

## **INTEGRAÇÃO DE CLP'S COM CIRCUITOS ELETROPNEUMÁTICOS EM PLANTAS INDUSTRIAIS AUTOMATIZADAS**

**Wesley DE ALMEIDA SOUTO (1); Francisco ANTÔNIO BELO (2); Edil JARLES DE JESUS NASCIMENTO(3); Wil LAVOR LUCENA CAMBOIM (4)**

(1) CEFET-BA/UE VITÓRIA DA CONQUISTA, Rua Iolanda Henrique Cavalcante,64, Bessa, CEP:58037-120, João Pessoa-PB, telefone: 83-9992-9420, e-mail:[soutow@gmail.com](mailto:soutow@gmail.com)

(2) UFPB, e-mail: [belo@pesquisador.cnpq.br](mailto:belo@pesquisador.cnpq.br)

(3) CEFET-MA/UE IMPERATRIZ, e-mail: [edildejesus@hotmail.com](mailto:edildejesus@hotmail.com)

(4) UFPB, e-mail: [wilcamboim@hotmail.com](mailto:wilcamboim@hotmail.com)

### **RESUMO**

Neste trabalho apresenta-se o estudo de caso de integração de controladores lógicos programáveis com circuitos eletropneumáticos. A programação dos controladores lógicos é feita segundo recomendações da Norma IEC-1131-3, contemplando as linguagens Diagrama Ladder, Bloco de Função, Lista de Instruções e Texto Estruturado. Sensores indutivos, capacitivos, magnéticos e ópticos além de válvulas eletropneumáticas e atuadores pneumáticos são empregados na montagem de circuitos eletropneumáticos que inicialmente são projetados através software de simulação virtual onde é possível testar com fidelidade o comportamento real do circuito. Em seguida programa-se o CLP para atender a lógica requerida para comunicar-se com os sensores e elementos atuadores. Os resultados alcançados com essa integração traduzem maior confiabilidade, menor tempo de execução, redução de custos e maior versatilidade nos projetos de automação industrial. Além disso, possibilita um enriquecimento didático no ensino das disciplinas de Pneumática e Automação Industrial dos cursos técnicos profissionalizantes.

**Palavras-chave:** automação industrial, controladores lógicos programáveis, eletropneumática.

## **1. INTRODUÇÃO**

Apesar da existência de diversas formas de energias disponíveis, para realização de tarefas automatizadas, a escolha adequada de um tipo, ou combinação de tipos, ainda é objeto de pesquisas pelos especialistas, prevalecendo sempre o bom senso na escolha. Segundo Bonacorso (1998) os conhecimentos de hidráulica, pneumática, eletricidade e eletrônica e suas combinações são igualmente importantes e necessários em automação. Deste modo, é importante levar em consideração os aspectos de geração, transporte, distribuição, armazenamento, restrições ambientais e custos envolvidos.

As formas de energia mais empregadas na indústria ainda tem sido a elétrica, pneumática, hidráulica e a combinação destas. No caso particular do ar pressurizado, a sua utilização já acontece há séculos e sua aplicação industrial teve grande difusão a partir da implantação da indústria automotiva, na chamada era da automação industrial. A automação eletropneumática (combinação da energia pneumática com a eletricidade) possibilitou o desenvolvimento de uma área muito importante na indústria, principalmente no ramo automotivo e nos equipamentos hospitalares, onde entre outros, são encontrados diversos dispositivos eletropneumáticos. A sua utilização foi justificada pela necessidade de fabricação de peças que exigiam um grande número de operações repetitivas, daí surgindo o desenvolvimento de maquinários capazes de realizar este tipo de atividade, refletindo na redução dos custos de fabricação. As válvulas pneumáticas juntamente com sensores (fim de curso, ópticos, magnéticos) assim como os controladores lógicos programáveis (CLP's) tem sido fundamentais no processo de automação industrial. Além disso, o elevado nível dos sistemas de informação tem proporcionado cada vez mais o uso da simulação computacional para simulação do comportamento de processos, sistemas, dispositivos, meios e materiais tornando o software um elemento-chave do processo de automatização.

O desenvolvimento de um sistema de automação industrial para interagir com uma determinada planta, requer o estudo da mesma, bem como estratégias para realização dos circuitos. A disponibilidade de um grande número de sensores e componentes eletropneumáticos, chaves, e controladores lógicos programáveis para montagem física de diversos circuitos, requer um elevado investimento, o que muitas vezes acaba por inviabilizar determinados projetos.

