

UTILIZAÇÃO DE CLP NO CONTROLE AUTOMÁTICO DE PROTÓTIPO DE SISTEMA DE ELEVADOR

Marcelo N. Moutinho

Universidade Federal do Pará (UFPA), Rua Augusto Corrêa, 01 Caixa Postal 479, 66075-110, Belém, PA, Brasil, marcmout@hotmail.com

Gustavo B. Furlan

Universidade Federal do Pará, gugabf@hotmail.com

Carlos T. C. Junior

Universidade Federal do Pará, cartav@ufpa.br

Orlando F. Silva

Universidade Federal do Pará, orfosi@ufpa.br

Resumo. Sistemas de elevação vertical de passageiros ou cargas são amplamente utilizados, não somente em ambientes industriais, mas também em vários outros lugares onde seja necessária a transposição segura dos pavimentos de uma edificação. A operação eficiente de tais sistemas requer alta robustez e confiabilidade não só dos equipamentos mecânicos utilizados neste processo, mas também nos dispositivos eletrônicos responsáveis pelo seu acionamento e controle. O Controlador Lógico Programável é um dispositivo que atende a essas características e por isso é potencialmente capaz de efetuar o controle deste tipo de sistema. Este trabalho tem por objetivo principal demonstrar a utilização de tais dispositivos no controle de um protótipo de sistema de elevador em escala reduzida.

Palavras-Chave: Automação, Controle Robusto.

1. INTRODUÇÃO

O controle do atendimento das chamadas de um sistema de elevador deve ser capaz de minimizar o lapso de tempo existente entre uma solicitação de uma chamada e seu efetivo atendimento. Para isso deve utilizar um algoritmo otimizado baseado em uma estratégia de tráfego pré-definida que atenda corretamente às chamadas. Essa estratégia será implementada em um Controlador Lógico Programável (CLP) (Georgini, 2000, Santos, W. E. e Silveira, P. R., 1998), que terá a função de controlar todo o sistema. O CLP utilizado neste trabalho foi o TP02-40MR da WEG (WEG, 2000).

Um sistema de elevador real é composto por diversos elementos destinados ao controle do movimento e a segurança no transporte vertical, de passageiros ou cargas, entre os pavimentos de uma edificação. Os componentes de um sistema de elevador básico estão ilustrados na Figura 1.

A operação do elevador é simples. Ao ser emitido um comando para o elevador (pressionando um botão de chamada nas botoeiras dos pavimentos ou no interior da cabine) é enviado um sinal para o painel de comando e controle e este, a partir da lógica pré-programada (estratégia de tráfego, velocidade e precisão nas paradas), determina o deslocamento do elevador, acionando adequadamente o motor CC. No piso da casa de máquinas é montado um dispositivo mecânico limitador de velocidade. Quando a velocidade da cabine excede um limite determinado, este dispositivo aciona mecanicamente o freio de segurança do elevador, desligando o motor acionador.

Equipamentos de segurança denominados pára-choques são utilizados para desacelerar a cabine quando em movimento de descida ou subida fora de seu percurso normal.

A máquina de tração é formada por um motor CC acoplado a uma caixa de redução mecânica. O contrapeso é utilizado para balancear o peso da cabine minimizando o torque requerido pela máquina de tração. Seu peso é geralmente 50% da capacidade de carga licenciada do elevador.

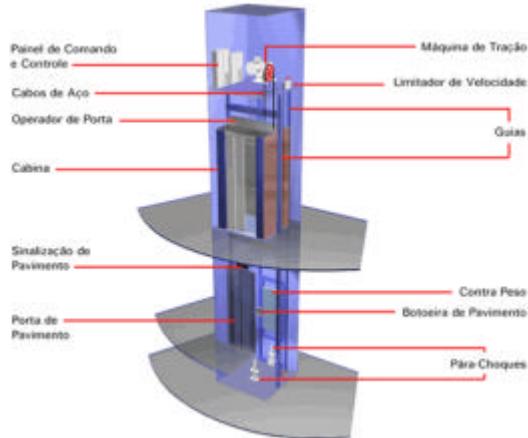


Figura 1. Sistema de Elevador Real.

