Capítulo 3

CLP: estrutura e funcionamento

Conforme definição da norma IEC 61131-1, o CLP é um "sistema eletrônico digital, desenvolvido para uso em ambiente industrial, que usa uma memória programável para armazenamento interno de instruções do usuário, que realiza funções específicas, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, para controlar, através de entradas e saídas, vários tipos de máquinas e processos".

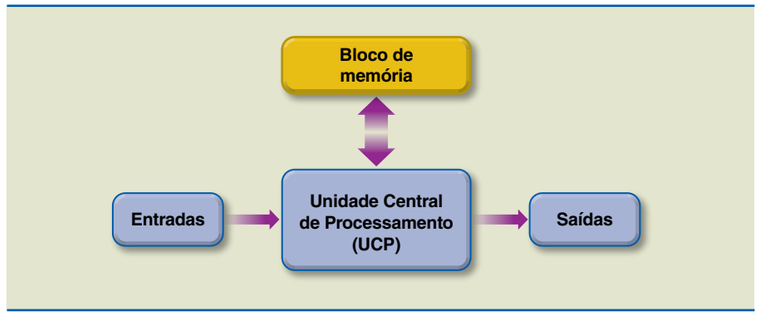
O CLP é basicamente um computador para aplicações industriais com três módulos básicos, mostrados na figura 3.1:

- Unidade central de processamento (UCP).
- Bloco de memória.
- Módulos de entrada e saída.

Adicionalmente, o CLP possui os blocos:

- Fonte de alimentação.
- Terminal de programação.
- Bloco de comunicações.
- Interface homem-máquina.

Figura 3.1
Diagrama dos blocos básicos do CLP.



3.1 Unidade central de processamento (UCP)

A unidade central de processamento (UCP) controla e supervisiona todas as operações realizadas nos circuitos eletrônicos do CLP, por meio das instruções que estão armazenadas na memória. A comunicação interna entre a UCP, o bloco de memória e os módulos de entrada e saída (E/S) é feita por um barramento interno sob o controle da UCP. A frequência de *clock* é responsável pela velocidade de operação do CLP e também pelo sincronismo entre os elementos do sistema da UCP. O *clock* é fornecido por um cristal externo ou oscilador RC.

Existe relação entre o tamanho da memória necessária para rodar o programa e a capacidade do sistema. Controlar um sistema pequeno, de baixa complexidade, requer um CLP simples e memória limitada; da mesma forma que controlar um sistema grande, de alta complexidade, exige um CLP maior, com mais funções e memória. Alguns modelos de CLP têm memória expansível, e outros, memória fixa.

Atualmente, todos os CLPs funcionam por meio de microprocessadores. Alguns CLPs maiores utilizam microprocessadores adicionais para controlar funções complexas e demoradas, como processamento matemático, controle PID e módulos de E/S inteligentes.

O CLP contém diversos conectores para interligá-lo a outros equipamentos (redes, terminal de programação, fonte, interface homem-máquina etc.) via cabos.

3.2 Bloco de memória

A memória armazena os programas desenvolvidos pelo usuário e pelo fabricante. Esse componente desempenha as funções de armazenamento:

- Do programa desenvolvido pelo fabricante (*firmware*).
- Do código do programa desenvolvido pelo usuário.
- Dos dados do programa desenvolvido pelo usuário.

A memória do CLP é organizada de maneira hierárquica: o nível superior, que fica junto ao processador, é constituído dos registradores do processador; depois, vem a memória cache; em seguida, a memória principal, que normalmente utiliza memória de acesso aleatório (RAM). Essa hierarquia continua com as memórias ROM, EPROM, EEPROM e Flash, que armazenam os programas desenvolvidos pelo fabricante.

A memória é um componente com grande variedade de tipos, tecnologias, organizações, desempenho e custos, em comparação com outros componentes do CLP. Apesar dessas diversidades técnicas, nenhuma das tecnologias de memórias satisfaz totalmente todos os requisitos de armazenamento de dados dos CLPs. Assim, um sistema de CLP típico é equipado com uma hierarquia de subsistemas de memórias, algumas internas, diretamente acessíveis pelo processador, e outras externas, acessíveis pelo processador por meio de um módulo de E/S.

Em geral, a memória RAM é usada para o desenvolvimento inicial e teste do programa, pois permite que este seja alterado com facilidade. Existe uma tendência em implementar memória RAM com CMOS (alimentada por bateria reserva recarregável ou de longa vida) que armazena as informações por mais de

um ano, em razão do baixíssimo consumo de potência, ou memórias retentivas especiais que dispensam o uso de baterias.

Em CLPs antigos, ainda com custo de memória RAM muito elevado, o programa era totalmente desenvolvido e testado, carregado em *chips* de memória PROM ou EPROM (via programador externo ou interno), que posteriormente se inveria em um soquete dentro do sistema.

Além de armazenar o programa, o CLP utiliza a memória para outras funções, como:

- Armazenar temporariamente o *status* dos canais E/S – RAM E/S.
- Armazenar temporariamente o *status* de funções internas, como temporizadores e contadores.

Como essas funções utilizam dados variáveis, é necessário o uso de memória RAM.

Um CLP pequeno ou simples geralmente possui tamanho fixo de memória devido às dimensões físicas da unidade. Para esse modelo, a capacidade de memória varia entre 300 e 1 000 instruções, dependendo do fabricante. Essa memória pode parecer insuficiente, mas estima-se que 90% de todas as tarefas de controle binário podem ser resolvidas usando menos de 1 000 instruções, de modo que sobra bastante memória para atender às necessidades da maioria dos usuários.

