

CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA
OFICIAL DE MÁQUINAS DA MARINHA MERCANTE (APMA)

CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL
CLP

Por: Rodrigo Soares Piccardo

Orientador

Prof. Henrique Iglesias Paz

Rio de Janeiro, 2013

CENTRO DE INSTRUÇÃO
ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE
MÁQUINAS DA MARINHA MERCANTE (APMA)

CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Apresentação de monografia ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como condição prévia para a conclusão do Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquina (APMA).

Por: Rodrigo Soares Piccardo

Rio de Janeiro
2013

CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS DA MARINHA
MERCANTE (APMA)

AVALIAÇÃO

PROFESSOR ORIENTADOR (trabalho escrito): Henrique Iglesias Paz

NOTA - _____

BANCA EXAMINADORA (apresentação oral):

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

NOTA: _____

DATA: _____

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo agradeço ao Professor Henrique Iglesias Paz pela paciente orientação nessa monografia. Seu direcionamento de pesquisa, suas sugestões e apontamentos para o bom desenvolvimento do trabalho foram de grande valia para essa conclusão. Agradeço a Deus, à minha esposa Daniele, a minha filha Ana Clara, e aos meus pais, sem os esforços e apoio deles não teria êxito nessa fase da minha vida.

DEDICATÓRIA

Dedico essa monografia a minha amada esposa e filha, que com sua compreensão, apoio e amor sempre me deram força para seguir em frente.

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo abordar o tema “Controladores Lógico Programáveis” (CLP). Para tanto, buscou-se inicialmente contemplar o princípio da automação. Em seguida tratou-se dos controladores propriamente ditos, seu resumo histórico e evolução, os blocos componentes do sistema, princípio de funcionamento, a estrutura física do CLP e suas aplicações básicas. A tecnologia do CLP foi abordada em seus detalhes de hardware, módulo de CPU, sistema de memória, fontes de alimentação, bateria, módulos de entrada e saída analógicas e digitais e módulos especiais. A aplicação do CLP para o uso naval foi contemplada em seus principais tipos de aplicações em convés, máquinas, passadiço e sistemas de comando multiplexado universal, sistema de controle do leme e supervisor do telégrafo da máquina. O estudo conclui que podem ser aplicados nas manutenções preventivas e corretivas, nos reparos e assistência técnica de comandos eletroeletrônicos e sistemas interfaces eletro hidráulicos e servocontrolados. Tem uso importante também com relação às máquinas, na automação, supervisão e regulagens de sistema de segurança, instrumentação, controles pressurizados e excitatrizes com indicações remotas e comunicações interfonadas. Além disso, pode atuar na central de governo, no controle de alarme e segurança para navegação, sinalização e sistemas interfaceados com a praça de máquinas.

Palavras-chaves: Controladores lógico programáveis. Aplicação. Marinha Mercante.

ABSTRACT

This study aims to address the theme of "Programmable Logic Controllers (PLC). Thus, initially sought to include the principle of automation. Then it was the drivers themselves, their short history and evolution, the block components of the system, working principle, the physical structure of the PLC and its basic applications. PLC technology has been addressed in its details of hardware, CPU module, system memory, power supplies, battery, input and output modules for analog and digital and special modules. Application of PLC for naval use was included in the main types of applications in deck machinery, walkway systems and universal-multiplexed command, the rudder control system and the supervisor of the telegraph machine. The study concludes that can be applied in the preventive and corrective maintenance, and technical assistance in repair of electronic controls and systems interfaces and electro hydraulic servo. Use has also important with respect to machines, the automation, supervision and regulations of system security, instrumentation, controls pressure and exciter with remote information and communication intercom. Moreover, it can act in the central government in control and alarm safety to navigation, and signaling systems interfaces with the square of machinery.

Keywords: Programmable logic controllers. Application. Shipping

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura de um CLP.....	17
Figura 2 – Ciclo de processamento do CLP	17
Figura 3 – Sistemas de entradas e saídas.....	18
Figura 4 – Representação do ciclo de varredura do CLP	22
Figura 5 - Relatório da memória usada por uma aplicação de CLP	26
Figura 6 – Faixa de operação das entradas Tipo 1 (IEC 61131-2).....	30
Figura 7 - Tipos de entradas discretas	31
Figura 8 - Exemplo de ligação de dispositivos externos nos módulos de entrada	31
Figura 9 - Tipos de saídas discretas e transistor	32
Figura 10 - Exemplo de ligação de dispositivos externos nos módulos de saída.....	33
Figura 11 - Vida útil do relé em função da carga isolada.....	34
Figura 12 - Ligação de dispositivos externos nos módulos de saída a relé.....	34
Figura 13 - Multiplexação de entradas analógicas	35
Figura 14 - Ciclo de atualização da amostragem.....	36
Figura 15 – Arquitetura das saídas analógicas	37

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
2.	PRINCÍPIO DA AUTOMAÇÃO.....	12
3.	CONTROLADORES LÓGICO PROGRAMÁVEIS	14
3.1	Resumo histórico e evolução	14
3.2	Blocos componentes do sistema	15
3.3	Princípio de funcionamento.....	15
3.4	A estrutura física de um CLP	17
3.5	Aplicações dos CLP	18
4.	A TECNOLOGIA DOS CONTROLADORES LÓGICO PROGRAMÁVEIS	20
4.1	Hardware	20
4.2	Módulo de CPU.....	20
4.3	Sistema de Memória	23
4.3.1	<i>RAM (Random Access Memory)</i>	23
4.3.2	<i>ROM (Read Only Memory)</i>	23
4.3.3	<i>EEPROM – (Erasable Electrical Programmable Read Only Memory)</i>	23
4.3.4	<i>Flash EEPROM</i>	24
4.3.5	Memória do programa monitor	24
4.3.6	Memória do usuário	24
4.3.7	Memória de dados	24
4.3.8	Memória imagem das entradas/saídas	25
4.3.9	Utilização da memória do CLP	25
4.4	Fontes de alimentação.....	26
4.5	Bateria.....	27
4.6	Módulo de entradas e saídas discretas (digitais)	28
4.6.1	Módulos de entradas discretas	28
4.7	Módulos de entradas/saídas analógicas.....	34
4.7.1	Módulos de entradas analógicas.....	34
4.7.2	Módulos de saídas analógicas	36

4.8	Módulos especiais	37
4.8.1	Módulos para contagem rápida.....	37
4.8.2	Módulos de entrada/ saída remotos.....	37
5.	APLICAÇÃO DO CLP PARA O USO NAVAL	39
5.1	Convés.....	39
5.2	Máquinas	39
5.3	Passadiço	40
5.4	Sistema de Comando Multiplexado Universal - (S.C.U) Guinchos/Pontes Rolantes/Molinetes.....	40
5.5	Sistema de Controle do Leme - (SCL)	41
5.6	Supervisor do Telégrafo da Máquina - (STM-ST)	41
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

1. INTRODUÇÃO

O presente estudo tem por objetivo abordar o tema “Controladores Lógico Programáveis” e sua aplicação na engenharia naval.

Sob uma perspectiva histórica, no início da industrialização, os processos industriais utilizavam o máximo da força da mão-de-obra. A produção era composta por etapas ou estágios, nos quais as pessoas desenvolviam sempre as mesmas funções, especializando-se em certa tarefa ou etapa da produção. Tem-se aí o princípio da produção seriada. O mesmo ocorria com as máquinas de produção, que eram específicas para uma aplicação, o que impedia seu uso em outras etapas da produção, mesmo que tivesse características muito parecidas.

Com a passagem do tempo e a valorização da mão de obra, tornou-se necessário fazer alterações nas máquinas e equipamentos, no sentido de resguardar a mão-de-obra de algumas funções não adequadas à estrutura física do homem. Neste contexto, ficou a cargo da máquina o trabalho mais pesado e do homem, a função de supervisioná-la.

Com o objetivo de assegurar o controle do sistema de produção, as máquinas foram dotadas de sensores para monitorar e indicar as condições do processo. Neste caso, o controle só é assegurado com o acionamento de atuadores a partir do processamento das informações coletadas pelos sensores.

O processo de automação de determinado sistema tornou-se mais viável na medida em que a eletrônica evoluiu e passou a contar com circuitos capazes de realizar funções lógicas e aritméticas com os sinais de entrada e gerar respectivos sinais de saída. A partir disso o controlador, os sensores e os atuadores passaram a funcionar em conjunto, transformando processo em um sistema automatizado, onde o próprio controlador toma decisões em função da situação dos sensores e aciona os atuadores.

Neste contexto está situado o Controlador Lógico Programável (CLP) que teve a sua origem na empresa General Motors, na década de 1960, motivado pela dificuldade de mudar a lógica de controle dos painéis de comando a cada mudança na linha de montagem, o que significava custos elevados, grande perda de tempo e de dinheiro.

2. PRINCÍPIO DA AUTOMAÇÃO

Na indústria moderna, a automação dos processos fabris é fundamental para a manutenção ou aumento da competitividade no mercado, seja este local, nacional ou mesmo mundial. O objetivo, em geral, de uma automação é fabricar o mesmo insumo com maior eficiência. O resultado é a diminuição do desperdício, do consumo, do consumo de energia e, em alguns casos, do impacto ambiental. Automação objetivando a segurança dos colaboradores também é comum, resultando em diminuição de custos para a empresa.

Toda grandeza física pode ser controlada, ou seja, pode ter seu valor propositadamente alterado. Neste caso há limitações práticas, como a restrição da energia de que se dispõe para afetar os fenômenos: por exemplo, a maioria das variáveis climatológicas pode ser medida, mas não controlada, por causa da ordem de grandeza da energia envolvida.

De acordo com Faria (2005), o controle manual requer um operador presente ao processo criador de uma variável física e que, de acordo com alguma regra de seu conhecimento, opera um aparelho qualquer, que por seu turno, produz alterações naquela variável.

Para este autor, no início da industrialização os processos industriais utilizavam o máximo da força da mão-de-obra. A produção era composta por etapas ou estágios, nos quais as pessoas desenvolviam sempre as mesmas funções, especializando-se em certa tarefa ou etapa da produção. Assim temos o princípio da produção seriada.

As máquinas de produção, destinada para determinada aplicação, não eram apropriadas para outras etapas da produção, ainda que apresentassem características semelhantes.

Objetivando garantir o controle do sistema de produção, foram colocados sensores nas máquinas para monitorar e indicar as condições do processo. O controle só é garantido com o acionamento de atuadores a partir do processamento das informações coletadas pelos sensores. Chama-se controle automático quando uma parte, ou a totalidade, das funções do operador é realizada por um equipamento, freqüente, mas não obrigatoriamente eletrônico.

