



**COBENGE 2005**

**XXXIII - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**

"Promovendo e valorizando a engenharia em um cenário de constantes mudanças"

12 a 15 de setembro - Campina Grande - Pb

Promoção/Organização: ABENGE/UFCEG-UFPE

## **AUTOMAÇÃO DE UM PROTÓTIPO EDUCATIVO DE UMA ESTEIRA COM FORNO**

**Igor S. Bastos** – isbastos@hotmail.com

Universidade Federal de Campina Grande,

Departamento de Engenharia Elétrica

Campus de Campina Grande,

58012-102 – Campina Grande – PB

**João B. M. Santos** – eletronicajb@gmail.com

**Péricles R. Barros, Ph.D** – prbarros@dee.ufcg.edu.br

**Simões S. de Toledo** – simoesst@yahoo.com.br

***Resumo:** O projeto consiste no desenvolvimento de um protótipo didático baseado na automação de um sistema constituído por uma esteira, um motor CC, um forno, um ventilador, três sensores de posição, um sensor de temperatura e um sensor de velocidade. Nesse sistema, os produtos entram um por vez na esteira, e cada um com sua temperatura de aquecimento. Este produto permanecerá no forno por um tempo ajustado pelo usuário. No momento que o produto tenha sido escolhido, este só deixará a esteira quando seu nível de temperatura tiver sido atingido. Um importante aspecto desse projeto está no fato da temperatura no forno ser controlada por um regulador PID, executado no CLP S7-300 da Siemens.*

***Palavras-chave:** Controlador lógico programável, linguagem LADDER, S7-300, Automação industrial.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Automação é o conjunto das técnicas baseadas em máquinas e programas com objetivo de executar tarefas previamente programadas pelo homem e de controlar seqüências de operações sem a intervenção humana. Através de intertravamentos (seqüências de programação) do sistema, o usuário consegue maximizar com qualidade e precisão seus processos produtivos, controlando assim, variáveis diversas (temperatura, pressão e nível, por exemplo) e gerenciando a distância toda a cadeia produtiva. Ela influencia diretamente um processo industrial, seja uma simples monitoração de variáveis (exemplo: temperatura de um tanque ou pressão de uma linha de gás) ou um controle sofisticado do processo (exemplo: abertura e fechamento de válvulas proporcionais remotamente), STENERSON (1999).

Nesse protótipo didático os alunos de graduação podem colocar em prática o que é visto em teoria nas salas de aula e os pesquisadores podem avaliar algoritmos em situações práticas.

A seguir serão apresentados alguns conceitos básicos sobre os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), seguido de informações sobre o CLP S7-300 e respectiva programação. Foi destinada uma seção sobre a implementação do protótipo didático e como o S7-300 foi útil para tal aplicação, além de apontar a utilização deste *kit* como ferramenta adicional ao ensino de graduação do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCEG).

## 2. INTRODUÇÃO AOS CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS

O objetivo inicial do projeto de desenvolvimento do primeiro controlador programável era eliminar o alto custo associado com os sistemas controlados a relés. Para esse desenvolvimento foram especificadas algumas características que o sistema deveria possuir, tais como:

- Flexibilidade de um computador;
- Suportar o ambiente industrial;
- Facilidade de programação;
- Manutenção facilitada;
- Permite expansão.

A NEMA – National Electrical Manufacturers Association definiu, em 1978, um padrão para controladores programáveis como sendo: “Um pequeno aparelho eletrônico digital que usa uma memória programável para armazenamento interno de instruções para implementar a funções específicas tais como lógica, seqüenciamento, temporização, contagem e operações aritméticas para controlar máquinas ou processos através de módulos de entradas/saídas analógicos ou digitais”.

Os primeiros controladores possuíam baixa capacidade de processamento, isto restringia suas aplicações a algumas máquinas e pequenos processos. Com a introdução da tecnologia de microprocessadores, os controladores passaram a ter uma grande capacidade de processamento e alta flexibilidade de programação e expansão, além da capacidade de operar com números, capacidade de comunicação com computadores, aquisição e manipulação de dados, aumento na capacidade de memória e de entradas e saídas, BERGER (2001).

