

PROJETO DE ALIMENTADOR PNEUMÁTICO PARA AUTOMAÇÃO DE PROCESSO DE ALIMENTAÇÃO DE CHAPAS EM PRENSAS CNC

Vitor F. Romano

*Laboratório de Robótica, Depto. de Eng. Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro
P.O. Box 68503, 21945-970 Rio de Janeiro, RJ, Brasil*

E-mail: *romano@serv.com.ufrj.br*

Paulo R. A. Guimarães

*Depto. de Mecânica, Colégio Técnico Universitário, Universidade Federal de Juiz de Fora
R. Bernardo Mascarenhas, 1283, Juiz de Fora, MG, Brasil*

E-mail: *prag@ctu.ufjf.br*

Resumo— Este trabalho apresenta um projeto conceitual de um alimentador automático de chapas para prensas de estamparia. A tecnologia de comando baseia-se essencialmente na lógica binária associada à álgebra de Boole. A tecnologia operativa adotada é a pneumática, por poder caracterizar-se também como um sistema binário. Este trabalho propõe ainda, uma metodologia a ser empregada na etapa de desenvolvimento de projetos de sistemas binários, baseada na elaboração de um diagrama de função seqüencial denominado GRAFCET.

Abstract— This work presents a conceptual design of an automatic feeder of blanks for stamping presses. The command technology is based mainly on binary logic associated to Boolean algebra. The feeder components operates with pneumatic technology, which can be characterized as a binary system. This work also proposes a methodology to be used for the design development of binary systems, based on a sequential functions diagram, noted as GRAFCET.

Keywords— Automation; feeder; GRAFCET; Diagram of sequential functions; Pneutronic.

1 Introdução

Nos últimos anos, com o aumento das exigências dos padrões de qualidade, bem como com a implantação de programas de fornecimento *just-in-time*, as indústrias do setor de estampagem em metais tiveram que investir em novos equipamentos ou até mesmo partir para o *retrofitting*, além de elevar o nível de automatização de suas plantas fabris. Neste processo de modernização, surgiu um campo para a efetivação de parcerias entre a universidade e a indústria, para o desenvolvimento de projetos de automação para o setor.

Constatou-se, durante contatos com o setor produtivo, a necessidade de se desenvolver um alimentador automático de chapas para prensas de estampagem de metais, compatível com os modelos controlados por CNC. Uma vez que a indústria nacional não dispunha de projeto semelhante, que apresentasse confiabilidade e custo acessível para produção e comercialização.

Atualmente, o mercado dispõe de vários alimentadores automáticos para estampagem de pequenas peças metálicas de alta produção. Normalmente estas peças são estampadas a partir de fitas metálicas produzidas sob medida pelas usinas produtoras de aço, ou até mesmo pelas grandes distribuidoras. Os alimentadores mais utilizados em estamparia são os alimentadores pneumáticos de avanço compassado. Porém, os alimentadores pneumáticos comercialmente encontrados não possuem capacidade de alimentação de fitas superiores a 200 mm de largura, inviabilizando o trabalho para peças de dimensões superiores a essa.

Em se tratando de peças maiores, as prensas nacionais normalmente são desenvolvidas para que a alimentação seja feita manualmente. O processo manual de posicionamento de chapas envolve uma série de questões que devem ser avaliadas, que vão desde a qualidade e produtividade que normalmente não são atingidas, passando pela análise da segurança da operação.

Estes problemas que envolvem a operação manual, associados ao domínio das tecnologias de automação industrial, tais como

a de robótica e sistemas integrados de manufatura fazem com que as vantagens advindas do uso de técnicas de automação industrial sejam incontestáveis. Assim, este trabalho propõe um projeto de um alimentador automático para prensas utilizando ferramentas que facilitem e otimizem a elaboração do mesmo, permitindo ainda, a fácil integração entre as tecnologias aplicadas.

2 Cenário de Aplicação

Ao se propor um projeto de automação de um equipamento ou de um processo é preciso primeiro conhecer o cenário de aplicação do mesmo, para que a solução tecnológica a ser apresentada satisfaça plenamente os interesses da automação.

O processo de estampagem de metais ocorre a partir de chapas-padrão que podem ser adquiridas no mercado. Essas chapas-padrão são então cortadas em pequenas chapas nas medidas que envolvam as dimensões planificadas das peças a serem produzidas e são denominadas *blank*.

Pelo que se apresenta, verificou-se que na maioria das indústrias metal-mecânicas brasileiras que produzem estampados em chaparia, quando se trata de peças em que o *blank* possua a menor de suas dimensões superiores a 200 mm, a alimentação se dá manualmente. Os *blankes* são cortados em guilhotinas ou tesouras mecânicas, e empilhados em lotes predeterminados e enviados para o setor de estamparia.