Segundo Souza (2009), o controle automático por realimentação se traduz no equipamento automático que opera sobre o elemento de controle, tendo por base informações de medida da variável controlada, que pode ser exemplificado, por exemplo, pelo controle de temperatura de um refrigerador.

Já o controle automático por programa engloba a existência de um programa de ações, operado com base no decurso do tempo ou a partir de modificações eventuais em variáveis

externas ao sistema. No primeiro exemplo tem-se um programa temporal e no segundo um programa lógico.

Pazos (2002) afirma que a automatização de um sistema foi viabilizada na medida em que a Eletrônica se desenvolveu e passou a contar com circuitos capazes de efetuar funções lógicas e aritméticas com os sinais de entrada e gerar respectivos sinais de saída. A partir disso, o controlador, os sensores e os atuadores passaram a funcionar em conjunto, transformando processo em um sistema automatizado, onde o próprio controlador toma decisões em função da situação dos sensores e aciona os atuadores.

Souza (2009) afirma que os sistemas inaugurais de automação operavam por meio de sistemas eletromecânicos, com relés e contadores. Neste caso, os sinais acoplados à máquina ou equipamento a ser automatizado acionam circuitos lógicos a relés que disparam as cargas e atuadores.

A transição de um sistema de automação rígida para automação flexível podem ser exemplificada pelas máquinas de tear. As primeiras eram acionadas manualmente. Mais tarde passaram a ser acionadas por comandos automáticos, no entanto, estes comandos só produziam determinado modelo de tecido, de desenho, de padronagem ou estampa.

Com o desenvolvimento da eletrônica, as unidades de memória passaram a contar com maior capacidade e, por conta disso, armazenam todas as informações necessárias para controlar diversas etapas do processo. Os circuitos lógicos ganharam mais celeridade, tornaram-se mais rápidos, compactos e capazes de receber mais informações de entrada, atuando sobre um número maior de dispositivos de saída. Chegou-se, deste modo, aos microcontroladores responsáveis por receber informações das entradas, associá-las às informações contidas na memória e a partir destas desenvolver uma lógica para acionar as saídas.

Esta evolução propiciou a criação de sistemas mais compactos, com elevada capacidade de controle, que permitem acionar diversas saídas em função de vários sinais de entradas combinados logicamente. Vale ressaltar que outra etapa importante desta evolução é que toda a lógica de acionamento pode ser desenvolvida por meio de software, que determina ao controlador a seqüência de acionamento a ser desenvolvida. Este tipo de alteração da lógica de controle caracteriza um sistema flexível. Os CLP são equipamentos eletrônicos de controle que atuam a partir desta filosofia.

3. CONTROLADORES LÓGICO PROGRAMÁVEIS

O Controlador Lógico Programável – (CLP) é definido como sendo um dispositivo de estado sólido capaz de armazenar instruções para implementação de funções de controle (por exemplo, seqüência lógica, temporização e contagem), bem como de realizar operações lógicas e aritméticas, manipulação de dados e comunicação em rede, sendo utilizado no controle de Sistemas Automatizados. (Georgini, 2000)

3.1 Resumo histórico e evolução

Segundo Souza (2009) na primeira geração, os CLP se caracterizavam pela programação estreitamente ligada ao hardware do equipamento. Utilizava-se a linguagem Assembly que variava de acordo com o processador utilizado no projeto do CLP, isto é, para poder programar era necessário conhecer a eletrônica do projeto do CLP. Deste modo a tarefa de programação era desenvolvida por uma equipe técnica altamente qualificada, gravando-se o programa em memória *EPROM*, sendo realizada normalmente no laboratório junto com a construção do CLP.

A segunda geração é a época em que surgem as primeiras “Linguagens de Programação” não tão dependentes do hardware do equipamento, possíveis pela inclusão de um “Programa Monitor “ no CLP, o qual converte as instruções do programa, verifica o estado das entradas, compara com as instruções do programa do usuário e altera o estados das saídas. Os Terminais de Programação eram na verdade Programadores de Memória *EPROM*. As memórias depois de programadas eram colocadas no CLP para que o programa do usuário fosse executado. (Souza, 2009).

Na terceira geração a Entrada de Programação passa a figurar nos CLP, onde um Teclado ou Programador Portátil é conectado, podendo apagar, alterar, gravar o programa do usuário, além de realizar testes (*Debug*) no equipamento e no programa. A estrutura física também sofre alterações sendo a tendência para os Sistemas Modulares com Bastidores ou Racks.

Na quarta geração, com a minimização dos custos e a popularização dos microcomputadores, os CLP passaram a incluir uma entrada para a comunicação serial. Com o auxílio dos microcomputadores a tarefa de programação passou a ser realizada nestes. As vantagens eram a utilização de várias representações das linguagens, possibilidade de simulações e testes,

treinamento e ajuda por parte do software de programação, possibilidade de armazenamento de vários programas no micro, entre outros.

Atualmente estamos na quinta geração: Existe nos dias de hoje uma preocupação em padronizar protocolos de comunicação para os CLP, de modo a proporcionar que o equipamento de um fabricante interaja com o equipamento de outro fabricante, não só CLP, como Controladores de Processos, Sistemas Supervisórios, Redes Internas de Comunicação, entre outros, proporcionando uma integração a fim de facilitar a automação, gerenciamento e desenvolvimento de plantas industriais mais flexíveis e normalizadas, fruto da chamada Globalização. Existem Fundações Mundiais para o estabelecimento de normas e protocolos de comunicação.

3.2 Blocos componentes do sistema

Os principais blocos que compõem um CLP são:

CPU (*Central Processing Unit* - Unidade Central de Processamento): compreende o processador (microprocessador, microcontrolador ou processador dedicado), o sistema de memória (*ROM* e *RAM*) e os circuitos auxiliares de controle;

Circuitos/Módulos de I/O (*Input/Output* - Entrada/Saída): podem ser discretos (sinais digitais: 12VDC, 110VAC, contatos normalmente abertos, contatos normalmente fechados) ou analógicos (sinais analógicos: 4-20mA, 0-1 VDC, termopar);

Fonte de Alimentação: responsável pela tensão de alimentação fornecida à CPU e aos Circuitos/Módulos de I/O. Em alguns casos, proporciona saída auxiliar (baixa corrente);

Base ou Rack: proporciona conexão mecânica e elétrica entre a CPU, os Módulos de I/O e a Fonte de Alimentação. Contém o barramento de comunicação entre eles, no qual os sinais de dados, endereço, controle e tensão de alimentação estão presentes.

Pode ainda ser composto por Circuitos/Módulos Especiais: contador rápido (5kHz, 10kHz, 100kHz, ou mais), interrupção por hardware, controlador de temperatura, controlador PID, co-processadores (transmissão via rádio, posicionamento de eixos, programação *BASIC*, sintetizador de voz, entre outros) e comunicação em rede, por exemplo.

3.3 Princípio de funcionamento

Segundo Miyagi (1996), a estrutura de um CLP é dividida em três partes distintas: entrada, processamento e saída.

Figura 1 - Estrutura básica de um CLP



Fonte: Miyagi (1996)

Os sinais de entrada e saída dos CLP podem ser digitais ou analógicos. Existem diversos tipos de módulos de entrada e saída que se adequam às necessidades do sistema a ser controlado. Os módulos de entrada e saídas são compostos de grupos de bits, associados em conjunto de 8 bits (1 byte) ou conjunto de 16 bits, de acordo com o tipo da CPU.

As entradas analógicas são módulos conversores A/D, que convertem um sinal de entrada em um valor digital, normalmente de 12 bits (4096 combinações). As saídas analógicas são módulos conversores D/A. Os sinais dos sensores são aplicados às entradas do controlador e a cada ciclo (varredura) todos esses sinais são lidos e transferidos para a unidade de memória interna denominada memória imagem de entrada. Estes sinais são associados entre si e aos sinais internos. Ao término do ciclo de varredura, os resultados são transferidos à memória imagem de saída e então aplicados aos terminais de saída (Fig 2).

Figura 2 - Ciclo de processamentos do CLP



Fonte: Miyagi (1996)

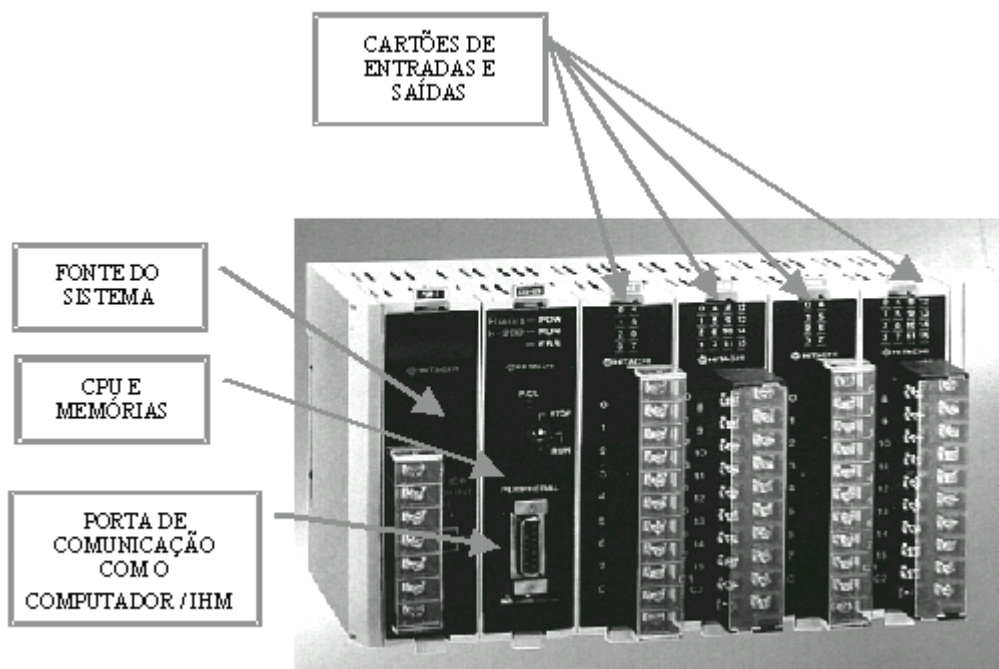
3.4 A estrutura física de um CLP

O CLP pode receber ou enviar informações para o processo, através de sinais, classificados como sinais digitais ou sinais analógicos.