Atualmente, existem vários tipos de controladores, desde pequena capacidade até os mais sofisticados, realizando operações que antes eram consideradas específicas para computadores.

A obtenção das tarefas desejadas por parte do CLP passa pelo desenvolvimento do programa a ser transferido para sua memória, o qual será produzido através de uma linguagem específica para controladores.

Uma linguagem de programação bastante popular é a linguagem de relés, conhecida como linguagem LADDER. Esta foi a primeira a ser utilizada por fabricantes, pois permite um entendimento rápido das instruções de controle. Esta linguagem é baseada nas representações gráficas vindas do diagrama eletromecânico, sendo o relé como elemento principal, STENERSON (1999).

### 2.1 Estrutura básica dos CLPs.

Um controlador programável, independente do tamanho, custo ou complexidade, consiste de cinco elementos básicos:

- Processador;
- Memória;
- Sistema de entradas/saídas;
- Fonte de alimentação;
- Terminal de programação.



**Figura 1 : Estrutura básica de um CLP**

As três partes principais (processador, memória e fonte de alimentação) foram o que chamamos de CPU – Unidade Central de Processamento, como segue na Figura 1.

O processador executa o programa do usuário armazenado na memória, recebendo dados de entrada de vários dispositivos, e enviando dados de saída para comandar os dispositivos de controle. Este processo de leitura das entradas, execução do programa e controle das saídas é chamado de ciclo de varredura.

O sistema de entrada/saída forma a interface pelas quais os dispositivos de campo são conectados ao controlador. Esses dispositivos de campo podem ser sensores, botoeiras, lâmpadas sinalizadoras, e etc. O propósito desta interface é condicionar os vários sinais recebidos e enviar sinais de controle ao mundo externo.

Sinais provenientes de sensores tais como, chaves limites, sensores analógicos e chaves seletoras são conectados aos terminais dos módulos de entrada (Figura 1). Dispositivos que devem ser controlados, como válvulas solenóides, lâmpadas sinalizadoras e outros, são conectados aos terminais dos módulos de saída (Figura 1).

A fonte de alimentação fornece todas as tensões necessárias para a devida operação do CLP e da interface dos módulos de entrada e saída.

O CLP tem uma forma particular de trabalhar que caracteriza o seu funcionamento. O controlador opera executando uma seqüência de atividades definidas e controladas pelo programa desenvolvido por um programador. Este modo de operação ocorre de acordo com o Ciclo de Varredura (Figura 2), que consiste em:

- Leitura das entradas externas;
- Execução da lógica programada;
- Atualização das saídas externas.

Na fase de leitura das entradas, o processador endereça o sistema de E/S, obtém os estados dos dispositivos que estão conectados, e armazena estas informações na forma de bits “1” ou “0”, dependendo do estado obtido. A região da memória utilizada para armazenar estas informações é chamada de Tabela de Imagem das Entradas.

Na fase de execução da lógica programada pelo usuário, a CPU consulta a Tabela de Imagem de Entrada para obter os estados dos dispositivos. Nesta fase, os resultados das lógicas programadas cujas saídas tenham um ponto correspondente no módulo de saída são armazenados em uma área de memória que é chamada de Tabela de Imagem das Saídas.

Na fase de atualização de saídas, a CPU executa uma varredura na Tabela de Imagem das Saídas e atualiza as saídas externas, endereçando o sistema de E/S para atualizar o estado dos dispositivos externos de acordo com o resultado da lógica programada. A seguir, o ciclo é reiniciado e a operação continua enquanto se mantém o controlador no modo de execução.



**Figura 2 : Ciclo de Varredura**

## 2.2 Vantagens do uso de CLPs

O rápido desenvolvimento e crescimento da competição fizeram o custo do controlador programável cair significativamente, a ponto de que o estudo de CLPs versus relés, no ponto de vista de custo, não ser mais válido. As características, descritas abaixo, mostram as vantagens do uso de CLPs:

- Flexibilidade de mudanças na lógica de controle;
- Alta confiabilidade;
- Espaço físico pequeno;
- Expansão de entradas e saídas;
- Modificações rápidas;
- Lógicas similares em várias máquinas;
- Comunicação com computadores em níveis superiores.