2. MATERIAIS

Foi construído um protótipo simples, em escala reduzida, de um sistema de elevador, a fim de ilustrar uma estratégia de tráfego utilizada no atendimento às solicitações de chamada. Este protótipo foi montado no Laboratório de Controle e Sistemas (LACOS) da Universidade Federal do Pará (UFPA) e será utilizado em aulas práticas de disciplinas abrangendo sistemas de controle com CLPs.

Esse sistema é formado pelos seguintes componentes:

2.1. Máquina de Tração Circuito de Acionamento

Foi utilizado um motor de passo de imã permanente unipolar de quatro fases, com resistência aproximada de 20Ω por fase, alimentado com uma tensão de 15VCC. O circuito de controle deste motor, ilustrado na figura 2, foi baseado no circuito integrado UCN5804B (ALLEGRO, 2003).

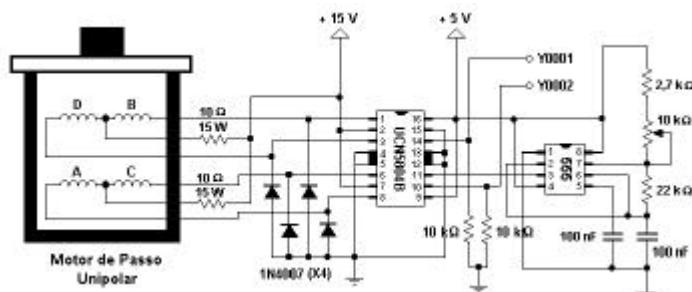


Figura 2. Circuito de Controle do Motor de Passo.

A escolha do modo de operação é feita pelo CLP através de sua saída Y0002, conectada ao pino 10 do UCN5804B. Se essa saída está ativada, o motor é acionado no modo de 1 fase ou *Full step* (AMS,

2002). Caso a saída esteja desenergizada, o modo selecionado será o de inibição de passo (ALLEGRO, 2003).

No modo de 1 fase, o eixo do motor gira continuamente, devido ao constante comando de passo, proporcionado pela onda retangular gerada pelo CI 555 (Sedra, A. S.; Smith, K. C, 200), aplicado ao pino 11 do UCN5804B. Já no modo de inibição de passo, o eixo do motor é travado, mesmo com a presença constante da onda retangular na entrada de comando de passo daquele CI.

A saída Y0001 do CLP, conectada ao pino 14 do UCN5804B, controla o sentido de giro do eixo do motor. Os resistores utilizados na alimentação do terminal central das bobinas do motor atuam como limitadores de corrente, protegendo a integridade das mesmas, uma vez que foi utilizada uma tensão de alimentação elevada.

2.2. Estrutura de Sustentação

A estrutura de sustentação proporciona, além da própria sustentação, o correto direcionamento do movimento vertical executado pela cabine. É responsável também, pelo alojamento dos circuitos dos sensores ópticos. Foi construída em alumínio e está fixa sobre uma base de madeira. A estrutura de sustentação é apresentada na Figura 3.



Figura 3. Estrutura de Sustentação do

2.3. Sensores de Pavimento

Para detectar a presença da cabine do elevador em seis diferentes níveis, foram utilizados seis sensores de posição. O circuito utilizado para cada sensor está ilustrado na Figura 4. Esses sensores são do tipo normalmente fechados (NF), ou seja, quando não é detectada a presença da cabine do elevador no andar, a saída do sensor ativa o ponto de entrada do CLP ao qual o mesmo está ligado. Quando a presença da cabine é detectada, o ponto de entrada onde o sensor está ligado é desativado.

As saídas dos circuitos sensores foram ligadas às entradas X0001 a X0006 do CLP TP02-40MR, configuradas em modo *sourcing* (Georgini, 2000, Santos, W. E. e Silveira, P. R., 1998) com comum em +24VCC, sinal proveniente da fonte de tensão auxiliar do próprio CLP (WEG, 2000).