Os sinais digitais são os que possuem dois estados definidos: Ligado ou desligado. Como exemplo de sinais digitais de entrada podem ser citados: Botões de controle; sensores de presença; chaves de fim-de-curso; entre outros. E, como exemplo de sinais digitais de saída, tem-se: Lâmpadas de controle; sirenes; displays; eletro-válvulas; chaves magnéticas; entre outros. Muitas vezes, não basta apenas saber se um elemento foi acionado ou não, mas o quanto foi acionado; Para estas situações, utilizam-se sinais analógicos.

Nestes casos, são sinais que indicam um valor de uma variável através de um sinal de tensão (0 a 10Vcc; -5V a +5V; -10V a +10V) ou de corrente (0 a 20mA; 4 a 20mA).

Figura 3 - Sistemas de entradas e saídas



Fonte: Ogata (1998)

Como exemplo de sinais analógicos de entrada, tem-se: Sensores de temperatura; umidade; pressão; nível; entre outros. E, de sinais digitais de saída, tem-se: servo-mecanismos de um modo geral (como o utilizado na movimentação e posicionamento de câmeras) como as servo-válvulas (válvulas que abrem e fecham completamente ou parcialmente, se desejado); entre outros.

No mercado brasileiro encontram-se disponíveis CLP com entradas ou saídas analógicas com resolução de 8, 10, 12 ou 16 bits. Cabe ressaltar que, quanto maior o número de bits de resolução, maior será a precisão obtida e conseqüentemente, maior será o custo do aparelho.

Por exemplo, qual seria a precisão de leitura de um forno que possa ser aquecido de 0°C a 1000°C, se utilizasse um sensor, que mostrasse o valor desta temperatura na entrada analógica de um CLP, com um conversor para binário de 8 bits? Com um valor binário que utilize 8 bits pode-se conseguir 256 combinações diferentes entre seus bits. Portanto, dividindo-se o valor da temperatura por 256, tem-se que, cada progressão binária representará uma variação de aproximadamente 3,9°C de temperatura no forno.

Assim sendo, devido à capacidade de trabalhar com qualquer tipo de sinal, pode-se dizer que um CLP é o elemento ideal para se controlar um sistema, ou processo, seja ele, analógico ou digital.

Além da possibilidade de funcionamento autônomo, o CLP pode ser integrado com outros CLP (não necessariamente do mesmo fabricante) através da implementação de placas de redes *ProfBus*, *InterBus*, *ModBus*, entre outras.

3.5 Aplicações dos CLP

Os controladores programáveis são usados em uma larga variedade de aplicações, como para substituir circuitos lógicos físicos em máquinas mais velhas. Isto pode reduzir o tempo de manutenção de um equipamento mais velho. Mais importante, os CLP podem aumentar a velocidade e a capacidade de um equipamento mais velho. Fazer um “*retrofitting*” de um equipamento antigo com um CLP para seu controle é quase como comprar uma máquina nova.

CLP estão sendo usados para controlar processos como a produção química, produção de papel, produção de aço, e processamento de alimentos. Em processos tais como estes, CLP são usados para controlar a temperatura, pressão, mistura, concentração, e assim por diante. São usados também controlar a posição e a velocidade em muitos tipos de processos de produção. Por exemplo, podem controlar sistemas automatizados complexos de armazenamento e de fornecimento assim como equipamentos tais como robôs e máquinas-ferramenta.

Muitas empresas pequenas começaram recentemente a produzir equipamentos especializados que são controlados normalmente por CLP e que possuem um custo bastante razoável. Exemplos deste tipo de equipamento são transportadoras e paletizadoras, empacotadoras, processadores, e máquinas para manipulação de material.

CLP estão sendo usados extensivamente no controle de posição e de velocidade. Um CLP pode controlar a posição e a velocidade muito mais rapidamente e precisamente do que podem os dispositivos mecânicos tais como as engrenagens. Um sistema de controle eletrônico é não somente mais rápido, mas também não se desgasta e não perde a precisão como os dispositivos mecânicos.

Os CLP podem ser divididos em Nano e Micro, Médio porte e Grande Porte. Nano e Micro são CLP de pouca capacidade de E/S(máximo 16 entradas e 16 saídas), normalmente só digitais, composto de um só módulo(ou placa), baixo custo e reduzida capacidade de memória(máximo 512 passos). Médio porte tem uma capacidade de entrada e saída de até 256 pontos, digitais e analógicos, podendo ser formado por um módulo básico, que pode ser expandido. Costumam permitir até 2048 passos de memória, que podem ser interna e externa ou podem ser totalmente modulares. Grande porte se caracterizam por uma construção modular, constituída de uma fonte de alimentação, CPU auxiliares, CPU dedicadas, Módulos de E/S digitais e analógicos, módulos de E/S especializados, módulos de redes locais ou remotas que são agrupados de acordo com a necessidade e complexidade da automação. Permitem a utilização de até 4096 pontos E/S. São montados em um Bastidor(ou Rack) que permite um cabeamento estruturado.

4. A TECNOLOGIA DOS CONTROLADORES LÓGICO PROGRAMÁVEIS

4.1 Hardware

De acordo com Krakheche (2007), o hardware, sendo compacto, demanda espaço físico reduzido, bem como apresenta baixo consumo de potência elétrica. Além disso, contam com módulos de entrada e saída de alta densidade, o que possibilita baixo custo e espaços ainda mais reduzidos; capacidade de operação confiável em ambiente industrial sem o apoio de equipamentos específicos; emitem baixos níveis de ruídos elétricos; apresentam pouca incidência de defeitos, portanto, são bastante confiáveis; a manutenção requer mão-de-obra qualificada. Contudo, em muitos casos basta substituir o módulo danificado, mesmo com o equipamento ligado. Esse processo é chamado de “troca a quente”; permite a expansão de diversos tipos de módulos, tais como, módulos inteligentes, microprocessados, que permitem controles descentralizados; apresentam interface de comunicação com outros equipamentos. A comunicação com computadores permite a coleta de informações e a alteração de parâmetros da produção; permite a expansão da capacidade de memória;

Os CLP são equipamentos com uma ampla aplicação dentro dos diversos processos de automação. Assim, a escolha correta do controlador é fundamental para o sucesso da aplicação. Normalmente são disponibilizados em módulos, ou seja, cada configuração pode ser montada pelo usuário de acordo com a sua necessidade. Esta arquitetura também contribui para que a manutenção seja facilitada, uma vez que, no caso de falha, é possível substituir apenas o módulo defeituoso.

Os principais blocos que compõem um CLP são: CPU (*Central Processing Unit*), módulos de entradas/ saídas, módulos especiais, fonte de alimentação e base (*rack*).

4.2 Módulo de CPU

Cabe à CPU gerenciar totalmente o sistema, controlar os barramentos de endereços, de dados e de controle. Recebe dados enviados pelos módulos de entrada, efetua seu processamento de acordo com o programa do usuário e envia os resultados para os módulos de saída. Além disso, controla a comunicação com dispositivos externos, verifica a integridade do sistema, atualiza informações do status da CPU e controla um relógio em tempo real.

Algumas características da CPU são importantes para determinar a sua performance, a principal delas é o *scan time* (tempo de varredura), que é o período de tempo no qual o CLP executa uma seqüência de funções de forma repetitiva enquanto estiver em modo de operação. Essa seqüência é chamada de ciclo de varredura (*scan*), o qual será representado pelo fluxograma da fig. 4.

Figura 4 – Representação do ciclo de varredura do CLP



Fonte: Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI, 2007.

As seguintes funções são executadas:

- Inicializar: o CLP executa testes no próprio hardware para verificar se sistema está funcionando corretamente e analisa os dados da última queda de energia para determinar o ponto de reinício.
- Processar funções internas: o sistema monitora o controlador (atualiza os dados do sistema, os valores dos temporizadores, as lâmpadas de status, etc.) e processa requisições externas.

- Verificar estados das entradas e transferir para a memória: o CLP examina os dispositivos externos de entrada e armazena as informações temporariamente em uma região da memória denominada de memória imagem das entradas.
- Processar o programa do usuário: o CLP executa as instruções do programa, utilizando o estado das entradas armazenado na memória imagem de entrada, e determina os estados das saídas. Estes estados são armazenados em uma região da memória denominada de memória imagem das saídas.
- Atualizar as saídas: baseado nos dados da memória imagem das saídas, o CLP aciona os dispositivos externos conforme lógica do programa. Portanto, o tamanho do programa, o número de pontos de entradas e saídas, o número de módulos especiais, a quantidades de informações comunicadas em rede com outros equipamentos e o tempo de processamento por instrução influenciam diretamente no *scan time*.

Este tempo pode ser crítico em processos com movimentos rápidos, onde o *scan time* deve ter o menor valor possível para não prejudicar o funcionamento do processo. Para isso, o usuário deve pesquisar as informações do fabricante sobre o *scan time* e elaborar programas de maneira estruturada, utilizando o recurso de sub-rotinas que otimizam a seqüência das instruções. Em alguns casos, o CLP permite o disparo de eventos, ou seja, linhas de código de alta prioridade que interrompem o *scan* normal para executar funções específicas.

A maioria dos fabricantes informa o tempo de processamento por instrução, o qual pode chegar a valores em torno de décimos de microssegundos, o menor valor de *scan time* possível, que pode chegar a poucos milissegundos, e o *scan time* em tempo real, o que indica, por exemplo, a frequência de atualização das entradas. Porém, o valor do *scan time* pode variar a cada novo ciclo, ao passo que, alguns CLP permitem ajustar um tempo fixo para o *scan*, desde que seja o suficiente para executar todas as funções.

Para aumentar a segurança do CLP, o *scan time* é monitorado através de uma função chamada *watch dog*, a qual coloca o CLP em modo de falha quando o *scan time* atingir um valor maior que o máximo ajustado pelo usuário. Essa função é útil em situações onde a CPU trava devido a um problema do hardware ou do software desenvolvido pelo usuário.

De maneira geral, as CPU apresentam dois modos de operação:

- Programação (*Stop*): neste modo a CPU não executa o programa do usuário e não atualiza os estados das saídas. A função principal desse modo é permitir a transferência e/ou a alteração do programa do usuário. Além disso, permite a configuração de parâmetros da CPU.
- Execução (*Run*): neste modo a CPU executa o programa do usuário para realizar o controle desejado, atualizando os estados das saídas conforme a lógica programada.

Alguns CLP permitem a alteração do programa mesmo estando neste modo, ou seja, a máquina pode estar em pleno funcionamento e, ao mesmo tempo, o usuário pode alterar o programa.

