



- **MAQUETE DIDÁTICA DE ENCHIMENTO AUTOMÁTICO DE CAIXAS PARA ENSINO-APRENDIZAGEM DE PROGRAMAÇÃO DE AÇÕES SEQUENCIAIS (SFC) NA NORMA IEC 61131-3**

Barbara M. F. Gonçalves – engbarbaram@gmail.com
Thaianne T. C. Neves – thaiannethereza@gmail.com
Mauricio M. Flexa – mauriciomonteiro15@yahoo.com.br
Agesandro C. Corrêa – agesandro.correa@ifpa.edu.br
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará
Av. Almirante barroso, 1155
66093-020 – Belém - PA

Resumo: *Este documento apresenta a análise, desenvolvimento e o resultado de uma experiência de prática de laboratório, do ensino de programação de CLP, usando uma maquete de enchimento automático de caixas, com um número determinado de peças, realizada no Laboratório de Automação do IFPA campus Belém. Previamente à montagem da experiência foram feitos estudos sobre as linguagens de programação SCF (GRAFSET) e Ladder assim como, da norma que as rege, a IEC 61131-3. Também foi feito o estudo detalhado do mecanismo da maquete, e então desenvolvido um programa em SFC que, apesar de poder ser melhorado, funcionou perfeitamente no controle do processo proposto. Ressaltando a importância da realização da mesma no processo ensino-aprendizagem na disciplina de Controladores Lógico Programáveis do curso de Engenharia de Controle e Automação.*

Palavras-chave: CLP, SFC, GRAFCET, Ladder

1. INTRODUÇÃO

O ensino e aprendizagem de programação de um controlador lógico programável (CLP) requer que o aluno entenda o funcionamento do processo industrial que se pretende automatizar. Para que uma máquina seja controlada é necessário conhecer sua dinâmica de atuação, ou seja, quais as tarefas são capazes de executar e de que forma isto pode ser feito. Uma forma muito eficiente de fazer isto, é utilizando maquetes didáticas que simulem o desempenho de uma máquina real, desenvolvendo no aluno o poder de análise para solucionar problemas que podem ocorrer durante a implementação de um programa para controlar determinado processo. Um exemplo da tendência de uso de maquetes simulando processos automáticos industriais pode ser visto na publicação de GEVARD *et al.*, 2009.

Para demonstrar a importância da utilização de maquetes didáticas para o ensino de programação de lógica sequencial, foi desenvolvido um programa em linguagem de Diagrama



Sequencial de Funções (SFC - Sequential Function Chart) de uma maquete de enchimento automático de caixas, com 4 peças em cada uma.

2. OBJETIVO

O principal objetivo deste artigo é descrever um exemplo de aplicação de uma maquete didática desenvolvida no Laboratório de Automação – LAUT do IFPA campus Belém, nos primeiros meses de 2012, para ser usada no ensino de programação de CLP usando uma linguagem de programação dentro de um padrão industrial regido pela norma IEC 61131-3.

Esta aplicação foi feita em forma de uma experiência de laboratório que tomou um tempo de 2 ou 3 aulas com duração de 2 horas cada aula, isto devido a complexidade da experiência que requer que o aluno compreenda o mecanismo da maquete, inclusive com a observação das reações do mecanismo a sinais de comando individuais de cada atuador e/ou sensor, depois disso há a etapa da elaboração do programa de controle e por final o teste e ajuste do funcionamento do sistema completo da maquete.

Como objetivos específicos, podemos citar inúmeras atividades desenvolvidas no uso desta maquete, tais como: Interpretação e desenho de esquemas e croquis de instalações industriais; Desenvolver programas de automação industriais; Fazer relatórios e documentação de processos; Elaborar testes de desempenho e propor melhorias no desempenho do processo; Simulação de falhas no equipamento e/ou no processo; Localizar e reparar falhas e propor melhorias no equipamento e processo com o objetivo de reduzir as possibilidades de ocorrência destas falhas.

Inicialmente, no item 3, é apresentado uma base teórica necessária para a realização do programa de automatização da maquete. A seguir, no item 4, o mecanismo da maquete é descrito com um determinado grau de detalhamento, suficiente para realização do programa de automatização. E, por final, no item 5, é apresentado um relatório da experiência que foi realizada com o uso da maquete.