Um CLP maior usa módulos de memória entre 1 e 64 K, permitindo que o sistema seja expandido pela colocação de cartões de memória RAM ou PROM no bastidor. Como os custos das memórias de circuito integrado (CI) são acessíveis, os fabricantes de CLPs estão aumentando a oferta de memória de programas em seus produtos.

3.3 Módulos de entrada e saída (E/S)

Os módulos de entrada e saída (E/S) de um CLP conectam a interface com o sistema externo. Existem diversos tipos de módulos (analógicos, digitais e inteligentes), com número variável de entradas e saídas. Os módulos de entrada do CLP recebem sinais dos sensores e das botoeiras de campo. Os módulos de saída comunicam aos atuadores qual será a ação de controle ou sinalização.

Em CLPs de médio e grande portes, os módulos de E/S são encaixados em *slots* situados na caixa da UCP ou em *rack* de expansão separado, permitindo flexibilidade na configuração do CLP. A utilização de *slots* também possibilita que o módulo danificado seja substituído rapidamente.

Nos CLPs de pequeno porte (micro-CLPs), a quantidade de entradas e saídas é pequena e fixa (menor que oito) e geralmente se resume a sinais digitais.

Os módulos de entrada e saída têm como funções adicionais:

- Isolar eletricamente os sinais do processo dos sinais da UCP, além de prover proteção contra surtos de tensão nas entradas e saídas. Essa isolação é necessária porque o processo automatizado trabalha com tensões elevadas e com a possibilidade de ocorrência de surtos de tensão, provenientes de descargas atmosféricas, sobretudo se os módulos operarem ao ar livre. Sem essa isolação elétrica e a proteção contra surtos de tensão, todo o sistema de controle seria avariado.
- Os módulos de entrada fazem a aquisição, a filtragem e o armazenamento dos sinais de entrada quando solicitado pela UCP.
- Os módulos de entrada enviam os valores dos sinais de entrada, armazenados na memória do módulo de E/S, para a UCP.
- Os módulos de saída recebem da UCP os dados de saída e os armazena em sua memória, aplicando-os às respectivas saídas quando solicitado pela UCP.
- Os módulos de E/S verificam a ocorrência de erros de comunicação módulo-UCP, falha nos sensores, falha na fonte de alimentação dos módulos, falha nos cabos de sinal etc. e os comunica à UCP.

Os principais tipos de módulos de entrada e saída são classificados em digitais, analógicos e inteligentes, descritos detalhadamente a seguir.

3.3.1 Módulos de E/S digitais

Os módulos de E/S digitais operam com sinais de dois estados: ligado ou desligado. Os módulos de entrada digital são capazes de detectar e converter sinais de entrada em níveis lógicos de tensão usados no CLP; os de saída digital convertem os sinais lógicos de saída usados no CLP em sinais próprios capazes de energizar os atuadores.

Alguns módulos de E/S digitais trabalham com sinais contínuos; outros operam com sinais alternados. Para uso em CC (corrente contínua), o valor de tensão padrão adotado é de 24 V, pois permite uma relação sinal/ruído adequada para ambientes industriais. Já para os módulos de CA (corrente alternada), o padrão é de 110 ou 220 V.

Dentre os diversos tipos de dispositivos transdutores e atuadores que podem ser ligados às entradas digitais estão:

- Microchaves.
- Chaves *push-button*.
- Chaves fim de curso.
- Sensores de proximidade.
- Chaves automáticas.
- Portas lógicas.
- Células fotovoltaicas.
- Contatos de *starters* de motores.
- Contatos de relés.
- Pressostatos.
- Termostatos.
- Sensor de proximidade.
- Sensor de presença.

Como dispositivos de saídas digitais, podem-se citar:

- Anunciadores.
- Relés de controle.
- Lâmpadas.
- Portas lógicas.
- Buzinas.
- *Starters* de motores.
- Válvulas elétricas.
- Solenoides.
- Bobinas de contatores que acionarão cargas de elevadas correntes e tensões.
- Solenoides de válvulas pneumáticas.
- Válvulas solenoides.
- Disjuntores.
- Pequenos motores.

Dependendo do modelo utilizado, toda entrada e saída é alimentada por alguma fonte de tensão, na maioria das vezes, o valor de tensão é 24 V_{CC} ou 120 V_{CA}.

Quando em operação, aplicação de tensão à entrada resulta em nível lógico "1" (verdadeiro) no bit de memória correspondente àquela entrada física; aplicação de tensão nula à entrada, em nível lógico "0" (falso).

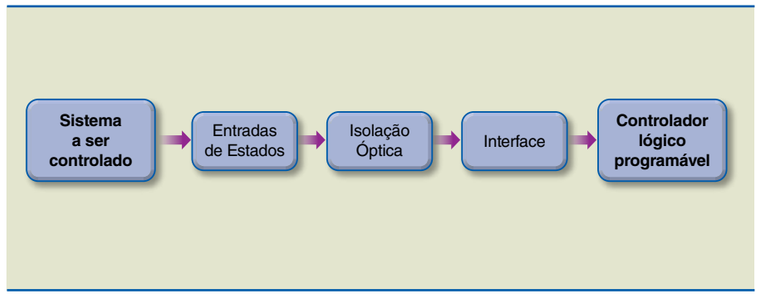
Se a UCP impõe o nível lógico "1" no bit de memória correspondente a uma saída digital, uma chave se fechará no módulo de saída, energizando o elemento conectado à saída.

Módulos de entrada digital em CC

A comutação executada por um transdutor digital de corrente contínua pode ser do tipo P ou N, ou seja, o acionamento pode ser lógico positivo (comum negativo) ou lógico negativo (comum positivo). Não existe vantagem alguma de um tipo sobre o outro, mas deve-se adotar apenas um deles, visando à padronização dos itens de estoque. Além disso, essa padronização evita incompatibilidades, por exemplo: termos comprado um cartão P e contarmos somente com sensores N no estoque.

