas e retiradas manualmente.

Figura 2.8 - Estados de concepção de um GRAFCET

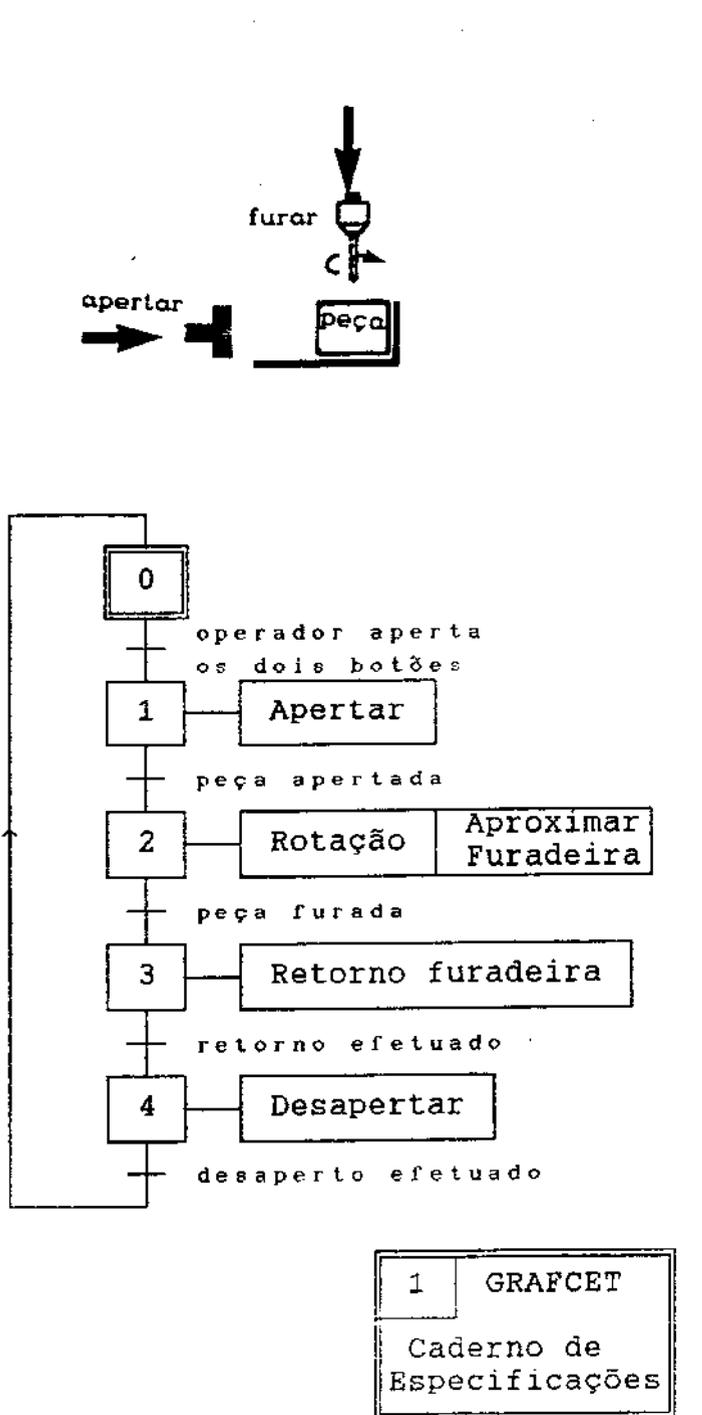


Figura 2.8.a

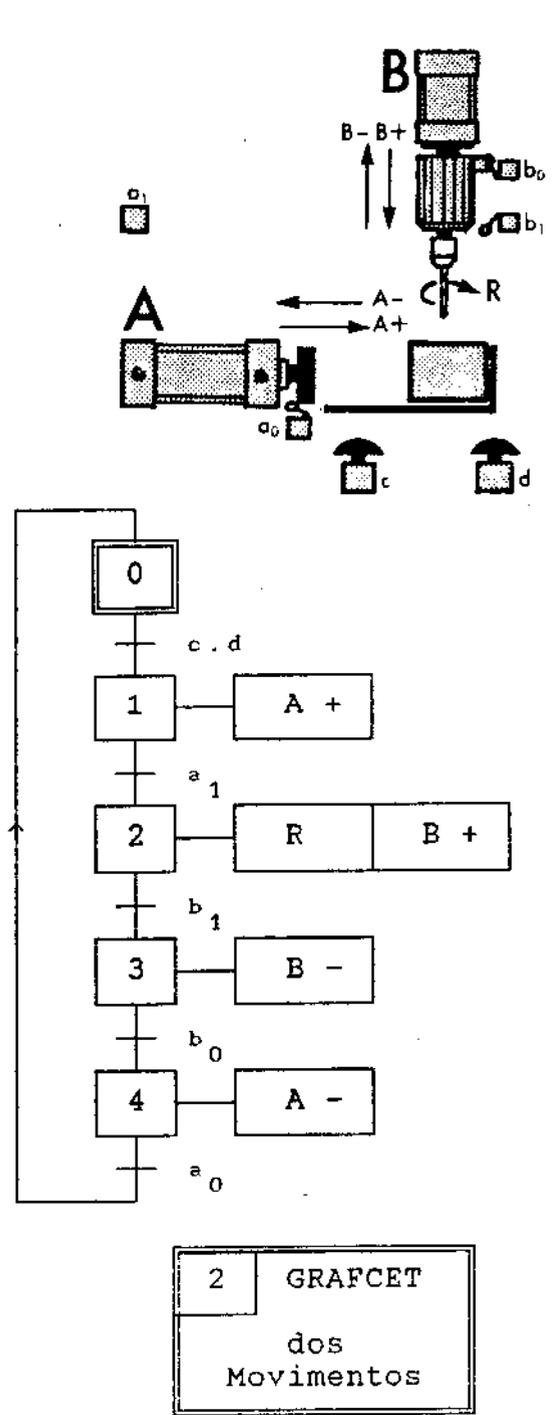


Figura 2.8.b

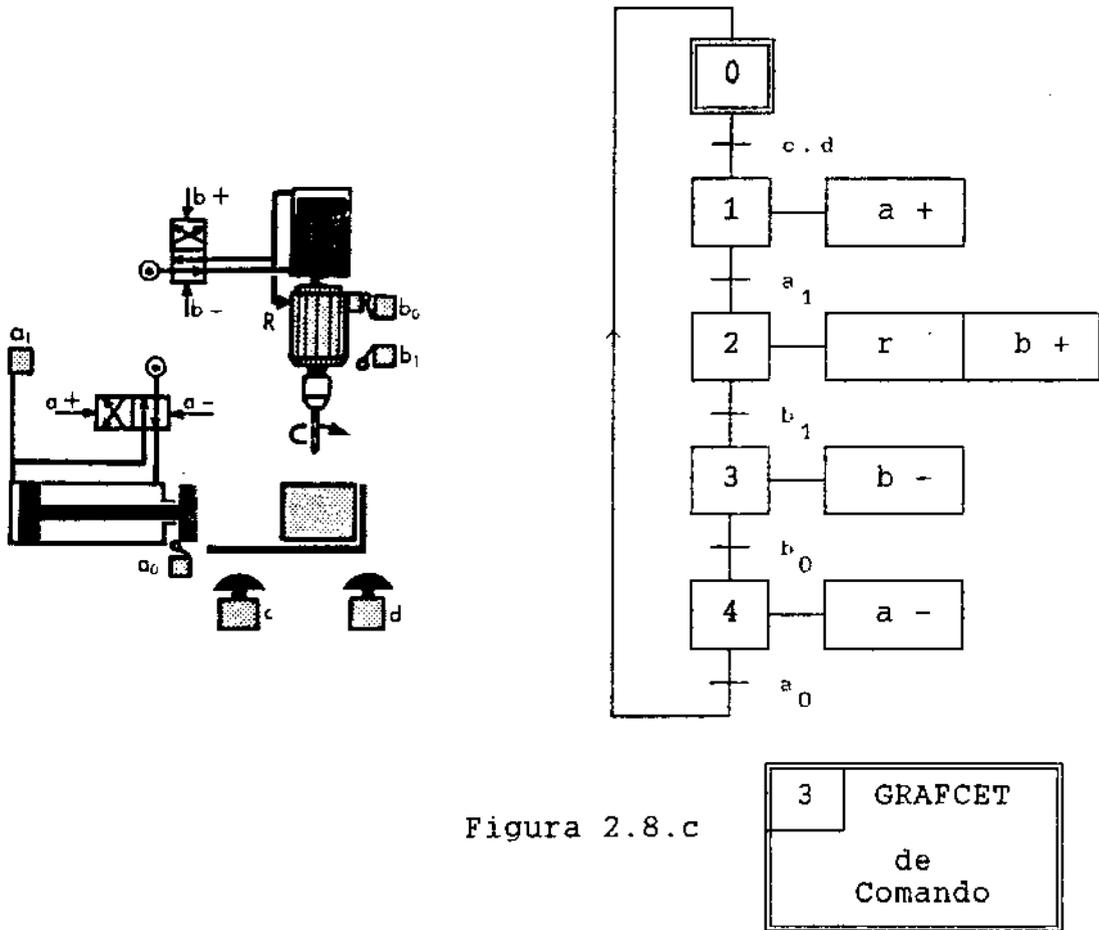


Figura 2.8.c

- Figura 2.8 - Descrição das fases de concepção
- a) Caderno de especificações
 - b) GRAFCET dos movimentos
 - c) GRAFCET de comando

2.5- EXEMPLOS DE APLICAÇÃO: CONSTRUÇÃO DE UM GRAFCET A PARTIR DO CADERNO DE ESPECIFICAÇÕES

2.5.1 - EXEMPLO 1: COMANDO DE UMA FURADEIRA;

- Descrição do problema:

- i) A furadeira é composta de uma base fixa e de uma extremidade móvel para trazer a broca.
- ii) A extremidade suporta a broca e o motor de partida.
- iii) As peças a serem furadas são colocadas e fixadas manualmente sobre a base.

- Caderno de Especificações

- i) A broca gira em repouso.
- ii) O operador fixa a peça e é dada a informação que o ciclo pode ser iniciado.
- iii) Após uma aproximação em alta velocidade, a operação de furar efetua-se em baixa velocidade.
- iv) Terminada a operação, a broca retorna em alta velocidade, até a posição alta.

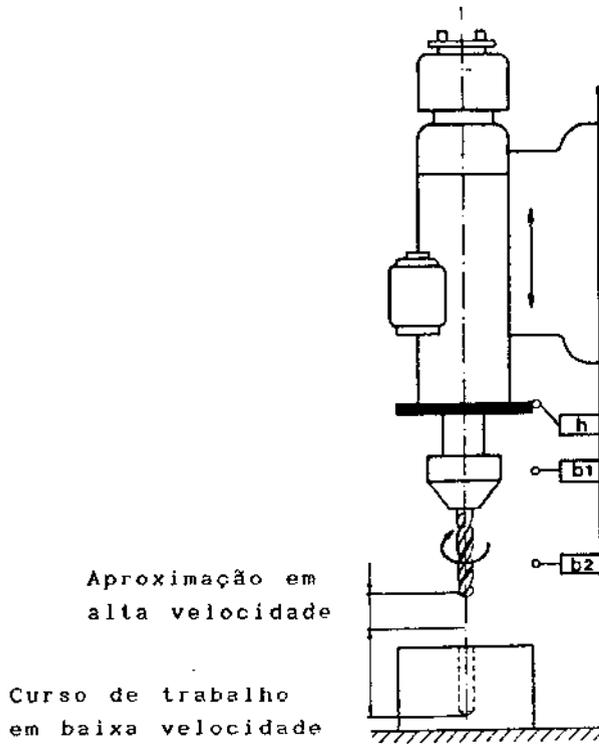


Figura 2.9 - descrição do problema

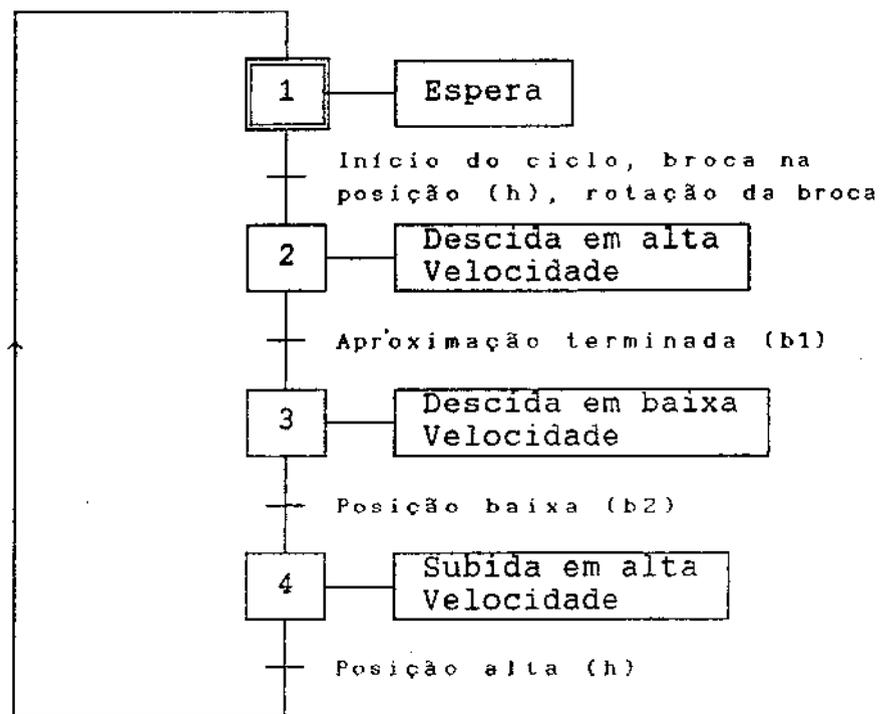


Figura 2.10 - GRAFCET funcional da furadeira (nível 1)

2.5.2 - EXEMPLO 2: ABERTURA E FECHAMENTO DE CANCELAS PARA PASSAGEM DE TREM

Consideremos o dispositivo de comando de duas barras para passagem em nível sobre via única com duplo sentido de percurso.

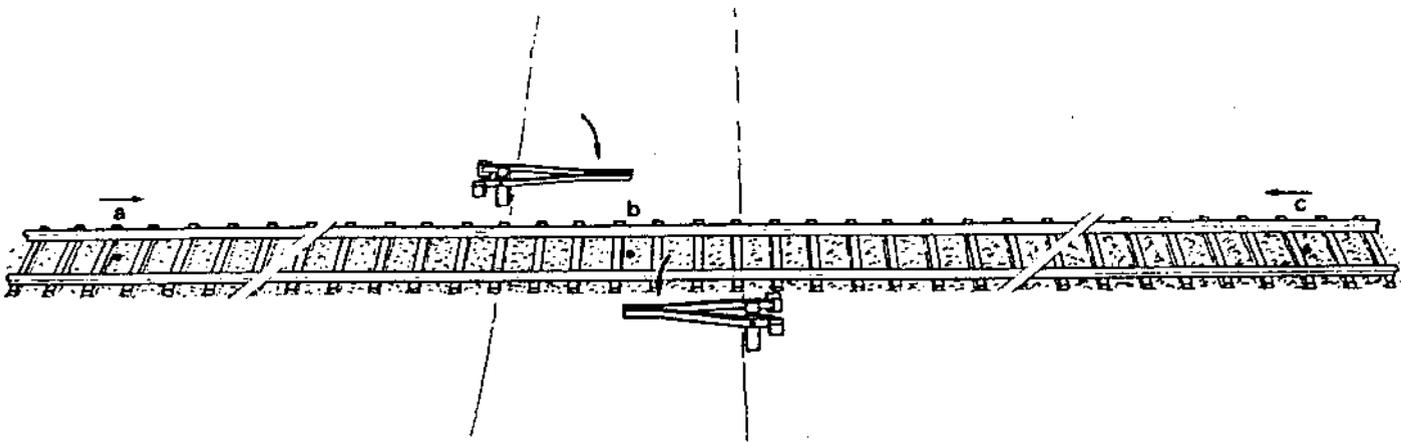


Figura 2.11 - trilho

• Caderno de especificações

Dois sistemas de detecção "a" e "c" situados bem longe da passagem em nível são utilizados para provocar o fechamento das cancelas, assim que o trem aparece, tanto de um lado como de outro, e um terceiro sensor "b" situado entre as cancelas permite que seja dada a ordem para abertura das cancelas assim que o trem passa, sem precisar esperar que o trem atinja a posição simétrica inversa "c" ou "a". A distância entre os dois trens será sempre superior a distância a-c.