Ao observar-se o processo de estampagem de metais com alimentação manual, verifica-se que o sistema caracteriza-se como um sistema binário, ou seja, a cada etapa do processo, um elemento só pode assumir duas condições mutuamente exclusivas. Por exemplo, a prensa só deve ser acionada se a chapa estiver na posição correta ou não. Desta forma, classifica-se as condições de funcionamento como **binárias**. Então, pode-se dizer que o funcionamento do sistema segue a *lógica binária*.

3 Projeto Integrado

À medida que se conhece o problema a ser solucionado por uma automação, bem como as condições necessárias para seu funcionamento, inicia-se a concepção do projeto. A partir da concepção inicial do equipamento automático, define-se as tecnologias operativas e de comando do mesmo, além de elaborar-se um esquema de instalação e a descrição de seu funcionamento.

3.1 Tecnologia de Comando

Para definir-se qual tecnologia de comando empregar é preciso primeiro conhecer todas as etapas de funcionamento, assim como a complexidade do sistema. Por tratar-se de projetos que seguem a lógica binária, é possível elaborar-se todo o projeto lógico sem ocupar-se da tecnologia de comando a ser utilizada.

3.2 Tecnologia Operativa

Para automação de sistemas mecânicos, emprega-se principalmente atuadores hidráulicos ou pneumáticos. Assim como os microprocessadores e os computadores trabalham com sinais digitais obtidos através de combinações de sinais binários, os sistemas hidráulicos e pneumáticos também atuam como comandos binários, uma vez que as grandezas envolvidas adquirem somente dois valores significativos, como por exemplo: O cilindro está **avançado** ou **recuado**; a válvula está **aberta** ou **fechada**; um determinado ponto está **pressurizado** ou **despressurizado**. Em sistemas hidráulicos e pneumáticos, as pressões podem atingir infinitos valores dentro de suas faixas de trabalho, no entanto, no que concerne aos sinais no sistema, só interessa saber se há pressão ou não. Considera-se a existência ou não de pressão quando ela ultrapassa ou cai a valores predeterminados. No caso de sistemas pneumáticos, o sinal de pressão é considerado **valor lógico 1 (sim)** quando assume valores de 3 a 8 bar e **valor lógico 0 (não)**, quando está na faixa de 0 a 0,8 bar, como mostra Bollmann (1995).

Em função das características que se apresentam para o alimentador automático, optou-se pela utilização de um acionamento pneumático, uma vez que esses atuadores apresentam características favoráveis a esta aplicação: altas velocidades, facilidade de controle de pressão e velocidade, custo relativamente baixo se comparado a outros tipos de atuadores e facilidade de obtenção de fontes de ar comprimido nos ambientes onde deverão funcionar. Além disto, a utilização da álgebra *booleana* associada à lógica binária proporciona a utilização de uma linguagem e metodologia unificadas para representação e projeto de comandos binários propiciando a integração dos comandos pneumáticos e eletropneumáticos a estruturas mais complexas de automação industrial. Como as cargas a serem transportadas pelo alimentador são baixas, a limitação de força para os sistemas pneumáticos não será problema para tal aplicação.

3.3 Esquema de Instalação

Definida a pneumática como a tecnologia operativa a ser empregada, parte-se para a elaboração da concepção construtiva do equipamento. Para isto, elabora-se um *esquema de instalação* do mesmo. Este esquema deve ser executado levando-se em consideração a seqüência de operações e as características e cursos a serem executados, de modo que a análise do funcionamento seja facilitada para o projetista.

Nesta fase ainda não se deve ocupar com o dimensionamento estrutural e sim com as características funcionais.

A Fig. 1 apresenta o esquema de instalação do alimentador pneumático de chapas, onde a manipulação das mesmas se dá pela sujeição à vácuo.

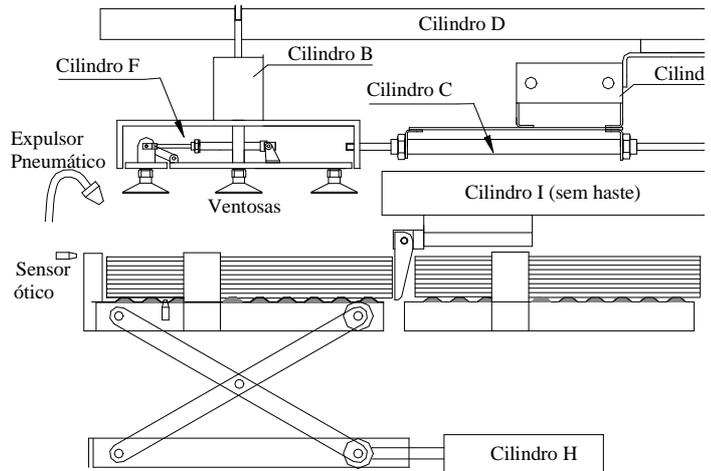


Figura 1. Esquema de Instalação de um Alimentador Pneumático de Chapas.