## 3. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL SIMATIC S7-300

O S7-300 é um sistema modular amplamente utilizado em aplicações centralizadas ou distribuídas de pequeno a médio porte.

Com uma arquitetura modular o SIMATIC S7-300 provê economia de espaço, flexibilidade de configuração e rápida expansão. O CLP S7-300 não necessita de racks com números predefinidos de slots para ser montado, o conjunto de módulos é encaixado e aparafusado sobre um trilho padrão, os módulos são interligados uns aos outros através de um conector modular que fica embutido no trilho.

### 3.1 Características funcionais

Um amplo espectro de CPU's (Unidade Central de Processamento) estão disponíveis para aplicações simples ou aplicações de grande performance. As CPU's possibilitam curtos tempos de ciclo, até 1µs. Para algumas tarefas especiais, existem CPU's Compactas com I/O's, funções tecnológicas e interfaces de comunicação já integradas.

A grande diversidade de módulos de expansão permite a adaptação da configuração para qualquer tipo de aplicação.

A CPU utilizada no projeto foi a CPU 315-2DP e os módulos de E/S utilizados foram:

- 1 módulo digital de entrada (24Vdc, 16 entradas);
- 1 módulo digital de saída (24Vdc, 16 saídas);
- 1 módulo analógico de entrada (24Vdc, 8 entradas);
- 1 módulo analógico de saída (24Vdc, 8 saídas).

A comunicação entre o CLP e o microcomputador é realizada serialmente através do protocolo RS-232. O microcomputador tem como única função interligar o controlador ao software de desenvolvimento do programa e parametrização do hardware.

### **3.2 Ambiente de programação**

O software utilizado para programação e configuração do SIMATIC S7-300 é o STEP7 fornecido pela Siemens, Manual SIEMENS.

O STEP7 tem como algumas funções: criação e transferência de programas aos CLPs; configuração e administração do projetos; testes e detecção de possíveis problemas nas plantas, BERGER (2001).

O pacote básico de funções pode ser expandido através da instalação de novos pacotes que adicionam funcionalidades específicas à determinada aplicação.

Como qualquer computador, o processador do CLP opera com uma série de instruções e dados codificados em forma de números binários; esse código é conhecido como código-objeto. Porém a realização de programas diretamente em código-objeto é inadequada, devido à dificuldade de lembrar a instrução que cada número representa, além de haver uma grande possibilidade de errar ao digitar-se um programa constituído por números e muita dificuldade para encontrar os erros, caso o programa não execute as ações desejadas.

Por essa razão, nasceram as linguagens de programação, que permitem ao programador editar o programa utilizando sentenças e estruturas escritas em forma bem mais próxima da sua linguagem cotidiana e que representam melhor a ação a ser executada. Três linguagens de programação são suportadas: LADDER (LAD), Function Block Diagram (FBD), Statement List (STL). Devido a sua maior simplicidade de entendimento e clareza de programação, a linguagem escolhida foi a LADDER, Manual SIEMENS.

Esta ferramenta de programação e configuração é bastante poderosa e complexa, pois sendo geral, reúne informações irrelevantes para alguns projetos, mas que não podem ser deixadas de lado quando for feita a parametrização de hardware do Controlador Lógico Programável escolhido.

## **4. O PROTÓTIPO DIDÁTICO**

Toda a estrutura mecânica foi desenvolvida no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, com a finalidade de ser usado como um experimento em aulas práticas das disciplinas do curso de graduação de Engenharia Elétrica, e mais especificamente, ênfase em Automação e Controle.