Deste modo, a utilização de softwares capazes de simular circuitos eletropneumáticos apresenta um importante avanço na estratégia de elaboração de tais sistemas, uma vez que várias opções podem ser concebidas, testadas e analisadas até ser encontrado o melhor resultado.

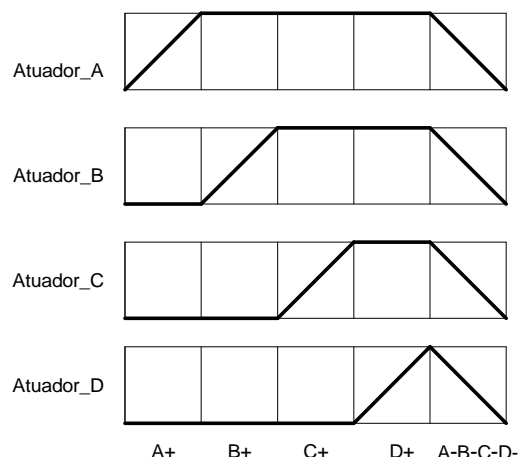
Portanto, o objetivo principal deste trabalho é apresentar o estudo de caso da integração de controladores lógicos programáveis com circuitos eletropneumáticos, demonstrando as principais recomendações da Norma IEC-1131-3, para programação de CLP's e a apresentação de software de simulação de circuitos eletropneumáticos para elaboração de projetos de automação industrial, tendo em vista uma redução de custos na aquisição de componentes físicos, possibilidade de realização de um maior número de ensaios com representação fiel do comportamento do circuito real a ser implementado.

## **2. CONVERSORES ELÉTRICO-PNEUMÁTICOS**

Os conversores elétrico-pneumáticos foram desenvolvidos com o objetivo de se aproveitar as vantagens dos comandos elétricos e pneumáticos para ser utilizado em sistemas que utilizam a pneumática e a elétrica respectivamente para as partes de trabalho e de comando, ou vice-versa. Nestes sistemas de conversão, os elementos de comando são as válvulas solenóides, responsáveis pela conversão de sinais elétricos em sinais pneumáticos. A parte elétrica destas válvulas é constituída por um cabeçote no qual se encontra uma bobina com um núcleo metálico móvel. Ao receber o sinal elétrico, a bobina produz um campo magnético que movimenta o núcleo que provoca o acionamento da válvula pneumática (FESTO, 2001).

## **3. CADEIA DE COMANDOS**

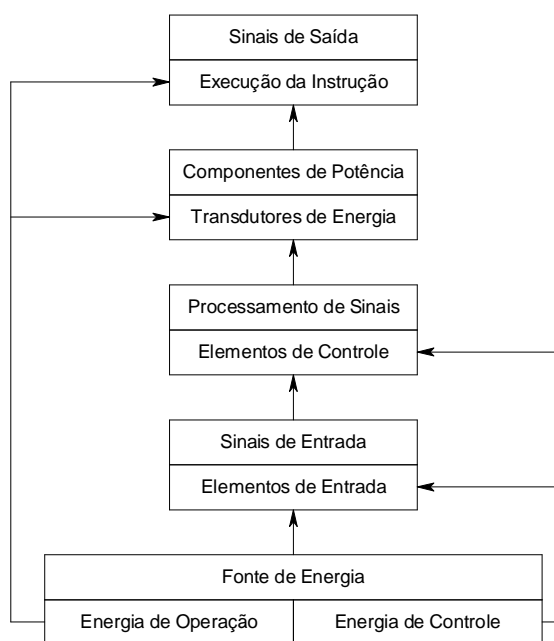
Os sistemas automatizados geralmente utilizam mais de um atuador ocasionando uma relação de dependência nos movimentos de cada um deles. Tipicamente o movimento ou ação de um determinado atuador só poderá ocorrer após a conclusão do movimento ou ação que imediatamente o precede. A essa sequência de movimentos dependentes um do outro se denomina cadeia de comandos. A representação dos movimentos dos atuadores é representada através do Diagrama Trajeto-Passo, conforme exemplificado na figura 1.



**Figura 1: Exemplo de diagrama trajeto-passo**

O diagrama trajeto-passo consiste em representar, nas ordenadas, o trajeto de um atuador e nas abscissas, os passos. A abreviação é indicada pela letra do atuador, seguida do sinal positivo (indicando avanço) ou negativo (indicando retorno), conforme demonstrado na figura 1.