A figura 2.12 apresenta um diagrama esquemático escrito a partir do GRAFCET que descreve a parte de comando:

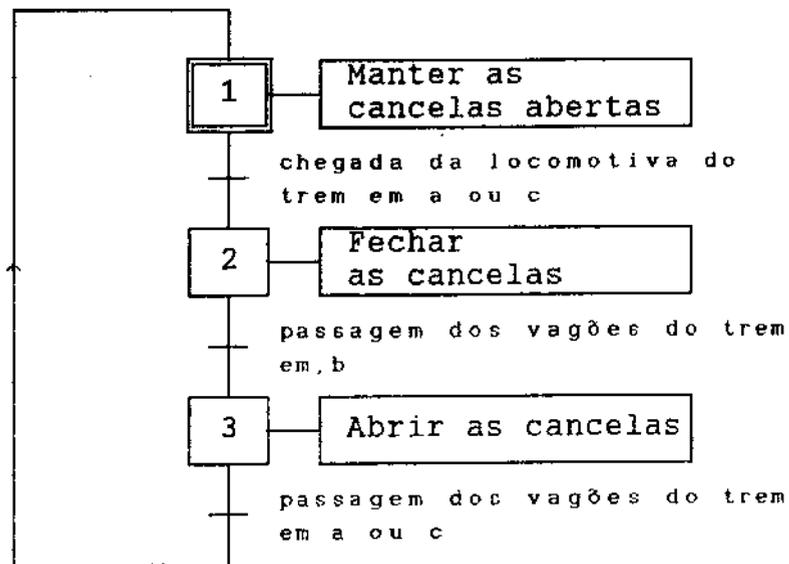


Figura 2.12 - GRAFCET de nível 1

Notamos que nesta aplicação, as ações nas etapas 3 e 1 são idênticas, porém os comportamentos correspondentes são diferentes; na etapa 3 o automatismo espera a saída do trem da zona "a-b-c", ao passo que na etapa 1, o automatismo espera a chegada do trem nesta mesma zona.

Podemos ver que, neste caso, as etapas resultam unicamente da necessidade de trocar a receptividade.

O GRAFCET da figura 2.12, pode ser representado por uma forma simbólica, com as notações A e F para a abertura e fechamento das cancelas, a, b, e c as informações do sistema de detecção (fig. 2.13)

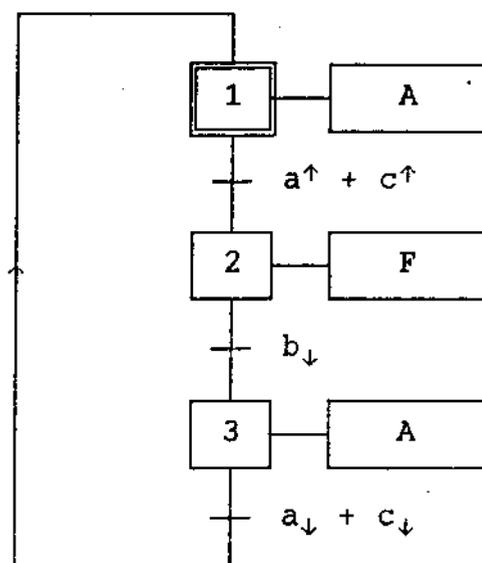


Figura 2.13 - Mudança dos estados lógicos

Como é mostrado na figura 2.13 a notação $a\uparrow$ significa o surgimento da informação "a" (a mudança do estado lógico "0" para o estado lógico "1") e a notação $b\downarrow$ o desaparecimento da informação "b" (passagem do estado lógico "1" para o estado lógico "0").

Entretanto na análise do nível 2, a tecnologia nem sempre permite obter uma informação que traduza o surgimento ou o desaparecimento de uma informação.

A primeira coisa a verificar deve ser a detecção do surgimento de uma informação, que anteriormente estava ausente, da mesma forma a detecção do desaparecimento de uma informação, que anteriormente estava presente, isto pode efetuar-se por duas transições separadas por uma etapa suplementar. Detectar um início, isto é, produzir uma relação lógica simultânea ao estado lógico anterior.

O reconhecimento do início realiza-se portanto em dois

estágios:

- 1) Verificação do estado oposto da informação;
- 2) Detecção do novo estado de informação.

As duas receptividades opostas são separadas por uma etapa suplementar (fig. 2.14) porque correspondem a uma mudança de comportamento.

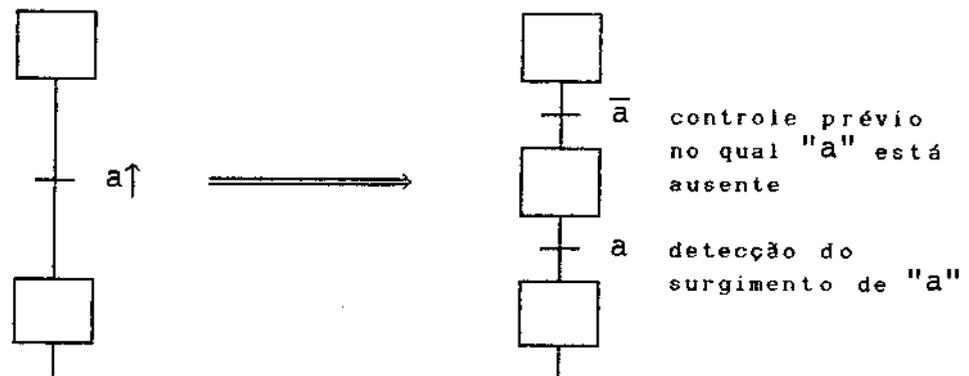


Figura 2.14

O GRAFCET de nível 2 da fig. 2.15, é obtido através da análise precedente. Assim a primeira receptividade $a\uparrow + b\uparrow$ da transição t1-2 decompõem-se em duas receptividades $\overline{a + c}$ (ou $\overline{a} \cdot \overline{c}$) e $(a + c)$ separadas pela etapa 1:

- A segunda receptividade $b\downarrow$ desdobra-se em duas receptividades b e \overline{b} separadas pela etapa 21.
- A terceira receptividade $a\downarrow + c\downarrow$ será representada pelas duas receptividades $(a + c)$ e $\overline{(a + c)}$ separadas pela etapa 31.

Estes problemas de detecção inicial são normalmente encontrados nas aplicações industriais.

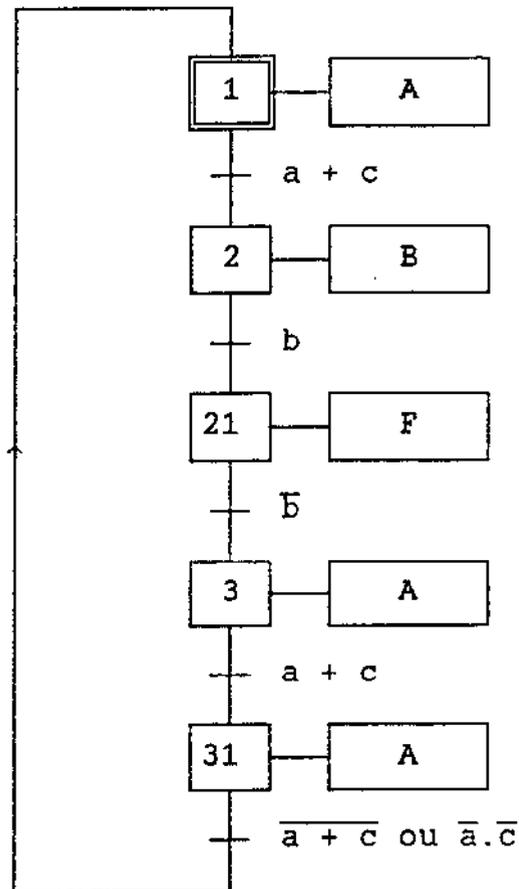


Figura 2.15 - GRAFCET de nível 2

2.6 - CONCLUSÕES

Vimos neste capítulo a facilidade de usar-se o GRAFCET, pois ele consegue exprimir o caderno de especificações sem que ocorra dupla interpretação para a implantação do automatismo.

Um GRAFCET, muitas vezes pode ser elaborado corretamente, porém com transições e etapas redundantes. Neste sentido, no próximo capítulo estudaremos a redução do GRAFCET, para eliminar estas redundâncias.

Além disso, será apresentada uma metodologia utilizada para obter-se as expressões lógicas a partir do GRAFCET.

CAPÍTULO 3

DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS RECURSOS UTILIZADOS PARA SIMPLIFICAÇÃO DE UM GRAFCET

Neste capítulo será tratada a redução de GRAFCET e também como, a partir de um GRAFCET final, expressar as equações lógicas, e conseqüentemente implementar em hardware eletrônico ou software em microprocessador.

3.1 - REDUÇÃO DE GRAFCET

O objetivo principal da redução do GRAFCET é a diminuição do número de etapas redundantes do caderno de especificações. O GRAFCET reduzido, deverá ser equivalente ao inicial. Isto deverá ser desenvolvido a partir de uma pesquisa inicial de etapas e transições redundantes.

3.1.1 - Pesquisa de transições redundantes

Esta simplificação é fácil de detectar, conduz a uma redução de GRAFCET pela supressão de transições.

As transições são idênticas quando têm as mesmas etapas de entrada e saída, podendo ser reagrupadas em uma transição única, suprimindo as outras transições e suas ligações. A esta transição está associada, como receptividade a soma lógica, eventualmente simplificada, de todas as receptividades associadas às transições idênticas, que foram reagrupadas (fig. 3.1).

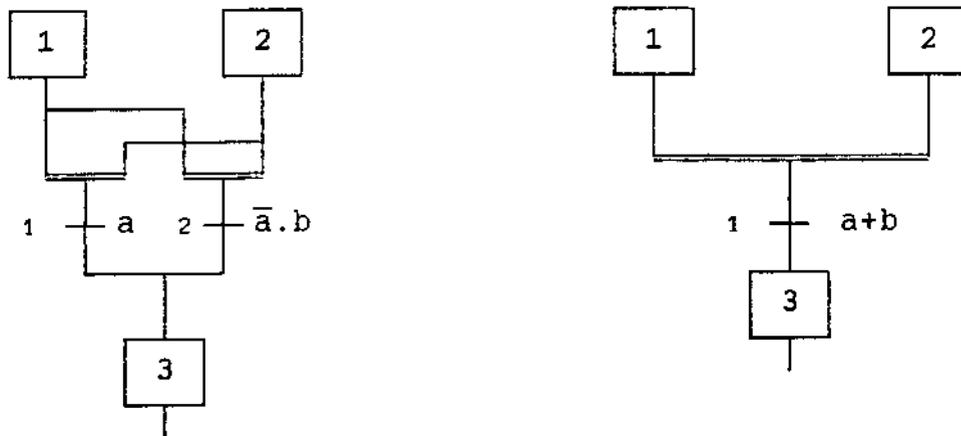


Figura 3.1 - exemplo de transição redundante

3.1.2 - Pesquisa das etapas redundantes

Uma etapa redundante é uma etapa que pode ser suprimida, as ações que estão associadas reportam-se a outras ações do GRAFCET. O novo GRAFCET resultante desta simplificação é equivalente ao primeiro.

Teoricamente classificamos as redundâncias em redundâncias fundamentais, ou seja, aquelas que são independente da interpretação externa do GRAFCET e redundâncias funcionais, descritas no caderno de especificações citado, como a representação externa. O conjunto de situações permite revelar as redundâncias funcionais; o conjunto das situações atingidas permite detectar todas as redundâncias (fundamentais e funcionais).

A pesquisa das etapas implícitas, resume-se em encontrar as etapas do GRAFCET que estão sempre ativas simultaneamente com outras etapas .

A etapa implícita e todas as suas ligações de entrada e saída são suprimidas. Uma ou outras ações a nível (ou contínuas) associadas a etapa implícita são reportadas por meio das ações associadas a cada uma das etapas envolvidas. A procura e teste das etapas envolvidas é mostrada pelo exemplo descrito no caderno de especificação seguinte (fig. 3.3):

• Caderno de especificações - nível 2

Um carrinho contém uma lâmpada L, e é comandado por um motor à duas direções; a direita (D) e a esquerda (E). Desloca-se entre os postes a e b, representados pelos sensores de fim de curso de mesmo nome. (fig. 3.2)

Inicialmente o carrinho repousa em a , o operador aperta o botão liga-desliga m, o carrinho fará o percurso "aba", e a lâmpada permanece acesa até o carrinho chegar; fica pendente o segundo ciclo do carrinho; cada vez que o operador apertar o botão elétrico m, a lâmpada apaga-se e o carrinho pára. Quando m está solto a lâmpada acende-se e o carrinho desloca-se para continuar o segundo ciclo.

Na fig. 3.2, nota-se que o GRAFCET está perfeitamente correto, porém redundante.

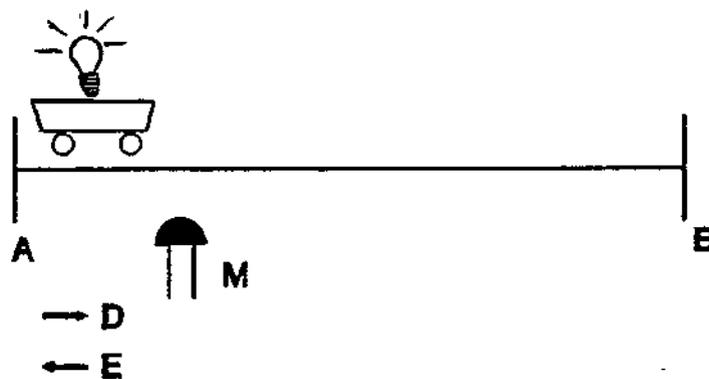


figura 3.2 - diagrama do carrinho

Nós vamos reunir as condições para as quais a etapa 8 seja implícita das etapas 3 e 4 (etapas envolvidas).

Suprimindo-se a etapa 8 e suas ligações e reportando a ação a nível L, dentre as ações associadas as etapas 3 e 4, obtem-se o GRAFCET reduzido da fig. 3.4.

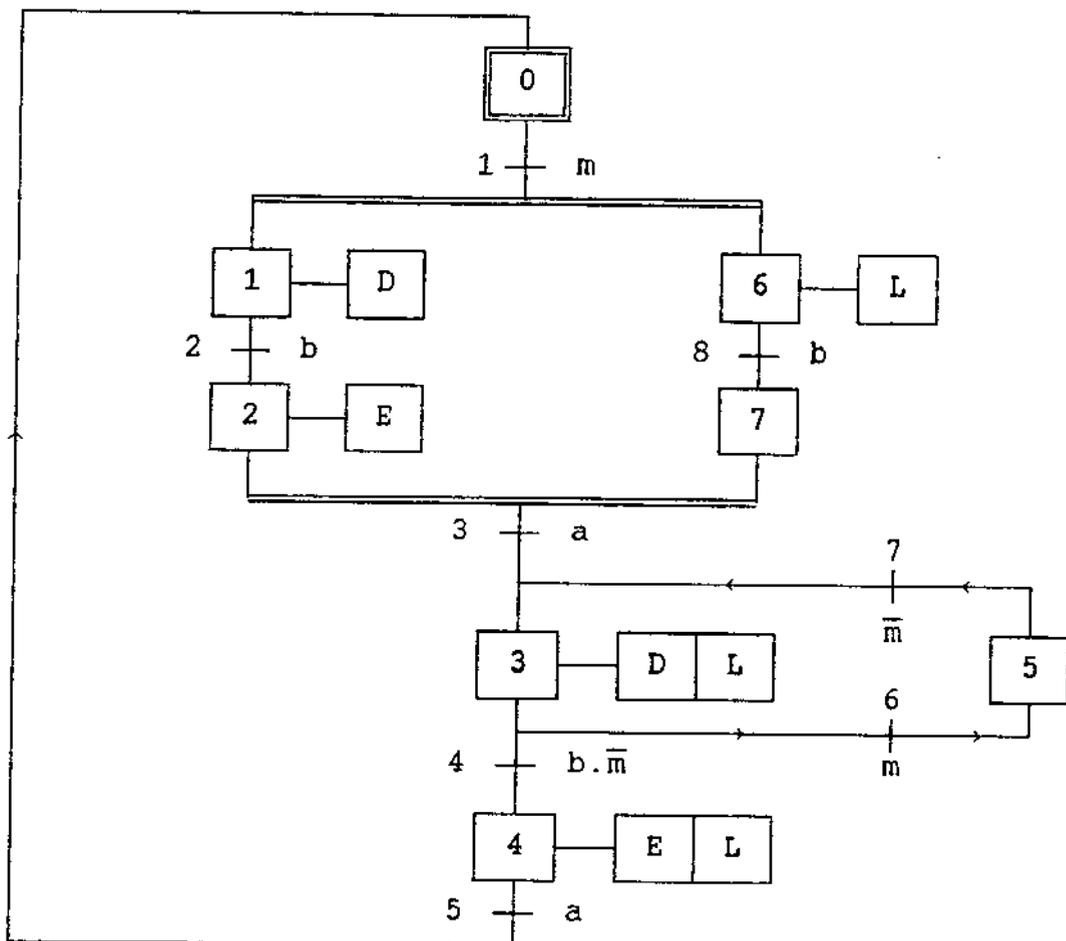


Figura 3.4 - GRAFCET reduzido - 1ª parte (incompleto)

- GRAFCET reduzido - 2ª parte (completo)

Observando-se a fig. 3.3 , nota-se que as transições concorrentes t2 e t8 são da mesma forma interpretadas, e também ultrapassadas simultaneamente. Após a eliminação da etapa redundante 8, o conjunto das situações acessíveis (correspondente ao conjunto das situações acessíveis do GRAFCET da fig. 8.3) é o seguinte: (0); (1,6); (2,7); (3); (4),(5).