3.4 Descrição do Funcionamento

Baseados no esquema de instalação, elabora-se a descrição do funcionamento do mecanismo. A descrição deve ser sucinta e objetiva.

O alimentador automático da Fig.1 deve ter seu ciclo completado numa seqüência predeterminada, como mostrado por Guimarães (1999).

3.5 Esquema de Montagem dos Atuadores

Baseado nas informações subtraídas do esquema de instalação e da descrição de funcionamento, elabora-se um esquema de montagem dos atuadores, associando a cada um os elementos de sinais responsáveis pela monitoração dos estados dos atuadores. A Fig. 2 mostra o esquema do circuito pneumático do alimentador.

3.6 Representação Gráfica do Comando Seqüencial

A representação gráfica de um comando seqüencial tem por finalidade representar de uma forma sistemática a descrição do funcionamento do equipamento. Para sistemas pneumáticos, a representação gráfica é normalmente por diagramas trajeto-passo. Porém, quando introduz-se uma série de condições para o funcionamento, como temporizações, saltos e etapas simultâneas, este diagrama apresenta algumas limitações, tornando-se confuso e de difícil entendimento. Neste caso a melhor solução é a confecção do diagrama funcional ou *GRAF CET*.

3.6.1 Diagrama de função seqüencial – GRAFCET

Na maioria dos casos, os projetos lógicos pneumáticos são executados de forma intuitiva, empiricamente, apoiado basicamente em combinações lógicas padrões, onde o sucesso vai depender da experiência do projetista. Ainda assim, este método conduz a problemas no *start-up* bem como a dificuldades de soluções de problemas durante manutenções.

Com o GRAFCET, as seqüências são descritas de acordo com um diagrama com símbolos normalizados que mostram claramente os controles a serem implementados. Então, através de técnicas simples como mostrado por Bollmann (1995), o diagrama de fluxo pode ser transformado em circuitos reais, sejam pneumáticos, hidráulicos ou em diagramas de contatos (diagrama Ladder).