Na elaboração de circuitos eletropneumáticos o fluxo dos sinais é representado de baixo para cima e a alimentação é um fator importante que deve ser bem representado. Recomenda-se representar elementos necessários à alimentação na parte inferior e distribuir a energia, tal como mencioná-la de maneira ascendente, conforme mostrado na figura 2.



**Figura 2: Cadeia de comandos eletropneumática**

Para o acionamento dos atuadores é necessário que a potência consumida nos elementos de comando seja insignificante em relação à potência que eles podem transferir aos atuadores. Os sinais de entrada são processados segundo a lógica de comando e podem ou não, ser compatíveis com o sistema de processamento, necessitando ou não de conversores de sinais. O fornecimento de energia poderá se dar em níveis diferentes, necessitando, portanto, uma fonte específica para o comando. Nos esquemas de sistemas eletropneumáticos, a representação do fluxo de sinais da parte elétrica é de cima para baixo (FESTO, 2001).

#### 4. COMANDOS

As válvulas exigem um agente externo ou interno que desloque suas partes internas de uma posição para outra, ou seja, que altere as direções do fluxo, efetue os bloqueios e liberação de escapes. Os elementos

responsáveis por tais alterações são os comandos, que podem ser classificados em: Comando direto e comando indireto (PARKER, 2001).

#### 4.1 Comando Direto

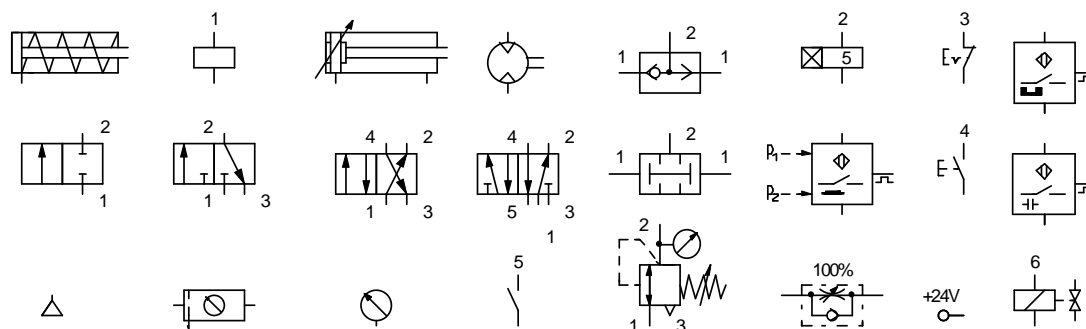
É assim definido quando a força de acionamento atua diretamente sobre qualquer mecanismo que cause a inversão da válvula.

#### 4.2 Comando Indireto

É assim definido quando a força de acionamento atua sobre qualquer dispositivo intermediário, o qual libera o comando principal que, por sua vez, é responsável pela inversão da válvula. Estes acionamentos são também chamados de combinados, servo, etc.

### 5. SOFTWARE DE SIMULAÇÃO ELETROPNEUMÁTICA

Diversas ferramentas computacionais vem sendo empregadas em projetos de circuitos pneumáticos, hidráulicos e eletropneumáticos. O objetivo dos desenvolvedores é basicamente o baixo custo o qual tem a ver com tempo, confiabilidade e precisão além de auxiliar didaticamente no treinamento de profissionais. Dentre os mais utilizados, destacam-se Automation Studio e o software FluidSIM da FESTO, que permitem desenhar e simular circuitos de pneumática e eletropneumática ou hidráulica e eletro-hidráulica com grande fidelidade. Os símbolos normalizados são extraídos de uma biblioteca de fácil acesso, conforme mostrado na figura 3.