4.3 Sistema de Memória

Segundo Natale (2000), trata-se da parte da CPU onde se armazenam todas as instruções, bem como os dados para executá-las. Contudo, antes de se compreender as funções das memórias do CLP (memória do programa monitor, memória do usuário, memória de dados, memória imagem das entradas/saídas), é importante entender as características dos tipos mais comuns de memórias utilizadas em sistemas digitais (*RAM, ROM, EEPROM e Flash EEPROM*). Os tipos de memórias utilizadas e as funções executadas no CLP serão apresentados a seguir.

4.3.1 RAM (Random Access Memory)

As memórias *RAM* são do tipo volátil, ou seja, estão sujeitas a perderem os dados com a falta de energia. Tem como característica principal o fato de que os dados podem ser gravados e alterados rapidamente e facilmente. No CLP, os dados da *RAM* podem ser mantidos por uma bateria ou por um capacitor.

4.3.2 ROM (Read Only Memory)

São projetadas para manter armazenadas informações que não poderão ser alteradas. Desta forma, é uma memória somente para leitura, sendo que, seus dados não são perdidos caso ocorra falta de energia, ou seja, são memórias não voláteis.

4.3.3 EEPROM – (Erasable Electrical Programmable Read Only Memory)

Estas, apesar de não voláteis, oferecem a mesma flexibilidade de regravação existente nas memórias *RAM*. Porém, a *EEPROM* apresenta duas limitações: o processo de regravação de seus dados só pode ser efetuado após a limpeza da célula, o que demanda tempo, e a vida útil de uma *EEPROM* é limitada pelo número de regravações (mínimo de 100.000/típico 1.000.000 de operações de limpeza/escrita).

4.3.4 Flash EEPROM

A memória Flash é uma memória do tipo *EEPROM* que permite que múltiplos endereços sejam apagados ou escritos numa só operação. Dessa forma, a gravação é mais rápida que a *EEPROM*. Apesar de possuir uma vida útil menor que a *EEPROM* (mínimo de 10.000 operações de limpeza/escrita), tem substituído gradualmente esta última.

4.3.5 Memória do programa monitor

O programa monitor (*firmware*) é o responsável pelo gerenciamento de todas as atividades do CLP e não pode ser alterado pelo usuário. Entre essas atividades, está a transferência de programas entre o microcomputador e o CLP, o gerenciamento do estado da bateria do sistema, o controle dos diversos módulos, a conversão do programa criado pelo usuário para a linguagem de máquina, etc. Na maior parte dos casos o programa monitor é gravado em memória do tipo *ROM*. Porém, os CLP atuais permitem que o *firmware* seja atualizado e, nesse caso, a memória deve ser do tipo *EEPROM*, por ser regravável e não volátil.

4.3.6 Memória do usuário

O programa da aplicação desenvolvido pelo usuário é armazenado nessa memória, a qual pode ser alterada pelo mesmo. A capacidade e o tipo desta memória variam de acordo com a marca/modelo do CLP. Em relação ao tipo, podem ser *EEPROM/Flash EEPROM* ou *RAM* (mantida por bateria ou capacitor). Nesse último caso, é comum o CLP armazenar uma cópia de segurança do programa numa memória *EEPROM* adicional, que em caso de perda do programa devido a problemas na bateria, permite a restauração do programa da memória *EEPROM* para a memória *RAM*. Em alguns casos, esse processo é automático.

É comum o uso de cartuchos de memória que permitem a troca do programa com a troca do cartucho de memória. Porém, quando o cartucho de memória é utilizado para expandir a capacidade de memória *RAM* utilizada para armazenar um programa do usuário, o CLP não criará uma cópia de segurança.

4.3.7 Memória de dados

A memória de dados destina-se a armazenar por um período temporário os dados gerados pelo programa do usuário, tais como, valores de temporizadores, valores de contadores, códigos de erro, senhas de acesso, etc. Esses valores podem ser consultados ou alterados durante a

execução do programa do usuário e, devido à grande quantidade de regravações, essa memória só pode ser do tipo *RAM*. Em alguns CLP, utiliza-se a bateria para reter os valores desta memória no caso de uma queda de energia.

4.3.8 Memória imagem das entradas/saídas

Quando a CPU executa o ciclo de leitura das entradas ou executa uma modificação nas saídas, armazena os estados da cada uma das entradas ou das saídas em uma região de memória denominada memória imagem das entradas/saídas. Nessa região de memória a CPU irá obter informações das entradas ou das saídas para tomar as decisões durante o processamento do programa do usuário, não necessitando acessar os módulos enquanto executa o programa do usuário. Devido à grande quantidade de regravações, essa memória só pode ser do tipo *RAM*.

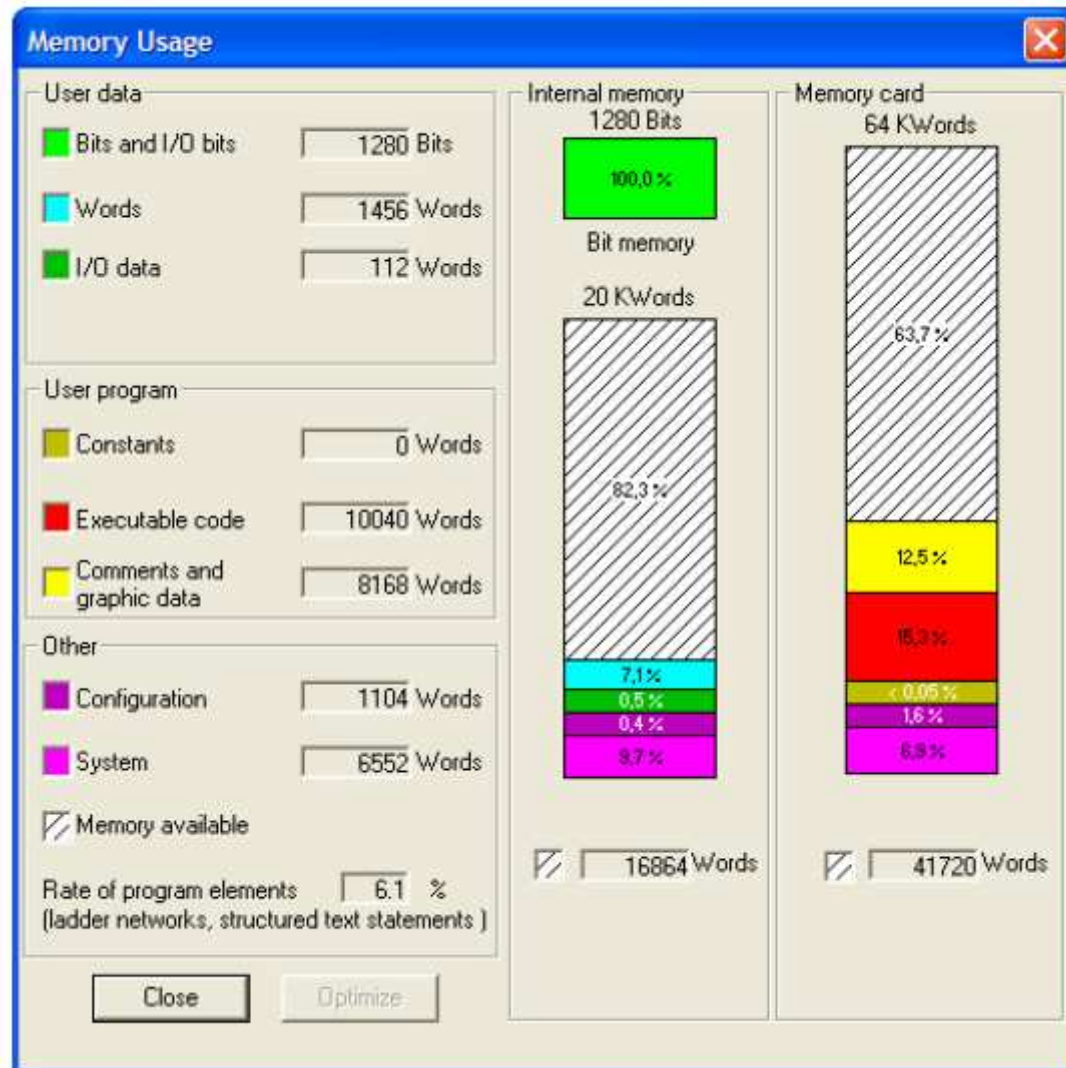
4.3.9 Utilização da memória do CLP

Cada instrução que a CPU pode executar consome uma quantidade predeterminada de memória, expressa em bytes (8 bits) ou *words* (16 bits). Normalmente, as especificações técnicas de uma CPU indicam a quantidade de memória disponível para o usuário (memória variável e memória de programação), podendo ser expressa em Kbytes (capacidade física) ou em *Kwords* (palavras de programação/ capacidade lógica).

Durante a configuração de um CLP, deve ser considerada a quantidade de palavras de programação, uma vez que nem sempre há relação direta entre a capacidade física e a capacidade lógica. Conforme o fabricante e o modelo de CLP, a quantidade de memória destinada ao programa do usuário pode ser configurada, normalmente, através de cartuchos que são inseridos na CPU. Além disso, existem casos em que a CPU é fornecida com uma quantidade básica de memória, a qual pode ser expandida por meio desses cartuchos.

A FIG. 5 mostra a quantidade de memória usada por uma aplicação de CLP.

Figura 5 – Relatório da memória usada por uma aplicação de CLP



Fonte: Schneider Eletric, 2007.

4.4 Fontes de alimentação

As fontes de alimentação desempenham papel importante na operação do sistema de um CLP. Além de fornecer todos os níveis de tensão para alimentação da CPU e dos módulos de entradas/saídas, funciona como um dispositivo de proteção.

Normalmente os fabricantes de CLP oferecem produtos com tensão de entrada de 120VCA, 220VCA ou 24VCC. Isto permite que o usuário escolha a tensão que seja mais adequada à sua aplicação, como por exemplo, se utilizar a alimentação em corrente alternada pode eliminar a necessidade de instalar uma fonte de alimentação em corrente contínua.

Para Capelli (2002), a fonte de alimentação pode vir integrada ao CLP, geralmente com o objetivo de baratear a aplicação, ou ser fornecida externamente. No primeiro caso, é preciso ter cuidado para não ultrapassar a potência da fonte, pois, geralmente ela é dimensionada de

acordo com o consumo da CPU. Por motivos de segurança, a alimentação dos módulos de entradas/saídas é separada da CPU, sendo recomendável utilizar uma fonte externa para a alimentação desses módulos.

Como a maior parte das instalações passa por flutuações de tensão na linha, as fontes de alimentação do CLP devem ser projetadas para manter a operação normal mesmo quando a tensão sofre variações. Na escolha de uma fonte externa deve-se ter cuidado para que a tensão de saída e mais o *ripple* não ultrapasse o máximo valor de entrada estabelecido pelo CLP e por seus módulos.