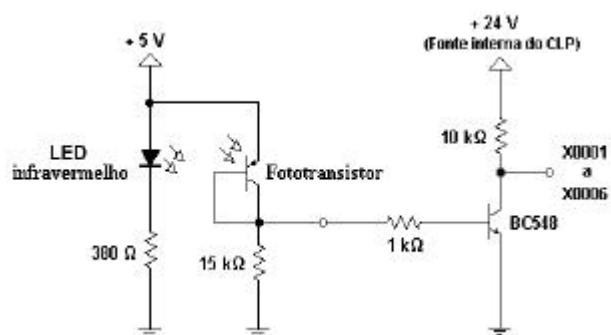


Figura 4. Circuito dos Sensores Ópticos.

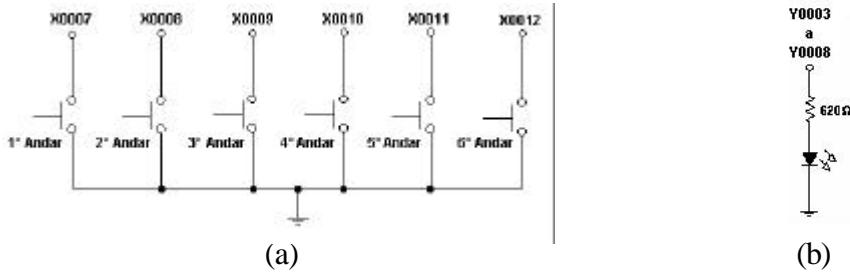


Figura 5. a) Chaves de solicitação de chamadas do elevador; b) Circuito dos Sinalizadores de solicitação das chamadas.

2.3. Chaves Solicitadoras

É um conjunto de seis chaves utilizadas para solicitar a chamada do elevador a cada um dos seis andares da torre de sustentação. Estas chaves são do tipo *push-button* (botão de pressão) normalmente aberto. Ao pressionar uma delas, a entrada do CLP ao qual a mesma está ligada é acionada. O esquema de ligação das chaves às entradas do CLP é mostrado na Figura 5.a.

2.4. Sinalizadores de Chamadas

Em um sistema de elevador real, a sinalização dos pavimentos está localizada acima das portas de cada pavimento e têm por função informar aos usuários a posição e/ou o sentido ou deslocamento da cabine. No protótipo construído, foram utilizados seis LEDs sinalizadores localizados acima das chaves de solicitação, que acendem quando uma solicitação é feita. O LED será apagado quando a cabine do elevador atingir o pavimento solicitado pela chave. O circuito utilizado para cada sinalizador está ilustrado na Figura 5.b.

Os sinalizadores de chamada, as chaves solicitadoras e o circuito de acionamento do motor de passo estão alojados em uma caixa plástica conforme apresentado na Figura 6.



Figura 6. Chaves Solicitadoras e leds Sinalizadores.

2.5. CLP TP02-40MR

O modelo de CLP utilizado neste trabalho foi o TP02-40MR, fabricado pela WEG [3], e está disponível no Laboratório de Controle e Sistemas (LACOS) da UFPA. Esse CLP faz parte de uma família de controladores compactos com um máximo de 124 pontos de E/S. Ele possui uma grande capacidade de memória (2048 relés auxiliares internos e 3072 *words*) e um conjunto (*set*) de instruções variadas, que incluem operações lógicas, aritméticas, comparação de dados de 8, 16 ou 32 bits,

comunicação de dados, temporizadores, comparadores, instruções booleanas, entre outros. A tabela 1 mostra algumas especificações desse dispositivo.