3. BASE TEÓRICA NECESSÁRIA AO DESENVOLVIMENTO DA EXPERIÊNCIA

Anteriormente à realização da experiência utilizando a maquete, são desenvolvidas aulas teóricas com os fundamentos da linguagem SFC, nestas aulas teóricas são descritas máquinas hipotéticas de ação sequencial e onde são descritas as várias etapas do processo. Então um fluxograma destas ações é proposto, e o programa escrito é sugerido como a solução para o controle da máquina.

3.1. Norma IEC 61131-3

A norma IEC 61131 oferece uma coleção completa de padrões em controladores programáveis e seus periféricos associados. Mais especificamente, a norma IEC 61131-3 trata das diretrizes das linguagens de programação definindo os elementos básicos de programação, regras sintáticas e semânticas para as linguagens de programação comumente usadas incluindo as linguagens gráficas e textuais, bem como grandes áreas de aplicação, os testes aplicáveis e os meios pelos quais os fabricantes podem ampliar ou adaptar esses conjuntos básicos para suas próprias implementações do controlador programável.

A norma IEC 61131-3 é o único padrão global para programação de controle industrial. Harmoniza o modo como se deve projetar e operar controles industriais, padronizando a



interface de programação. Esta interface permite que as pessoas com diferentes formações e habilidades tenham possibilidade de criar diferentes elementos de um programa. Além disso esta interface facilita durante diferentes fases do ciclo de vida do software: a especificação, projeto, implementação, teste, instalação e manutenção deste (PLCopen 2012).

O padrão inclui a definição da função da linguagem Diagrama Sequencial de Funções (SFC), usado para estruturar a organização interna de um programa, e quatro línguas interoperáveis de programação: Lista de Instruções (IL), Diagrama *Ladder* (LD), Diagrama de Blocos Funcionais (FBD) e Texto Estruturado (ST). Via decomposição em elementos lógicos, modularização e técnicas modernas de software, cada programa é estruturado, aumentando a sua reutilização, reduzindo erros e aumentando a eficiência do usuário e de programação.

3.2. Diagrama Sequencial de Funções (SFC)

O SFC (ou GRAFCET como também é conhecido) é uma linguagem de programação gráfica que surgiu na França em 1975 com intuito de facilitar o entendimento e execução de programas sequenciais, de modo a uniformizar a descrição do processo.

Em 1983, depois de muitos testes e boa aceitação em programas educacionais, o SFC foi adotado como norma internacional pela International Electrotechnical Commission (IEC) com a identificação IEC 848 Ed.1, sendo alterada em 2001 para IEC 60848 Ed.2. Atualmente, o SFC é uma das cinco linguagens adotadas pela norma IEC 61131-3 que tem a intenção de padronizar as linguagens de programação de CLP, independente do fabricante (PRUDENTE 2007).

Toda sua estrutura pode ser facilmente traduzida para *Ladder*, já que suas ações são descritas passo a passo por meio de etapas intercaladas de condições de transição.

A representação de uma etapa é identificada por um quadrado numerado sequencialmente. A direita da etapa contém a tarefa a ser executada. A transição de uma etapa a outra é indicada por um traço horizontal que corta a linha de fluxo, uma linha vertical que interliga as etapas, e as condições de transição são escritas ao lado do traço de transição.

Para construir um programa em SFC, algumas regras devem ser cumpridas, tais como, deve existir ao menos uma etapa inicial e deve-se sempre alternar entre etapa e transição. A superação de uma transição determina a desativação da ação associada ao passo anterior e a ativação da ação associada ao passo seguinte. A transição é superada quando todas as condições associadas são verdadeiras e todos os passos imediatamente anteriores são ativados.

4. DESCRIÇÃO DA MAQUETE

Inicialmente a maquete é apresentada e descrita sua utilização. Esta etapa da experiência é importante, pois o programa de controle terá que ser feito com uma perfeita compatibilidade com este mecanismo.

A maquete de enchimento de caixas tem a finalidade de fornecer peças de madeira de forma controlada, a partir de um depósito (magazine), onde as peças se encontram organizadas em uma pilha, permitindo, encher com um número determinado de peças, as embalagens que são posicionadas por uma esteira rolante na saída deste alimentador.

4.1. Descrição do mecanismo da maquete

O mecanismo da maquete é composto por 3 partes separadas fisicamente, mas que interagem entre si tanto mecanicamente como de forma lógica, na Figura 1 é apresentado uma



fotografia do conjunto onde podem ser vistas as partes, que são: o alimentador de peças, a esteira rolante e o painel de controle. Também fazem parte as fontes de alimentação e o próprio CLP, que não são detalhados neste trabalho.