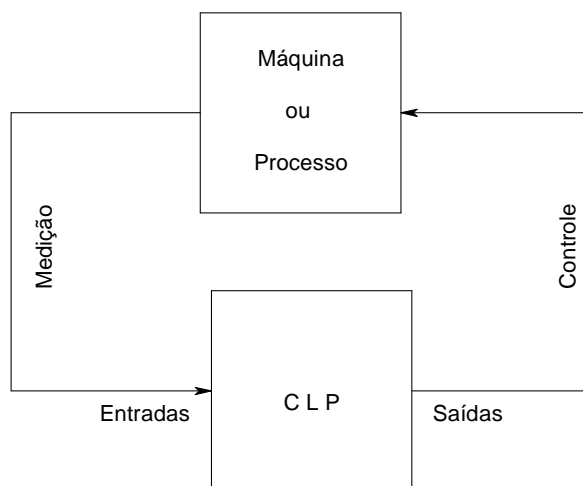


**Figura 3: Exemplo de simbologia encontrada na biblioteca do software FluidSIM-FESTO**

Deste modo, torna-se possível simular o funcionamento de todos os circuitos desenhados, além de acompanhar os valores das principais variáveis envolvidas, tais como: pressão, vazão e posição. Com essa versatilidade, os projetistas podem testar virtualmente diversos modelos de circuitos antes de decidirem pela melhor configuração e daí fazer aquisições dos componentes físicos para montagem final do circuito desejado. Além disso, tem sido bastante viável a integração de projetos de circuitos eletropneumáticos com controladores lógicos programáveis – CLP's. A partir da lógica do circuito eletropneumático previamente simulado é possível programar um CLP tendo em vista a otimização do circuito, versatilidade, redução de custos com aquisição de componentes e maior integração com a planta industrial.

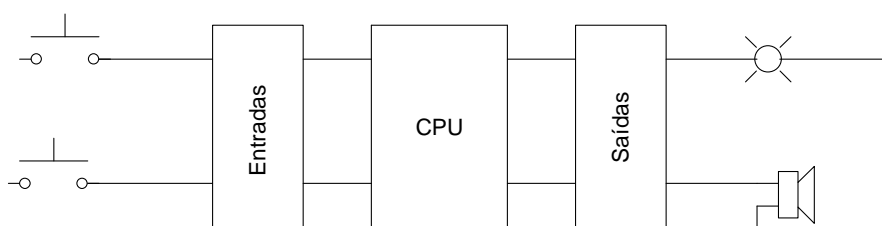
### 6. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS

Os controladores lógicos programáveis, também conhecidos por CLP's, assim como os computadores digitais usam circuitos integrados ao invés de circuitos eletromecânicos para implementar funções de controle. Eles são capazes de armazenar instruções tais como sequenciamento, contagem, temporização, cálculos aritméticos, lógicos, manipulação de dados e comunicação para controle industrial de máquinas e de processos. A figura 4 mostra o diagrama conceitual de uma aplicação de um CLP (BRYAN, 1997).



**Figura 4: Diagrama conceitual de aplicação de um CLP**

Os CLP's têm diferentes definições, e podem ser associados a computador industrial com arquitetura especialmente projetada na sua unidade lógica e aritmética e circuitos de interface de entradas e saídas para elementos de campo. Os CLP's surgiram a partir de 1968 na indústria automobilística, e tem acompanhado o desenvolvimento tecnológico até hoje. De forma geral, os controladores lógicos programáveis são equipamentos eletrônicos de última geração, utilizados em sistemas de automação flexível. Estes permitem desenvolver e alterar facilmente a lógica para acionamento das saídas em função das entradas. Desta forma, pode-se utilizar inúmeros pontos de entrada de sinal para controlar pontos de saída de sinal (cargas). Um CLP consiste em duas seções básicas: a unidade central de processamento e a interface de entradas e saídas do sistema. A CPU, que controla toda a atividade do CLP, pode ser dividida em processador e sistema de memória. Os sistemas de entradas e saídas são conectados fisicamente nos dispositivos de campo, por exemplo, interruptores e sensores que formam também uma interface entre a CPU e o meio externo. Operacionalmente, a CPU lê os dados de entradas dos dispositivos de campo através da interface de entrada, e então executa, ou realiza os controles de programa que tinham sido armazenados na memória. O controle só é garantido com o acionamento de atuadores a partir do processamento das informações coletadas pelos sensores. A figura 5 mostra o esquema de integração entre a CPU e os módulos de entradas e de saídas.



**Figura 5: Esquema simplificado de integração entre a CPU e os módulos de entradas e de saídas.**

Os CLP's atuais contam com avançados microcontroladores que proporcionam elevada velocidade de processamento e versatilidade de programação. Eles têm sido desenvolvidos cada vez menores, mais baratos e contam com interfaces inteligentes que permitem a expansão de pontos de entrada e de saída para processamento distribuído. Permitem interface de controle PID, interligação em rede e módulos de programação em linguagens gráficas ou de texto estruturado. Como linguagens de programação os CLP's têm incorporado ferramentas de programação orientada a objetos e múltiplas linguagens baseadas no Padrão IEC-1131-3. Os CLP's são capazes de se comunicarem com outros sistemas de controle, gerando relatórios, agendamento de produção e diagnóstico de suas próprias falhas, de máquinas ou de processos. A tendência é que os futuros CLP's continuem com alto poder de processamento, maior versatilidade, maior integração com outros equipamentos e sistemas de comunicação.