### **4.1 Montagem**

O sistema é constituído de:

- CLP S7-300 da Siemens e os seguintes módulos de entrada/saída;

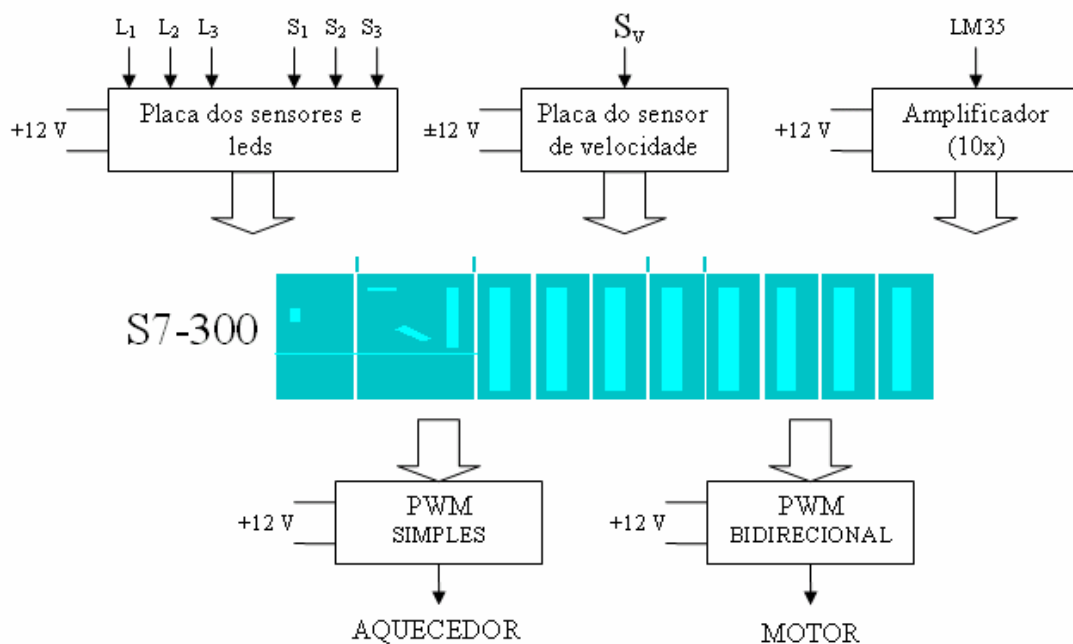
- Módulo de entrada digital SM 321 16xDC24V (6ES7 321-7BH00-0AB0);
- Módulo de saída digital SM 322 16x (6ES7 322-1HH00-0AA0);
- Módulo de entrada analógica SM 331 8x12Bit (6ES7 331-7KF01-0AB0);
- Módulo de saída analógica SM 332 4x12Bit (6ES7 332-5HD01-0AB0);
- Módulo de esteira com motor CC de 12 V;
- 3 sensores de presença fotoelétricos;
- 1 sensor de temperatura (LM35);
- Forno constituído de três resistores de 1 Ohm cada;
- Ventilador;
- Placa de aquisição dos sensores de presença;
- Placa para amplificar (10x) o sinal do sensor de temperatura;
- Módulo de PWM unidirecional para o aquecedor;
- Módulo de PWM bidirecional para o motor.

O projeto foi iniciado apenas com o módulo da esteira e o motor CC. Em seguida foram instalados os sensores de presença e as placas de aquisição, necessárias ao envio dos sinais digitais (0 e 24V) ao módulo de entrada digital. Do mesmo modo, foi adicionado o sensor de temperatura e a placa de amplificação, necessária ao envio do sinal na escala correta para o módulo de entrada analógica.

Por necessitarem de maior potência, o aquecedor e o motor CC são controlados por módulos de PWM, unidirecional e bidirecional respectivamente. O sinal de controle desses módulos é obtido do módulo de saída analógica.

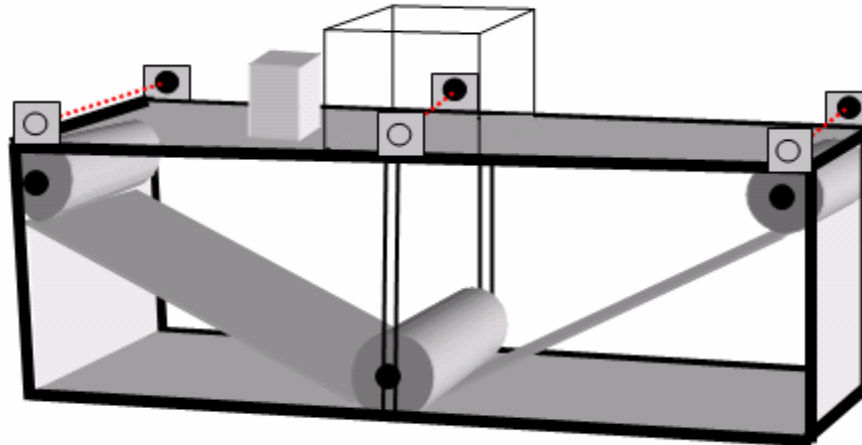
Por último, foi instalado o ventilador, controlado pelo módulo de saída digital. Ele foi necessário, pois o sistema estava respondendo de forma muito lenta à troca dos setpoints de temperatura, ou seja, de diferentes níveis de temperatura.