No entanto, alguns CLP garantem a segurança e a integridade da tensão de alimentação para todo o sistema por meio do monitoramento constante dos níveis de tensão e de corrente fornecidos. Se esses níveis excederem os valores máximos ou mínimos permitidos, além do tempo especificado pelo fabricante (em torno de 10ms), o processador executa uma parada controlada, permitindo salvar os dados e o programa do usuário na memória do CLP.

Segundo Silveira (1998), atualmente, as fontes de alimentação dos CLP utilizam tecnologia de chaveamento de frequência (fontes chaveadas). Em alguns casos, a tensão de entrada não é fixa e nem selecionável pelo usuário, possuindo ajuste automático, o que proporciona maior versatilidade e qualidade ao sistema (a variação de entrada mais comum é de 100 a 240VCA). As fontes chaveadas mais completas, principalmente as externas, oferecem proteção contra sobrecarga, sobretensão, subtensão e curto-circuito, com tensão de saída ajustável e de alta estabilidade.

Finalmente, quando o usuário definir os módulos que farão parte do CLP e os sensores e atuadores ligados a esses módulos, é possível calcular o consumo da fonte. É preferível dimensionar um percentual acima do calculado para não ser necessário a aquisição de outra fonte de alimentação, o que seria bem menos vantajoso.

4.5 Bateria

As baterias são usadas nos CLP para manter o circuito do relógio em tempo real, reter parâmetros ou programas armazenados na memória *RAM*, guardar configurações de equipamentos, etc. Normalmente são utilizadas baterias recarregáveis do tipo Ni-Cd ou Li.

Nestes casos, são incorporados os circuitos carregadores. As baterias do CLP são do tipo longa vida (em alguns casos podem chegar a 10 anos de vida útil). Em relação à capacidade de manter os dados sem energia elétrica, boa parte dos fabricantes garante que se a bateria estiver em bom estado, mantém os dados em média por 30 dias. No entanto, esses valores podem variar bastante de fabricante para fabricante. Desse modo, é bastante aconselhável

consultar as especificações técnicas do CLP, possibilitando, assim, programar as substituições da bateria para evitar transtornos.

Dependendo do CLP, a bateria pode ser uma parte padrão do pacote de hardware ou estar disponível como um opcional. Neste último caso, o CLP pode utilizar um capacitor de grande capacidade no lugar da bateria.

4.6 Módulo de entradas e saídas discretas (digitais)

Segundo a Elipse Software (2009), os módulos de entrada/saída fazem a comunicação entre a CPU e o meio externo (através de sensores e atuadores), além de garantir isolamento e proteção à CPU. Os módulos discretos utilizam sinais que tenham apenas dois estados, geralmente conhecidos como ON/ OFF, ligado/desligado ou níveis lógicos 0/1.

Normalmente, os módulos de entrada/saída são dotados de:

- Isolação óptica para proteção da CPU, fonte de alimentação e demais módulos. Neste caso, não há conexão elétrica entre os dispositivos de entrada (chaves, sensores) ou de saída (atuadores, motores) e o barramento de comunicação da CPU;
- Indicadores de status para auxílio durante a manutenção. Tratam-se de LED (*Light Emitting Diodes* - Diodos Emissores de Luz) presentes na parte frontal dos módulos de entrada/saída que indicam quais pontos de entrada estão recebendo sinal dos dispositivos externos e quais pontos de saída estão sendo atuados pela CPU. Há também a possibilidade de existirem indicadores de falhas, como, por exemplo, falta de alimentação externa, bloco de terminais desconectado ou fusível interno queimado;
- Conectores removíveis que reduzem o tempo de manutenção e/ ou substituição dos módulos. A quantidade de pontos de entrada e/ ou saída de um módulo é o que determina sua densidade. Para os módulos de saída, quanto maior a densidade, menor a corrente que cada ponto pode fornecer e menor será o seu custo de fabricação.

4.6.1 Módulos de entradas discretas

Os módulos de entradas discretas recebem os sinais dos dispositivos de entrada, tais como, sensores, chaves e botões, e os convertem em níveis adequados para serem processados pela CPU. Os módulos geralmente são oferecidos com quantidade de pontos disponíveis de 8, 16, 32 ou 64 e faixa de tensão das entradas de 110 VCA, 220 VCA, 12 VCC ou 24 VCC.

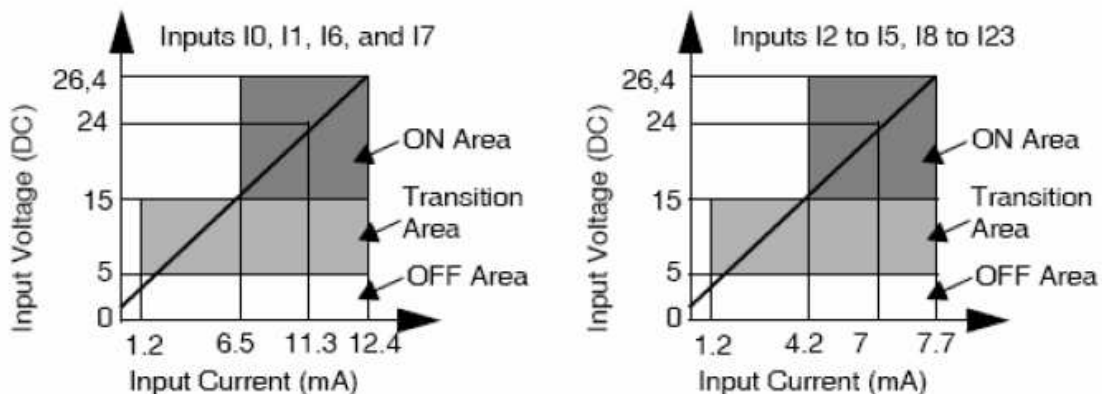
Tendo em vista as características do ambiente industrial, são incorporados às entradas filtros de sinal que eliminam problemas de *bounces* (pulsos indesejados causados durante a abertura

ou fechamento de contatos mecânicos). Alguns CLP oferecem também a possibilidade de ajustar um tempo de filtro por software, provocando um atraso de alguns milissegundos, o qual pode ser utilizado em situações onde a entrada do CLP não pode ser acionada acidentalmente e o tempo de resposta do dispositivo de entrada não é crítico.

O módulo reconhece um sinal de entrada como ligado (nível lógico 1) quando a tensão de entrada ultrapassar um valor determinado por norma e permanecer acima desse valor por um tempo no mínimo igual ao atraso do filtro. (Ogata, 1998)

A fig. 3 mostra a área de ativação da entrada (*ON Area*), onde o fabricante garante que o nível lógico será 1, a área de transição (*Transition Area*), onde o fabricante não garante qualquer nível lógico, e a área de desativação (*OFF Area*), onde o fabricante garante que o nível lógico da entrada será 0.

Figura 6 – Faixa de operação das entradas Tipo 1 (IEC 61131-2)



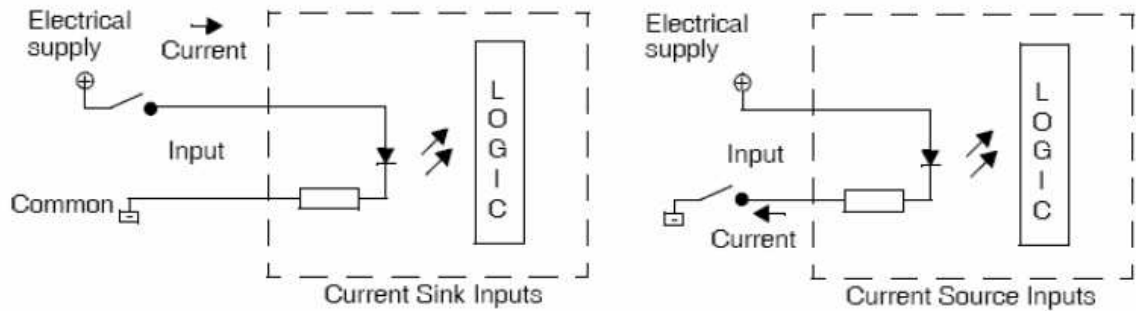
Fonte: Telemecanique - Twido Programmable Controllers, Hardware Reference Guide, 2005.

As entradas discretas podem ser classificadas em dois tipos: *current sink input* (entrada consumidora de corrente) e *current source input* (entrada fornecedora de corrente). Abaixo segue explicação sobre os dois tipos.

- *Current sink input* – Também conhecida como entrada de lógica positiva ou entrada do Tipo P, o dispositivo externo é conectado entre o potencial positivo da fonte e o terminal de entrada do módulo, dessa forma, a entrada absorve corrente do dispositivo externo. O comum das entradas é negativo (ver FIG. 4 e 5). Os sensores do tipo PNP devem ser ligados nesse tipo de entrada;
- *Current source input* – Também conhecida como entrada de lógica negativa ou entrada do Tipo N, o dispositivo externo é conectado entre o potencial negativo da fonte e o terminal de entrada do módulo, dessa forma, a entrada fornece corrente para o dispositivo externo. O

comum das entradas é positivo (ver fig. 7 e 8). Os sensores do tipo NPN devem ser ligados nesse tipo de entrada.

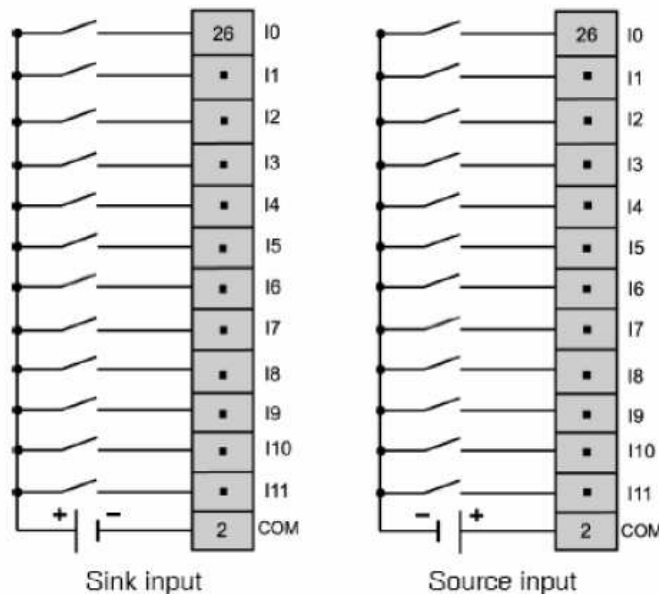
Figura 7 – Tipos de entradas discretas



Fonte: Telemecanique - Twido Programmable Controllers, Hardware Reference Guide, 2005.