Tabela 1. Especificações gerais do CLP TP02-40MR

Alimentação	AC 85 ~ 250VCA, 47 ~ 83Hz
Capacidade da fonte auxiliar	24VCC \pm 10%, 400mA
Dimensão	16cm x 9cm x 7.6cm.
Método de Programação	LADDER ou Lista de Instruções
Capacidade de Programação	4k palavras (RAM)
Velocidade de Processamento de Instruções Básicas	0.81 ~ 1.02 μ s
Relés de Entrada	384 pontos (X001 ~ X384)
Relés de Saída	384 pontos (Y0001 ~ Y0384)
Temporizadores/ Contadores	256 temporizadores (resolução de 0.1 ou 0.01s) 256 contadores
Relés Auxiliares	2048 pontos (C0001 ~ C2048)
Memória do Sistema	128 palavras (WS001 ~ WS128)
Registros de 16 bits	3072
Pontos de E/S	24 pontos de entrada DC, sendo 4 em 12 ou 24V e 20 em 24V 16 pontos de saída a relé

3. SEQUÊNCIA DE EVENTOS

A seqüência de eventos associada ao sistema de elevador não se repete indefinidamente. Os eventos ocorrem somente quando uma ou mais chaves de solicitação de chamada forem acionadas. Caso todas as solicitações tenham sido atendidas e nenhuma outra seja feita, a cabine do elevador permanece no último andar solicitado e nenhum evento ocorre.

A seqüência de eventos é discutida considerando-se que a cabine do elevador encontra-se estacionada em um pavimento qualquer. Durante o funcionamento do sistema, o CLP faz uma varredura constante de suas entradas ligadas às chaves de solicitação de chamada do elevador. Se uma chave for pressionada, a variável interna do programa a ela relacionada será setada em *ON*, indicando que foi solicitada uma transição da cabine para aquele andar.

Há três possibilidades a serem analisadas diante de uma solicitação:

- **a cabine encontra-se no andar solicitado:** neste caso, nenhum evento ocorre;
- **a cabine encontra-se em um andar acima do solicitado:** o CLP aciona o motor de passo no sentido de descida, até que o sensor do andar solicitado seja acionado, momento em que o motor é desligado e a variável interna que armazenava a solicitação é resetada;
- **a cabine encontra-se em um andar abaixo do solicitado:** o CLP aciona o motor de passo no sentido de subida, até que o sensor do andar desejado seja atingido, momento em que o motor é

desligado e a variável interna que armazenava a solicitação é resetada.

Caso ocorram solicitações em vários andares diferentes, a prioridade das transições será a de manter o atual movimento da cabine. Por exemplo, se forem feitas solicitações a andares abaixo da posição atual da cabine e esta, por sua vez, encontra-se em movimento de subida para atender uma solicitação anteriormente efetuada, o primeiro atendimento será feito ao andar superior, para depois, caso nenhuma solicitação a pavimentos mais devados seja feita, iniciar o processo de descida para o atendimento dos andares inferiores. Este mecanismo de prioridade de atendimento aumenta a eficiência do algoritmo de controle das chamadas, pois o número de vezes que a cabine do elevador passa por um determinado andar é reduzido.

4. RESULTADOS

O controle utilizado no sistema de elevador executa as seguintes ações:

- ao se pressionar qualquer chave de solicitação de chamada, o LED correspondente deve acender e a transição para o andar solicitado deve ser realizada. Assim que a cabine chegar ao andar solicitado, o LED deve ser apagado;
- uma nova transição entre andares só vai ocorrer, caso solicitada, decorridos 5 segundos após a chegada da cabine a um andar;
- o mecanismo de prioridade de atendimento das chamadas deve minimizar o tempo de espera entre o acionamento de uma chave de solicitação e a execução da respectiva transição.

A lógica de controle pode ser dividida, para fins didáticos, em duas seqüências básicas de transição. A primeira consiste na transição, de subida ou descida, sem parada intermediária, ocorrendo quando apenas um andar é solicitado. A segunda seqüência corresponde à transição, de subida ou descida, com uma parada intermediária, ou seja, um determinado andar é solicitado inicialmente, ocorrendo, antes da cabine alcançar este, a solicitação de um andar compreendido entre o inicialmente solicitado e aquele de onde partiu a cabine. Estas seqüências básicas são utilizadas para compor as inúmeras possibilidades de solicitações de chamada.

As variáveis de entrada e saída do CLP e suas variáveis externas e estados associados, constam na Tabela 2.

4.1. Transição Sem Parada Intermediária

A transição sem parada intermediária ocorre diante de uma única solicitação de chamada. A cabine do elevador sai de sua posição atual e move-se em direção a um destino único, o andar solicitado.