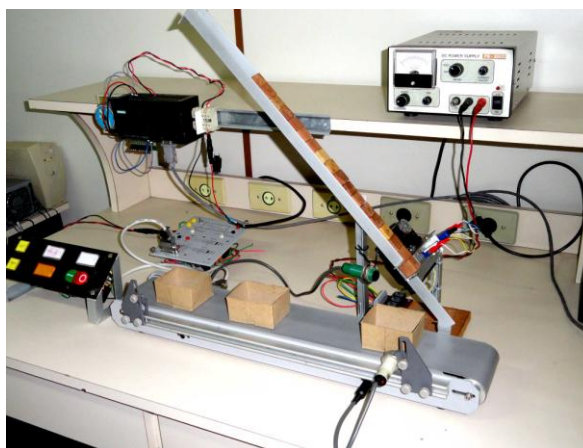


Figura 1 - Fotografia com a vista geral da maquete do sistema de enchimento automático de caixas.

Alimentador de peças

O alimentador de peças consiste de um depósito com capacidade para 22 peças de madeira em formato cúbico de 2 cm de aresta e um empurrador de alumínio que ejeta horizontalmente cada peça com o movimento de avanço do empurrador, no recuo deste, uma nova peça é posicionada por gravidade para a posição de ejetar.

O empurrador é acionado por uma cremalheira que converte o movimento circular do motor de corrente contínua (CC), em movimento linear do empurrador. Este motor é comandado por três relés que fazem a interface com os sinais de atuação do CLP que ficam resumidos a dois: avanço e recuo do empurrador das peças.

Um came de alumínio fixada no empurrador é ajustado para acionar os fins de curso avançado e recuado, nos extremos do movimento deste. Estes sensores são dois fins de curso tipo pino com seus contatos ligados na posição normalmente aberto (NA).

Um sensor capacitivo é posicionado na saída das peças do alimentador para identificar a quantidade de peças que caem na caixa. Na Figura 2 pode-se ver com mais detalhe o empurrador das peças com seus respectivos fim de curso.

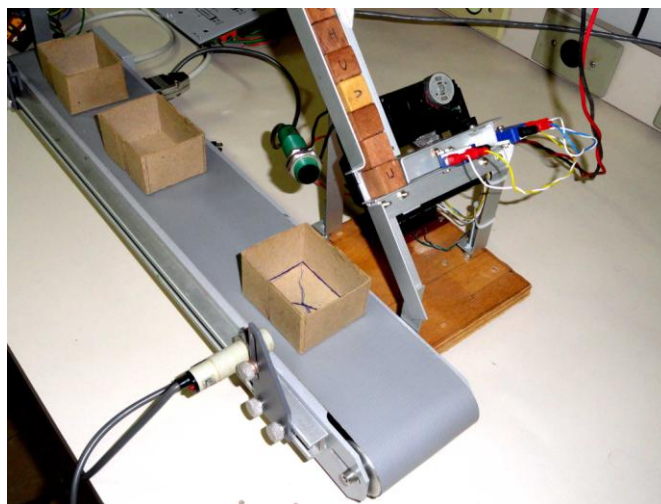


Figura 2 – Fotografia detalhada do empurrador e respectivos fim de curso.

Esteira rolante

A esteira, movida por um outro motor CC, transporta as caixas que serão alimentadas com as peças do depósito. Possui um sensor capacitivo posicionado no fim desta, na direção do alimentador, e que identifica quando a caixa está na posição correta para ser cheia.

Painel de comando

A maquete possui ainda um painel de comando que possui um botão para dar partida no processo e um botão para parar a sequência das ações.

O resumo desta descrição pode ser feito em uma tabela, onde os sinais de entrada e saída do CLP são determinados.

4.2. Descrição do funcionamento da maquete

Para o caso específico desta experiência, o processo de enchimento de caixas deverá ser feito da seguinte forma:

Ao se ligar o sistema, este deverá permanecer parado até que se pressione o botão de partida no painel de comando. Neste instante a esteira começa a girar, conduzindo as caixas que estão sobre ela, até que uma esteja na frente do alimentador, neste instante a esteira para, e então o alimentador é acionado quatro vezes, ejetando quatro peças para dentro da caixa. Depois que a caixa contenha quatro peças a esteira volta a girar até que outra caixa esteja na frente do alimentador, e assim o processo se repete até que seja pressionado o botão de parar.