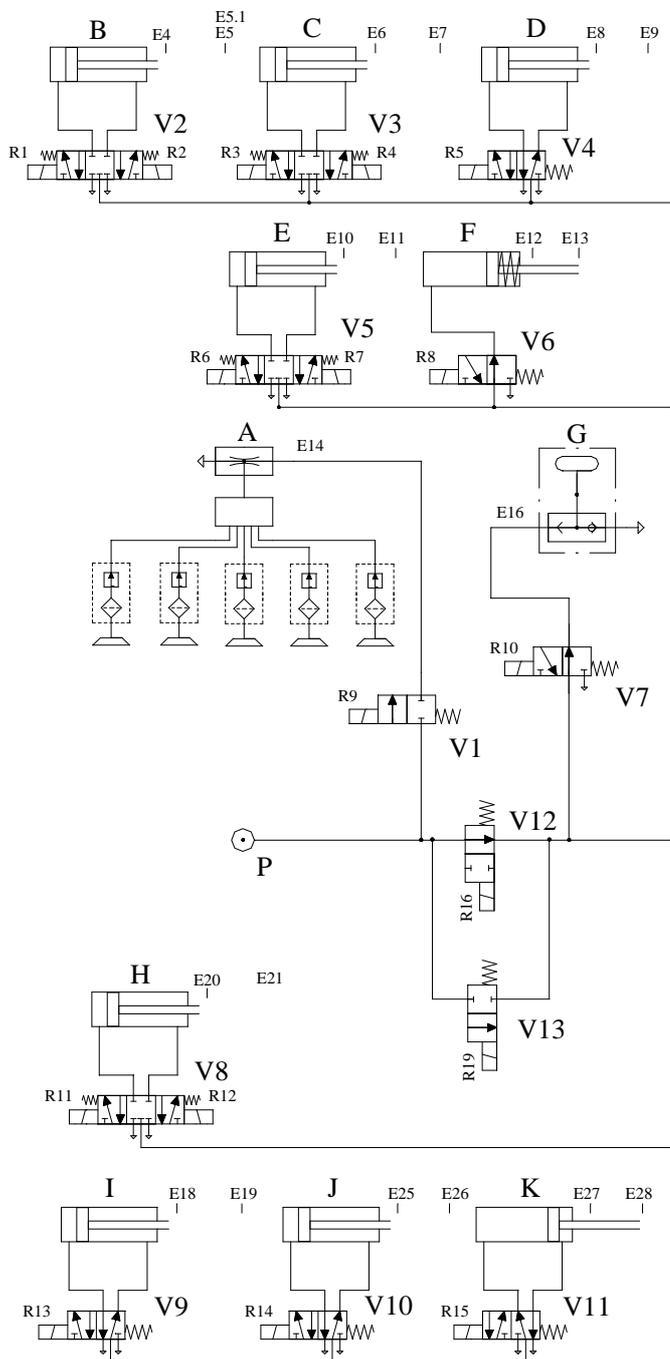


Figura 2. Circuito Pneumático do Alimentador.

3.6.2 GRAFCET descritivo

O diagrama de função seqüencial deve seguir a representação básica de um conjunto de retângulos que representam uma etapa de um comando seqüencial. Cada etapa deve seguir uma numeração seqüencial de identificação e opcionalmente uma descrição sucinta do mesmo. Os retângulos representativos das etapas serão interligados por retas, ou ligações de vínculo orientadas (LVO), e transversalmente a essas LVOs pequenos traços indicam a transição entre as etapas. A cada transição estará associada uma condição lógica para prosseguimento da

seqüência, chamada receptividade, como definido por Blanchard (1996). Ao lado de cada etapa, no campo *ações* faz-se uma descrição sucinta das ações associadas a esta etapa (Fig. 3). No campo *a* indica-se uma propriedade do sinal que gera a ação, como exemplo "S" indica que o sinal deve ser memorizado ao longo de uma ou mais etapas. O campo *b* é reservado para a indicação do elemento de sinal que confirma a realização da ação.

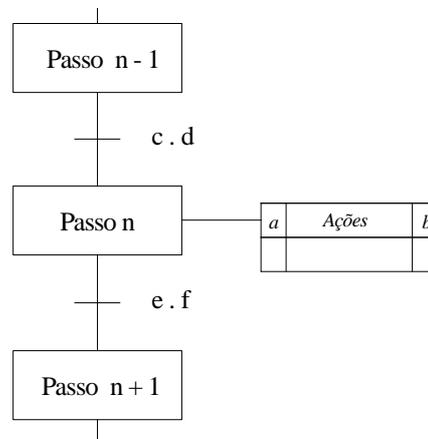


Figura 3. Bloco básico correspondente a uma etapa do gráfico de função seqüencial, onde as equações booleanas *c . d* e *e . f* indicam a receptividade, ou condição lógica associada a cada transição.

No GRAFCET descritivo insere-se a descrição de cada etapa na seqüência a realizar, além de associar-se a cada receptividade a descrição das condições lógicas para que ocorra a transição entre etapas. A Fig. 4 apresenta detalhe do GRAFCET descritivo do alimentador de chapas.

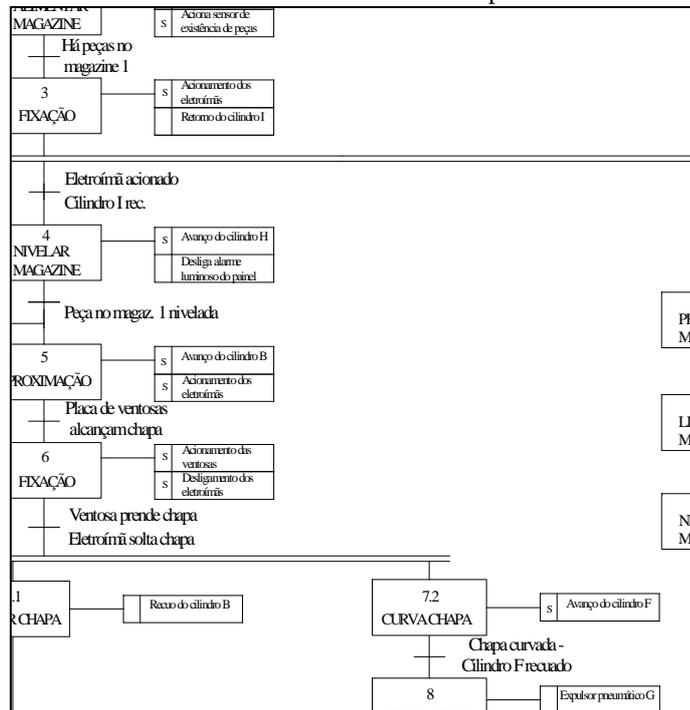


Figura 4 - Detalhe do GRAFCET Descritivo.