Na Figura 7, é mostrado o Grafcet [2] de uma seqüência de eventos de uma transição da cabine do 1º para o 6º andar. Todas as outras transições semelhantes (sem parada intermediária), quer seja de subida, quer seja de descida, seguem a mesma linha de raciocínio.

Consideram-se as seguintes condições iniciais: **Sensor do 1º = 0** (desenergizado) e **Motor = 1** (energizado), ou seja, a cabine está parada no 1º andar. Quando a variável **Chave do 6º** é acionada, a transição t1 é habilitada e a etapa E1 ativada. Nesta etapa, o motor é ligado em sentido de subida e o LED de solicitação ao 6º andar é aceso. Quando a cabine chega ao 6º andar, o sensor do 6º é acionado, habilitando a etapa E2, na qual o motor é desligado e o LED sinalizador para o 6º andar é apagado. Decorridos 5 segundos da ativação da etapa E2, a transição t3 será habilitada e o sistema segue para a etapa E3, onde novas solicitações podem ser atendidas.

4.2. Transição com Parada Intermediaria Anterior ao Destino

Esta situação corresponde aos casos em que a segunda solicitação de parada é feita antes da cabine passar pelo andar solicitado. O atendimento, nestes casos, é feito primeiramente ao andar intermediário,

para depois ser atendido o andar inicialmente solicitado.

A seqüência de eventos ocorrida durante a transição da cabine do 1º para o 6º andar, com uma parada intermediária anterior ao destino no 3º andar, é apresentada na Figura 8.

Na etapa E0 cabine está parada no 1º andar. Quando a variável **Chave do 6º** é acionada, a transição t1 é habilitada e a etapa E1 ativada. Nesta etapa, o motor é ligado, no sentido de subida, e o LED de solicitação ao 6º andar é aceso. A transição t2 é habilitada no instante em que a chave do 3º andar é acionada. O sistema passa então para a etapa E2, na qual o LED indicador de solicitação deste andar é aceso. O sensor do 3º andar é atingido e a etapa 3 é ativada, desligando o motor e apagando o LED sinalizador do 3º andar. Decorridos 5 segundos, o motor é acionado (etapa E4), fazendo com que a cabine chegue ao 6º andar (etapa E5). Neste instante, o motor é desligado e o LED do 6º andar é apagado. Por fim, após o intervalo de 5 segundos, a etapa E6 é ativada, permitindo que o sistema atenda outras solicitações.

Tabela 2. Variáveis de entrada/saída

Entrada/Saída	Variável Externa	Energizado	Desenergizado
X0001	Sensor do 6º	Elevador fora do 6º andar	Elevador no 6º andar
X0002	Sensor do 5º	Elevador fora do 5º andar	Elevador no 5º andar
X0003	Sensor do 4º	Elevador fora do 4º andar	Elevador no 4º andar
X0004	Sensor do 3º	Elevador fora do 3º andar	Elevador no 3º andar
X0005	Sensor do 2º	Elevador fora do 2º andar	Elevador no 2º andar
X0006	Sensor do 1º	Elevador fora do 1º andar	Elevador no 1º andar
X0007	Chave do 1º	Chamada ao 1º andar	Nenhuma chamada solicitada
X0008	Chave do 2º	Chamada ao 2º andar	
X0009	Chave do 3º	Chamada ao 3º andar	
X0010	Chave do 4º	Chamada ao 4º andar	
X0011	Chave do 5º	Chamada ao 5º andar	
X0012	Chave do 6º	Chamada ao 6º andar	
Y0001	Sentido	Cabine subindo	Cabine descendo
Y0002	Motor	Motor desligado	Motor ligado
Y0003	Sinaliza 6º	Solicitação ao 6º andar	Nenhuma chamada solicitada
Y0004	Sinaliza 5º	Solicitação ao 5º andar	
Y0005	Sinaliza 4º	Solicitação ao 4º andar	
Y0006	Sinaliza 3º	Solicitação ao 3º andar	
Y0007	Sinaliza 2º	Solicitação ao 2º andar	
Y0008	Sinaliza 1º	Solicitação ao 1º andar	

4.3. Transição com Parada Intermediaria Posterior ao Destino

Esta situação corresponde aos casos em que a segunda solicitação de parada é feita momentos depois da cabine ter passado por este andar solicitado. O atendimento, nestes casos, é feito primeiramente ao andar inicialmente solicitado, para depois ser atendido o andar intermediário. Daí a denominação de parada intermediária **posterior** ao destino.