A etapa 6 está ativa somente na situação (1,6), e é implícita da etapa 1, podendo ser suprimida, assim como suas ligações. A ação a nível L reportará as ações associadas à etapa envolvida 1.

Do mesmo modo, a etapa 7 está implícita da etapa 2 e será suprimida assim como suas ligações.

Nenhuma outra redundância será encontrada, o GRAFCET reduzido é o da fig. 3.5.

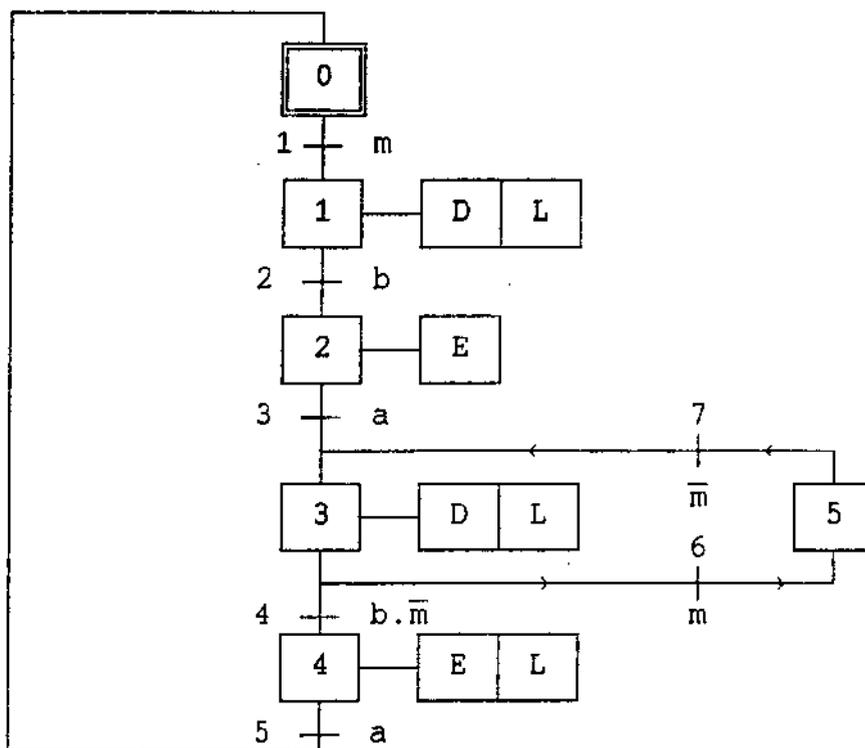


Figura 3.5 - redução completa

3.1.3 - Pesquisa das etapas agrupáveis

Após eliminarmos as redundâncias (transições e etapas) do GRAFCET, pesquisaremos se, as informações complementares sobre o sistema automatizado, não podem reduzir mais o GRAFCET.

Esta redução, consiste em descobrir as condições das ações, para permitir assim suprimir as etapas.

Ilustramos o princípio sobre o GRAFCET na figura 3.6, onde as etapas 1 e 2 são ligadas indiretamente entre si e jamais simultaneamente ativas.

Por definição, quando a etapa 1 está ativa, a receptividade r_2 não é verdadeira.

Se o conhecimento do sistema automatizado (natureza e ocorrência das informações de entrada, liberadas pelo ambiente externo e o processo do automatismo) permite afirmar que após a passagem da transição 2, a receptividade r_2 , não passa de uma característica que permanece pendente em toda a duração da atividade da etapa 2, neste caso as etapas 1 e 2 são agrupáveis em uma só etapa chamada etapa de fusão. " No interior " desta etapa, distingue-se a atividade da etapa agrupada 1, daquela da etapa agrupada 2, graças à condição lógica r_2 . Assim as ações associadas à etapa de fusão são alteradas nas seguintes condições:

" Se \bar{r}_2 : A1 " e " Se r_2 : A2 " e a receptividade associada à transição 3 (que está de passagem quando a etapa agrupada 2 está ativa e a receptividade r_3 verdadeira) for alterada para $r_2.r_3$. A transição 2 desaparece do GRAFCET reduzido (figura 3.5.b).

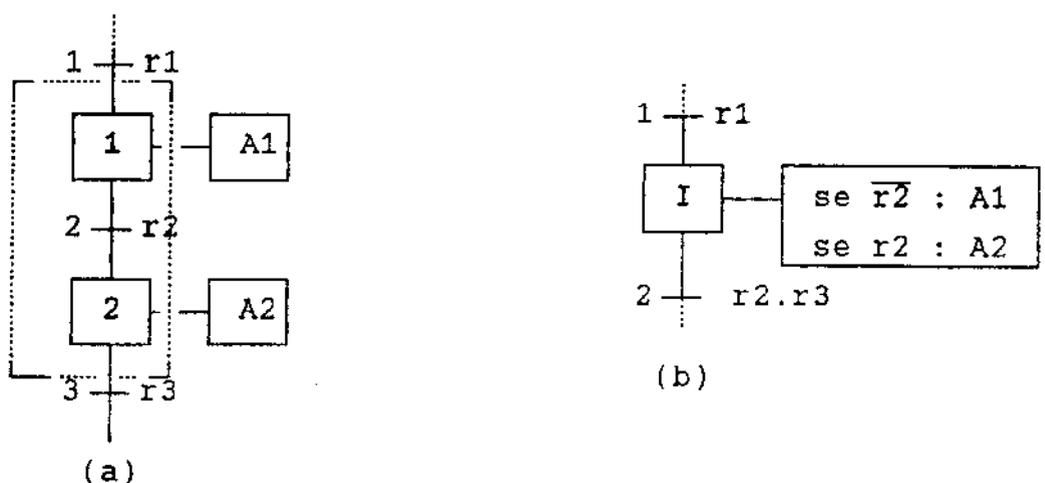


Figura 3.6 a,b - Etapas agrupáveis

Podemos generalizar esta aproximação a n etapas de um GRAFCET ligadas entre elas e que não podem estar simultaneamente ativas.

a) Condição de fusão das n etapas

Um estudo do sistema automatizado resulta que [1]:

a.1) Qualquer que seja a situação do GRAFCET em que uma etapa i do conjunto das n etapas estudadas está ativa, pode-se caracterizar o estado ativo desta etapa por uma condição lógica c_i .

a.2) As condições lógicas c_i , caracterizam a atividade de cada uma das n etapas, são exclusivas entre elas ($c_1.c_2 = 0$; $c_1.c_3 = 0$; ... ; $c_n.c_{n-1} = 0$). Então a fusão das n etapas é possível.

OBS: $c_1.c_2 = c_1 \text{ and } c_2$

Esta fusão não ocorrerá efetivamente na modificação do GRAFCET, não conduz a associar nenhuma receptividade nula às transições do GRAFCET reduzido.

b) Modificação do GRAFCET

O GRAFCET reduzido é obtido da seguinte maneira:

b.1) As etapas agrupáveis são substituídas por uma etapa única de fusão.

b.2) As ligações e transições que ligam diretamente 2 etapas agrupadas são suprimidas.

b.3) Todas as outras transições de entrada e de saída

das etapas agrupadas alteram-se as transições de entrada e de saída das etapas de fusão.

b.4) As receptividades que estão associadas às transições de entrada das etapas agrupadas não são modificadas no GRAFCET reduzido.

b.5) As receptividades r_i que estão associadas as transições de saída de uma etapa agrupada i , altera-se, no GRAFCET reduzido para, $r_i.c_i$.

b.6) As ações A_i , a nível ou impulsionalis, associadas à etapa agrupada i , no GRAFCET reduzido, associadas às etapas de fusão e altera-se " $se\ c_i = A_i$ ".

Além disso deve-se ainda observar que:

i) o agrupamento das n etapas somente ocorrerá, se alguma das condições lógicas $r_i.c_i$ for nula.

ii) o agrupamento das etapas só é possível, com um amplo conhecimento do sistema automatizado, que conduz a caracterizar o estado ativo das etapas do GRAFCET pelas condições lógicas.

O exemplo a seguir mostra o caso de etapas agrupáveis.

Considerando-se o caderno de especificações do exemplo de redução de etapas e o GRAFCET da figura 3.5 de onde eliminou-se as redundâncias.

Este GRAFCET tem uma etapa ativa única e não deve portanto ser decomposta. A ativação da etapa 3 é caracterizada pelo fato

que o operador não deve apertar o botão m (condição lógica \bar{m}), no entanto ativação da etapa 5, ao contrário é caracterizada por manter o botão apertado (condição lógica m).

Estas duas etapas são agrupáveis em uma etapa única de fusão III , a esta são associadas as ações condicionais "se $\bar{m} : D$ " e " se $\bar{m} : L$ " .

As transições 6 e 7 e as ligações correspondentes são suprimidas ; a receptividade associada à transição 4 $b.\bar{m}$ ($b.\bar{m}.\bar{m}$).

Diante do exposto, a ativação da etapa 0 correspondente a " etapa de repouso " do carrinho, é caracterizada pela condição lógica a , quando a etapa 4, correspondente ao retorno do carrinho até o poste a , é caracterizada pela condição lógica \bar{a} . Estas duas etapas são agrupáveis em uma única etapa de fusão IV às quais são associadas as ações condicionais " se $\bar{a}:G$ " e " se $\bar{a}:L$ " a transição 5 e suas ligações desaparecem e a receptividade associada à transição 1 é agora $a.m$.

Outro agrupamento não é possível e o GRAFCET reduzido é o da figura 3.7. A etapa de fusão IV será a etapa inicial.

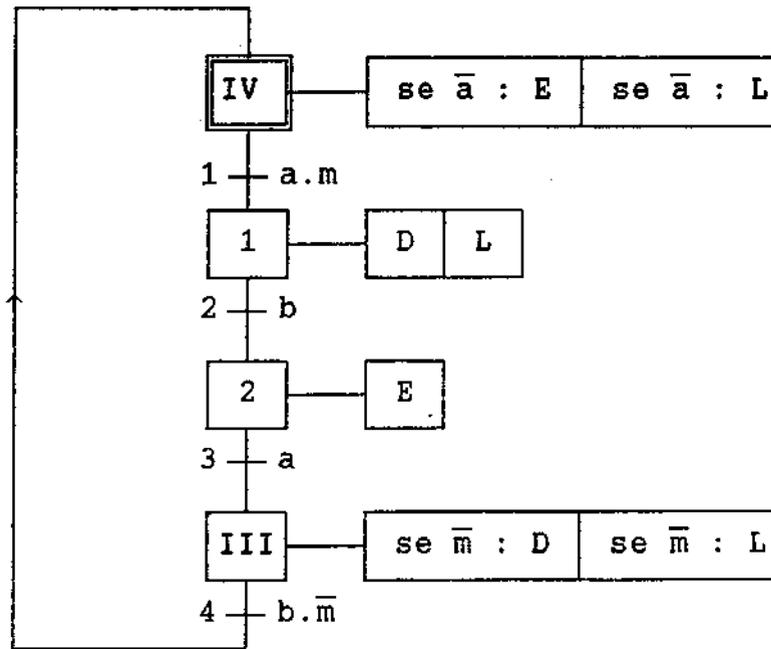


Figura 3.7 - GRAFCET reduzido com etapas agrupadas

Na figura 3.7 observa-se que a condição lógica a , caracteriza o estado ativo da etapa 4, pois está ativo desde que a não seja verdade no momento. Pois do contrário ela não pode caracterizar o estado ativo da etapa 1 uma vez que, no início da atividade desta; o carrinho está presente em a . Isto justifica as precauções em escolher corretamente, para caracterizar, o estado ativo de uma etapa.

3.1.4 - Critérios do processo de simplificação do GRAFCET

O processo global de simplificação de um GRAFCET tem por objetivo :

- a supressão das etapas redundantes, a reagrupar as ações;
- o agrupamento de etapas, para exprimir um automatismo mais combinatório.

Para aplicação em projetos, este processo aplica-se sucessivamente a três possibilidades de redução definidas acima, tais como:

- a - Recebimento de informações complementares (estado das variáveis de entrada do automatismo durante a atividade das diferentes etapas);
- b - Pesquisa das etapas e transições redundantes. novo GRAFCET;
- c - Pesquisa dos conjuntos máximos de etapas agrupáveis. Escolha do agrupamento de etapas;
- d - Retornar em b, desde que nenhuma nova situação apareça.

Se, em termos de simplificação, o GRAFCET reduzido não possui mais que somente uma etapa, o automatismo será combinatório. As equações combinatórias das ações são dadas pelas condições lógicas associadas a esta etapa.

3.1.5 - Vantagens e critérios da simplificação de um GRAFCET

Foi apresentado neste capítulo que o processo de simplificação que desenvolvemos tem duas vantagens importantes em relação aos métodos clássicos de redução.

Primeira : A redução se faz progressivamente. O projetista pode muito bem parar, e não importa qual estado da redução diante a dificuldade de obter as informações sobre o sistema automatizado. Beneficiará então de uma redução parcial, em função das informações fornecidas.

Segunda : O agrupamento de etapas efetua-se "localmente" por sub-diagrama da etapa ativa única, que apresenta uma dupla vantagem por reportar a uma redução global: de um lado as informações a considerar para caracterizar a ativação das etapas do sub-diagrama, concernente às variáveis significativas do sub-diagrama e não ao conjunto das variáveis; do outro lado, limita-se ao agrupamento de etapas ligadas entre si e jamais simultaneamente ativas, pode conservar ao GRAFCET reduzido um significado físico; este é particularmente importante, no caso de uma síntese direta, pela manutenção, reparos (consertos) e as modificações posteriores do automatismo.

As consequências da simplificação de um GRAFCET são essencialmente a redução do número de etapas do diagrama (parte sequencial do automatismo) ao mesmo tempo em contrapartida um cruzamento da parte combinatória do automatismo (ações condicionais). Não é evidente que a redução do GRAFCET conduza a uma simplificação da realização do automatismo. Assim no Controlador Lógico Programável no qual o importante não é o número de memórias mais o número de instruções do programa, critério aliás cada vez mais preponderante, nada garante que um GRAFCET

reduzido seja realizado por um programa mais simples e mais curto. Ao contrário, a possibilidade de passar de GRAFCET à evoluções paralelas, a um GRAFCET a etapa única é muito interessante para as realizações com máquinas de estado (microprocessadores, sequenciadores ...).

Enfim, é necessário cautela na escolha para determinar as condições lógicas caracterizando a ativação das etapas. Toda redução prematura pode conduzir a comportamentos perigosos do automatismo, notadamente nos casos de incidente de funcionamento, a noção de sensibilidade substitui-se à aquela de receptividade.