A figura 3.2 ilustra o diagrama de blocos de uma entrada digital.

Figura 3.2
Diagrama em blocos do sinal de entrada digital.

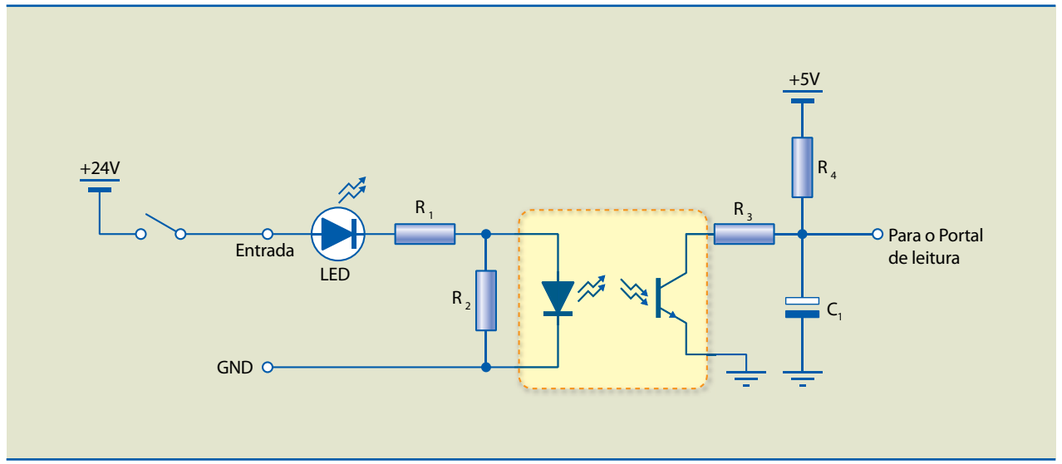


Os módulos de entrada CC convertem sinais discretos de corrente contínua (12 V_{CC}, 24 V_{CC}, 48 V_{CC}, 125 V_{CC}) para os níveis lógicos aceitáveis pela UCP.

A figura 3.3 mostra como conectar uma chave entre o sinal +24 V e a entrada digital do tipo P. Com a chave na posição aberta, a tensão de entrada é nula. Com a chave fechada, a tensão passa a 24 V. Observe também, no circuito da figura 3.3, que existe um filtro RC formado por C_1, R_3 e R_4. A função desse filtro é amenizar a interferência de ruídos existentes na alimentação, próprios de redes elétricas industriais, de maneira que não causem acionamento indevido no CLP. No entanto, frequências maiores que 1 kHz não serão atendidas pela entrada por causa da existência desse filtro (tal limitação não existe nas entradas especiais de contadores rápidos).

Em uma entrada do tipo N, o ânodo do LED fica ligado permanentemente ao +24 V, e o terminal de entrada, ao cátodo do LED. Nessa configuração, para acionar uma entrada do tipo N, é necessário fornecer o potencial do borne negativo da fonte auxiliar ao borne da entrada.

Figura 3.3
Circuito de entrada digital do tipo P.



Módulos de entrada digital em CA

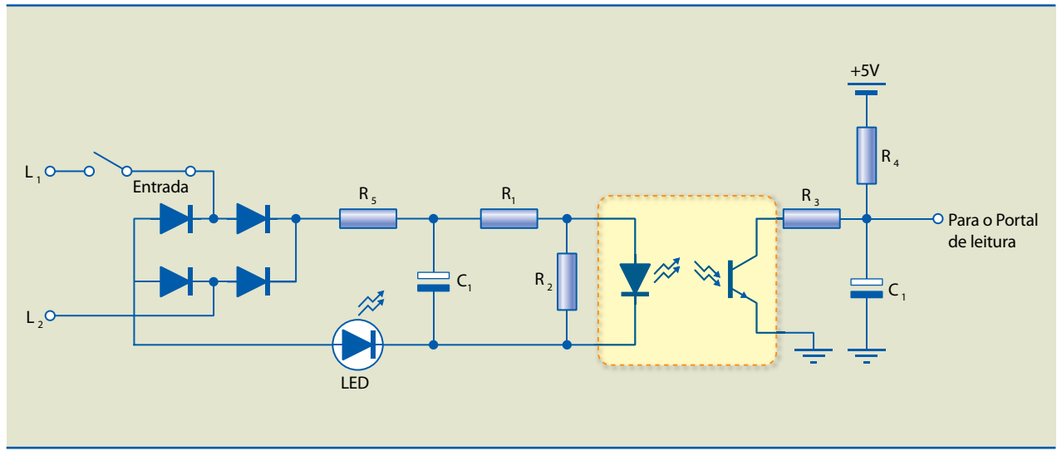
De modo semelhante às entradas de corrente contínua, as entradas digitais de corrente alternada obtêm, como sinais do processo, tensões de 110 ou 220 V. Esse modelo apresenta como vantagem a possibilidade de posicionar os sensores ou chaves a maiores distâncias do CLP. Isso se deve à melhor relação sinal/ruído ao operar com tensões de 110 ou 220 V. Em geral, se os sensores estão a uma distância superior a 50 m do controlador, é necessário trabalhar com entradas CA.

É importante lembrar que, trabalhando com níveis CA, deve-se tomar mais cuidado no que se refere à isolação geral da instalação. Um bom exemplo de aplicação de módulos de entrada CA está em usinas hidroelétricas, onde os sensores podem estar situados a distâncias de até 500 m.

Os modelos de módulos de entrada variam conforme o fabricante, porém, a maioria é constituída de blocos básicos. O circuito de entrada é composto de duas partes principais: a de alta tensão e a lógica (figura 3.4).