A seqüência de eventos ocorrida durante a transição da cabine do 1º para o 6º andar, com uma parada intermediária posterior ao destino no 3º andar, é apresentada na Figura 9. Outras possibilidades de transições, tanto de subida, como de descida, com parada posterior ao destino, seguem a mesma

linha de raciocínio. Na etapa E0 a cabine está parada no 1º andar. Quando a **Chave do 6º** é acionada o processo segue para a etapa E1, onde o motor é ligado, no sentido de subida e o LED de solicitação ao 6º andar é aceso. No momento em que a chave do 3º andar é acionada, a etapa E2 é ativada, fazendo com que o LED indicador de solicitação deste andar seja aceso. Em seguida, o sensor do 6º andar é acionado, e a etapa E3 é ativada, desligando o motor e apagando o LED de sinalização deste andar. Decorridos 5 segundos, a Etapa E4 é ativada e o motor é acionado em sentido de descida, fazendo com que a cabine chegue ao 3º andar. Quando o sensor do 3º andar é acionado, o sistema passa a etapa E5, na qual o motor é desligado e o LED do 3º andar é apagado. Por fim, após o intervalo de 5 segundos, a etapa E6 é ativada, permitindo que o sistema fique disponível para atender outras solicitações.

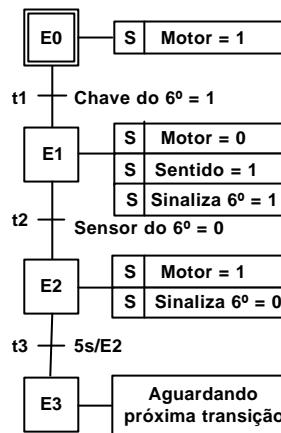


Figura 8. Seqüência de eventos para a transição sem parada intermediária.

Na etapa E0 a cabine está parada no 1º andar. Quando a **Chave do 6º** é acionada o processo segue para a etapa E1, onde o motor é ligado, no sentido de subida e o LED de solicitação ao 6º andar é aceso. No momento em que a chave do 3º andar é acionada, a etapa E2 é ativada, fazendo com que o LED indicador de solicitação deste andar seja aceso. Em seguida, o sensor do 6º andar é acionado, e a etapa E3 é ativada, desligando o motor e apagando o LED de sinalização deste andar. Decorridos 5 segundos, a Etapa E4 é ativada e o motor é acionado em sentido de descida, fazendo com que a cabine chegue ao 3º andar. Quando o sensor do 3º andar é acionado, o sistema passa a etapa E5, na qual o motor é desligado e o LED do 3º andar é apagado. Por fim, após o intervalo de 5 segundos, a etapa E6 é ativada, permitindo que o sistema fique disponível para atender outras solicitações.

5. CONCLUSÕES

A principal vantagem da utilização de CLPs no desenvolvimento de sistemas de controle automatizados é o elevado número de funções que este dispositivo é capaz de executar, simplificando sobremaneira as estruturas de *hardware* necessárias para a implementação do sistema. Além disso, alterações ou melhorias no modo de funcionamento do sistema, por exemplo, para a implementação de uma melhor estratégia de atendimento das chamadas, podem ser feitas apenas alterando-se o *software* do CLP, sem alterações em nível de *hardware*, muito mais problemática e onerosa.

Dessa forma, o custo adicional de implantação de sistemas automatizados com CLPs, é compensado pela redução dos custos com manutenção e operação desses sistemas, o que viabiliza sua implementação prática.