Quanto aos critérios de escolha dos agrupamentos da etapa, que é dita demonstrativa, de cada projetista, seguindo a natureza e as características do caderno de especificação e o objetivo da realização pelo automatismo. Tudo nos leva a dar ênfase às vantagens do GRAFCET reduzido.

Em conclusão, a idéia que "simplificar uma realização do automatismo, está ligada ao mínimo sequencial possível" parece agora, na maior parte dos casos, ultrapassada. A evolução da tecnologia (custo e funções dos componentes, integração ...), a importância dos critérios e dificuldades operacionais (modos de deslocamento, manutenção, ...) causam um desinteresse deste método.

3.2 - A REDUÇÃO DO GRAFCET E SUA DESCRIÇÃO EM EQUAÇÕES LÓGICAS

Mostraremos um exemplo de aplicação, onde a partir da redução do GRAFCET, foram obtidas as equações lógicas do sistema.

• Exemplo de aplicação a partir de um encoder [11]

Um encoder é um transdutor de posição frequentemente utilizado em máquinas rotativas (exemplo justo de um robô), para fornecer ao controlador as informações de posição, velocidade e sentido de rotação de um eixo rotativo.

Obtenção do Sentido/Frequência através do equacionamento Lógico

Usaremos a teoria do GRAFCET para discriminar o sentido de rotação e da frequência de saída dos sinais do transdutor de posição. A figura 3.8 mostra os sinais oriundos do gerador de impulsões, trata-se de dois sinais com a forma de onda quadrada defasados de 90°.

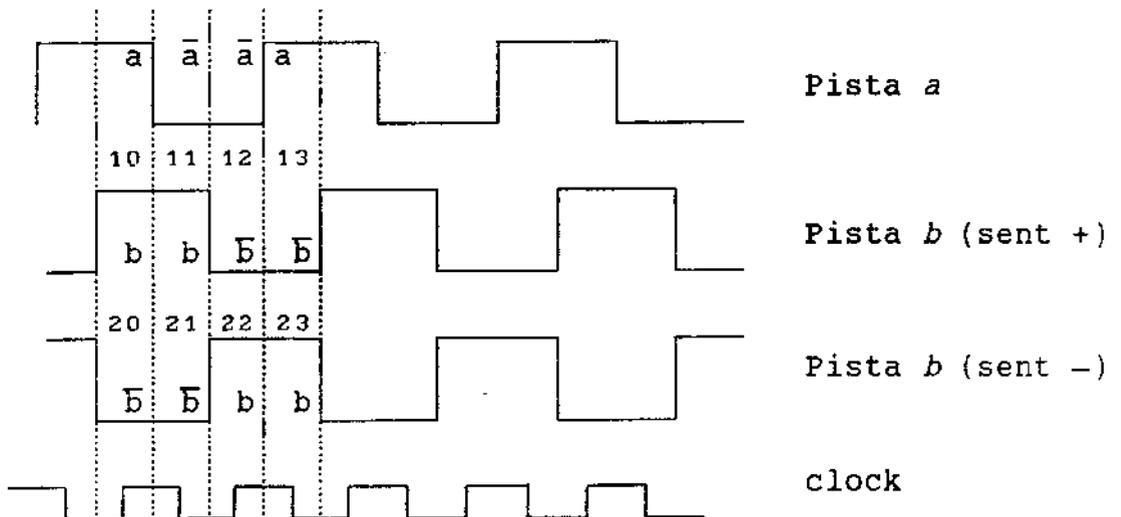


Figura 3.8 - Representação do sentido de rotação

A pista A é tomada como referência e em função de um atraso ou adiantamento da pista B. Ao mesmo tempo, definimos um estado positivo (+) e um sentido negativo (-). Para cada estado lógico assumido pela pista A e a pista B, no instante da transição positiva de um clock externo, associamos números que denominamos de etapas, ou seja, para o sentido que denominamos positivo, os estados lógicos analisados são: ab , $\bar{a}\bar{b}$, $\bar{a}b$ e $a\bar{b}$, aos quais associamos os respectivos números 10, 11, 12 e 13 (estados); de forma análoga, para o sentido negativo os estados lógicos $a\bar{b}$, $\bar{a}\bar{b}$, $\bar{a}b$ e ab , são associados aos respectivos números 20, 21, 22, 23 (estados). Para cada sentido analisado, percebe-se que as etapas se repetem, formando-se um ciclo (fig. 3.9).

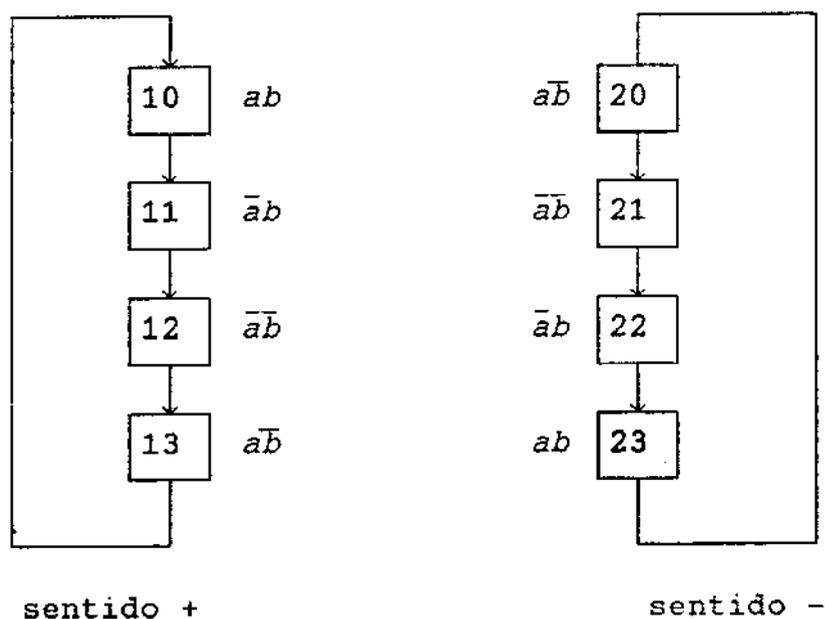


Figura 3.9 - descrição do problema

A figura 3.10 mostra a solução das etapas dentro de um ciclo, mas notamos que é possível mudança de sentido em qualquer fase atingida. Na figura citada anteriormente, mostramos todas essas possibilidades, utilizando a técnica do GRAFCET.

A descrição mostrada através do GRAFCET, pode ser representada por meio de funções lógicas no espaço $\Pi = (0,1)$. Uma forma usual de representarmos estas funções lógicas é através do mapa de Karnaugh. Esta representação é de grande utilidade, uma vez que é possível obter as expressões simplificadas por inspeção visual.

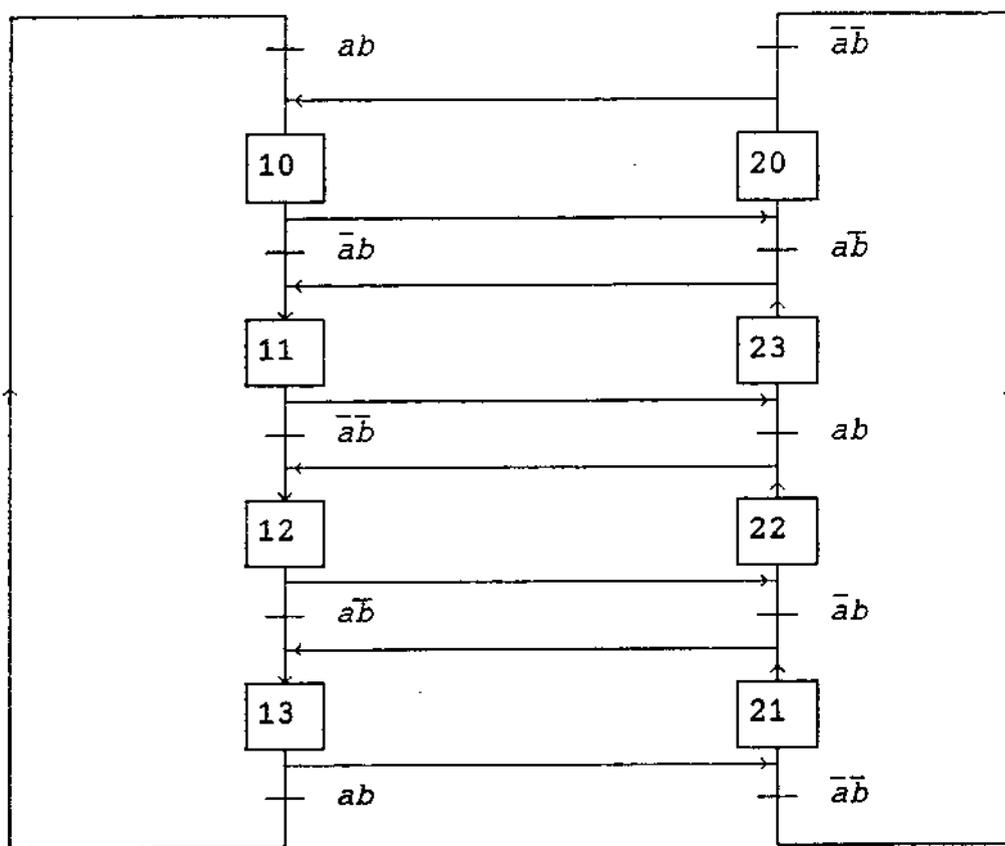


Figura 3.10 - Representação através do GRAFCET

Sabendo-se que no espaço Π_n , podemos definir 2^n funções lógicas (número total de etapas), o número de variáveis necessárias para o posicionamento do problema, em estudo será:

$$2^n = n^\circ \text{ de etapas} \quad (3.1)$$

$$n \geq \log(n^\circ \text{ de etapas}) \quad (3.2)$$

onde: n° de etapas = 8

$$n \geq 3$$

Desta forma tomamos as variáveis x e y para representar as variações de frequências de saída, e z para representar o sentido de rotação. Isto pode ser verificado através da representação do GRAFCET, na figura 3.11, à qual associamos um mapa de de Karnaugh, (figura 3.12) para obtermos uma expressão lógica reduzida.

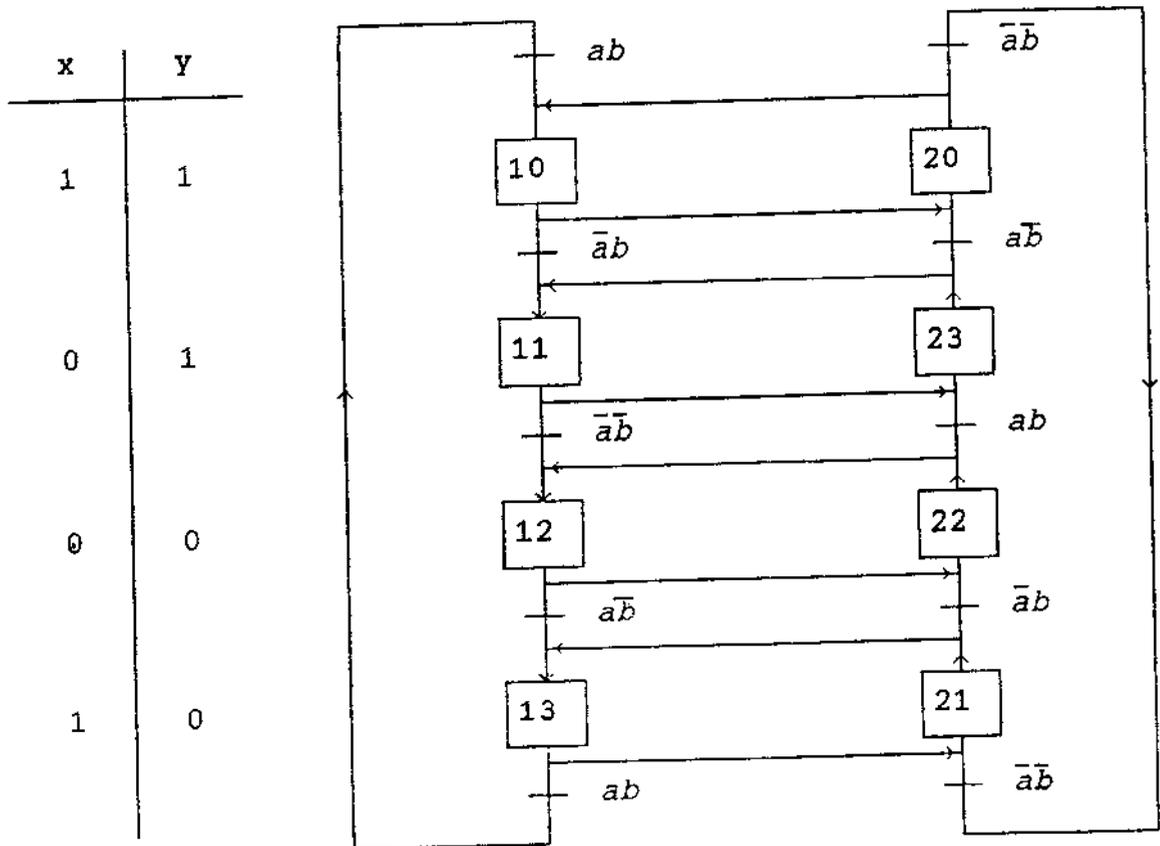


Figura 3.11 - GRAFCET e variáveis secundárias

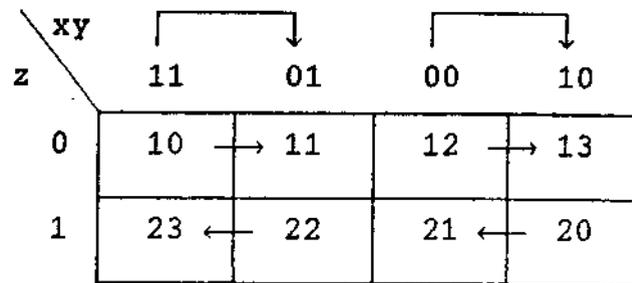


Figura 3.12 - Mapa de Karnaugh

O mapa de Karnaugh, representado na figura 3.12, apresenta apenas as transições do estado x. O mesmo desenvolvimento pode ser feito para o estado y.

Na análise dos estados lógicos das variáveis x e y observamos que elas podem evoluir do estado 0 (zero) para 1, que será designado x_1 , e de 1 para 0 (zero), designado por x_0 . Desta análise, através do mapa de Karnaugh, mostrado anteriormente, podemos chegar às expressões que regem tal comportamento.

Para a variável x, temos:

$$x_{0 \rightarrow 1} = x_1 = R_{12,13} + R_{22,23} = \bar{a}\bar{b}y\bar{z} + abyz \quad (3.3)$$

$$x_{1 \rightarrow 0} = x_0 = R_{10,11} + R_{20,21} = \bar{a}by\bar{z} + \bar{a}\bar{b}yz \quad (3.4)$$

Para a variável y, temos:

$$y_{0 \rightarrow 1} = y_1 = R_{13,10} + R_{21,22} = abx\bar{z} + \bar{a}\bar{b}xz \quad (3.5)$$

$$y_{1 \rightarrow 0} = y_0 = R_{11,12} + R_{23,22} = \bar{a}\bar{b}x\bar{z} + \bar{a}\bar{b}xz \quad (3.6)$$

Certamente, as equações 3.3 a 3.6, não são ainda as equações mínimas, para representar todo o problema, pois estas equações, poderão ser implementadas em software ou hardware. Portanto, utilizando-se a teoria do GRAFCET, será possível uma redução, a partir do momento em que certas condições forem verificadas.