A descrição da maquete e de seu funcionamento é praticamente o enunciado dos objetivos que se pretendem alcançar nesta experiência.



5. REALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

Uma vez conhecido o processo, inicia-se o projeto da automação deste. Nesta experiência o aluno tem a oportunidade de montar, programar o controlador, testar e documentar o sistema de enchimento automático de caixas. A semelhança com um processo industrial real é muito grande, a menos das dimensões dos equipamentos e valores de tensões e correntes envolvidos na energização do processo.

A seguir são apresentados os passos de realização desta experiência.

5.1. Montagem dos circuitos de comando da maquete

Antes de começar a programar o controlador, devem ser conectados os circuitos de comando do alimentador, esteira e painel de comando ao CLP. A Tabela 1 apresenta os endereços no controlador correspondentes aos componentes da maquete de enchimento automático. Para iniciar a programação é necessário que as entradas e saídas do CLP estejam bem definidas e que o circuito esteja montado corretamente, inclusive antes de executar o programa é recomendável que se teste estas entradas e saídas para evitar transtornos futuros.

Tabela 1- Símbolos e endereços de entradas e saídas do CLP.

Símbolo	Endereço	Comentário
B1	I0.0	Botão de partida NA
B2	I0.1	Botão de parada NF
SC1	I0.2	Sensor capacitivo de caixa NA
SC2	I0.5	Sensor capacitivo de peça NA
FC1	I0.3	Fim de curso recuado NA
FC2	I0.4	Fim de curso avançado NA
M1	Q0.0	Motor da esteira
M2	Q0.1	Alimentador avanço
M3	Q0.2	Alimentador recuo

Definidas as entradas (I0.0 a I0.5) e saídas (Q0.0 a Q0.2) do CLP, foram feitas as ligações dos componentes da maquete seguindo o esquema de ligação da Figura 3.

Neste experimento foi utilizado um CLP Siemens S7-200 cpu 212, com 8 entradas digitais 24V, e com 6 saídas em relé. O *software* de programação utilizado foi o Step7-Micro/Win.

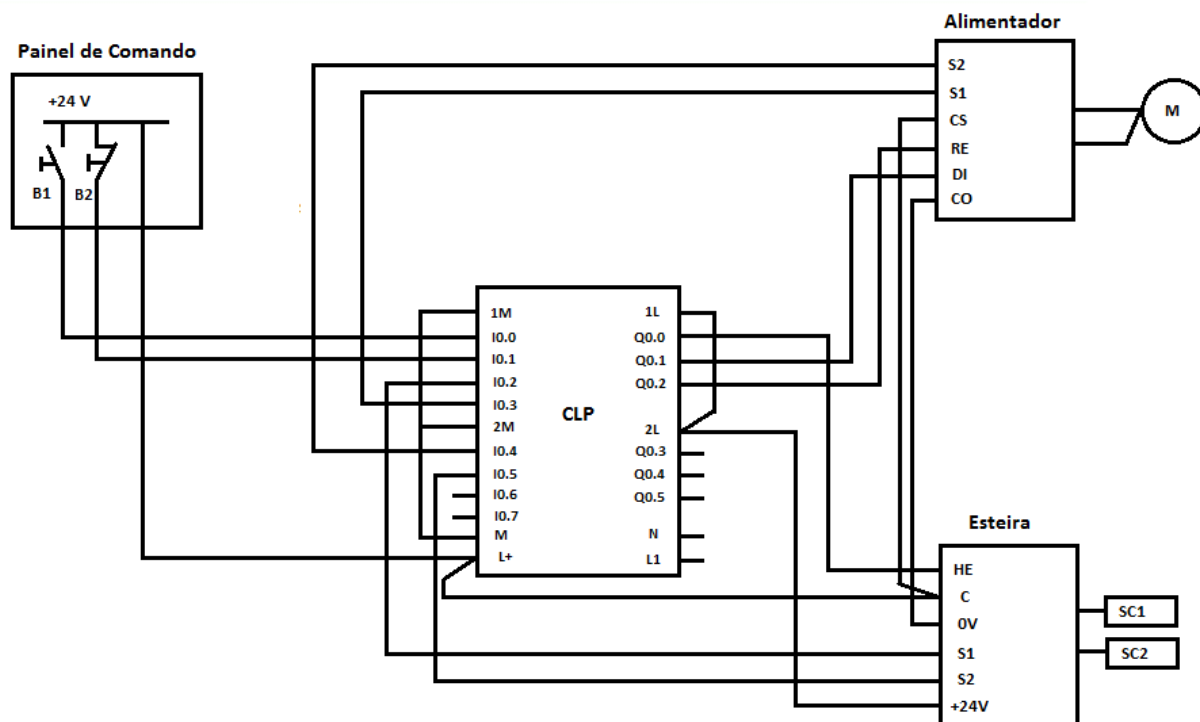


Figura 3 – Esquema de ligações da maquete no CLP.