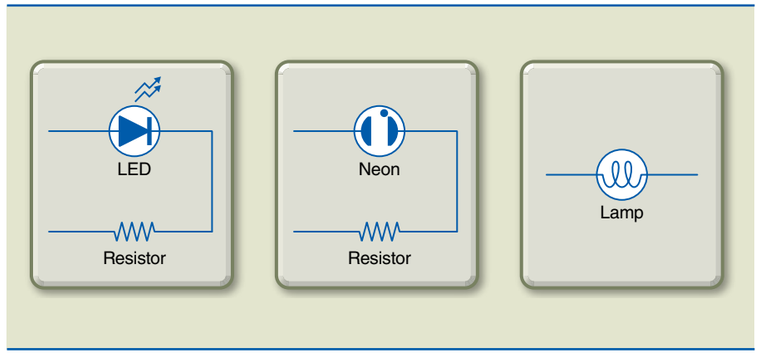
Essas duas partes são acopladas por um circuito (em geral, um acoplador óptico) que isola eletricamente a entrada da saída. A seção de entrada converte a tensão de entrada (115 ou 230 V_{CA}) de um dispositivo em um sinal de nível lógico para ser usado pelo processador. O sinal senoidal é retificado e aplicado a um filtro RC, que o torna constante. O sinal retificado passa pelo acoplador óptico e finalmente é aplicado à UCP. O filtro RC causa um atraso típico na transmissão de sinal de 10 a 25 m, o que limita sua utilização para sinais lentos, com frequências menores que 10 Hz. Contudo, esse atraso não interfere na detecção de sinais de botoeiras, termostatos, pressostatos etc.

Figura 3.4
Circuito de entrada digital em CA.



A maioria dos módulos de entrada contém indicações visuais do estado lógico de suas entradas em LED ou lâmpada (figura 3.5). Essa sinalização visual é muito útil no período de testes para detectar falhas no programa. Se o programa não está funcionando, é fácil saber se o sinal realmente está sendo aplicado à entrada digital, sem a necessidade de utilizar um voltímetro.

Figura 3.5
Indicações visuais no módulo de entrada.



Módulos de saída digital em CA

Esses módulos são geralmente usados para acionar cargas (bobinas de contatores, relés etc.) ligadas em corrente alternada com tensões de alimentação entre 90 e 240 V_{CA}. Essas saídas convertem os sinais lógicos usados no CLP em sinais característicos capazes de energizar os atuadores. Em geral, possuem capacidade de corrente de até 2 A.

O diagrama em blocos da figura 3.6 descreve a operação de grande parte dos módulos de saída em corrente alternada disponíveis no mercado.

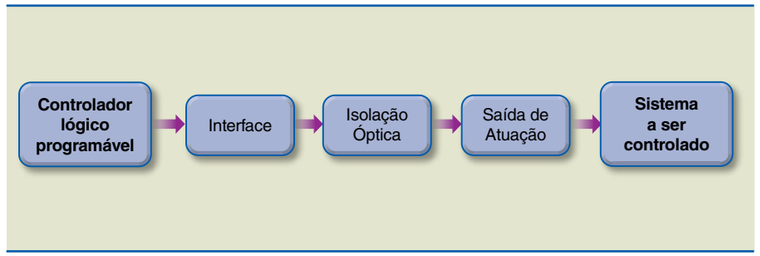
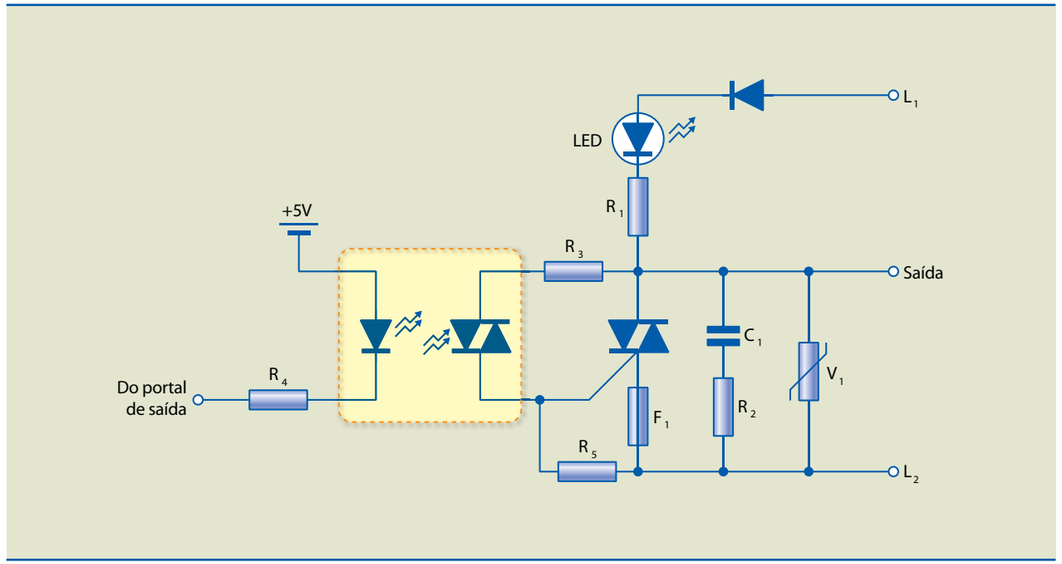


Figura 3.6
Diagrama em blocos do sinal de saída digital.