Conforme foi descrito no item 3.1, (Redução de GRAFCET), sabemos que: as etapas agrupadas são substituídas por uma etapa única; as ligações e transições advindas de duas etapas de fusão, podem se suprimidas; as receptividades associadas as transições de entrada das etapas agrupadas, não são modificadas dentro do GRAFCET reduzido. A partir destas observações podemos, obter o GRAFCET reduzido. (fig. 3.13)

estados

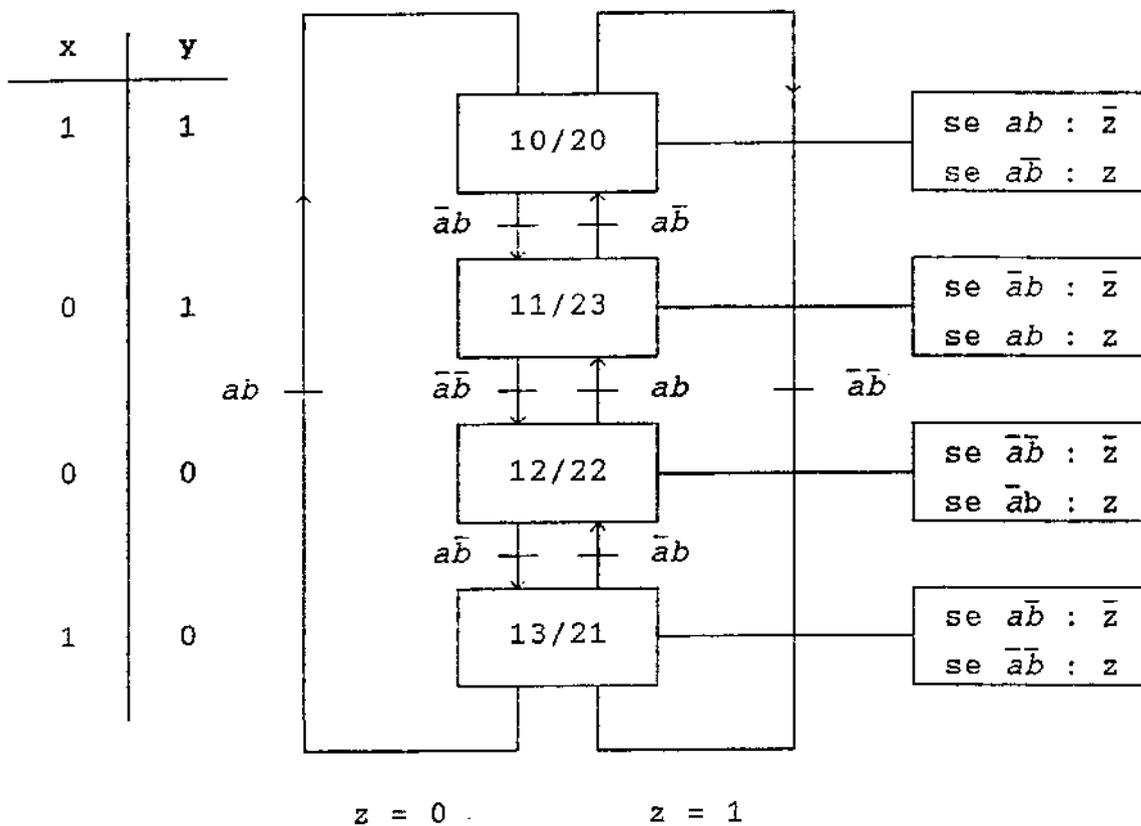


Figura 3.13 - GRAFCET reduzido

Do GRAFCET reduzido, é então possível obter-se as expressões lógicas, relacionando o sentido de rotação e a variação.

3.2.1 - Obtenção da frequência de saída

As equações lógicas, são obtidas analisando as evoluções das variáveis secundárias x e y.

Do GRAFCET da figura 3.13, obtemos para as variáveis secundárias x e y, as equações lógicas, através da representação do mapa de Karnaugh (figura 3.14):

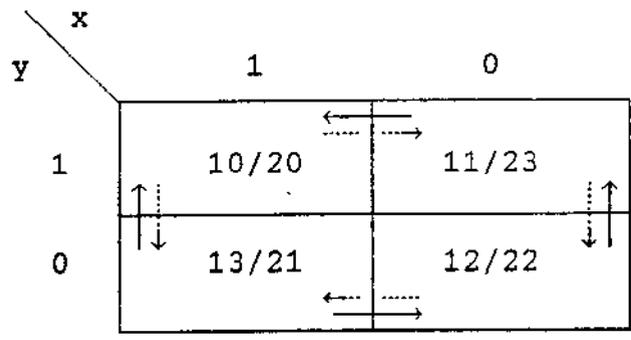


Figura 3.14 - Mapa de Karnaugh para as variáveis secundárias

$$x_{0 \rightarrow 1} = x_1 = R_{11/23, 10/20} + R_{12/22, 13/21} = ya\bar{b} + \bar{y}a\bar{b} = a\bar{b} \quad (3.7)$$

$$x_{1 \rightarrow 0} = x_0 = R_{10/20, 11/23} + R_{13/21, 12/22} = y\bar{a}b + \bar{y}\bar{a}b = \bar{a}b \quad (3.8)$$

$$y_{0 \rightarrow 1} = y_1 = R_{13/21, 10/20} + R_{12/22, 11/23} = xab + \bar{x}ab = ab \quad (3.9)$$

$$y_{1 \rightarrow 0} = y_0 = R_{10/20, 13/21} + R_{11/23, 12/22} = x\bar{a}\bar{b} + \bar{x}\bar{a}\bar{b} = \bar{a}\bar{b} \quad (3.10)$$

As equações 3.7 a 3.10, poderão ser implementados a partir de componentes lógicos, apresentados na figura 3.15.

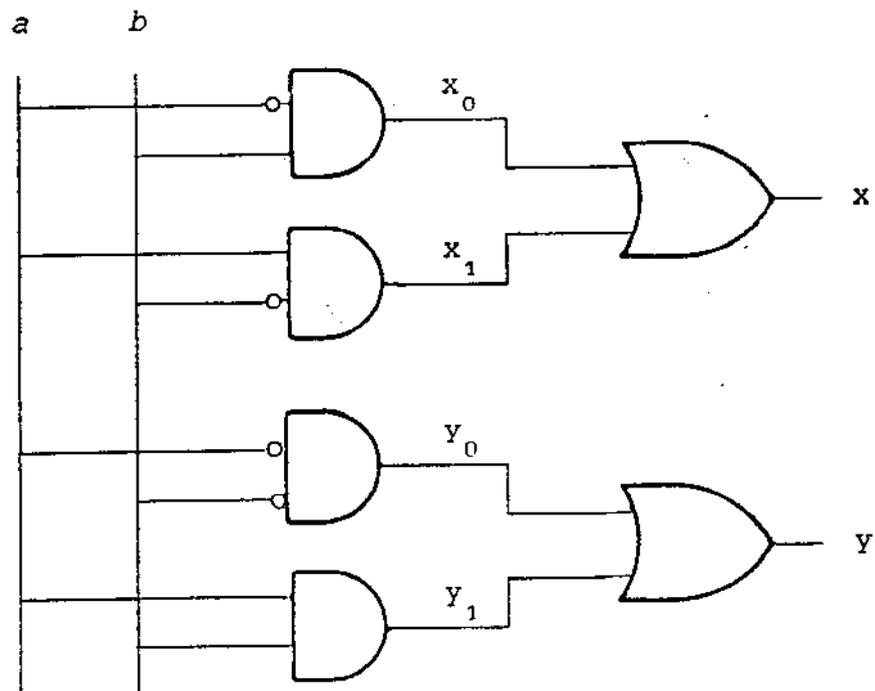


Figura 3.15 - Circuito da frequência de saída

3.3 - CONCLUSÕES

Neste capítulo, foi apresentada ferramentas para simplificação do GRAFCET, e foi dado um exemplo de redução de GRAFCET, e a partir desta, o seu equacionamento lógico.

No próximo capítulo, daremos exemplos de aplicação, desenvolvidos em nosso laboratório.

CAPÍTULO 4

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

Neste capítulo, serão mostrados os exemplos de aplicação, desenvolvidos a partir da teoria do GRAFCET. Para isto, foi preparado no laboratório, dispositivos experimentais que possibilitaram a validação desta teoria. Utilizamos um computador compatível com a linha IBM PC-AT, uma interface E/S (entrada/saída), que permite a comunicação do mesmo com outros dispositivos a partir de entradas e saídas de sinais lógicos.

O primeiro exemplo, será com a utilização do robô industrial, onde o mesmo, efetuará a montagem das peças, desde buscá-las no estoque, até a montagem final.

O segundo exemplo, será uma linha de montagem utilizando-se uma mesa giratória, para otimizar a montagem. Foi utilizada uma interface placa E/S, tal como descrito acima, e um programa em linguagem "C" para a simulação do exemplo.

4.1 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA EXPERIMENTAL

Os exemplos descritos neste capítulo, foram desenvolvidos em nosso laboratório de automação e robótica no Depto. de Projeto Mecânico da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP. Utilizamos uma interface de Entrada/Saída (E/S) de dados, ligada diretamente ao barramento de dados de um computador compatível com a linha IBM PC-AT, esta interface consiste de um registrador de controle e quatro registradores de dados de 8 bits, totalizando 32 bits.

A nossa bancada experimental conforme figura 4.1, possui chaves lógicas que permitem a simulação dos exemplos, e trocando informações de entrada e saída (sinais lógicos) com o sistema. Podemos visualizar estas respostas através dos leds instalados na bancada.

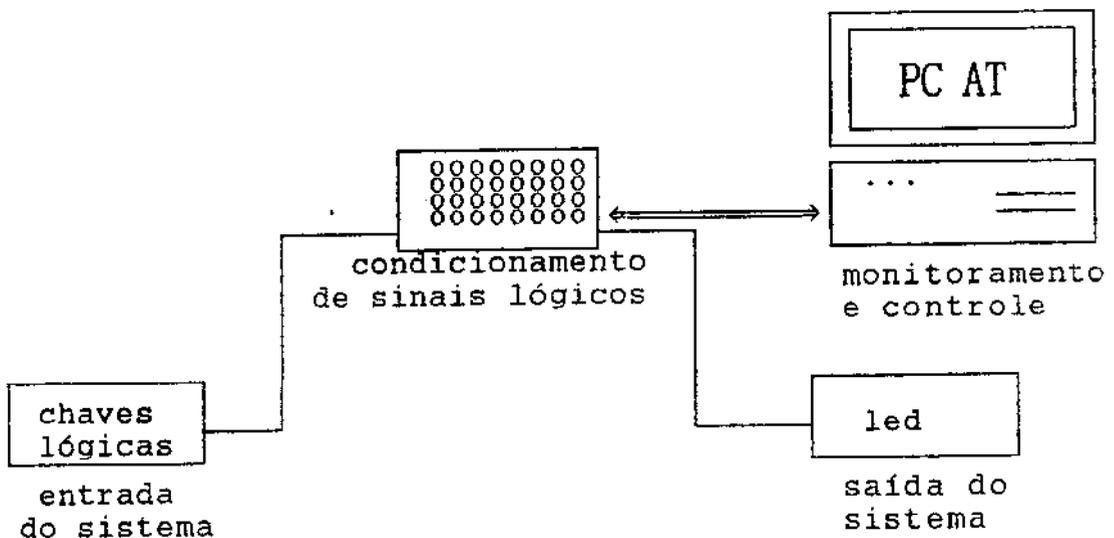


Figura 4.1 - bancada experimental

A metodologia para implementação dos exemplos foi a seguinte: descrição do problema partir do caderno de especificações; com base neste os GRAFCET's níveis 1 e 2; por meio deste último a implementação computacional.

4.2- ESTUDO E SIMULAÇÃO DE UMA CÉLULA FLEXÍVEL COM ROBÔ MANUTEC

MONTAGEM

1) OBJETIVO

Montagem de um conjunto de 4 peças ($n = 4$), num estrado, e posterior armazenamento, na área de conjuntos montados.

Utilizamos, para a realização do trabalho, um Robô Manutec, sendo este, o responsável pelo transporte das peças.

O programa foi feito na linguagem do Robô, sendo um programa inteligente, no qual, graças ao uso da lógica booleana e aos sensores utilizados, o Robô, [12],[13], pode detectar a presença de peças, e eventualmente, mudanças na rotina.

Este programa baseou-se nas técnicas do GRAFCET, conforme anexo.

2) CADERNO DE ESPECIFICAÇÕES

2.1) Verificar existência de estrado, na área de montagem.

2.2) Caso não exista estrado na área de montagem, o robô deverá buscá-lo na esteira de alimentação, em posição pré estabelecida de atuação do robô: e colocá-lo na área de montagem.

2.3) Critérios para montagem

2.3.1) As peças A e B deverão ser montadas na área de montagem, sendo que, não existe prioridade entre A e B.

A peça A deverá ser montada sobre a peça B ou vice-versa, sendo que este conjunto deverá ser montado sobre o estrado, que encontra-se na área de montagem.

Caso elas, não estejam disponíveis, o sistema enviará um alarme e esperará a chegada das mesmas, para que então, seja prosseguida a montagem.

2.3.2) As peças C e D, só poderão ser montadas quando as peças A e B, estiverem nos seus respectivos lugares.

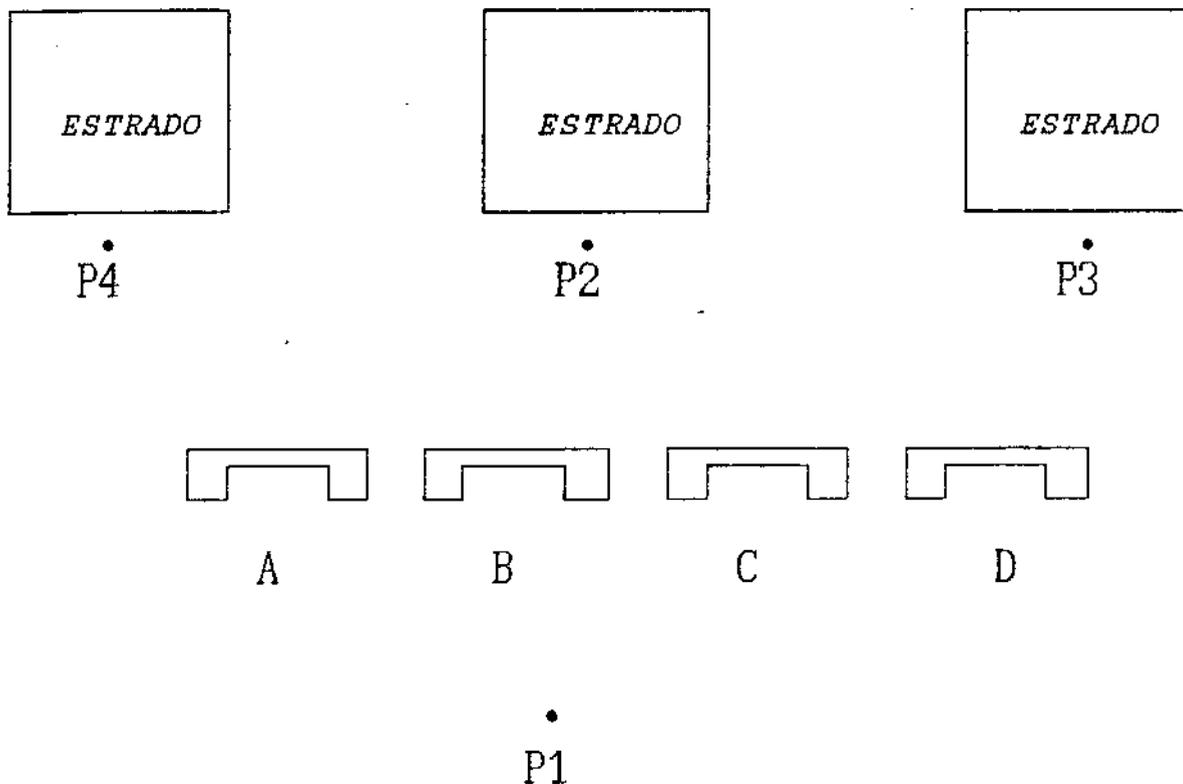
2.3.3) As peças C e D, deverão ser montadas na área de montagem, sendo que, não existe prioridade entre C e D.

A peça C deverá ser montada sobre a peça D ou vice-versa, sendo que este conjunto deverá ser montado sobre o conjunto AB, o qual está montado sobre o estrado na área de

montagem.

Caso elas, não estejam disponíveis, o sistema enviará um alarme, e esperará a chegada das mesmas, para que então, seja prosseguida a montagem.

2.4) Após montagem, o conjunto deverá ser levado para uma posição, pré determinada, de uma esteira, com destino final, ao estoque de conjuntos montados.



ONDE :

A, B, C, D Peças a serem montadas;

P1 Posição inicial do robô;

P2 Local onde realiza-se a montagem;

P3 Posição final, onde o estrado será colocado sobre uma esteira de alimentação, com destino ao estoque de peça;

P4 Depósito inial de estrados.