5.2. Programa de comando proposto

Feitos os passos de identificação de entradas e saídas, e ligação no CLP então se pode começar a desenvolver o programa em SFC. Para isto deve-se considerar o estado inicial da maquete, o que deve ocorrer ao ligar o controlador, as demais etapas do processo e quais as condições de transição entre cada etapa. A Figura 4 representa a solução em SFC encontrada para automatizar a maquete de enchimento de caixas.

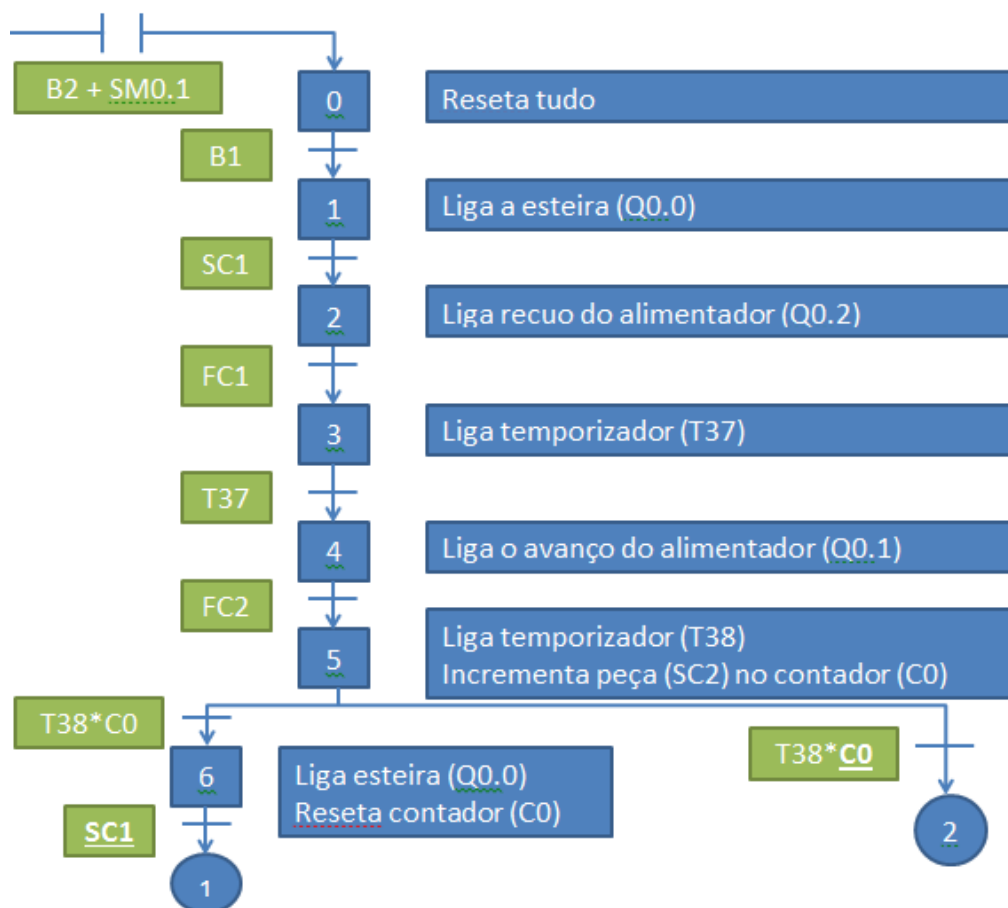


Figura 4 – Solução em SFC para funcionamento da maquete.

Ao ligar o CLP, um bit da memória especial (SM0.1) que fica em nível alto durante o primeiro ciclo de varredura do CLP é responsável por iniciar o processo, ativando a etapa 0 do programa. Na etapa 0, o CLP reseta qualquer outra etapa que possa estar acionada deixando a maquete na condição inicial de acionamento. A condição de transição da etapa 0 para etapa 1 é o botão de Partida B1.