Se a saída da UCP fica energizada, o estado passa para a etapa de potência e instantaneamente dispara uma chave, nesse caso um relé ou um TRIAC. No TRIAC, apresentado no circuito da figura 3.7, a carga será ligada entre o terminal L_1 e o terminal "Saída". Os terminais L_1 e L_2 correspondem à rede de 110 ou 220 V_{CA} destinada ao acionamento dos dispositivos de saída. Nesse circuito, podemos notar a existência de um varistor (V_1) que protege a saída contra surtos de tensão, um circuito RC que protege contra disparos indevidos e um TRIAC isolado por acoplador óptico.

Figura 3.7
Circuito de saída digital em corrente alternada com TRIAC.



A figura 3.8 mostra um esquema de ligação em um módulo de saída CA.

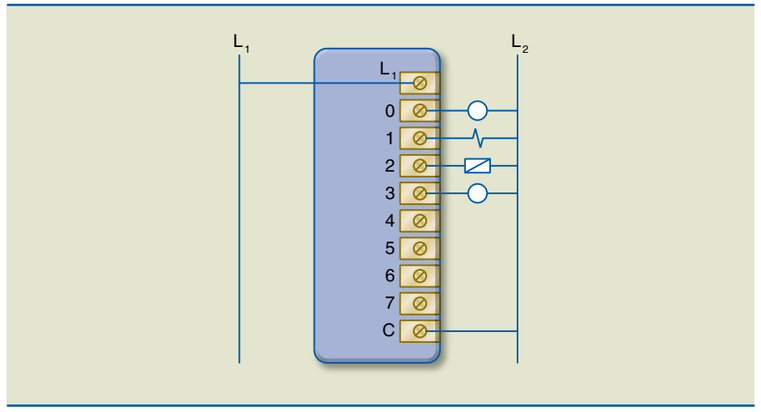


Figura 3.8
Diagrama de saída para módulo digital CA.

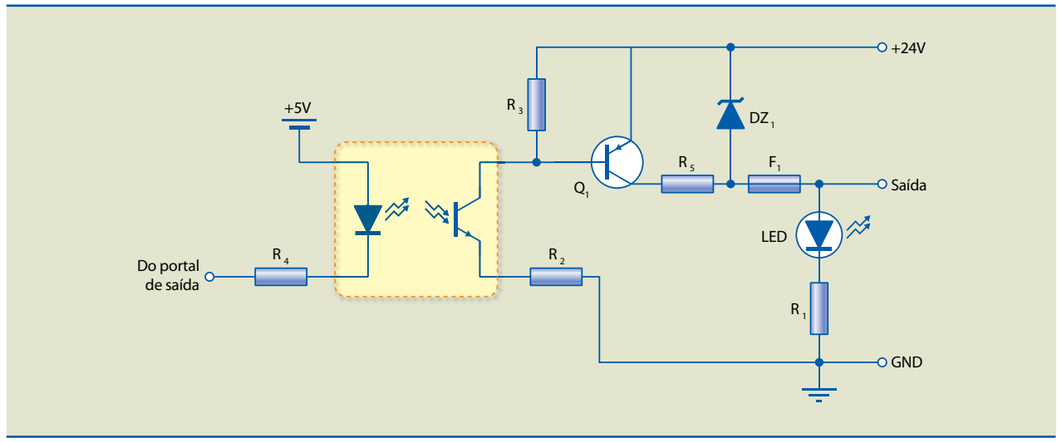
Os módulos de saída também possuem LED para indicar o estado da lógica. Alguns módulos têm um fusível na parte de potência para proteger o elemento de chaveamento (TRIAC ou relé) contra sobrecorrentes ou curtos na carga.

Módulos de saída digital em CC

Os módulos de saída em CC têm funcionamento similar aos módulos de saída em CA, porém, foram projetados para atuar em dispositivos de corrente contínua. Seus circuitos de chaveamento da carga são diferentes; eles utilizam FETs (transistores de efeito de campo) ou transistores bipolares para o chaveamento. Essas saídas digitais em CC podem ser de dois tipos:

- **Tipo P** – Fornece potencial positivo e a carga deve ser ligada entre o borne positivo da saída e o negativo da fonte de alimentação (figura 3.9).
- **Tipo N** – A carga deve ser ligada entre o potencial positivo da fonte de alimentação e o borne de saída.

Figura 3.9
Circuito de saída digital do tipo P.



A figura 3.10 mostra um esquema de ligação em um módulo de saída CC.