Figura 4.2 - Esquema da linha de montagem

GRAFSET NIVEL 1

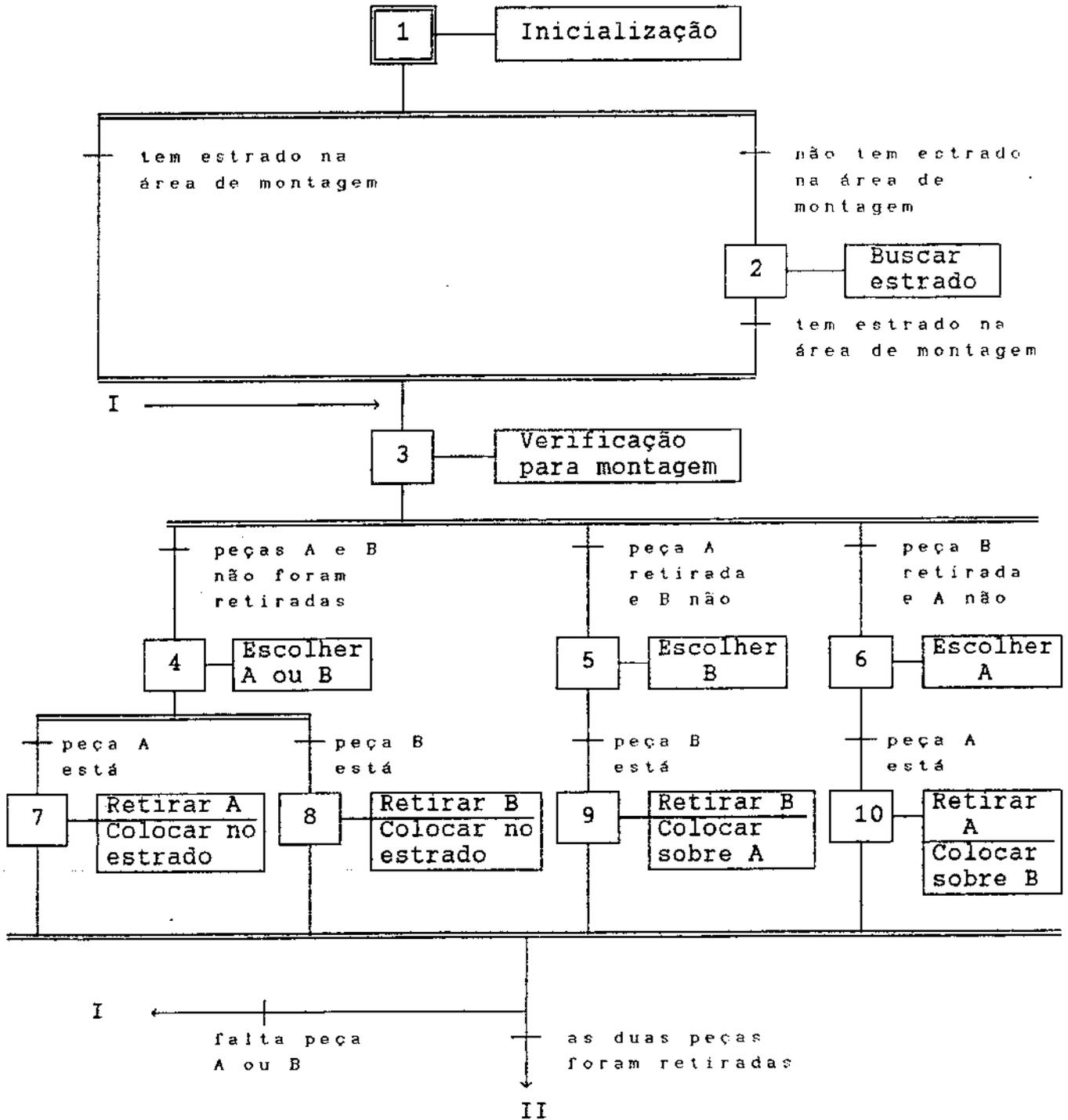


Figura 4.3 - GRAFCET nível 1

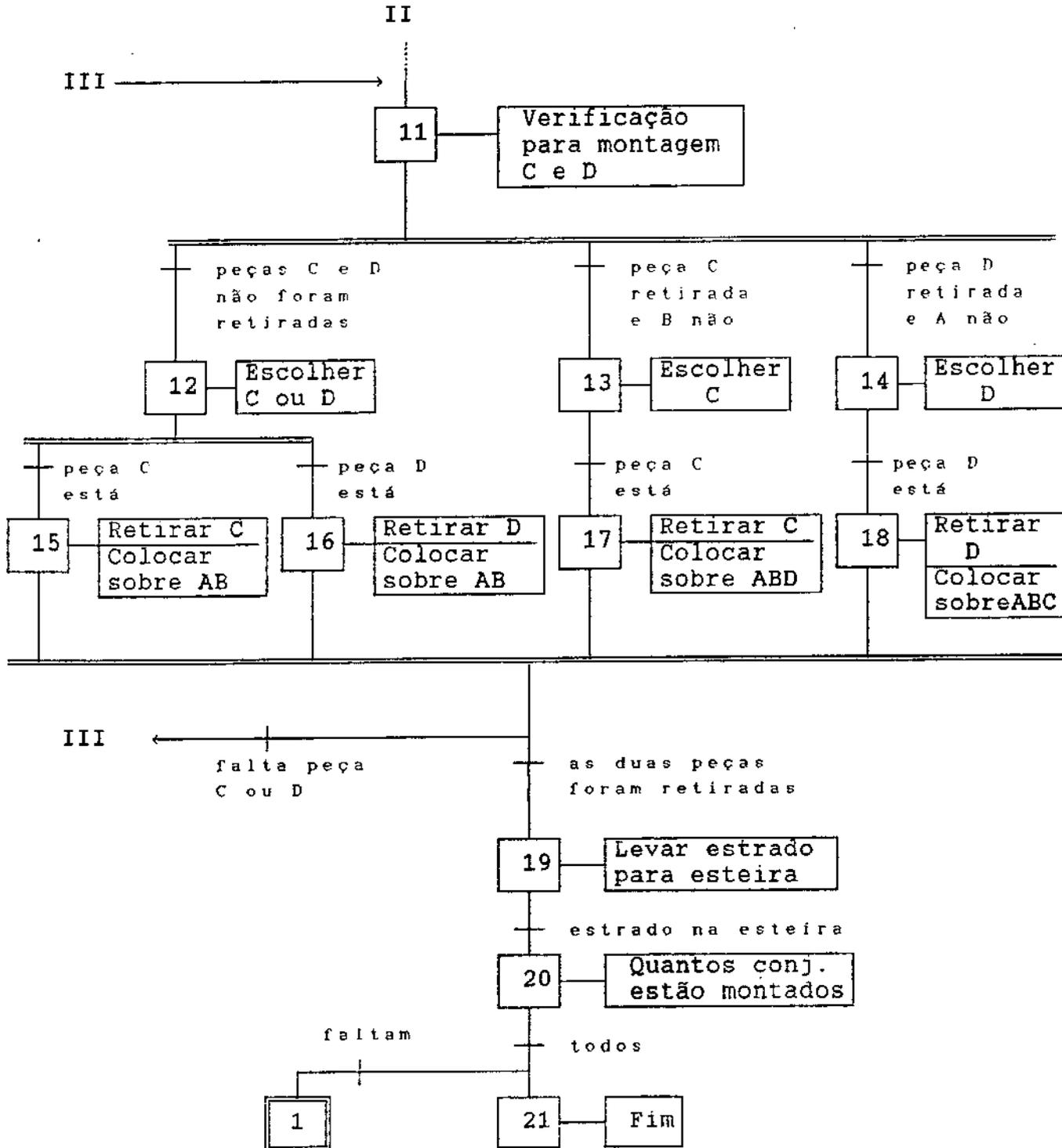


Figura 4.3 - GRAFCET nível 1

GRAF CET DE MONTAGEM - NÍVEL 2

A partir do GRAFCET nível 1, foi possível a descrição dos sensores necessários para implementação do GRAFCET nível 2; neste GRAFCET usamos alarmes sonoros, para sinalizarem eventuais paradas na linha de montagem. As definições dos sensores, e das siglas utilizadas são:

DEFINIÇÕES :

- SRT R1 ... SRT RN : SINAL PARA O ROBÔ REALIZAR AS SUBROTINAS DE 1 ATÉ N RESPECTIVAMENTE
- SN : SINAL DO ROBÔ PARA PC INDICANDO FIM DA SUBROTINA
- n : CONTADOR DE CONJUNTOS MONTADOS
- m : N^o TOTAL DE CONJUNTOS A SEREM MONTADOS
- ENA, ENB, ENC, END : SINAIS QUE INDICAM SE AS PEÇAS JÁ FORAM RETIRADAS DOS SEUS RESPECTIVOS LUGARES
- SA, SB, SC, SD, SD : SENSORES QUE INDICAM A EXISTÊNCIA DAS PEÇAS A, B,C,D NOS SEUS RESPECTIVOS LUGARES.
- S2, S4 : SENSORES QUE INDICAM A EXISTÊNCIA DO ESTRADO NAS POSIÇÕES 2 E 4.

GRAFSET NÍVEL 2

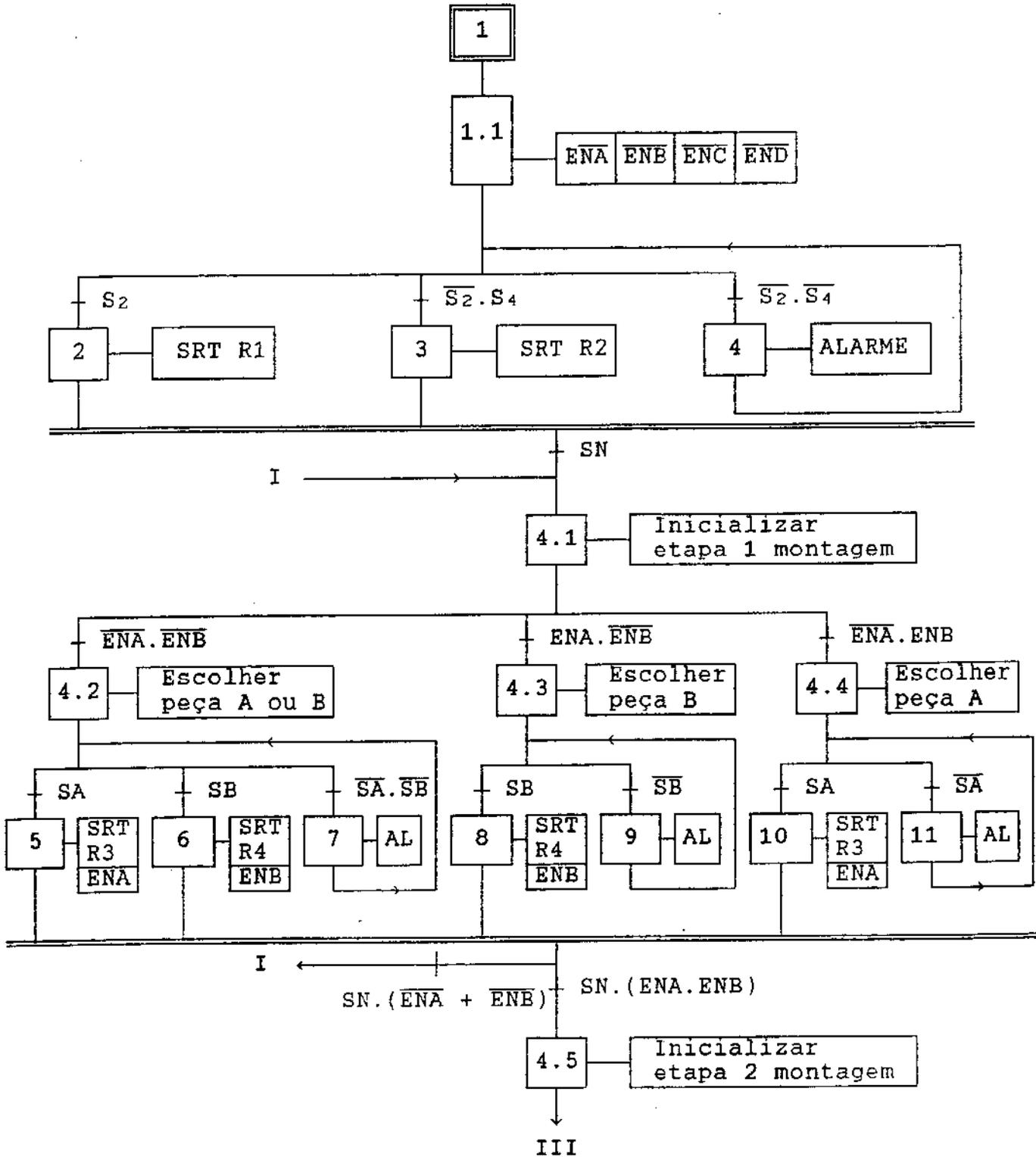


Figura 4.4 - GRAFCET nível 2

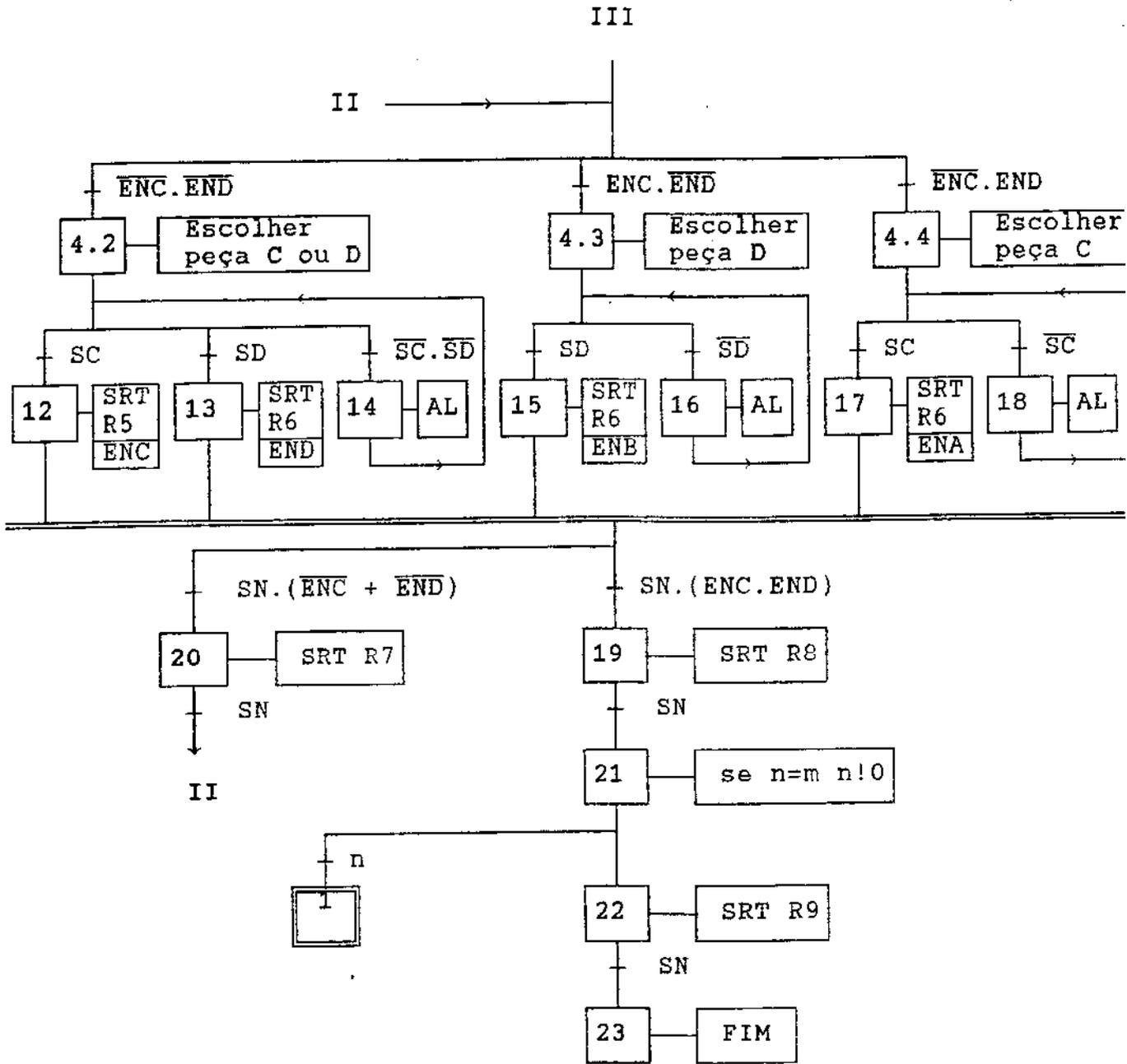


Figura 4.4 - GRAFCET nível 2

4.3 - ROBÔ E MESA GIRATORIA

Este trabalho, foi realizado em uma fábrica de brinquedos, que tinha um problema de otimização da montagem.