## 6.1 Características

Como características básicas de um CLP, pode-se destacar: programabilidade, alta confiabilidade, imunidade a ruídos, isolamento óptica de entradas e saídas, detecção de falhas, modularidade, *start-up* rápido, operação em condições ambientais severas.

## 6.2 Aplicações

Existem diversos tipos de indústrias que utilizam CLP's, das quais podem-se destacar: automotiva, transformadora de plástico, indústria da cerâmica, da petroquímica, de embalagem, bebidas e papel.

## 7. PADRÃO IEC 1131-3

Para programação de CLP's o padrão IEC 1131-3 define duas linguagens gráficas e duas linguagens textuais (BRYAN, 1997). As linguagens gráficas utilizam símbolos para programar instruções de controle, enquanto que as linguagens baseadas em texto usam caracteres para programação de instruções, conforme mostrado na tabela 1.

**Tabela 1: Linguagens e Instruções**

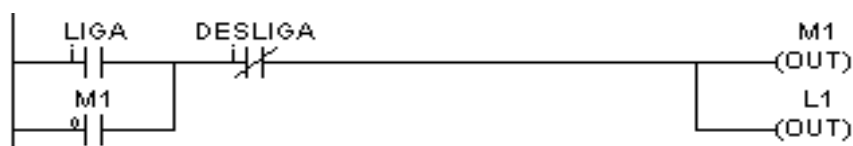
Linguagem	Tipo	Características
Diagrama Ladder - LD	Gráfica	Baseado em diagrama elétrico de contatos, controle lógico e seqüencial
Bloco de Função - FB	Gráfica	Baseada em diagrama lógico, controle lógico e regulatório
Lista de Instruções - IL	Textual	Baixo nível, semelhante ao Assembler, indicada para pequenas aplicações
Texto Estruturado - ST	Textual	Alto nível, maior flexibilidade, semelhante ao PASCAL

### 7.1 Representação das Linguagens

Conforme mostrado na tabela 1, cada tipo de linguagem possui características que devem ser conhecidas pelo projetista e servir de referencial na implementação de projetos de automação. Uma mesma lógica poderá ser representada pelas quatro linguagens de programação no padrão IEC 1131-3. Tomando como exemplo o acionamento de um motor (M1) e um indicador luminoso (L1), tem-se demonstrado nas figuras 6 a 9 as possibilidades de programação do CLP para realização da mesma tarefa, ou seja:

A saída M1 ficará energizada se, e somente se, o contato LIGA for acionado e o contato DESLIGA não for acionado. Quando o motor (M1) estiver energizado, o indicador luminoso (L1) também estará energizado. M1 e L1 ficarão desenergizadas caso o contato DESLIGA seja acionado.