Uma vez na etapa 1 ocorre a ação de ligar a esteira que transporta as caixas, quando uma caixa chega na parte final da esteira e aciona o sensor capacitivo de caixa SC1, a esteira para, indo agora para a etapa 2.

Na etapa 2, com a esteira parada, o empurrador do alimentador recua e aciona o fim de curso FC1, passando então para a etapa 3.

Nesta etapa se inicia um temporizador para que haja tempo suficiente da peça cair na posição em que possa ser empurrada, terminado este tempo, a saída do temporizador T37 é a condição de transição para a etapa 4.

Na etapa 4 se liga o avanço do alimentador, com o alimentador avançado, o fim de curso FC2 é acionado passando-se para a etapa 5.

Nesta etapa se liga o temporizador T38 para evitar um retorno instantâneo, e o sensor SC2 incrementa o contador em uma unidade indicando que uma peça caiu na caixa.

Neste ponto do programa, ou seja, na etapa 5, temos duas condições de transição que podem ocorrer alternativamente:



a) Se o contador C0 alcançou o limite de 4 peças e o temporizador T38 atingiu seu limite, então o programa indica que deve ir para a etapa 6 que faz com que a esteira ligue e o contador seja resetado e quando a caixa que está cheia sair da frente do sensor SC1, ou seja o valor do sinal SC1 for igual a zero então esta condição faz com que a etapa 1 seja ativada.

b) Se o contador C0 ainda não alcançou o seu limite (4 peças) e o temporizador T38 atingiu seu limite de tempo, então o programa retorna para a etapa 2 repetindo os mesmos passos a partir daí.

Outra condição para que o processo vá para a etapa 0, além da condição que ocorre ao ligar o CLP, é o acionamento do botão de Parada B2.

Ressaltando que todas as ações neste programa são definidas como normal (N), ou seja, a ação é executada enquanto a etapa estiver ativa. Neste caso, quando o sistema passar para a próxima etapa, as ações da etapa anterior são automaticamente desativadas.

Para se programar este diagrama em um CLP S7-200 cpu 212 utilizando o *software* Step7-Micro/Win, deve-se traduzir esta linguagem para *Ladder*. Para isto existem algumas técnicas de tradução que devem ser seguidas. Basicamente, a estrutura do programa se apresenta da seguinte forma: as transições das etapas são descritas inicialmente através de memórias *set* e *reset* responsáveis por acionar uma etapa e desativar a anterior, segundo as condições de transições. A segunda parte do programa consiste na descrição do acionamento dos temporizadores e contadores, e por fim as saídas que são acionadas nas respectivas etapas (SIEMENS 2000).