Na Figura 3 segue um diagrama que ajuda a entender como são feitas as ligações entre os componentes da planta e o S7-300 da Siemens.



**Figura 3 : Diagrama de Ligações entre a Planta e o CLP**

Na Figura 4 segue um esquema do protótipo desenvolvido. Nas extremidades e no centro estão localizados os sensores de presença fotoelétricos. O forno foi representado por uma região central determinada pelas arestas da figura geométrica em preto. O produto a ser colocado na esteira foi representado pela figura geométrica posicionada numa posição aleatória sobre a esteira de cor cinza.



**Figura 4 : Esquema do Protótipo**

#### **4.2 Princípio de funcionamento**

O objetivo principal desse projeto é o aquecimento de um produto colocado na esteira ajustando-se cada valor de referência de temperatura.

O processo a ser controlado envia informações ao CLP através dos sensores de presença fotoelétricos e do sensor de temperatura, o qual tem a função de recebê-las e processá-las em correspondência à lógica armazenada na memória. Após receber os sinais, o controlador lógico programável executa as operações de comando ao processo. O CLP recebe como entrada quatro sinais: três dos sensores de presença e um do sensor de temperatura. Como saída, o controlador liga/desliga o motor DC que move a esteira, liga/desliga o ventilador e fornece entrada a um circuito PWM através de uma saída dos módulos analógicos proporcionando mais/menos potência ao conjunto de resistores que aquecem o forno.

Dois sensores de presença são posicionados nas extremidades da esteira, enquanto o terceiro é colocado no interior do forno, como se pode visualizar na Figura 4. O sensor de temperatura é colocado no interior do forno, juntamente com os resistores, para que a medição seja a mais fiel possível.

Quando o produto entra na esteira, este espera até que o forno atinja o nível de temperatura de pré-aquecimento, neste momento, o motor é acionado e o produto é levado para que seja pré-aquecido. Com esta primeira fase concluída, o produto segue à outra extremidade da esteira, permanecendo lá até que a temperatura final de aquecimento seja atingida e, assim, volte ao forno para que seja plenamente aquecido.

O tempo de permanência do produto no interior do forno é ajustado pelo operador.

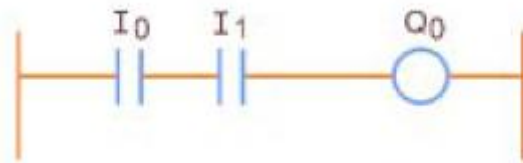
#### **4.3 Programa LADDER**

Na Figura 5 segue um exemplo de programa em linguagem LADDER. As barras paralelas mostradas na figura representam relés, que nos CLPs são chaves endereçadas através do STEP 7 de acordo com o tipo de módulo usado (digital, analógico), PAZOS (2002).

O diagrama de contatos de um programa realizado em linguagem LADDER consiste em um desenho formado por duas linhas verticais, que representam os pólos positivo e negativo de uma bateria ou fonte de alimentação genérica.

Estes contatos podem ser do tipo normalmente aberto (NA) ou normalmente fechado (NF). Os contatos  $I_0$ ,  $I_1$  são do tipo NA. O contato  $Q_0$  representa um dispositivo de saída que será dependente das entradas dessa mesma rede.

Os contatos  $I_0$ ,  $I_1$  e  $Q_0$  representam dispositivos conectados ao CLP, assim qualquer alteração em seus estados, alterará também os dispositivos que eles representam.



**Figura 5 : Exemplo da linguagem de programação LADDER**

O exemplo da Figura 5 implementa a função lógica AND, ou seja, a saída  $Q_0$  só será ativada quando as duas entradas,  $I_0$  e  $I_1$ , estiverem ativas. A tabela verdade segue na “Tabela 1.