3.6.3 GRAFCET

O GRAFCET descritivo facilita a intercomunicação entre as pessoas envolvidas no projeto, independente de sua área de formação, no entanto, para a execução técnica do projeto, necessita-se associar a cada condição lógica, um elemento de sinal. Daí, elabora-se o diagrama GRAFCET indicando os elementos de comando e sensores correspondentes às condições descritas no GRAFCET descritivo. A Fig.5 mostra o

diagrama indicativo de todas as etapas e seqüências previstas para o funcionamento do alimentador.

3.7 Diagrama Lógico

De posse do GRAFCET, elabora-se o diagrama lógico, associando-se a cada etapa um módulo lógico correspondente.

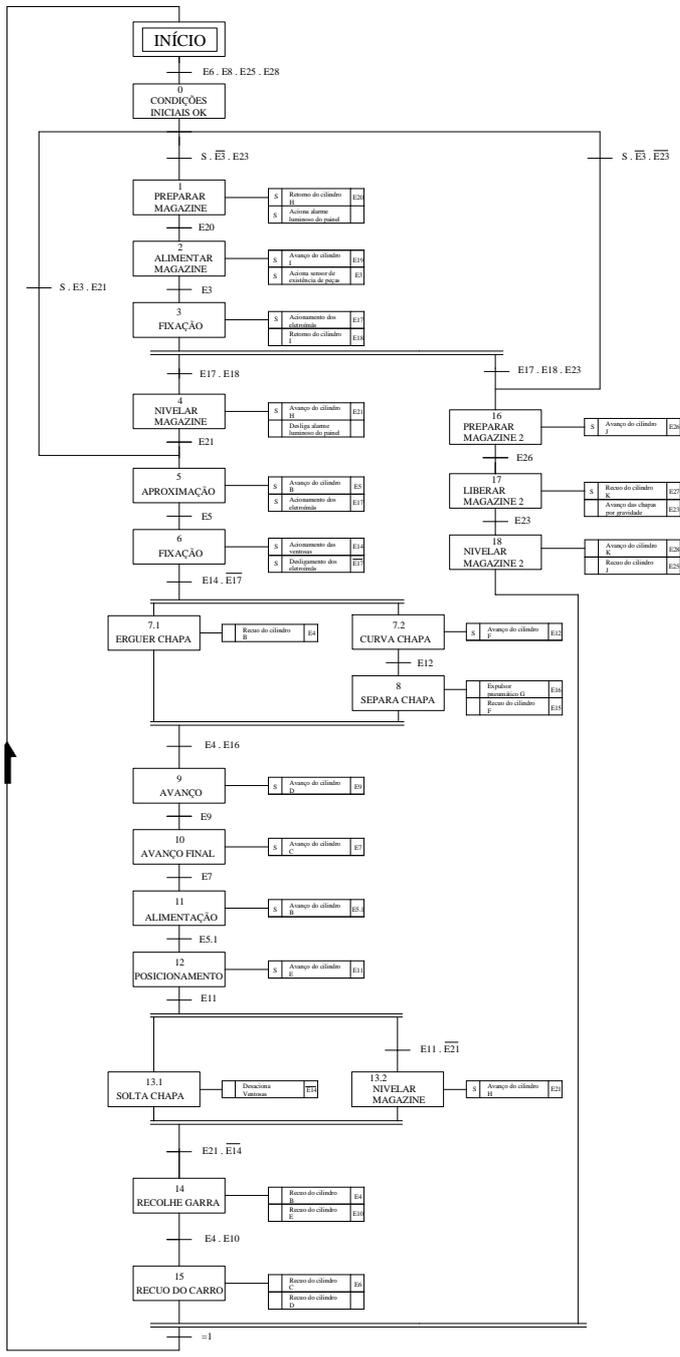


Figura 5 - Gráfico de Função seqüencial GRAFCET.

3.7.1 Comando combinatório para início de ciclo

Os comandos binários podem ser **combinatórios**, onde a saída ocorre unicamente em função da combinação lógica dos sinais de entrada, ou podem ser **seqüenciais**, onde os comandos produzem uma seqüência predeterminada de ações como mencionado por Bollmann (1995).