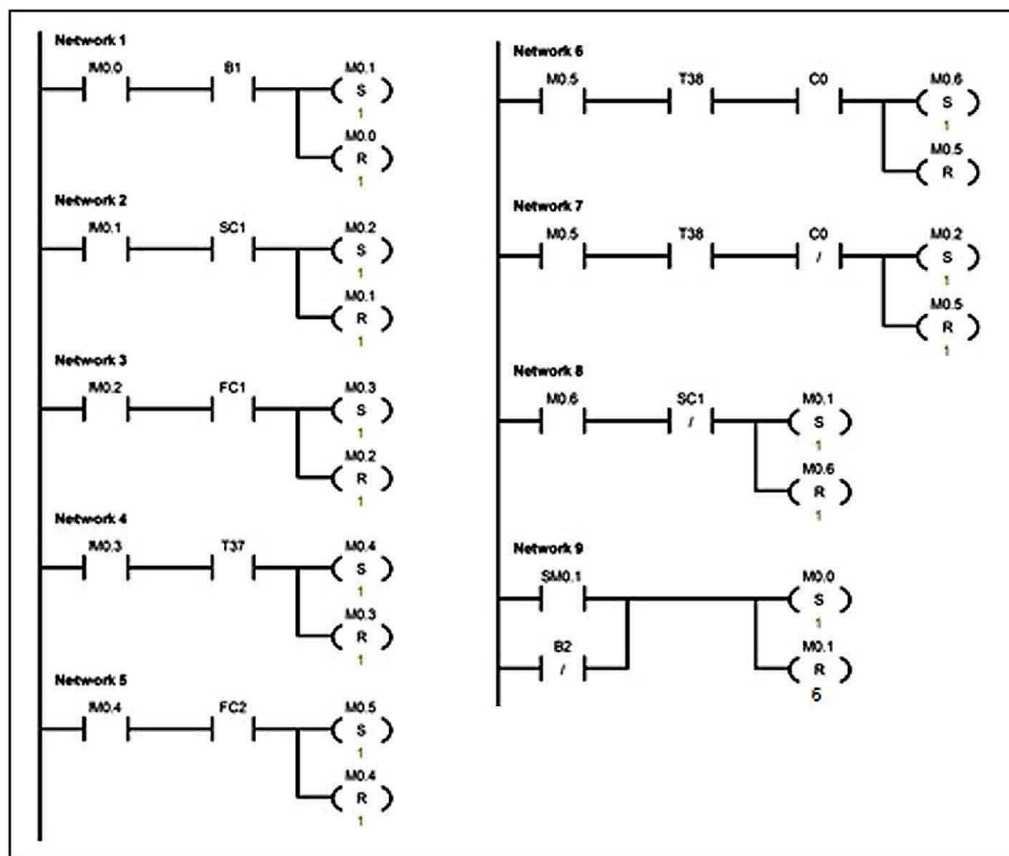


Figura 5 – Tradução das transições das etapas do SFC para *Ladder*.



Na Figura 5 é apresentada a primeira parte do programa em *Ladder*, representando a transição das etapas na sequência apresentada no gráfico do programa SFC que realiza a automação conforme planejado.

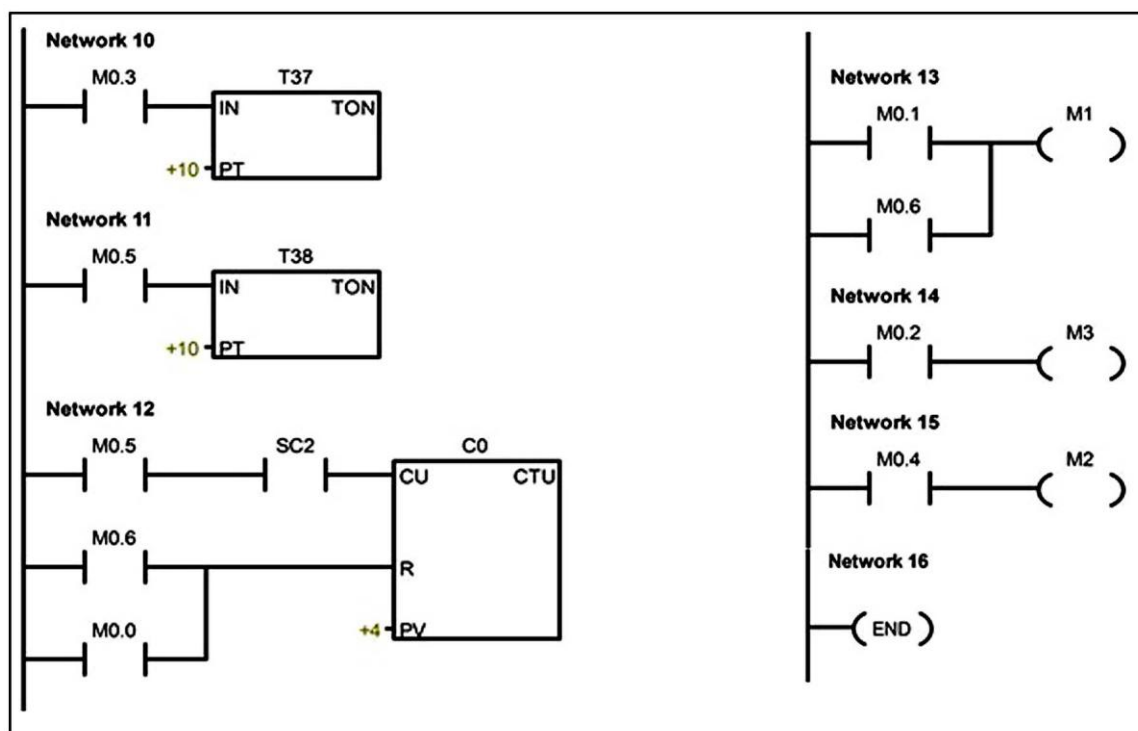


Figura 6 – Temporizados, contadores e saídas que ocorrem nas devidas etapas.