**Tabela 1 : Tabela verdade da função lógica AND**

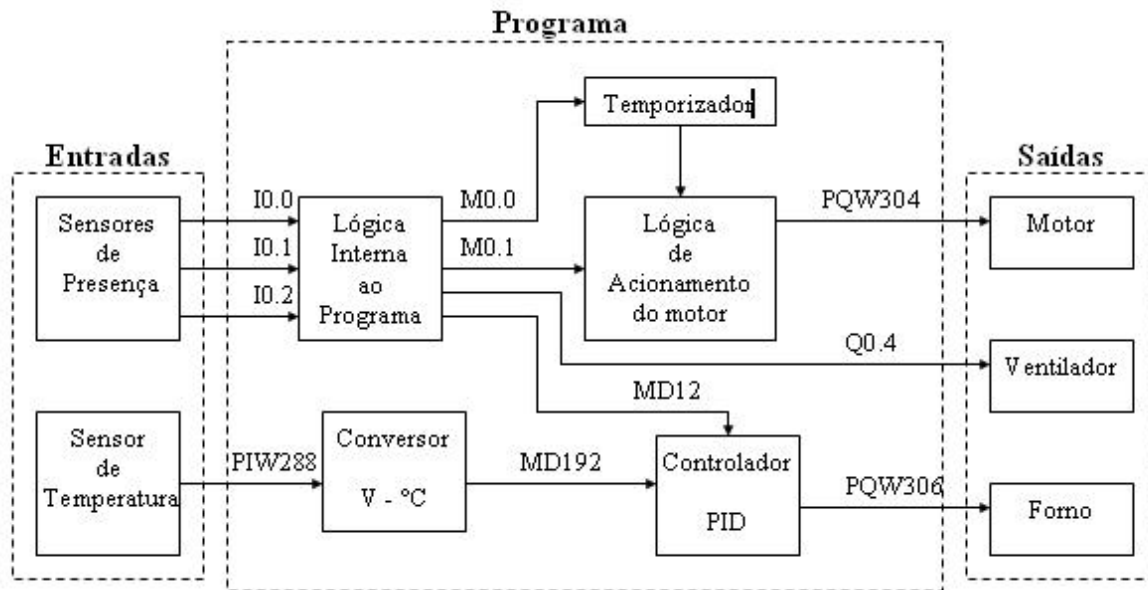
| $I_0$ | $I_1$ | $Q_0$ |
|-------|-------|-------|
| 0     | 0     | 0     |
| 0     | 1     | 0     |
| 1     | 0     | 0     |
| 1     | 1     | 1     |

Na Figura 6 segue o diagrama de blocos do programa desenvolvido para o controle do protótipo.

Neste programa pode-se observar a existência de variáveis nomeadas pela letra M. Essas variáveis não estão associadas a nenhum dispositivo conectado ao CLP, ou seja, estas são variáveis auxiliares internas ao processador, PAZOS (2002).

Assim a mudança de estado dessas variáveis não significará, de forma direta, a mudança de estado dos dispositivos de entrada/saída conectados ao CLP.





**Figura 6 : Diagrama de blocos do programa LADDER**

Os blocos internos as regiões de entrada e saída são os dispositivos externos conectados ao CLP. Há três sensores de presença internos ao bloco sensores de presença e estes estão associados aos endereços do módulo de entrada digital IO.0, IO.1, IO.2 como pode-se visualizar na Figura 6. Interno ao bloco sensor temperatura está o componente LM35, responsável por indicar um valor de tensão correspondente à temperatura sobre ele; sendo este associado ao endereço PIW288 do módulo de entrada analógico.

O bloco conversor V-°C converte tensão em temperatura e fornece este nível de temperatura como entrada para o bloco controlador PID através de a variável auxiliar MD192. O bloco controlador PID tem ainda como entrada outro nível de temperatura ajustado pelo operador através do programa e, armazenado na variável auxiliar MD12.