Verifica-se no diagrama GRAFCET (Fig. 5), que para o início da etapa 1, existe uma condição lógica associada denominada sinal para início de ciclo. Esta condição lógica está representada no diagrama pela letra S. Este sinal S será

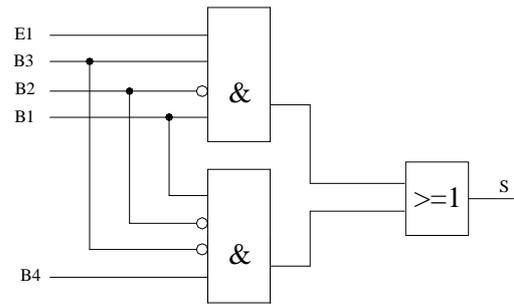
resultante de um comando combinatório, que deve considerar as condições impostas para a partida do equipamento.

Elabora-se então, uma tabela de correspondência lógica para as variáveis de entrada e de saída, para posterior montagem de uma tabela verdade. Daí, tem-se a equação booleana, que pode ser simplificada pelas propriedades da álgebra de Boole ou pelo Diagrama de Karnaugh-Veitch.

A equação booleana simplificada será então convertida num símbolo lógico. Para o exemplo tem-se a seguinte condição lógica representada por sua equação booleana:

$$S = B1 \cdot \overline{B2} \cdot (E1 \cdot B3 + B4 \cdot \overline{B3})$$

O símbolo lógico será:



3.7.2 Comando seqüencial

Comandos combinatórios e seqüenciais comporão o diagrama lógico do sistema. Para execução dos comandos seqüenciais, associa-se a cada etapa um módulo lógico correspondente. Utilizou-se o método passo a passo em que cada passo está associado a uma memória do tipo RS (*Set-Reset*). Como exemplo, a Fig. 6 apresenta o bloco lógico da etapa 5 do GRAFCET (*Aproximação*), onde o diagrama lógico é elaborado dividido em dois blocos, o de processamento de sinais e o de atuação externa, que serão apresentados lado a lado.

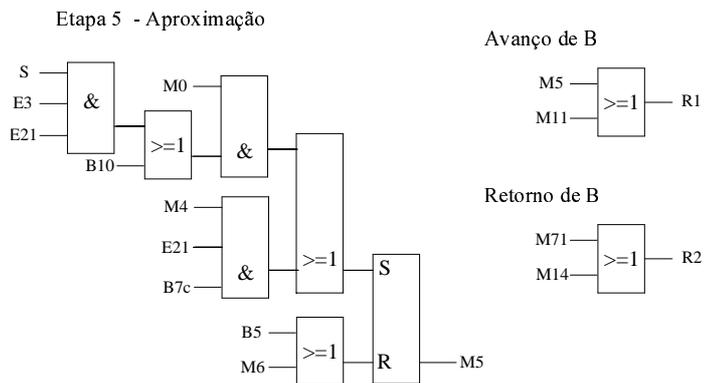


Figura 6 - Bloco Lógico da Etapa 1 – Aproximação.

3.8 Escolha da Tecnologia de Comando

Ao completar-se a elaboração do diagrama lógico do sistema, a sua lógica de funcionamento estará definida, entretanto, é preciso escolher qual a tecnologia de comando aplicar. Esta definição passa pelas características de aplicação do mecanismo, como a possibilidade de interligação com sistemas eletrônicos, pelos recursos técnicos e financeiros disponibilizados, pela análise do ambiente de instalação, entre outros. Em se tratando de tecnologia operativa pneumática, o

método de análise pelo custo global proposto por Keeton e Vicente (1995) é uma boa opção.

3.9 Conversão do Diagrama Lógico em Diagrama de Comando

Definida a tecnologia de comando, o diagrama lógico pode ser facilmente convertido em um diagrama de comando, seja pneumático, hidráulico, elétrico ou em diagrama de contatos (Ladder-diagram).

Utilizando-se o método de análise proposto por Keeton e Vicente (1995), definiu-se pela adoção de um Controlador Lógico Programável (PLC) para o comando do sistema. Deste modo, converte-se o diagrama lógico em um de contatos. Como exemplo, a conversão do bloco lógico representado na fig. 6 será conforme representado na Fig. 7.

3.10 Dimensionamento Mecânico

Com o sistema lógico definido, o passo seguinte é o dimensionamento mecânico do equipamento. A determinação das velocidades e acelerações envolvidas influenciarão diretamente no dimensionamento dos atuadores aplicados, independente da tecnologia operativa aplicada.