#### 7.1.1 Diagrama Ladder



**Figura 6: Exemplo de programa em LD**

### 7.1.2 Bloco de Função

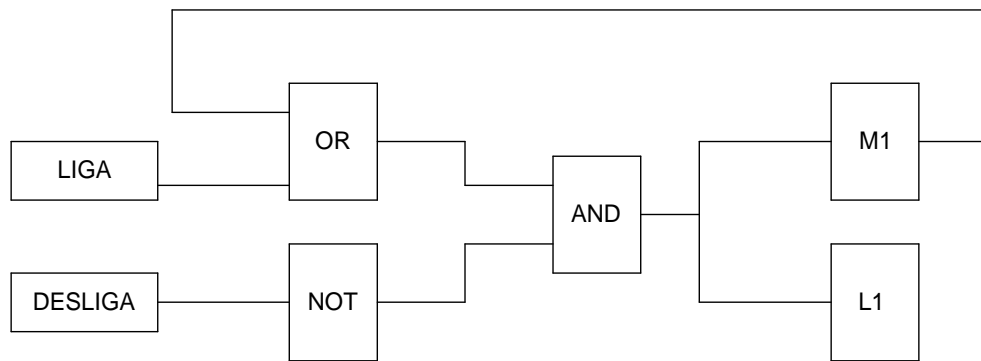


Figura 7: Exemplo de programa em FB

### 7.1.3 Lista de Instruções

```

LD  LIGA
OR  M1 ANDN DESLIGA
ST  M1
LD  M1
ST  L1
  
```

Figura 8: Exemplo de programa em IL

### 7.1.4 Texto Estruturado

```

IF LIGA
OR M1 AND N DESLIGA
THEN SET M1
IF M1
THEN SET L1
OTHRW RESET M1
  
```

Figura 9: Exemplo de programa em ST

Além disso, a IEC 1131-3 inclui uma programação orientada a objetos, chamada *Sequential Function Chart* (SFC), indicada para estruturação geral do programa que pode coordenar os quatro padrões de programação (LD,FB, IL, ST). A SFC tem origem no padrão francês, GRAFCET. Permite reduzir o esforço computacional, possui boa facilidade de diagnóstico e os elementos de programação, são: *Passo*, *Transição* e *Ação*, conforme mostrado na figura 10.

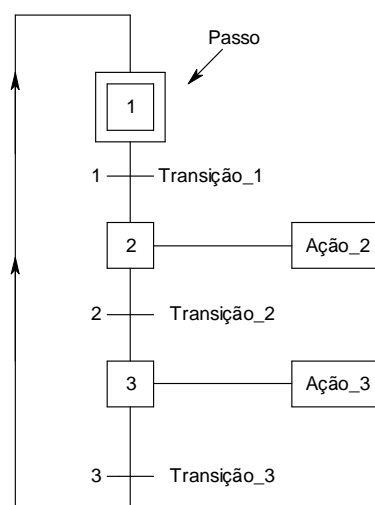


Figura 10: Exemplo de Sequential Function Chart – SFC

Um passo é um estágio no controle de processos. Quando o programa recebe uma entrada ela será executada em cada um dos passos, iniciando com o passo 1. A cada passo pode haver ou não uma ação associada com ele. Uma ação é um conjunto de instruções de controle alertando o CLP que ele deve executar uma determinada função de controle durante aquele passo. Uma ação deve ser programada usando qualquer uma das quatro linguagens do padrão IEC 1131-3 (JACK, 2003). Após o CLP executar um passo/ação, ele deve receber uma transição antes de prosseguir o próximo passo. A transição pode tomar o formato de variável de entrada, um resultado de uma ação prévia ou um estado condicional, IF.

## 8. CIRCUITO SIMULADO

Uma das justificativas para automatização de um sistema industrial, um equipamento ou uma determinada máquina é a necessidade de realização de tarefas repetitivas, inseguras ou humanamente inadequadas, de maneira confiável e economicamente atrativa. Ressalta-se que a tendência atual é a utilização do comando elétrico, ficando a pneumática *pura* para as situações industriais em que o chaveamento elétrico signifique risco à segurança de operação (algumas indústrias químicas, alimentícias, de produtos inflamáveis, GLP).

Neste contexto, o simulador de circuitos eletropneumáticos (FluidSIM-Festo) foi usado para elaboração de um circuito eletropneumático de comando indireto, que realiza um movimento oscilante, comumente usado no controle de tempo de avanço e de recuo de um atuador de dupla ação. Deste modo, o sistema mostrado na figura 11 é composto por uma válvula 5/2 vias servo-pilotada, duas válvulas 3/2 vias com acionamento por solenóide e retorno por mola, uma unidade de tratamento de ar, um compressor de suprimento de ar, um cilindro de dupla ação, um sensor magnético instalado na posição = 0 mm (S0) e outro sensor magnético instalado na posição = 100 mm (SF). O estado de avanço ou retorno do cilindro de dupla ação depende da energização dos solenóides Y1 e Y2 que são comandados por um circuito elétrico demonstrado na figura 12.