A FIG. 8 mostra exemplos de ligações elétricas feitas nos módulos de cada tipo de entrada.

Figura 8 – Exemplo de ligação de dispositivos externos nos módulos de entrada



Fonte: Telemecanique - Twido Programmable Controllers, Hardware Reference Guide, 2005.

4.5.2 Módulos de saídas discretas

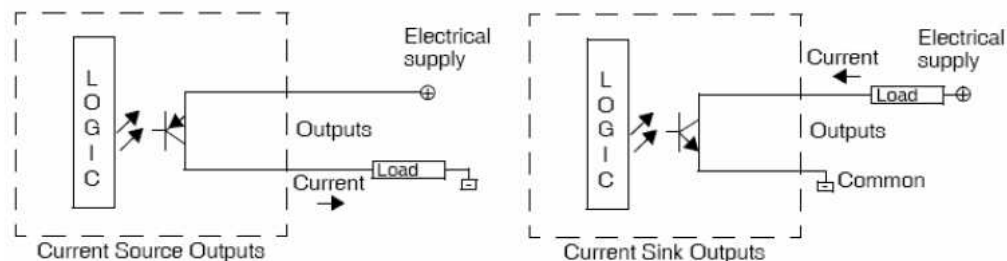
Os módulos de saídas discretas enviam os sinais aos dispositivos de saída, tais como, motores, atuadores e sinalizadores. Esses sinais podem ser resultantes da lógica de controle, pela execução do programa do usuário, ou podem ser ativados manualmente pelo usuário, independente da lógica de controle. Os módulos geralmente são oferecidos com quantidade de

pontos disponíveis de 4, 8, 12, 16, 32 ou 64, com acionamento da saída a transistor (12 VCC, 24 VCC) ou a relé (CA e CC).

As saídas a transistor possibilitam um chaveamento totalmente eletrônico para cargas CC. Dessa forma, possuem vida útil e frequência de chaveamento bem maiores que a saída a relé, além de ocuparem pouco espaço no módulo. Porém, a isolação dielétrica entre módulo e a carga, a tolerância a sobrecargas e a potência da carga a ser acionada são menores que a saída a relé. Esses valores devem ser consultados com o fabricante e podem influenciar diretamente na escolha do tipo de saída. (Simatic, 2005). As saídas discretas a transistor podem ser classificadas em dois tipos: *current source output* (saída fornecedora de corrente) e *current sink output* (saída consumidora de corrente). Abaixo, segue explicação sobre os dois tipos.

- *Current source output* – Também conhecida como saída de lógica positiva ou saída do Tipo P, a carga é conectada entre o potencial negativo da fonte e o terminal de saída do módulo, dessa forma, a saída fornece corrente para a carga. O comum das saídas é positivo (ver fig. 9 e 10).
- *Current sink output* – Também conhecida como saída de lógica negativa ou saída do Tipo N, a carga é conectada entre o potencial positivo da fonte e o terminal de saída do módulo, dessa forma, a saída consome corrente da carga. O comum das saídas é negativo (ver fig. 9 e 10).

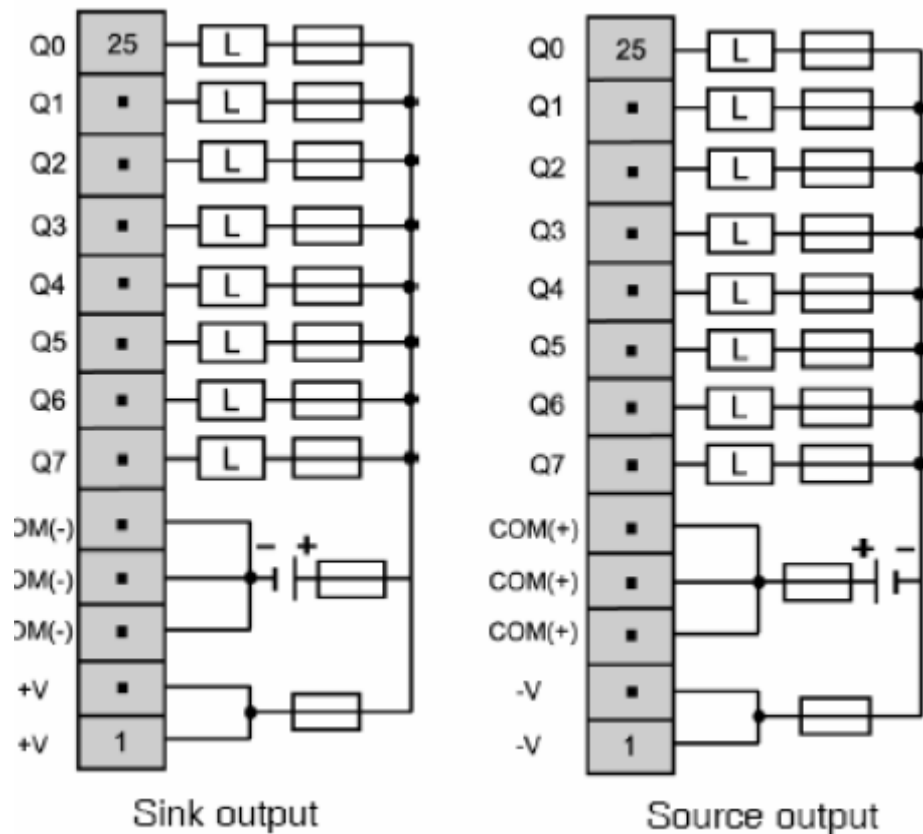
Figura 9 – Tipos de saídas discretas a transistor



Fonte: Telemecanique - Twido Programmable Controllers, Hardware Reference Guide, 2005.

A fig. 10 mostra exemplos de ligações elétricas feitas nos módulos de cada tipo de saída a transistor.

Figura 10 – Exemplo de ligação de dispositivos externos nos módulos de saída a transistor.



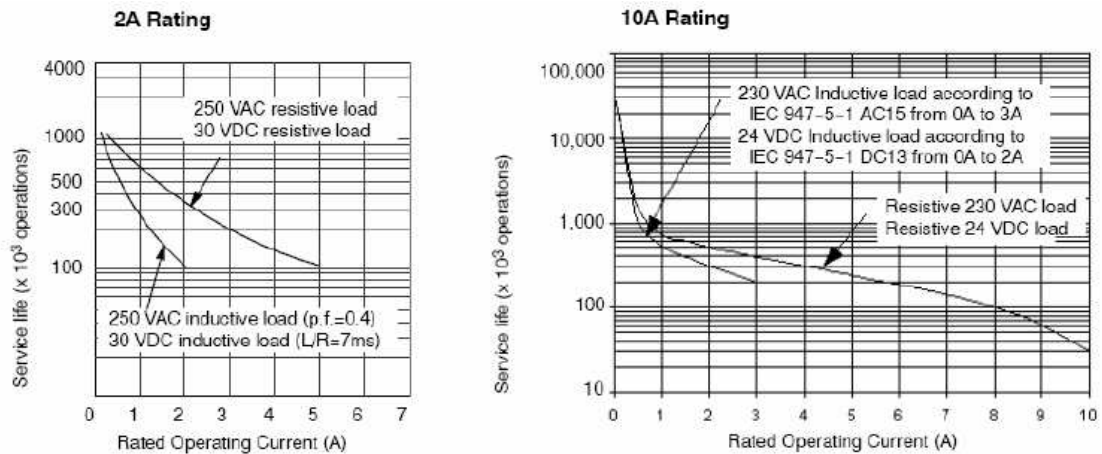
Fonte: Telemecanique - Twido Programmable Controllers, Hardware Reference Guide, 2005.

As saídas a relé permitem que dispositivos de campo sejam comutados por contatos NA e NF. O chaveamento eletro-mecânico permite acionar tanto cargas CA quanto cargas CC, dessa forma, o relé é utilizado muitas vezes como interface entre o CLP e um dispositivo que trabalha com um nível de tensão diferente.

No entanto, não é recomendada a utilização de saídas a relé para acionamentos cíclicos, mesmo de baixa frequência, ou acionamentos rápidos, devido à fadiga mecânica que eles podem sofrer.

A fig.11 mostra a vida útil do relé em função das características da carga acionada.

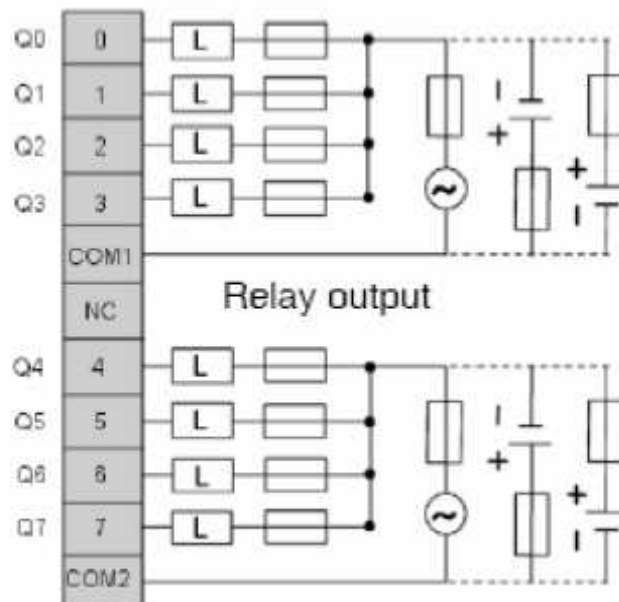
Figura 11 – Vida útil do relé em função da carga acionada



Fonte: Siemens, 2005.

A fig. 12 mostra exemplos de ligações elétricas feitas nos módulos de saída a relé.

Figura 12 – Exemplo de ligação de dispositivos externos nos módulos de saída a relé



Fonte: Telemecanique - Twido Programmable Controllers, Hardware Reference Guide, 2005.

A informação mais importante que deve ser observada nas saídas discretas é a máxima corrente permitida para cada ponto de saída, normalmente indicada para cargas resistivas. Na maioria dos casos são indicadas a corrente máxima por ponto e a corrente máxima por comum

ou máxima por módulo. Desse modo, o somatório das correntes individuais de cada saída não pode ultrapassar o máximo permitido pelo módulo.

Um cuidado importante no projeto de ligação das saídas é a utilização de fusíveis de proteção. Normalmente, o manual do CLP indica a existência desses elementos, se são substituíveis e se estão localizados interna ou externamente ao módulo. Mesmo que os módulos de saída apresentem fusíveis de proteção, recomenda-se a utilização de proteção externa por meio de fusíveis individuais para cada ponto de saída.