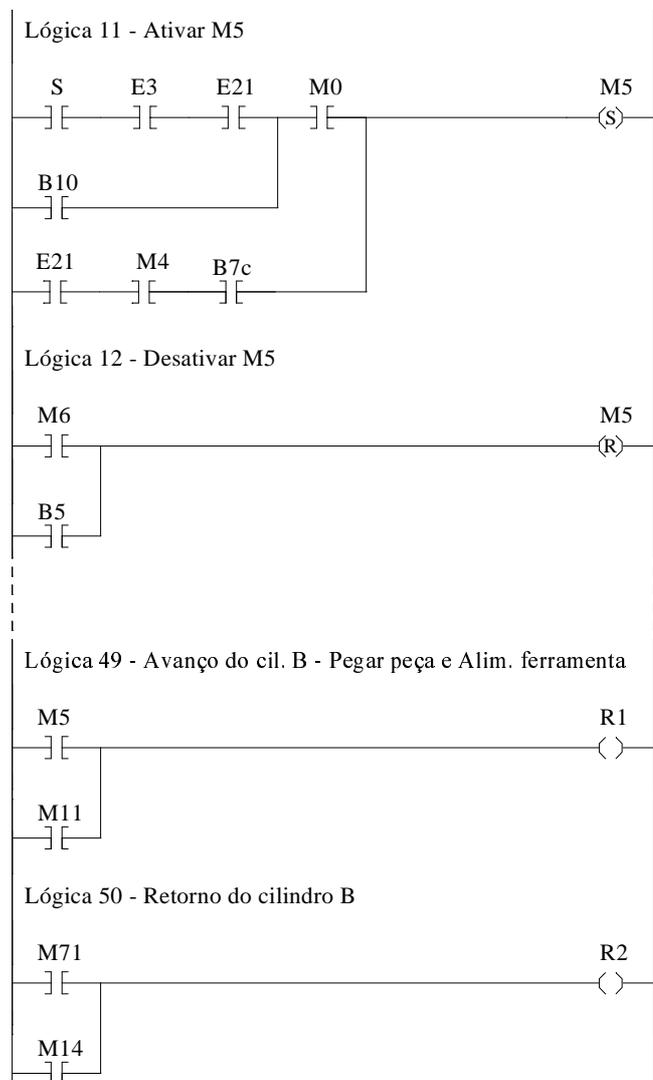


Figura 7 - Diagrama de contatos da Etapa 1 – Aproximação.

Para o alimentador automático de chapas apresentado neste artigo, a tecnologia operativa aplicada é a pneumática, assim, as acelerações devem ser calculadas para que a peça

manipulada não se desprenda do efetuator, uma vez que a mesma está sendo manipulada por meio de sujeição a vácuo. Assim a limitação da aceleração influenciará na velocidade de atuação, que por sua vez será determinada pela vazão de ar do sistema, além da força aplicada ser determinada pela pressão pneumática imposta ao sistema.

A vazão de ar requerida determinará o dimensionamento dos demais elementos pneumáticos, como válvulas e tubulações. Ainda, verifica-se que a velocidade imprimida aos atuadores determinará o tempo de ciclo do equipamento.

Assim como o projeto lógico, o dimensionamento mecânico tem forte influência no resultado final do mecanismo.

4 Desempenho Operacional

Para a determinação do tempo efetivo do ciclo normal de funcionamento do manipulador utilizou-se a velocidade média de 0,35 m/s para todos os atuadores. O valor médio é conservativo, porém, em algumas aplicações específicas, pode-se adotar valores diferenciados, dependendo da natureza da atuação e da influência desta variação no ciclo total de alimentação.

Observa-se que algumas etapas do Grafset não repetem-se a cada ciclo. Assim, o tempo de ciclo normal será determinado pela seqüência mostrada na Fig. 8.