Inicialmente, foi comprado um robô, para realizar a montagem das peças, porém, se por algum problema de produção faltasse alguma das peças, a linha de montagem parava completamente.

Este problema foi solucionado após a compra de uma mesa giratória.

DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA MESA GIRATORIA

- A) As peças serão montadas normalmente, ainda que ocorram, problemas de produção.
- B) Se por acaso, faltar alguma das peças, será então realizada uma pesquisa, para a escolha da melhor posição da mesa.
- C) Entende-se, por melhor posição, aquela que com o depósito da peça, estará mais próxima da montagem final.
- D) Uma vez que, as posições serão guardadas na memória do computador, para cada pesquisa, ele procurará a melhor posição, incluindo as anteriores.

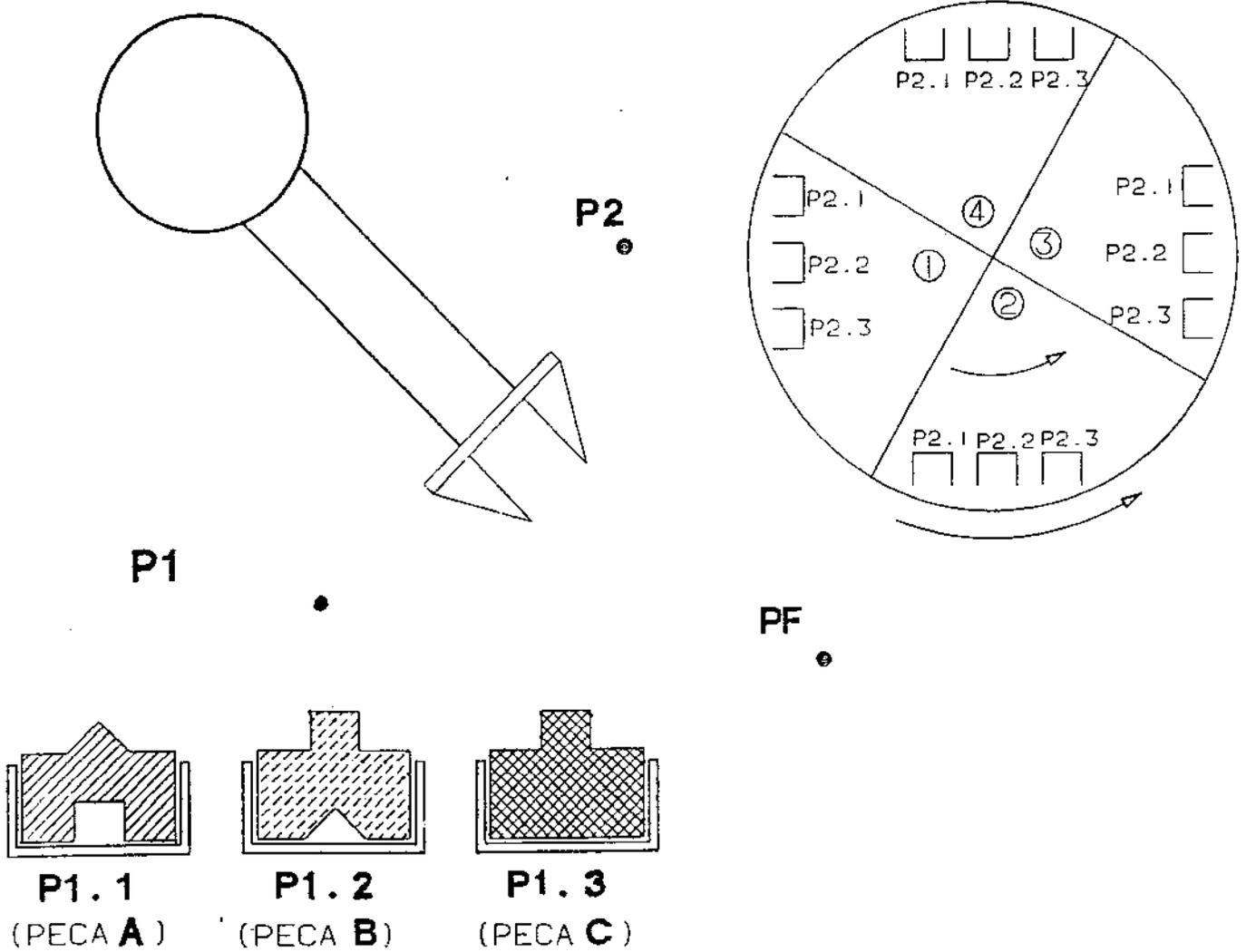


figura 4.5 - Descrição da linha de montagem

CADERNO DE ESPECIFICAÇÕES

- 1 - São três peças a transportar;
- 2 - Verificar, inicialmente, qual é a melhor posição de montagem na mesa. Isto é, qual a posição da mesa, a possibilidade de montagem de uma peça completa, é maior;
- 3 - Guardar esta posição na memória;
- 4 - Se a posição atual, for a melhor, não gire a mesa; caso contrário, procure a posição ideal.
- 5 - Desde que a peça esteja em P11, ou (e) P12, ou (e) P13; e não tenha sido retirada nenhuma vez; dar prioridade sempre a: $P11 > P12 > P13$;
- 6 - Depositar em P21 a peça " A " retirada de P11;
- 7 - Depositar em P22 a peça " B " retirada de P12;
- 8 - Depositar em P23 a peça " C " retirada de P13;
- 9 - Se por algum problema de produção, faltar alguma peça, fazer novamente a análise da melhor posição da mesa, guardando o valor atual, na memória, e reinicializar o ciclo.

Se não ocorrerem problemas, então prosseguir a montagem;

10 - Quando as três peças (A, B e C) já estiverem depositadas:

- a) Retirar a peça de P21 e colocá-la sobre a peça em P23;
- b) Retirar a peça de P22 e colocá-la sobre as peças em P23;
- c) Retirar a peça montada de P23, e colocá-la em PF (depósito de peças acabadas);
- d) Prever uma intervenção externa do operador (entrada externa), para recomeçar a escolher as peças.

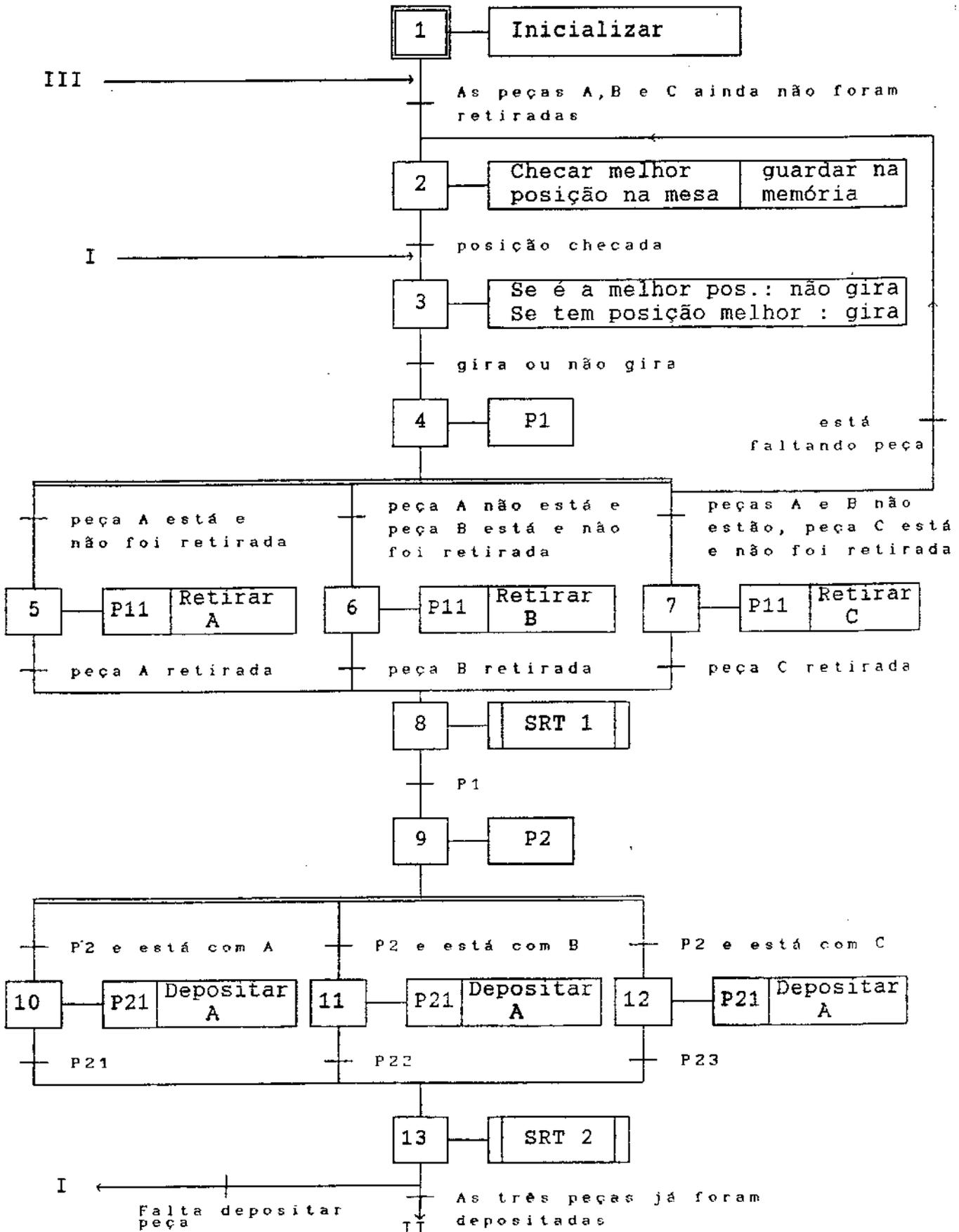


Figura 4.6 - GRAFCET nível 1

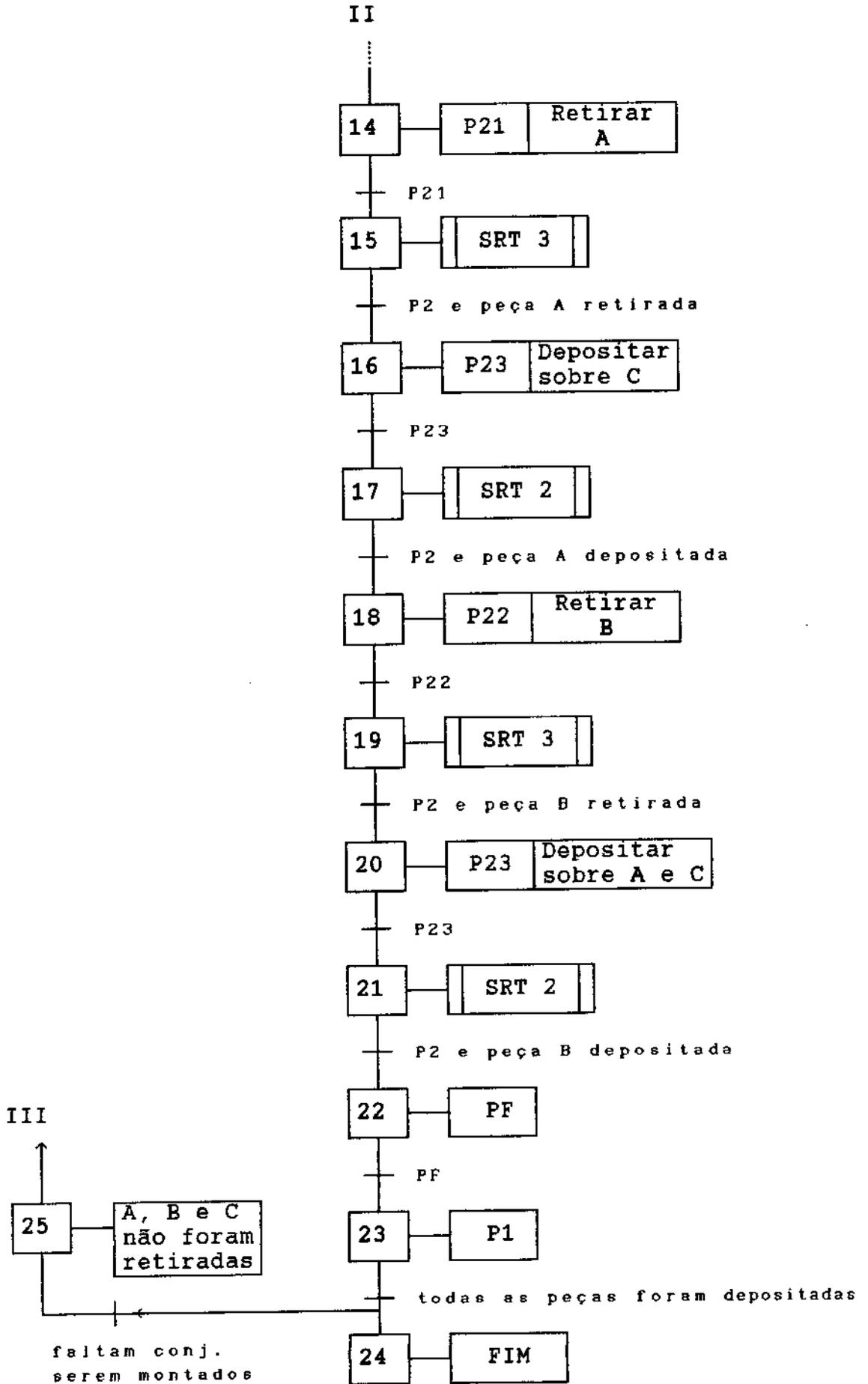
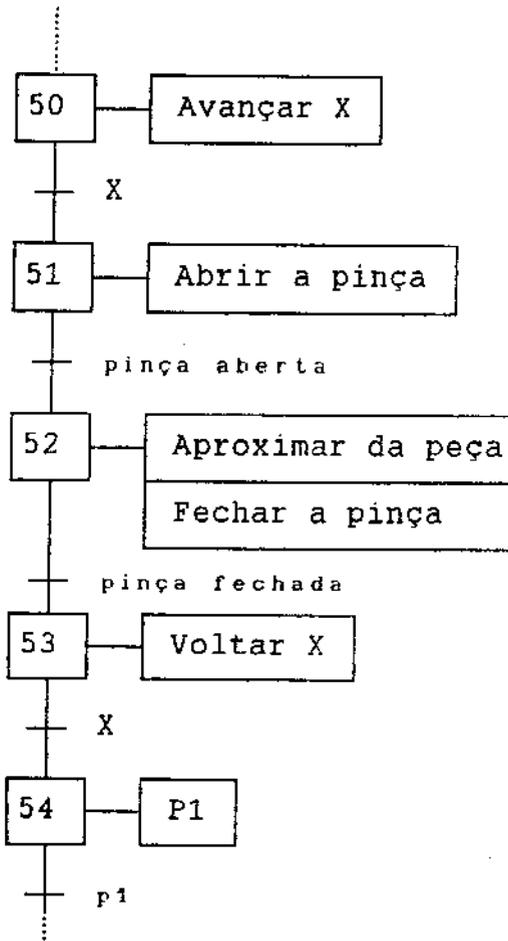