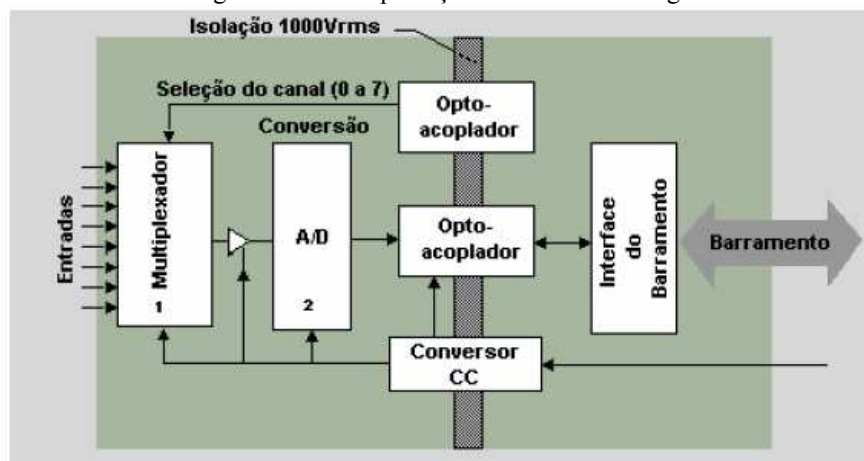
4.7 Módulos de entradas/saídas analógicas

Segundo Carvalho (2003), os módulos analógicos, que tratam de sinais analógicos (tensão, corrente, temperatura, etc.), convertem sinais analógicos, provenientes dos dispositivos de entrada (transdutor, conversor, termopar), em sinais digitais por meio de um conversor analógico/digital (A/D), disponibilizando-os adequadamente ao barramento da CPU. Os módulos analógicos de saída convertem sinais digitais, disponíveis no barramento da CPU, em sinais analógicos por meio de um conversor digital/analógico (D/A), enviando-os aos dispositivos de saída. Cada entrada ou saída analógica é denominada de canal.

4.7.1 Módulos de entradas analógicas

Os módulos de entradas analógicas possuem um processador dedicado que é responsável pelo processamento, filtro e precisão do sinal digital enviado à CPU, além de diagnósticos referentes ao módulo. Esses módulos geralmente são multiplexados, ou seja, existe apenas um conversor A/D para cada módulo.

Figura 13 – Multiplexação de entradas analógicas



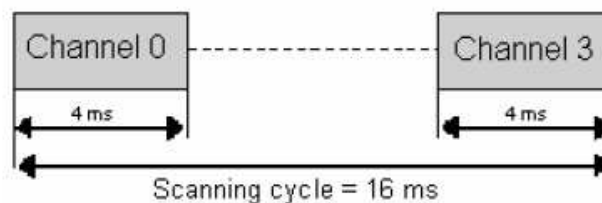
Fonte: Schneider Electric, 2007.

As seguintes características são importantes na escolha do módulo:

- Quantidade de canais disponíveis: são oferecidos módulos de 2, 4, 8 ou 16 canais. Esses canais podem ser isolados (isolação galvânica), o que possibilita a conexão a dispositivos com saída diferencial (os dois pólos de entrada variam em relação à terra, o valor a ser convertido é a diferença existente entre esses dois pólos); ou podem ser não isolados (comuns) – um dos pólos de entrada é conectado internamente ao terra da fonte;
- Tipo e faixa de operação: os valores mais comuns são corrente (0-20 mA, 4-20 mA), tensão (0-10V, $\pm 10V$) ou temperatura (termopares – B, E, J, K, L, N, R, S, T, U; termoresistências – Pt100, Ni1000). Um mesmo módulo pode operar seus canais individualmente em mais de uma faixa de operação, a qual é selecionada internamente no módulo;
- Resolução do conversor A/D: os valores mais comuns são 8, 10, 12 ou 16 bits. A resolução é o menor incremento possível no valor analógico de entrada que pode ser detectado pelo conversor A/D. Para as resoluções citadas acima, o número de níveis diferentes que podem ser lidos são os seguintes: $2_8 = 256$, $2_{10} = 1024$, $2_{12} = 4096$ e $2_{16} = 65536$. Nesse caso, para um módulo que opera na faixa de 0-10V, as frações de tensão detectadas, respectivamente, são de 39,2 mV, 9,78 mV, 2,44 mV e 0,15 mV. Ou seja, quanto maior a quantidade de bits do conversor A/D, menor a fração do sinal que pode ser lida, o que influencia diretamente na precisão do processo;
- Ciclo de atualização da amostragem: há um tempo necessário para que os sinais analógicos sejam digitalizados e disponibilizados para a CPU. Quando os canais são multiplexados, o tempo deste processo deve ser multiplicado pelo número de canais.

Assim, tem-se o ciclo de atualização das entradas, ou seja, o período de tempo necessário para cada nova aquisição do valor da entrada. A fig. 14 mostra um exemplo onde cada canal precisa de 4ms para digitalizar o sinal e o módulo possui 4 canais, desse modo, o tempo para digitalizar os quatro canais é de 16ms.

Figura 14 – Ciclo de atualização da amostragem



Fonte: Schneider Electric, 2007.

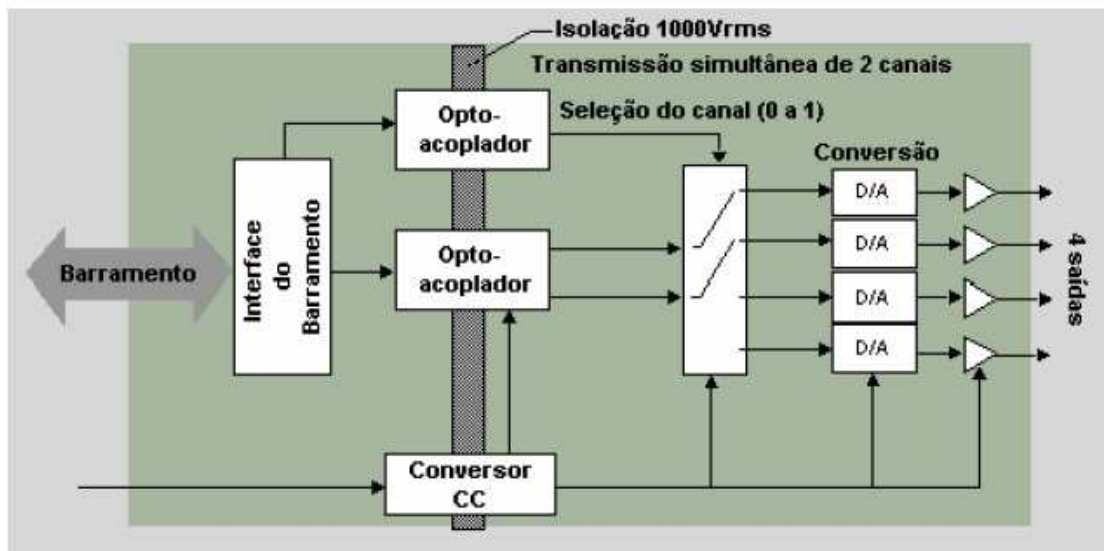
Há módulos de entrada analógica que aceitam sinais provenientes diretamente de um transdutor de temperatura (termopares e termoresistências). Um exemplo é o módulo que

aceita sinais de termopares, fornecendo a compensação de junta fria internamente. A operação desta interface é similar à entrada analógica, com exceção de que os sinais de baixo nível (mV) dos termopares são aceitáveis. Estes sinais são filtrados, amplificados, digitalizados e enviados ao processador sob o comando do programa de controle do usuário.

4.7.2 Módulos de saídas analógicas

Nos módulos de saídas analógicas geralmente existe um conversor D/A para cada saída analógica. A fig. 15 mostra a arquitetura simplificada de um módulo de 4 saídas analógicas.

Figura 15 – Arquitetura das saídas analógicas



Fonte: Schneider Electric, 2007.

São apontadas as seguintes características na escolha do módulo:

- Quantidade de canais disponíveis: são oferecidos módulos de 2, 4, 8 ou 16 canais. Esses canais podem ser isolados (isolação galvânica) ou não isolados (comuns);
- Tipo e faixa de operação dos canais: corrente (0-20 mA, 4-20 mA) ou tensão (0-10 V, ± 10 V). Um mesmo módulo pode operar seus canais individualmente em mais de uma faixa de operação, a qual é selecionada internamente no módulo;
- Impedância de saída: apresenta as resistências mínima e máxima a que o canal de saída pode ser conectado, para sinais de corrente e tensão específicos;
- Resolução do conversor D/A: a maioria dos módulos encontrados no mercado apresenta resolução de 12 bits. A resolução é o menor incremento que o dado enviado ao conversor D/A pode causar no valor analógico de saída;

- Ciclo de atualização da saída analógica: há um tempo necessário para que os valores digitais provenientes da CPU sejam convertidos em sinais analógicos para as saídas.

Semelhante às entradas, o ciclo de atualização da saída analógica depende deste tempo e do número de canais.

4.8 Módulos especiais

Os módulos vistos anteriormente são os mais encontrados nas aplicações de controladores programáveis. Entretanto, em algumas aplicações são necessários módulos especiais, também chamados de módulos inteligentes, que incorporam um microprocessador. Isto permite que a tarefa a ser realizada pelo módulo fique independente do ciclo de varredura do processador. A seguir serão apresentados dois tipos de módulos especiais comuns em aplicações industriais. (Pires, 2002).

4.8.1 Módulos para contagem rápida

Alguns dispositivos de entrada enviam sinais em uma frequência na qual o *scan* do CLP não é rápido suficiente para ler. Nesse caso, podem-se usar módulos providos de um contador de alta velocidade, externo à CPU. Aplicações típicas destes módulos são operações que requerem entrada direta de um *encoder incremental* para controlar o posicionamento de máquinas/ferramentas, guindastes, correias transportadoras, etc. Durante a operação, o módulo recebe pulsos de entrada que são contados e comparados a valores pré-ajustados pelo usuário.

Normalmente a frequência máxima de pulsos varia numa faixa de 100 Hz a 50 kHz. Porém, existem módulos no mercado que podem chegar a uma frequência máxima de pulsos de 4 GHz.

4.8.2 Módulos de entrada/ saída remotos

Os módulos de entrada/ saída remotos permitem fazer a aquisição de sinais digitais e analógicos e/ ou acionarem dispositivos de saída. A diferença em relação aos módulos que são conectados diretamente à base do CLP é que os módulos remotos comunicam com o CLP através de uma rede de comunicação.