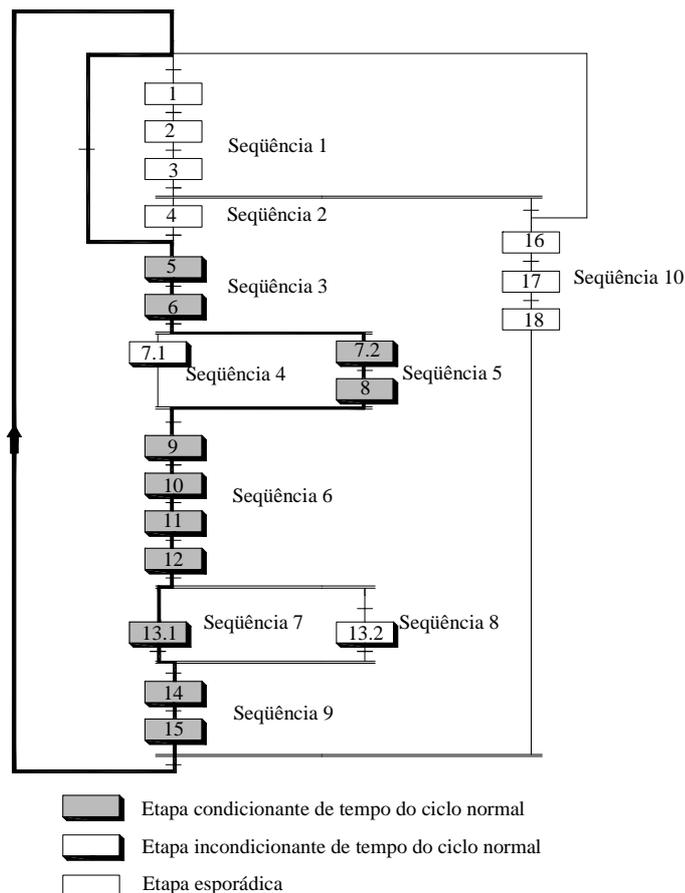


Figura 8 - Seqüência de funcionamento do ciclo normal.

Por esta seqüência de funcionamento as ações condicionantes do tempo de ciclo normal geram o tempo total de alimentação equivalente a 6,5 s.

Comparando-se o ciclo com alimentação automática com o ciclo com alimentação manual de uma tradicional empresa do setor, encontrou-se uma redução de 11,5 s, equivalente a 64% do ciclo de alimentação da máquina. No ciclo total a redução é

de 21,7 %, mantendo-se a extração manual. Considerando-se a utilização de semelhante mecanismo automático para a extração das peças e considerando ainda, o tempo de extração automática equivalente ao de alimentação automática, a redução no ciclo é de 30 s, equivalente a 56,6% de redução do tempo de ciclo.

5 Conclusão

O manipulador projetado permitirá a redução considerável do tempo de ciclo de operação, além de evitar os problemas que envolvem uma operação manual, que vão desde a qualidade e produtividade que normalmente não são atingidas até a análise da segurança da operação.

O tempo de ciclo pode ser alterado em função das velocidades empregadas, que dependem não só dos elementos pneumáticos especificados, mas também da fonte de ar comprimido disponível.

O projeto permite que por meio de reprogramação, sem alteração física, a utilização do mesmo equipamento tanto para a alimentação, quanto para a extração de peças, ou ainda a utilização de dois equipamentos simultâneos, sendo um para alimentação e outro para extração.

A utilização do alimentador proposto neste trabalho, permite a integração de prensas numa célula de produção, uma vez que um operador poderá monitorar um número razoável de prensas sem que necessite fazer nenhuma interferência direta na produção.

A metodologia empregada na elaboração do projeto do alimentador automático de chapas permite por meio da elaboração de um diagrama de função sequencial, Grafcet, a descrição funcional do equipamento, além de mostrar com clareza, quais os controles a serem implementados. Permite ainda, que seja desenvolvido todo o conceito de funcionamento do equipamento sem se ocupar das tecnologias de comando e operativa que serão empregadas.

Por meio de símbolos lógicos correspondentes, o GRAFCET pode ser convertido em outros diagramas lógicos, como digrama elétrico, diagrama pneumático ou diagrama de contatos (ladder diagram).

A linguagem do GRAFCET permite a fácil comunicação entre os profissionais de várias áreas envolvidos com o processo de automação (engenheiros mecânicos e especialistas em controle, por exemplo).

A utilização da lógica binária, permite por meio das propriedades da álgebra booleana e do diagrama de Karnaugh-Veitch, a simplificação da montagem do sistema lógico, acarretando num projeto tão simples quanto ele possa ser.

O Grafcet permite ainda, uma avaliação da complexidade do sistema, que por meio de gráficos de avaliação de custos, tornam-se poderosas ferramentas no processo decisório da tecnologia de controle a ser utilizada em sistemas mecânicos automáticos.

Groupe G7W ADEPA/AFCEC, *Le GRAFCET*, 2^e édition, Paris, Cépaduès-Éditions, 1995.

Guimarães, P. R. A. Projeto de um alimentador Pneumático Utilizando o Método GRAFCET para determinação do Funcionamento de um Sistema Lógico Automático, Tese de mestrado COPPE/UFRJ, 1999.

Keeton, W., Vicente, C. “Escolha de Tecnologia de Controle em Aplicações Pneumáticas”, *Revista ABHP – Associação Brasileira de Hidráulica e Pneumática*, n. 95, pp. 10-14, Set/Out. 1995.

Referências Bibliográficas

Blanchard, M., *Comprendre, maitriser et appliquer le GRAFCET*, Paris , Cépaduès-Éditions, 1994

Bollmann, A. *Fundamentos da automação Industrial Pneurônica*, São Paulo, ABHP – Associação Brasileira de Hidráulica e Pneumática, 1995.