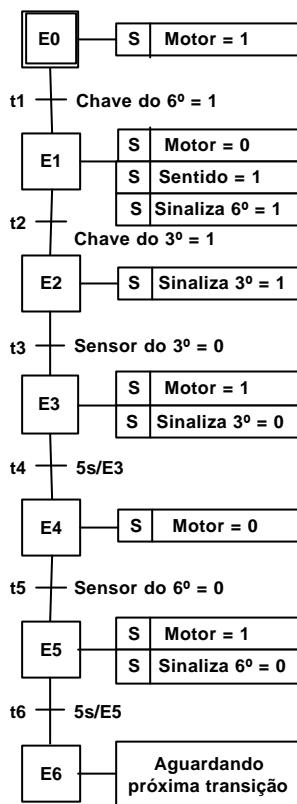


Figura 8. Seqüência de eventos para a transição

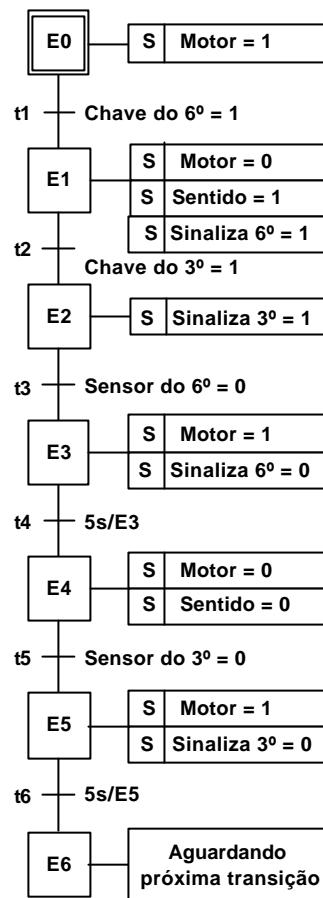


Figura 9. Seqüência de eventos para a transição com parada intermediária posterior ao destino.

6. REFERÊNCIAS

- GEORGINI, Marcelo. Automação Aplicada. Descrição e Implementação de Sistemas Seqüenciais com PLCs. 3^a Edição. São Paulo: Editora Érica, 2000.
- SANTOS, W. E.; SILVEIRA, P. R. da. Automação e Controle Discreto. São Paulo: Editora Érica, 1998.
- WEG AUTOMAÇÃO LTDA. Manual do Controlador Programável TP02. Acompanha o CLP TP02. Código 0899.3750 P/2.
- ALLEGRO MICROSYSTEMS. Data Sheet do Circuito Integrado UCN5804B. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL do fabricante: <http://www.allegromicro.com/>. Arquivo capturado em 03 de agosto de 2003.
- AMS – ADVANCED MICRO SYSTEMS. *Stepper Motor System Basics*. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.ams2000.com/stepping101.html>. 2002. Arquivo capturado em 23 de novembro de 2003.
- SEDRA, A. S.; SMITH, K. C. *Microeletrônica*. 4^a Edição. São Paulo: Editora MAKRON Books, 2000.

UTILIZATION OF CLP IN THE AUTOMATIC CONTROL OF ELEVATOR'S PROTOTYPE SYSTEM

Marcelo N. Moutinho

Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01 Caixa Postal 479, 66075-110, Belém, PA, Brasil, marcmout@hotmail.com

Gustavo B. Furlan

Universidade Federal do Pará, gugabf@hotmail.com

Carlos T. C. Junior

Universidade Federal do Pará, cartav@ufpa.br

Orlando F. Silva

Universidade Federal do Pará, orfosi@ufpa.br

Abstract. *Elevators systems of passengers or load are widely used, not only in industrial's environment, but also in many others places where is necessary the safe transposing between the floors of edification. The efficient operation of these systems needs robustness and reliability not only of the mechanics equipments used in these processes, but also of the electronic devices used to set in motion and to control they. The Programmable Logic Controller is a device that has these characteristics and so it can be used to control this type of system. The main objective of this work is to demonstrate the utilization of these devices in the control of a prototype, in small scale, of an elevator system.*

Keywords. *Automation, robustness control.*