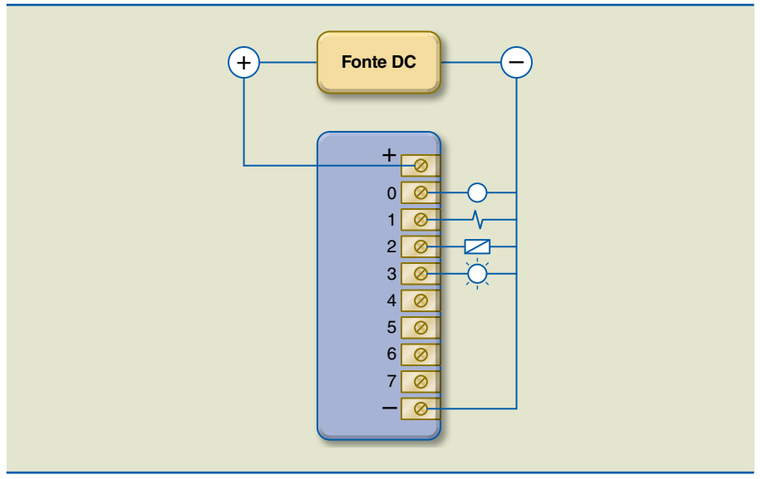


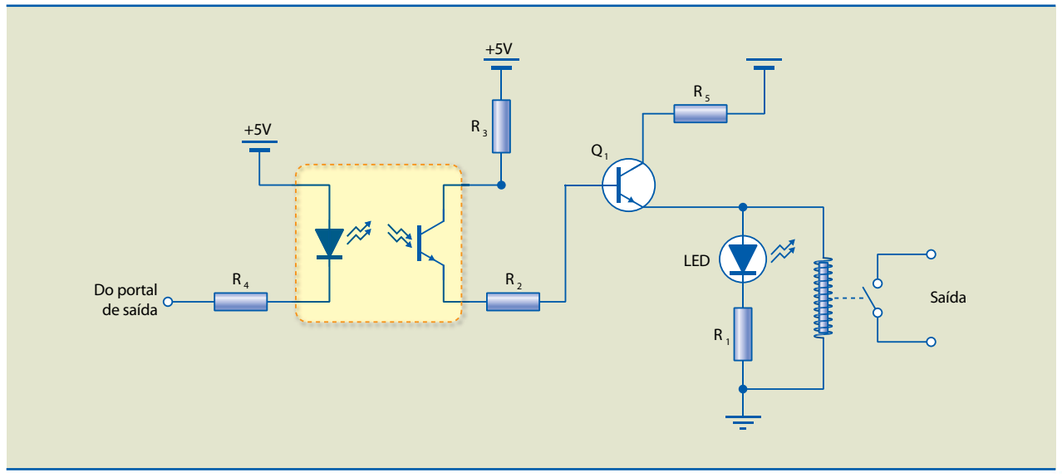
Figura 3.10
Diagrama de saída para módulo digital CC.

Módulos de saída a relé

Os módulos de saída a relé são utilizados por sua versatilidade em comutar sinais, podendo ser aplicados a cargas de corrente alternada e de corrente contínua (figura 3.11).

Esses módulos apresentam desgaste em seus contatos elétricos em razão da circulação de corrente elétrica em seus terminais (arco voltaico) e desgaste mecânico proporcional ao número de chaveamentos realizados. Para aumentar sua vida útil, deve-se utilizá-los como contatos auxiliares, ou seja, intercalar entre a saída do CLP e a carga outro relé de maior potência ou uma chave estática, poupando os contatos do relé interno do módulo do CLP. Um inconveniente desse modelo é que as saídas a relé são mais lentas que as saídas a transistor.

Figura 3.11
Circuito do módulo de saída a relé.



Módulos de saída TTL

Os módulos de saída TTL permitem interfacear dispositivos externos compatíveis com esses níveis e dispositivos alimentados por 5 V_{CC}, como LED de sete segmentos e circuitos integrados digitais. Como os demais módulos de saída, requerem alimentação externa para atuar na carga.

3.3.2 Módulos de E/S analógicas

A alta escala de fabricação, o baixo custo e a disponibilidade de circuitos integrados possibilitaram que na estrutura do CLP fosse incluída grande capacidade de processamento de dados. Isso também propiciou a expansão da capacidade de E/S e a implementação de módulos analógicos e digitais no CLP. Os módulos de E/S analógicas permitem controlar e monitorar correntes e tensões compatíveis com muitos sensores, válvulas, acionadores de motores e instrumentos de processo.

Apresentam-se a seguir os dispositivos típicos que são interfaceados com os módulos de E/S analógicas.

a) Dispositivos com módulos de entrada analógica:

- transdutores diversos;
- transmissores eletrônicos;
- instrumentos analíticos;
- potenciômetros.

b) Dispositivos com módulos de saída analógica:

- indicadores analógicos;
- *drives* de motores;
- registradores;
- transdutores I/P;
- válvulas elétricas.

As interfaces analógicas normalmente estão disponíveis para diversos tipos de padrão, como operação unipolar e diferencial de corrente ou de tensão.

Módulos de entrada analógica

Os dispositivos de campo fornecem sinais (de tensão ou corrente elétrica) para os módulos de entrada analógica, que, por meio de circuito (conversor analógico-digital – A/D), converte esses sinais analógicos em uma informação digital. Esses sinais analógicos de entrada são inseridos no CLP na forma binária e armazenados em uma posição de memória para uso posterior. Os módulos de entrada possuem alta impedância, possibilitando a interface com os dispositivos de campo sem causar sobrecarga ou afetar sua operação. A interligação com os dispositivos de campo é feita por cabos blindados, que reduzem os ruídos elétricos de fontes externas (figura 3.12), além de possuírem filtro e isolação elétrica para proteger os módulos.

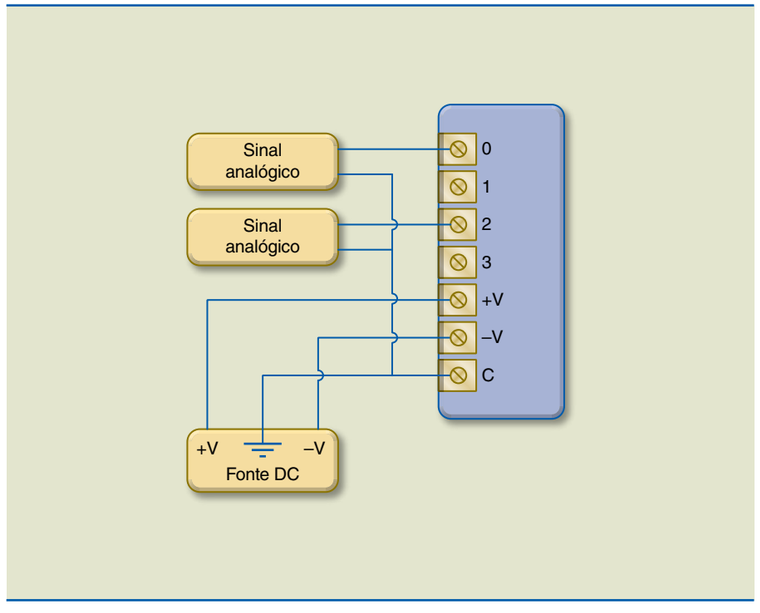


Figura 3.12
Diagrama de ligação para módulo analógico.