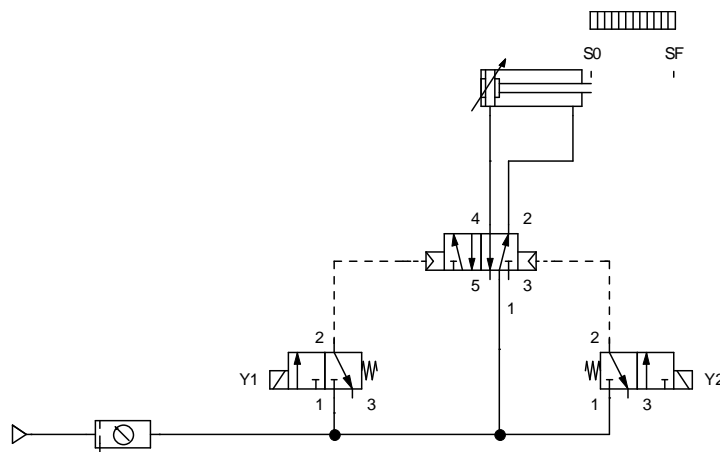


Figura 11: Circuito eletropneumático

O cilindro de dupla ação, mostrado na figura 11, deixará a condição de repouso no instante que o solenóide Y1 for energizado saindo do seu início de curso (S0) e atingindo o seu curso final (SF). Para o seu retorno, o solenóide Y2 deverá ser energizado, tal como demonstrado no circuito elétrico de comando mostrado na figura 12.

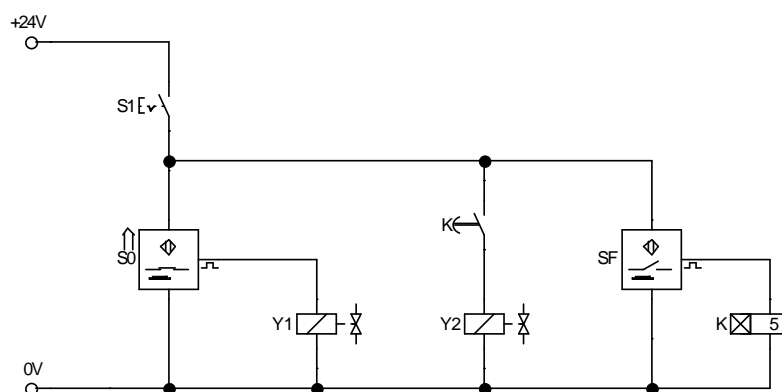
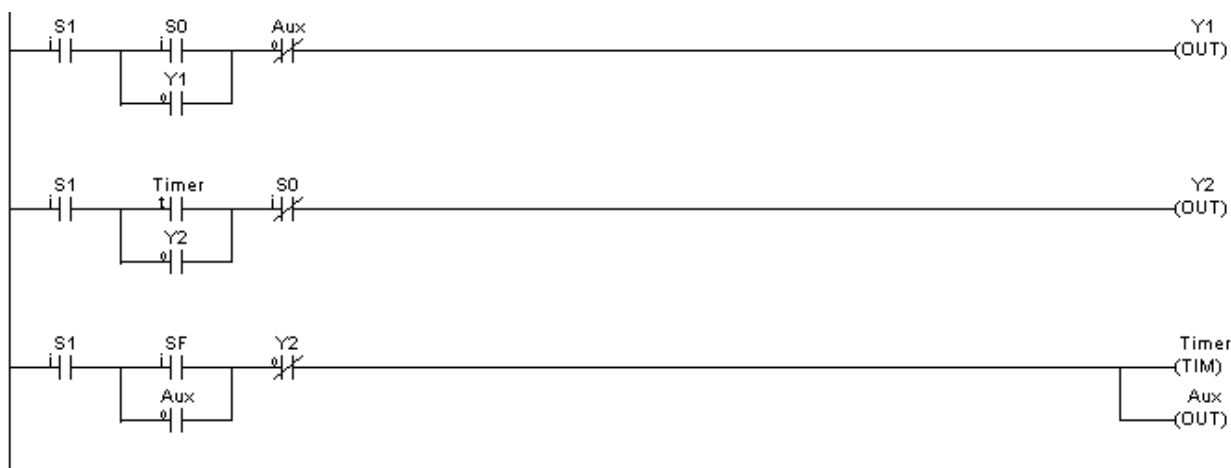


Figura 12: Circuito elétrico de acionamento



Na figura 12 é apresentado o correspondente circuito elétrico de comando, contendo dois sensores magnéticos, início de curso (S0) e fim de curso (SF), os solenóides Y1 e Y2 e um relé de retardo (K), alimentados em 24 VCC. Inicialmente o cilindro de dupla ação está recuado e encostado no sensor de início de curso, S0, o que o mantém comutado. Através do acionamento da chave de retenção (S1), o solenóide Y1 será energizado e pilotará a válvula 5/2 vias fazendo o cilindro avançar até chegar no seu fim de curso (SF). Quando o sensor SF for habilitado possibilitará a energização da bobina do relé temporizado (K) e que após o tempo pré-ajustado em 5 segundos comutará o contato auxiliar NA (normal aberto) de K, permitindo a energização do solenóide Y2, que será responsável pela mudança de estado da válvula 5/2 vias e o conseqüente retorno do cilindro de dupla ação à sua posição inicial. Este movimento oscilatório ocorrerá até que a chave de retenção (S1) seja desabilitada. A posição dos sensores magnéticos, no circuito eletropneumático, é definida pelo projetista através da parametrização das propriedades do cilindro de dupla ação. Na área de trabalho do simulador, cada componente do circuito atua como uma variável e por isso deve ser nomeado (declarado). Apesar da diferença existente entre a simbologia de componentes pneumáticos e elétricos, na existência de uma equivalência de funções entre os dois tipos de componentes utiliza-se a mesma variável para ambos, ou seja, o mesmo nome.