A principal vantagem desse módulo é que ele pode estar o mais próximo possível dos dispositivos de entrada e saída, assim, distante do CLP. Dessa forma, apresenta redução no custo de instalação devido à redução na utilização de fios e cabos, além de permitir a

manutenção descentralizada do sistema. A distância máxima do módulo em relação ao CLP depende do protocolo de comunicação e do meio físico utilizado. Um subsistema de entradas/saídas remoto é composto por fontes de alimentação, módulos de entradas/ saídas e adaptadores de comunicação.

Na utilização de módulos remotos devem-se analisar os seguintes fatores:

- Falhas no equipamento remoto. Na ocorrência de falhas, o sistema não pode ser prejudicado e a manutenção deve ser rápida. Em processos críticos, pode-se utilizar um sistema de rede redundante.
- Velocidade de comunicação do módulo remoto com a CPU (a frequência de atualização dos dispositivos de entrada e saída é menor do que nos módulos locais). Nesse caso, deve-se escolher com cuidado a rede de comunicação para não tornar o processo lento;
- A possibilidade de interferência externa na rede. A escolha e a instalação corretas dos meios físicos de comunicação podem minimizar ou resolver por completo o problema.

5. APLICAÇÃO DO CLP PARA O USO NAVAL

Além da sua aplicação no âmbito industrial, os CLP são utilizados na área naval para diversas aplicações que serão apontadas a seguir:

5.1 Convés

Manutenções preventivas e corretivas, reparos e assistência técnica de comandos eletroeletrônicos e sistemas interfaces eletro hidráulicos e servocontrolados, tais como:

- . molinetes / cabrestantes;
- . guindastes / guinchos de carga;
- . ventiladores / exaustores;
- . monovias / guinchos auxiliares;
- . sistemas eletrônicos para unidades hidráulicas;
- . distribuição de controle de força e convés;
- . sistemas de iluminação;
- . bow thruster; e
- . sistema elétrico da rampa.

5.2 Máquinas

Automação, supervisão e regulagens de sistema de segurança, instrumentação, controles pressurizados e excitatrizes com indicações remotas e comunicações interfonadas, tais como:

- . motores principais e auxiliares;
- . caldeiras / incineradores;
- . unidades de tratamento / separadores de água e óleo;
- . graviner;
- . comandos eletroeletrônicos de viscosímetros e salinômetros;
- . painéis de motores-bombas;
- . quadro elétrico principal;
- . máquina do leme;
- . compressores de ar;

- . central de ar condicionado / frigorífica doméstica;
- . ponte rolante / ventiladores;
- . geradores; e
- . elevadores de cargas e sociais.

5.3 Passadiço

Central de governo, controle de alarme e segurança para navegação, sinalização e sistemas interfaceados com a praça de máquinas, tais como:

- . alarme geral;
- . sistema de alarme de incêndio iônico ou óptico;
- . sistema eletrônico de luzes de navegação;
- . vigias rotativa / limpadores de pára-brisa;
- . iluminação de emergência; e
- . coluna do leme.

5.4 Sistema de Comando Multiplexado Universal - (S.C.U) Guinchos/Pontes Rolantes/Molinetes

O sistema de comando multiplexado para comando de pontes rolantes e guinchos tem como principais vantagens os seguintes itens:

- . Comando a distância para pontes rolantes, guinchos e ou máquinas que necessitam a operação através de um comando via cabo, resguardando a segurança e mobilidade do operador.
- . Sistema com possibilidade de comunicação de 8 à 256 botões ou sinaleiros através de dois pares de cabo.
- . Segurança de operação através de sinais de baixa voltagem não colocando em risco o operador mesmo em caso de curto na cabeção.
- . Peso reduzido da unidade remota (incluindo cabo mais console de operação).
- . Possibilidade de ser conectado as exigências de cada cliente e operação, interligando-se facilmente à comandos de 110V, 220V ou 440V.
- . Velocidade de transmissão de impulso de 300ms para distância de até 5Km.

Este comando foi concebido originalmente para ser utilizado em molinetes guinchos de atracação naval, onde o operador por medidas de segurança, deveria operar à distância o equipamento e necessitava não possuir um peso grande da cabeção, facilitado o movimento da unidade remota.

A concepção original possibilita controlar várias máquinas através de uma unidade remota, utilizando contatos SPDT sem potencial, podendo interagir com voltagens diferentes.

5.5 Sistema de Controle do Leme - (SCL)

Concebido originalmente para navios que não possuam Bow Thruster, este sistema possibilita a operação do leme BB/BE de qualquer lugar na ponte de comando, independentemente do funcionamento do piloto automático e do sistema *FOLLOW UP*, estabelecendo, através do travamento de emergência e indicador digital do ângulo do leme, com resolução de até 1°, uma alternativa segura de operação à distância.

5.6 Supervisor do Telégrafo da Máquina - (STM-ST)

Este equipamento condensa as funções de Registro de Ordens do Telégrafo e Alarme de Homem Morto - Dead Man Alarm, dispensando o registro manual da ponte de comando, armazenando e enviando dados das operações do telégrafo e gerando relatórios.

Poderá ser instalado no console das operações e executará as seguintes operações:

- . registro automático das manobras do telégrafo da máquina, através de impressão a laser, com data, hora e seu instantâneo posicionamento;
- . registro no papel das funções do DEAD MAN ALARM, quanto à ocasião de alarmes ou RESET contínuo;
- . armazenamento de até 200 operações, em caso de falta de papel;
- . multiconectável a qualquer sistema de telégrafo da máquina, através de acoplamento óptico, magnético ou por corrente;
- . interface de saída serial para transmissão de dados a outros computadores; e
- . relógio em tempo real, que controla toda a operação do equipamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo remete à conclusão de que o Controlador Lógico Programável tem a função de executar o principal papel no controle de processos seqüenciais na Automação.

Este equipamento foi um dos precursores de diversos processos que podem ser automatizados de forma simples, rápida e confiável, além de permitir a integração de todos os setores de uma instituição, fornecendo à administração informações em tempo real que agilizam a tomada de decisões. Considerando a abundância de oferta de equipamentos, torna-se essencial dominar as características do hardware e os recursos de programação do CLP, a fim de tornar as aplicações mais eficientes.

Quanto ao seu uso no âmbito naval, vimos que podem ser aplicados nas manutenções preventivas e corretivas, nos reparos e assistência técnica de comandos eletroeletrônicos e sistemas interfaces eletro hidráulicos e servocontrolados. Tem uso importante também com relação às máquinas, na automação, supervisão e regulagens de sistema de segurança, instrumentação, controles pressurizados e excitatrizes com indicações remotas e comunicações interfonadas. Além disso, pode atuar na central de governo, no controle de alarme e segurança para navegação, sinalização e sistemas interfaceados com a praça de máquinas.

Vale ressaltar que o aperfeiçoamento dos CLP tem sido uma constante. O mercado oferece novos e melhores produtos que agregam valores ao mesmo tempo em que reduzem o custo das soluções baseadas no mesmo. Portanto, é indispensável uma atualização contínua por intermédio de contato com fabricantes e fornecedores.

Assim, considerando a sua capacidade de trabalhar com qualquer tipo de sinal, pode-se afirmar que um CLP é o elemento ideal para se controlar um sistema, ou processo, seja ele, analógico ou digital

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em: <http://www.abnt.org.br>. Acesso em: 09 fev.2009.

CAPELLI, A. , Mecatrônica Industrial, 1ª Ed. São Paulo: Editora Saber, 2002.

CARVALHO, Paulo Cesar de. Arquiteturas de Sistemas de Automação Industrial utilizando CLPs. Mecatrônica Atual, São Paulo, p.32-36, n.10, jun./jul., 2003.

ELIPSE SOFTWARE. Disponível em: <<http://www.elipse.com.br/elipse/?idioma=1>>. Acesso em: 28 fev. 2009.

GEORGINI, Marcelo. Automação Aplicada; Descrição e Implementação de Sistemas Seqüenciais com PLCs. São Paulo: Érica, 2000. 216p.

KRAKHECHE, I.A. Automação de pequenos processos com CLP. Senai – R.S., 2007.

NATALE, Ferdinando. Automação Industrial. São Paulo: Érica, 2000. 234p.

MACIEL, Paulo Henrique S. CARVALHO, Paulo Cesar de. Interfaces Homem-Máquina. Mecatrônica Atual, São Paulo, p.15-17, n.17, ago./set., 2004.

MIYAGI, P. E., Controle Programável – Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos. São Paulo: Edgar Blücher, 1996.

OGATA, K., Projeto de Sistemas de Controle Lineares com Matlab. Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil, 1998.

PAZOS, F., Automação de sistemas & Robótica. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil Editora, 2002.

PIRES, Norberto. Automação Industrial- Automação, Robótica, Software Distribuído, Aplicações Industriais- ETEP, Edição Técnicas e Profissionais, Lisboa, Portugal, 2002

SCHNEIDER ELETRIC. Disponível em: <<http://www.schneider-electric.com.br/>>. Acesso em: 28 fev. 2009.

SILVA, Ana Paula Gonçalves da. O que são sistemas supervisórios? Elipse Software, 2005. Disponível em: <<http://www.elipse.com.br>>. Acesso em: 01 mar. 2009.

SILVEIRA, Paulo Rogério da. SANTOS, Winderson E. dos. Automação e controle discreto. São Paulo: Érica, 1998.

SIMACTIC S7-200. Programmable Controller System Manual. Siemens, 2005.

SOUZA, Alessandro J. de. Automação Industrial. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2003. Disponível em: <<http://www.dca.ufrn.br/~ajdsouza/arquivos>>. Acesso em: 01 mar.2009.

TWIDO PROGRAMMABLE CONTROLLERS. Hardware Reference Guide. Telemecanique, Version 3.2, 2005.

GUERRA, Wladimir de Andrade. Implementação de Controle Proporcional, Integral e Derivativo Digital em Controladores Lógico Programáveis – Monografia de conclusão do curso de Especialista em Engenharia de Instrumentação – Universidade Federal de Pernambuco, 2009. Disponível em <http://www.ee.ufpe.br>; acesso em julho,2013

VIEIRA, Agnelo Denis. Implementação de estrutura de controle de sistema a eventos discretos em controlador lógico programável utilizando a teoria controle supervisorio modular local – Monografia de conclusão do curso de Produtrônica - Universidade Federal de Santa Catarina, Junho, 2003. Disponível em <http://www.das.ufsc.br/~cury/cursos/implementa-ladder.pdf>, acesso em julho,2013.

ANTONELLI, Pedro Luis. Introdução aos Controladores Lógico Programáveis – Apostila – Senai