Os padrões usuais para os módulos de entrada analógica são apresentados na tabela 3.1.

Tabela 3.1
Padrões de módulos de entrada analógica

Tensão (V)	Corrente (mA)
1 a 5	4 a 20
0 a 5	0 a 20
–10 a +10	–20 a +20
0 a 10	

Os módulos são projetados para receber quatro, oito ou dezesseis entradas analógicas. A conversão analógico-digital é feita em 12 ou 14 bits codificados em binário. A configuração de entrada e a operação bipolar ou unipolar podem ser selecionadas por *jumpers* ou por *software*.

Módulos de saída analógica

Os módulos de saída analógica possuem um conversor digital-analógico (D/A) que recebe os valores numéricos na forma binária alocados nos registros do CLP e os converte em grandezas analógicas de tensão ou corrente proporcionais à informação digital e as envia para a saída. A resolução do conversor é de 12 ou 14 bits. Uma saída analógica tem como função fornecer sinal analógico para comandar atuadores analógicos, conforme ilustrado na figura 3.13. Todas as outras características são semelhantes às do módulo de entrada analógica.

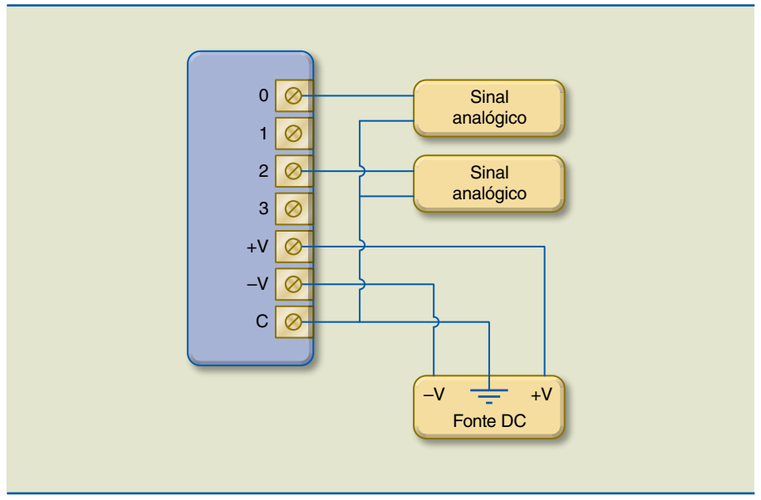


Figura 3.13
Diagrama de ligação para módulo analógico.

3.3.3 Módulos de E/S inteligentes

As necessidades de E/S digitais de um CLP são atendidas em 90% dos casos pelos módulos convencionais. Em algumas situações, como na contagem de pulsos de elevada frequência, as entradas convencionais são extremamente lentas e acionadas pela UCP, que, além de ler as entradas digitais, precisa gerenciar todos os módulos de E/S e executar o programa. Como a UCP não pode ficar permanentemente contando pulsos, acaba perdendo a contagem de alguns. Essa deficiência pode produzir erros inaceitáveis – por exemplo, se estivermos controlando a posição de uma máquina pela contagem de pulsos gerados por um *encoder*. Nesse caso, recomendam-se os módulos contadores rápidos, que possuem um microprocessador dedicado em tempo integral à contagem de pulsos. Quando a UCP precisar saber o resultado da contagem, basta solicitá-lo ao módulo contador.

Outro exemplo inclui os condicionadores de sinal, como uma entrada de termopar, em que, além da amplificação do sinal e de sua leitura, deve-se efetuar a linearização, para que o dado represente a grandeza física medida. Os módulos contadores rápidos podem realizar todas as tarefas necessárias para esses procedimentos, aliviando a carga computacional da UCP principal.

Os fabricantes de CLPs oferecem grande variedade de módulos especiais. Os mais comuns são:

- **Módulo de entrada termopar** – Foi projetado para aceitar diretamente as entradas de um termopar e fazer a compensação de junta fria, linearização da medição e detecção de erros. Seu funcionamento é semelhante ao dos módulos de entrada analógica discutido anteriormente, com exceção do baixo nível de sinal (mV). Os dados obtidos por esse módulo podem ser utilizados pelo CLP para fazer controle, indicação, registro, alarme ou intertravamento.
- **Módulo de entrada PT100** – É utilizado em medição de temperatura a partir de um PT100, que é um resistor cuja resistência varia linearmente com a temperatura.
- **Módulo de motor de passo** – Gera o trem de pulsos a ser aplicado às bobinas de um motor de passo, de modo a controlar sua posição, sua velocidade ou sua aceleração, de acordo com o estabelecido pelo programa do usuário.
- **Módulo de controle de malha** – Realiza o controle de malha fechada com algoritmos PID. O processamento do controle PID é feito pelo próprio módulo, aliviando o trabalho da UCP. Os algoritmos PID encontrados no CLP (rodado na UCP) às vezes deixam a desejar quanto às necessidades de tempo e precisão exigidas para controle de sistemas rápidos.
- **Módulo de contagem rápida.**
- **Módulo para medição de parâmetros elétricos** – Fator de potência, tensão, corrente, energia etc.
- **Módulo de comunicação com redes.**

3.4 Fontes de alimentação

Nos CLPs, as fontes de alimentação podem ser internas ou externas. As internas podem ser encaixadas em *slot* ou montadas na caixa do CLP. Algumas fornecem saída de 24 V_{CC}, de baixa potência (~2 A), destinada à alimentação dos módulos de E/S, sensores e atuadores. Se a exigência de potência dos módulos for maior, o projetista deverá necessariamente incluir uma fonte externa.