Na Figura 6 está a segunda parte da tradução do programa escrito em SFC para Ladder, Nesta parte as ações são ativadas nas respectivas etapas. Os temporizadores são utilizados para permitir que a peça se posicione para ser ejetada. O contador é incrementado pela etapa 5 e o sensor de peças, e é desligado pela etapa 6 ou pela etapa 0. E por fim, as saídas do tipo “normal”, as quais são ativas enquanto a etapa estiver ativa.

5.3. Teste e avaliação dos resultados

Através do teste do funcionamento do sistema de enchimento de caixas, o aluno tem a oportunidade de se deparar com problemas que impedem o devido funcionamento do sistema, para resolvê-los é necessário analisar montagem e programação realizadas, e um dos problemas observados foi o tempo de atuação do alimentador que era menor que o tempo suficiente para que a peça caia na posição de ejeção, problema que foi solucionado com a inserção do temporizador.

Outro problema encontrado foi nas engrenagens responsáveis por transmitir movimento ao empurrador, o eixo de uma das engrenagens se desprendia da maquete, talvez pelo impacto do movimento do empurrador e/ou pela ação da gravidade, já que a placa com o motor o jogo de engrenagens fica inclinada e conseqüentemente travava impedindo a ação do mesmo. Uma solução para este problema seria a troca do eixo por outro no formato de um prego ou rebite com uma “cabeça” para evitar que o eixo se desloque.



Exceto as situações citadas, o programa funcionou e o controlador executou todas as tarefas propostas para esta maquete.

6. CONCLUSÕES

A simulação do desempenho de uma máquina real através da maquete didática de um sistema de enchimento de caixas automático, requer um conhecimento amplo envolvendo a dinâmica do sistema e o desenvolvimento do programa a ser implementado, além de desenvolver no aluno a capacidade de solucionar problemas decorrentes do funcionamento do sistema.

Só o fato de o aluno poder visualizar o funcionamento de uma máquina cuja programação e controle foram feitos por ele próprio, identificar problemas que normalmente ocorrem durante o teste do programa, e encontrar soluções para estes, produzindo um programa mais eficiente, amplia seu campo de conhecimento, tornando o processo ensino-aprendizagem mais eficaz na formação de um futuro engenheiro.

6.1. Propostas para trabalhos futuros

O programa criado para a maquete não é a única solução possível, pelo contrário, há outras situações que podem ser implementadas, tais como:

No caso de falta de peças o alimentador poderia parar e esperar um novo comando de acionamento após o magazine ser cheio.

Após algum tempo sem caixas na esteira, esta poderia parar e aguardar um novo comando de partida do processo.

Um alarme poderia indicar qualquer tipo de falha, por exemplo: se o mecanismo do alimentador de peças travar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GEVARD B., SOUZA, F. J., SANTOS, D. DOS, SCHMIDT, E. R., BIDESE, E. P., BELOTTO, T. L., RONSONI, C. L.. Pesquisa e desenvolvimento de uma célula flexível de manufatura (FMS) didática. **Caderno de Publicações Acadêmicas**, Florianópolis, v.1, n.1, p.127-133 ,2009.

PLCopen. **Introduction into IEC 61131-3 programming languages**. Disponível em: <http://www.plcopen.org/pages/tc1_standards/iec_61131_3/> Acesso em: 01 maio 2012.

PRUDENTE, Francisco. Automação industrial – PLC: Teoria e aplicação. In: Utilização do SFC no comando automático, :Ed. LTC, 2007. p.[219]-229.

SIEMENS AG Automation and Drives. Two Hour Primer, Edition 01/2000 Nuremberg, 74p, il.



DIDATIC MODEL OF AUTOMATIC FILLING BOXES TO TEACHING-LEARNING OF PROGRAMMING SEQUENTIALS ACTIONS (SFC) IN THE STANDARDS IEC 61131-3

***Abstract:** This document presents the analysis, development and results of a practice experience on the laboratory, programming teaching, using a model automatic filling boxes with a determinate number of pieces, fulfilled on Automation Laboratory from IFPA campus Belém. Previously to experience assembly was done researches about the programming languages SFC (GRAFCET) and Ladder as well as, standards that rule it, IEC 61131-3. Also was done detailed research of model mechanism, and so development a program SFC that, in spite of can be to get better, run perfectly on process control proposed. Emphasizing the importance of fulfilled of the same on teaching-learning process in the discipline Programmable Logic Controllers (PLC) of the Control and Automation Engineering course.*

***Key-words:** PLC, SFC, GRAFCET, Ladder*