O bloco lógica interna ao programa fornece ao usuário a escolha do nível de temperatura e aciona o temporizador, o bloco de acionamento do motor e o ventilador. Este último foi adicionado pra que a temperatura seja reduzida de forma mais rápida. O bloco temporizador armazena o tempo ajustado para permanência do produto no interior do forno.

O bloco lógica de acionamento do motor é o responsável por acionar o motor no sentido correto de locomoção do produto na esteira, ou seja, direita ou esquerda. Este recebe duas entradas armazenadas em variáveis auxiliares, a M0.1 informa o local onde o objeto está posicionado através dos sensores de presença para que dessa forma o motor seja acionado no sentido correto, enquanto a entrada M0.0 aciona o temporizador caso o objeto alcance o forno e durante o tempo escolhido o motor permanece desligado, porém quando este tempo é atingido o bloco envia um sinal para que o motor seja acionado novamente.

#### **4.4 Uso do protótipo no ensino de graduação**

Esse projeto será incorporado, a princípio, na disciplina de graduação de Sistemas de Automação Industrial da ênfase de Automação e Controle e Eletrônica do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como um experimento destinado à melhoria no aprendizado dos CLPs.

No momento não há contato na prática (apenas demonstrações), por parte dos alunos da disciplina, com qualquer controlador lógico programável, dificultando a absorção dos

conceitos e rendimento final no assunto. As aulas atualmente são expositivas e com uso do laboratório, mas apenas com caráter demonstrativo, pois não existem experimentos desenvolvidos para tal.

Esse será o primeiro de uma série de experimentos que estão sendo preparados com a finalidade de melhorar o aprendizado nessa disciplina, dando ao aluno uma visão prática do assunto. Além de experimentos voltados para o aprendizado dos CLPs serão desenvolvidos outros, como por exemplo, voltados para os microcontroladores.

Como materiais auxiliares estão sendo preparados um curso sobre CLP (a ser ministrado pelos autores) e uma apostila impressa para aprofundamento.

Através deste protótipo os alunos terão contato direto com os Controladores Lógico Programáveis (CLPs), seus princípios, funcionamento, programação e aplicação, além de verificarem e desenvolverem um controlador PID usando o CLP.

A importância fundamental desse projeto se dá no desenvolvimento prático de projetos em Automação Industrial usando Controladores Lógicos Programáveis, despertando nos alunos o interesse pela área.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo foi descrito o desenvolvimento de um protótipo educativo de controle utilizando uma esteira e um forno. A automação deste protótipo foi possível através da utilização de um controlador lógico programável, S7-300 da Siemens.

Foi mostrado todo o processo de desenvolvimento, sendo exposta a implementação em hardware e explanação do software.

Atualmente este protótipo está passando por testes com alunos da graduação para que caso haja necessidade de melhorias, estas sejam feitas antes do início do semestre 2005.1, pois o protótipo será disponibilizado em forma de experimento à disciplina de Automação Industrial do curso de Engenharia Elétrica da UFCG.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

BERGER, H. **Automating with STEP7 in LAD and FBD**. Siemens, 2<sup>nd</sup> revised edition, 2001

PAZOS, F. **A Linguagem de Programação LADDER**. Mecatrônica Atual n° 5 p29-37, 2002.

STENERSON, J., **Fundamentals of Programmable Logic Controllers, Sensors, and Communications**, 2<sup>nd</sup> edition, Prentice Hall, 1999.

STEP 7, Configuring Hardware with. Manual SIEMENS.

STEP 7, Working with. Manual SIEMENS.

## AUTOMATION OF AN EDUCATIONAL PROTOTYPE OF A TRANSPORT BELT WITH OVEN

**Abstract:** *This project consists of the development of an educational prototype based on the automation of a system constituted by a transport belt, a DC motor, an oven, a fan, three position sensors, a temperature sensor and a speed sensor. In this system the products can be at the transport belt just one per time, and each one with its own temperature setpoint. This product will stay in the oven during a period set by the user. At the moment that a product*

*had been chosen, it will just leave the belt when its setpoint had been reached. An important aspect from the project is the fact that the oven's temperature is controlled by a PID controller, executed in the Siemens's PLC S7-300.*

**Key-words:** *Programmable logic controller, LADDER, S7-300, Industrial automation.*