A International Electrotechnical Commission (IEC – Comissão Internacional de Eletrotécnica) tem especificado tensões padronizadas para fontes de alimentação, entradas e saídas digitais dos CLPs. A tabela 3.2 mostra tais tensões.

Tabela 3.2
Valores e faixas de operação

Tensão	Recomendações	
	Fonte	Sinais E/S
24 V_{cc}	Sim	Sim
48 V_{cc}	Sim	Sim
24 V_{ca}	Não	Não
48 V_{ca}	Não	Não
120 V_{ca}	Sim	Sim
230 V_{ca}	Sim	Sim
400 V_{ca}	Sim	Não

Notas:

a) A tolerância para as tensões CC é de –15 a +20%.

b) A tolerância para as tensões CA é de –15 a +10%. As tensões CA são dadas em valor eficaz (RMS).
c) Consultar a norma para CLPs para notas e valores especificados adicionais.

Normalmente utilizam-se fontes chaveadas, alimentadas com tensão AC (90 a 240 V) ou DC (18 a 36 V). Outra preocupação é quanto às tensões fornecidas para o CLP, pois, além do padrão 5 V_{CC}, alguns modelos também alimentam os módulos analógicos com +12 V_{CC} e –12 V_{CC}.

O consumo é, por fim, outro fator que tem de ser analisado, pois, em função da quantidade de pontos a serem utilizados, há condições de dimensionar a fonte. Portanto, a fonte deve ser escolhida por último, pesquisando com o fabricante qual o modelo de fonte mais adequado ao processo que se deseja automatizar. Para os CLPs de baixo custo, a fonte é incorporada ao módulo da UCP, visando a diminuir encaixes e, em consequência, barateando o produto. Nesse caso, a preocupação se resume à alimentação do conjunto, uma vez que tanto as tensões como as potências envolvidas serão logicamente compatíveis com o produto.

3.5 Funcionamento

O funcionamento do CLP baseia-se em um conjunto de instruções conhecido como programa, desenvolvido para atender às rotinas do usuário. Os sinais dos sensores ou transdutores acoplados à máquina ou equipamento são aplicados às entradas do controlador. Em cada ciclo, denominado *scan* ou varredura, há três etapas:

- **Etapa de entrada** – Todos os sinais vindos do meio externo e aplicados às entradas são lidos e transferidos para uma área da unidade de memória interna do CLP, chamada tabela imagem da entrada.
- **Etapa de programa** – O programa é executado, usando os sinais adquiridos durante a etapa de entrada e decidindo quais serão os valores dos sinais de saída digitais e analógicos. Esses valores são guardados em uma região de memória denominada imagem de saída. Durante a execução do programa, os sinais de saída não são alterados, a menos que sejam ativadas entradas de elevada prioridade. Tais entradas são utilizadas para emergências, que não podem esperar o término do *scan*. Nesse caso, interrompemos o trabalho do CLP, rodando um programa que atende à interrupção. Terminado o atendimento à interrupção, retornamos ao programa principal.
- **Etapa de saída** – Todos os valores de saída estabelecidos pelo programa e armazenados na imagem de saída são aplicados aos módulos de saída.

Terminadas as três etapas, reinicia-se o ciclo de *scan*, com a etapa de entrada (operação cíclica). Em algumas situações, por exemplo, ao utilizar controladores PID, torna-se necessário fazer as aquisições de sinais (etapa de entrada) em intervalos fixos. Nesse caso, ao terminar a etapa de saída, o CLP fica esperando o instante predefinido para reiniciar o *scan* (operação periódica).

Para realizar a tarefa de controle, o processador do CLP simplesmente executa passo a passo o roteiro de instruções contido na tabela de programação que o usuário elaborou. O processo de execução segue aproximadamente a rotina mostrada no fluxograma da figura 3.14.

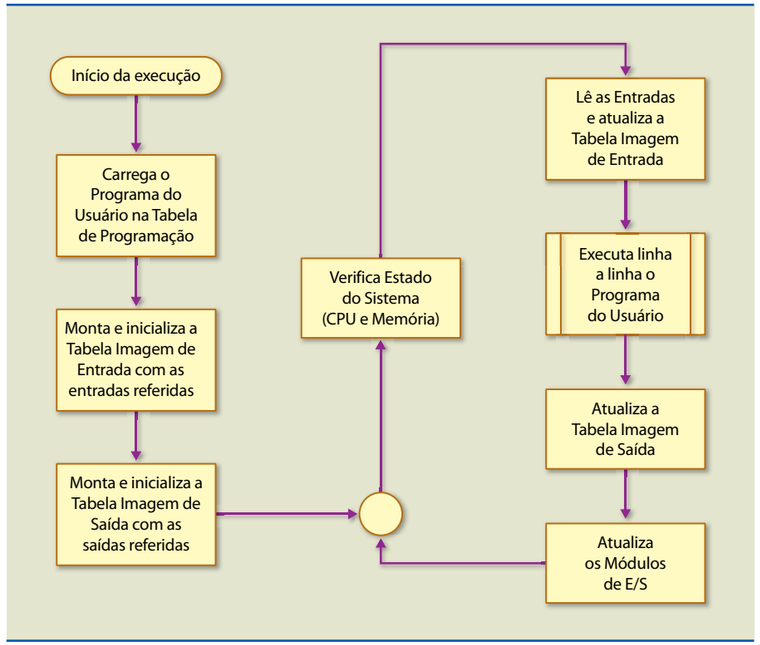


Figura 3.14
Fluxograma de funcionamento do CLP.