Figura 4.6 - GRAFCET nível 1

SRT 1



SRT 2

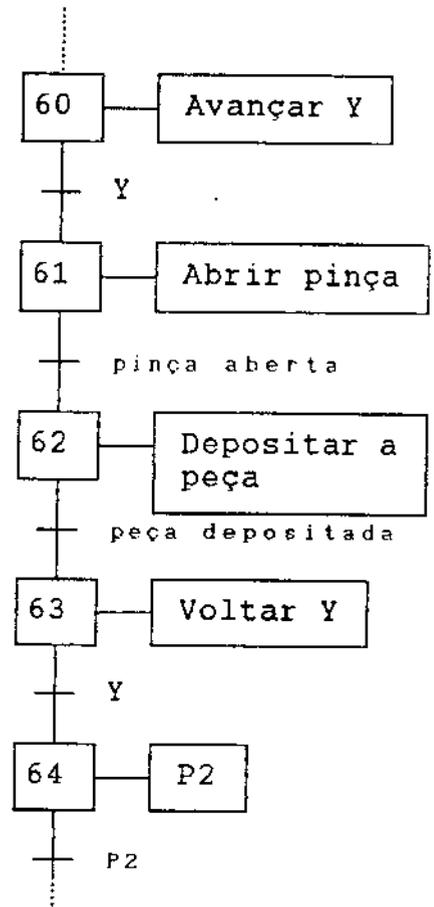


Figura 4.7 - subrotinas

SRT 3

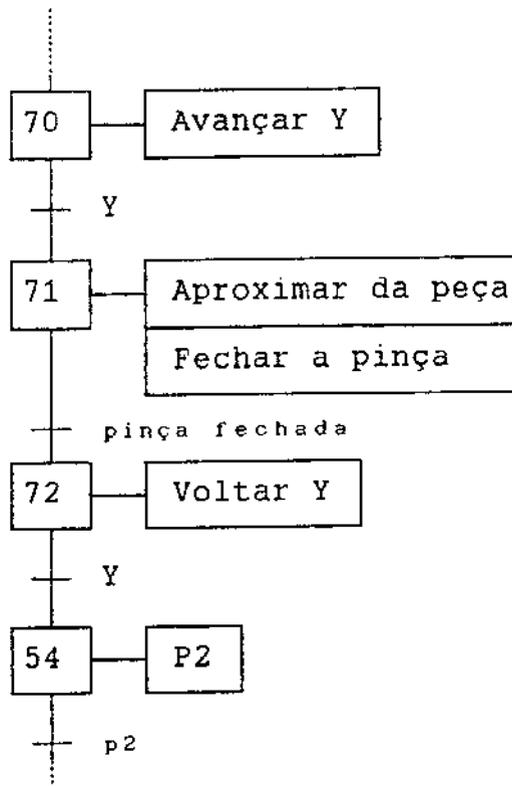


Figura 4.8 - subrotina

GRAFSET nível 2 - Definições

SA, SB, SC : SENSORES QUE INDICAM SE AS PEÇAS A, B e C ESTÃO EM P11, P12 e P13.

RA, RB, RC : AS PEÇAS A, B, e C JÁ FORAM RETIRADAS DE P11, P12, P13.

dA, dB, dC : SENSORES QUE INDICAM SE AS PEÇAS A, B e C FORAM DEPOSITADAS EM P11, P12, P13.

rA, rB : AS PEÇAS A e B FORAM RETIRADAS DE P21 E P22.

DA, DB : AS PEÇAS A e B FORAM DEPOSITADAS EM P23.

GRAFSET NÍVEL 2

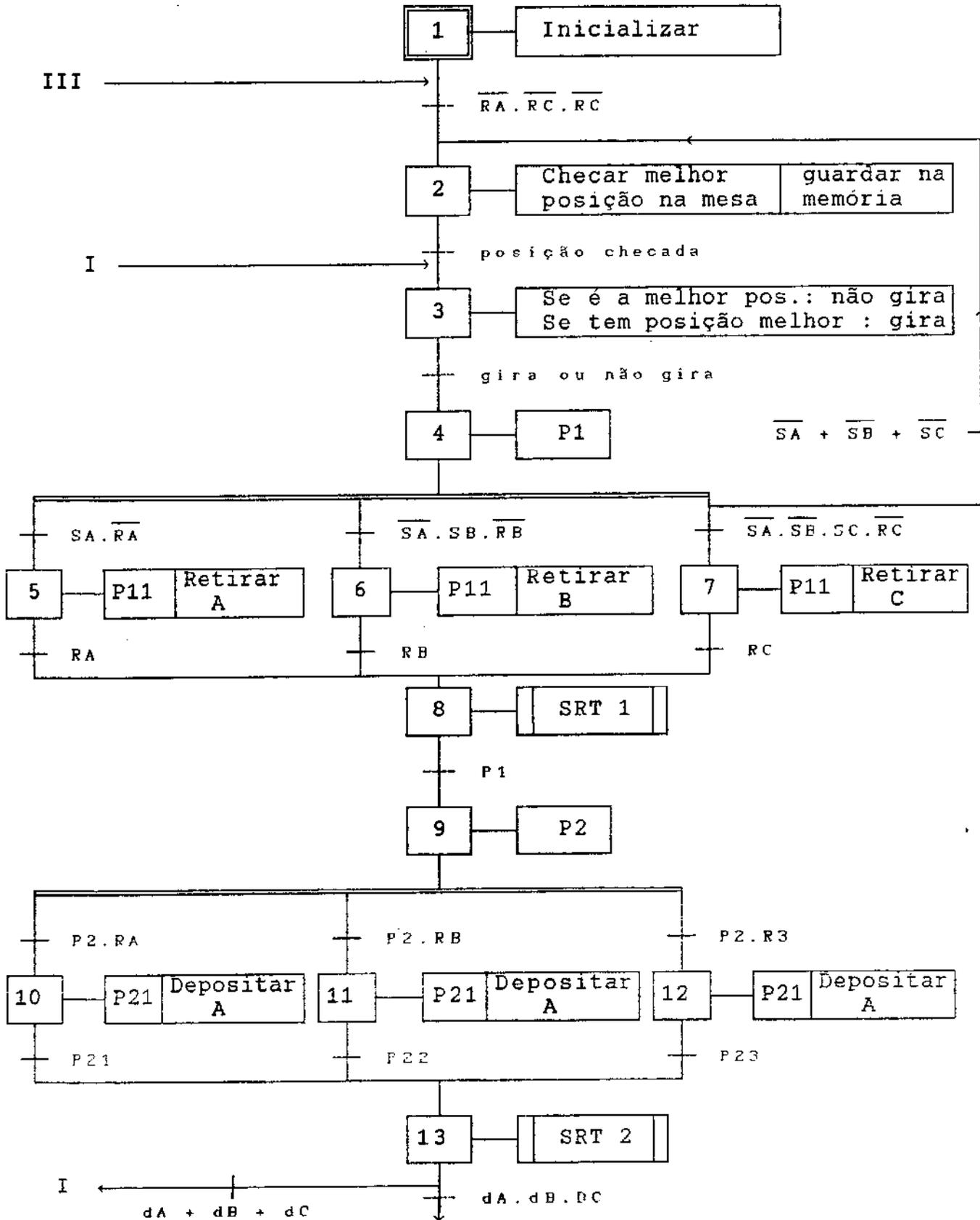


Figura 4.9 - GRAFCET nível 2

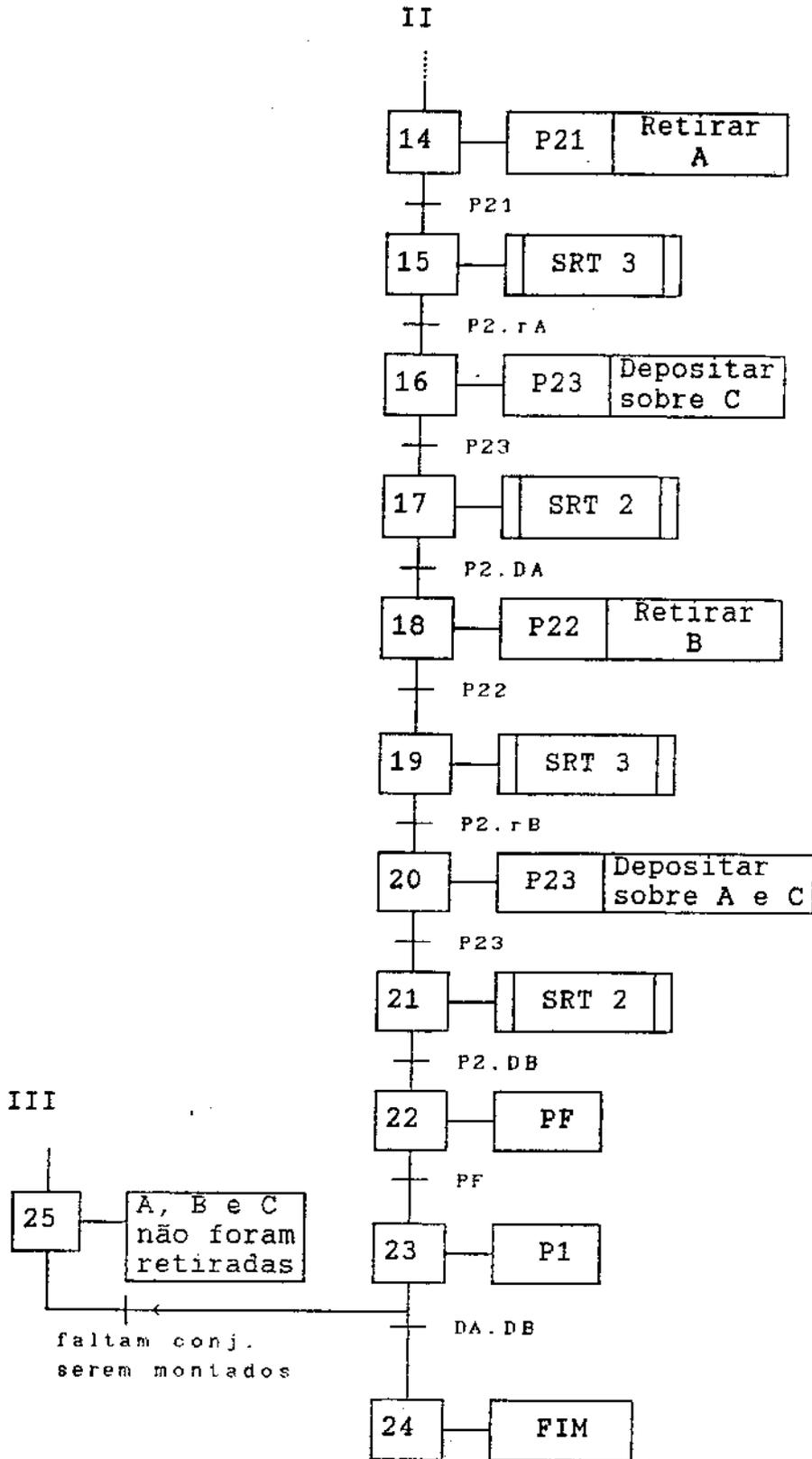


Figura 4.9 - GRAFCET nível 2

4.4 - CONCLUSÕES

Neste capítulo demonstramos como a partir de exemplos práticos e reais, utilizamos a normalização GRAFCET.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

A representação funcional do GRAFCET, estritamente ligada às evoluções da máquina ou dos processos, é particularmente simples e de fácil compreensão, constituindo, ao mesmo tempo, uma "ferramenta" de descrição simples e de fácil utilização. O GRAFCET é extremamente poderoso, para abordar a análise de sistemas complexos.

A representação de um problema de automação pelo GRAFCET tem as seguintes vantagens:

- Uma clara compreensão entre técnicos de diferentes formações pela utilização de uma "linguagem descritiva", independente das dificuldades tecnológicas, e isto tanto ao nível da concepção, quanto na utilização, ou da modificação do automatismo.

- Uma *análise aprofundada* dos diferentes comportamentos do automatismo, considerando-se todas as eventualidades, incluídas de maneira explícita ou implícita no caderno de especificações, e principalmente a segurança, etc..
- Uma *grande flexibilidade para as modificações de funcionamento*, sem colocar em questão, o conjunto do automatismo de comando realizado, ou seja, é feito somente uma alteração local.
- Um *auxílio eficaz e racional, na manutenção*, para localização imediata, das anomalias de funcionamento.

Mas, é evidente que a atenção levada, a realização material, represente uma grande importância e que a fim de conservar as vantagens de simplificação, obtidas pela utilização do GRAFCET, a tecnologia utilizada, deve corresponder a uma "transição" mais objetiva, permitindo assim, as visualizações necessárias a uma compreensão clara e rápida, do estado do sistema.

Do ponto de vista econômico, o balanço global do preço real do automatismo, pode ser dividido em quatro partes.

- A um estudo completo abrangendo a concepção, desenhos e processos de fabricação;
- Os elementos materiais que constituem sua programação por software ou por hardware eletrônico.
- Os testes e as eventuais modificações.
- A utilização, a manutenção e reparos.

A qualquer destas partes o GRAFCET, pode ocasionar uma economia apreciável:

- *A diminuição dos tempos de estudos*, por uma maior facilidade de compreensão, devido ao rigor descritivo. Como na maioria dos casos, os automatismos industriais são frequentemente realizados, individualmente os estudos de retorno de investimento.
- *A simplificação dos hardware eletrônicos* reduz ao mínimo possível, a utilização de elementos modulares, diminuindo os riscos de erros.
- *Os testes simplificados*, por uma análise e simulação de todos os comportamentos do automatismo e das modificações do funcionamento.
- *A rapidez de um eventual reparo*, de qualquer etapa definindo claramente, as ordens dadas e os fatos aos quais, o automatismo é receptivo.

Por todas estas qualidades, o GRAFCET responde particularmente bem, às necessidades da indústria, no domínio do automatismo sequencial.

Pretendemos que a partir deste trabalho, seja dado uma continuidade neste estudo, no sentido da implementação do GRAFCET em controladores lógicos programáveis.

B I B L I O G R A F I A

- [1] BLANCHARD, B. ; *Le GRAFCET - comprendre maitriser et apliquer*, Automatisation AP Production, Cepadues éditions, France, 1979.
- [2] BOUTEILLE, D. et autres ; *Les Automatismes Programables*, Cepadue Editions , France,1989.
- [3] BOSSY, J.C. et autres ; *Le GRAFCET - sa pratique et ses aplications*, Educalivre, France, 1979.
- [4] FRACHET, J.P. ; *Introduction au GRAFCET*, ISMCM , France, 1989.
- [5] FRACHET, J.P. ; *Introduction aux Reseux de Petri*, ISMCM, France, 1986.
- [6] FRACHET, J.P. ; *Automatisation des Equipments de Production*, ISMCM, France,1986.
- [7] BERTRAND, P. et autres ; *Les automatismes électropneumatiques e pneumatiques*, Edition de L'Usine Nouvelle, France, 1985.

- [8] TACONET, B. et CHOLLOT, B. ; *Programation du GRAFCET sur automate à langage logique, à relais ou booléen*; Le Nouvel AUTOMATISME, France, janvier-février 1979.
- [9] BLANCHARD, M. ; *Automatismes logiques : GRAFCET ou reseau de Petri ?*, Le Nouvel AUTOMATISME, France, mai 1979.
- [10] ROSARIO, J.M ; *Etude de Faisabilité d'une Commande de Type Non-Linear pour un Robot Manipulateurs*, PHD Thesis, Ecole Centrale des Arts et Manufactures, Paris, France, 1990.
- [11] SOUZA, J.P; *Procedimento Automático para Aquisição e Tratamento do Movimento de um Robô*, Tese de Mestrado, UNICAMP, Campinas, 1992.
- [12] CRAIG, J.J. ; *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*, Addison-Wesley Publishing Company, EUA, 1989.
- [13] PAUL, R.P. ; *Robot Manipulator; Mathematics, Programing and Control*, MIT Press., Cambridge, Mass.
- [14] KISSEL, T.E. ; *Understanding and using programable controllers*, Prentice-Hall International Editions, EUA, 1986.
- [15] Plonski, G. A. ; *A ENGEMATICA um novo conceito em automação*, Anais do simpósio CAE/CAD/CAM. São Paulo, SOBRACOM, 1988.

- [16] Malucelli, V. V. e outros ; *Ambiente de suporte a sistemas de controle e processos industriais (ASPIN)*, 1992.
- [17] Cantú, E. e outros ; *Implementação de especificações de sistemas descritos por rede de petri a objetos*, 8^o CBA, Belem-Pa, 1991.