A lógica desenvolvida para o controle do circuito eletropneumático oscilante poderá ser implementada através de um controlador lógico programável e neste caso, programado em Diagrama Ladder, como pode ser observado na figura 13.



**Figura 13: Diagrama Ladder equivalente de um circuito oscilante**

De acordo com a lógica apresentada no programa da figura 13, pode-se notar que o solenóide Y1 ficará energizado se o sensor início de curso (S0) e a chave de retenção (S1) forem acionados e o contato NF do relé auxiliar (Aux) permanecer desabilitado. A energização do solenóide Y2 depende da habilitação da chave de retenção (S1), da habilitação do contato auxiliar NA do timer e da permanência do sensor início de curso (S0), desabilitado. O movimento ocorrerá oscilante enquanto a chave de retenção (S1) permanecer habilitada. Neste programa, o relé auxiliar (Aux) e o relé temporizado (Timer) são dois exemplos dentre as várias funções específicas disponíveis na memória interna de um CLP.

## 9. CONTRIBUIÇÕES

Como contribuição pedagógica os autores experimentaram que a combinação da simulação virtual, com componentes reais, no ensino de disciplinas técnicas permite ao professor demonstrar os elementos mais representativos das soluções tecnológicas disponíveis para automatização de ambientes industriais, de modo mais versátil e de menor custo de implantação. Com a complementação de relatórios e projetos o aluno atinge melhoria no seu desempenho acadêmico capacitando-o para o mercado de trabalho.

Promover a exploração da simulação computacional para determinação de condições otimizadas de supervisão e controle de processos.

## 10. CONCLUSÃO

Neste trabalho, os autores procuraram apresentar a integração de circuitos eletropneumáticos com controladores lógicos programáveis demonstrando a viabilidade na implementação de projetos de automação industrial. Um software de simulação é utilizado para o desenvolvimento de projetos de circuitos eletropneumáticos, representando com fidelidade o comportamento do circuito desejado, onde as linhas pressurizadas e energizadas são visualizadas a cada passo. Uma vez simulado o circuito eletropneumático é possível converter a sua lógica de comando para um CLP utilizando qualquer uma das quatro linguagens no padrão IEC 1131-3. Com isto, o projetista consegue versatilidade, confiabilidade e viabilidade econômica. Ressalta-se, ainda, a contribuição desta integração no ensino de disciplinas dos cursos técnicos profissionalizantes haja vista a sua elevada relação custo-benefício.

Também ficou evidenciado que o uso de recursos computacionais contribui para evolução da automação industrial ocasionando redução da complexidade fabril, redução de custos de produção e tempo de fabricação de um determinado produto, na eliminação de riscos e também na integração de dados dos processos produtivos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BONACORSO, Nelson Gauze; Valdir Noll. **Automação Eletropneumática**. São Paulo: Érica, 1997.

BRYAN, L. A.; E. A. Bryan. **Programmable Controllers Theory And Implementation**. Second Edition, Published by Industrial Text Company, 1997.

FESTO AUTOMAÇÃO LTDA. **Técnicas de Automação Industrial**. São Paulo: Festo Didactic – Brasil, 2001.

FESTO AUTOMATION. **Simulation in FluidSIM 3.6 Demo Version**. Disponível em <[http://www.fluidsim.de/fluidsim/index3\\_e.htm](http://www.fluidsim.de/fluidsim/index3_e.htm)> Acesso em: 20/07/2007

JACK, Hugh. **Automating Manufacturing Systems with PLCs**. Version 4.2, April 3, 2003. Disponível em: <[clay-more.engineer.gvsu.edu/~jackh/books.html](http://clay-more.engineer.gvsu.edu/~jackh/books.html)> Acesso em: 10/08/2007.